T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK YOĞUNLUKLU POLİETİLEN BORULARIN ISIL ETKİLER ALTINDAKİ DEFORMASYON ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Necmettin POLAT

DANIŞMAN
Prof. Dr. Niyazi Uğur TERZİ

AKSARAY, 2020

TEŞEKKÜR

Bana verdiği fikirlerle ufkumu açan ve çalışmalarımda baştan sona kadar emeklerini benden esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Niyazi Uğur TERZİ'ye çok teşekkür ederim.

Çalışmalarımda her türlü konuda emeğini esirgemeyen benimle paylaşan hocam Arş. Gör. Dr. Can ERENSON'a teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Hayatımın her anında yanımda olan çok değerli babam Mehmet POLAT'a, annem İsmet POLAT'a, ablalarım Tülay KAYIŞ'a, Fatma POLAT'a kardeşlerim Aysel POLAT'a, Mustafa POLAT'a paşam Hasan Erkan POLAT'a ve eniştelerim Kemal POLAT'a ve Hakan KAYIŞ'a çok teşekkür ederim.

Varlığıyla yanımda olan baba yarısı amcam Ömer POLAT'a özellikle teşekkür ederim.

Her zaman bana omuz veren ve daima yanımda olan dostlarım Abdullah KAYA'ya, Ahmet Kemal ÇEKİÇ'e ve Uğur SARIDAĞ'a da ayrıca teşekkürler.

Okul hayatım boyunca bana maddi manevi destek sağlayan öz ağabeyim kadar yakın olan Kadir BAYDAR'a ve ablamdan hiçbir farkı olmayan eşi Zehra BAYDAR'a sonsuz kez teşekkür ederim.

Ayrıca bana desteklerini esirgemeyen benden yaşça büyük olmalarına rağmen dost kadar yakın olan abilerim Emre MUTLU'ya ve Burak EROĞLU'na teşekkür ederim.

Emeğini esirgemeyen her türlü destek sağlayan Orhan ACUN'a teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimimin başlangıcından bitimine kadar gerekli hassasiyeti gösteren çalışmakta olduğum Emin İnşaat Madencilik Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi'ne özellikle teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans tezi kapsamında yürütülen deneysel çalışmalar dahilinde incelenen boruların temini ve boruların mühendislik özelliklerinin belirlenmesi hususunda destek olan Kuzeyboru Plastik Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi'ne de çok teşekkür ederim.

Çalışmanın özhazırlık safhasında ve sürdürülmesi aşamasında ihtiyaç duyulan materyallerin temininde finansal destekte bulunan Aksaray Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Birimi'ne (2018-051) de teşekkür ederim.

Necmettin POLAT

AKSARAY, 2020

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
ÖZET iii
ABSTRACT iv
ŞEKİLLER DİZİNİ v
ÇİZELGELER DİZİNİ vii
SİMGELER VE KISALTMALAR viii
1. GİRİŞ 1
2. KAYNAK ÖZETLERİ 4
2.1 HDPE Tarihsel Süreci 4
2.2 HDPE'nin Yapısı 5
2.3 HDPE Sıcaklığını Etkileyen Faktörler 6
2.3.1 Termoplastik ve termoset polimer faktörler 7
2.4 PE Çeşitleri 8
2.4.1 Yüksek basınç metodu 8
2.4.2 Düşük basınç metodu 9
2.5 HDPE'nin Mekaniksel Özellikleri 10
2.5.1 HDPE'nin özgül yapısı 11
2.5.2 HDPE'nin moleküler ağırlığı 11
2.5.3 HDPE'nin erime sıcaklığı 12
2.5.4 HDPE viskoelastik yapısı 12
2.6 HDPE Uygulamaları Alanları ve Avantajları 13
2.6.1 Ekonomik açıdan 13
2.6.2 Kimyasal kullanım avantajları 14
2.6.3 Termal iletkenlik derecesi 14
2.6.4 Asit direnç özelliği 14
2.6.5 Pürüzlülük değeri 15
2.6.6 Yağa dayanıklılık direnci 15
2.6.7 Geri dönüşüm alanı 15
2.6.8 Korozyona karşı direnç 16
2.7 Yüksek Yoğunluklu Polietilen Esnek Boruların Mühendislik Özellikleri 16
2.7.1 HDPE borularda rijitlik ve esneklik 17
2.8 Önceki Çalışmalar 23
3. MATERYAL VE YÖNTEM 27
3.1 Malzeme Özellikleri 27
3.1.1 Hendek ortamı ve Şile kumu 27
3.1.2 HDPE boruların mühendislik özellikleri 28
3.2 Deney Kutusu ve Ortam Koşulları 29
4. ARAŞTIRMA BULGULAR 38
5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR 52
KAYNAKLAR 54
ÖZGEÇMİŞ 57

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YÜKSEK YOĞUNLUKLU POLİETİLEN BORULARIN ISIL ETKİLER ALTINDAKİ DEFORMASYON ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Necmettin POLAT

Aksaray Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Niyazi Uğur TERZİ

ÖZET

Günümüzde içme suyu, atık su, kanalizasyon şebekelerinde, yağmursuyu drenaj hatlarında, kendi akışı ile giden su taşıma yapılarında ve doğal enerji kaynakları vb. daha pek çok uygulamalarda kullanılan HDPE (yüksek yoğunluklu polietilen) esnek boruların kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. HDPE borunun beton ve çelik gibi diğer boru türlerine göre tercih edilmesinin başlıca sebepleri hafif, ekonomik ve uzun servis ömürlü olmasıdır. Bu tezde, hendek ortamına gömülü esnek HDPE borular farklı rölatif sıkılık koşulları altında değişken sıcaklıklar altında deformasyon davranışları incelenmiştir. Çalışmada taç ve bel bölgesindeki deplasmanlar ve birim şekil değiştirme değerleri, konum sensörleri ve gerinim pulları ile ölçülmüştür. Araştırmalar, düşey gerilme uygulanan borular %50, %60 ve %70 rölatif sıkılık koşullarında ve -7°C, 26°C, 50°C ortam koşullarında yürütülmüştür. Silis kumlu hendek ortamında yürütülen deneylerde, sıkılık artışı oldukça deformasyonlar azalmıştır. Ayrıca en yüksek ortam sıcaklık koşulu olan 50°C'lik durumda en büyük deplasman ve eğilme moment değerleri elde edilmiştir. Sıcaklığın artışı, elastisite modülünün azalmasına bağlı olarak deformasyon değerlerini dramatik biçimde arttırmıştır. Soğuk ortamlar ile oda sıcaklığı arasında büyük deplasman farklılıkları gözlemlenmemiştir.

Anahtar Kelimeler: Gömülü Boru, Isıl Etkiler, Silis Kumu, Yüksek Yoğunluklu Polietilen.

Temmuz, 2020; 57 sayfa

M.Sc. THESIS

INVESTIGATION OF DEFORMATION PROPERTIES OF HIGH-DENSITY POLYETHYLENE PIPES UNDER THERMAL EFFECTS

Necmettin POLAT

Aksaray University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Niyazi Uğur TERZİ

ABSTRACT

Today, the use of the HDPE (high-density polyethylene) flexible pipes is increasing day by day in drinking water, wastewater, sewerage networks, rainwater drainage lines, water transport structures and natural energy sources, etc. The main reasons why HDPE pipe is preferred over types such as concrete and steel are light, economical and long service life. In this master's thesis, flexible HDPE pipes embedded in the trench exposed them to variable relative density and different thermal conditions and deformation behavior were investigated. In the study, displacements and elastic strain values in the crown and springline regions were measured with LVDTs (linear variable differential transformer) and strain gauges. As a result, pipes with vertical loading were tested under 50%, 60%, 70% relative density conditions and -7°C, 26°C, 50°C thermal conditions. In the experiments carried out in the silica sandy trench, the deformations increased deformations and strains decreased due to the increase in relative density. Besides, the maximum displacemets and bending moment values were obtained in the case of 50°C which is the maximum thermal condition. The increase in temperature increased the deformation values due to the decrease in the modulus of elasticity.

Keywords: Buried Pipe, Thermal Effects, Silica Sand, High Density Polyethylene.

July, 2020; 57 pages

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Etilen (C_2H_4) moleküler yapısı 6
Şekil 2.2. Polietilen (PE) moleküler yapısı 6
Şekil 2.3. Termoplastik malzemelerin sınıflandırılması 7
Şekil 2.4. LDPE için moleküler ağırlık dağılımı 9
Şekil 2.5. HDPE için moleküler ağırlık dağılımı 10
Şekil 2.6. Gömülü boruların bölgelerin bölümleri. 16
Şekil 2.7. Rijit boruların gömülü ortamda kuvvet iletimi. 17
Şekil 2.8. Gömülü ortamda rijit boruya etkiyen dolgu yükleri. 18
Şekil 2.9. Gömülü ortamda esnek boruya etkiyen dolgu yükleri. 18
Şekil 2.10. Gömülü ortamda esnek borunun davranış şeması 19
Şekil 2.11. Boruların içinde hidrostatik basınç olduğu durumlarda et kalınlığının hesaplanması 19
Şekil 2.12. Borularda dış hidrostatik basınç olduğunda et kalınlığının hesaplanması 20
Şekil 2.13. Etilen monomeri ve polietilen zinciri. 23
Şekil 3.1. Şile kumu elek analiz sonuçları. 27
Şekil 3.2. Deney kutusu 29
Şekil 3.3. HDPE borunun yerleşimi. 31
Şekil 3.4. Gerilme düzeneği. 32
Şekil 3.5. Isıtma sistemi ve kontrol paneli. 33
Şekil 3.6. Bakır borular ve soğutma sistemi. 33
Şekil 3.7. Soğutma sistemi kontrol paneli. 34
Şekil 3.8. Ölçüm düzeneği. 35
Şekil 3.9. Veri toplama ünitesi. 36
Şekil 3.10. Veri toplama ve deney kutusu. 36
Şekil 3.11. Çeyrek köprüde 3 telli bağlantı 37
Şekil 4.1. Isıtıcı bandın sarmal etki deney düzeneği 38
Şekil 4.2. %50 rölatif sıkılıkta ortam koşullarına bağlı taç deplasmanına olan etkisi. 39
Şekil 4.3. %60 rölatif sıkılıkta ortam koşullarına bağlı taç deplasmanına olan etkisi. 39
Şekil 4.4. %70 rölatif sıkılıkta ortam koşullarına bağlı taç deplasmanına olan etkisi. 40
Şekil 4.5. %50 rölatif sıkılıkta ortam koşullarına bağlı bel deplasmanına olan etkisi. 40
Şekil 4.6. %60 rölatif sıkılıkta ortam koşullarına bağlı bel deplasmanına olan etkisi. 41
Şekil 4.7. %70 rölatif sıkılıkta ortam koşullarına bağlı bel deplasmanına olan etkisi. 41
Şekil 4.8. -7°C ortam koşullarında rölatif sıkılığın taç deplasmanına olan etkisi. 42
Şekil 4.9. 26°C ortam koşullarında rölatif sıkılığın taç deplasmanına olan etkisi. 42
Şekil 4.10. 50°C ortam koşullarında rölatif sıkılığın taç deplasmanına olan etkisi. 43
Şekil 4.11. -7°C ortam koşullarında rölatif sıkılığın bel deplasmanına olan etkisi. 43
Şekil 4.12. 26°C ortam koşullarında rölatif sıkılığın bel deplasmanına olan etkisi. 44
Şekil 4.13. 50°C ortam koşullarında rölatif sıkılığın bel deplasmanına olan etkisi. 44

Şekil 4.14. -7°C ortam koşullarında taç bölgesindeki rölatif sıkılıkta eğilme moment değerleri..... 47
Şekil 4.15. -7°C ortam koşullarında bel bölgesindeki rölatif sıkılıkta eğilme moment değerleri..... 47
Şekil 4.16. -7°C ortam koşullarında taban bölgesindeki rölatif sıkılıkta eğilme moment değerleri..... 48
Şekil 4.17. 26°C ortam koşullarında taç bölgesindeki rölatif sıkılıkta eğilme moment değerleri..... 48
Şekil 4.18. 26°C ortam koşullarında bel bölgesindeki rölatif sıkılıkta eğilme moment değerleri..... 49
Şekil 4.19. 26°C ortam koşullarında taban bölgesindeki rölatif sıkılıkta eğilme moment değerleri..... 49
Şekil 4.20. 50°C ortam koşullarında taç bölgesindeki rölatif sıkılıkta eğilme moment değerleri..... 50
Şekil 4.21. 50°C ortam koşullarında bel bölgesindeki rölatif sıkılıkta eğilme moment değerleri..... 50
Şekil 4.22. 50°C ortam koşullarında taban bölgesindeki rölatif sıkılıkta eğilme moment değerleri..... 51

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Polietilen tiplerine göre yoğunluk değerleri 11
Çizelge 3.1. Şile kumunun mühendislik özellikleri. 28
Çizelge 3.2. HDPE borunun mühendislik özellikleri..... 29
Çizelge 3.3. Polietilen hammaddesinin kimyasal karakteristikleri. 29
Çizelge 3.4. ASTM D 2321'e göre hendek genişliğinin en küçük olduğu durum..... 30
Çizelge 3.5. Gerinim ölçer pullarının sıcaklık kalibrasyonu 37
Çizelge 4.1. Deneyler sonucunda taç bölgesi için elde edilen eğilme momentleri.... 45
Çizelge 4.2. Deneyler sonucunda bel bölgesi için elde edilen eğilme momentleri. .. 45
Çizelge 4.3. Deneyler sonucunda bel bölgesi için elde edilen eğilme momentleri. .. 46

SİMGELER VE KISALTMALAR

A	Kesit Alanı
ASTM	American Society for Testing and Materials
ε	Birim Şekil Değiştirme
D	Boru Çapı
Dm	Ortalama Çap
DR	Rölatif Sıkılık
E	Borunun Young Modülü
E_n	Elastisite Modülü
G_s	Özgül Ağırlık
HDPE	Yüksek Yoğunluklu Polietilen
I	Atalet Momenti
LDPE	Düşük Yoğunluklu Polietilen
M_b	Eğilme Momenti
MDPE	Orta Yoğunluklu Polietilen
N	Kuvvet
p	İç Basınç
P_b	Gerilmeyi Oluşturan Basınç
PE	Polietilen
r	Boru Yarıçapı
R_1	Borunun İç Çapı
R_2	Borunun Dış Çapı
SP	Kötü Derecelendirilmiş Kum
T_1	Borunun İç Sıcaklığı
T_2	Borunun Dış Sıcaklığı
t	Boru Et Kalınlığı
USCS	Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi
ϕ_n	İçsel Sürtünme Açısı
γ_n	Doğal Yoğunluk
σ	Gerilme
Ω	Direnç
ν	Poisson Oranı

1. GİRİŞ

Günümüzde giderek artan insan nüfusüyla beraber ihtiyaçlarda artmıştır. Bu ihtiyaçların karşılanması için yeni tip borulara ihtiyaç duyulmuştur. Beton, çelik vb. borulara kıyasla daha avantajlı olması sebebiyle Yüksek yoğunluklu polietilen borulara yönelmişlerdir. Yapısı gereği hafif olmasından dolayı hem zaman olarak hemde montaj olarak avantaj sağlar. Nakliye esnasında iç içe geçirilerek taşıma sağlanabilmektedir. Daha uzun mesafelerde tek parça üretim sağlanabilmektedir. Bu borulara kısaca HDPE (High Density Polyethylene) bazı yerlerde ise YYPE (Yüksek Yoğunluklu Polietilen) borular denilmektedir.

Laboratuvar koşulları altında HDPE boruların davranışlarına yönelik pek çok araştırma literatürde yerini almaktadır. Ancak bu çalışmalar içerisinde ısıl etkenlerin boru davranışına olan etkilerinin hendek ortamında dikkate alınan bir çalışmaya rastlanılmamıştır.

Hendek tasarımı yapılırken öncelikli olarak hendek üzerindeki muhtemel statik ve dinamik yüklerin karşılanması hedeflenmektedir. Bunun için ise ideal gömme derinliği dikkate alınmaktadır. Ayrıca borular yerleştirilirken, düşük sıcaklıklarda meydana gelen don sebebiyle oluşan kabarmaların sisteme zarar vermeyecek bir derinliğe gömülmesi de göz önünde bulundurulmalıdır. Don kabarmasının önüne geçmek için ise gerekli tedbirlerin alınması hususunda araştırmacılar dikkat çekmektedirler (Trautmann ve O'Rourke, 1985).

Bahsi geçen önlemlerin alınabilmesi için de zeminin gerilmeler altında değişken iklim koşullarına göre donma – çözünme karakteristiklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Kaynak taramasında büyük oranda sadece yük etkisindeki deformasyon davranışları incelenmiş olup soğuk veya sıcak ortam koşullarında herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Oysa hendek ortamı oldukça fazla ısı değişkenleri göstermektedir.

Zemin bünyesinde bulunan donmuş vaziyetteki su kütlesinin çözünmesine bağlı olarak zemin içerisinde boşluklu oluşumlar gözlemlenmektedir. Gerilme altında meydana gelen oturmalar da bu boşluklu yapılar dolayısıyla oluşmaktadır. Bu bakımdan don bölgesi içerisinde bulunan boru hatlarının deformasyon davranışları HDPE boru

davranışına doğrudan etkimektedir. Bu denli soğuk ortamlar ile aksine çok daha sıcak bir ortamdaki polimer kökenli malzemelerin davranışları da beklenildiği üzere farklılıklar gösterecektir. Literatürde, polimer esaslı malzemelerin sıcaklık etkisi altında aşırı deformasyon göstermeleri ile karşılaşılsa da bu durumun hendek ortamında nasıl bir sonuç ortaya koyacağına yönelik bilgi havuzu bulunmamaktadır. Bu çerçevede, yüksek lisans tez çalışmasında söz konusu durumların üzerinde durarak giderilmesi özgün bir araştırma konusu olarak seçilmiştir.

HDPE esnek borular, rijit borulara göre aşırı şekil değiştirmeler altında dahi servis kabiliyetini sürdürebilmektedirler. Bünyesindki polimer esaslı kimyasl bağ dokusu nedeni ile HDPE boruların bu avantajı HDPE boruların tercih edilmesinde önemli rol oynamaktadır. Bu özel karakteristik ise HDPE boruların elastisite modülünün daha düşük olmasından dolayı gerçekleştmektedir. Gerilmeler altında müsaade edilebilecek deformasyon kıstaslarının sınırları içerisinde kalabilmek için boru çevresi ve yataklamada kullanılacak geridolgu malzemesinin yüksek elastisite modülüne sahip olması gerekir. Bu da yeterli sıkılık koşullarının oluşturulmasının önemini ortaya koymaktadır.

Bu bakımdan esnek boruların davranışında, hendek geometrisi ve geridolgu malzemesinin mühendislik özellikleri etkili olmaktadır. Bu tezde ise gerçek saha koşullarının en iyi yansıtacak model standartlar ve literatürde öncül nitelikte olan akademik çalışmalar ele alınarak tasarlanmıştır.

Ayrıca polimer esaslı esnek boru davranışları, boru üzerine etkiyen yükün büyüklüğüne, yükün adım sayısına, yük uygulama hızına ve yükün etki süresince bağlı olarak değişkenlikler göstermektedir. Bunun yanında, polietilen (PE) ürünler için sıcaklık etkisi ve ortam sıcaklığı malzemenin rijitliğine etki etmektedir. Dolayısıyla materyalin sünek veya gevrek davranış gösterebilmesi, durabilitesi ve reolojisi ile de ilişkilidir. Tüm bu etmenler, söz konusu malzemelerin gerilme altındaki şekil değiştirme davranışlarını ciddi miktarda değiştirmektedir. Bu bakımdan laboratuvar çalışmaları da arazi çalışmaları kadar polimer esaslı malzemelerin davranışının belirlenmesinde önemli bir paya sahiptir.

Yürütülen deneylerde, zamana bağlı olarak düşey gerilme boru üzerindeki hendek üstdolgusu üzerine uygulanmaktadır. Üç farklı sıkılık koşullarında gerçekleştirilen deneylerde, sıcaklık etkisindeki deformasyonlar konum sensörleri ve gerinim pulları ile ölçülmektedir. Çalışmada, -7°C, 26°C, 50°C sıcaklık koşullarında uygulanan sabit yük ve zemin koşullarında gerçekleştirlen deneyler sonucunda HDPE boruların yük - şekil değiştirme davranışı belirlenmiştir ve yorumlanmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1 HDPE'nin Tarihsel Süreci

Alman kimyacı Hans Von Pechmann tarafından 19. Yüzyılın son dönemlerinde eterin konstrüksiyonuna yönelik gerçekleştirilen çalışmalarda metan birikimi saptanmıştır. Söz konusu kompozit 1900'larda Alman kimyacı Eugen Bamberger ve Friedrich Tschirner tarafından polimetilen olarak ifade edilmiş ve polimetilen formülü 1935 yılında Eric Fawcett'in etilen ile yüksek basınçla gerçekleştirmiş olduğu çalışma sonucunda ortaya konmuştur. İlk olarak 1935 yılında İngiliz kimyacılar olarak bilinen Reginald Gibson ve Eric Fawcett tarafından katı PE üretilmiştir. İlk defa İkinci Dünya Savaşı esnasında İngilizler tarafından kullanılan PE radar kablolarının dış etkenlere karşı korumak amacıyla kullanılmıştır.

PE malzeme 1950'li yılların ortasına kadar ticari amaçlı olarak, yüksek basınç altında üretimi yapılıyordu. PE, az sayıda dallı bir iç yapı alanına sahipti ve molekül ağırlığı sayı ortalamalı olarak genelde 50 000 sayısından azdı. Düşük basınç ile yüksek yoğunluklu PE buluşunun Kaiser Wilhelm Enstitüsü'nden kimya alanında Nobel ödülü almaya hak kazanan Karl Ziegler ve Erhard Holzkamp tarafından ortaya konmuş olduğu döneme kadar 1953 yılında bilim insanları söz konusu malzemelere yönelik çalışmalarını sürdürmüşlerdir. Holzkamp ve Ziegler'in PE bileşiklerinin belirli türlerine yönelik hipotezleri açıklamalarının ardından HDPE boru üretim çalışmaları 1955 yılında başarılı olarak gerçekleştirilmiştir (Gabriel, 1998).

1955 yılından sonra, PE malzeme daha az sıcaklıkta ve düşük basınçlar altında üretimi yapılabilecek yöntemler geliştirildi. Bu sayede üretimi yapılan PE malzeme daha sert halde, daha yoğun kıvamda ve daha yüksek yumuşama derecesine sahipti. Üretimi yapılan bu borulara YYPE ismi verildi. Daha önceden üretimi yapılan PE malzemeyede düşük yoğunluklu polietilen (DYPE) ismi verildi. 1959'da kimyasal sıvı ve sularda kullanılması amacıyla 16 mm'den; 250 mm'ye kadar üretilmiş olan ilk boru PE 63 olarak ifade edilmektedir. HDPE malzemesi, paslanma, korozyon, kurulum kolaylılığı ve dayanıklılık özellikleri bakımında oldukça gelişmiştir (Gabriel, 1998).

1970'li yılların sonunda, yüksek basınç ve düşük basınç ile üretimi yapılan PE malzemeler arasında aynı özellik gösteren bir PE malzeme daha keşfedildi. Nitekim

1977 yılında PE 80 ve PE 63 ‘ün geliştirilmesi ile söz konusu boru 1000 mm’ye ulaşmıştır. Doğrusal düşük yoğunluklu malzeme olan polietilen (DDYPE) ismi verilen bu PE malzeme türü, film üretimi alanında kullanımı yapılmaya başlandı (Gabriel, 1998).

Daha etkin mekanik ve kimyasal niteliklere sahip yüksek kalınlık ve basınçlı ürün PE 100 ve PE 80 1985 yılında üretilmiştir (Gibson, 2004). Mekanik ve kimyasal nitelikleri açısından diğer PE çeşitlerinden farklı ve üstün olan HDPE; yüksek yalıtım, izolasyon, sertlik, moleküler yapı ve çekme mukavemeti niteliklerini barındırmaktadır. Aynı zamanda HDPE boruları merkezi soğutma sistemleri kapsamında soğutulmuş olan suyun soğutucudan kontrol ünitesine aktarılması amacıyla kullanılabileceği gibi su, gaz ve petrol gibi aktarılma işlemlerinde de kullanılabilmektedir (Gabriel, 1998).

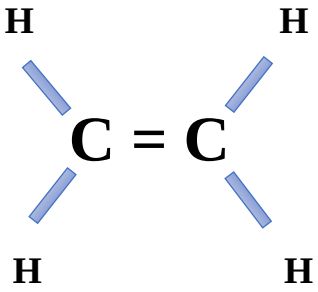
HDPE malzemesi özelliği itibariyle kısmikristalin bir termoplastik özelliğinde malzemedir. Bu özelliği sonucu kullanımı yapılan alanı çok geniştir. Kristalin faz, malzeme yapısına dayanıklılık kazandırırken, amorf faz da malzeme yapsısına esnek bir yapı kazandırır. Bütünüyle kristalin fazda PE malzeme olduğunu düşünelim. Bu malzeme aşırı derecede kırılgan olmasından dolayı kullanımı elverişli olacaktır. Benzer biçimde, tamamiyle amorf fazda PE malzeme çok esnek bir yapıda olduğundan dolayı bu ise onu kullanım alanına elverişsiz hale getirir. Kristallik derecesi PE malzemenin yapısı itibariyle ne kadarının amorf malzeme ne kadarının kristal malzeme olduğunu belirler. PE malzeme üretimi yapılmış bir numune malzemesinin kristallik derecesi, onun yoğunluk derecesi ve rijitliği ile yakın açıdan ilişkilidir; keza, onun kristallik derecesi birçok fiziksel özelliğine bağlıdır (Gabriel, 1998).

2.2 HDPE’nin Yapısı

Basit bir kimyasal polimer olan PE’in tekrarlama modeli (-CH_2-CH_2-) şeklindedir (Cheng, 2008).

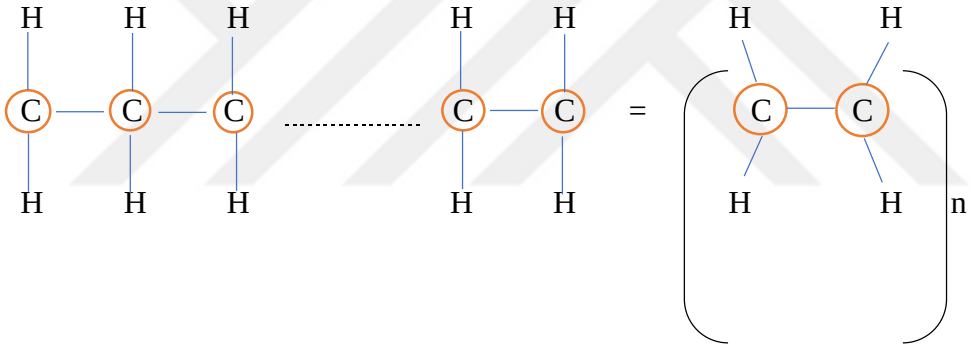
PE molekülünü basit bir şekilde ifade etmek gerekirse, zincirin sonunda metil grubuyla çift sayıda karbon atomlarının son halini bulmuş bir çift hidrojen atomu ile kovalent bağla birlesen birbiriyle bağlanması ile meydana gelen bir polimer moleküldür.

Etilen (C_2H_4) ortam sıcaklığında gaz yapısı, moleküler yapı içerisinde tek bağlı iki hidrojen atomu ile iki adet karbon atomu arasındaki çift bağdır. C_2H_4 moleküler yapısı aşağıda yer almaktadır (Callister ve Rethwisch, 2007).



Şekil 2.1. Etilen (C_2H_4) moleküler yapısı.

PE'in katı polimerik malzeme moleküler yapısı ise Şekil 2.2'de yer almaktadır (Callister ve Rethwisch, 2007).



Şekil 2.2. PE moleküler yapısı.

2.3 HDPE Sıcaklığını Etkileyen Faktörler

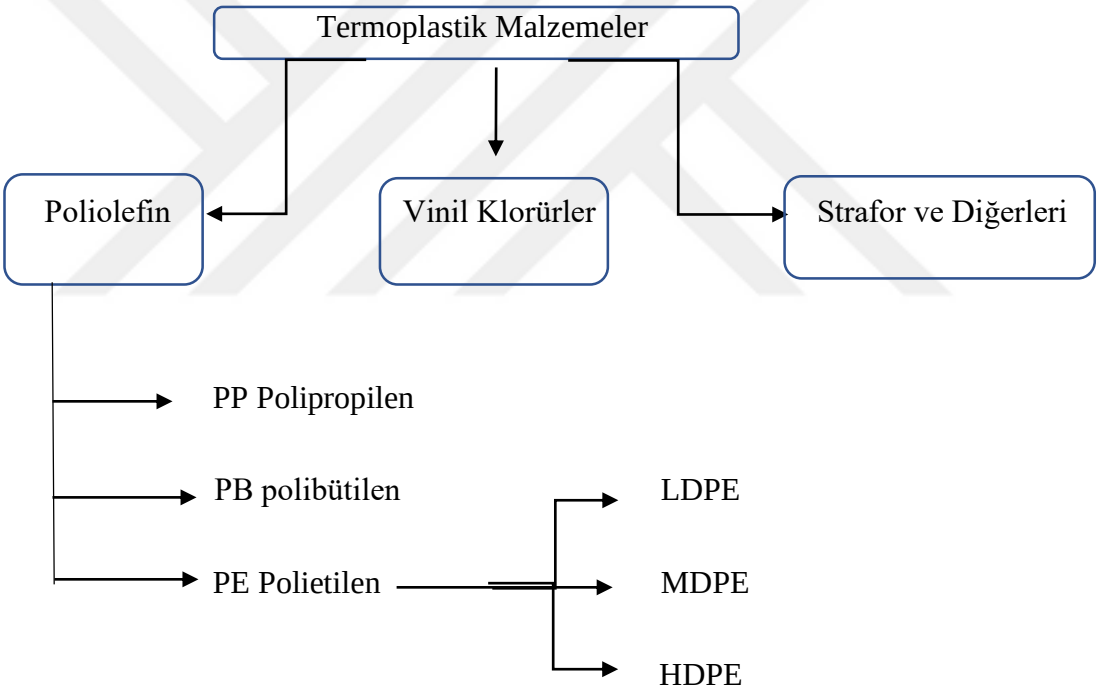
HDPE borusunun standart sıcaklık derecesi 25°C olup doğru sıcaklığın sağlanması sonucunda ortaya çıkan genel nitelikler, borunun kullanım alanlarının belirlenmesine olanak tanımaktadır. HDPE, mekanik kuvvetlerin bölümsel yapısı ve sıcaklıklık düzeyindeki değişimleri, doğrusal yapı zincirinin çapraz bağlı yapıya dönüştürülmesi ile ayrı bir özelliği ortaya konulmuş olan termoplastik bir konstrüksiyondur (Callister ve Rethwisch, 2007). Söz konusu durum HPDE yapısını sıcaklık ile katılaşan polimer haline dönüştürmektedir. HDPE borular için kaynak kullanılmakta olup borunun uç bölümünün ısıtılmakta ve ısı basınç ile arttırılmaktadır. Süre dahilinde borunun kesit

oluşumunda meydana gelen değişimin gözlenmesi bu duruma örnek teşkil etmektedir (URL-1).

2.3.1 Termoplastik ve termoset polimer faktörler

HDPE termoplastik malzemelerin sınıflandırılması Şekil 2.3'de yer almaktadır. Termoplastik gibi bir yapıya sahip olup soğultuğunda sertleşirken, ısı ile yumuşamakta ve böylelikle geri dönüşümü ile yeniden üretilebilmektedir.

Lineer polimer olan HDPE bir takım dallı yapılar ve esnek moleküler zincirleri içerisinde barındırmaktadır. Çoğunluklu olarak sıcaklık ile katılaşan polimerlere göre daha az sert ve güçlüdürler. Bunlar çağraz bağlı ve ağ polimleri olup epoksiler buna örnek teşkil etmektedir (Callister ve Rethwisch, 2007).



Şekil 2.3. Termoplastik malzemelerin sınıflandırılması.

2.4 PE Çeşitleri

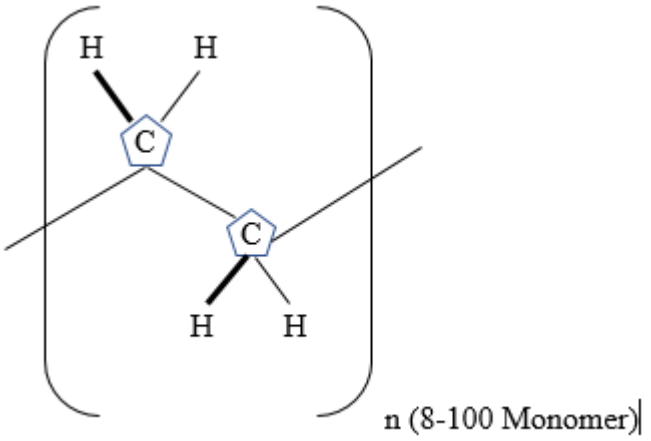
Birbirinden farklı niteliklere sahip çeşitli PE bulunmasına karşın tüm PE'lerde hidrojen (H) ve karbon (C) bağları mevcuttur. PE çeşitleri ve moleküler ağırlıkları arasındaki temel nitelikler, moleküllerin yoğunluk düzeyi, kristalinite yüzdesi, ağırlıkları, kısa ve uzun zincirli dallar ile bağlantılıdır.

PE'in mekanik nitelikleri üzerinde moleküler ağırlık düzeylerinin etkisi bulunmaktadır. Kristal üzerine etki etmekte olan kristal polimer yoğunluğu liner ve dallı zincir türleri üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir. PE'in gerilme, sertlik, yoğunluk ve akma mukavemetinin artması ise kristal düzeyinin artması ile doğru orantılıdır.

Teknik ve kimyasal niteliklerine bağlı olarak üretim aşamasında en yoğun olarak kullanılmakta olan PE türü HDPE'dir. Söz konusu PE'in imalatı aşamasından iki method kullanılmaktadır. Birinci methotda HDPE'in imalatı sürecinde düşük başınç methoduna başvurulurken ikinci methotda düşük yoğunluklu PE'in imalat sürecinde yüksek basınç methoduna başvurulmaktadır (Lepoutre, 2013).

2.4.1 Yüksek basınç metodu

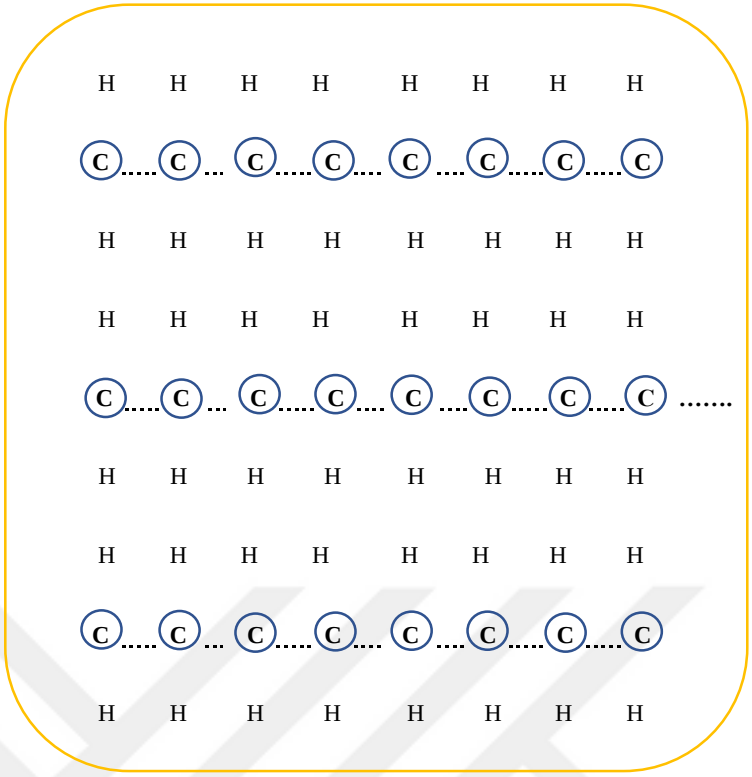
HDPE, C_2H_4 gazının heksan ortamındaki düşük basınç ve sıcaklıkla polimerizasyon yardımıyla Ziegler – Natta modeli koordinasyon katalistleri doğrultusunda elde edilir. Formülü CH_3-(CH_2)n-CH_3'dür. Düşük yoğunluklu polietilenin (LDPE) imalat sürecinde; 1000- 3000 bar arasındaki yüksek basıncın 80-300℃ ısıtılması ve C_2H_4 gaz içerisine az miktarda oksiyenin eklenmesi ile kontrol altında bir tepkimenin oluşumu sağlanmaktadır. Söz konusu durumda moleküler ağırlık dağılımı ise daha yüksek olmaktadır. Şekil 2.4'te gösterildiği gibi LDPE'nin moleküler ağırlık dağılımı çok dallı zincir yapısına sahiptir. Günümüzde sektörde yer alan "Blown Film" düşük yoğunlukta PE'e örnek teşkil etmektedir (Lepoutre, 2013).



Şekil 2.4. LDPE için moleküler ağırlık dağılımı.

2.4.2 Düşük basınç metodu

1930 yılında LDPE'in yüksek basınç methodu ile imalatı tesadüfi olarak ortaya konmuştur (Gabriel, 1998). Bu malzemeye LDPE söylenmesinin sebebi, içermiş olduğu ciddi boyutlardaki dallanmaların kristalizasyon işlemini engelleyerek nispeten daha düşük yoğunluktaki malzeme meydana getirmesidir. HDPE ise düşük basınç seviyesinde (10-80) alüminyum katalizör kullanılarak 70-300℃'de C_2H_4 gazın ısıtılması sonucunda İtalyan ve Alman araştırmacılar tarafından 1952 yılında keşfedilmiştir. Açıklanan işlem dahilinde imalatı gerçekleştirilen ürünler PE'den daha sert bir yapıya sahiptir. Aşağıdaki şekilde (Şekil 2.5) doğrusal polimer zinciri yer almaktadır (Lepoutre, 2013).



Şekil 2.5. HDPE için moleküler ağırlık dağılımı

2.5 HDPE'nin Mekaniksel Özellikleri

LDPE, HDPE'den daha küçük kristalize alana sahip olup yoğunluğunun yüksek olmasına bağlı olarak polimerik zincir moleküler dağılımı göstermektedir. Yüksek yoğunluklu polieilen ise uzun bir polimerik zincir yapısına sahiptir (Gabriel, 1998). HDPE çevresel gerilim çatlaması ve gerilme direnci bulunmasına karşın LDPE'nin esnekliği yüksek olup daha az dirençli bir yapıdadır. Aynı zamanda kopolimerler ve moleküler yapı PE değişimlerinin mekanik nitelikleri üzerinde etkiye sahip olup yapı içerisinde çok sayıda CH2 bulunmaktadır (URL-2). İki polierilen arasındaki bir diğer fark ise LDPE'nin moleküler yapısı daha küçük dallanmış iken HDPE'nin moleküler yapısı doğrusal olarak daha büyük dallanmış şekildedir (Callister ve Rethwisch, 2007; Cheng, 2008).

HDPE'nin mekanik nitelikleri çeşitli unsurlardan etkilenmektedir. Bu unsurlar;

- HDPE Yoğunluğu

- HDPE Moleküler Ağırlık Dağılımı
- HDPE Erime Noktası
- HDPE Viskoelastik

2.5.1 HDPE'nin özgül yapısı

HDPE 0,910-0,965 gr/cm³ arasında bir yoğunluğa sahip olup kristalin derecesi ve molekül ağırlığının polimerizasyonuna bağlı olarak yoğunluğu değişim göstermektedir (URL-2).

Büyük karbon dallarının zincir uzunluğu ve moleküler ağırlılık düzeyinin artması sonucunda yoğunluk ve kristalik düzeyinde azalış gözlenmektedir. (Gabriel, 1998; Nakayama et al., 1991). PE yoğunluğu AST standartları kapsamında Çizelge 2.1'de sınıflandırılmaktadır:

Çizelge 2.1. PE tiplerine göre yoğunluk değerleri.

PE Tipi		Yoğunluk (gr / cm³)
Yüksek Yoğunluklu Polietilen	HDPE	(0,965 – 0,941)
Orta Yoğunluklu Polietilen	MDPE	(0,940 – 0,926)
Düşük Yoğunluklu Polietilen	LDPE	(0,925 – 0,910)

2.5.2 HDPE'nin moleküler ağırlığı

Polimerler moleküler kütleler ve moleküler ağırlıklar içermektedir (Callister ve Rethwisch, 2007). Söz konusu durum polimerizasyon sıralamasında farklılık göstermekte olup polimer zincir uzunluğu ile ilişkilidir. Molekül apırlık ortalaması ve moleküler ağırlığa göre eriyik viskozitesi değişim göstermektedir (URL-2). Aynı zamanda PE'in farklı molekül ağırlığı sağlamakta olan farklı moleküler zincir uzunluğu bulunmaktadır. Belirtilen durum ise yüksek yoğunluklu PE'in mekanik nitelikleri açık bir şekilde ortaya koymaktadır. Buna bağlı olarak ise mekanik niteliklerin iyi bir şekilde sağlanması adına yüksek moleküler ağırlığa sahip olması gerekmektedir.

2.5.3 HDPE'nin erime sıcaklığı

Erime noktası, HDPE moleküler yapısının plastikten evrilerek biçimsiz forma ulaştığı noktayı ifade etmektedir. Yani söz konusu moleküler yapı katı halde sıvı hale dönüşmektedir. PE'nin yoğunluğuna ve kristaliğine bağlı olarak erime noktası değişim gösterebilmektedir (URL-2). Sıcaklık derecesi HDPE molekül yapısı etki etmemekte olup ısı ile çözünürlük gerçekleşmemektedir. Bu durum ise HDPE'nin termoplastik niteliğini ortaya koymaktadır

Isı öncelikli olarak moleküler astar yapısının lineer nitelikleri etkilemekte olup termosete dönüşmesine neden olarak daha sonra erime ısısına ulaşmaktadır (Gabriel, 1998). Bu durum LDPE (110°C) ile HDPE (128°C) arasındaki sıcak erime noktasındaki değişimi ifade etmekte olup polimerlerin moleküler ağırlıklarındaki artışa bağlı olarak erime noktası ısısınında artış göstermekte olduğu ortaya koymaktadır (Callister ve Rethwisch, 2007).

2.5.4 HDPE viskoelastik yapısı

PE'in viskoelastik durumu sıvı ve katı niteliklerine bağlı olarak ısı değişimine sahiptir. Camsı geçiş ısısı PE üzerinde bir etki oluşturmamakla birlikte polierilenin katı ve sağlam kalmasına neden olur. Camsı geçiş ısısının üzerimde ise moleküler yapı zincirinde kaymalar meydana gelecek olup PE daha sıvı hale gelecektir. Söz konusu ısı derecesi erime noktasına eriştiğinde, PE matrisi içerisinde yer alan kristal eriyerek ısı erimeden kaynaklı olarak daha yoğun hale ulaşacaktır. Bu durumda ise PE'de yapısal kayıp oluşarak söz konusu viskoz sıvısı ortaya çıkacaktır (Callister ve Rethwisch, 2007; Cheng, 2008).

2.6 HDPE Uygulama Alanları ve Avantajları

PE 100 boru polimerleri üzerinde HDPE'in çekme ve kimyasal direnç, sertlik, esneklik, iletkenliğe sahip olmayan elektrik özellikleri, termal iletkenlik, eriyik viskozitezi gibi oldukça eşsiz bir kimyasal bir yapıya sahiptir.

1955 yılında başarılı bir şekilde endüstriye dahil olan yüksek yoğunluklu PE'in (HDPE) 1990 yılında PE 100 şeklinde ifade edilerek geliştirilmesi ve büyük ölçekli su borularının imalatı aşamasında kullanılması ile birlikte dünya çapındaki bilinirliği artış göstermiştir. PE 100 boru poliemlerinin LDPE ve MDPE yapısından farklı niteliklere sahip olması, polimerler arasındaki zincir yapısının niteliği ve aynı zamanda boruların kalın duvarlı kaynak nitelikleri, boru kesitleri arasında yer alan kaynak derzleri, boruların kolay şekilde kurulumu ve esneklik özelliğinin azaltılmasına bağlı olarak 25 mm kalınlıkta ya da daha büyük ölçüklü duvarlara sahip boruların kaynaklarının test edilmesi aşamasında yüksek gerilmeler saptanmıştır (URL-3). Bu durumlara bağlı olarak ise içme suyu, kimyasallar, sıkıştırılmış gazlar, atık su gibi endüstriyel malzemelerin taşınması noktasında HDPE kullanılmaya başlanmıştır. Aynı zamanda aynı özelliklere sahip olan diğer boru malzemeleri ile karşılaştırıldığında boru montajının uzunluluğu ve onarım işlerimleri açısından daha düşük maliyetli olduğu gözlenmiştir. PE boruların endüstri ve üretimde kullanılmasına neden olan geri dönüşüm, mekanik ve ekonomik nitelikler, kimyasal özellikler, eşit ve yağ direnci gibi oldukça fazla etken söz konusudur.

2.6.1 Ekonomik açıdan

HDPE kimyasal tepkimeye girmemektedirler. Benzersiz kimyasal direnci ve kristal yapısı, kimyasal bileşik ve neme olan dirençlerine bağlı olarak sterilize nitelikleri bulunan tıbbi araç gereç, gama ışınlarının imlatı ve çeşitli türlerde sıvıların taşınması adına boru üretimi gibi çeşitli ekonomik uygulamalarda ve alanlarda kullanılmaktadır. En önemli nokta ise söz konusu malzemelerin ekonomik olarak uygun maliyetli olmalarıdır (Kadhim, 2017).

2.6.2 Kimyasal kullanım avantajları

HDPE'nin korozyona karşı oldukça dayanaklı bir yapıda olmasının temel nedeni moleküler yapısının uzun zincirlerden oluşmasına ve esnekliğine bağlıdır. Belirtilen bu niteliği ile HDPE diğer polietien çeşitlerinden farklılaşmaktadır. Aynı zamanda söz konusu nitelikler PE boru imalatında ve kimyasal sanayide kullanım avantajlrı ortaya koymaktadır (Gabriel, 1998).

2.6.3 Termal iletkenlik derecesi

Endüstride HDPE 0,44 W / m. K termal iletkenliği (Tarani vd., 2017) sebebiyle farklı tipteki sıvıların aktarılması aşamasında önemli bir unsurdur. Bunun nedeni ise ısı derecesi yükseldikçe termal iletkenliğin azalış göstermesidir (Tavman vd., 2011).

Düşük sıcaklık iletlenliğinden kaynaklı olarak HDPE'ler iyi bir yalıtım ürününe sahiptirler. Aşağıda yer alan örnekte Q ısı kaybını hesaplayarak bir metre (L=1 m) uzunluğa sahip boru üzerinde ısı iletkenliğinin etkisi ölçümlenebilmektedir.

$$Q = \frac{T_1 - T_2}{\ln \frac{R_2}{R_1}} \Big/ \frac{}{2.\pi.K.L} \qquad (2.1)$$

R1 ve R2 borunun iç- dış çapları; T1 ve T2 iç- dış sıcaklığı ve boru ısı iletkenliği K olması halinde PE 100 olmaktadır. Gerçekleştirilen ölçümün nedeni ise boru izolasyonunda termal iletkenlik etkisini meydana getirmektedir.

2.6.4 Asit direnç özelliği

HDPE'ler 1,5 < pH <14 aralığında bir değere sahip olup agresif toprak ve galvanik korozyona yönelik bariyer oluşturmaya gerek olmaksızın metal borulara alternatif çözüm sağlamaktadır (Gabriel, 1998).

2.6.5 Pürüzlülük değeri

HDPE'nin iç yüzeyinin kaygan bir yapıya sahip olmasından kaynaklı olarak drenaj sularının aktarılması aşamasında HDPE'nin kullanılması en uygun yöntemdir. HDPE'lerin pürüsüzlük değerleri 0,010-0,013 arasında olmasından kaynaklı olarak sürtünme düzeyi oldukça düşüktür. Buna bağlı olarakta suların aktarılması aşamasında HDPE en uygun yöntemdir.

2.6.6 Yağa dayanıklılık direnci

HDPE'lerin kimyasal yapıya sahip olması, metalik içermeyen bileşenlerden üretilmiş olması ve korozyon direncinin yüksek olmasından kaynaklı olarak HDPE, çeşitli sıvıların aktarılması noktasında yaygın olarak kullanılan bir boru türüdür. HDPE atomlarının nötr kimyasal bileşimi sayesinde organik ve inorganik maddelerin kimsayal içerikleri ile etkileşime geçmemesi HDPE'nin metal ve beton borularına kıyasla daha kullanışlı olduğu ortaya koymaktadır. Aynı zamanda HDPE boruları 50 yıldan daha uzun süre kullanım için tasarlanarak üretilmektedir (Gabriel, 1998).

2.6.7 Geri dönüşüm alanı

1988 Plastik Endüstrisi Derneği HDPE'nin geri dönüşüm polimeri olduğunu ifade etmektedir. Geri dönüşümüne olanak tanınan plastik çeşitlerinin açıklanması adına kullanılmakta olunan sınıflandırma, kod (SPI kodu) ve terimleri veya tüm plastikler için verilmekte olan numarayı içermektedir (Ryedale District Council, 2014).

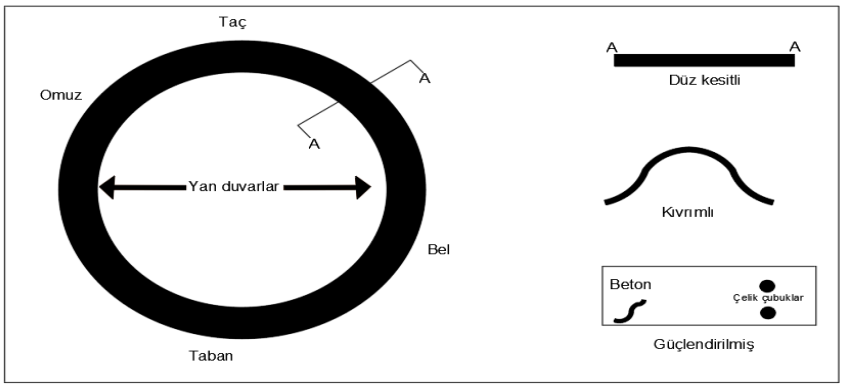
HDPE oldukça güvenli olmakla birlikte kimyasal reaksiyona girmemesinden kaynaklı olarak yiyecek ve içeceklere kimyasal bir geçişi bulunmamaktadır. HDPE imalat edilmekte olunan maddelerin kutu, şişe, motor yağı, süt, su, gaz ve petrol borularından kullanılmakta olduğu belirtilmektedir (Gabriel, 1998).

2.6.8 Korozyona karşı direnç

Metal boru sistemlerinin temel problemlerinden biri korozyondur. Korozyon metal boruların her iki uçunuda etkileyerek borunun korunması adına koruma kılıfları vs. çözümlere odaklanılmasına ve artı maliyetlere neden olmaktadır. Ancak HDPE polimer yapısı ve biyolojik yapısının güçlü olmasından kaynaklı olarak korozyon ve paslanmaya karşı korunma gereksinimi içermektedir. Bu durum ise uzun süreli bir kullanım ve uygun maliyeti ifade etmektedir.

2.7 Yüksek Yoğunluklu Polietilen Esnek Boruların Mühendislik Özellikleri

Yaygın olarak kullanılan halkasal kesitli boruların geometriksel olarak kısımları şekildeki gibidir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. Gömülü boruların bölgelerin bölümleri (Bashir, 2000).

Tepede bulunan tarafa taç, yan duvar ile taç arasındaki taraf a omuz, bel ile taç arasında tarafa yan duvarlar, alt tarafa ise taban denilmektedir. Boruların şekil değiştirme ve dayanımları açısından 5 önemli değişken vardır. Bunlar;

E= Boru malzemesinin Young Modülü

υ = Poisson Oranı

I = Atalet Momenti

A = Kesit Alanı

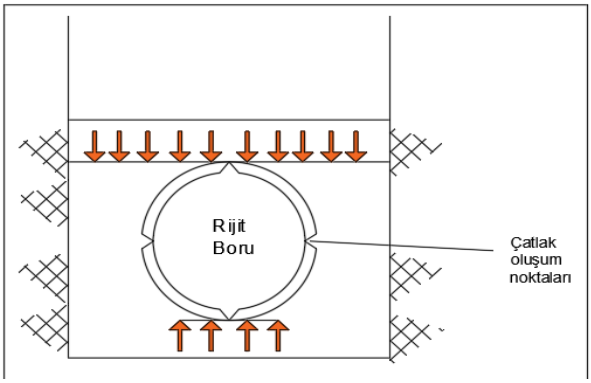
r = Yarıçapı

D = Boru Çapı

Bu değişkenler borunun dayanımını, kullanım süresini ve gömülü ortamdaki nemden dolayı oluşan korozyonun meydana gelmesini tayin etmektedir. Borunun eğilme rijitliği (EI/D^2), borunun çembersel rjitliği (EI/D^3) ve atalet momenti $I = t^3/12$ formülleriyle hesaplanmaktadır.

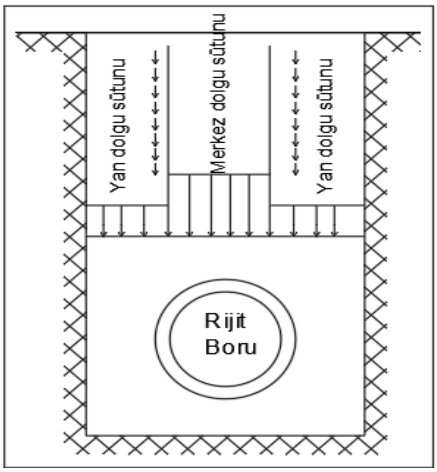
2.7.1 HDPE borularda rijitlik ve esneklik

Rijit borular genellikle çaplarında %2'den daha çok farklılık yakaladığında hasara uğrayan borular şeklinde tanımlanabilir. Dolgudan dolayı gelen yükü olduğu gibi aktarırlar. Şekil 2.7'de görüldüğü üzere aktarma sırasında deformasyona maruz kalamayan boru, fazladan kuvvet etki ederse bazı yerlerinde çatlamalar meydana gelir daha sonrasında da kırılmalar başlar (Yavuz, 2011).



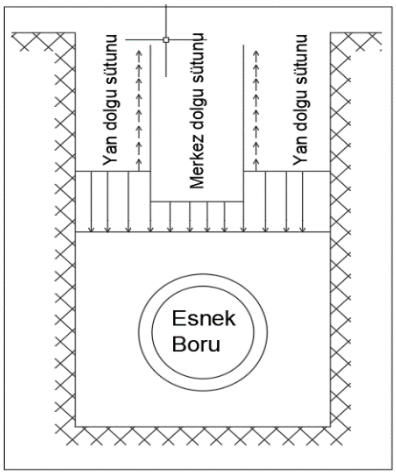
Şekil 2.7. Rijit boruların gömülü ortamda kuvvet iletimi.

Marston'un yük teorisinde; gömülü bir ortamdaki borunun etrafına ortam şartlarına uygun bir malzeme kullanılmaz ise dolgu yükü de boruya aktarılır. Şekil 2.8'de görüldüğü üzere yani borunun etrafındaki dolgu boruya nazaran daha fazla sıkışabilirse zemine aktarılacak yükte boruya aktarılmış olur (Najafi, 2005).

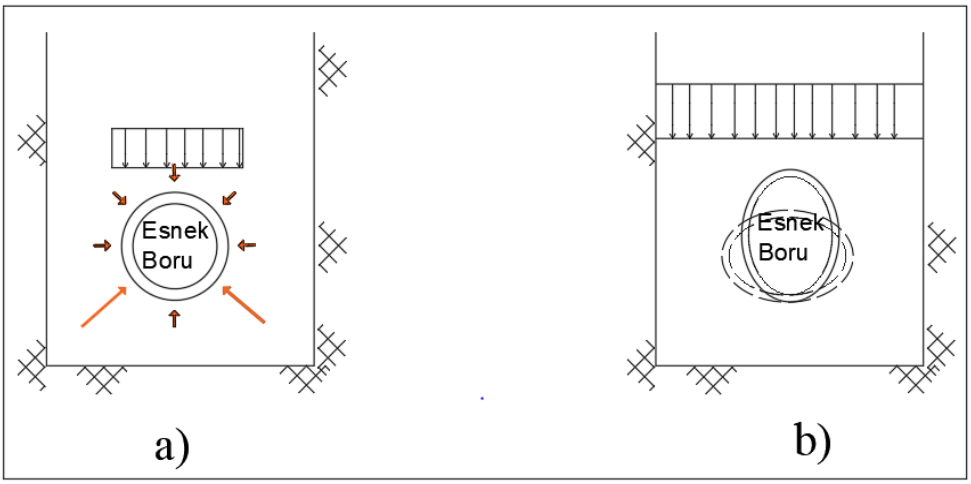


Şekil 2.8. Gömülü ortamda rijit boruya etkiyen dolgu yükleri. (Najafi, 2005).

Esnek borular, rijit borulara kıyasla daha çok avantaj sağlarlar. Eğer gömülü oldukları ortamda gerek zemin olarak gerekse yerleşim olarak düzgün bir şekilde yerleşim sağlanırsa rijit borulardan çok daha fazla dip kısma gömülebilirler. Nedeni ise esnek boru gömülü olduğu ortamdaki malzemelere göre daha fazla sıkışma göstermesidir. Şekil 2.9 ve Şekil 2.10'da görüldüğü üzere görüldüğü üzere merkez dolgu sütunu ile yan taraflarında bulunan dolgu sütunları arasındaki yerleşimden kaynaklı oluşan sürtünmeden dolayı boruya etki eden yükte az bir oranda olsa azalma oluşturmaktadır (Najafi, 2005).



Şekil 2.9. Gömülü ortamda esnek boruya etkiyen dolgu yükleri. (Najafi, 2005).

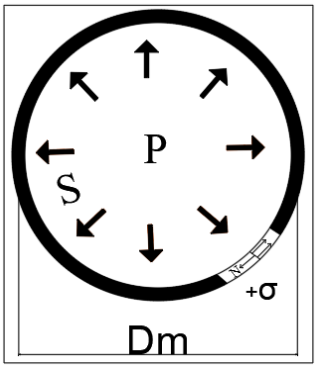


Şekil 2.10. Gömülü ortamda esnek borunun davranış şeması

a) Kuvvet dağılımı

b) Deformasyon şekli

Şekil 2.11 ve Şekil 2.12'de gösterildiği gibi HDPE borular esnek olduklarından dolayı yük altında deformasyon gösterebilirler. Dolgu malzemesinin türü, rölatif sıkılığı vb. sebeplerden kaynaklı olarak bazen enine uzama boyca kısalma, bazende enine kısalma boyuna uzama gösterebilir.



Şekil 2.11. Boruların içinde hidrostatik basınç olduğu durumlarda et kalınlığının hesaplanması.

$$N=\frac{pD_m}{2} \quad (2.2)$$

D:Ortalama çap

N: Kuvvet

p: İç basınç

$D_m = \frac{D+d}{2} =$ D-s (2.3)

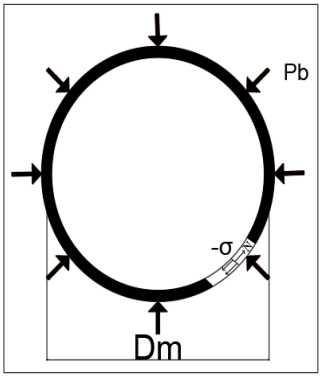
Boru cidarındaki gerilme;

$$\sigma = \frac{pD_m}{2s} \quad (2.4)$$

Et Kalınlığı

$S = \frac{pD_m}{2\sigma}$ formülüyle hesaplanır. (2.5)

(http://www.dizayngrup.com/kataloglar/altyapi/sebeke-borulari.pdf).



Şekil 2.12. Borularda dış hidrostatik basınç olduğunda et kalınlığının hesaplanması.

Dış hidrostatik basınç olması durumunda,

$$N = \frac{P_b D_m}{2} \quad (2.6)$$

Basma gerilmesi,

$$\sigma=\frac{P_b D_m}{2} \quad (2.7)$$

Burkulma durumu,

$$\sigma_b=\frac{\mathrm{E}}{1-\nu^2}\left[\frac{s}{D_m}\right]^2 \quad (2.8)$$

Gerilmeyi oluşturan basınç,

$$P_b=\frac{2\mathrm{E}}{1-\nu^2}\left[\frac{s}{D_m}\right]^3 \quad (2.9)$$

2.2, 2.3, 2.4, 2.5, 2.6, 2.7, 2.8, 2.9 eşitliklerindeki formüllerle hesaplanmaktadır.

Burda;

E: elastik modülü

ν: poisson oranı

s: et kalınlığı

Dm: ortalama çap.

Teknolojinin çok hızlı bir şekilde gelişimi ile beraber hammadde üretiminde de ciddi gelişmeler kaydedilmiştir. Artan talepler ve teknik özellikleri gereği sahip olduğu avantajları PE'in farklı şekillerde üretimine ve geliştirilerek pek çok alanda kullanımına sebep olmuştur. Öncelikle, düşük yoğunluklu olarak sadece gaz ve su borusu formunda kullanılan PE zamanla söz konusu bu gelişim ile birlikte yüksek mukavemeti, hafifliği ve ekonomikliği sebebi ile HDPE olarak sektörde yerini almıştır. Günümüzde ise PE 125 üzerine çalışmalar halen devam etmektedir. PE 100 olarak tanımlanan ürünün çevresel gerilme (σ) olarak nitelendirilen değer, aslında 10,0 MPa'ı ifade etmektedir (URL-4; URL-5). PE 100 boruların sektör içerisindeki kullanım alanları maddeler halinde sıralamak gerekirse:

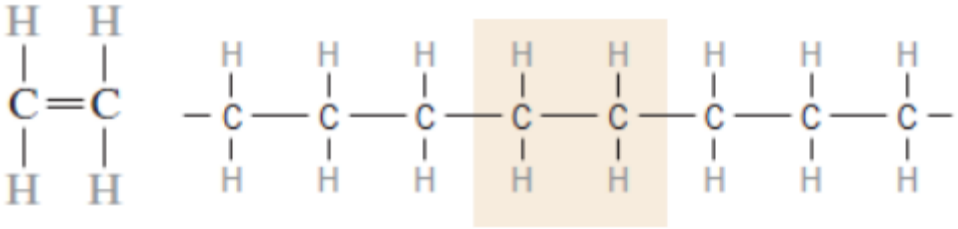
- İçme, kullanma suyu ve atıksu şebekelerinde,

- Deniz deşarj sistemlerinde,
- Kanalizasyon sistemlerinde,
- Drenaj sistemlerinde
- Tarımsal sulamada,
- Petrol hatlarında
- Telekomünikasyon ve kablolama sistemlerinde vb.

PE 100 borunun hafiflik, ekonomiklik ve yüksek mukavetine ilişkin yukarıda belirtilen avantajlarının yanı sıra diğer üstünlükleride aşağıda sıralanmaktadır:

- Minimum 50 yıl servis ömürlü olması,
- Esnek yapısı,
- Çatlama ve darbe direnci yüksek olması,
- Yükleme, taşıma ve döşeme işlemlerinin kolay olması,
- Yüksek korozyon ve aşınma direncine sahip olması,
- Zemin ortamı içerisindeki aşındırıcı maddelerden etkilenmemesi,
- İç yüzeyinin pürüzsüz oluşu ve akışa yönelik hesaplamalardan elde edilecek veriler ile tasarım esnasında beraberinde getirdiği ekonomiklik,
- Ultraviyole ışınlarında etkilenmemesi,
- Bağlantı ve birleşim adımları kolay ve çabuk olması,
- Çok farklı basınç sınıflarında çeşitlilik ve talep edilen duruma göre üretim kolaylığı,
- Donmaya karşı dayanıklı oluşu,
- Mikroorganizmalara karşı dirençli olması,
- Tatsız ve kokusuz olması,
- Yumuşak zemin ve deprem bölgelerinde rijit borulara göre daha emniyetli olması gibi avantajlara da sahiptir (Çelikkan, 2011).

Yukarıda sıralanan üstünlüklerin sebebi olarak PE malzemenin kimyasal yapısı öne çıkmaktadır. PE zincirin yapısı Şekil 2.13'de gösterildiği gibidir.



Şekil 2.13. Etilen monomeri ve polietilen zinciri (Çelikkan, 2011).

HDPE 100 boruların birleştirilmesi için en sık uygulanan yöntemler ise sıcak alın ve elektrofüzyon kaynak metotları olarak öne çıkmaktadır. Değişken et kalınlıkları veya farklı tipte HDPE boruların elektrofüzyon kaynak metodu kullanılmaktadır. Benzer et kalınlıklı ve türde HDPE boruların birleştirilmesinde ise sıcak alın kaynak tercih edilmektedir (Akkurt, 2013; Uzun ve Kocaman, 2018).

2.8 Önceki Çalışmalar

Esnek borular da rijit borularda olduğu gibi jeotermal enerji dağıtım şebekelerinde, termik ve nükleer santral soğutma ünitelerinde ve sıcak suyun transfer edildiği akla gelebilecek her sektördeki üretim tesislerinde kullanılmaktadır. Bu nedenle, değişken ısı koşullarında söz konusu bu boruların mühendislik özelliklerinin belirlenmesi ve servis ömrü boyunca sergileyeceği davranışlarının tespit edilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu tez kapsamında hendek ortamına gömülü HDPE borular, değişken sıkılık durumları altında (%50, %60 ve %70 rölatif sıkılık), -7°C, 26°C ve 50°C sıcaklık koşullarında düşey gerilmeye tabi tutulmuştur.

Sıcaklık etkisinin farklı sıkılık kondisyonlarındaki performansı değerlendirilmiştir. Bu kapsamda güncel kaynaklarda tez çalışmasına yakın görülen bazı araştırmalar aşağıda verilmiştir.

Al-Sadati ve Ghazizadeh (2019) HDPE boruların sıcaklık koşullarına ilişkin gösterdiği esneklik artışlarını araştırmışlardır. Krishnaswamy (2005) ise su dağıtım şebekelerinde boru hattı boyunca gözlemlenen boyuna çatlakların nasıl meydana geldiğini incelemişlerdir ve HDPE boruların sıcaklık artışı ile birlikte sünekliğinin de arttığını belirtmişlerdir. Ayrıca araştırmada, bu davranışın HDPE boruların viskoelastik – termoplastik özelliklerini de etkilediği vurgulanmıştır.

HDPE boru numuneleri üzerinde -10°C ve 70°C sıcaklıklar arasında çekme testinin uygulandığı bir başka çalışmada ise sıcaklığın -10°C'tan 70°C'a yükseltildiğinde akma dayanımı da 32 MPa'dan 9 MPa'a düştüğü gözlemlenmiştir (Merah vd., 2013).

Literatür ve standartlar tarandığında HDPE boruların termal karakteristiğe yönelik davranışları genellikle çekme testleri ile sınanmıştır ve büyük oranda mekanik bakımdan incelemeler yapılmıştır. Bu çalışmada ise esas hedef HDPE borunun yük altındaki söz konusu bu davranışlarının geoteknik esaslar çerçevesinde incelemektir. Sonuç olarak, malzeme sünekliğinin termal etkilere bağlı karakteristiklerinin hendek ortamında test edilmesi, ortam sıcaklık koşullarının değişiminin davranışa olan etkilerinin daha iyi anlaşılmasını sağlamaktadır.

Bu çalışmalar beraberinde benzer diğer çalışmalar literatür verileri aşağıda yer almaktadır.

Boruların gömüldüğü ortamda çalışma yapan Mehrjardi vd. (2012) daha önceden parçalara ayrılmış lastik parçalarını zeminle beraber harmanlayarak tekrarlı yükler altında borunun hareketini irdelemiştir. Lastikler 2 (kıyılmış, ufalanmış) değişik şekilde parçalanmış olup 3 farklı nicelikte (%5, %10, %20) zeminle beraber karıştırılmıştır. Deney düzeneği geocell ile güçlendirilerek dört defa değişik şekilde gerilme gerçekleştirilmiştir. Buna bağlı olarak ufalanmış lastik parçalarının zeminde sürekli yük etkisinde daha fazla gerilme davranışı göstermiştir. Deneylerde borunun gömüldüğü derinlik artıkça borunun radyal yüzey çapında küçülme görülmüştür. Bunun yanında derinlik artıkça boruya etkiyen yükte azalma meydana geldiğinden boru daha az etkilenmiş olur.

Abdulaliyev vd. (2015) pek çok alanlarda kullanılan gömülü borular üzerlerine gelen yük neticesinde gerilme hareketlerinin detaylı bir şekilde irdelenmesi isteminde bulunan araştırmacılar çalışmalarında iç basıncı sıfır olan, halka kesit ve gömülü zeminlerdeki borularda gerilme tahlilinde fotoelastisite yönteminden yararlanılmıştır. Yapılan araştırmada sisteme gelen ağırlık, dış ortamdan gelen yük ve basınç tesirlerinin oluşturduğu etkiler incelenmiştir. Yapılan sistem ile fotoelastik şeritlerle beraber halkanın iç ve dış kenar kısımları uzunluğu kadar asal gerilmelerdeki değişim parametrelerine ulaşılmıştır.

Değişken olarak sıkılığı ele alan ve kumlu zemin ortamlarında deneyler yapan Rajkumar ve Hamparuthi (2008), gömülü olan PVC boruların yük altındaki davranışlarını incelemişlerdir. Yapılan deneyleri geogrid güçlendirmeli ve geogridsiz şeklinde yapmışlar. Deneyler neticesinde deney düzeneğine geogrid desteginin verilmesinin boruya taç kısmında mukavemet artırımının sağlandığı gözlemlenmiştir.

Yapılan araştırmalar ile rijit ve esnek boruları, sekil değişimine ve zamanla değişen davranış tarzları bakımından karşılaştırmışlardır (Terzi ve Yıldırım, 2009). Birden fazla açıdan değişkenlikler gösterdiğini, borunun yerleştiriliş biçimine, gelen yüke ve geri dolgu malzemesinin yük altındaki borunun deformasyonunda etkin rol oynadığını savunmuşlardır. Deneyde 100 mm yarıçapındaki bir HDPE esnek borunun düşey yükler altındaki hareketleri laboratuvar ortamında deney düzenekleri sağlanarak araştırılmıştır. Düzenek şişebilen membran yastıklar, yağmurlama sistemi ve konum ölçerler ile meydana getirilmiştir. Analiz program yardımıyla deney sonuçları karşılaştırıldığında geri dolgu malzemesinin boru davranışından önemli bir faktör olduğu ortaya çıkmıştır.

Termal etkilerin HDPE esnek borular üzerine olan etkilerinin nümerik analizlerde araştırıldığı çalışmalar aşağıda yer almaktadır.

Khademi-Zahedi ve Alimouri (2018) elektrofüzyon tipi HDPE boru birleşimleri üzerine yaptıkları araştırmalarda, zemin – yapı etkileşimi, trafik yükleri, zemin yükü, iç ve dış basınç koşulları veya mevsimsel sıcaklık değişimlerine bağlı olarak boru birleşim bölgelerinde değişken lokal gerilmelerin oluşumunu incelemişlerdir. Çalışma ANSYS yazılımı ile nümerik analizler yapılarak yürütülmüş olup soket üzerindeki gerilme dağılımlarını esas almaktadır. Sıcak iklimlerde kullanılabilen gömülü PE 80 MDPE ve HDPE gaz boruları üzerinde gerçekleştirilen analizler sonucunda optimal gömme derinliği 1,25 m olarak belirlenmiştir. Ayrıca, birleşim bölgesi üzerine uygulanan yama işlemi sonucunda kayda değer bir güçlendirme etkisi gözlemlenmiştir.

Zamana bağlı sıcaklık etkilerinin HDPE boru davranışı bakımından incelenmesi üzerine pek çok çalışma yürütülmesine karşın boru termal genleşmesinin ihmal edilmesini vurgulayan başka bir çalışmada HDPE gömülü borular, zemin yükü altında

ABAQUS programı ile nümerik analiz yapılarak araştırılmışlardır (Li vd., 2012). Analizler sonucunda termal etkiler neticesinde oluşan gerilmelerin en az zemin yükü kadar önem taşıdığı belirtilmiştir.

Yine bir başka çalışmada, doğrusal olmayan sonlu elemanlar programı Z-Soil ile 30, 40, 50, 60 ve 70°C'lik öngörülen sıcaklıklardaki su ortamına batırılmış ve gerilme altındaki HDPE borular için sekant deformasyon modülleri ve akma mukavemetleri belirlenmiştir. Analizler sonucunda 30°C ve 70°C'lik sıcaklık ortam koşulları arasında yüzey basıncı ve iç basınç performanslarının yüksek olduğu gözlemlenmiştir (Alawaji, 2007).

Termal etkilerin bakımından HDPE boru davranışının değişmesinde rol oynayan etkenlerin yer aldığı pek çok çalışma, literatürde deneysel olarak incelenmemiştir. Bu çerçevede bu yüksek lisans tezinde ise sıcak ve soğuk ortam koşullarının oda koşullarına göre boru davranışına nasıl bir etkide bulunduğu araştırılmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

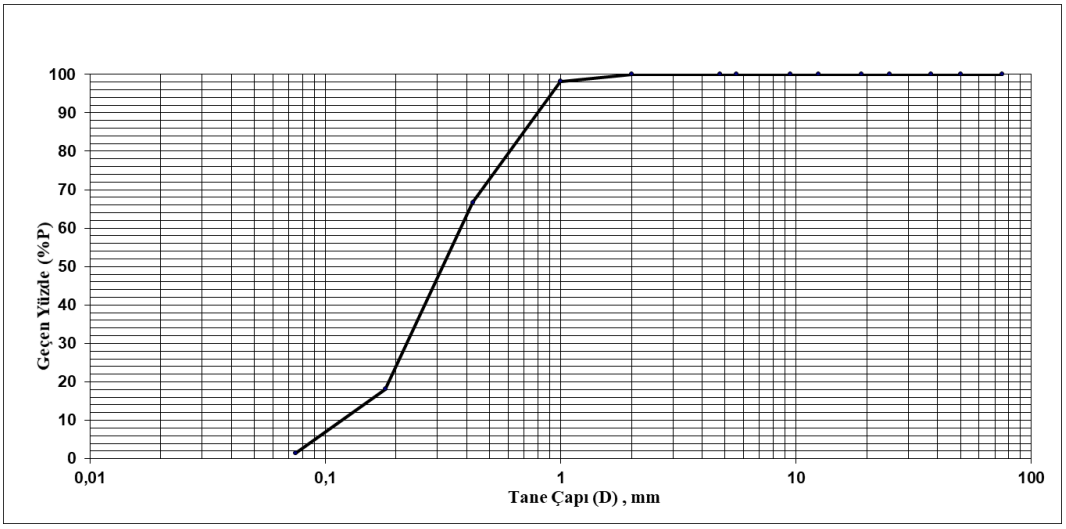
Çalışma kullanılan malzemelerin mühendislik özellikleri ve deneylerin sürdürülmesinde izlenen yöntemler bu bölümde anlatılmıştır. Materyallerin teknik özellikleri, ısıtma ve soğutma uygulamalarının tesisatı, ölçüm düzeneğinin kurulumu, veri toplama ve değerlendirmeler üzerine ayrıntılı açıklamalar aşağıda yer almaktadır.

3.1 Malzeme Özellikleri

3.1.1 Hendek ortamı ve Şile kumu

Şile kumu saf silis içeren ve yerleştirildiği ortamda homojen olarak dağılan, aynı zamanda yerleştirmesi ve sıkıştırması kolay bir kum türdür. İstanbul Şile sahilinde bulunan tesislerden temin edilen bu kumun mühendislik özellikleri firma araştırma – geliştirme laboratuvarlarından onaylı raporlar ve Aksaray Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik Laboratuvarları'nda yapılan testler ile belirlenmiştir.

700 mm eninde 700 mm yüksekliğinde ve 500 mm genişliğinde rijit bir deney kutusu içerisinde oluşturulmuş hendek ortamı içerisinde yataklama malzemesi ve dolgu olarak yerleştirilen Şile kumunun granülometri eğrisi Şekil 3.1'de, mühendislik parametreleri ise Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Şile kumu elek analiz sonuçları.

Elek analizi sonucunda numune bünyesinde yaklaşık olarak %0,1 kil ve silt, %99,9 kum bulunmaktadır. Deney sonuçlarına istinaden numune USCS (Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi) zemin sınıflandırma yöntemine göre kötü derecelenmiş kumlu zemin (SP) olarak tayin edilmiştir.

Çizelge 3.1. Şile kumunun mühendislik özellikleri.

Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi'ne (USCS) göre	SP
Özgül Ağırlık ($G_{s)}$)	2,65
Doğal Yoğunluk (γ_n)	16,3 kN/m^3
İçsel Sürtünme Açısı (ϕ_n)	36°
Elastisite Modülü (E_n)	46 MPa

3.1.2 HDPE boruların mühendislik özellikleri

Hammadde teknolojisi üzerine yapılan çalışmaların hızla ilerlemesi ve 1990'ların başında geliştirilen üçüncü nesil PE borular içme ve kullanma suyu şebekelerinde, doğal gaz ve petrol hatları vb. alanlarda kullanılmaktadır. Fiyat performans açısından maliyetine göre yüksek dayanım ve uzun servis ömrü avantajına sahip olan bu materyal pek çok yönden dikkat çekmektedir. Bu bağlamda, yüksek esneme yeteneğine sahip olan, montajı kolay, kopma uzama direnci yüksek, yeraltı hareketlerinden minimum ölçüde etkilenen, kırılma karakteristiği içermeyen, darbeye karşı mukavemet ve çatlak yayılma direnci bakımından yüksek dirençli bu borular boru hattı uygulamalarının hakim olduğu sektörlerde çok yaygın bir şekilde karşımıza çıkmaktadır (Erenson vd., 2019; Erenson, 2020).

Bu yüksek lisans tez çalışmasında kullanılan borular; boru çapı, eğriliği, et kalınlığı, PE içeriği vb. etmenlere ilişkin kalite ve uygunluk kriterlerine tabi olacak şekilde temin edilmiştir. İlgili kalite ve uygunluk testleri boruların temin edildiği firmanın ARGE laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Kontroller sonucunda boruların, malzeme özellikleri Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.2. HDPE borunun mühendislik özellikleri.

E (Elastisite modülü)	900 MPa
ν (Poisson oranı)	0,42

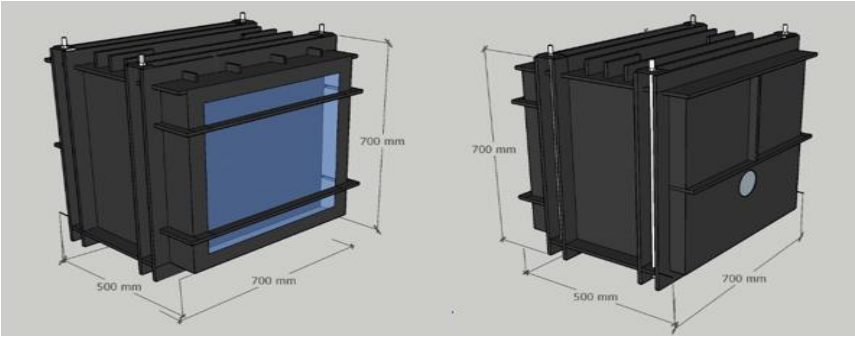
Çizelge 3.3. Polietilen hammaddesinin kimyasal karakteristikleri (Kuzeyboru, 2018).

Yoğunluk (gr/cm³)	0,945 – 0,965
Üretim Basıncı (atm)	700
Üretim Sıcaklığı (C°)	<100
Dallı Molekül Zinciri Miktarı (adet /1000)	4 – 5
Kristal Yapı Oranı (%)	90
Şeffaflık Oranı (%)	90 – 95
Erime Noktası (°C)	135
MFI 5 Kg/ 190 °C (g/10 dk)	0,22 – 0,60
23°’ de Kopma Gerilimi (MPa)	>21
23°’ de Elastikiyet Modülü	>600

Çalışmada kullanılan borular 280 mm çapında olup 9,8 mm et kalınlığındadır. Borular laboratuvara 1500 mm parçalar halinde getirilmiş olup dekupaj testere vasıtasıyla kutu derinliği (500 mm) ölçüsünde kesilmiştir.

3.2 Deney Kutusu ve Ortam Koşulları

Şekil 3.2’de görüldüğü üzere Yüksek lisans tezi kapsamında sürdürülen deneyler, literatür taraması ve standartlar doğrultusunda metodolojik olarak referans alınarak yürütülmüştür.



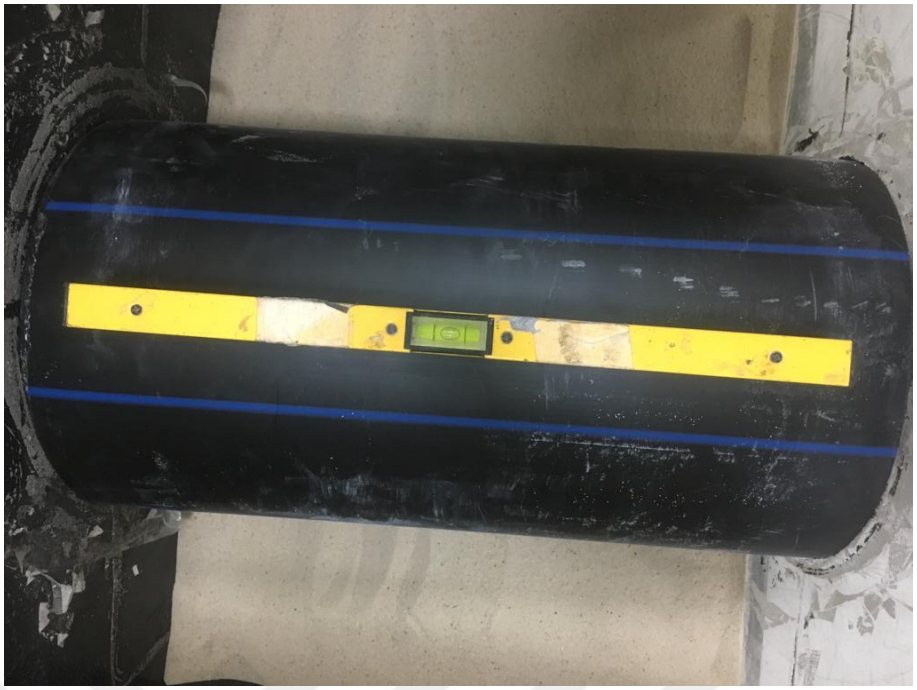
Şekil 3.2. Deney kutusu

Zemin–boru ilişkisinin araştırıldığı çalışmalarda edinilen tecrübelere istinaden deney kutusu derinliği, boru çapının 1,5 katı olacak şekilde belirlenmiştir (Laidlaw, 1999; Terzi, 2007). Laboratuvar deneylerinde 280 mm çaplı boruların kullanılmış olup, ASTM D2321 standardında çalışma için 640 – 690 mm arası genişlik uygun görülmektedir. Buna bağlı olarak deneylerde kullanılan rijit kutu genişliği 700 mm genişlikte olduğundan sınır koşulları açısından herhangi bir ihlal ortaya çıkmamıştır (Çizelge 3.4).

Çizelge 3.4. ASTM D 2321'e göre hendek genişliğinin en küçük olduğu durum.

Boru Dış Çapı (mm)	**ASTM D 2321 (mm)**
120	530
177	580
233	640
287	690
356	760

Sonsuz zemin ortamının yansıtıldığı deney setleri Şekil 3.3'te gösterilmiştir. Gerinim pulları ile donatılmış borular, 150 mm yükseklikli ve %70 rölatif sıkılıktaki yataklama tabakası üzerine yerleştirilmektedir. Daha sonra yataklama tabakası üzerine yerleştirilen borunun hat düzgünlüğü su terazisi yardımı ile kontrol edilmektedir. Kutu ön ve arka yüzü ile olan temas bölgeleri kumun sızmaması için silikon ile kapatılarak sabitlenmektedir.



Şekil 3.3. HDPE borunun yerleşimi.

Yerleşimin akabinde, üstdolgu 10’ar cm’lik tabakalar halinde belirlenen sıkılık değerleri için sıkıştırılarak doldurulmuştur. Kutu üst seviyesine ulaşıldığında, gerilme ve ölçüm düzeneği yerleştirilerek veri toplama ünitesine bağlanmaktadır.

Saha şartlarının laboratuvar ortamında temsil edilebilmesi için geometrik özellikler ASTM D2321 standardına uygun nitelikte seçilmiştir ve deney kutusu boyutları buna bağlı olarak belirlenmiştir. imal edilmiştir. Gerçek sınır koşullarının, diğer bir deyişle sonsuz zemin ortamının mümkün olduğunca yansıtılabilmesi için boru çapı, yataklama seviyesi, gömme derinliği, boru-kutu duvarlar arası mesafe gibi sınır şartları standartlar ve literatürde belirtilen kaynaklarca dikkate alınmıştır.

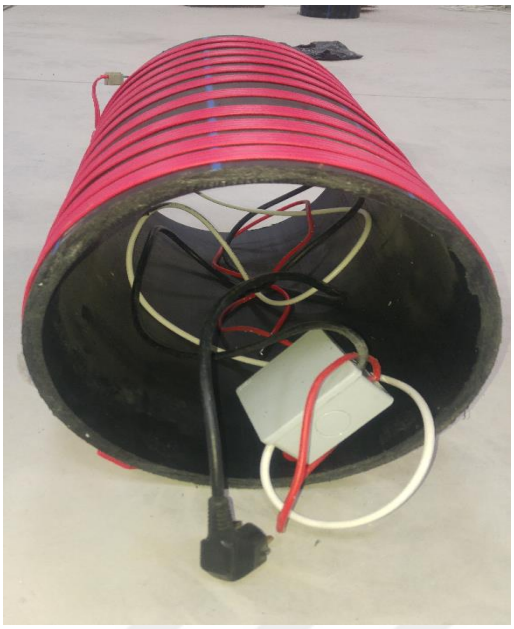
Gerilme Sistemi; gerilme sistemi, rijit kutu içerisine yerleştirilen dolgu zemin üzerine konuşlandırılmış yassı kesitli lastik membrana hava basıncı uygulayarak gerçekleştirilmiştir. Gerilme esnasında, 12 bar (1200 kPa) kapasiteye sahip bir kompresör söz konusu membrana 60 saniyede bir olmak üzere kademeli olarak basınç uygulamaktadır. Her bir gerilme adımında 0,5 bar artırım, kademeli olarak etkitilmiştir ve deformasyonlar sabitlenene ve zemin ortamında gerilmeler sönümlenene kadar sürdürülmüştür. Bir sonraki kademede de aynı işlem adımları takip edilerek gerilme adımları devam ettirilmiştir.

İlgili basınç büyüklükleri, lastik membrana entegre lastik basınç göstergesi vasıtasıyla okunmuştur. Eş zamanlı olarak deformasyon değerleri de veri toplama ünitesi yardımı ile alınmıştır. Sistem ve büyüklükleri anlık ileten göstergeler bir kamera ile kayda alınarak zaman bazlı eşleştirilmiştir. Daha sonra gerilme ile deformasyon verileri eşlenerek grafikler ve tablolara dökülmüştür. Üstdolgu üzerine oluşturulan gerilme düzeneği Şekil 3.4'te verilmiştir.



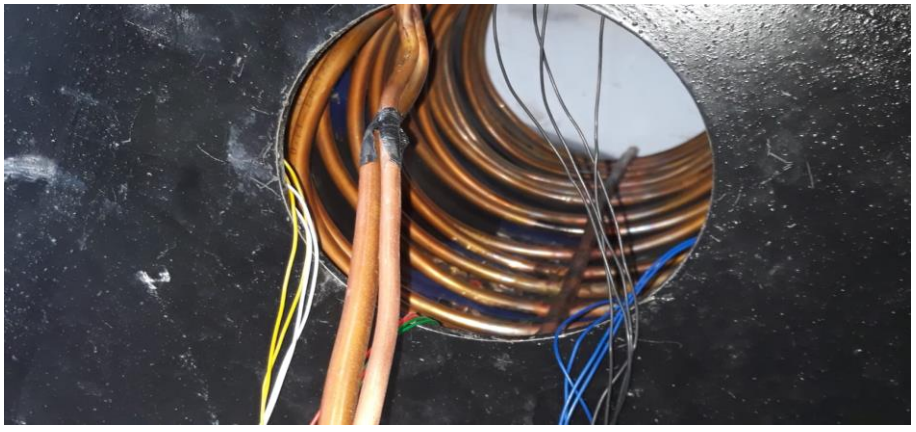
Şekil 3.4. Gerilme düzeneği.

Isıtma Düzeneği; Boru numuneleri üzerine uygulanan sıcaklık etkisi ısıl bantlar yardımı ile etkitilmiştir. Isıl bantlar üzerine yerleştirilen bir sıcaklık sensörü kontrol paneline bağlıdır ve 50°C sıcaklık değerine gelince sabitlenmektedir ve düşey gerilme bu ortam sıcaklığı altında başlamaktadır. Sistemin görüntüsü Şekil 3.5'te gösterilmiştir. Deney süresince ısıl bantlar sürekli olarak çalışmakta ve ortamı 50°C sıcaklıkta sabit tutmaktadır.



Şekil 3.5. Isıtma sistemi ve kontrol paneli.

Soğutma Sistemi -7°C koşulun sağlanması için ise bükülmüş bakır borular kullanılmıştır. Bakır borular, bir iklimlendirme cihazına (klima) bağlı olarak sistem içerisinde yer almaktadır. Klima üzerinde bulunan kontrol paneli -7°C'ye ulaştığı sıcaklık ortamında deneyler gerçekleştirilmiştir. Deney süresince ortam koşulları -7°C'ye sabitlenerek gerilme sürdürülmüştür. Boru içerisine yerleştirilen soğutma sistemi Şekil 3.5'te, kontrol paneli Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.6. Bakır borular ve soğutma sistemi.

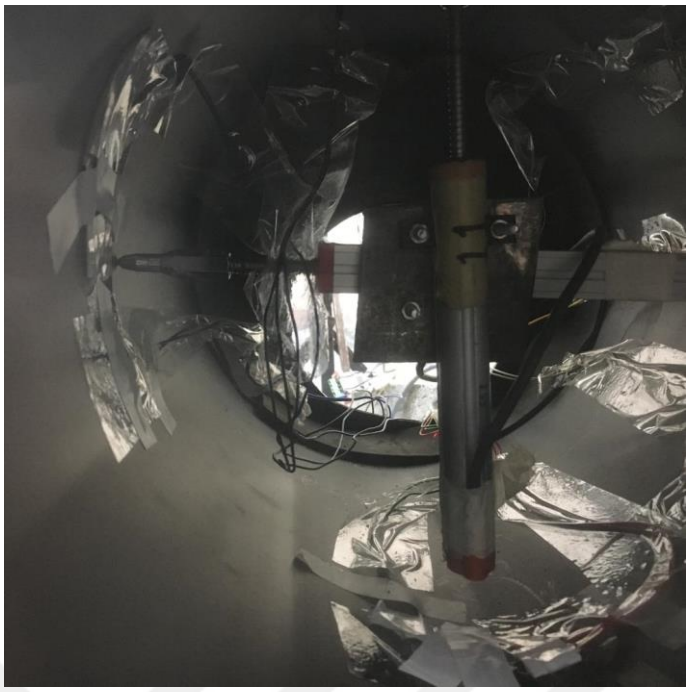


Şekil 3.7. Soğutma sistemi kontrol paneli.

Ölçüm Sistemi; Boru uzunluğunun orta noktasından (250 mm) taç ve bel bölgelerinin deplasman değerleri potansiyometrik cetveller vasıtasıyla elde edilmiştir. Taç kısmın düşey deplasmanı ve bel kısmının yatay deplasmanına ait mekanik ölçümler konum sensör kabloları ile veri toplama ünitesinde kaydedilmiştir. Taç, her iki bel ve taban bölgelerinde oluşan eğilme momentleri, gerinim pulu adı verilen ölçerler yardımı ile okunmuştur. Voltaj değişimlerinin birim şekil değiştirmeye dönüştürülmesi ile belirlenen hesaplamalarda boru orta kesitindeki eğilme momentleri belirlenmiştir. Belirlenen birim şekil değiştirme (ε) değerleri, borunun elastisite modülü (E), borunun atalet momenti (I) ve borunun yarıçap (r) değerleri baz alınarak Eşitlik 3.1'deki formül ile hesaplanmıştır.

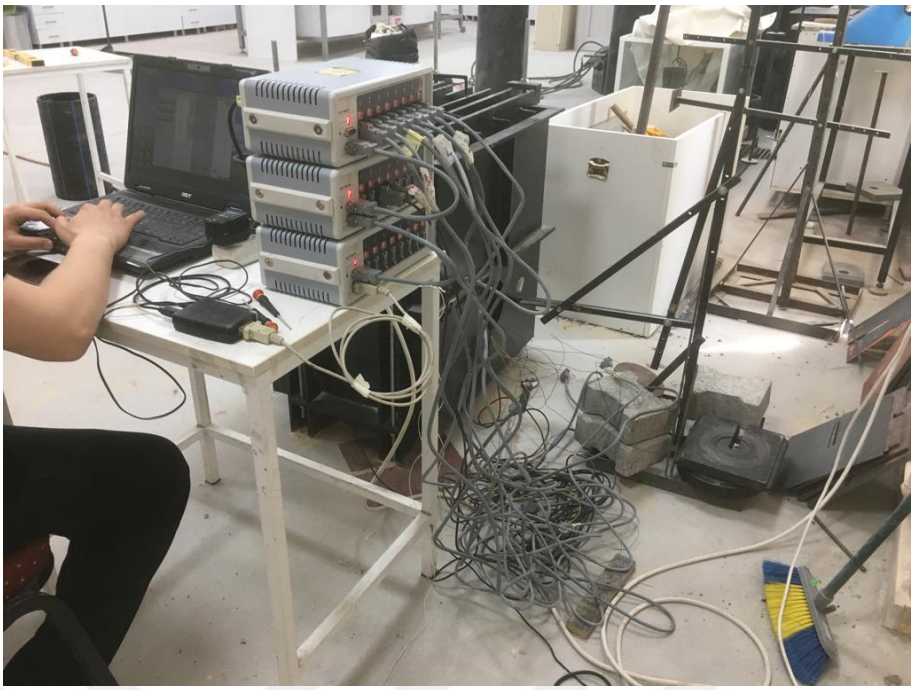
$$M = \varepsilon * \frac{E*I}{r} \tag{3.1}$$

Potansiyometrik cetvellerin ve gerinim pullarının boru hattı üzerindeki yerleşimi Şekil 3.8'de ve sıcaklığın kaç derece olduğu ise Şekil 3.7'de gösterilmiştir.

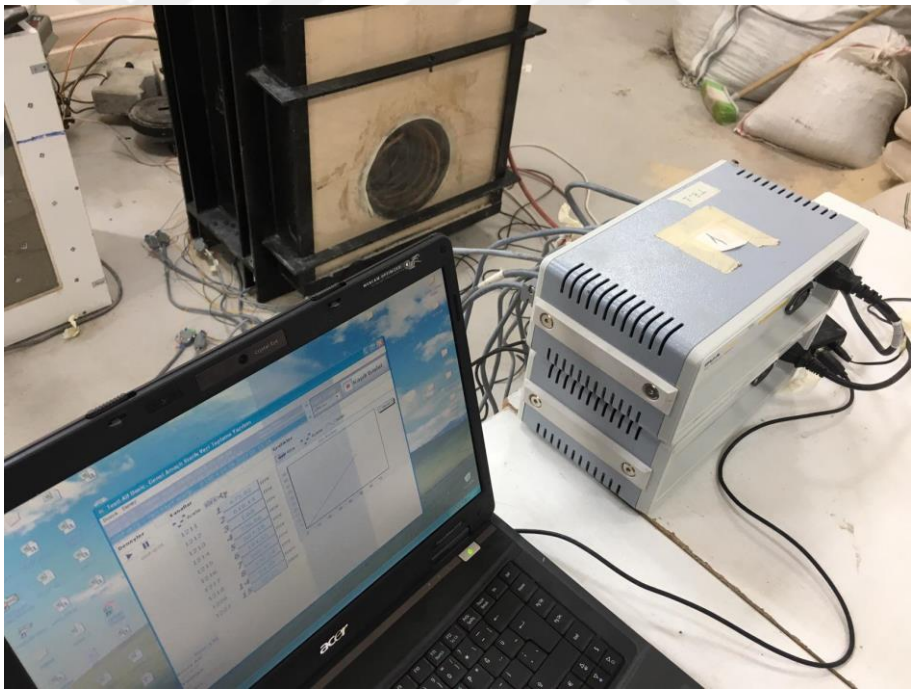


Şekil 3.8. Ölçüm düzeneği.

Veri toplama sistemi; gerinim pulları ile donatılmış boru numunesinin üzerinden alınan gerinim değerleri ve potansiyometrik cetvellerden alınan uzama ölçümleri veri aktarım kabloları vasıtasıyla veri toplama ünitesine aktarılmaktadır. Toplanan veriler, düşey gerilme verileri ile eş zamanlı olarak karşılaştırılarak grafiklere ve tablolara dönüştürülmüştür. Daha sonra bu veriler, 5. bölümde karşılaştırılarak yorumlanmıştır. Ölçüm sisteminin bağlandığı veri toplama ünitesine ilişkin elemanlar Şekil 3.9 ve Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



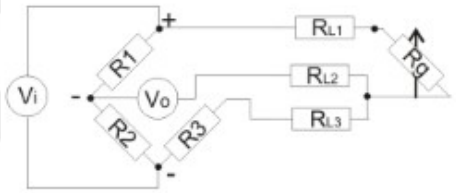
Şekil 3.9. Veri toplama ünitesi.



Şekil 3.10. Veri toplama ve deney kutusu.

Çizelge 3.5. Gerinim ölçer pulların sıcaklık kalibrasyonu.

	BF-120-10AA	**BF-120-30AA**	**BF-120-6AA**
Ölçüm/Grid Boyutu(mm)	10X2,5	30X2,0	6X2,2
Taban Boyutu (mm)	16,7X5,0	36,1X5,0	12,5X4,3
Direnç (Ω)	120	120	120
Yaklaşan Gauge Faktörü	ƨ	ƨ	ƨ
Strain Limit	%3	%3	%3
Fatig Ömrü (çevrim)	106	106	106
Çalışma Sıcaklığı (°C)	-20~+80	-20~+80	-20~+80



Şekil 3.11. Çeyrek köprüde 3 telli bağlantı.

Deneylerde BF-120-10AA tipi gerinim pulları kullanılmıştır. Sıcaklık artışı ile beraber bağlantı kablolarının direnç aralıkları da değişmektedir. Ortam sıcaklığındaki birkaç derecelik değişim, gerinim değerinde 10-20 με'lik bir farka neden olmaktadır. Sıcaklık farkının elimine edilmesi için bir dizi filitrasyon yapmak gerekmektedir. Sıcaklık farklarının gerinim ölçülerinde en az değişim göstermesini sağlamak amacı ile Şekil 3.11'deki çeyrek köprü bağlantılarındaki 3 telli gerinim ölçerlerin kullanılması uygun görülmüştür. Bu tür pulcuklar, bağlantı kablosunun ve dirençli damarları ikaz akımını filitre ederek taşırlar ve sıcaklık değişimlerinden eşit aralıklı farklar ortaya koyarak etkilenirler. Bu nedenle aralarındaki oran da sabit bir değerde kalır. Bu sabit değer gerinim okumalarına etkitilerek ölçüm sonuçları düzenlenir. Çizelge 3.5'te gösterildiği gibi deneylerdeki sıcaklık aralığı gerinim pullarının çalışma sınır aralığından olduğundan dolayı hesaplamalarda bir problem olmadığı gözlemlenmektedir (URL-6).

4. ARAŞTIRMA BULGULAR

Yüksek lisans tezi çerçevesinde yürütülen çalışmalarda hendek ortamı içerisine konuşlandırılmış HDPE boruların -7°C, 26°C ve 50°C sıcaklık koşulları altındaki deformasyon özellikleri incelenmiştir. Bu incelemeler, %50, %60 ve %70 olarak belirlenen farklı rölatif sıkılık koşulları altında gerçekleştirilmiştir. Düşey gerilme altında boru taç, bel ve taban bölgelerindeki deformasyon karakteristikleri konum sensörleri ve gerinim pulları ile ölçülmüştür. Daha sonra her bir rölatif sıkılık koşulunda, sıcaklık farklarına göre tespit edilen deformasyon farklılıkları birbirleri ile karşılaştırılmıştır.

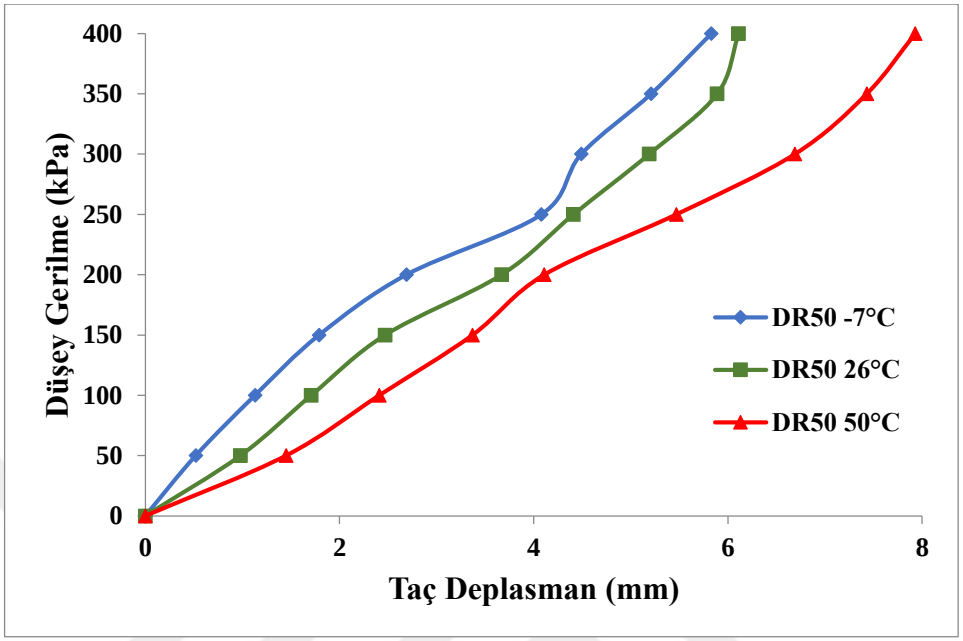
Isıtıcı sarmal bandın boru üzerinde herhangi bir sarmal etki oluşturarak deformasyon özelliklerine etkisi olup olmadığı önemli bir konudur. Bu bakımdan sarmal malzemenin boru rijitliğine olan etkisinin ne ölçüde olduğunu tespit etmek gereklidir. Bu amaçla tek eksenli basınç deneyinde deformasyon kontrollü deneyler yapılmıştır. Sabit deformasyon değerine ulaşmak için gerekli olan basınç değerleri sarmallı ve sarmalsız borular üzerinde yürütülerek saptanmıştır Boru iç çeperine LVDT'ler dış çeperine ise lazer kontrollü deplasman ölçerler yerleştirilmiştir. Deney düzeneği Şekil 4.1'de görülmektedir. Yapılan deneylerde sarmal malzemenin elastik yapısı ve düşük rijitliği boru davranışında saptanamayan bir etki ortaya koyduğu, sabit deformasyonlara eşit basınç altında ulaşıldığı görülmüştür.



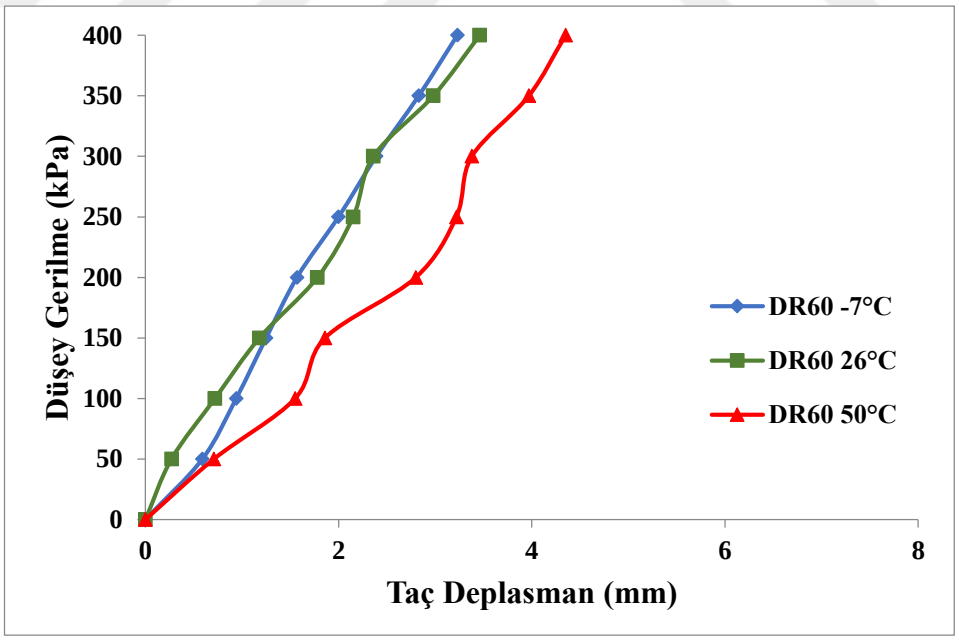
Şekil 4.1. Isıtıcı bandın sarmal etki deney düzeneği.

Rölatif Sıkılık Koşullarının HDPE Boru Deformasyon Davranışına Etkisi; Bu kısımda, %50, %60 ve %70 rölatif sıkılık koşullarının her biri için -7°C, 26°C ve 50°C ortam

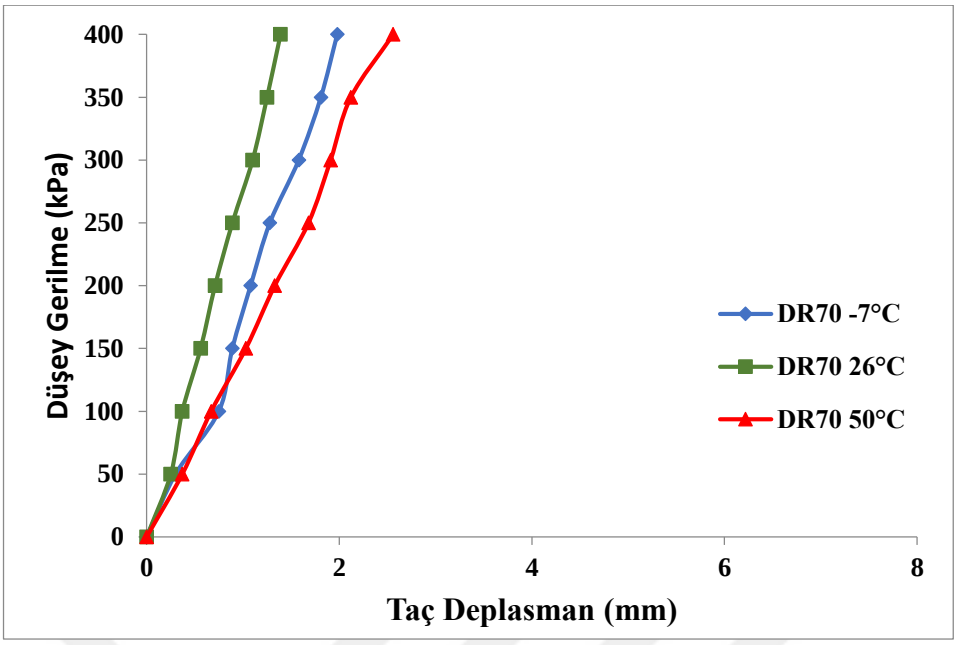
koşullarındaki boru taç ve bel kısmı deformasyonları verilmiştir. Boru taç kısmı için ortam koşullarına bağlı deformasyon grafikleri %50 rölatif sıkılık için Şekil 4.2'de, %60 rölatif sıkılık için Şekil 4.3'te ve %70 rölatif sıkılık için Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.2. %50 rölatif sıkılıkta ortam koşullarına bağlı taç deplasmanına olan etkisi.

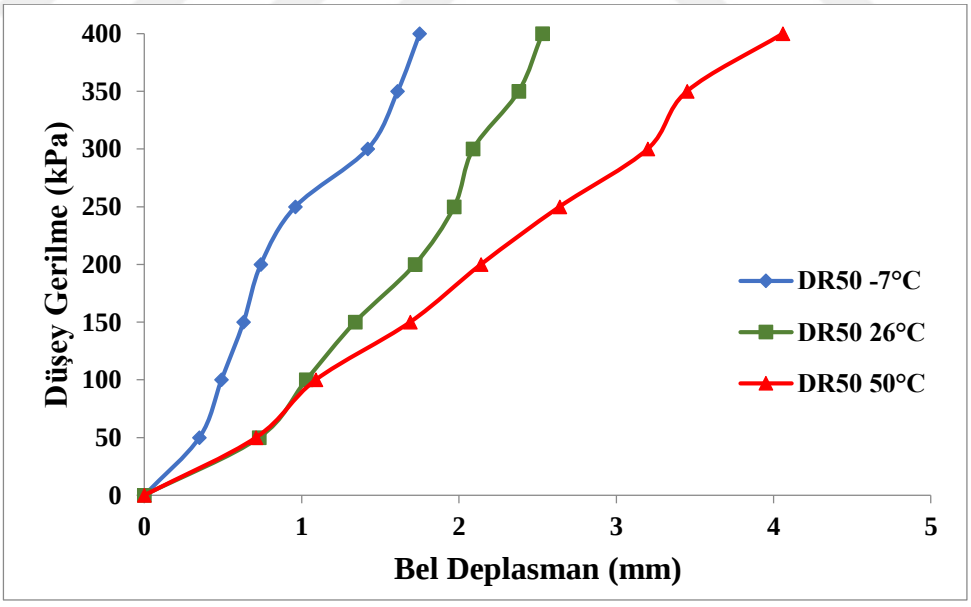


Şekil 4.3. %60 rölatif sıkılıkta ortam koşullarına bağlı taç deplasmanına olan etkisi.

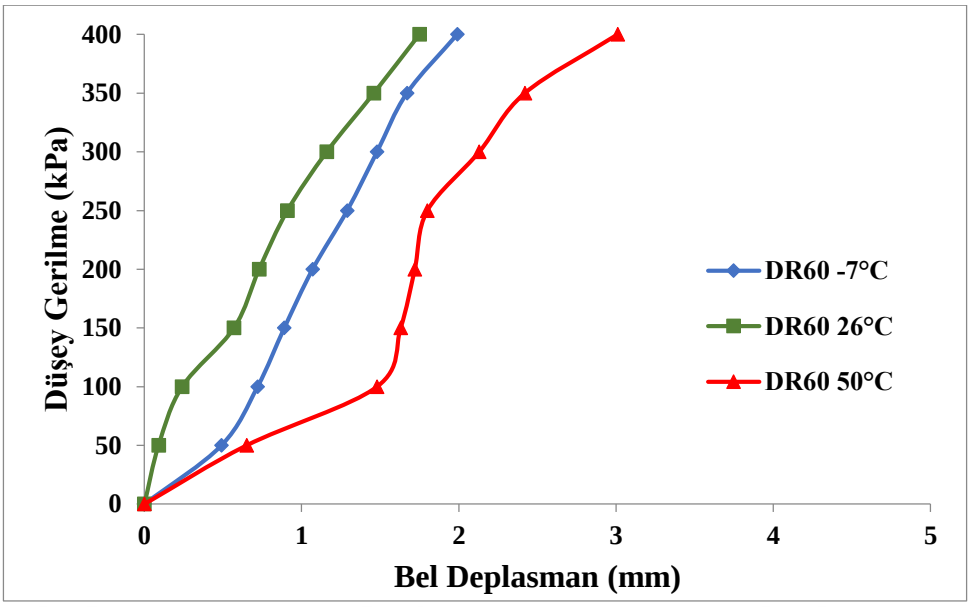


Şekil 4.4. %70 rölatif sıkılıkta ortam koşullarına bağlı taç deplasmanına olan etkisi.

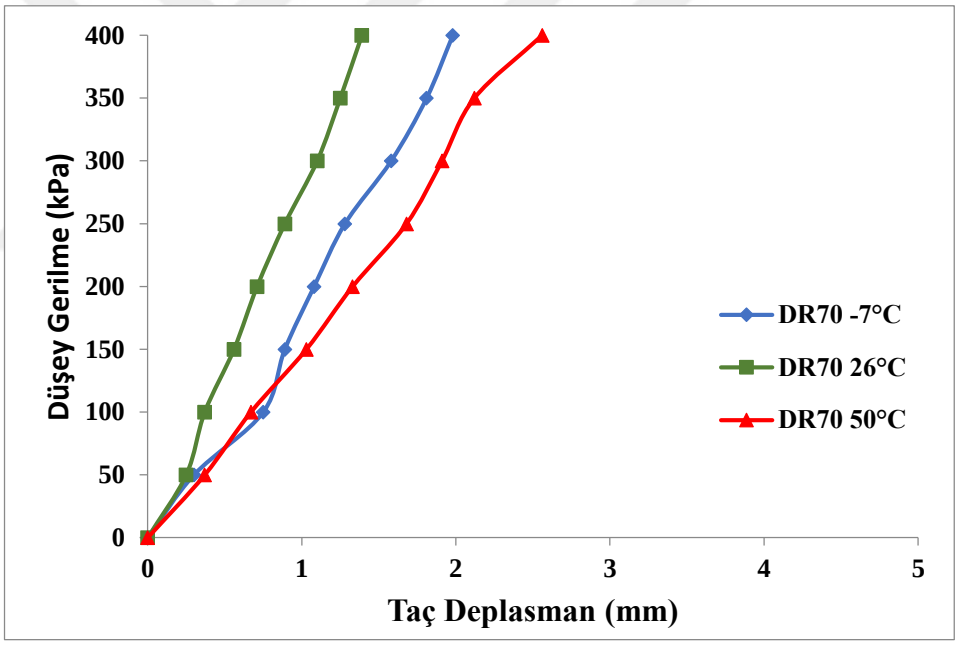
Boru bel kısmı için ortam koşullarına bağlı deformasyon grafikleri ise %50 rölatif sıkılık için Şekil 4.5'te, %60 rölatif sıkılık için Şekil 4.6'da ve %70 rölatif sıkılık için Şekil 4.7'de gösterilmiştir.



Şekil 4.5. %50 rölatif sıkılıkta ortam koşullarına bağlı bel deplasmanına olan etkisi.

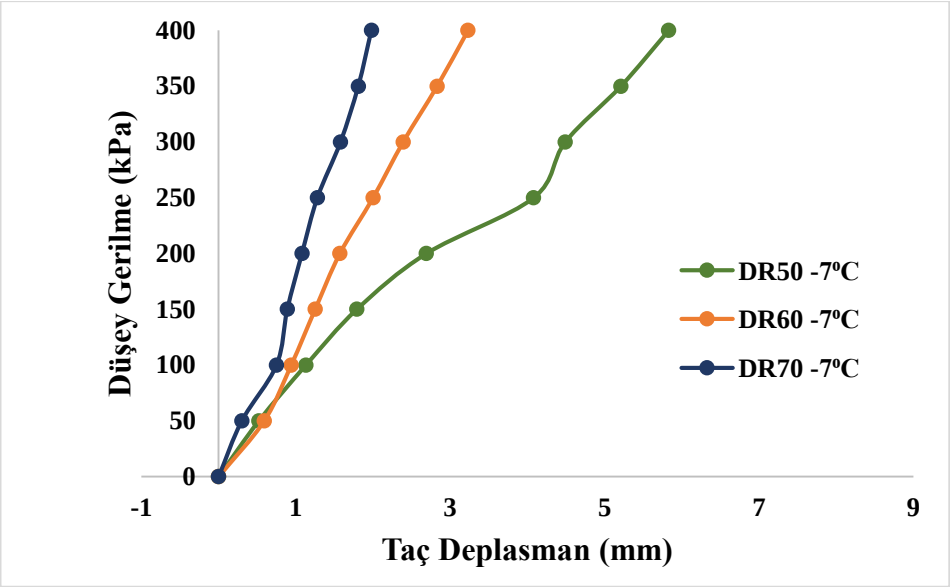


Şekil 4.6. %60 rölatif sıkılıkta ortam koşullarına bağlı bel deplasmanına olan etkisi.

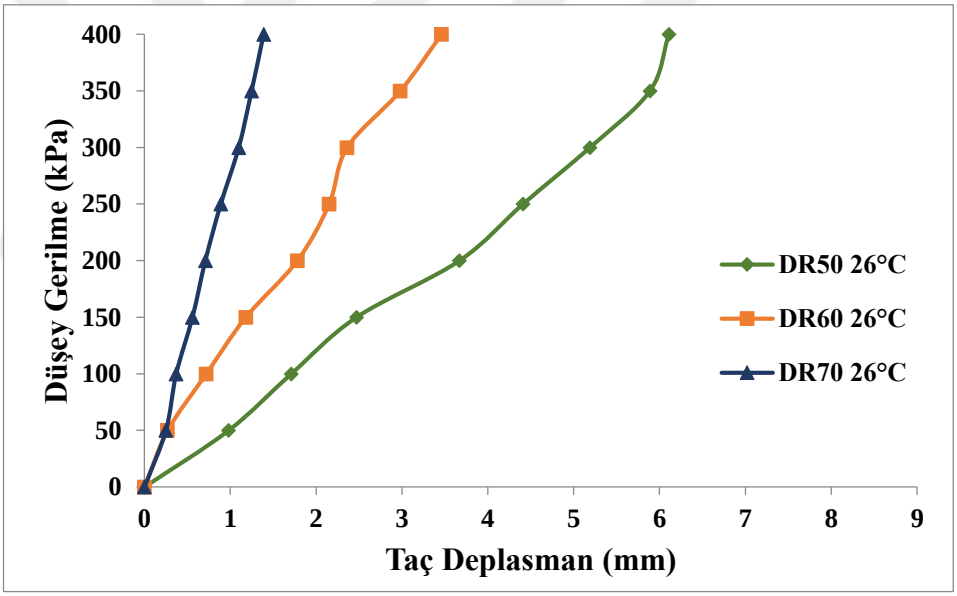


Şekil 4.7. %70 rölatif sıkılıkta ortam koşullarına bağlı bel deplasmanına olan etkisi.

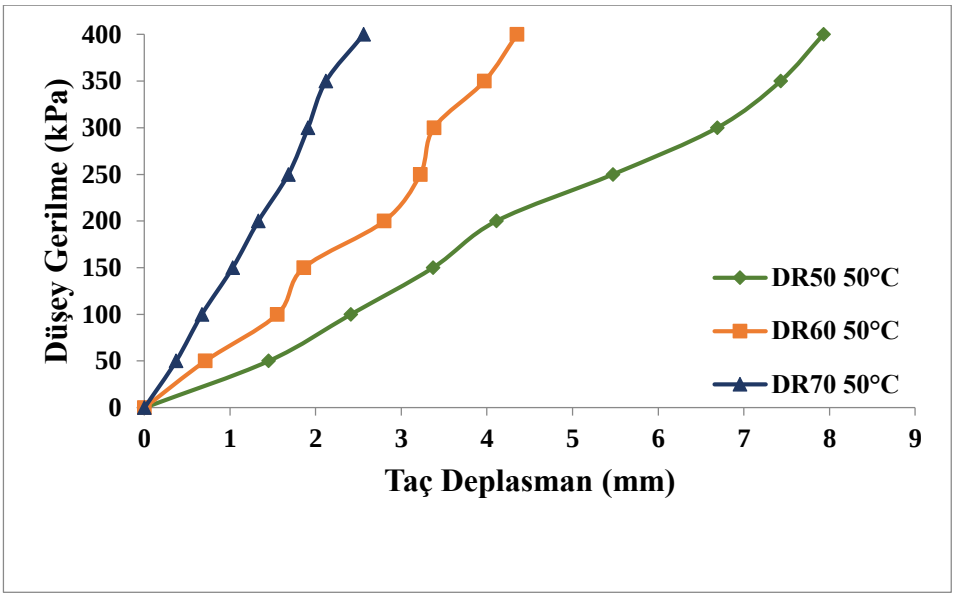
Ortam Sıcaklık Değişimlerinin HDPE Boru Deformasyon Davranışına Etkisi; Bu kısımda, -7°C, 26°C ve 50°C ortam koşullarının her biri için %50, %60 ve %70 rölatif sıkılık koşullarındaki boru taç ve bel kısmı deformasyonları verilmiştir. Taç bölgesine ait gerilme – deplasman grafikleri sıcaklık değişkenlerine bağlı olarak -7°C için Şekil 4.8'de, 26°C için Şekil 4.9'de ve 50°C için Şekil 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.8. -7°C ortam koşullarında rölatif sıkılığın taç deplasmanına olan etkisi.

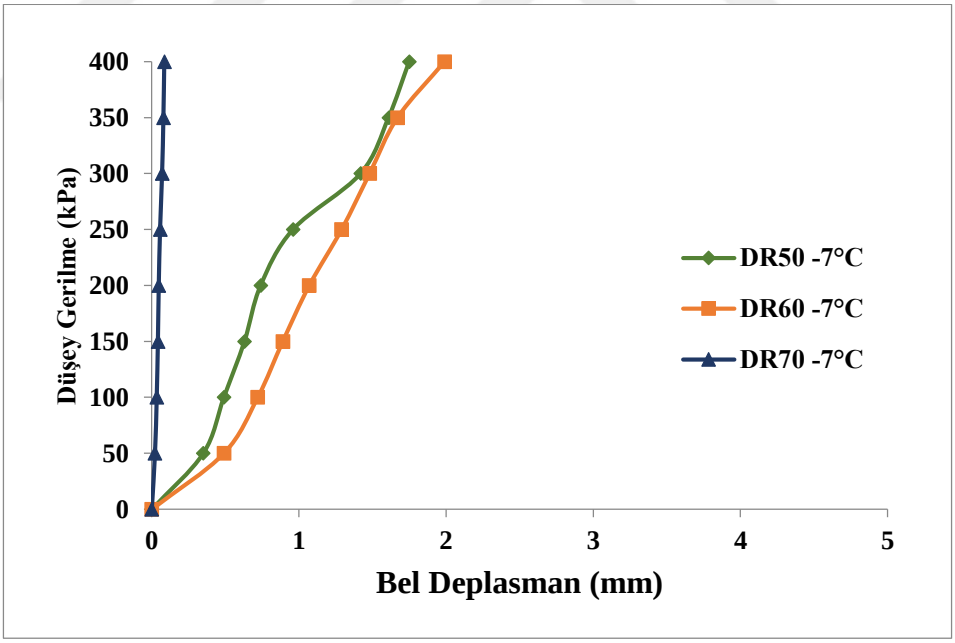


Şekil 4.9. 26°C ortam koşullarında rölatif sıkılığın taç deplasmanına olan etkisi.

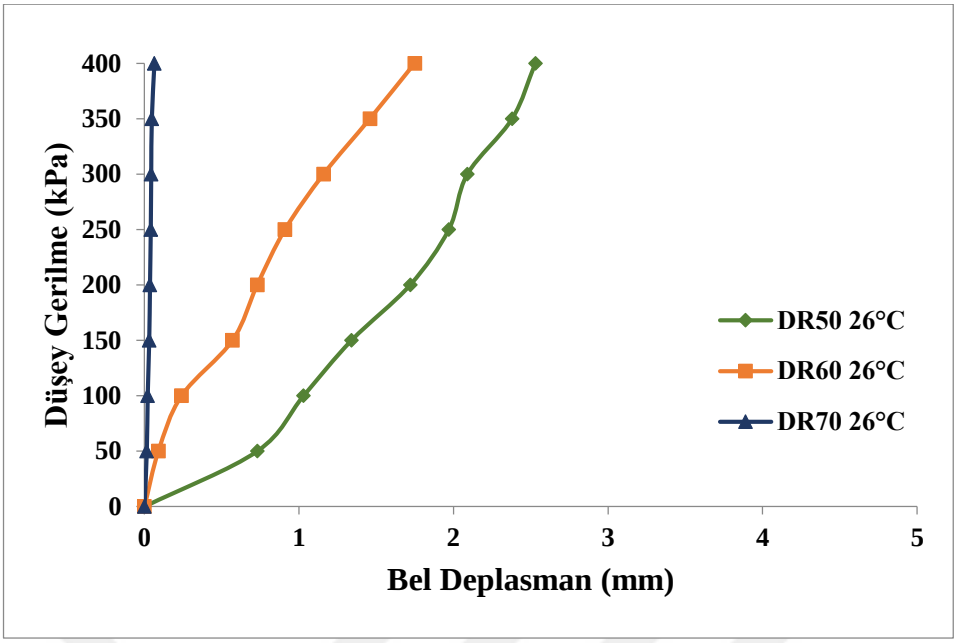


Şekil 4.10. 50°C ortam koşullarında rölatif sıkılığın taç deplasmanına olan etkisi.

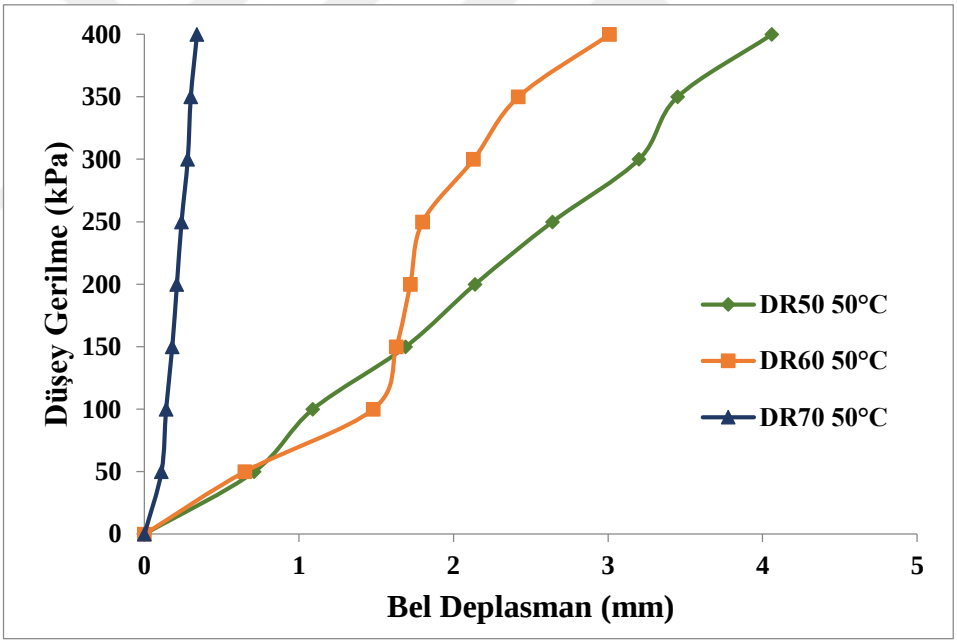
Bel bölgesine ait gerilme – deplasman grafikleri sıcaklık değişkenlerine bağlı olarak -7°C için Şekil 4.11'de, 26°C için Şekil 4.12'de ve 50°C için Şekil 4.13'te verilmiştir.



Şekil 4.11. -7°C ortam koşullarında rölatif sıkılığın bel deplasmanına olan etkisi.



Şekil 4.12. 26°C ortam koşullarında rölatif sıkılığın bel deplasmanına olan etkisi.



Şekil 4.13. 50°C ortam koşullarında rölatif sıkılığın bel deplasmanına olan etkisi.

Eğilme momentleri bakımından tüm deney sonuçları; yüksek lisans tez çalışmasında gerinim pulları vasıtası ile ölçülen ve hesaplanan eğilme momenti değerleri tüm sıkılık ve sıcaklık koşulları için aşağıda verildiği gibi tablolandırılmıştır. Borunun taç kısmı için düşey gerilme altındaki eğilme momenti değerleri Çizelge 4.1'de, borunun bel

kısmı için düşey gerilme altındaki eğilme momenti değerleri Çizelge 4.2'de, taban kısmı için ise Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.1. Deneyler sonucunda taç bölgesi için elde edilen eğilme momentleri.

GERİLME kPa	-7ºC			26ºC			50ºC		
	DR50	DR60	DR70	DR50	DR60	DR70	DR50	DR60	DR70
0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
50,00	0,0095	0,0032	0,0003	0,0028	0,0033	0,0008	0,0131	0,0066	0,0004
100,00	0,0143	0,0089	0,0007	0,0047	0,0070	0,0012	0,0193	0,0120	0,0013
150,00	0,0191	0,0146	0,0009	0,0073	0,0104	0,0015	0,0249	0,0143	0,0014
200,00	0,0241	0,0209	0,0011	0,0102	0,0135	0,0018	0,0301	0,0209	0,0026
250,00	0,0324	0,0221	0,0014	0,0141	0,0137	0,0022	0,0364	0,0253	0,0045
300,00	0,0385	0,0238	0,0017	0,0188	0,0139	0,0025	0,0455	0,0283	0,0064
350,00	0,0459	0,0256	0,0020	0,0223	0,0140	0,0030	0,0531	0,0301	0,0085
400,00	0,0533	0,0268	0,0022	0,0259	0,0142	0,0033	0,0625	0,0323	0,0105

Çizelge 4.2. Deneyler sonucunda bel bölgesi için elde edilen eğilme momentleri.

GERİLME kPa	-7ºC			26ºC			50ºC		
	DR50	DR60	DR70	DR50	DR60	DR70	DR50	DR60	DR70
0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
50,00	0,0060	0,0026	0,0158	0,0020	0,0011	0,0032	0,0064	0,0061	0,0008
100,00	0,0062	0,0068	0,0193	0,0028	0,0023	0,0046	0,0087	0,0115	0,0020
150,00	0,0064	0,0104	0,0217	0,0049	0,0050	0,0078	0,0125	0,0125	0,0031
200,00	0,0066	0,0141	0,0244	0,0057	0,0095	0,0094	0,0156	0,0128	0,0044
250,00	0,0076	0,0142	0,0259	0,0073	0,0107	0,0121	0,0175	0,0142	0,0066
300,00	0,0122	0,0147	0,0284	0,0085	0,0133	0,0173	0,0217	0,0179	0,0076
350,00	0,0142	0,0151	0,0303	0,0099	0,0158	0,0192	0,0246	0,0183	0,0092
400,00	0,0160	0,0165	0,0324	0,0107	0,0173	0,0216	0,0320	0,0224	0,0114

Deneyler sonucunda bölgeler için elde edilen eğilme momentleri görülmektedir. En yüksek yayılı yük altında (400 kPa), Taç Bölgesi için -7°C dikkate alındığında sıkı yerleşim ortamında $2{,}2x10^{-3}$ kNm/m eğilme momenti okunmuşken, bu değer +26 Derecede $3{,}3x10^{-3}$ kNm/m olarak saptanmış, +50 Derece için ise eğilme momenti $10x10^{-3}$ kNm/m saptanmıştır. En sıcak ve en soğuk ortamlar arasında aynı yükleme büyüklüğü ve aynı sıkılık derecesinde eğilme momentleri arasındaki fark yaklaşık 4,8 kat kadar belirlenmiştir. Bel bölgesinde en sıkı ortam için bu fark tersi nispetinde 2,9 dur. Yani soğuk ortamda borunun bel bölgesindeki eğilme momenti sıcak

ortamdakinden daha fazla ortaya çıkmıştır. Bu durum borunun soğuk ortamlarda rijit bir boru gibi sıcak ortamlarda ise daha çok esnek bir boru gibi davrandığını göstermektedir. Sıcak ortamlarda elipsoid biçimde davranış göstermek isteyen boru geri dolgu tarafından daha yüksek bir yanal rijitlik ile karşılık vermektedir. Buda borunun iç bükey bir burulma ile şekil değiştirdiği anlamına gelmektedir.

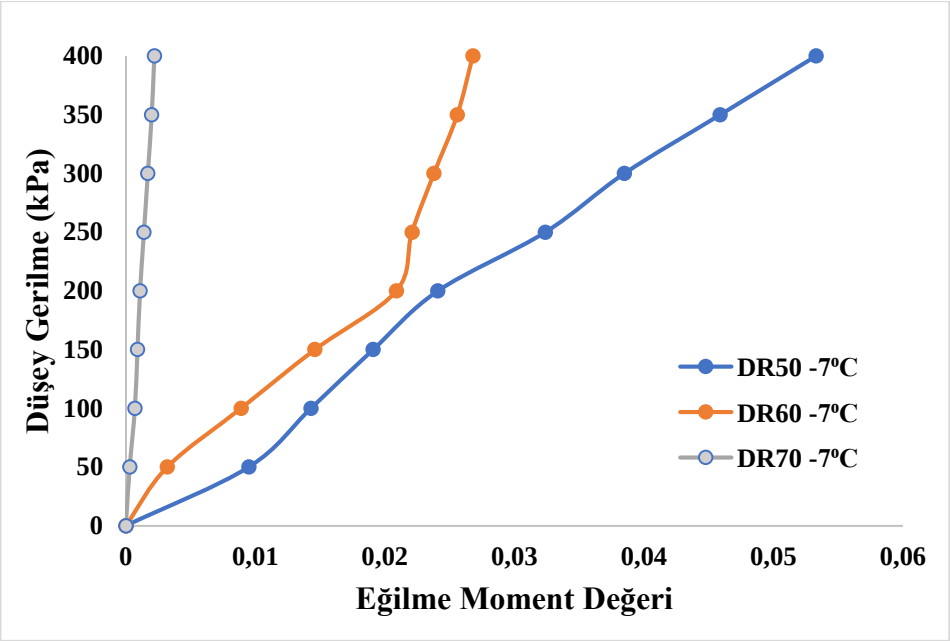
Çizelge 4.3. Deneyler sonucunda taban bölgesi için elde edilen eğilme momentleri.

GERİLME kPa	-7ºC			26ºC			50ºC		
	DR50	DR60	DR70	DR50	DR60	DR70	DR50	DR60	DR70
0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
50,00	0,0013	0,0008	0,0008	0,0001	0,0002	0,0003	0,0004	0,0008	0,0002
100,00	0,0023	0,0013	0,0015	0,0002	0,0006	0,0005	0,0009	0,0012	0,0005
150,00	0,0032	0,0018	0,0018	0,0004	0,0010	0,0007	0,0012	0,0017	0,0007
200,00	0,0041	0,0024	0,0022	0,0006	0,0014	0,0010	0,0014	0,0023	0,0008
250,00	0,0056	0,0030	0,0026	0,0008	0,0016	0,0013	0,0018	0,0028	0,0009
300,00	0,0064	0,0035	0,0032	0,0009	0,0017	0,0017	0,0021	0,0033	0,0010
350,00	0,0065	0,0042	0,0034	0,0011	0,0021	0,0020	0,0024	0,0041	0,0012
400,00	0,0066	0,0048	0,0038	0,0012	0,0023	0,0024	0,0026	0,0046	0,0012

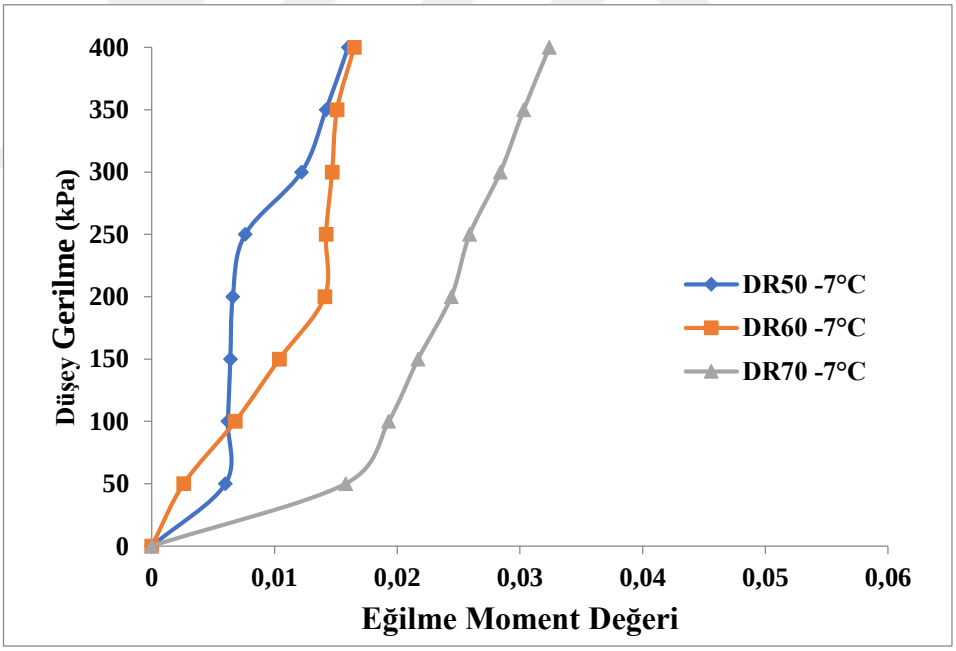
Deneyler sonucunda taban bölgesi için elde edilen eğilme momentlerine bakıldığında 400 kPa gerilme altında sıcaklık arttıkça tabanda var olan eğilme momentlerinin azaldığını buda sıcaklık arttıkça düşen Young modülü etkisinde davranışın rijitten elastik davranışa geçtiğini göstermektedir.

Taç, bel ve taban bölgelerine göre tüm sıcaklık koşullarında Çizelge 4.1, Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3'ten elde edilen grafikler aşağıda verilmiştir.

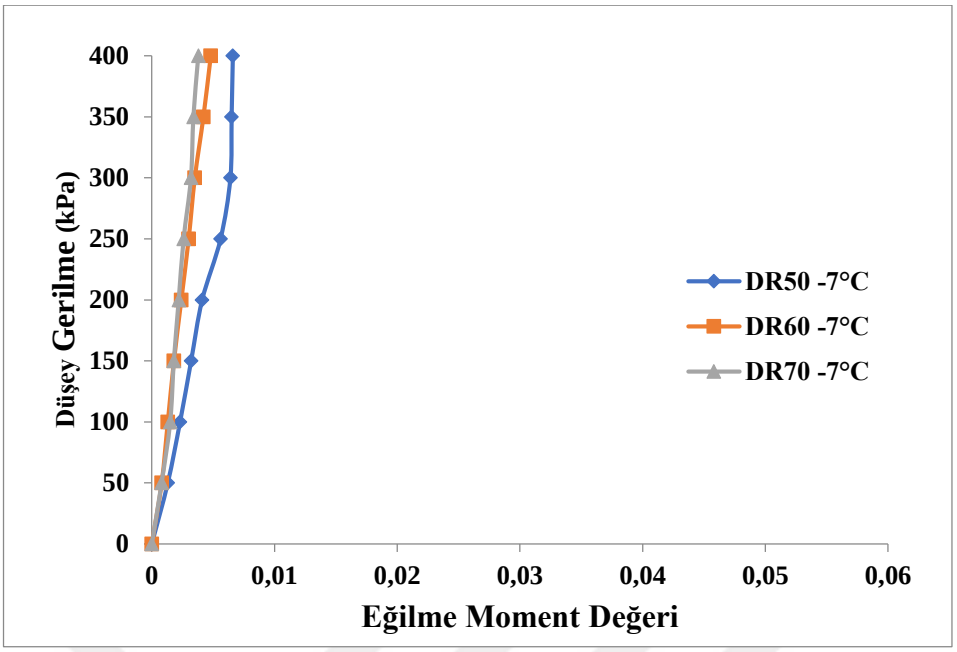
-7°C için taç bölgesi grafiği Şekil 4.14'te, bel bölgesi grafiği Şekil 4.15'te ve taban bölgesi grafiği Şekil 4.16'da gösterildiği gibidir.



Şekil 4.14. -7°C ortam koşullarında taç bölgesindeki rölatif sıkılıkta eğilme moment değerleri.

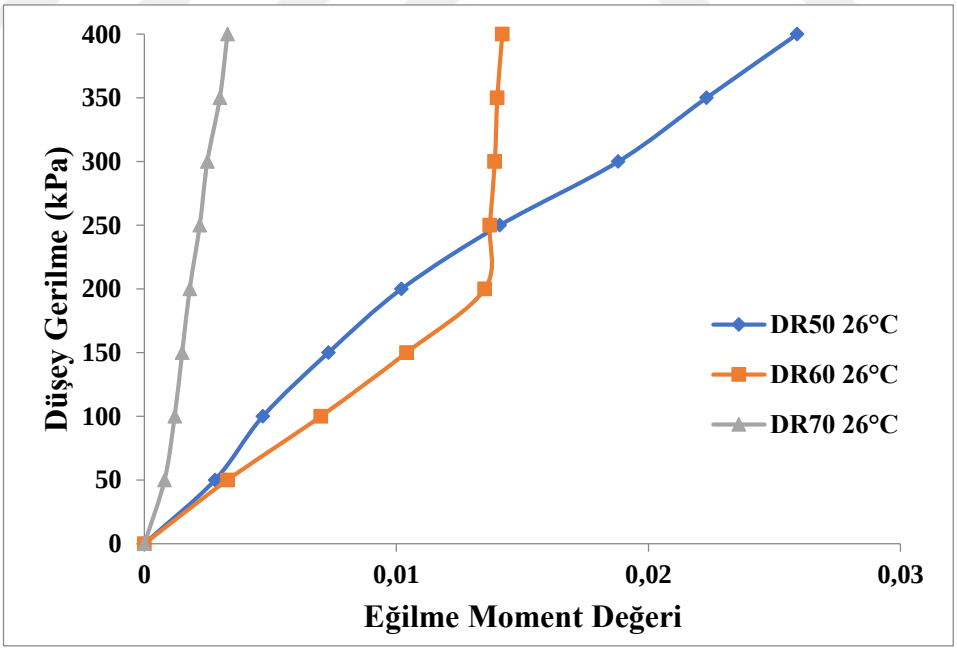


Şekil 4.15. -7°C ortam koşullarında bel bölgesindeki rölatif sıkılıkta eğilme moment değerleri.

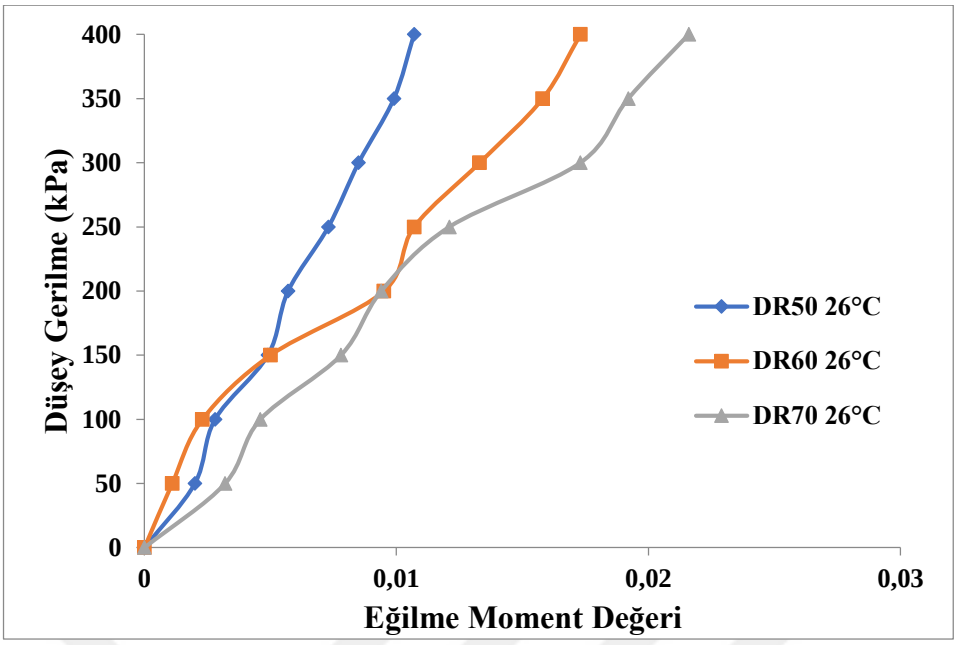


Şekil 4.16. -7°C ortam koşullarında taban bölgesindeki rölatif sıkılıkta eğilme moment değerleri.

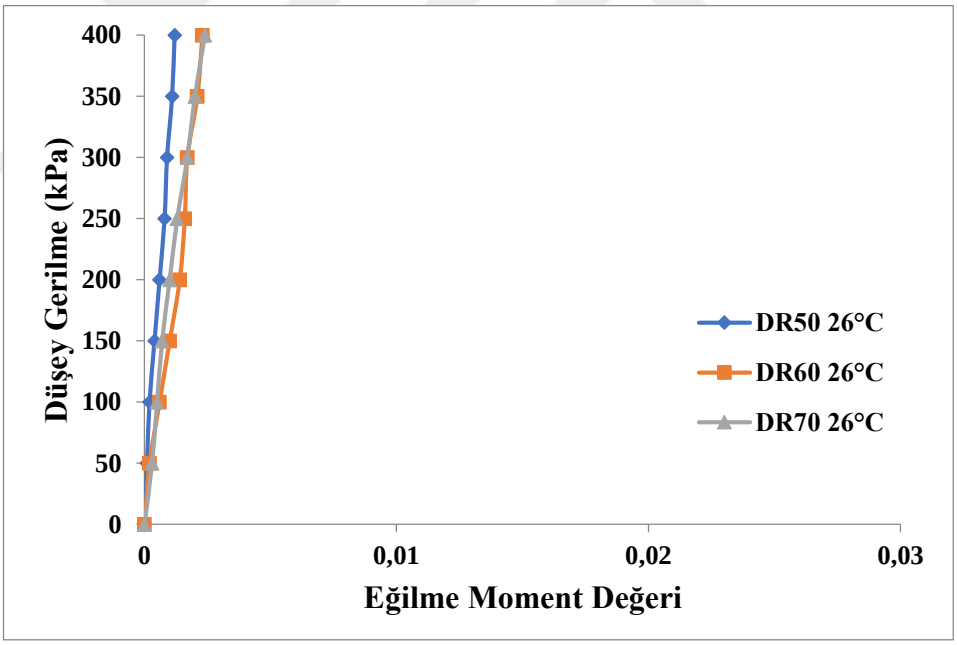
26°C için taç bölgesi grafiği Şekil 4.17'de, bel bölgesi grafiği Şekil 4.18'de ve taban bölgesi grafiği Şekil 4.19'da gösterildiği gibidir.



Şekil 4.17. 26°C ortam koşullarında taç bölgesindeki rölatif sıkılıkta eğilme moment değerleri.

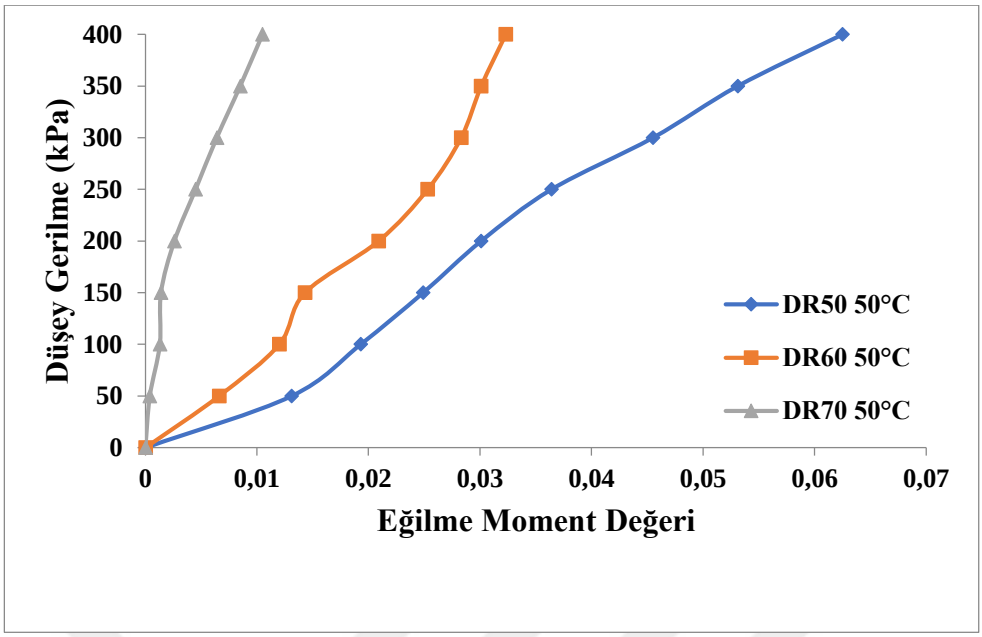


Şekil 4.18. 26°C ortam koşullarında bel bölgesindeki rölatif sıkılıkta eğilme moment değerleri.

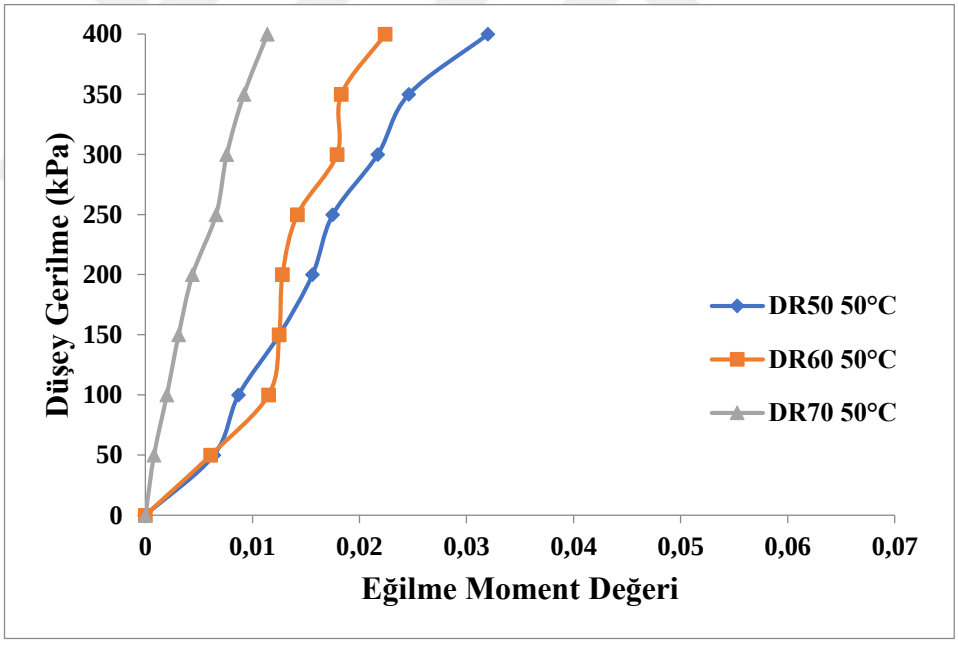


Şekil 4.19. 26°C ortam koşullarında taban bölgesindeki rölatif sıkılıkta eğilme moment değerleri.

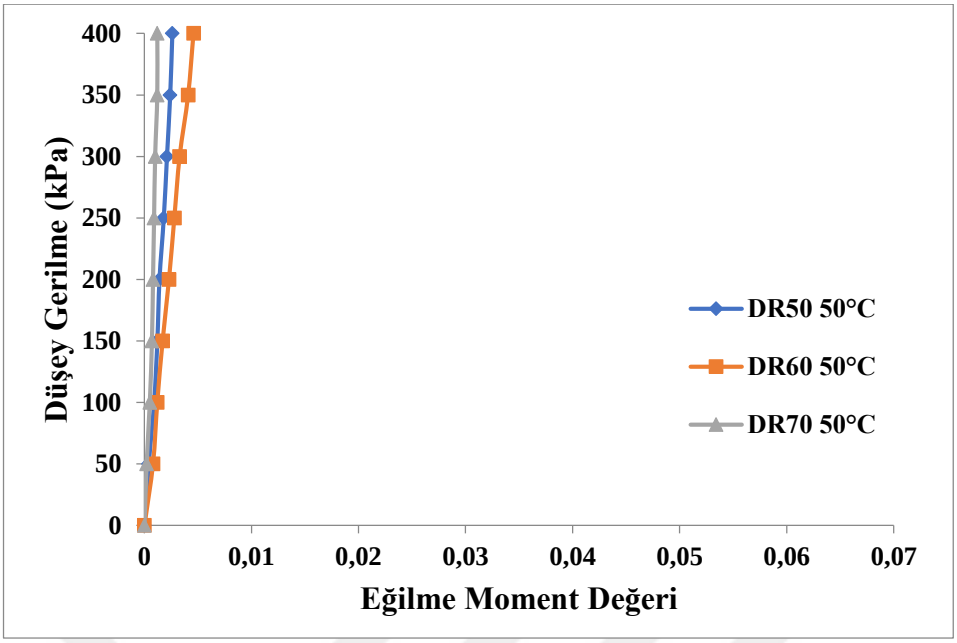
50°C için taç bölgesi grafiği Şekil 4.20'de, bel bölgesi grafiği Şekil 4.21'de ve taban bölgesi grafiği Şekil 4.22'de gösterildiği gibidir.



Şekil 4.20. 50°C ortam koşullarında taç bölgesindeki rölatif sıkılıkta eğilme moment değerleri.



Şekil 4.21. 50°C ortam koşullarında bel bölgesindeki rölatif sıkılıkta eğilme moment değerleri.



Şekil 4.22. 50°C ortam koşullarında taban bölgesindeki rölatif sıkılıkta eğilme moment değerleri.

5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Farklı ortam sıcaklıkları altında gerçekleştirilen deneyler sonucunda HDPE esnek borunun boyuna ve çember kesitine saptanan deplasmanlar ve eğilme momentleri detaylı olarak grafiklendirilmiştir.

Zeminde sıkılığın artışına bağlı olarak beklendiği üzere boru numunelerinin taç kısmında oluşan deplasman değerleri azalmıştır. Hendek ortamı içerisindeki sıkılık artışı, özellikle geri dolgunun düşey ve yanal eksenler boyunca yataklama kabiliyetini arttırmış ve boru çember kesitinde yük artırım niteliğini yükseltmiştir. Zemin dolgusunun hendek yüzeyinden gelen gerilmeleri sönümlemesi, boru duvarlarında ölçülen deplasmanları ve eğilme momenti değerlerinde gevşek zemin ortamına nazaran belirgin düşüşler göstermiştir. Yanal toprak itkisinin esnek boru davranışındaki belirleyici etkisi sıkı zeminlerde esnek boruların eliptik deformasyon yapmasını engellemekte kendini göstermektedir.

Boru çevresi ve içerisine uygulanan ısıl ve soğutma uygulamaları sonucunda belirlenen davranışlar bakımından ulaşılan sonuçlar aşağıda özetlenmektedir.

Boru numunesi üzerine yerleştirilmiş ısıtıcı bantlar yardımıyla uygulanan kontrollü sıcaklık değerleri, her sıcaklık aralıkları içim polimer malzemenin karakteristik özelliği gereği boru davranışında belirleyici olmuştur. Nitekim sıcaklık artışları ile birlikte boru kesitinin hem taç hem de bel kısımları için deplasman değerlerinin artışı saptanmıştır.

Bunun aksine koşulları için, boru numunesi içerisine bakır borular ile uygulanan soğutma işleminde ise taç ve bel kısımlarındaki deplasman değerleri oda koşullarında (+26°C) gerçekleştirilen deneylere göre daha küçük değerler elde edilmiştir. Nitekim; oda koşullarında (+26°C) yürütülen deneylerde hem taç hem de bel kısımları için deformasyonlar deneylerin çoğunda en düşük mertebelerde tespit edilmiştir. En büyük deformasyon mertebeleri, aynı gerilme koşulları altında, borunun taç ve bel kısımları için +50°C koşullarında gözlemlenmiştir. +50°C'da yürütülen deneylerde, hem taç hem de bel deformasyonları +26°C'da yapılan deneylere oranla %45 daha fazla ortaya çıkmıştır.

Eğilme momenti artışlarında olduğu gibi şekil değişimleri üzerinde de termal etkilerin belirleyici rolü ortadadır. Sıcaklık artışı +50°C olduğunda boru kesitindeki deformasyon miktarındaki artışlar yaklaşık olarak iki katına ulaşmıştır. Boruların termoplastik viskoelastik karakteristik özellikleri bu sonuçların ortaya çıkmasında ana etmen olduğu şüphe götürmez bir gerçektir. Sıcaklıkta artış gösteren esneklik ve düşen Elastik Young modülü boruların hızla şekil değiştirmesini beraberinde getirmektedir.

Tüm sıkılık koşulları için, -7°C'da elde edilen deformasyon verileri +50°C'a kıyasla oda koşullarına (+26°C) daha yakın sonuçlar göstermektedir. Bu bakımdan sıcaklığın 24-25°C artması 32-33°C azalmasına kıyasla çok daha fazla deformasyonu beraberinde getirmektedir.

Bu yüksek lisans tezi çerçevesinde, gömülü esnek boruların ısıl ve soğutma etkileri altındaki mühendislik özellikleri ve davranışları araştırılmıştır. Sonuç olarak, polimer esaslı HDPE malzemenin sıcaklık altında rijitliğinin azaldığı ortaya konmuştur. Yukarıda belirtildiği gibi 25-26°C derecelik farklılığın bile boru rijitliğindeki belirgin bir düşüşe neden olduğu gözlemlenmektedir. Bu tip çalışmaların, daha yüksek sıcaklı ve daha düşük soğukluk durumlarında ve farklı dolgu malzemeleri incelenmesi araştırmayı daha ileri taşıyacaktır. Bu kapsamda çalışma sonrasında, değişken mühendislik parametrelerine sahip boruların araştırmaları da söz konusu gerçek zemin koşullarını yansıtan durumlar için incelenmesi planlanmaktadır.

KAYNAKLAR

Akkurt, A., 2013. An analysis of electro-melting and hot element welding methods safety used to join PE natural gas pipes, International Journal of Electronics Mechanical and Mechatronics Engineering, 3, 2, 493-504.

Alawaji, H., 2007. Performance of buried HDPE pipes at elevated temperatures, King Saud University, Riyadh, Saudi Arabia, 1-19.

American Society for Testing and Materials (ASTM), 2008. Standard practice for underground installation of thermoplastic pipe for sewers and other gravityflow applications, ASTM D2321.

American Society for Testing and Materials (ASTM), 2018. Pennsylvania edge-notch tensile test; ASTM F1473-18, Standard test method for notch tensile test to measure the resistance to slow crack growth of polyethylene pipes and resins, West Conshohocken, PA.

Callister, W. ve Rethwisch, D., 2007. Materials science and engineering: an introduction, Materials Science and Engineering, 94, 266-267.

Cheng, J. J., 2008. Mechanical and chemical properties of high density polyethylene, effects of microstructure on creep characteristics, 9–10.

Çelikkan, O., 2013. Yüksek yoğunluklu polietilenin viskoelastik özelliklerinin deneysel incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Erenson, C., Polat, N. ve Terzi, N. U., 2019. Investigation of the deformation properties of high density polyethylene pipes under thermal effects with laboratory tests, 8. International Geotechnical Symposium, İstanbul.

Erenson, C., 2020. Üniform olmayan geridolgu ortamlarına yerleştirilen gömülü esnek boruların davranışlarının incelenmesi, Doktora Tezi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray.

Es-Saheb, M., 1996. The temperature effects on high density polyethylene (HDPE) pipes, Journal of King Saud University-Engineering Sciences, 8, 47–60.

Gabriel, L. H., 1998. Service life of drainage pipe, Transportation Research Board, 254, 1-18.

Kadhim, L. F., 2017. Mechanical properties of high density polyethylene / chromium trioxide under ultraviolet rays, 12, 10, 2517–2526.

Khademi – Zahedi, R. ve Alimouri, P., 2018. Finite element analysis to the effect of thermo-mechanical loads on stress distribution in buried polyethylene gas pipes jointed by electrofusion sockets, repaired by PE patches, Energies, MDPI.

Krishnaswamy, R. K., 2005. Analysis of ductile and brittle failures from creep rupture testing of high-density polyethylene (HDPE) pipes, Polymer, 46, 25, 11664-11672.

Kuzeyboru Plastik Boru Sistemleri, 2018. Plastic pipe systems, Katalog, Kuzeyboru, Aksaray.

Laidlaw, T. C., 1999. Influence of loacal support on corrugated hdpe pipes, Ms Thesis University of Western Ontoria / Kanada.

Lepoutre, P., 2013. The manufacture of polyethylene, New Zealand Institute of Chemistry, 1–5.

Li, Z., Zhu, H. W., Kong, X. L. ve Seibi, A., 2012. Combined effect of temperature and soil load on buried HDPE pipe, In Advanced Materials Research 452, 1169-1173.

Merah, N., Saghir, F., Khan, Z. ve Bazoune, A., 2006. Effect of temperature on tensile properties of hdpe pipe material, Plastics, Rubber and Composites, 35, 5, 226-230.

Sadr-Al-Sadati, S. A. ve Ghazizadeh, M. J., 2019. Experimental study of crack behavior in pressurized high-density polyethylene water pipes, Methods, 10, 6, 1009-1020.

Ryedale District Council, 2014. Different types of plastics and their classification, 1-2.

Tarani, E., Terzopoulou, Z., Bikiaris, D. N., Kyratsi, T., Chrissafis, K. ve Vourlias, G. 2017. Thermal conductivity and degradation behavior of HDPE/graphene nanocomposites, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 129, 3, 1715-1726.

Tavman, I., Aydogdu, Y., Kök, M., Turgut, A. ve Ezan, A., 2011. Measurement of heat capacity and thermal conductivity of HDPE / expanded graphite nanocomposites by differential scanning calorimetry, Archives of Materials Science and Engineering, 50, 1, 56–60.

Terzi, N. U., 2007. Gömülü borulara etkiyen düşey ve yatay yüklerin boru stabilitesine olan etkilerinin araştırılması, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Trautmann, C. H. ve O'Rourke, T. D., 1985. Lateral force-displacement response of buried pipe, Journal of Geotechnical Engineering, 111, 9, 1077-1092.

Uzun, H. ve Kocaman, A. G., 2018. HDPE 100 boruların sıcak eleman alın kaynağıyla birleştirilmesinde kaynak sıcaklığı parametresinin birleştirme mukavemetine etkisi, Academic Perspective Procedia, 1, 1, 168-177.

Yavuz, A. O., 2011. Yüksek yoğunluklu polietilenden üretilmiş boruların, Dın 16961-2:2010-03 standardına göre halka rijitliklerinin deneysel olarak belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

URL-1 <http://www.nexorpipes.com/buttfusionguide.pdf>, Erişim tarihi: 01.06.2020.

URL-2<https://mol.hu/images/pdf/Polymers/Products/HDPE-MEDIUM-and_High_Density_Polyethylene/product_catalogue_hdpe.pdf>, Erişim tarihi: 01.06.2020.

URL-3 <https://groups.google.com>, Erişim tarihi: 18.02.2020.

URL-4 <http://www.pilsa.com.tr>, Erişim tarihi: 14.02.2020

URL-5 <http://www.dizayngrup.com>, Erişim tarihi: 14.02.2020.

URL-6 <http://www.tdg.com.tr/tr>, Erişim tarihi: 01.06.2020.

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı **:** Necmettin POLAT

Adres **:** Taşpazar mah. 806. sok. Erenköy sitesi Yakupbey apt: 5/13 Merkez/AKSARAY

İletişim **:**+90 542 504 92 94

E-posta adresi **:** necmettinpolat@hotmail.com

EĞİTİM BİLGİLERİ

Lisans **:** Aksaray Üni. İnşaat Müh. Böl. (İÖ) 2013-2017

Yüksek Lisans **:** Aksaray Üni. İnş. Müh. ABD. 2018-2020

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLERİ

1. Balkan-Emin İnşaat Ltd.Şti. 2017-2020
2. Emin İnşaat Madencilik San. Tic. A.Ş. 2020-Halen

TEZDEN ÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER

Erenson, C., Polat, N. ve Terzi, N. U., 2019. Investigation of the deformation properties of high density polyethylene pipes under thermal effects with laboratory tests, 8. International Geotechnical Symposium, İstanbul.