

**ÇEVRE SICAKLIĞI VE KAYNAK ÖN TAV ISIL
İŞLEMİNİN POLİETİLEN DOĞALGAZ
BORULARININ ELEKTROFÜZYON KAYNAĞINA
ETKİSİ**

**2015
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ**

Asghar NAJAFİGHAREHTAPEH

**ÇEVRE SICAKLIĞI VE KAYNAK ÖN TAV ISIL İŞLEMİNİN POLİETİLEN
DOĞALGAZ BORULARININ ELEKTROFÜZYON KAYNAĞINA ETKİSİ**

Asgar NAJAFİGHAREHTAPEH

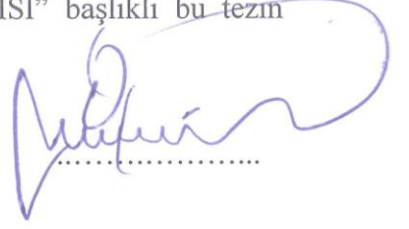
**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Haziran 2015**

Asghar NAJAFIĞHAREHTAPEH tarafından hazırlanan “ÇEVRE SICAKLIĞI VE KAYNAK ÖN TAV ISIL İŞLEMİNİN POLİETİLEN DOĞALGAZ BORULARININ ELEKTROFÜZYON KAYNAĞINA ETKİSİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Ramazan KAÇAR

Tez Danışmanı, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 15/ 06/ 2015

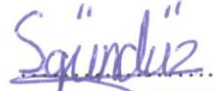
Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Şükrü TALAŞ (AKÜ)



Üye : Prof. Dr. Süleyman GÜNDÜZ (KBÜ)



Üye : Prof. Dr. Ramazan KAÇAR (KBÜ)



...../...../2015

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Mustafa BOZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Asghar NAJAFIGHAREHTAPEH

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ÇEVRE SICAKLIĞI VE KAYNAK ÖN TAV ISIL İŞLEMİNİN POLİETİLEN DOĞALGAZ BORULARININ ELEKTROFÜZYON KAYNAĞINA ETKİSİ

Asgar NAJAFİGHAREHTAPEH

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Ramazan KAÇAR

Haziran 2015, 149 sayfa

Doğal gaz ve su dağıtım hatlarında kullanılan polietilen boruların elektrofüzyon kaynağıyla birleştirmeleri, standartlarda $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklık aralığında yapılması önerilmektedir. Bu çalışmada çevre sıcaklığının birleştirme özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla yüksek yoğunluklu (PE100) ve orta yoğunluklu (PE80) borular elektrofüzyon kaynak yöntemi ile farklı çevre sıcaklıklarında (oda sıcaklığı, 0 , -10 , -20 ve $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$) ve ön tav işlemi (60 ve $80\text{ }^{\circ}\text{C}$) uygulanarak birleştirilmiştir. Birleştirmelere standartlarına göre sızdırmazlık ve ezme testi yanısıra bağlantının dayanımını belirlemek için tekli ve çiftli soyma-ayırma testi uygulanmıştır. Böylece birleştirmelerin ayrılma tokluğu, K , ve ayrılmak için normal enerji, E_N , hesaplanmıştır. İlaveten kaynak numunelerimizin ani yüklere karşı dayanımını ölçmek için izod darbe dayanım testi gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak artan çevre sıcaklığına bağlı olarak kaynak bölgesindeki daha fazla oluşan kristal yapı miktarının dayanımı arttırdığı ancak şekillendirilebilirliği azalttığı tespit

edilmiştir. Ön tav ısıtma işlemi düşük çevre sıcaklıklarında elde edilen birleştirmelerin özelliklerine olumlu katkıda bulunurken, yüksek çevre sıcaklıklarında elde edilen bağlantının dayanımını olumsuz etkilediği belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler : PE100, PE 80, doğalgaz borusu, elektrofüzyon kaynağı, çevre sıcaklığı ve ön tav ısıtma işlemi.

Bilim Kodu : 916.1.092

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

AN EFFECT OF ENVIRONMENT TEMPERATURE AND PREHEAT TREATMENT ON THE ELECTROFUSION WELDING OF POLYETHYLEN NATURAL GAS PIPES

Asghar NAJAFI GHAREHTAPEH

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Manufacturing Engineering

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Ramazan KAÇAR

June 2015, 149 pages

The standard used in electrofusion welding of polyethylene natural gas and water transportation network pipes, recommends that welds need to be carried out at the temperature range between $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$. In this study, an effect of the environment temperature on the properties of weldment is investigated. For this purpose, high density (PE100) and medium density (PE80) pipes were joined with electrofusion welding method at the various environment temperatures (room temperature, 0 , -10 , -20 and $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$) and by using preheat temperatures (60 and $80\text{ }^{\circ}\text{C}$). According to standard, leaking and crush decohesion test have been carried out and the peel decohesion and double peel decohesion tests have been also applied for determining the strength of weldment. Thus, decohesion toughness, K , and nominal energy, E_N , for the decohesion of weldment was calculated. Impact resistance of weldments were also investigated by Izod impact test. Conclusively, the strength of

the weldment increased while the ductility was decreased by increasing amount of crystalline in weld region associated with increasing environment temperature. It was determined that the preheat treatment process affected positively the features of weldment which was joined at low environment temperature however the strength of weldments joined at room temperature was affected negatively.

Key Word : PE100, PE80, natural gas pipes, electrofusion welding, environment temperature and preheat treatment.

Science Code : 916.1.09

TEŞEKKÜR

Bu yüksek lisans tezi çalışmasının başlangıcından sonuna kadar derin bilgi ve tecrübesinden yararlandığım, sabrını, desteğini ve samimiyetini esirgemeyen, çalışma prensibini örnek aldığım değerli hocam Sayın Prof. Dr. Ramazan KAÇAR'a sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarım süresince değerli bilgilerini ve önerilerini esirgemeyen çok değerli hocalarım Prof.Dr. Süleyman GÜNDÜZ ve Doç. Dr. Halil DEMİR ve Araştırma görevlisi Hayriye Ertek EMRE ve Dr. Ceyhun Köse'ye teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca değerli katkı ve yardımlarından dolayı İmalat Mühendisliği Bölümündeki değerli hocalarıma ve idari personele en içten teşekkürlerimi borç bilirim. Laboratuvar çalışmaları sırasında verdikleri destek ve yardımlardan dolayı Karabük Üniversitesi Demir Çelik Enstitüsü ve Teknoloji Fakültesi atölye ve laboratuvar çalışanlarına teşekkür ederim.

Özellikle belirtmem gerekirken deneysel çalışmalarına katkı ve desteklerinden dolayı KARGAZ Karabük Bölgesi İşletme müdürü Cengiz Monçoğlu'na içten teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca teknik bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım Egeplast Ege plastik Tic. A.Ş. kalite kontrol müdürü Ali Güroğlu'na teşekkürü borç bilirim.

Bu tez çalışması, Karabük Üniversitesi Rektörlüğü BAP Komisyonu tarafından KBÜ-BAP-14/2-YL-032 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir, BAP birimine ve Karabük Üniversitesi Rektörlüğüne desteklerinden dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak, hayatım boyunca desteklerini ve sevgilerini eksik etmeyen değerli aileme sonsuz sevgi ve şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

| | <u>Sayfa</u> |
|--|---------------------|
| KABUL..... | ii |
| ÖZET..... | iv |
| ABSTRACT..... | vi |
| TEŞEKKÜR..... | viii |
| İÇİNDEKİLER | ix |
| ŞEKİLLER DİZİNİ..... | xvi |
| ÇİZELGELER DİZİNİ | xx |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ | xxii |
| | |
| BÖLÜM 1. | 1 |
| GİRİŞ | 1 |
| | |
| BÖLÜM 2 | 3 |
| LİTERATÜR ARAŞTIRMASI | 3 |
| 2.1. POLİMERLER VE ÇEŞİTLERİ..... | 3 |
| 2.1.1. Polimerizasyon Derecesi | 4 |
| 2.2. POLİMERLERDE BAĞLAR VE MOLEKÜLER KUVVETLER | 6 |
| 2.2.1. Birincil Bağlar | 6 |
| 2.2.2. İkincil Bağ Kuvvetleri ve Polimerlerin Özelliklerine Etkisi | 6 |
| 2.3. POLİMERLERDE YAPI DEĞİŞİMİ | 7 |
| 2.3.1. Amorf Yapı..... | 7 |
| 2.3.2. Kristalin Yapı..... | 8 |
| 2.3.3. Yönlenmiş Yapı | 11 |
| 2.4. ÇAPRAZ BAĞLI POLİMERLER | 12 |
| 2.5. POLİMERLERİN MOLEKÜL AĞIRLIĞI VE DAĞILIMI. | 13 |
| 2.6. POLİMERLERİN ÖZELLİKLERİ..... | 14 |
| 2.6.1. Mekanik Özellikler. | 14 |
| 2.6.1.1. Çekme Kuvvet – Uzama Özellikleri. | 14 |

| | <u>Sayfa</u> |
|--|---------------------|
| 2.6.1.2. Yorulma | 15 |
| 2.6.1.3. Darbe Direnci | 16 |
| 2.6.2. Elektriksel Özellikler | 18 |
| 2.6.2.1. Elektriksel İletkenlik | 18 |
| 2.6.2.2. Dielektrik Bozunma Direnci | 18 |
| 2.6.2.3. Dielektrik Sabiti ve Dielektrik Kayıp | 18 |
| 2.6.3. Termal Özellikler | 18 |
| 2.6.3.1. Isıl İletkenlik | 19 |
| 2.6.3.2. Isıl Genleşme | 19 |
| 2.6.3.3. Isıl Direnç | 19 |
| 2.6.4. Optik Özellikler | 19 |
| 2.6.4.1. Geçirgenlik ve Yansıtma | 19 |
| 2.6.4.2. Renk | 20 |
| 2.6.4.3. Parlaklık | 20 |
| 2.6.4.4. Pusluluk | 20 |
| 2.6.4.5. Şeffaflık | 20 |
| 2.6.5. Kimyasal Özellikler | 21 |
| 2.7. POLİMERLERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ | 21 |
| 2.7.1. Kütle Polimerleşmesi | 21 |
| 2.7.2. Çözelti Polimerleşmesi | 22 |
| 2.7.3. Süspansiyon Polimerleşmesi | 23 |
| 2.7.4. Emülsiyon Polimerizasyonu | 24 |
| 2.7.5. Çökelti Polimerizasyonu | 25 |
| 2.7.6. Gaz-Fazı Polimerizasyonu | 25 |
| 2.7.7. Koordinasyon Polimerleşmesi | 26 |
| 2.8. POLİETİLENİN ÜRETİMİ VE TARİHSEL GELİŞİMİ | 27 |
| 2.9. POLİETİLENLERİN SINIFLANDIRILMASI | 29 |
| 2.9.1. Yüksek Basınç Polietileni; LDPE | 29 |
| 2.9.2. Düşük Basınç Polietileni; YYPE ve LAYPE | 30 |
| 2.9.3. Düşük Yoğunluklu Polietilen | 31 |
| 2.9.4. Orta Yoğunluklu Polietilen | 32 |
| 2.9.5. Yüksek Yoğunluklu Polietilen | 32 |

| | |
|---|----|
| 2.10. POLİETİLENLERE KATILAN KİMYASAL MADDELER..... | 33 |
| 2.10.1. Oksitlenmeyi Önleyiciler..... | 33 |
| 2.10.2. Ultraviyole Kararlılık Sağlayıcılar | 33 |
| 2.10.3. Kaydırıcı ve Bloklaşmayı Önleyiciler | 34 |
| 2.11. POLİMERLERİN İŞLENMESİ VE ENDÜSTRİDE KULLANIMI..... | 34 |
| 2.12. POLİETİLEN BORULARIN ÜRETİMİ VE KULLANIM ALANLARI... | 34 |
| 2.13. POLİETİLEN BORULARIN ÖZELLİKLERİ | 36 |
| 2.14. POLİETİLEN BORULARIN BİRLEŞTİRİLMESİ | 37 |
| 2.14.1. Mekaniksel Birleştirme Yöntemleri | 37 |
| 2.14.2. Kaynaklı Birleştirme Yöntemleri | 37 |
| 2.14.2.1. Alın Kaynağı..... | 37 |
| 2.14.2.2. Elektrofüzyon kaynağı..... | 38 |
| 2.14.2.3. Polietilen Boruların Kaynak Kabiliyetini Etkileyen Parametreler | 42 |
| 2.14.2.4. Çevre Sıcaklığı Faktörü | 42 |
| 2.15. POLİETİLEN BORU BİRLEŞTİRMELERİNE UYGULANAN ISIL İŞLEMLER..... | 43 |
| 2.16. POLİETİLEN BORULARININ KAYNAK KALİTESİNİN BELİRLENMESİ..... | 44 |
| 2.16.1. Sızdırmazlık Testi..... | 44 |
| 2.16.2. Ezme Ayırma Testi..... | 44 |
| 2.16.3. Soyma-Ayrılma Testi..... | 45 |
| 2.16.3.1. Tekli Soyma-Ayrılma Testi | 45 |
| 2.16.3.2. Çiftli Soyma-Ayrılma Testi | 45 |
| 2.16.4. İzod Darbe Testi | 46 |
| | |
| BÖLÜM 3 | 47 |
| DENEYSEL METOT | 47 |
| 3.1. MALZEMELER..... | 47 |
| 3.1.1. POLİETİLEN DOĞAL GAZ BORULARI..... | 47 |
| 3.1.2. DOĞAL GAZ BORULARININ ALIN ALINA BAĞLANTI ELEMANLARI..... | 48 |
| 3.2. ELEKTROFÜZYON KAYNAK MAKİNESİ..... | 50 |

| | |
|---|----|
| 3.3. DOĞALGAZ BORULARININ ELEKTROFÜZYON KAYNAK YÖNTEMİYLE BİRLEŞTİRİLMESİ | 51 |
| 3.3.1. Boruların Kaynak Öncesi Hazırlanması | 51 |
| 3.3.2. Farklı Çevre Sıcaklık Ortamının Oluşturulması | 53 |
| 3.3.3. Boruların Ön Tav Isıl İşlemi | 54 |
| 3.3.4. Polietilen Doğalgaz Borularının Elektrofüzyon Kaynaklı Birleştirilmesi | 55 |
| 3.4. DENEY NUMUNELERİNİN HAZIRLANMASI | 57 |
| 3.4.1. Deney Numunelerinin Numaralandırılması | 57 |
| 3.4.2. Sızdırmazlık Test Numunesi Hazırlanması | 58 |
| 3.4.2.1. Sızdırmazlık Deney Düzeneginin Geliştirilmesi | 58 |
| 3.4.2.2. Sızdırmazlık Testi Uygulanışı | 59 |
| 3.4.3. Kaynaklı Borulara Uygulanan Ezme Testi Numunesinin Hazırlanması | 59 |
| 3.4.3.1. Ezme Test Numunesinin Hazırlanması | 59 |
| 3.4.3.2. Ezme Testinin Uygulanması | 60 |
| 3.4.4. Elektrofüzyon Kaynaklı Borulara Uygulanan Çekme Soyma-Ayrılma Testi | 61 |
| 3.4.4.1. Tekli Çekme Soyma-Ayrılma Test Numunelerinin Hazırlanması .. | 61 |
| 3.4.4.2. Tekli Çekme Soyma-Ayrılma Testinin Uygulanması | 63 |
| 3.4.4.3. Çiftli Çekme Soyma-Ayrılma Test Numunelerinin Hazırlanması .. | 64 |
| 3.4.4.4. Çiftli Çekme Soyma-Ayrılma Testinin Uygulanması | 65 |
| 3.4.4.5. Birleştirme Tokluğu ve Normal Çekme Soyma Enerjisi Hesabı | 66 |
| 3.4.5. İzod Darbe Testi | 66 |
| 3.4.5.1. İzod Darbe Numunelerinin Hazırlanması | 66 |
| 3.4.5.2. İzod Darbe Deneyinin Uygulanması | 67 |
| 3.4.5.3. İzod Darbe Deney Numunelerinin Kırılma Yüzey İncelenmesi | 68 |
| BÖLÜM 4 | 69 |
| DENEYSEL SONUÇLAR | 69 |
| 4.1. ÇEVRE SICAKLIĞI İLE KAYNAK ZAMANININ İLİŞKİSİ | 69 |
| 4.1.1. PE100 Doğal Gaz Borularının Çevre Sıcaklığı ile Kaynak Zamanı İlişkisi | 69 |

| | |
|---|----|
| 4.1.2. PE80 Doğal Gaz Borularının Çevre Sıcaklığı ile Kaynak Zamanı İlişkisi..... | 70 |
| 4.2. ÖNTAV SICAKLIĞI İLE KAYNAK ZAMANININ İLİŞKİSİ..... | 71 |
| 4.2.1. PE100 Doğal Gaz Borularının Öntav Sıcaklığı ile Kaynak Zamanı İlişkisi | 72 |
| 4.2.2. PE80 Doğal Gaz Borularının Öntav Sıcaklığı ile Kaynak Zamanı İlişkisi..... | 73 |
| 4.3. KAYNAKLI BORULARA UYGULANAN SIZDIRMAZLIK TESTİ..... | 74 |
| 4.3.1. PE100 Doğal Gaz Borularının Sızdırmazlık Testi..... | 74 |
| 4.3.2. PE80 Doğal Gaz Borularının Sızdırmazlık Testi..... | 75 |
| 4.4. KAYNAKLI BORULARA UYGULANAN EZME TESTİ..... | 75 |
| 4.4.1. PE100 Doğal Gaz Borularının Ezme Testi..... | 76 |
| 4.4.2. PE80 Doğal Gaz Borularının Ezme Testi..... | 76 |
| 4.5. KAYNAKLI BORULARIN TEKLİ ÇEKME SOYMA AYRILMA TESTİ | 77 |
| 4.5.1. PE100 Doğal Gaz Borularının Tekli Çekme Soyma-Ayrılma Testi | 77 |
| 4.5.1.1. Çevre Sıcaklığının PE100 Doğal Gaz Borularının Tekli Çekme Soyma-Ayrılma Dayanımına Etkisi..... | 78 |
| 4.5.1.2. Ön Tav Sıcaklığının PE100 Doğal Gaz Borularının Tekli Çekme Soyma-Ayrılma Dayanımına Etkisi..... | 81 |
| 4.5.2. PE80 Doğal Gaz Borularının Tekli Çekme Soyma-Ayrılma Testi | 83 |
| 4.5.2.1. Çevre Sıcaklığının PE80 Doğal Gaz Borularının Tekli Çekme Soyma-Ayrılma Dayanımına Etkisi..... | 83 |
| 4.5.2.2. Ön Tav Sıcaklığının PE80 Doğal Gaz Borularının Tekli Çekme Soyma-Ayrılma Dayanımına Etkisi..... | 86 |
| 4.6. KAYNAKLI BORULARIN ÇİFTLİ ÇEKME SOYMA AYRILMA TESTİ | 88 |
| 4.6.1. PE100 Doğal Gaz Borularının Çiftli Çekme Soyma - Ayrılma Testi | 88 |
| 4.6.1.1. Çevre Sıcaklığının PE100 Doğal Gaz Borularının Çiftli Çekme Soyma-Ayrılma Dayanımına Etkisi..... | 89 |
| 4.6.1.2. Farklı Çevre Sıcaklıklarının PE100 Boruların Birleştirme Tokluğu ve Normal Soyma-Ayrılma Enerjisine Etkisi. | 92 |
| 4.6.1.3. Ön Tav Sıcaklığının PE100 Doğal Gaz Borularının Çiftli Çekme Soyma-Ayrılma Dayanımına Etkisi..... | 93 |
| 4.6.1.4. Ön Tav Sıcaklıklarının PE100 Boruların Birleştirme Tokluğu ve Normal Soyma-Ayrılma Enerjisine Etkisi..... | 96 |
| 4.6.2. PE80 Doğal Gaz Borularının Çiftli Çekme Soyma- Ayrılma Testi | 99 |

| | |
|--|-----|
| 4.6.2.1. Çevre Sıcaklığının PE80 Doğal Gaz Borularının Çiftli Çekme Soyma-Ayrılma Dayanımına Etkisi..... | 99 |
| 4.6.2.2. Farklı Çevre Sıcaklıklarının PE80 Boruların Birleştirme Tokluğu ve Normal Soyma- Ayrılma Enerjisine Etkisi..... | 101 |
| 4.6.2.3. Ön Tav Sıcaklığının PE80 Doğal Gaz Borularının Çiftli Çekme Soyma-Ayrılma Dayanımına Etkisi..... | 102 |
| 4.6.2.4. Ön Tav Sıcaklıklarının PE80 Boruların Birleştirme Tokluğu ve Normal Soyma-Ayrılma Enerjisine Etkisi | 106 |
| 4.6.3. Çevre Sıcaklığının Çekme Soyma-Ayrılma Testinde Ayrılma Yüzeyine Etkisi..... | 107 |
| 4.7. KAYNAKLI BORULARA UYGULANAN İZOD DARBE TESTİ | 109 |
| 4.7.1. Çevre Sıcaklığının PE100 Birleştirmelerinin Darbe Dayanımına Etkisi..... | 109 |
| 4.7.2. Ön Tav Sıcaklığının PE100 Doğal Gaz Borularının İzod Darbe Dayanımına Etkisi. | 111 |
| 4.7.3. Çevre Sıcaklığının PE80 Birleştirmelerinin Darbe Dayanımına Etkisi | 118 |
| 4.7.4. Ön Tav Sıcaklığının PE80 Doğal Gaz Borularının İzod Darbe Dayanımına Etkisi. | 120 |
| 4.8. DÜŞÜK ÇEVRE SICAKLIKLARINDA ÖN TAV SICAKLIĞININ PE100 VE PE80 BİRLEŞTİRMELERİNİN İZOD DARBE DAYANIMINA ETKİSİ | 127 |
| BÖLÜM 5 | 128 |
| SONUÇLARIN İRDELENMESİ | 128 |
| 5.1. ÇEVRE SICAKLIĞI İLE KAYNAK ZAMANININ İLİŞKİSİ | 128 |
| 5.1.1. PE100 ve PE80 Doğal Gaz Borularının Çevre Sıcaklığı ile Kaynak Zamanı İlişkisi..... | 128 |
| 5.2. ÖN TAV SICAKLIĞI İLE KAYNAK ZAMANININ İLİŞKİSİ | 129 |
| 5.2.1. PE100 ve PE80 Doğal Gaz Borularının Öntav Sıcaklığı ile Kaynak Zamanı İlişkisi..... | 129 |
| 5.3. KAYNAKLI BORULARA UYGULANAN SIZDIRMAZLIK TESTİ | 130 |
| 5.4. KAYNAKLI BORULARA UYGULANAN EZME TESTİ..... | 130 |
| 5.5. KAYNAKLI BORULARIN TEKLİ ÇEKME SOYMA AYRILMA TESTİ..... | 131 |
| 5.5.1. PE100 ve PE80 Doğal Gaz Borularının Tekli Çekme Soyma-Ayrılma Testi..... | 131 |

Sayfa

| | |
|--|-----|
| 5.5.2. Ön Tav Sıcaklığının PE100 ve PE80 Doğal Gaz Borularının Tekli Çekme Soyma-Ayrılma Dayanımına Etkisi..... | 132 |
| 5.6. KAYNAKLI BORULARIN ÇİFTLİ ÇEKME SOYMA AYRILMA TESTİ..... | 133 |
| 5.6.1. PE100 ve PE80 Doğal Gaz Borularının Çiftli Çekme Soyma-Ayrılma Testi..... | 133 |
| 5.6.2. Ön Tav Sıcaklığının PE100 ve PE80 Doğal Gaz Borularının Çiftli Çekme Soyma-Ayrılma Dayanımına Etkisi..... | 135 |
| 5.6.3. PE100 ve PE80 Birleştirmeleri Çiftli Çekme Soyma-Ayrılma Test Numunelerinin Ayrılma Yüzeylerinin Değerlendirmesi..... | 136 |
| 5.7. KAYNAKLI BORULARA UYGULANAN İZOD DARBE TESTİ | 137 |
| | |
| BÖLÜM 6 | 142 |
| GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER..... | 142 |
| KAYNAKLAR | 145 |
| | |
| ÖZGEÇMİŞ | 149 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | <u>Sayfa</u> |
|--|---------------------|
| Şekil 2.1. Polimerlerin çeşitli kriterlere göre sınıflandırılması | 3 |
| Şekil 2.2. Moleküler düzenler | 8 |
| Şekil 2.3. Saçaklı misel modeli | 9 |
| Şekil 2.4. Katlanmış zincir lamel modeli | 9 |
| Şekil 2.5. Kristallenme prosesi..... | 10 |
| Şekil 2.6. Spherulit yapıları..... | 10 |
| Şekil 2.7. Polimerlerde çapraz bağların oluşumu..... | 13 |
| Şekil 2.8. Polimerlerin özelliklerinin molekül ağırlığına bağlı olarak değişimi | 13 |
| Şekil 2.9. Polimer bir malzemenin tipik kuvvet-uzama grafiği | 15 |
| Şekil 2.10. Polimerler için tipik kuvvet-uzama grafikleri..... | 15 |
| Şekil 2.11. Gevrek ve sünek kırılmanın kuvvet-uzama eğrisi ile ilişkisi..... | 16 |
| Şekil 2.12. Çentik darbe testi | 17 |
| Şekil 2.13. Çentik ucu yarıçapının darbe direncine etkisi..... | 17 |
| Şekil 2.14. Homojen fazlı çözelti prosesi ile DYPE ve heterojen fazlı çözelti prosesi ile YYPE üretimi | 23 |
| Şekil 2.15. Süspansiyon polimerleşmesinin şematik görüntüsü | 24 |
| Şekil 2.16. Emülsiyon polimerizasyonunda misel oluşumu | 25 |
| Şekil 2.17. Polietilenin sürekli üretiminde akış şeması | 26 |
| Şekil 2.18. Etilen moleküllerinin polimerleşmesi | 27 |
| Şekil 2.19. Polietilenin lamella ve spherulite yapısı | 28 |
| Şekil 2.20. Yüksek basınç polietilen üretimini | 29 |
| Şekil 2.21. Gaz fazı düşük basınçlı polietilen üretimi şematik göstergesi..... | 30 |
| Şekil 2.22. Slury yöntemi ile YYPE/LAYPE üretim aşaması | 31 |
| Şekil 2.23. Ekstrüzyon yöntemi ile PE borularının üretim hattı | 35 |
| Şekil 2.24. Ekstrüzyon yöntemi ile PE borularının üretim hattı | 39 |
| Şekil 2.25. Kaynak bölgesindeki makro moleküllerin arayüzeyden difüzyonunun şematik gösterimi | 40 |
| Şekil 2.26. Ekstrüzyon kaynak yöntemindeki aşamaların şematik göstergesi | 41 |

Sayfa

| | |
|--|----|
| Şekil 3.1. PE100 ve PE80 doğal gaz borusu | 48 |
| Şekil 3.2. Bağlantı elemanını (manşon) görüntüsü | 49 |
| Şekil 3.3. Elektrofüzyon kaynak makineleri | 51 |
| Şekil 3.4. Doğal gaz boru kesiti daireselleştirme aparatları | 52 |
| Şekil 3.5. Borularının kazıma işlemi | 52 |
| Şekil 3.6. Düşük çevre sıcaklıklarında kaynağın gerçekleştirildiği derin dondurucu | 54 |
| Şekil 3.7. Deney numunelerine uygulanan ön tav ısıtma işlemi | 55 |
| Şekil 3.8. Elektrofüzyon kaynaklı birleştirmelerde kullanılan boru konum sabitleyicisi | 55 |
| Şekil 3.9. Elektrofüzyon kaynak yöntemiyle birleştirilmiş doğalgaz borusu | 56 |
| Şekil 3.10. Sızdırmazlık testi deney düzeneği | 58 |
| Şekil 3.11. Kaynaklı doğalgaz borularının kesilerek dört eşit parçaya bölünmesi | 60 |
| Şekil 3.12. Ezme test cihazı | 60 |
| Şekil 3.13. Ezme testinin uygulanması | 61 |
| Şekil 3.14. Frezede işlenen çekme soyma-ayrılma numunesi | 62 |
| Şekil 3.15. Tekli çekme soyma-ayrılma test numunesi | 62 |
| Şekil 3.16. Çekme test cihazı ve tekli çekme soyma-ayrılma test numunesi tutucusu | 63 |
| Şekil 3.17. Tekli çekme soyma ayrılma numuneleri ayrılma biçimleri | 63 |
| Şekil 3.18. Frezede işlenerek hazırlanan çiftli çekme soyma-ayrılma numunesi | 64 |
| Şekil 3.19. Çiftli çekme soyma-ayrılma test numunesi | 65 |
| Şekil 3.20. Çiftli çekme-ayrılma testi için numune tutucusu | 65 |
| Şekil 3.21. Izod darbe testi numunesi | 67 |
| Şekil 3.22. Darbe çentik cihazı ve izod darbe numune tutucusu | 67 |
| Şekil 4.1. PE100 doğalgaz borusunun kaynak süresinin çevre sıcaklığına bağlı olarak değişimi | 70 |
| Şekil 4.2. PE80 doğalgaz borusunun kaynak süresinin çevre sıcaklığına bağlı olarak değişimi | 71 |
| Şekil 4.3. PE100 doğalgaz borusunun kaynak süresinin ön tav sıcaklığına bağlı olarak değişimi | 72 |
| Şekil 4.4. PE80 doğalgaz borusunun kaynak süresinin ön tav sıcaklığına bağlı olarak değişimi | 73 |
| Şekil 4.5. Farklı çevre sıcaklıklarında birleştirilen PE100 numunelerin tekli çekme soyma-ayrılma grafikleri | 78 |

| | |
|---|-----|
| Şekil 4.6. Çevre sıcaklığının arayüzeyden ayrılan PE100 tekli çekme soyma-ayrılma numunelerin birleştirme arayüzey tokluğu (K) ve normal çekme soyma ayrılma enerjisine (E_N) etkisi..... | 80 |
| Şekil 4.7. Ön tav ısı işlemi uygulanmış şekliyle farklı çevre sıcaklıklarında birleştirilen PE100 numunelerin tekli çekme soyma-ayrılma grafikleri .. | 81 |
| Şekil 4.8. Temin edildiği şekliyle farklı çevre sıcaklıklarında birleştirilen PE80 numunelerinin tekli çekme soyma-ayrılma grafikleri | 83 |
| Şekil 4.9. Çevre sıcaklığının arayüzeyden ayrılan tekli PE80 numunelerin kaynak arayüzey tokluğu (K) ve normal soma-ayrılma enerjisine (E_N) etkisi. | 85 |
| Şekil 4.10. Ön tav ısı işlemi uygulanmış şekliyle farklı çevre sıcaklıklarında birleştirilen PE80 numunelerin tekli çekme soyma-ayrılma grafikleri | 86 |
| Şekil 4.11. Farklı çevre sıcaklıklarında birleştirilen PE100 numunelerin ortalama çiftli çekme soyma-ayrılma grafikleri | 90 |
| Şekil 4.12. Farklı çevre sıcaklıklarının PE100 borularının birleştirme tokluğu ve normal çekme soyma-ayrılma enerjisine etkisi..... | 92 |
| Şekil 4.13. Ön tav ısı işlemi uygulandıktan sonra farklı çevre sıcaklıklarında birleştirilen PE100 numunelerin çiftli çekme soyma-ayrılma grafikleri.. | 93 |
| Şekil 4.14. 60°C sıcaklıkta ön tav ısı işleminin PE100 borularının birleştirme tokluğu ve normal çekme soyma-ayrılma enerjisine etkisi..... | 97 |
| Şekil 4.15. 80°C sıcaklıkta ön tav ısı işleminin PE100 borularının birleştirme tokluğu ve normal çekme soyma-ayrılma enerjisine etkisi..... | 98 |
| Şekil 4.16. Farklı çevre sıcaklıklarında birleştirilen PE80 numunelerin ortalama çiftli çekme soyma-ayrılma grafikleri | 99 |
| Şekil 4.17. Farklı çevre sıcaklıklarının PE80 borularının birleştirme tokluğu ve normal çekme soyma-ayrılma enerjisine etkisi..... | 102 |
| Şekil 4.18. Ön tav ısı işlemi uygulandıktan sonra farklı çevre sıcaklıklarında birleştirilen PE80 numunelerin ortalama çiftli çekme soyma-ayrılma grafikleri..... | 103 |
| Şekil 4.19. 60°C sıcaklıkta uygulanan ön tav ısı işleminin PE80 borularının birleştirme tokluğu ve normal çekme soyma ayrılma enerjisine etkisi.. | 106 |
| Şekil 4.20. 80°C sıcaklıkta uygulanan ön tav ısı işleminin PE80 borularının birleştirme tokluğu ve normal çekme soyma ayrılma enerjisine etkisi .. | 107 |
| Şekil 4.21. Çevre sıcaklığının PE100 doğal gaz boruların darbe dayanımına etkisi | 110 |
| Şekil 4.22. Oda sıcaklığında, 0°C ve -30°C çevre sıcaklıklarında birleştirilen PE100 doğalgaz borularının izod darbe numunelerinin kırılma yüzeyi | 111 |
| Şekil 4.23. Kaynak öncesi 60°C sıcaklıkta uygulanan ön tav ısı işleminin farklı çevre sıcaklıklarında birleştirilen numunelerin izod darbe dayanımına etkisi | 113 |
| Şekil 4.24. Kaynak öncesi 80°C sıcaklıkta uygulanan ön tav ısı işleminin farklı çevre sıcaklıklarında birleştirilen numunelerin izod darbe dayanımına etkisi | 114 |

| | |
|---|-----|
| Şekil 4.25. 60°C sıcaklıkta ön tav ısıl işlemi uygulandıktan sonra oda sıcaklığında, 0°C ve -30°C çevre sıcaklıklarında birleştirilen PE100 doğalgaz borularının izod darbe numunelerinin kırılma yüzeyi..... | 115 |
| Şekil 4.26. Oda sıcaklığında temin edildiği şekliyle ve ön tav ısıl işlemi uygulandıktan sonra birleştirilen PE100 doğalgaz borularının izod darbe numunelerinin kırılma yüzeyi | 116 |
| Şekil 4.27. 0°C çevre sıcaklığında temin edildiği şekliyle ve ön tav ısıl işlemi uygulandıktan sonra birleştirilen PE100 doğalgaz borularının izod darbe numunelerinin kırılma yüzeyi | 117 |
| Şekil 4.28. -30°C çevre sıcaklığında temin edildiği şekliyle ve 60°C ve 80°C sıcaklıkta ön tav ısıl işlemi uygulandıktan sonra birleştirilen PE100 doğalgaz borularının izod darbe numunelerinin kırılma yüzeyi | 117 |
| Şekil 4.29. Çevre sıcaklığının PE80 doğal gaz boruların darbe dayanımına etkisi . | 119 |
| Şekil 4.30. Oda sıcaklığında, 0°C ve -30°C çevre sıcaklıklarında birleştirilen PE80 doğalgaz borularının izod darbe numunelerinin kırılma yüzeyi | 120 |
| Şekil 4.31. Kaynak öncesi 60°C uygulanan ön tav ısıl işleminin farklı çevre sıcaklıklarında birleştirilen PE80 numunelerin darbe dayanımına etkisi | 122 |
| Şekil 4.32. Kaynak öncesi 80°C sıcaklıkta uygulanan ön tav ısıl işleminin farklı çevre sıcaklıklarında birleştirilen PE80 numunelerin izod darbe dayanımına etkisi | 123 |
| Şekil 4.33. 60°C sıcaklıkta ön tav ısıl işlemi uygulandıktan sonra oda sıcaklığında, 0°C ve -30°C sıcaklıklarında birleştirilen PE80 darbe numunelerinin kırılma yüzeyi..... | 124 |
| Şekil 4.34. Oda sıcaklığında temin edildiği şekliyle ve ön tav ısıl işlemi uygulandıktan sonra birleştirilen PE80 izod darbe numunelerinin kırılma yüzeyi..... | 125 |
| Şekil 4.35. 0°C çevre sıcaklığında temin edildiği şekliyle ve ön tav ısıl işlemi uygulanarak birleştirilen PE80 izod darbe numunelerinin kırılma yüzeyi | 125 |
| Şekil 4.36. -30°C çevre sıcaklığında temin edildiği şekliyle ve 60°C ve 80°C sıcaklıkta ön tav ısıl işlemi uygulandıktan sonra birleştirilen PE80 doğal gaz borularının izod darbe numunelerinin kırılma yüzeyi | 126 |
| Şekil 4.37. Ön tav sıcaklığının düşük sıcaklıkta birleştirilen PE100 ve PE80 birleştirmelerin izod darbe dayanımına etkisi | 127 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

| | <u>Sayfa</u> |
|--|---------------------|
| Çizelge 2.1. Termoplastiklerin tipik özellikleri | 5 |
| Çizelge 2.2. Ezme testi için polietilen boru birleştirme verileri | 44 |
| Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan PE boruların özellikleri | 48 |
| Çizelge 3.2. Bağlantı elemanının (manşon) özellikleri | 49 |
| Çizelge 3.3. Elektrofüzyon kaynak makinelerinin özellikleri..... | 50 |
| Çizelge 3.4. Doğal gaz borusu ve manşon arasında tolere edilebilen maksimum boşluk | 53 |
| Çizelge 3.5. Deney numunelerin numaralandırılması..... | 57 |
| Çizelge 3.6. Ezme testi için numune sayısı ve boyutları..... | 60 |
| Çizelge 4.1. PE100 doğal gaz borularının sızdırmazlık testi | 74 |
| Çizelge 4.2. PE80 doğal gaz borularının sızdırmazlık testi | 75 |
| Çizelge 4.3. PE100 doğal gaz borularının ezme testi sonucu | 76 |
| Çizelge 4.4. PE80 doğal gaz borularının ezme testi sonucu | 77 |
| Çizelge 4.5. PE 100 numunelerin tekli çekme soyma-ayırılma test sonucu verileri | 79 |
| Çizelge 4.6. 60°C ön tav uygulandıktan sonra farklı çevre sıcaklığında birleştirilen PE100 numunelerin tekli çekme soyma-ayırılma test sonucu verileri | 81 |
| Çizelge 4.7. 80°C sıcaklıkta ön tav uygulandıktan sonra farklı çevre sıcaklığında birleştirilen PE100 numunelerin tekli çekme soyma-ayırılma test sonucu verileri | 82 |
| Çizelge 4.8. Farklı çevre sıcaklıklarında birleştirilen PE80 doğalgaz borularının tekli çekme soyma-ayırılma test sonucu verileri | 84 |
| Çizelge 4.9. 60°C ön tav uygulandıktan sonra farklı çevre sıcaklığında birleştirilen numunelerin tekli çekme soyma-ayırılma test sonucu verileri | 86 |
| Çizelge 4.10. 80°C ön tav uygulandıktan sonra farklı çevre sıcaklıklarında birleştirilen PE80 borularının kaynak arayüzeyinden ayrılan tekli çekme soyma-ayırılma testi verileri | 87 |
| Çizelge 4.11. Farklı çevre sıcaklığında birleştirilen PE100 doğal gaz borularının çiftli soyma-ayırılma testi verileri | 90 |
| Çizelge 4.12. 60°C ön tav ısıl işlemi uygulandıktan sonra farklı çevre sıcaklığında birleştirilen PE100 numunelerin çiftli soyma-ayırılma testi verileri .. | 94 |

| | |
|---|-----|
| Çizelge 4.13. 80°C ön tav ısıl işlemi uygulandıktan sonra farklı çevre sıcaklığında birleştirilen PE100 doğalgaz borularının çiftli soyma ayrılma testi verileri..... | 95 |
| Çizelge 4.14. Farklı çevre sıcaklığında birleştirilen PE80 doğalgaz borularının çiftli soyma-ayrılma testi verileri | 100 |
| Çizelge 4.15. 60°C ön tav ısıl işlemi uygulandıktan sonra farklı çevre sıcaklığında birleştirilen PE80 doğalgaz borularının çiftli soyma-ayrılma testi verileri..... | 103 |
| Çizelge 4.16. 80°C ön tav ısıl işlemi uygulandıktan sonra farklı çevre sıcaklığında birleştirilen PE80 doğalgaz borularının çiftli soyma-ayrılma testi verileri..... | 105 |
| Çizelge 4.17. Çekme soyma ayrılma testinde ayrılma yüzeyleri çevre sıcaklığı ve ön tavlama koşullarına bağlı olarak değişimi | 108 |
| Çizelge 4.18. PE100 doğal gaz borularının İzod darbe deneyi verileri | 109 |
| Çizelge 4.19. 60°C ön tav ısıl işlemi uygulandıktan sonra farklı çevre sıcaklıklarında birleştirilen PE100 doğal gaz borularının İzod darbe deneyi verileri | 112 |
| Çizelge 4.20. 80°C ön tav ısıl işlemi uygulandıktan sonra farklı çevre sıcaklıklarında birleştirilen PE100 doğal gaz borularının İzod darbe deneyi verileri | 112 |
| Çizelge 4.21. PE80 doğal gaz borularının İzod darbe deneyi verileri | 118 |
| Çizelge 4.22. 60°C ön tav ısıl işlemi uygulandıktan sonra farklı çevre sıcaklıklarında birleştirilen PE80 doğal gaz borularının İzod darbe deneyi verileri | 121 |
| Çizelge 4.23. 80°C ön tav ısıl işlemi uygulandıktan sonra farklı çevre sıcaklıklarında birleştirilen PE80 doğal gaz borularının İzod darbe deneyi verileri | 121 |

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

- b : Numune genişliği
c : Çekme çivisi ve kaynak başlangıcı arasındaki mesafe
H : Numune kalınlığı
 E_N : Normal soyma-ayrılma Enerjisi
 E_P : Soyma-ayrılma Enerjisi
 F_W : En Yüksek Yük
K : Birleştirme tokluğu
L : Kaynak bölgesi uzunluğu
n : Kaynak bölgesindeki rezistans tel sayısı
 $P_{(x)}$: Uygulanan yük
W : Numune genişliği
 X_f : Soyma enerjisi
 ϕ_w : Rezistans direnç tellerin çapı

KISALTMALAR

| | |
|-------------------|---|
| ANA/B | : Ana Malzeme, Boru |
| ANA/M | : Ana Malzeme, Manşon |
| ARA/S | : Kaynak Ara Yüzeyden; Sünek Ayrılma |
| ARA/G | : Kaynak Ara Yüzeyden; Gevrek Ayrılma |
| ARA/YS | : Kaynak Ara Yüzeyden; Yarım Sünek Ayrılma |
| ASTM | : American Society for Testing and Materials (Amerikan Test ve Malzeme Topluluğu) |
| DC | : Kristalizasyon Derecesi |
| D/K | : Delikten Kopma |
| DVS | : Almanya Kaynak Topluluğu |
| DYPE | : Düşük Yoğunluklu Polietilen (Alçak Yoğunluklu Polietilen/AYPE) |
| H/S | : Halattan Sıyırma |
| IGS | : Iranian Gas Standard (İran Doğalgaz Standardı) |
| LDYPE | : Lineer Düşük Yoğunluklu Polietilen |
| J/cm ² | : Joule / Santimetre Kare |
| mm | : Milimetre |
| OYPE | : Orta Yoğunluklu Polietilen |
| PE | : Polietilen |
| TSE | : Türk Standartları Enstitüsü |
| YYPE | : Yüksek Yoğunluklu Polietilen |

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Termoplastikler içerisinde polietilenler (PE), iyi mekanik özellikleri, korozyon dirençleri ve ekonomik olmaları sebebiyle ilgi çekici malzemelerdir. Dış ortam uygulamaları için oldukça iyi potansiyele sahipler [1-5].

Modern alt yapı sistemlerin imalatında, özellikle doğal gaz ve suyun taşınması veya dağıtılmasında teknolojinin son harikası olan polietilen borular tercih edilmektedir [1,6]. Şehir doğal gaz ve su dağıtım şebekelerinin en önemli özelliği “ maksimum emniyetli ve kesintisiz” dağıtım sağlamaktır [7]. Polietilen borular geniş sıcaklık aralığında özelliklerini korurlar ve en zor şartlarda görevlerini yerine getirirler. Deprem gibi doğal afetlerde doğalgaz şebekelerinde çelik boruların sızdırmasından meydana çıkan yangınlara rağmen polietilen borularda sızdırma sorunu yaşanmaz [8]. Zor şartlarda bile polietilen malzemeden üretilen borular üstün özelliklerinin en az yarısını sağlamağa devam ettiği rapor edilmiştir [1-5,9].

Artan taleple beraber plastik malzemelerinin kaynaklı birleştirmeleri gündeme gelmiştir [1-4]. PE boruların birleştirilmesinde en çok kullanılan alın ve elektrofüzyon olmak üzere iki çeşit kaynak yöntemi mevcuttur.

Literatür araştırmalarında PE doğal gaz elektrofüzyon kaynaklı birleştirmelerin imalatının sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi için standartlarda -5°C ile $+30^{\circ}\text{C}$ sıcaklık aralığında yapılması önerilmektedir [2-4]. İran doğal gaz standartında (IGS) $+3^{\circ}\text{C}$ üzerindeki sıcaklıklarda birleştirmenin yapılması gerekliliği vurgulanmıştır [10]. Diğer bir standartta ise (DVS 2207) elektrofüzyon kaynaklı birleştirme sıcaklık aralığı $+5^{\circ}\text{C}$ ve $+50^{\circ}\text{C}$ olarak ifade edilmiştir [2,3,11]. Ancak iklim şartları düşünüldüğünde özellikle soğuk ülkelerde ve acil durumlarda belirtilenden daha düşük sıcaklıklarda kaynaklı birleştirme işlemleri zorunlu olarak

gerçekleştirildiğinde birleştirmenin özellikleri üzerinde detaylı bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu sebeple standartların kabul ettiği sıcaklıklar haricinde uygulanacak olan birleştirme karakteristikleri hakkında etraflıca bir çalışmaya ihtiyaç vardır.

Bu bağlamda aşağıdaki sorular oluşturulabilir; PE doğal gaz boruları kaynağında uygulanan elektrofüzyon kaynak yöntemine çevre sıcaklığın etkisi nedir? Standartların önerdiği düşük sıcaklıkların altında birleştirilen PE borulara çevre sıcaklığının ve kaynak öncesi uygulanan ön tav ısıl işleminin etkisi nedir?

Ortaya çıkan bu sorulara çalışmada cevap bulabilmek amacıyla doğalgaz dağıtım hatlarında kullanılan yüksek ve orta yoğunluklu polietilen (PE100 ve PE80) borulara uygulanan elektrofüzyon kaynağında çevre sıcaklığının yanısıra uygulanan ön tav ısıl işleminin birleştirmenin özellikleri üzerindeki etkisi etraflıca araştırılmıştır. Farklı çevre sıcaklıklarında (oda sıcaklığı, 0, -10, -20 ve -30 °C) temin edildiği şekliyle ve 60°C ve 80°C sıcaklıkta iki saat ön tav ısıl işlemi uygulandıktan sonra elektrofüzyon kaynağı ile birleştirilen PE100 ve PE80 borulara standartlarda belirlenmesi gereken sızdırmazlık ve bağlantının dayanımı belirlemeyi amaçlayan ezme, tekli ve çiftli çekme soyma-ayırılma testleri uygulanmıştır. Ayrıca kaynaklı boruların ani kuvvet etkisi altındaki davranışları izod darbe testi ile belirlenmiştir.

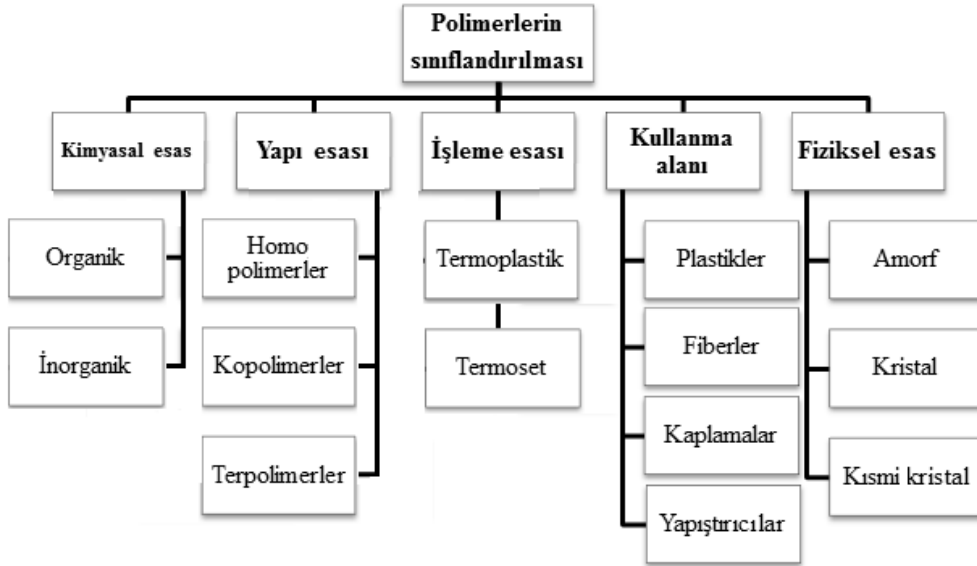
Ançak çalışmada şu hususlarada dikkat edilmelidir. Bu çalışmada sadece yüksek yoğunluklu PE100 ve orta yoğunluklu PE80 boruları ve bağlantı elemanları üzerinde deneyler yapılmıştır. Çevre sıcaklığının -30°C ile 20°C aralığındaki etkileri uygulanan birleştirmelerde incelenmiştir. Çevre sıcaklığı ve ön tav ısıl işlemi yapay olarak oluşturulmuştur. Test yöntemleri ve değerlendirmeler standartlara uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Tüm deneyler oda sıcaklığında (23°C)'de gerçekleşmiştir. Dolayısıyla sonuçlar farklı PE türevleri, çevre ve ön tav sıcaklıkları için geçerli değildir.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. POLİMERLER VE ÇEŞİTLERİ

Çok parçalı anlamına gelen polimerlerde her parça atomların özel dizilimi ile molekülü andıran monomerden oluşurken, polimer zincirinin bir halkasını meydana getirir. Monomerler çok güçlü bağlarla birleşerek polimer zincirlerini oluşturuyorlar. Polimer zincirleri ise zayıf ikincil bağlarla bir araya gelerek polimerlerin şekillendirilebilirliğini sağlar. Monomerlere örnek olarak; etilen, propilen, stiren ve vinil klorayd gösterilebilir. Monomerlerin bir araya gelerek farklı zincir oluşturmaları çeşitli polimerler olarak karşımıza çıkar [12-15]. Polimerler Şekil 2.1’de gösterildiği gibi sınıflandırılabilirler [15].



Şekil 2.1. Polimerlerin çeşitli kriterlere göre sınıflandırılması [12].

Şekilden görüldüğü gibi polimerler öncelikli olarak doğal ve yapay olmak üzere ikiye ayrılırlar. Doğal (organik) polimerlere örnek olarak; doğal kauçuk, proteinler,

nükleik asitler (DNA ve RNA), enzimler, selüloz nişasta ve reçine gösterilebilir. Yapay polimerlere ise örnek olarak; plastikler, elastomerler, yapıştırıcılar, reçineler ve fiberler gösterilebilir.

Homopolimerler bir monomerin zincirleşmesinden oluşan polimerlerdir. Örneğin; polietilen, polipropilen, (PP), ve polivinilklorür, (PVC), bu tip polimerdir. Monomer zincirlerinin oluşumu A-A-A-A-A-A-A-A, B-B-B-B-B-B-B-B-B biçimindedir. Copolimerler iki farklı monomerden oluşan polimer tipleridir. Örneğin; etilen akrilik bu çeşit polimerdir ve monomerleri A-B-A-B-A-B-A-B şeklinde bağlanarak bir araya gelir. Terpolimerler üç farklı monomerden oluşur. Akrilonitril-butadiyen-stayren, (ABS), bu polimerlere örnek olarak verilebilir. Bu polimerlerin monomerleri ise A-B-C-A-B-C-A-B-C şeklinde bir araya gelir. Polimerlerde zincir uzunluğu malzeme özelliklerini ve üretim davranışlarını etkileyen en önemli parametredir.

2.1.1. Polimerizasyon Derecesi

Homopolimer molekülündeki monomer sayısı polimerizasyon derecesi, (DP)'ni verir. Polimerizasyon derecesi bilinirse polimerin molekül ağırlığını hesaplamak mümkün olur. Polimerizasyon derecesi ile monomerlerin mol ağırlığı çarpımı molekül ağırlığını verir. Tekrarlanan molekül gurubu homopolimerlerde A, copolimerlerde A-B ve terpolimerlerde A-B-C sayısına polimerizasyon derecesi denir ve polimerin zincir uzunluğunun bir göstergesi olarak önem arz eder. Molekül ağırlığı yükseldikçe polimer kalıplama ve şekillenme özelliğini kaybeder [12,15].

Polietilen ve polipropilen gibi termoplastikler ısı ve basınç altında yumuşar, akar ve şekillendirilir veya bir çözücüde çözünüp şekillendirilir. Termosetler ise çapraz bağlı olmaları sebebiyle çözünmez, erimez ve şekillendirilemezler. Örnek olarak; bakalit ve silikon vb. verilebilir.

Kimya bilimindeki gelişmeler malzemelerin kristal yada amorf, termoplastik veya termoset olma kavramlarını karışık bir duruma getirmiştir. Bir malzeme aynı anda kristal ve/veya amorf olabildiği gibi termoplastik ve termosette olabilir. Ancak plastikler kalıplama sonrası yapısal durumlarına göre doğrusal ve lamelli ise

termoplastik, ağ biçiminde ise termoset olarak tanımlanır. Teoride her doğrusal yapılı plastik malzeme birkaç değişim ile ağ yapılı malzemeye dönüşebilir. Tüm plastikler doğrusal veya ağ tipi yapıda üretilebilirler. Malzemenin yapısını etkileyen faktörler sıcaklık, kimyasal değişim ve radyasyon yada bunların karışımı olabilir. Genelde ağ yapılı (çapraz bağlı) plastik malzemeler daha iyi özellikler sergilerler. Örneğin; ağ yapılı plastikler sıcaklığa ve kimyasal koşullara daha dirençli ve daha az esneklerdir. Ancak buna karşın doğrusal yapılı plastiklerin üretimi daha kolaydır. Çizelge 2.1’de termoplastik malzemelerin formülü, ergime (T_m) ve camsı yapıya geçme sıcaklığı (T_g) verilmiştir.

Çizelge 2.1. Termoplastiklerin tipik özellikleri.

| Adı | Kimyasal formülü | Ergime sıcaklığı T_m (°C) | Camsı geçiş sıcaklığı T_g (°C) |
|--|-------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| DYPE (Düşük yoğunluklu polietilen) | $(-CH_2-CH_2-)_n$ | 110 | -100 |
| OYPE (Orta yoğunluklu polietilen) | $(-CH_2-CH_2-)_n$ | 110-130 | -100 |
| YYPE (Yüksek yoğunluklu polietilen) | $(-CH_2-CH_2-)_n$ | 126-132 | -100 |
| LDYPE (Lineer düşük yoğunluklu polietilen) | $(-CH_2-CH_2-)_n$ | 120-130 | -100 |
| PP (Polipropilen) | $(-CH_2-CHCH_3-)_n$ | 160-170 | -5 |
| POLİMETİL PENTENLER | $[-CH_2-CH(C_4H_9)-]_n$ | 230-250 | 18-40 |

Çizelge 2.1’de görüldüğü gibi, bazı polimerlerin camsı yapıya geçiş sıcaklığı oda sıcaklığının altında iken bazılarının ise oda sıcaklığının üzerindedir. Bu durumda bazı polimerler oda sıcaklığında yumuşak ve elastik iken, bazıları oda sıcaklığında sert ve kırılındır. Polimerlerde camsı geçiş sıcaklığını etkileyen en önemli etkenlerden biri molekül ağırlığıdır [15].

2.2. POLİMERLERDE BAĞLAR ve MOLEKÜLER KUVVETLER

Polimerik zincirlerin her bir zinciri içerisinde çok sayıda molekül içi kimyasal bağlar mevcuttur. Fakat zincirler birbirlerinden kimyasal olarak bağımsızdır. Moleküller arası kimyasal bağlar bulunmaz.

2.2.1. Birincil Bağlar

Bu bağlar iyonik ve kovalent bağlardır. Örneğin, NaCl oluşumundaki bağ iyonik, CH₄ (Metan) molekülündeki bağ türü kovalenttir. Genel olarak, birincil bağlardan olan kovalent bağ, polimerlerin ısı ve fotokimyasal kararlılığını belirler.

2.2.2. İkincil Bağ Kuvvetleri ve Polimerlerin Özelliklerine Etkisi

Birincil bağ kuvvetleri ile oluşan kovalent moleküller arasında daha zayıf ikincil bağlar mevcuttur. Vanderwalls kuvvetleri veya moleküller arası kuvvetlerde denilen bu kuvvetler üç tiptir ve polimerlerin fiziksel özelliklerinde oldukça etkilidir. Bu kuvvetler üç başlık altında aşağıda açıklanmıştır:

- Dipol (elektrik) kuvvetleri (Farklı elektriksel yüklere sahip moleküllerde).
- İndüksiyon (etki) kuvvetleri (Polar olan veya biri polar diğeri polar olmayan malzemelerde).
- Dispersiyon (dağılma) kuvvetleri şeklinde sıralanabilir (Tüm moleküllerde ani kutuplaşma).

İkincil kuvvetlerin oluşturduğu çok karşılaşılan bir bağ türünde hidrojen bağıdır. Hidrojen bağı; “OH”, “COOH”, “NHCO” v.b. gibi moleküller arasında gözlenir. Bazı durumlarda hidrojen bağı çok önem kazanır. Örneğin, selülozda kovalent bağda oluşan doğrusal yapı, hidrojen bağının varlığı ile üç boyutlu ve kolay çözünmeyen bir yapıya ulaşır.

İkincil bağlar polimerlerin erime, çözünme, buharlaşma, deformasyon gibi bir çok kimyasal ve fiziksel özelliğini kontrol eder [12, 25-27]. Moleküllerin katı veya sıvı

fazlar şeklinde birarada tutulmasını sağlar. Uçuculuk, viskozite, yüzey gerilimi, sürtünme karakteristikleri, karıştırma ve çözünme gibi fiziksel özellikler moleküller arası kuvvetlere bağlıdır.

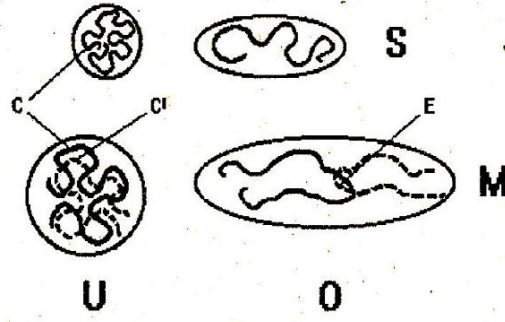
Moleküller arası kuvvetler küçük, bağ enerjileri düşük ve moleküllerde esnek zincirler bulunuyor ise, polimer elastomer özelliği gösterir. Paket lastiği gibi elastomerler oda sıcaklığında kuvvet uygulandığında uzama gösteren ve uygulanan kuvvet kalktığında eski haline dönebilen malzemelerdir. Moleküller arası kuvvetler büyük, bağ enerjileri yüksek ve yapıda sert molekül zincirleri bulunması malzemenin tipik plastik özellik sergilemesine neden olur. Fiberlerin bağ enerjisinin yüksek olması, gerilmeye karşı direnç göstermelerine ve iyi mekanik özellikler göstermesine olanak sağlar.

2.3. POLİMERLERDE YAPI DEĞİŞİMİ

Polimerlerin sıvı, katı ve çözelti halinde bulunabildikleri yapı farklılıkları; ısı, mekanik ve fiziksel özellikleriyle ilgilidir. Polimerlerin bu yapıdaki kimyasal formülü ve morfolojiside önemlidir. Morfoloji, polimerin katı halde yapısında bulunan kristal veya amorf bölgelerin varlığı, büyüklüğü, yerleşme düzeni gibi özelliklerini kapsamaktadır. Katı haldeki bir polimerde amorf yapı, kristalin yapı ve yönelmiş yapı olmak üzere üç temel düzen vardır.

2.3.1. Amorf Yapı

Şekil 2.2'de görüldüğü gibi amorf bir polimerin iç yapısı yün yumağına benzetilebilir [15].

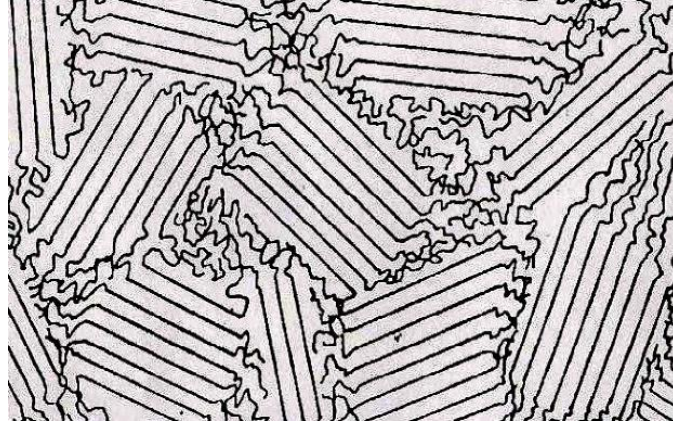


Şekil 2.2. Moleküler düzenler; U: düzenlenmemiş (gelişi güzel), O: kısmen düzenlenmiş, S: tek zincir, M: çoklu zincir, C ve C1: tek zincirler, E: dolaşma [15].

Polimeri oluşturan zincirler sürekli olarak gelişi güzel dönme ve bükülme hareketleri yaparlar. Sıcaklık artışı bu hareketliliği artırır. Bu harekete “Brownian” hareki adı verilmektedir [15]. Zincir hareketleri camsı geçiş sıcaklığı altında düşük enerjiye sahiptir. Bu sebeple yapı camsı ve kırılmandır. Camsı geçiş sıcaklığının üzerinde ise Brownian hareketleri artış göstererek yapı kauçuğumsu bir hal alır. Amorf bir polimere sıvı haldeyken kuvvet uygulanarak kısmi bir düzenleme sağlanabilir. Üzerindeki kuvvet kaldırıldığında polimer eski gelişi güzel şekline döner. Polimer kuvvet altındayken, belli bir sıcaklığa kadar soğutulursa kısmi amorf düzenlemenin bozulmaması sağlanabilir. Bütün polimerler yeteri kadar yüksek sıcaklıklarda ve çözeltide amorf yapıdadır. Önemli ticari polimerlerin yaklaşık yarısı amorf yapıdadır.

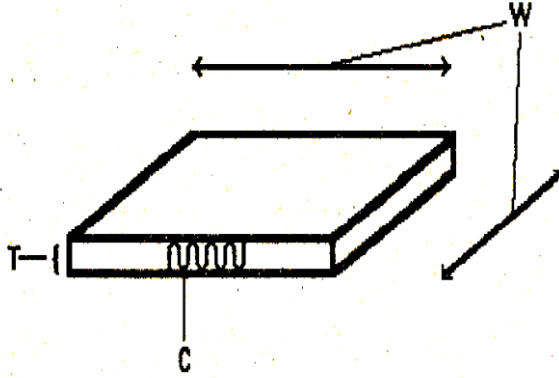
2.3.2. Kristalin Yapı

Polimerlerin büyük bir kısmı amorf yapıda olmasına karşın, diğer kısmında polimer zincirleri düzgün kristal yapılarına benzer düzenli bir hal almıştır. Polimerler katı halde genellikle yüzde yüz kristalin yapı yerine amorf ve kristalin karışımı bir yarı kristalin yapı gösterir. Yarı kristalin polimer yapısını açıklayan iki modelden biri “saçaklı misel”, modelidir [15]. Bu modele göre, katı polimerde kristal ve amorf bölgeler iki ayrı faz oluşturur. Polimer zincirleri birçok kristal ve amorf bölgeden geçer. Saçakların olduğu kısımlarda zincirler iç içe geçmiş durumda ve karmaşık düzendedir. Bu bölgeler amorf olup dışarıdan bir kuvvet uygulandığında önce bu bölgeler uzama gösterir. Kristal ve amorf bölgelerin bir arada bulunduğu saçaklı misel polimer yapısı Şekil 2.3’de gösterilmiştir [12, 15, 25-27].



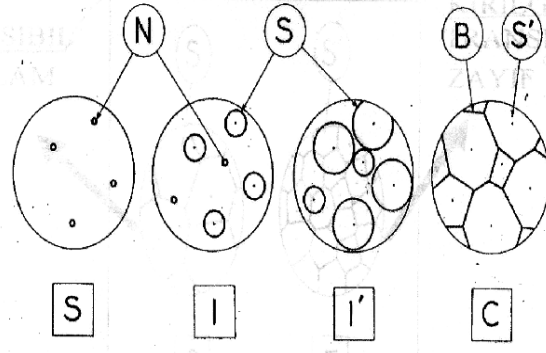
Şekil 2.3. Saçaklı misel modeli [15].

Yarı kristalin polimerlerde daha geçerli olan ikinci model “katlanmış zincir” modelidir [15]. Kristal bölge katlanmış zincirlerin içinde bulunduğu, yaklaşık 100°A kalınlığı olan bir lamel içinde yer alır. Polimer zincirlerinin birbiri üzerine katlanarak oluşturduğu, kristalik özellik gösteren en küçük yapısına “lamel” denir. Amorf bölgeler lameller arasında bulunur. Lamelin boyutları polimer cinsine ve kristallenme koşullarına göre değişir. Şekil 2.4’de görülen lamelin kalınlığı 100 A° , genişliği ve boyu ise yaklaşık 10000 A° [15].



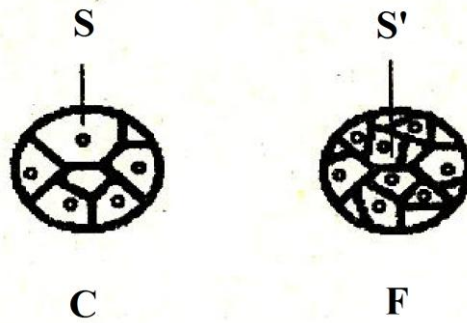
Şekil 2.4. Katlanmış zincir lamel modeli; C: polimerik zincir T: kalınlık ($\sim 100 \text{ A}^{\circ}$)
W: genişlik ($\sim 10000 \text{ A}^{\circ}$) [15].

Kristal yapıdaki zincirlerin genellikle küresel bir simetri içinde merkezden çevreye doğru kümelendiği yapılar ise “Spherulit” adını alır. Spherulitler birkaç mikrondan milimetre seviyesine kadar değişik boyda yapılardır. Şekil 2.5’de spherulitlerin kristalizasyon işlemi görülmektedir [12, 13, 25-27].



Şekil 2.5. Kristallenme prosesi S: Başlangıç, I: Birinci ara kademe, I': İkinci ara kademe, C: Nihai kademe, (N): Çekirdek, (S): Büyüyen kürecik (S'): Tamamen büyümüş kürecik, (B): Kürecikler arası sınır [15].

Polimerler eriyiklerinden kristallendirilebilirler. Bu tür kristallenmede, sıcaklık, basınç ve soğutma hızı gibi parametreler kristallenme koşulları, kristal yüzdesi, boyutu ve biçimini etkileyen faktörlerdir. Sıcaklık kontrolü kristal büyümesi için önemlidir. Şekil 2.6'dan görüldüğü gibi soğutma yavaş yapılırsa bir kaç büyük spherulitin bulunduğu kaba bir yapı elde edilir [15]. Bu yapıdan elde edilen ürün; sert, kırılğan ve geçirgenliği azdır. Hızlı soğutma işlemi çok sayıda küçük spherulitlerin bulunduğu bir yapının oluşmasına sebep olur. Hızlı soğutma sonunda oluşan yapı, düşük sıcaklıkta ve geniş sıcaklık aralığında erir. Basınç altında yapılan kristallendirmede yüksek kristalinite miktarına ulaşılır.



Şekil 2.6. Spherulit yapıları; C: Kaba yapı spherulit, F: İnce yapı spherulit, S: Büyük spherulit, S': Küçük spherulit [15].

Yarı kristalin bir polimerde kristalinite yüzdesini tayin etmek için birçok yöntem vardır. Bunlardan en basit olanı kristalinite/yoğunluk ilişkisine dayanır. Bu yöntemde yarı kristalin polimerin iki faz bölgesi olduğu varsayılır. "DC" kristalizasyon derecesini diğer bir ifadeyle kristalinite yüzdesini gösterir [12, 15, 25-27].

Kristallenmeyle ilgili farklı polimerlere özgü bilgiler aşağıda belirtilmiştir:

- Polietilen gibi polimer zincirindeki tekrar eden birimler küçükse kristallenme kolay olur.
- Polimer zincirleri arasında hidrojen bağı varsa kristallenme yüksek olur.
- Polimerin çekilerek uzatılması yönlemeyi arttıracığından kristallenmeyi de artırır. Poliamid buna iyi bir örnektir.
- Polimerde büyük moleküller, C-C bağının dönmesini engellediği için zinciri sertleştirir. Bu yüzden PS ve PVC gibi polimerlerde kristalinite derecesi düşüktür.
- Polimerdeki çapraz bağlar kristallenmeyi güçleştirir. Örneğin, fenol-formaldehit ve üre-formaldehit kristallenemez.
- Kalıplama sürecinde asetal ve naylon türü polimerlerin kalıptan çıktıktan sonra büzülüp deforme olmaması için hızlı bir şekilde kristallenmesi istenir.
- Bazı polimerlerde camsı geçiş sıcaklığını düşürmek için ilave edilen plastikleştiriciler kristallenmeyi azaltır.
- Kristallenme moleküller arası hareketi azaltır. Kristallenme oranının artması ile elastisite modülü artar ve malzeme rijitleşir.
- Akma dayanımı kristallik oranı arttıkça artar.
- Kristalinite yüzdesi arttıkça polimerin kimyasallara karşı direnci artar.
- Kristalin polimerlerin çözünürlükleri daha düşüktür.
- Kristalinitenin yüksek olması boya tutma kabiliyetini azaltır. Amorf yapılı polimerin boyanması daha kolaydır.
- Naylon gibi zincirleme kondenzasyon tepkimesi polimerleri iyi kristallenir.
- Gelişi güzel kopolimerler kristallenmezken, düzenli kopolimerler iyi kristallenir.
- Elastomerlerde düşük, mühendislik plastiklerinde orta, liflerde ise yüksek kristalinite istenir.
- Kristallenebilen bir polimer ani soğutulursa amorf yapı elde edilir.
- Amorf yapıda transperantlık, kristal yapıda opaklık yüksektir. Bunun nedeni kristal lamel düzlemleri gelen ışığı kırar ve geri yansıtmaz.

- Kristallik genel olarak polimere sertlik, ısı ve mekaniksel dayanıklılık sağlar. Buna karşın polimerin çözünürlüğü, difüzyon, geçirgenlik, boyanabilirlik gibi özelliklerinde önemli şekilde azalmaya sebep olur.
- Kristalliğin % 5-10 oranında olması durumunda malzeme esnekliğini korur, yumuşak ve kauçuğumsudur. %20-60 oranında kristallik malzemeyi deri kıvamına getirir. %70-90 kristallik ise yapıyı sert ve dayanıklı hale getirir [15].

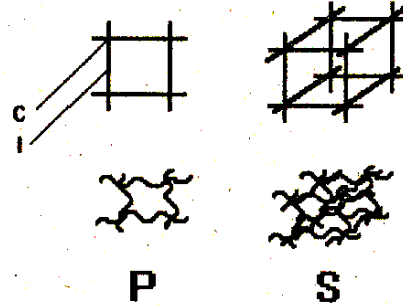
2.3.3. Yönlenmiş Yapı

Yönlenme; polimerik fiber, film ve köpüklerde gözlenir. Eğer erimiş bir polimer soğutulursa gelişi güzel yönlenmede amorf veya kristalin katı yapısı oluşur. Katılma sırasında polimerik malzeme çekilirse, çekme yönünde polimer zincirleri yönlenir. Yönlenmenin oluşabilmesi için yapı içinde zincirlerin belli bir hareketliliğe sahip olmaları gerekir. Bu nedenle yönlenme amorf bölgeler üzerinden olur. Kristalin yapısı içerisinde yeteri kadar amorf bölge yoksa yönlenme gerçekleşmez. Yönlenmeyle genelde çekme yönünde termal ve mekanik özellikler artış gösterirken, yönlenmeye dik yönde bu özellikler azalır [12, 15, 25-27].

2.4. ÇAPRAZ BAĞLI POLİMERLER

Buraya kadar geçen polimerler türleri birbirinden bağımsız polimerik zincirler olup her zincirde sadece molekül içi kimyasal bağlar olduğundan söz edilmiştir. Zincirler arasındaki etkileşim oldukça zayıf olup, sıcaklık artışı ile bu etkileşim azalır. Bu azalma bağımsız zincirlerin birbirinden uzaklaşıp serbestçe hareket ettikleri ve akışkan hale geldikleri sıcaklığa kadar devam eder. Bu tip polimerlere “termoplastik” veya bazen de “doğrusal polimer” denir. Bağımsız polimerik zincirler yerine tüm yapının kimyasal bağlarla bağlandığı üç boyutlu moleküller ağı yapısında olan çapraz bağlı polimerik maddelerde vardır. Çapraz bağlı polimerik yapılarda aynı zincir düzleminin yanısıra, komşu düzlemde yer alan zincirler arasında da kimyasal bağlar vardır (Şekil 2.7.) Çapraz bağlı polimerlerde “Brownian hareketleri” yok denecek kadar küçüktür. Bu cins polimerlerin belli bir erime noktası yoktur. Sıcaklık arttıkça pek akışkanlık göstermez. Sadece yumuşama gözlenir. Geleneksel lastik

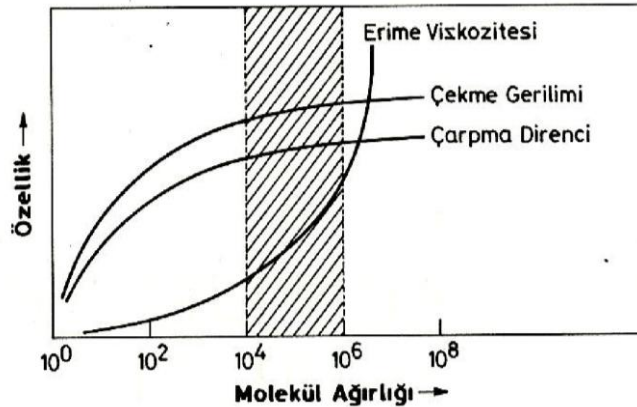
endüstrisinde uygulanan çapraz bağlama işlemine “vulkanizasyon” veya küreleme (sertleştirme) adı verilir [12, 15, 25-27].



Şekil 2.7. Polimerlerde çapraz bağların oluşumu, düzlem (P) ve üç boyutlu (S) görüntüsü. Zincirler arası bağ (C) ve bağlar arası zincir (I) [15].

2.5. POLİMERLERİN MOLEKÜL AĞIRLIĞI VE DAĞILIMI

Bir polimerin molekül ağırlığı polimerin elde edilmesinde ve endüstride uygulanmasında büyük önem taşır. Polimerlerin faydalı mekanik özellikleri (çekme gerilimi, çarpma direnci, erime ve yumuşama sıcaklıkları ve erime vizkozitesi vb.) yüksek molekül ağırlıklarıyla ilişkilidir [12,15,27-32]. Molekül ağırlığı 5000-10000'nin altında ise mekanik dayanım çok düşüktür. Molekül ağırlığı belirtilen değerlerin üstüne çıktığında mukavemet hızla artarken işlenebilirlik kötüleşir. İşlenebilirlikle birlikte yeterli mekanik özelliklere sahip ticari polimerik ürünlerde molekül ağırlığının 10^4 - 10^6 arasında olması istenir [15]. Şekil 2.8'de polimerlerin molekül ağırlığına bağlı özelliklerinin değişimi gösterilmiştir [15].



Şekil 2.8. Polimerlerin özelliklerinin molekül ağırlığına bağlı olarak değişimi [15].

Şekil 2.8’de görüldüğü gibi, molekül ağırlığının artışı ile polimerik yapının Özellikleri (çekme gerilimi, çarpma direnci, erime ve yumuşama sıcaklıkları vb.) önce hızla artar, sonra değişmez olur. Buna karşılık erime viskozitesi önce yavaş, daha sonra hızlı bir artış gösterir. Polimerin ortalama molekül ağırlığı bütün moleküllerin ağırlığını moleküllerin sayısına bölmekle bulunur.

2.6. POLİMERLERİN ÖZELLİKLERİ

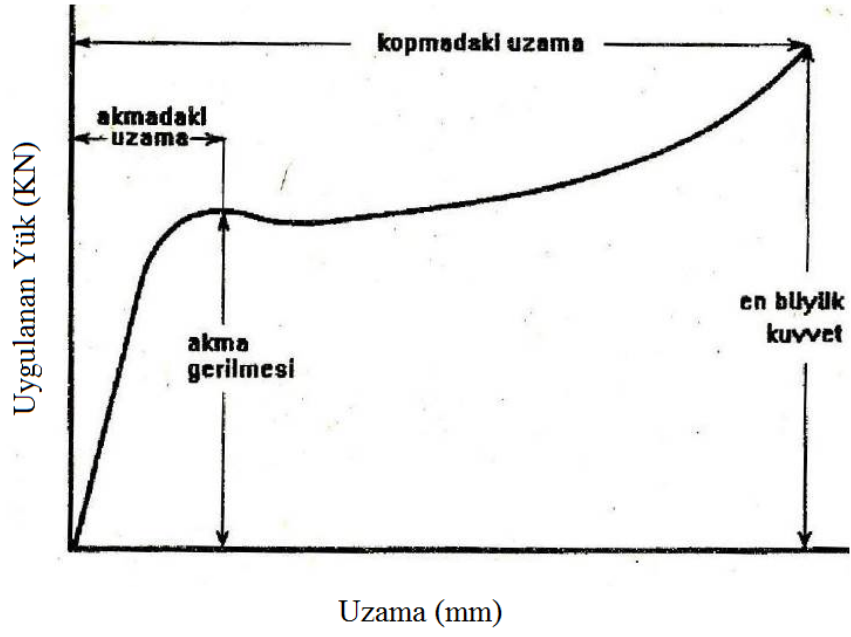
Polimerlerin temel özellikleri alt başlıklar halinde verilerek geniş bir çerçevede işlenmiştir.

2.6.1. Mekanik Özellikler

Polimerlerin mekanik özellikleri polimer zincirlerinin deformasyona karşı gösterecekleri davranış değişikliklerinin incelenmesiyle belirlenir. Polimerik bir malzemeden istenen özelliklerin başında sağlamlığı ve mekanik özelliklerini koruyabilmesi gelmektedir. Mekanik özellikler; uzama, akma ve kopma gibi teknik kavramları kapsamaktadır. Bu özellikler sıcaklık ve zamana bağlıdır. Polimer malzemelerin mekanik özellikleriyle ilgili kavramları, alt başlıklarda detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

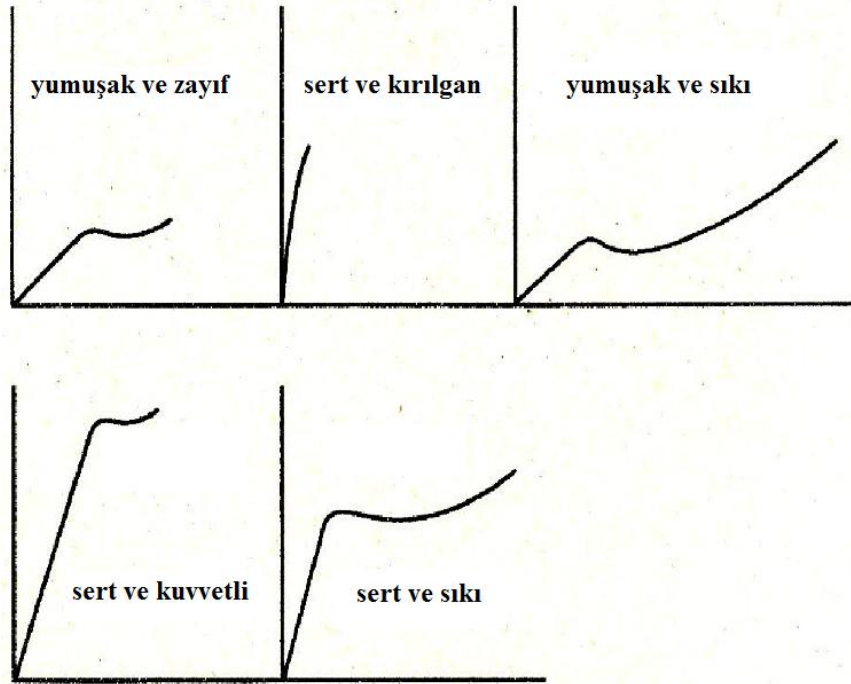
2.6.1.1. Çekme Kuvvet – Uzama Özellikleri

Polimerik malzemelerin en önemli mekanik özellikleri çekme testiyle, kuvvet-uzama’ eğrisi ile elde edilir. Bu işlem malzemenin sabit hızla çekilmesi sırasında açığa çıkan kuvvetin sürekli olarak ölçülmesi ile yapılır. Polimerlerin genel kuvvet-uzama eğrisi Şekil 2.9’da gösterilmiştir [15]. Bu eğri sayesinde ‘rijitlik’, ‘akma gerilmesi’, ‘kopma gerilmesi’ ve ‘kopma uzaması’ vb. konularda bilgi edinilir [12,15,27-32].



Şekil 2.9. Polimer bir malzemenin tipik kuvvet-uzama grafiği [15].

Şekil 2.10'da ise diğer polimerik malzemeleri tanımlayan kuvvet-uzama eğrileri gösterilmiştir [15].



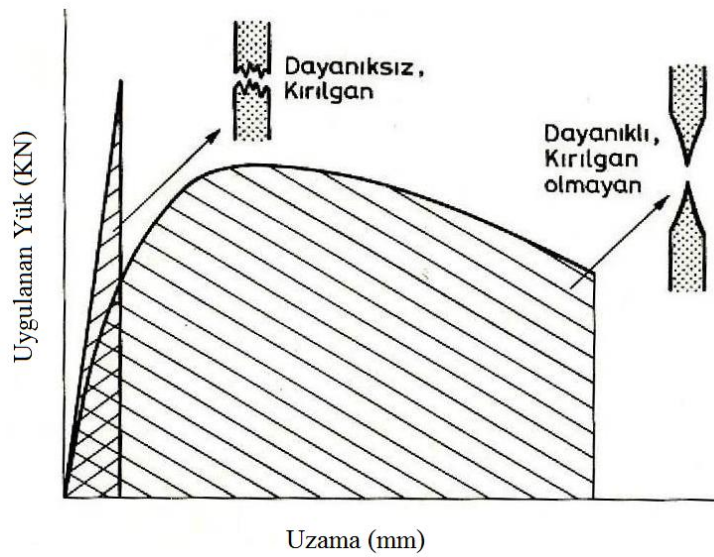
Şekil 2.10. Polimerler için tipik kuvvet-uzama grafikleri [15].

2.6.1.2. Yorulma

Polimer malzemeler servis şartlarında yük altında dişli, şaft vb. gibi birçok hareketli parçanın titreşiminin etkisinde kalırlar. Bu etkinin birikimi malzemenin deformasyonuna ve kopmasına sebep olur. Bu olaya yorulma denir. Uygulanan çeşitli yorulma testleri değişken çekme-basma kuvveti ve çevrimsel eğme kuvvetidir.

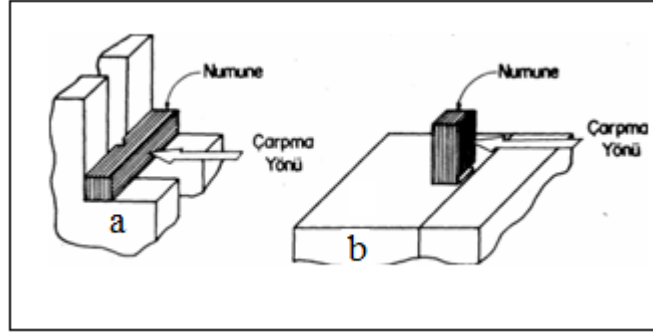
2.6.1.3. Darbe Direnci

Polimerik malzemelerin ani bir darbeye gösterdikleri direnç önemlidir. Darbe neticesinde kırılma gevrek ve sünek kırılma olmak üzere iki şekilde gerçekleşir. Darbe enerjisini yapı içinde dağıtamayan, yani enerji absorblama yeteneği düşük olan polimerler gevrek kırılma gösterir. Gevrek kırılmayla ayrılan polimerlerin kırılma yüzeyleri düzgündür. Polipropilen ve yüksek yoğunluklu polietilen gibi camsı geçiş sıcaklığı oda sıcaklığının çok altında olan polimerlerde darbe enerjisi yapı içinde çok kolay dağılır. Bundan dolayı bu polimer çeşitleri fazla miktarda enerji absorbe edebilirler. Kırılmış yüzeylerde önemli oranda deformasyon gözlenmesi muhtemeldir [15,27-32]. Şekil 2.11’de statik yüke bağlı meydana gelen gevrek ve sünek kırılma davranışı kuvvet-uzama eğrisi yardımıyla şematize edilmiştir [15].



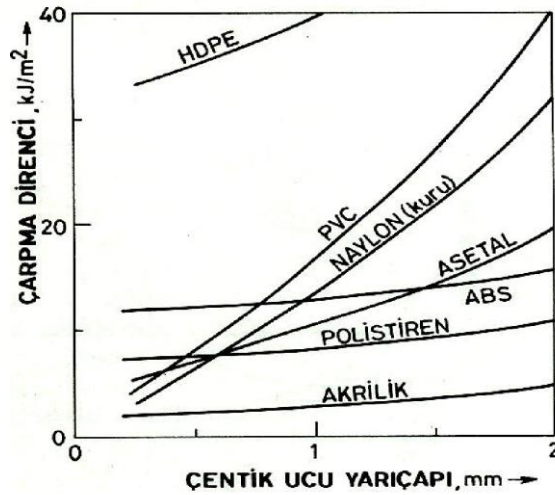
Şekil 2.11. Gevrek ve sünek kırılmanın kuvvet-uzama eğrisi ile ilişkisi [15].

Darbe testi polimerin ani darbe karşısında gevrek kırılmayı ölçer. Darbe testinde çoğunlukla levha halinde polimerik malzemeler kullanılır. Şekil 2.12'den görüldüğü gibi gevrek kırılmayı sağlamak üzere numunede bir çentik açılır [15]. Sivri uçlu ve yükü değişken bir sarkaç belli yüksekliklerden bırakılarak ani darbe oluşturularak kırılma için gereken yük (enerji) ölçülür.



Şekil 2.12. Çentik darbe testi, a) Charpy ve b) İzod [15].

Çentik derinliği ve çentik ucu yarıçapı polimerin darbe direncini etkiler [15]. Çentik ucu yarıçapı arttıkça darbe direnci bir çok polimer çeşiti için artış gösterir (Şekil 2.13) [15]. Çentik derinliğinin azalmasıyla darbe direnci doğrusal olarak artar.



Şekil 2.13. Çentik ucu yarıçapının darbe direncine etkisi [15].

Polimerlerin darbe direncini etkileyen önemli bir faktörde sıcaklıktır. Bu sebeple deneysel çalışmalar çoğunlukla oda sıcaklığında gerçekleştirilir. Buna rağmen

polimerik malzemelerin çevre koşullarına göre farklı sıcaklıklarda darbeye maruz kalma ihtimalleride düşünülmesi gerektiğinden farklı sıcaklıklardaki darbe dirençlerinin bilinmesi gerekir [15,27-32].

2.6.2. Elektriksel Özellikler

Polimerlerin elektriksel özellikleri olarak iletkenlik, dielektrik bozunma direnci, dielektrik sabiti ve dielektrik kayıp gibi elektriksel karakteristikler akla gelir. Bu karakteristikler sırasıyla tanıtılacaktır.

2.6.2.1. Elektriksel İletkenlik

Genel olarak yüksek molekül ağırlığına sahip bütün polimerler elektriksel olarak yalıtkan özellik gösterirler. Bundan dolayı elektrik ve elektronik endüstrisinde kullanılırlar. Elektrik direncinde sıcaklık ve nem etkili faktörlerdir. Bu direnç elektrik iletimine yardımcı olan katkı maddeleri ilavesiyle de düşürülebilir. Örneğin; araba motorlarında kaplama amacı ile kullanılan silikon kauçuğuna yangın tehlikesini önlemek amacı ile karbon siyahı eklenir.

2.6.2.2. Dielektrik Bozunma Direnci

Yalıtkan bir malzemenin özelliğini yitirerek bozduğu elektriksel gerilim (voltaj) değerini “Dielektrik bozunma direnci” ifade eder. Polimerik malzemelerin bozunma dirençleri genellikle 106-107 V/cm aralığındadır [12,35].

2.6.2.3. Dielektrik Sabiti ve Dielektrik Kayıp

Polimerik malzemelerin özelliklerinden olan “dielektrik sabiti” alternatif elektrik alanında ölçülen bir değerdir. Polimerler için dielektrik sabitinin değeri 2-5 arasındadır. Polimerik malzemelere uygulanan alternatif akım elektrik enerjisi sonucunda alan frekansı sebebiyle elektrik enerjisinin bir kısmı ısıya dönüşür ve bu “dielektrik kayıp” olarak tanımlanır [12,35].

2.6.3. Termal Özellikler

Polimerlerin termal özellikleriyle ilgili kavramlar sırasıyla alt başlıklarda tanıtılmıştır.

2.6.3.1. Isıl İletkenlik

Isıl iletkenlik, polimerlerin en önemli termal özelliklerindedir. Polimerlerin ısı iletkenlikleri genellikle 2-8 Cal/cm.sn.°C aralığında değişir [12,35]. Bir polimerin ısı iletkenliği düşük ise bu “ısı yorulmaya” sebep olur. Bu durumun azaltılması için polimerik malzemelere katkı maddeleri ilave edilir. Bu katkılar; alüminyum; bakır gibi metal tozları olabildiği gibi çeşitli yapıdaki fiberlerde olabilir. Kristanilite ve yönelme ısı iletkenliği arttıran faktörler arasında yer alır.

2.6.3.2. Isıl Genleşme

Bir polimerin işlenmesi sırasında ısı genleşmesi veya karşıtı olarak büzülmesi istenmeyen bir durumdur. Bunu önlemek için polimerik yapıya inorganik dolgu maddeleri ilave edilir. Kristallik yüzdesi ve çapraz bağların artışı ısı genleşme katsayısını azaltır. Ayrıca yönelme yönünde katsayı azalırken yönelmeye dik yönde ise ısı genleşme artış gösterir [12,35].

2.6.3.3. Isıl Direnç

Polimerik malzemelerin birçoğu özellikle yüksek çalışma sıcaklıklarında mekanik dayanımlarını ve fiziksel görünüşlerini yitirirler. Isıl direnç; polimerin özelliklerini yitirmeden kullanılacakları sıcaklıktır. Polimerik malzemelerin ısı dirençlerini arttırmak için asbest gibi katkı maddeleri ilave edilir [12,35].

2.6.4. Optik Özellikler

Polimerlerin geçirgenlik ve yansıtma, renk, parlaklık, pusluluk, şeffaflık gibi optik özelliklerine sırasıyla alt başlıklarda değinilmiştir [12,35].

2.6.4.1. Geçirgenlik ve Yansıtma

Şeffaf bir malzemenin en önemli özelliği geçirgenliğidir. Geçirgenlik malzemedен geçen ışığın şiddetinin malzemeye gelen ışığın şiddetine oranıdır. Opak yapıda bir madde ışığı geçirmeyip yansıttığından, onunda en önemli özelliği “yansıtma özelliğidir”. Yansıtma özelliği ise yansıyan ve gelen ışınların şiddetlerinin birbirine oranıdır. Üzerine gelen ışığı kısmen yansıtır, kısmen geçirene ise “yarı şeffaf” madde denir. Geçirgenlik ve yansıtma ‘Spektrofotometre’ ile ölçülür [12,35].

2.6.4.2. Renk

Polimerik malzemelerin renginin ölçülmesinde sayılar ve bazı kıyaslama terimleri kullanılır. Polimer teknolojisinde renk tayini önemli olmasına karşın sınırlı ölçüde yapılabilmektedir. Renk teknolojisinin ilkeleri, rengin ve renk farkının saptanması, renk kıyaslaması ve polimerik maddelerin renklendirilmesini kapsamaktadır [12,35].

2.6.4.3. Parlaklık

Parlaklık; parlak bir yüzeyin seçici yansıtmasıdır. Yüzey yansıtması bir aynanın ışığı yansıttığı yönde yada ona yakın bir yönde maksimumdur. Işğın değişik açılarda gelme ve yansması fotoelektrik cihazlarla ölçülür [12,35].

2.6.4.4. Pusluluk

Şeffaf malzemeler için pusluluk malzemedен saçılma yoluyla saptırılan ışğın yüzdesidir. Pusluluk malzeme örneğinin bulanık olduğunu belirten bir kavramdır ancak şeffaflığı etkilemez.

2.6.4.5. Şeffaflık

Polimerik bir malzemenin şeffaflığı içinin veya arkasının görülmesine olanak veren hali olarak tanımlanır. Düşük şeffaflıktaki bir örnek pusluluk göstermez ancak içinde

bulanık, düzensiz tanecikler bulunur. Şeffaflık, gelen ışık demetinden 0,1'den fazla sapma göstermeden geçen ışığın, gelen ışığa göre yüzdesi olarak ölçülür.

2.6.5. Kimyasal Özellikler

Polimerik malzemelerin diğer malzemelere göre avantajları çevresel etkilere (atmosferik korozyon, nem vs) ve birçok kimyasal maddeye dirençli olmalarıdır. Polimer zinciri üzerindeki aktif grupların kimyasal çevre ile etkileşmesiyle oluşan kimyasal reaksiyonlar sonucu zincir kesilmesi ve buna bağlı olarakta molekül ağırlığında azalma gözlenir. Kimyasal bozunmalar polimerin mekanik özelliklerindeki değişimler ölçülerek izlenir. Çevresel etki olarak, gerilimin etkisi, tam olarak açıklığa kavuşturulamamış bir konudur. Bozunma ve bunun sonucunda malzemenin kırılması kimyasal çevrenin; cinsine, miktarına, sıcaklığa, polimerin yapısına, uygulanan gerilmeye vb. birçok faktöre bağlıdır. Polimerik malzeme yüzeyine uygulanan gerilme veya kimyasal çevre etkisi ile malzeme yüzeyinde çatlaklar oluşturabilir. Bu çatlak içine sızan kimyasallar burada bozunmayı başlatır. Polimerik ve kimyasal yapının heterojen özellikte olması bozunmayı başlatan bir etken olarakta düşünülebilir. Örneğin, yarı kristal bölgelerdeki amorf bölümlerin plastikleştirici etkisi, polimer zincirinde gerilme altında bozunmaya sebep olan zayıf noktalar oluşturur [12,15,27-32].

2.7. POLİMERLERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Polimerizasyon reaksiyonları dışarıya ısı veren (ekzotermik) reaksiyonlar olup açığa çıkan ısı önemli problemlerin oluşmasına sebep olmaktadır. Özellikle katılma polimerizasyonunda yüksek molekül ağırlığına çabuk ulaşılması ortam viskozitesini artırıp, sıcaklık kontrolünü güçleştirir. Bu sebeple endüstride uygulanan polimerlerin özelliklerine göre polimerizasyon prosesleri seçilmelidir. Örneğin kondenzasyon (kısaltma ve yoğunlaşma) polimerizasyonları genellikle kütle (yığın) veya çözelti prosesleri ile gerçekleştirilir. Polimerlerin çeşitli üretim yöntemleri vardır. Bu üretim yöntemleri alt başlıklarda detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

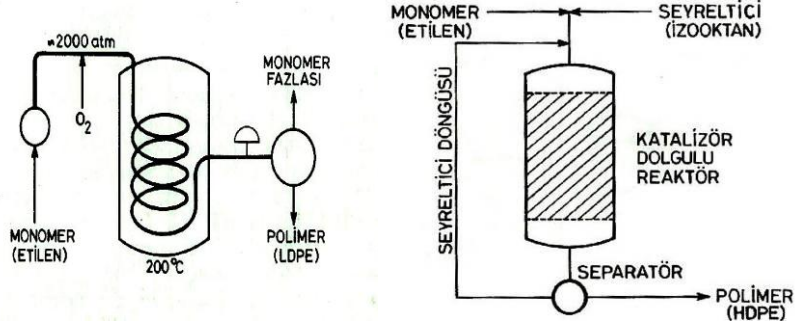
2.7.1. Kütle Polimerleşmesi

Kütle polimerleşmesi, ısı ve ışın gibi polimerizasyonu başlatıcı etkenler yardımıyla monomerlerin polimerleştiği tekniktir [15]. Sıvı, katı, gaz halindeki monomerler bu yolla polimerleştirilebilir. Ancak daha çok sıvı monomerlerin polimerleştirilmesi için tercih edilmektedir. Ortamda pek az katkı maddesi vardır ve genelde saf monomer ve başlatıcı bulunur. Küçük boyutlarda poli (metil metakrilat) levhalar, etilen, stiren ve metil metakrilatın polimerizasyonu bu şekilde yapılmaktadır. Yabancı maddelerin polimerizasyon ortamına girme olasılığı çok az ve polimer ürünün ayrılması oldukça kolaydır. Kütle polimerizasyonunda reaksiyonlar ekzotermiktir, bu yüzden ısı transferi kolayca yapılabilir. Kütle polimerizasyonun diğer polimerizasyon yöntemlerine göre üstünlükleri, polimerizasyon hızının yüksek olması, uygulama kolaylığı, ekonomik olması, temiz polimer eldesi ve polimerin doğrudan işlenebilmesidir. Ancak polimerizasyon sırasında artan ortam viskozitesi ısı aktarımını ve karıştırmayı zorlaştırır. Ayrıca, tepkimeye girmeyen monomerlerin temizlenmesi gerekir. Bu dezavantajlar büyük ölçeklerde üretim yapılmasını sınırlamaktadır [12,15,20-24].

2.7.2. Çözelti Polimerleşmesi

Çözelti polimerizasyonunun başlangıcında polimerizasyon ortamında monomer, çözücü ve başlatıcı bulunmaktadır. Bu polimerizasyonda monomer reaksiyona katılmayan (inert) bir çözücü içerisinde polimerleştirilir. Çözelti polimerizasyon ortamını seyrelttiği için viskozite düşer, karıştırma kolaylaşır ve daha etkin bir ısı transferi yapılabilir. Polimerizasyonda kullanılan çözücü monomeri ve başlatıcıyı çözerse polimerizasyon homojen ortamda başlar, ilerler ve sonlanır. Buna “homojen çözelti polimerizasyonu” adı verilir. Çözücü monomeri çözüp, polimeri çözmemesi sonucu ortamda çözünmeyen toz ve tanecik halinde polimer kalır. Ortamın homojenliğinden bahsedilemez. Bu tür çözelti polimerizasyonlarına “heterojen çözelti polimerizasyonu” denir. Çözelti polimerizasyonlarında çözücü seçimine çok dikkat edilmelidir. Polimerizasyon uygun bir çözücü veya seyreltici bir faz içinde gerçekleştirilir. Homojen ve heterojen fazlı çözelti prosesleri vardır. Şekil 2.14

homojen ve heterojen çözelti polimerizasyonu ile üretilen düşük ve yüksek yoğunluklu polietilen üretimi şematik olarak gösterilmiştir [15].

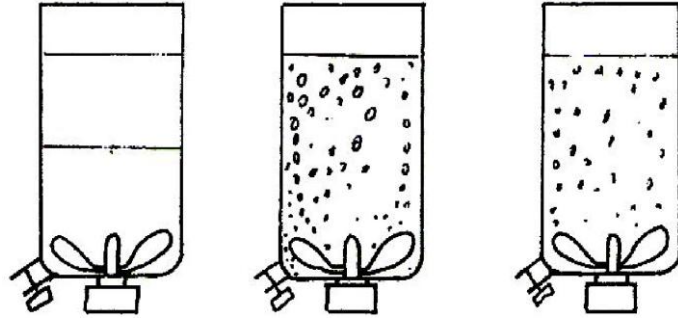


Şekil 2.14. Homojen fazlı çözelti prosesi ile DYPE ve heterojen fazlı çözelti prosesi ile YYPE üretimi [15].

Çözelti polimerizasyonunun avantajları; viskozitenin düşük olması, sıcaklık kontrolünün sağlanması ve ürünün hemen kullanılabilmesi (boya, yapıştırıcı) olarak sıralanabilir. Bu prosesin dezavantajı çözücünün varlığı sebebiyle polimerizasyon hızının yavaşlaması ve çözücüye olan zincir transfer reaksiyonu sonucu molekül ağırlığında önemli oranda düşme gözlenmesidir. Ayrıca çözücünün ürünlerden ayrılması, işlemleri ve yatırım maliyetinide arttırmaktadır. Çözücü dikkatli seçilmezse çevre kirliliği oluşturabilir [12, 15, 20-24].

2.7.3. Süspansiyon Polimerleşmesi

Süspansiyon polimerizasyonu, monomerle karışmayan bir sıvı içerisinde monomerin dağılıp asılı tutulması sırasında oluşur. Su en çok kullanılan sıvıdır. Polimer, sulu fazda (0,01-0,5cm) çapında damlalar halinde dağıtılır. Süspansiyonun kararlı olması ve oluşan polimer parçacıklarının birbirine yapışmaması için içiresine kararlaştırıcı kimyasallar katılır. Kararlaştırıcı olarak jelatin, kaolin, pudra, bentonit, baryum, kalsiyum ve magnezyum karbonatlar, alüminyum hidroksit gibi suda çözünmeyen inorganik bileşikler kullanılır [15]. Süspansiyon polimerleşmesi şematik olarak Şekil 2.15'de gösterilmiştir [15].



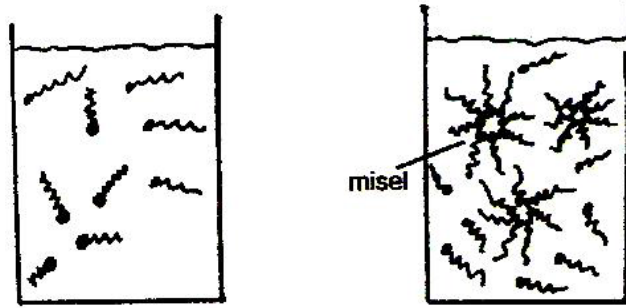
Şekil 2.15. Süspansiyon polimerleşmesinin şematik görüntüsü [15].

Ayrıca mekanik karıştırma ile damlaların birbirine yapışması engellenir. Polimerizasyon başlatıcısı olarak monomerde (organik fazda) çözünen başlatıcılar kullanılır. Polimerizasyon sonunda elde edilen toz polimer sudan süzülerek ayrılır ve kurutulur. Polimer granül halinde üretilir. Stiren, metilmetakrilat, vinilklorür, vinil asetat bu yöntemlerle polimerleştirilebilir. Elde edilen en son ürüne bakılarak bu tür polimerizasyona “inci veya tane polimerizasyonu” da denir. Süspansiyon polimerizasyonunun avantajları ısı aktarımı ve sıcaklık kontrolü kolay, ürün yapıştırıcı ve boya olarak kullanılabilmesi, organik çözücü kullanılmaması, kütle ve çözelti polimerizasyonundan daha emniyetli olmasıdır. Süspansiyon polimerizasyonunun dezavantajları ise kesikli üretime uygunluğu, ortamdaki maddelerden kaynaklanan polimer kirlenmesi, suyun ve stabilizatörün polimerden uzaklaştırılması, kurutulması gibi yan işlemler gerektirmesi bunun ekonomik açıdan yük oluşturmasıdır [12, 15,20-24].

2.7.4. Emülsiyon Polimerizasyonu

Uygun emülsiyon yapıcılar yardımıyla su içinde çok ince dağılmış monomerin polimerleştirilmesi yöntemidir. Emülsiyon polimerizasyonunda, ortamda; su, monomer, misel yapıcı ve başlatıcılar bulunur. Monomer yüzey aktif bir madde ile (sabun gibi) kararlı hale getirilir ve bu damlacıklara “misel” adı verilir. Polimerleşme misellerde düşük sıcaklıklarda yapılır. Emülsiyon polimerizasyonunun başlangıcında misel yapıcı ve su karıştırılır. Karışımda bulunan misellerin bir kısmı suda çözünür. Bir kısmında bir araya toplanarak küresel miseller oluşturur. Monomerin bir kısmı suda çözünür. Bir kısmı ise misellerin içine girerek onları şişirir. Diğerleride monomer damlaları halinde suda dağılır. Emülsiyon yapıcı madde ortamda bulunan

monomerlere tutunur ve polimerizasyon gerçekleşir. Ortamdaki polimerlere sarılarak polimerizasyon işlemi sonlanmış olur. Bu işlem Şekil 2.16’da gösterilmiştir.



Şekil 2.16. Emülsiyon polimerizasyonunda misel oluşumu [15].

Emülsiyon polimerizasyonunun avantajları yüksek polimerizasyon hızı, yüksek mol kütleli polimer elde edilebilmesi, kolay sıcaklık kontrolü, düşük viskozite, kütle ve çözelti polimerizasyonuna göre daha emniyetli olması, ve organik çözücü kullanılmamasıdır. Emülsiyon polimerizasyonunun dezavantajı ise polimerden miseli uzaklaştırmak oldukça zordur [12,15,32].

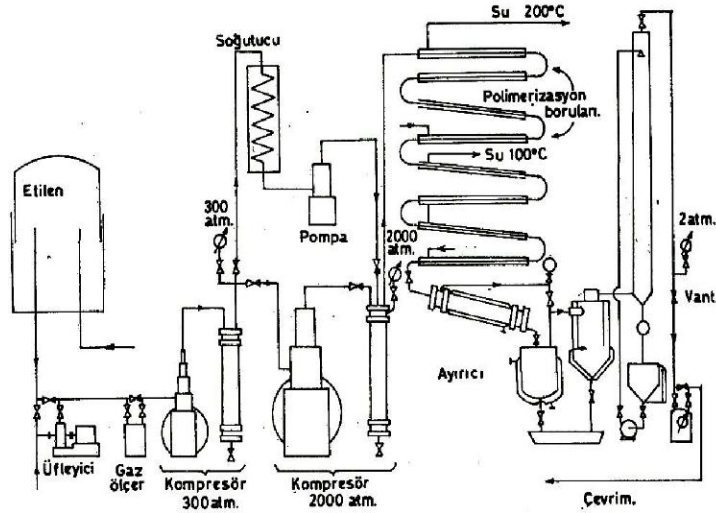
2.7.5. Çökelti Polimerizasyonu

Blok veya çözelti polimerizasyonunda bir polimerin kendi monomerinde yada herhangi bir monomer çözücü karışımında çözünmediği düşünülün. Bu durumda polimer oluşurken çöker. Bu tür polimerizasyona çökelti polimerizasyonu denir. Stirenin alkollü çözücülerde, Metilmetakrilat’ın suda, Vinilklorür ve Viniliden klorür’ün kendi monomerlerindeki (blok) polimerizasyonlarında bu tür çökelti polimerizasyonu oluşur.

2.7.6. Gaz-Fazı Polimerizasyonu

Birçok monomer normal atmosfer şartlarında gaz halindedir. Gaz halindeki monomerler ışık veya gaz ortamında başlatıcılar yardımı ile polimerleştirilebilirler. Gaz fazında polimerleşme başlar başlamaz, polimer taneleri katı zerreler halinde çöklerler. Polimerizasyonun ilerlemesi ve sonlanması bu katı taneler üzerinde olur. Polietilen ve polipropilen polimerleri gaz fazı polimerizasyonu ile üretilmektedir.

Etilenin yüksek basınç polimerizasyonu ile üretiminde izlenen bir prosestir. Ancak doğrusal polietilen sentezinde geliştirilen düşük basınç (1–150 atm) prosesi daha büyük önem kazanmıştır. Etilenin düşük basınç polimerizasyonunda çözelti polimerizasyonu yönteminden yararlanılmaktadır. Bu yöntemle polietilenin üretimi şematik olarak Şekil 2.17’de gösterilmiştir [12,15,21].



Şekil 2.17. Polietilenin sürekli üretiminde akış şeması[12,15,21].

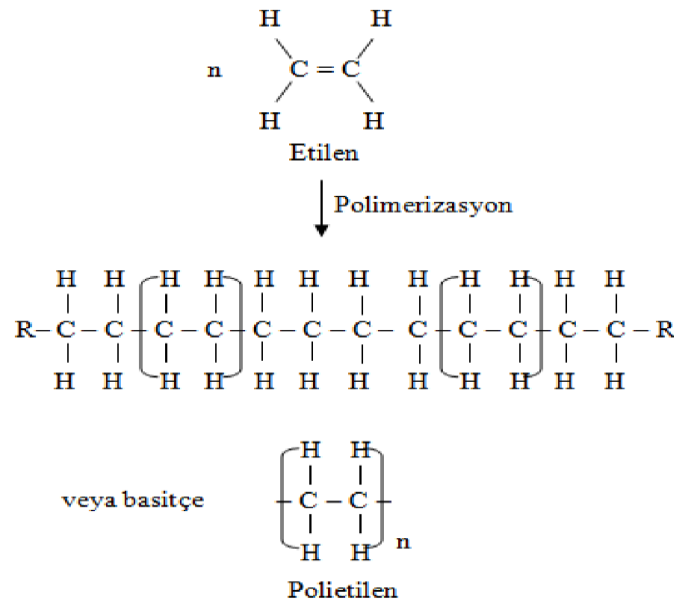
2.7.7. Koordinasyon Polimerleşmesi

Yapısı $CH_2=CHR$ şeklinde olan bir vinil monomeri, R yan gruplarının polimer zinciri üzerindeki diziliş biçimine bağlı olarak “sindiyotaktik, izotaktik ve ataktik polimerler” adı verilir. Bu düzenlenmeler “taktisite” olarak bilinir. Koordinasyon polimerizasyonu yöntemiyle taktisitesi belli polimerler sentezlenebilir. Koordinasyon polimerizasyonu 1950’lerde Karl Ziegler ve Giulia Natta tarafından kendi adlarıyla anılan Ziegler-Natta katalizörlerinin polimer sentezinde kullanımıyla geliştirilmiştir [12,15]. Ziegler-Natta katalizörlerinin en önemli endüstriyel uygulama alanlarından ikisi stereospesifik “polietilen ve polipropilen” üretimidir. Yüksek oranda dallanma nedeniyle radikalik mekanizmayla üretilen polietilenin kristalitesi ve yoğunluğu düşüktür. Ziegler-Natta katalizörleri kullanılarak üretilen polietilende dallanma önemsizdir, polimerin kristalitesi ise yüksektir. Dallanma olmadığı için polimer kristalliği ve zincirler arası etkileşimler artarak polietilenin mekanik özelliklerini iyileştirir. İzotaktik polipropilen üretiminde Ziegler-Natta katalizörlerinin kullanımıyla

gerçekleştirilmiştir. Koordinasyon polimerizasyonu dışında iyonik polimerizasyon yönteminde (özellikle anyonik katalizörler kullanılırsa) belli stereo düzende polimerler verebilmektedir. Radikalik polimerizasyonda polimer taktisitesi kontrol edilemez ve her zaman ataktik polimerler elde edilir. Koordinasyon polimerizasyonuna ayrıca “stereospesifik polimerizasyon” ve bu yöntemle elde edilen polimerlere ise “stereospesifik polimer” denir [12,15,20].

2.8. POLİETİLENİN ÜRETİMİ ve TARİHSEL GELİŞİMİ

Tek tür merden oluşan homopolimer örneği olan polietilenin, etilenden oluşması şematik olarak Şekil 2.18’de gösterilmiştir [33].



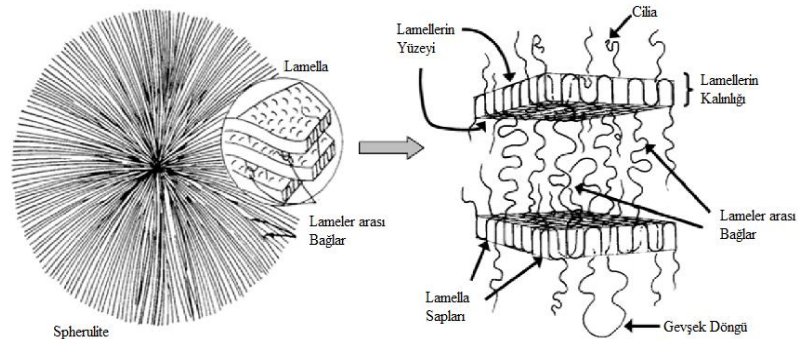
Şekil 2.18. Etilen moleküllerinin polimerleşmesi [33].

Etilen alken sınıfından renksiz bir gazdır. Doymamış bir hidrokarbon olup ve karbonları arasında çift bağ mevcuttur. Formülü C_2H_4 ve açık yapı formülü Şekil 2.18’de gösterildiği gibidir.

Etilenin polimerleştirilme tepkimesi 1930 yılında İngiliz kimyasal ürünler şirketi “Imperial Chemical Industries”de bulunmuştur [12]. Başlangıçta yaklaşık 2000 barlık çok yüksek basınçlar altında gerçekleştirilen bu tepkimenin teknolojisini

kolayca uygulanabilir hale getirmek için yıllar gerekmiştir. Çok geçmeden mekanik ve elektriksel özelliklerinin farkına varılan polietilen bir çok alanda kullanılmıştır. Daha sonra 1950’li yıllarda kimyacı K. Ziegler, düşük basınç altında polimerleştirme tepkimesini geliştirmiştir. Bu yöntem 1970’li yıllarda polietilenin bütün çeşitlerine yaygınlaştırılmıştır. Böylece o tarihten itibaren polietilen dünya çapında en çok kullanılan plastik malzeme haline gelmiştir. Polietilenler termoplastik ailesinin en eski polimerlerinden biri olup önceleri sadece düşük yoğunluklu üretilirken, gelişim göstermiş ve yüksek yoğunluklu, lineer, orta yoğunluklu olmak üzere üç yeni polietilen türü aileye eklenmiştir. Herbirinin çok farklı kullanım sahaları mevcuttur [1,15,21].

Polietilen yarı kristal yapılıdır. Bu onun tam düzenli bir yapıya sahip olamayacağı anlamına gelir. Başka bir deyişle polietilen %100 kristal yapıya sahip olamaz. Fakat günümüzde çok yüksek kristalli polietilenlerde üretilmektedir. Amorf bölgedeki molekül zincirleri düzensizdir. Polietilen bir çözücüde çözünüp soğutulur ve kristallendirilirse tek kristal elde edilebilir. Polimer zincirindeki dallanmalar kristalliğin derecesini tayin eder. Dallanmanın az olduğu molekül yapılarında kristalinite genellikle fazladır. Polimer içindeki kristallik arttıkça sertlik artar. Mekanik ve kimyasal özellikler iyileşir. Polietilenin “erime indeksi” molekül ağırlığıyla ters orantılıdır. YYPE’lerin sertliği ve sağlamlığı daha fazla, erime indeksleri daha düşüktür [15,36,37]. Şekil 2.19’de polietilenin lamella ve spherulite yapısı gösterilmiştir [37].



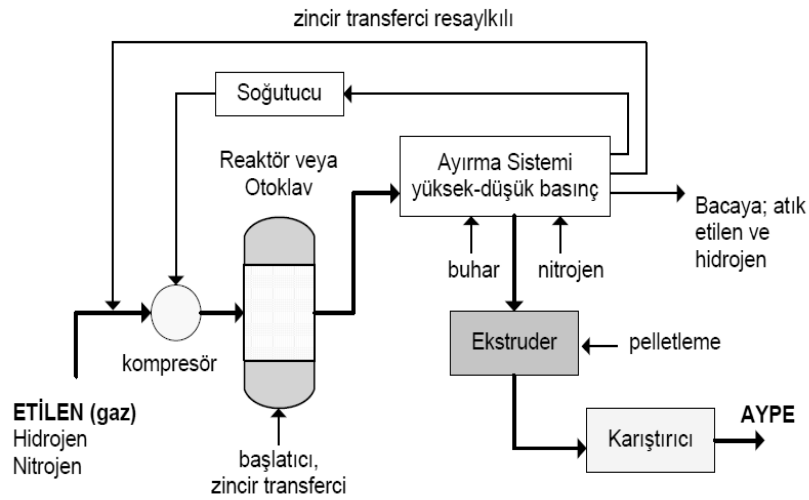
Şekil 2.19. Polietilenin lamella ve spherulite yapısı (lameller arası bağlar) [37].

2.9. POLİETİLENLERİN SINIFLANDIRILMASI

Polietilenler üretim sürecinde kullanılan basınca göre yüksek basınç ve düşük basınç polietileni olmak üzere ikiye ayrılırlar. Ayrıca polietilenler yoğunluklarına göre düşük yoğunluklu, lineer düşük yoğunluklu, orta yoğunluklu ve yüksek yoğunluklu diye sınıflandırılmaktadır [28].

2.9.1. Yüksek Basınç Polietileni; LDPE

Düşük yoğunluklu polietilen yüksek basınçta ve 70-200°C sıcaklıkta, katalizörsüz koşullarda üretilir. Reaksiyonlar serbest radikal zincir mekanizması üzerinden yürür. Serbest radikal başlatıcı oksijen veya organik bir peroksittir. Yüksek basınç teknolojilerinde genellikle karıştırıcılı bir otoklav veya bir tüplü reaktör kullanılır. Üretim sürecinde etilen gazı iki kademeli bir kompresörde 1000-3400 atm. basınçla sıkıştırılır. Yüksek basınç, katılma polimerizasyon mekanizmasını kolaylaştırır. Sıkıştırılmış etilen otoklava (veya tüplü reaktöre) verilir; burada oksijen veya benzoil peroksit gibi bir serbest radikal başlatıcıyla karıştırılır. Oluşacak polimerin molekül ağırlığı bir propan veya diğer alkaniler ilavesiyle kontrol altında tutulur. Polimerizasyon reaksiyonu ekzotermiktir. Dolayısıyla fazla miktarda ısı açığa çıkar. [28]. Yüksek basınç polietilen üretimi Şekil 2.20’de gösterilmiştir.

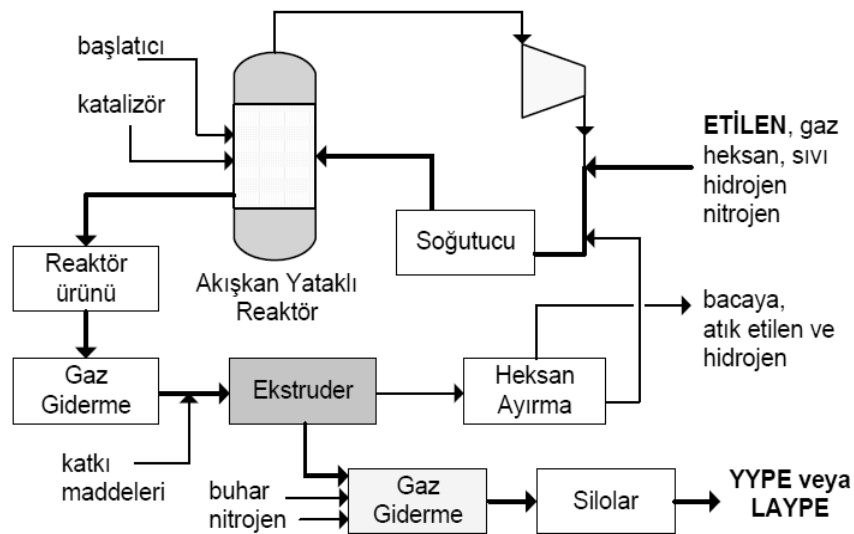


Şekil 2.20. Yüksek basınç polietilen üretimini[28].

2.9.2. Düşük Basınç Polietileni; YYPE ve LAYPE

Yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) inert bir hidrokarbon çözeltide 60-70°C sıcaklıkta atmosferik basınçta Ziegler-Natta prosesiyle yapılır. Ziegler-Natta katalizörleri titanyum tetraklorür ve trialkil alüminyum (trietyl alüminyum ve tribütill alüminyum gibi) bileşiklerinin karıştırılmasıyla hazırlanır [28]. Çeşitli düşük basınç yöntemleri vardır. Bunlar; gaz fazı polimerizasyonu, slurry polimerizasyonu, çözelti polimerizasyonu, modifiye yüksek basınç polimerizasyonu olarak sıralanabilir. Bunlardan en fazla uygulananlar gaz fazı ve slurry polimerizasyon yöntemleridir. Gaz fazı akışkan yatak YYPE (bazen de LAYPE) prosesi Zeigler-Natta grubunca geliştirilmiştir. Proses 20 atmosfer basınçta Zeigler-Natta tip geçiş metalleri, krom kaplı silika veya silika/alumina katalizörlerle yapılır. Gaz fazı düşük basınçlı polietilen üretimi şematik olarak Şekil 2.21’de gösterilmiştir [28].

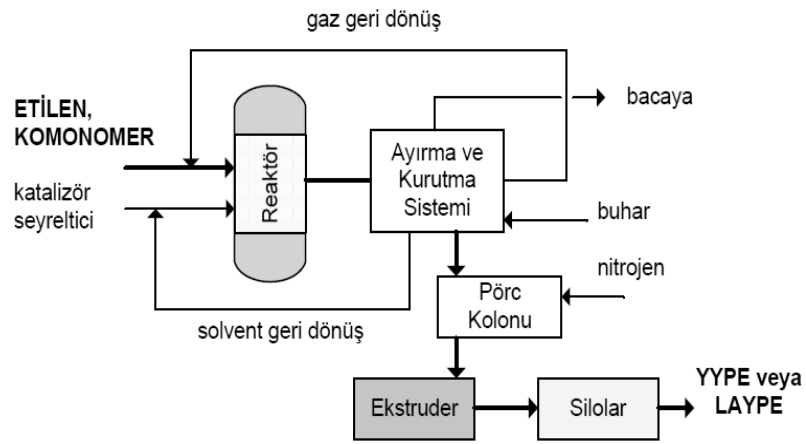
Ziegler-Natta katalizörü, bir hidrokarbon seyreltici içinde titanyum tetraklorür ve dietil alüminyum klorürle hazırlanır. Etilen ve hidrojenin peşi sıra karıştırıcı polimerizasyon reaktörüne verilir. Krom katalizörler kullanıldığında katalizörün reaktöre ilavesi etilen ve hidrojenden sonra yapılır. Çünkü krom katalizör, Ziegler-Natta katalizörlere göre daha geniş molekül ağırlığı dağılımına neden olur [28].



Şekil 2.21. Gaz fazı düşük basınçlı polietilen üretimi şematik göstergesi[28].

Oluşan polimerik süspansiyon sürekli olarak daha küçük bir reaktöre akar. Etilenin polietilene dönüşümü %100 dolayındadır. Polimer bir boşaltma sistemiyle reaktörden alınır. Reaksiyona girmemiş hidrokarbonların uzaklaştırılması için gaz giderme işlemine alınır. Granüler veya toz halindeki ürün tamamlama kısmında gerekli katkı maddeleri ilave edildikten sonra peletlenir.

Slurry polimerizasyon yöntemi LAYPE ve YYPE üretiminde kullanım alanı fazla olan bir polimerizasyon işlemidir. Proseste etilen, komonomer, katalizör ve bir solvent sürekli olarak reaktöre verilir; polimerizasyon sıcaklığı $<100^{\circ}\text{C}$ 'dir. Komonomerler üretilen polimerin yoğunluğunu kontrol eder. Slurry polimerizasyon yöntemi ile YYPE üretim aşamaları Şekil 2.22'de gösterilmiştir [28].



Şekil 2.22. Slury yöntemi ile YYPE/LAYPE üretim aşaması [28].

2.9.3. Alçak Yoğunluklu Polietilen

Alçak yoğunluklu polietilen (AYPE) etilen monomerlerinin 1200-3000 atmosfer basınç altında $130-350^{\circ}\text{C}$ sıcaklık aralığında organik peroksitlerin yardımıyla polimerizasyonundan elde edilir. AYPE'nin yoğunluğu $0.910-0.925 \text{ gr/cm}^3$ arasında değişir.

AYPE filmler parlak, şeffaf ve ucuz olup, işlenmesi kolaydır. AYPE kullanım alanları yiyecek paketlenme, inşaat örtüsü, ziraat örtüleri, çöp gübre torbaları,

sıkılabilen şişe, kağıt ve kumaş yüzeylerin kaplanması gibi vb. olarak sıralanabilir. Özetle AYPE esneklik, sertlik ve parlaklık istenen yerlerde kullanılır.

Lineer alçak yoğunluklu polietilen (LAYPE) ise 1985'li yıllarda hızlı bir şekilde ortaya çıkan polietilen türü olup düşük basınç ve düşük sıcaklıkta gaz fazlı reaktörlerde üretilirler. Yoğunluğu normal AYPE gibi düşüktür [1,15,35].

2.9.4. Orta Yoğunluklu Polietilen

Orta yoğunluklu polietilen (OYPE) yoğunluğu $0.925-0.94\text{gr/cm}^3$ arasında olup, yüksek veya düşük basınç proseslerinde elde edilirler. Doğal gaz ve su hatları boru imalatında kullanım alanı bulurlar [1,15,35].

2.9.5. Yüksek Yoğunluklu Polietilen

Yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) titanyum tetraklorür katalizör (Ziegler-Natta katalizörü) ve organometalik kokatalizörler yardımıyla 10-20 atmosfer basınç altında $70-80^\circ\text{C}$ sıcaklık aralığında etilenin polimerizasyonu sonucu elde edilir. YYPE dallanmamış moleküler yapıya sahiptir. YYPE elektrik direnci yüksek bir polimerdir. Film halinde gaz geçirgenliği vardır. Nitrik aside karşı dirençli değildir. 60°C altındaki sıcaklıklarda çözücülerin büyük bölümünde çözünmez. Suyu ve inorganik tuzların sudaki çözünürlüklerine dirençlidir. Kopmaya, kırılmaya ve parçalanmaya karşı direncini kaybettiği için kalıplanması için yüksek sıcaklığa ve basınca ihtiyaç vardır. YYPE'nin özgül ağırlığı ($0.94-0.97\text{g/cm}^3$), elastiklik modülü ($0.41-1.24\text{N/mm}^2$), erime noktası ($127-137^\circ\text{C}$) ve darbeye karşı direnci ($21-38\text{J}$) arasındadır.

Kağıdın yerini almakta olan YYPE yiyecek paketlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca ağır hizmet torbaları imalinde ve sıvıların paketlenmesinde kullanılır. YYPE ekstrüzyon kalıplama alanında çok yaygın kullanılır. YYPE, kasa, yer altı kanalları ve büyük boy eşya yapımında, şişirme ile imalat yapılan teknolojilerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yeni bir tüketim sahası da oto benzin depolarıdır. Bu amaç için yüksek molekül ağırlıklı yüksek yoğunluklu polietilen kullanılır. Ev eşyası, oyuncak, ambalaj filmi, boru, sert boru, deterjan ve kozmetik

şişesi (şeffaf olmayan), su, gaz bidonu, levha, kağıt, kumaş ve metal kaplamada rotasyonel kalıplama maddeleri, poşet, laminasyon, file çuval, basınçlı su borusu, gaz ve kanalizasyon borusu imalatında YYPE sıklıkla kullanılmaktadır[1,15,35].

2.10. POLİETİLENLERE KATILAN KİMYASAL MADDELER

Polietilen malzemesine katılan çeşitli kimyasal maddeler; oksitlenmeyi önleyiciler, ultraviyole kararlılık sağlayıcılar, kaydırıcı ve bloklama önleyiciler olarak sıralanabilir.

2.10.1. Oksitlenmeyi Önleyiciler

Bu tür kimyasal maddeler genellikle fenolik yapıda olup birincil ve ikincil antioksidant olarak iki gruba ayrılır. Birincil oksidantlar diğer bir deyişle radikal söndürücüler polietilenin ısıtılması sırasında makromolekülün parçalanması ile ortaya çıkan radikalleri etkisiz hale getirir ve çoğalmasını önler. İkincil antioksidanlar ise polietilenin oksijenli ortamda bozunması ile oluşan hidrosiperoksitleri parçalar ve bozunmanın devamını engeller. Bu ikincil antioksidantlar polietilenin uzun süre bozunmaya karşı dirençli olmasını sağlar [1,15,35].

2.10.2. Ultraviyole Kararlılık Sağlayıcılar

Ultraviyole güneş ışığı her türlü karbon-karbon bağına etki eder ve bu bağı zaman içinde zayıflatarak kırılmasına neden olur. Bunun önüne geçmek için polietilenin içine, güneşin bu etkisini polietilenden önce soğuran, kimyasal maddeler konur. Bu kimyasal maddeler; ultraviyole emiciler ve ultraviyole soğurucular olmak üzere iki grup altında toplanır. Endüstride kullanılan bu tür katkı maddeleri yukarıda verilen maddeler yada bunların değişik kombinasyondaki karışımlarıdır. HALS diye bilinen maddeler yeni bir ürün olup, kimyasal adları “Hindered Amin Light Stabilizers”dür. Diğer yandan renkli pigmentlerde ultraviyole ışığın etkisini önlemede önemli etkiye sahiptirler. Özellikle karbon siyahı polimerin güneşe dayanımını artırmada yaygın olarak kullanılır [1,15, 35].

2.10.3. Kaydırıcı ve Bloklaşmayı Önleyiciler

Kaydırıcı olarak yağ asitlerinin aminleri, bloklaşmayı önleyici olarakta %90'ın üzerinde silisyumdioksit ihtiva eden inorganik bileşikler kullanılır. Bloklaşmayı önleyici katkılarda; tane büyüklüğü dağılımı ve maddenin yağ absorpsiyonu çok önemlidir. Kaydırıcı ile birlikte kullanılan bloklaşma önleyicilerde yağ absorpsiyonu için önemlidir [1,15].

2.11. POLİMERLERİN İŞLENMESİ VE ENDÜSTRİDE KULLANIMI

Polimerlerin granül veya toz hale getirildikten sonra istenilen özellikteki ürün haline dönüşebilmesi için kullanılan çok çeşitli işleme teknikleri bulunmaktadır.

Polimerlerin genel işleme yöntemleri;

- Enjeksiyon yöntemi ile işleme,
- Ekstrüzyon yöntemi ile işleme,
- Vakumlama yöntemi ile işleme,
- Döner (Rotasyonel) kalıplama,
- Şişirme yöntemi ile işleme olarak sıralanabilir.

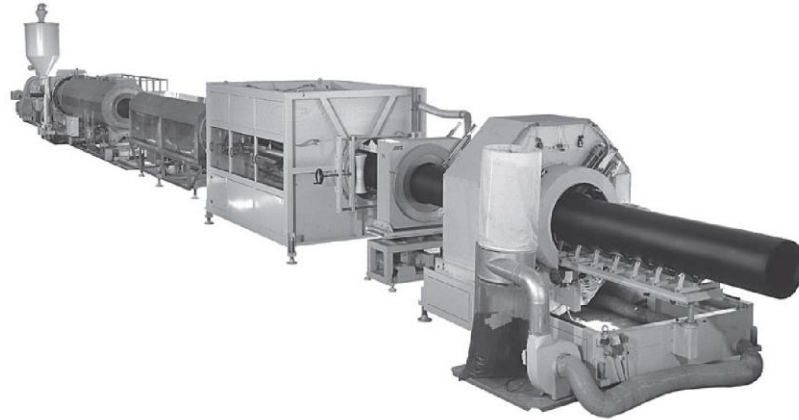
Günümüzde polimerik malzemeler çok geniş kullanım alanına sahiptir. Endüstride bir çok özelliklerinden geniş yelpazede yararlanılır. Doğalgaz borularından, içme suyu borularına kadar bir çok boru günümüzde polietilen malzemelerden üretilmektedir. “Sentetik organlar” gibi insan hayatı için önemli biyokimyasal malzemeler bile polimerlerden üretilmektedir.

2.12. POLİETİLEN BORULARIN ÜRETİMİ VE KULLANIM ALANLARI

Günümüzde, gelişmiş ülkelerin doğalgaz, içme suyu ve kanalizasyon sistemlerinde kullanılan boruların %95'ten fazlası polietilen esastır. Metal boru sistemlerinin gerek malzeme, gerekse montaj işçiliğinin yüksek oluşu, kullanım sırasında karşılaşılan problemlerin çokluğu ve kısa ömürlü olmaları yüzünden metalik boruların yerlerini her geçen gün hızlı bir biçimde polietilen sistemlere

bırakmaktadır. Dünyamızda kaynaklardan taşınan temiz suların üçte biri tüketiciye ulaşmadan boru sistemlerindeki sızıntılardan çevreye yayılmaktadır. Öte yandan atık su sistemlerindeki sızıntılar çevre kirliliğine dolayısıyla temiz su kaynaklarının kirlenmesine yol açmaktadır. Bu nedenle, çatlama, aşınma, ömür kısalığı gibi metal boru sistemlerinin zayıflıkları polietilen boru sistemlerine yönelmeyi hızlandırmaktadır.

PVC, ABS (Akrilonitril bütadien stiren), poliasetal ve polibitulen hammaddeleri ile başlayan plastik esaslı boru sistemleri son yıllarda polietilen teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak polietilen sistemlere yönelmektedir. Polietilen borularda performansı arttırmak ve daha küçük çaplarda da kullanımı yaygınlaştırmak için sürekli olarak yeni hammaddeler geliştirilmekte, öte yandan ekstrüzyon teknolojisindeki yeniliklerle bu çabalar desteklenmektedir. Ekstrüzyon yöntemi ile üretim şematik ve resim olarak Şekil 2.23’de gösterilmiştir [35].



Şekil 2.23. Ekstrüzyon yöntemi ile PE borularının üretim hattı [35].

Polietilen sistemlerin daha uzun ömürlü, daha dayanıklı, daha hızlı monte edilebilen ve daha ekonomik olması için sistemi tamamlayan bağlantı elemanları ve kaynak teknolojilerinde de gelişmeler sürmektedir [1, 15,35]. Endüstride;

- Doğal gazın taşınmasında ve dağıtılmasında,
- İçme ve kullanma suyu şebekelerinde,
- Pis su ve kanalizasyon şebekelerinde,

- Tarımsal sulamada,
- Drenaj projelerinde,
- Geçici isale hatlarında,
- Spor sahalarının sulanmasında,
- Yangın söndürme sistemlerinde,
- Telekomünikasyon kablolama sistemlerinde,
- Tehlikeli atıkların taşınmasında,
- Denizcilik ve balıkçılıkta,
- Marinalarda,
- Güç ünitelerinde,
- Petrokimya sanayiinde,
- Çimento sanayiinde,
- Kimya endüstrisinde,
- Maden işletmelerinde polietilen borular kullanılır.

2.13. POLİETİLEN BORULARIN ÖZELLİKLERİ

Endüstride kullanılan polietilen boruların özellikleri aşağıdaki gibi özetlenebilir [35,38].

- Aşınmaya ve kimyasal ortama ve taşıdığı maddelere karşı dirençlidirler.
- Esneklik ve yorulmaya dayanıklıdır. Küçük çaplarda kangal haline gelebilmesi taşıma ve çalışma kolaylığı sağlar.
- Süneklik ve yüksek darbe dayanımına sahiptir.
- Viskoelastik özelliğine sahiptir; şekillenme ve yüklere karşı dayanımı sağlar.
- Çelik borularla aynı dayanıma sahip yeni tür polietilen borular sekiz kat daha hafiftir.
- Çekme dayanımı yüksek ve üç yüz kat uzama özelliğine sahiptir.
- Uzun servis ömürlüdür; zor servis şartlarında düşük sıcaklıklarda iyi dayanım sergilemektedir.
- Pürüzsüz ve kaygan iç yüzeye sahiptir.
- Kolay birleştirilebilmeleri dolayısıyla her yerde kullanılabilir.

- Düşük maliyetlidir. Aşınmaya dirençli olduklarından katodik korumaya gerek duymadan yaklaşık elli sene tamirat gerekmeden kullanılabilirler.
- Sızdırmazdırlar. Borular ve birleştirme yöntemleri sıfır sızdırmazlığı sağlamaktadır.
- Tamirat kolaylığı ve boğulabilme özelliğine sahiptir.
- Basınç altında branşman alma imkanı sağlar.
- Yalıtıcıdır ve elektrik akımından etkilenmezler.

2.14. POLİETİLEN BORULARIN BİRLEŞTİRİLMESİ

Polietilen boruların birleştirilmesinde mekanik ve kaynaklı birleştirme yöntemlerinden yararlanır.

2.14.1. Mekaniksel Birleştirme Yöntemleri

Mekaniksel bağlantı yöntemleri; bu yöntemlerde iki boru kaplin (puşvit) veya flanşla birbirine bağlanarak birleştirme işlemi gerçekleştirilmektedir.

2.14.2. Kaynaklı Birleştirme Yöntemleri

Polietilen malzemelerini birleştirmek için birçok kaynak yöntemi mevcuttur. En çok kullanılan elektrofüzyon, sıcak eleman (alın kaynağı), sıcak gaz ve sürtünme kaynak yöntemleridir. Günümüzde yeni kaynak yöntemleride geliştirilmektedir. Lazer, mikrodalga, kızıl ötesi ışınlar ve karıştırma ekstrozyon kaynak yöntemleri örnek verilebilir. Ancak, boru kaynağında en çok kullanılan yöntemler elektrofüzyon ve alın kaynağı olması nedeniyle bu yöntemler detaylı olarak alt başlıklarla açıklanmıştır.

2.14.2.1. Alın Kaynağı

Elektrikle ısıtılan bir sıcak eleman kullanılarak birleştirilecek olan polietilen borunun uçları aynı anda ısıtılır. Daha sonra ısıtılıp eritilen uçlar birbirine belli bir basınç altında belli bir süre bastırılarak etkili bir kaynak bağlantısı elde edilir. Bu teknik

sayesinde Ø90-Ø400mm arası boruların kaynağı başarılı bir şekilde yapılabilir. Tekniğine uygun bir kaynak bağlantısı yapıldığında elde edilen kaynak bölgesinin dayanımı ana borunun dayanımına eşdeğerdir. Bu kaynak yönteminde önce borular konum sabitleyiciye bağlanarak birbirine tam eşeksen olmaları sağlanır. Sonra boruların alın kısmından kazıyıcı cihaz yardımı ile tam dik bir ağız elde edene kadar talaş kaldırılır ve boru ağızları ütü denilen sıcak elemana yapıştırılarak ergimeleri sağlanır. Bu işlem otomatik olup uygulanan basınç ayarlanabilir. Belirli bir zaman diliminden sonra boru ağızları aralanıp ütü uzaklaştırılır. Hemen boru ağızları birbirine yapıştırılır ve belirli basınç (0,15-0,22 MPa) uygulanarak soğutulur. Bu yöntemde kaynak bölgesinde boruların iç ve dış kısmında ergime fazlası dudaklar oluşur. Birleştirmenin kalite kontrolünde oluşan bu dudakların biçimi değerlendirmeye alınarak kaynağın başarılı olup olmadığı yorumlanabilir. Bu yöntemde zamanlama ve uygulanan basınça dikkat edilmesi gerekir [1,35,38,39].

2.14.2.2. Elektrofüzyon kaynağı

Bu teknik basit ve pahalı olmayan bir boru birleştirme yöntemidir. Elektrofüzyon kaynağıyla Ø20-Ø360 mm arası boruların birleştirilmesi başarıyla yapılabilir. Ayrıca bu teknik uygulanarak ana borudan servis şartlarında kesintiye uğramadan branşmanlar almak mümkündür. Bu yöntem daha çok tamir ve ulaşılması zor yerlerde boruların birleştirilmesinde kullanılmaktadır.

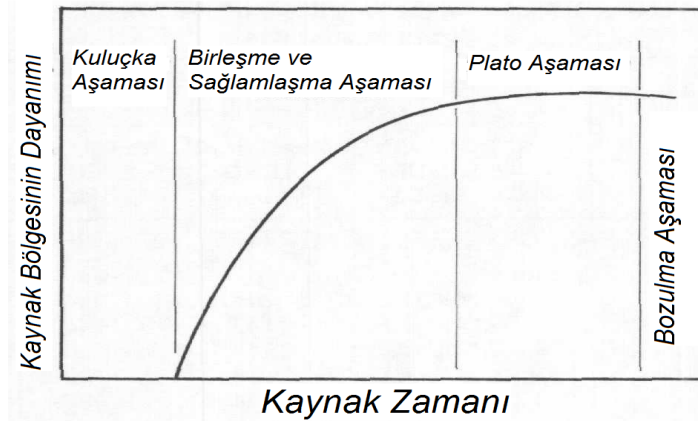
Bu yöntemde borular manşon denilen birleştirme elemanı kullanarak dış yüzeyden birbirine kaynatılırlar. Önce, boruların ağızları dik olarak kesildikten sonra manşon uzunluğunun yarısı kadar dış yüzeylerinin oksit tabakası kazınarak kaldırılır. Sonra boruların kazınmış yüzeyleri ve birleştirme elemanının iç yüzeyi pürüzsüz keten bez ve alkol ile temizlenir. Alkolün saflık derecesinin %60'tan daha yüksek orana sahip olması önemlidir. Sudan başka katkı içermemesi gerekir [1,38].

Borular manşona yerleştirilerek konum sabitleyiciye tutturulur. Kontrol ünitesini çalıştırdıktan sonra fişleri manşonun soketlerine takılır. Kaynak makinesi, çevre sıcaklığı ve manşon üzerindeki barkotlardan aldığı verileri değerlendirerek uygun

kaynak süresince manşona 40V civarında bir gerilim uygular. Kaynak işlemi süresince manşon içindeki direnç telleri ısınır. Manşonun iç yüzeyi ile borunun dış yüzeyin ergir ve birbirine difüz ederek birleştirme sağlanır. Süre bittikten sonra makine otomatik olarak işlemi durdurur. Birleştirmenin soğuması için önerilen süre beklenilir. Daha sonra birleştirme konum sabitleyiciden ayrılır. Doğalgaz dağıtım hatlarında emniyetli olduğu için en yaygın kullanılan kaynak yöntemidir.

Araştırmalara göre kaynak işlemi tüm koşullara uyarak uygulandığında kaynak arayüzeyinin ana malzemeye göre daha iyi özellikler sergilediği belirlenmiştir. Örneğin, 180 mm çapında, 16.4 mm et kalınlığında olan borunun +23°C çevre sıcaklığında uygun koşullarda kaynak sonrası bağlantı elemanının dış yüzeyinden gerçekleştirilen yoğunluk ölçümü, kaynak öncesi 934 kg/m³, kaynaktan sonra 940.8 kg/m³ ölçülürken, kaynak bölgesinde kaynak öncesi 937.2 kg/m³ kaynak sonrası 938 kg/m³, boru iç yüzeyinde ise kaynak öncesi 940 kg/m³, kaynak sonrası 938.9 kg/m³ olarak tespit edilmiştir [36].

Elektrofüzyon kaynak yöntemi, kuluçka, birleşme ve sağlamlaşma, plato ve soğuma olmak üzere dört aşamadan oluşur bu aşamaları kaynak zamanına bağlı olarak Şekil 2.24'de gösterilmiştir [36].

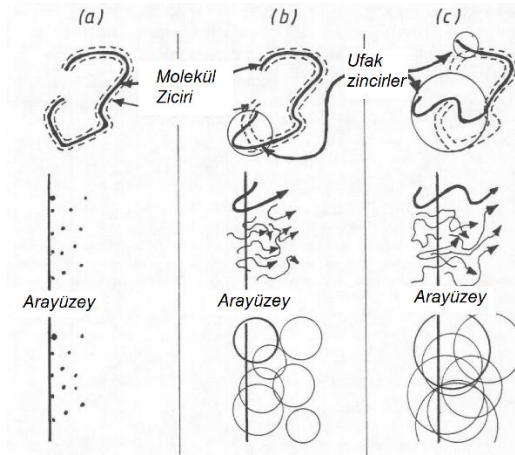


Şekil 2.24. Elektrofüzyon kaynak yöntemindeki aşamalar [36].

Kuluçka aşaması; bu aşamada direnç tellerinde oluşan sıcaklık kaynak bağlantı elemanını genişletir. Boru ile arasındaki ara boşluğu doldurarak boru dış yüzeyine

ulaşır. Sıcaklığın boru dış yüzeyine ulaşması ile birlikte boru ve kaynak bağlantı elemanının yüzeyleri eriyerek arayüzeyden boruya ısı aktarımına yardımcı olur. Birleşmenin oluşması sürecinde bağlantı elemanı ile boru arasındaki boşluk ergimiş malzeme ile tamamen dolmuştur. Boru ve bağlantı elemanı kaynak arayüzeyleri tamamen eriyerek ölçülebilecek miktarda basınç oluşmaya başlamasıyla çok düşük dayanımlı kırılmalı bir bağlantı oluşur [36].

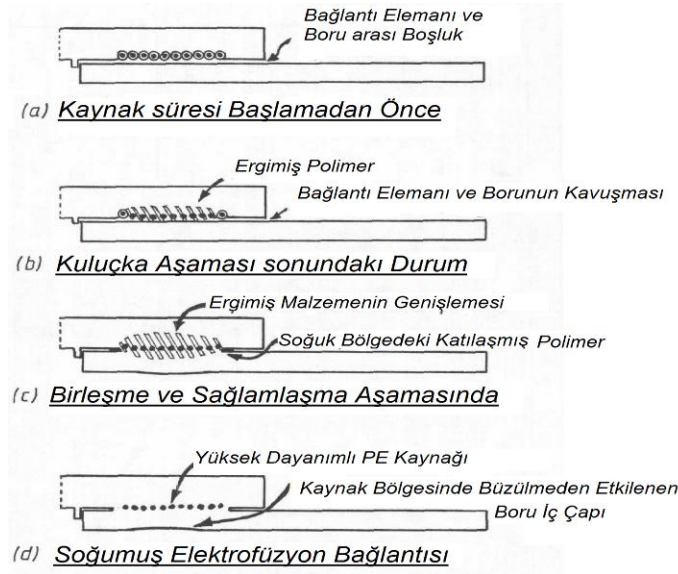
Birleşme ve sağlamlaşma sürecinde makro molekül zincirleri arayüzeyden difüz etmeye başlar bu işlem şematik olarak Şekil 2.25’de gösterilmiştir. Zaman ilerledikçe arayüzey basıncı yükselir ve sonuç olarak kaynak dayanımı artar. Kaynak zamanı dolduğunda, uygulanan yükler karşısında kopma arayüzey yerine direnç telleri arayüzeyinden sünek bir kırılma davranışı ile gerçekleşir. Bu aşamada bağlantı elemanının soğuk bölgeleri istenilen basınca ulaşmada önemli rol üstlenir [36].



Şekil 2.25. Kaynak bölgesindeki makro moleküllerin arayüzeyden difüzyonunun şematik gösterimi [36].

Plato aşaması sürecinde arayüzey sıcaklığı, basınç ve ergime hacmi sürekli olarak artmaya devam eder. Plato aşaması sürecinde moleküller karşı yüzeyin derinliklerine difüz etmiş durumdadırlar. Plato aşaması sürecinde çevre koşulları, ara boşluğu gibi başka değişkenlerin belirlemiş olduğu sınırlar içerisinde kaynak kalitesine etkilerinin minimize edilmesi amaçlanmıştır. Bu aşama sonunda ayrılma genelde direnç telleri yüzeyinden sünek olarak gerçekleşir. Kaynak süresi dolduktan sonra arayüzey sıcaklığına bağlı olarak basınç ve hacimde azalma fakat kristalleşme miktarında artış söz konusu olur [36]. Soğuma aşamasında kristalleşme süreci bir faz değişimi

olduğundan bu süre boyunca sıcaklık değişmemekte ve 120°C’de sabit kalmaktadır. Ancak, kristalleşme tamamlandıktan sonra sıcaklık 110°C’ye düşer, sonrasında daha düşük sıcaklıklara ulaşır. Kristalleşme süreci kaynak bölgesinde daralmaya, sonuç olarak arayüzeyde boşluklara ve bazen borunun iç çapının büyümesine neden olur. Kısacası soğuma aşaması molekül zincirlerinin iki malzemede sabitleşmesi, dayanımı ve sünekliliği iyi olan birleştirmenin elde edilmesine olanak sağlar. Elektrofüzyon kaynak yöntemi aşamaları şematik olarak Şekil 2.26’da gösterilmiştir [36].



Şekil 2.26. Elektrofüzyon kaynak yöntemindeki aşamaların şematik göstergesi [36].

Bozulma aşaması ise, kaynak süresi belirlenmiş zamandan daha fazla uzarsa yalnız fazladan enerji harcanması ve maliyetin artmasına değil, aynı zamanda kaynak malzemesinde bozunmalara ve birleştirme kalitesinin düşmesine neden olabilir. Ana malzemenin molekül ağırlığı, yan dal sayısı ve biçimleri, yüzey temizliği ve oksit tabakasının giderilmesi, çevre koşulları, boruların doğru bir şekilde kesilip sabitlenmesi, kaynak makinesinin kalitesi ve kaynak süresi, güç kaynağının sabit bir akım sağlaması ve arayüzey boşluğu kaynak kalitesini etkileyen değişkenler olarak sıralanabilir. Polietilenin elektrofüzyon kaynağında kullanılan bağlantı elemanlarına örnek olarak manşon, dirsek, vana, üç yol geçiş, redaksiyon ve kapa gibi elemanlar verilebilir [1,35,36-39].

Elektrofüzyon kaynağının avantajları sıralanacak olursa; canlı hatlara kullanılabilir. Düşük çaplı ve ince et kalınlıklarında başarılı sonuçlar elde edilmektedir. Sızdırma tehlikesi düşük olduğu için doğalgaz hatlarında rahatlıkla tercih edilebilir. Makine bakımı ve taşınması daha kolaydır. Genelde tamirat işlemlerinde kolaylıkla kullanılabilir. Uygulaması kolay olduğundan çalışan operatörün çok fazla deneyimli olmasına gerek yoktur. Elektrofüzyon kaynağın dezavantajları ise; genelde büyük çaplı boruların kaynağında tercih edilmezler ve başka bir kaynak elemanına gerek duyduğundan yüksek maliyetlidir [1,2,35].

2.14.2.3. Polietilen Boruların Kaynak Kabiliyetini Etkileyen Parametreler

Literatür araştırmalarında polietilen boruların elektrofüzyon kaynak uygulamaları ilgili çalışmalara rastlanmaktadır. Ancak, uygulamadaki çevresel faktörlerin belirlenmesi ve kaynak sonrası birleştirmenin özelliklerini iyileştirme çalışmaları hala devam etmektedir. Çünkü çevresel parametrelerden sıcaklık, nem, hava durumu, rüzgar ve toz, kimyasal etki, radyasyon, biyolojik etkenler veya bunların bileşenleri polimerlerin yapısal dönüşümlerine bağlı olarak dayanımlarını etkilemektedir. Ayrıca, oksit tabakasının iyi kaldırılmaması ve yüzeylerin temizliği, boru ve manşon arasındaki boşluk, kaynak süresi ve ana malzeme kalitesi kaynak kabiliyetine etki eden diğer önemli faktörlerdir [1-4].

2.14.2.4. Çevre Sıcaklığı Faktörü

Çevre sıcaklığı polietilenin soğuma aşamasında önemli bir rol oynar. Polietilen 200°C sıcaklıkta ergiyik halinden soğutulduğunda 120°C sıcaklıkta faz değişimine uğrayarak katılaşır. Bu aşamada katılaşma süresi hızlı olduğunda eriyik daha çok noktadan çekirdeklenmeye başlar ve katılaşma bittiğinde küçük ve ince taneli bir yapı elde edilmiş olur. Aksine soğuma süresi uzadığında çekirdeklenme az sayıda gerçekleşerek katılaşma sonunda kaba taneli yapı oluşumu gözlenir. Kaba taneli yapı içinde polietilen molekül zincirlerinin yönlenebilmesi için yeterli zaman olduğundan dolayı iyice yönlenebilir ve birbirinin üstüne yerleşerek sıkı şekilde kürecik (spherolite) biçimli kristal yapısını oluşturur [36,40]. Hızlı soğumalarda polietilen molekül zincirlerine tam yönlenebilme zamanı tanınmadığı için zincirler birbirine girerek karışık

ve düzensiz amorf yapı oluştururlar. Kristal yapı, amorf yapıya göre daha yoğun ve düzenli olduğundan dolayı daha sert ve dayanımı daha yüksektir. Özetle çevre sıcaklığının düşüşü soğuma hızını yükselterek yapıda oluşan kristal miktarını azaltıp ve sonuç olarak kaynak bölgesinin dayanımını düşürür [36,40].

Kaynak ortam sıcaklığının standartlarda belirlenen sınırdan daha düşük olması, bağlantı elemanının dış yüzeyinin daha sert olmasının yanı sıra elastikiyet modülünün düşmesine neden olarak kaynak sürecinde oluşan basıncın artarak eriyik kaynak materyalinin taşmasına neden olmaktadır. Aynı zamanda düşük çevre sıcaklıklarında kaynak sonrası soğuma hızı artarak, oluşan kristal miktarını ve kaynak kalitesini kötü yönde etkilemektedir [1,2,15,36,40].

2.15. POLİETİLEN BORU BİRLEŞTİRMELERİNE UYGULANAN ISIL İŞLEMLER

Polietilen borularının kaynağında ısıl işlem uygulamasına çok az rastlanılmaktadır. Genelde yüksek çaplı boruların kaynağında malzemenin genişlemesi, ara boşluğun azalması amacıyla ısıl işlem uygulanmıştır. Polietilen borulara kaynak öncesi ve kaynak sonrası uygulanan ısıl işlem uygulamaları sırasıyla tanıtılacaktır.

Literatürde polietilen borulara ön tavlama ısıl işlemi sadece büyük çaplı boruların soğuk hava şartlarında kaynak öncesi yapılan ısıtma işlemi gibi çalışmalarda rastlanılmaktadır. Ön ısıtma işlemlerinin daha ziyade büyük çaplı borulardaki geniş boru ve manşon arası boşluğu kapatma amaçlı yapıldığı ifade edilmektedir [36]. Ön tav ısıl işleminin kaynak kalitesi üzerindeki etkisi hakkında çalışmaya rastlanmamıştır. Soğuk ülkelerde kış aylarında polietilen boruların kaynağına sadece önlem alındıktan sonra izin verilmiştir [41,42]. Literatürde, polietilen borularına kaynak sonrası ısıl işlem uygulamalarına çok az çalışmada rastlanılmıştır. Tavlama ısıl işlemi, kontrollü soğutma ve su vermenin katılaştıran polietilenin kristal yapı oranına etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, kaynak sonrası ısıl işlem uygulaması sonucunda başarılı kaynaklı bağlantıların elde edildiği rapor edilmiştir [36].

2.16. POLİETİLEN BORULARININ KAYNAK KALİTESİNİN BELİRLENMESİ

Doğal gaz firmaları tarafından polietilen borularının elektrofüzyon kaynağının kalitesini ölçmek için çeşitli test yöntemleri kabul edilmiştir. Bu test yöntemlerinden bazıları sırasıyla tanıtılmıştır.

2.16.1. Sızdırmazlık Testi

Bu test yöntemi, doğalgaz boru hatlarında her türlü sızdırmayı önlemeye karşı en önemli test yöntemlerinden biridir. Doğalgazın sızması çok tehlikeli olduğu için boru kaynaklı birleştirmelerinin tamamı bu teste tabi tutulmaktadır. Standartta göre bu yöntemde boru hattının uygulama basıncının bir buçuk katı ($1.5 \cdot P_n$) test basıncı olarak kullanılır. Bu basınç doğalgaz hattında belirlenen noktalarda sıcaklık yardımıyla birlikte kontrol edilir. Sıcaklığa bağlı elde edilen sonuçlara göre boru hattının uygun olup olmayacağı standarttaki sınırlamalarda dikkate alınarak karar verilir. Test sonucu başarılı, başarısız olması durumuna göre veya bazende duruma göre test zamanı uzatılabilir. Test sonucuna göre bir sızdırma tespit edilirse, sistem tamir edilip yeniden test uygulanır. Bu arada ölçme cihazlarının bağlantıları köpüklerle kontrol edilir [38,43].

2.16.2. Ezme Ayırma Testi

Bu yöntem doğalgaz hatlarındaki elektrofüzyon kaynaklarının kalitesini denetlemek için kullanılan en yaygın test yöntemidir. Standartta belirtildiği gibi yirmi civarında kaynaklı birleştirmeden biri uygun uzunlukta kesilerek deney numuneleri hazırlanır. Ezme test numunelerinin kesilmesinde Çizelge 2.2’de verilen verilerden yararlanılır.

Çizelge 2.2. Ezme testi için polietilen boru birleştirme verileri [10].

| Boru çapı | Numune kesme açısı | Numune sayısı | Kaynak dışı boru uzunluğu |
|-----------------------------------|--------------------|---------------|---------------------------|
| $16\text{mm} < d_n < 90\text{mm}$ | 180° | 2 | $2d_n$ ya 100mm |
| $d_n \geq 110\text{mm}$ | 90° | 4 | $2d_n$ |

Deney numuneleri bu amaç için geliştirilmiş mengine ezmeye tabi tutulurlar. Manşon dışındaki boru, numune boyundan borunun kalınlığının iki katı kadar tam katlanır ve bir levye yardımıyla manşondan ayrılmaya çalışılır. Ayrılma gerçekleştiği zaman kopma yüzeyleri değerlendirildikten sonra yüzde gevrek kopma değeri hesaplanır. Gevrek kopma oranı %20'den fazla ise test başarısız aksi takdirde başarılı kabul edilir. Bu deneyde ayrılma ana malzemedan gerçekleşmiş olsada test sonucu başarılı kabul edilir [10,44].

2.16.3. Soyma Ayırma Testi

Bu yöntemde, standarda göre hazırlanan test numuneleri özel bir aparat yardımıyla çekme cihazında çekilir ve numuneler kopma biçimlerine göre ve dayanımlarına göre değerlendirmeye alınır. Çekme soyma ayrılma testi iki biçimde uygulanır.

2.16.3.1. Tekli Soyma Ayırma Testi

Bu yöntemde, standarda göre hazırlanmış numune boru kısmından çekme cihazının alt çenesine ve manşondan hazırlanmış özel aparat yardımıyla cihazın üst çenesine bağlanır ve çekilir. Çekme yük-birim uzama eğrisinden elde edilen maksimum yük (F_w) ve dayanım enerjisi (E_p) birleştirme arayüzey tokluğu (K) ve normal enerji (E_N) dayanımı ve sünekliğin göstergesi olarak sayısal sonuçlar elde edilir [1,3,45].

2.16.3.2. Çiftli Soyma Ayırma Testi

Tekli soyma-ayırma testinde numuneler genelde ana malzemedan kırıldıkları için çekme sonuçlarından elde edilen değerler anamalzemenin özelliklerini yansıtmaktadır. Kaynak bölgesinin davranışını belirleyebilmek için, ayrılma kaynak arayüzeyinden olması gerekir. Bu sebeple daha verimli olan çiftli soyma-ayırma yöntemi geliştirilmiştir Bu iki yöntem aynı mantığı kullanmalarına rağmen iki yöntemin numune hazırlamasında ve çekme işleminde önemli farklar bulunmaktadır. Çiftli soyma-ayırma yönteminde numunelerin kaynak arayüzeyden iki taraflı kanal açılarak kaynak arayüzeyi alanı daraltılmakta ve bu nedenle ayrılma genelde kaynak arayüzey bölgesinden gerçekleşmektedir. Çekme deneyinin yük-uzama eğrilerinin

biçimi malzemenin kopma davranışının bir göstergesidir. Numune şekil değiştirmeden yüksek yüklerde kopmuşsa gevrek, düşük yüklerde şekil değiştirerek kopmuşsa sünek bir davranış sergilediği anlaşılabilir [1,46].

2.16.4. İzod Darbe Testi

Malzemelerin ani yükler altında davranışlarını değerlendirmek için kullanılan deney metodudur. Bu yöntemde standarda göre hazırlanan numuneler darbe test cihazının tutucusuna dikey ve çentik yönünden belirlenen yükseklikte darbe uygulanacak şekilde bağlanır. Standartta belirttiği gibi malzemelere uygun çekiç seçilerek testin hassasiyeti artırılabilir. Bu hassasiyeti yakalayabilmek için numuneyi tamamen kırabilen en düşük ağırlıklı çekicinin kullanılması önerilmektedir.

Tokluk, yapı malzemelerinin en önemli özelliklerinden sayılmaktadır ve genellikle darbe dayanım testleri ile ölçülmektedir. Darbe testi, malzeme seçiminde, işlenmemiş malzemelerin araştırmalarında ve kalite kontrolünde, malzemelerin mekaniksel özelliklerinin değerlendirilmesinde en önemli faktörlerden biridir. Malzemenin mekaniksel dayanımının bir göstergesi olarak, hızlı ve maliyeti düşük olduğundan tasarımcıların en çok tercih ettikleri yöntemlerden bir tanesidir. Darbe testi ayrıca polimer malzemelerin ani yüklere karşı dayanımlarını ölçmekte kullanılmaktadır [47-49].

BÖLÜM 3

DENEYSEL METOT

3.1. MALZEMELER

Çalışmada ticari olarak temin edilen yüksek yoğunluklu PE100 ve orta yoğunluklu PE80 doğal gaz borusu kullanılmıştır. Doğal gaz borularının elektrofüzyon kaynak yöntemiyle alın alına birleştirilmesi için manşonlardan yararlanılmıştır.

3.1.1. POLİETİLEN DOĞAL GAZ BORULARI

Deneysel çalışmada kullanılacak boruların aynı tarih ve üretim serisinden olmasının yanısıra standartta belirtilen özelliklere sahip, hasarsız olmalarına özen göstererek üretici firmadan ticari olarak temin edilmiştir. Temin edilen doğalgaz boruları suyla temizlenerek kurutulduktan sonra güneş ışınlarına maruz kalmayacak şekilde kapalı bir yerde muhafaza edilmiştir. Orta ve yüksek yoğunluklu PE 80 ve PE100 doğal gaz boruları ekstrüzyon yöntemi ile üretildiklerinden dolayı yüzeylerinde oluşan oksit tabakasının kaynak öncesi kazınarak temizlenmesi gerekmektedir.

Ticari olarak temin edilen SDR11, 110 mm çapındaki PE80 ve PE100 doğal gaz borularının özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir. Çalışmada kullanılan polietilen doğalgaz boruları Şekil 3.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan PE boruların özellikleri [50].

| Fiziksel özellikler | Değer | | Birim | Test Yöntemi |
|---|--------|-------|-------------------|----------------------|
| | PE100 | PE80 | | |
| Yoğunluk (temel reçine) | 949 | 940 | Kg/m ³ | ISO 1183/ISO 1872-2B |
| Yoğunluk (karışım) | 959 | 950 | Kg/m ³ | ISO 1183/ISO 1872-2B |
| Eriyik akış hızı (190°C /2.16 kg) | < 0.1 | 0.3 | G/10 min | ISO 1133 |
| Eriyik akış hızı (90°C /5.0 kg) | 0.25 | 0.3 | G/10 min | ISO 1133 |
| Akma dayanımı (50 mm/min) | 25 | 22 | MPa | ISO 527-2 |
| Uzama katsayısı | > 600 | >1000 | % | ISO 527-2 |
| Çarpy darbe dayanımı (0°C) | 16 | 20 | Kj/m ² | ISO 179/1EA |
| Sertlik, Shore D | 60 | 45 | - | ISO 868 |
| Karbon karası oranı | > 2 | - | % | ASTM D 1603 |
| Tg (camsı geçiş sıcaklığı) | < -70 | <-90 | °C | ASTM D 746 |
| Çatlak ilerleme dayanımı (10% GPa), f50 | >10000 | 4000 | H | ASTM D 1693-A |
| Sıcaklık dayanımı (210°C) | > 15 | 5 | Min | EN 728 |



Şekil 3.1. PE100 ve PE80 doğal gaz borusu.

3.1.2. DOĞAL GAZ BORULARININ ALIN ALINA BAĞLANTI ELEMANLARI

Çalışmada elektrofüzyon alın alına birleştirmeleri için kullanılan bağlantı elemanları da (manşon) ticari olarak temin edilmiştir. Manşonlar kalıplama yöntemi ile üretildiğinden dolayı yüzeylerinde oksit tabakası oluşma sıkıntısı yoktur. Temin edilen manşonların ambalajlarının sağlam olmasına, aynı tarih ve üretim serisinden

olmasına özen gösterilmiştir. Deneysel çalışmada kullanılan manşonların özellikleri Çizelge 3.2’de verilmiştir. Çalışmada kullanılan birleştirme elemanı (manşon) Şekil 3.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Bağlantı elemanının (manşon) özellikleri [50].

| Fiziksel özellikler | Değer | Birim | Test Yöntemi |
|---|--------|-------------------|----------------------|
| Yoğunluk (temel reçine) | 949 | Kg/m ³ | ISO 1183/ISO 1872-2B |
| Yoğunluk (karışım) | 959 | Kg/m ³ | ISO 1183/ISO 1872-2B |
| Eriyik akış hızı (190°C /2.16 kg) | < 0.1 | G/10 min | ISO 1133 |
| Eriyik akış hızı (90°C /5.0 kg) | 0.25 | G/10 min | ISO 1133 |
| Akma dayanımı (50 mm/min) | 25 | MPa | ISO 527-2 |
| Uzama katsayısı | > 600 | % | ISO 527-2 |
| Çarpy darbe dayanımı (0°C) | 16 | Kj/m ² | ISO 179/1EA |
| Sertlik, Shore D | 60 | - | ISO 868 |
| Karbon karası oranı | > 2 | % | ASTM D 1603 |
| Tg (camsı geçiş sıcaklığı) | < -70 | °C | ASTM D 746 |
| Çatlak ilerleme dayanımı (10% GPa), f50 | >10000 | H | ASTM D 1693-A |
| Sıcaklık dayanımı (210 °C) | > 15 | Min | EN 728 |



Şekil 3.2. Bağlantı elemanını (manşon) görüntüsü.

3.2. ELEKTROFÜZYON KAYNAK MAKİNESİ

Deneysel çalışmada PE100 doğal gaz borularını alın altına birleştirmek için ALBORZ marka PJ1000 model, PE80 boruları birleştirmek için ise PROFUSE marka Tiny M model elektrofüzyon kaynak makinesi kullanılmıştır. Kaynak makinesi normalde 10°C ile +45°C sıcaklık aralığında kaynak yapabilmek için tasarlanmıştır. Ancak çalışmada -30°C sıcaklıkta kaynak yapılması için üretici firmayla iletişime geçilerek ayarları belirtilen sıcaklığa uygun şekilde düzeltilmiştir. Kaynak makinesinin özellikleri Çizelge 3.3’de verilmiştir. Çalışmada kullanılan kaynak makineleri Şekil 3.3’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. Elektrofüzyon kaynak makinelerinin özellikleri.

| TEKNİK BİLGİLER | | |
|----------------------------|-----------------------|------------------------|
| MARKA VE MODEL | PE100 | PE80 |
| | ALBORZ PJ1000 | POROFUSE Tiny M |
| ISO 12176-2 sınıfı | P2 3 U S1 V AK (D) X | ISO 13950/ DVS2208 |
| Giriş voltajı | 230V ~/AC, (185-380V) | 185-300 V |
| Giriş akımı | 11A | 16A |
| Şebeke frekansı | 40-60 Hz | 40-70 Hz |
| Ağırlık | 18 kg | 18 kg |
| Füzyon kaynak gerilimi | 8-48V | 8-48V |
| Füzyon kaynak gücü | 60A (max.: 80A) | max.: 110A |
| Enerji ayarı | Sıcaklık düzeltmesi | Sıcaklık düzeltmesi |
| Boru çapı aralığı | 25-400mm | 30-400mm |
| Koruma sınıfı | IP64 | IP54 sınıf2 |
| Kaynak terminalleri | 4.0mm | 4.0mm |
| Önerilen çalışma sıcaklığı | -10°C ,+ 45°C | -10°C,+ 50°C |
| Şebeke gerilimi | 180–264 V/AC | 180–264 V/AC |
| Güç kapasitesi | 5 kW | 3.2kW |



Şekil 3.3. Elektrofüzyon kaynak makineleri.

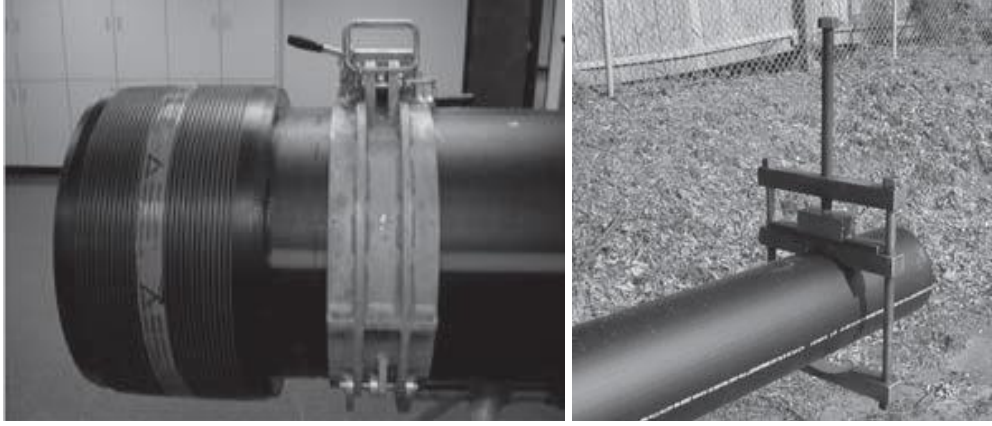
3.3. DOĞAL GAZ BORULARININ ELEKTROFÜZYON KAYNAK YÖNTEMİYLE BİRLEŞTİRİLMESİ

Elektrofüzyon kaynak yöntemiyle kaliteli bir birleştirme elde etmek için standartlarda ve üretici firmaların önerileri doğrultusunda kaynak öncesi hazırlıklar yapılmıştır. Bu hazırlıklar sırasıyla alt bölümde tanıtılmıştır.

3.3.1. Boruların Kaynak Öncesi Hazırlanması

Ticari olarak temin edilip suyla temizlendikten sonra kapalı bir yerde muhafaza edilen boruların yüzeylerindeki tozlar silinmiştir. Kaynaklı birleştirmeden çıkarılacak deney numunelerinin boyutları da göz önünde bulundurularak (en uzun numuneler $2d_n=220\text{mm}$ boyutunda ezme testi için) özel kesme aparatı ile ağızları tam dik olmasına özen gösterilerek kesilmiştir.

Çalışmada kullanılan borulardan kesiti daireselleşme değerinden sapma gösterenler oksit kazıma öncesi daireselleştirme aparatına bağlanarak kesitin dairesel form kazanmasına dikkat edilmiştir. Şekil 3.4.'de boru dairesel kesit oluşturma aparatı gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Doğal gaz boru kesiti daireselleştirme aparatları [35].

Daha sonra bağlantı elemanının uzunluğunun yarısı kadar (80mm) borunun manşona giren kısmı işaretlenerek, oksit kazıyıcı ekipman kullanılarak boru ve manşon arasındaki boşluk standartta belirlenen sınırların dışına çıkmamak koşuluyla, 0.06-0.2mm arası kalınlıkta oksit tabakası kazınarak kaldırılmıştır. Doğalgaz borularının kesilmesinde ve yüzeylerindeki oksit tabakasının kazınarak kaldırılmasında kullanılan ekipmanlar Şekil 3.5’de gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Borularının kazıma işlemi.

Boru yüzeylerinde oksit tabakasının kazınması el tipi kazıyıcı veya döner tip kazıyıcılar kullanılır. El tipi kazıyıcı kullanılması durumunda borunun manşon içerisine girecek kısmı boru boy doğrultusuna paralel yönde, döner tip kazıyıcıda ise boru ağzına dik doğrultuda kazıma işlemi yapılmasına özen gösterilmiştir. Kazıma

işlemi bittikten sonra boru ağzına manşonun zarar görmemesi ve borunun manşon içerisine rahat girebilmesi için yaklaşık 45° pah oluşturulmuştur. Elektrofüzyon kaynaklı birleştirmelerinde oksit kazınması sonrası boru ve bağlantı elemanı arasında tolere edilebilecek önerilen en geniş boşluk Çizelge 3.4.'de verilmiştir[2,3].

Çizelge 3.4. Doğal gaz borusu ve manşon arasında tolere edilebilen maksimum boşluk [2,3].

| Boru dış çapı ØD (mm) | Müsaade edilen boşluk genişliği (mm) |
|--------------------------------|--------------------------------------|
| $\text{ØD} \leq 355$ | 0.5 |
| $400 \leq \text{ØD} < 630$ | 1.0 |
| $630 \leq \text{ØD} < 800$ | 1.3 |
| $800 \leq \text{ØD} \leq 1000$ | 1.5 |
| $\text{ØD} > 1000$ | 2.0 |

Çizelge 3.4'deki veriler aynı zamanda oksit kazıma işlemi sonra dairesel kesitteki sapma sınırlarını ifade etmektedir.

3.3.2. Farklı Çevre Sıcaklık Ortamının Oluşturulması

Çalışmada çevre sıcaklığının temin edildiği şekliyle elektrofüzyon kaynaklı doğalgaz boru birleştirmelerinin özellikleri üzerine etkisinin araştırılması amaçlandığı için (oda sıcaklığı, 0°C, -10°C, -20°C ve -30°C) olmak üzere beş farklı çevre sıcaklığında kaynak yapılması hedeflenmiştir. Oda sıcaklığı ve 0°C sıcaklıkta yapılacak olan birleştirmeler çevre ortam sıcaklığının belirtilen sıcaklıklara ulaşıldığında gerçekleştirilmiştir. -10°C, -20°C ve -30°C sıcaklıkta gerçekleştirilen birleştirmeler derin dondurucuda gerçekleştirilmiştir. Makine, boru ve manşonların ortam sıcaklığına ulaşması için belirtilen sıcaklıkta 2 saat bekletildikten sonra kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kaynak işleminin gerçekleştirildiği derin dondurucu Şekil 3.6'de gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Düşük çevre sıcaklıklarında kaynağın gerçekleştirildiği derin dondurucu.

3.3.3. Boruların Ön Tav Isıl İşlemi

Çalışmada ilave olarak kaynak öncesi uygulanan ön tav ısıl işleminin belirlenen çevre sıcaklıklarında birleştirilecek doğalgaz borularının özellikleri üzerine etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. Bunun için tüm çevre sıcaklıkları için yüzeyindeki oksiti kazınan numuneler 60°C sıcaklıkta 2 saat ön tav ısıl işlemine tabi tutulduktan sonra birleştirilmiştir. Düşük sıcaklıklarda birleştirilecek diğer bir grup numuneye 80°C sıcaklıkta ön tav ısıl işlemi uygulandıktan sonra kaynak işlemi uygulanmıştır.

Plastik malzemelerin ısı iletkenliği çok düşük olduğundan dolayı çalışmada kullanılan PE100 ve PE80 boru ve manşonların ön tav ısıl işlemi için termostatlı su ısıtıcısından yararlanılmıştır. $\pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklık aralığında 60°C ve 80°C sıcaklıkta bekletilen su içerisinde deney malzemeleri 2 saat bekletilmiştir.

Ön tav ısıl işleminin pozitif sıcaklıklarda etkisi yalnızca 20°C sıcaklıkta birleştirilen numuneler için, 0 °C ve negatif sıcaklıklarda birleştirilen numuneler için uygun olacağı düşünülmüştür. Mukayese yapabilmek için 0°C çevre sıcaklığı altında birleştirilen numunelerde farklı(60 ve 80 °C) ön tav ısıl işlemi uygulanmıştır. Deney numunelerine uygulanan ön tav ısıl işlemi Şekil 3.7’da gösterilmiştir. Daha sonra deney numuneleri kurutulup hemen kaynak işlemi yapılmıştır.

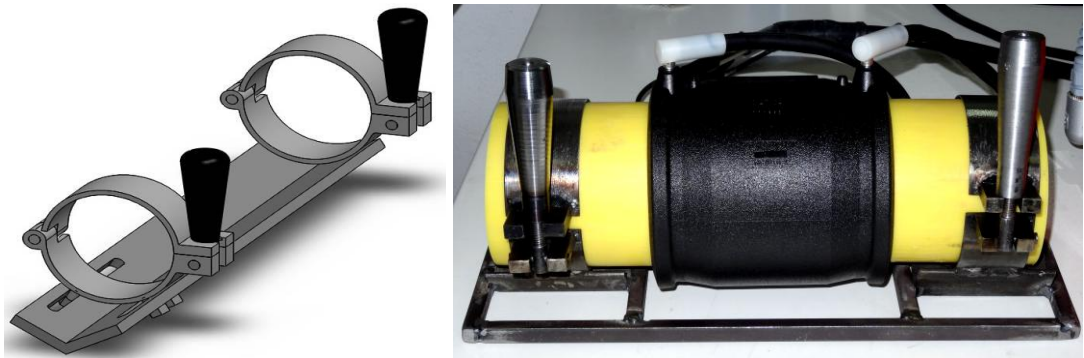


Şekil 3.7. Deney numunelerine uygulanan ön tav ısıtma işlemi.

3.3.4. Polietilen Doğalgaz Borularının Elektrofüzyon Kaynaklı Birleştirilmesi

Boru ve bağlantı elemanları hazırlama aşamalarından geçtikten sonra kaynak işlemine alınmadan önce standartın önerdiği şekilde metil alkol ile pürüzsüz temiz keten bezi kullanarak temizlendi. Borular temizlendikten sonra yüzeylerine dokunmamaya özen gösterilerek manşonun içine zarar vermeyecek şekilde yerleştirilerek tam olarak girdikleri işaret çizgileriyle kontrol edildi.

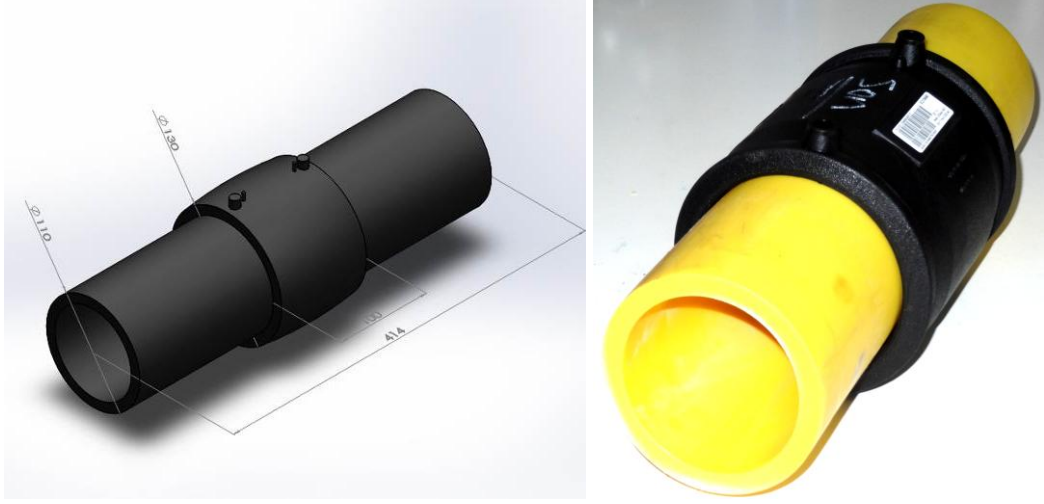
Deney numuneleri Şekil 3.8’de gösterilen konum sabitleyiciye yerleştirildikten sonra kaynak makinesi çalıştırıldı.



Şekil 3.8. Elektrofüzyon kaynaklı birleştirmelerde kullanılan boru konum sabitleyicisi.

Bağlantı elemanının özellikleri lazer tarayıcı kalemle manşon üzerindeki barkottan aktarılarak kaynak makinesine tanıtıldı. Daha sonra kaynak makinesinin uçları

manşonun üzerindeki soketlere takılarak kaynak işlemi başlatıldı. Kaynak sürecinde kaynak süresi, çevre sıcaklığı, kaynak numarası ve uygulanan gerilim not edilerek makro görüntüsü alındı. Çalışmada elde edilen elektrofüzyon kaynaklı doğalgaz boruları Şekil 3.9’de gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Elektrofüzyon kaynak yöntemiyle birleştirilmiş doğalgaz borusu.

Çevre sıcaklığına bağlı olarak kaynak makinesi tarafından belirlenen kaynak süresi bittikten sonraki 15 dakika ön soğuma zamanıdır. Bu zaman dilimi geçtikten sonra maşonun soketlerine bağlı kaynak makinesinin uçları soketlerden ayrıldı. Ön soğutma sürecinden sonra, ikinci soğuma süresi olarak 1 saat zaman ayrılmıştır. Bu zaman diliminden sonra kaynaklı birleştirme konum sabitleyiciden çıkarılmıştır. Konum sabitleyiciden çıkarıldıktan sonra birleştirmeler son soğutma sürecinde herhangi bir işlem yapılmadan, ortam sıcaklığına dikkat edilerek 2 saat zaman dilimi için bekletilmiştir. Normalde bu zaman diliminden sonra kaynaklı birleştirmelerin basınç altında test edilmesine müsaade edilir. Ancak bu çalışmada numuneler basınç testine son soğutma sürecinden bir gün sonra tabi tutulmuştur.

Düşük sıcaklıklarda birleştirilecek numunelerin kaynak işlemi belirtilen çevre sıcaklığında boru ve bağlantı elemanları birbirine geçirilerek konum sabitleyiciye tutturulmuş ve kaynak makinesine bağlanmaya hazır vaziyette kaynak makinesiyle birlikte belirlenen çevre sıcaklığında 2 saat bekletildikten sonra birleştirilmiştir.

Kaynak öncesi 60°C ve 80°C sıcaklıklarda ön tav ısıl işlemi uygulanan numunelerin birleştirme işleminde şu hususlara dikkat edilmiştir. Kaynak makinesi belirlenen çevre sıcaklığında bekletilirken, ön tav ısıl işlemi için belirtilen sıcaklıkta su içerisinde bekletilen boru ve manşonlar iki saat sonunda hızla çıkarılarak kurutulmuş ve alkolle temizlenmiştir. Daha sonra manşon ve borular birbiri içerisine yerleştirilerek konum sabitleyiciye tutturulmuş vaziyette kaynak yapılacak çevre sıcaklığındaki ortama alınmıştır. Belirtilen çevre sıcaklığında tutulan kaynak makinesinin uçları manşon soketlerine bağlanarak kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir.

3.4. DENEY NUMUNELERİNİN HAZIRLANMASI

Kaynaklı birleştirmelerden test numunelerinin çıkarılması öncesi bir karışıklığa meydan vermemek amacıyla numuneler numaralandırılmıştır. Daha sonra elektrofüzyon kaynaklı doğal gaz boru birleştirmelerinden çalışmada kullanılan basınç, ezme, çekme soyma-ayırılma, izod darbe test numuneleri çıkarılmıştır.

3.4.1. Deney Numunelerinin Numaralandırılması

Çalışma sürecinde herhangi bir karışıklığa meydan vermemek amacıyla deney numuneleri çevre sıcaklığına ve uygulanan ön tav ısıl işlem sıcaklıklarına göre numaralandırılmıştır. Numaralandırma Çizelge 3.5’de verilmiştir. Tez içerisinde deney numuneleri bu numaralandırma sistemine göre kullanılmıştır.

Çizelge 3.5. Deney numunelerin numaralandırılması.

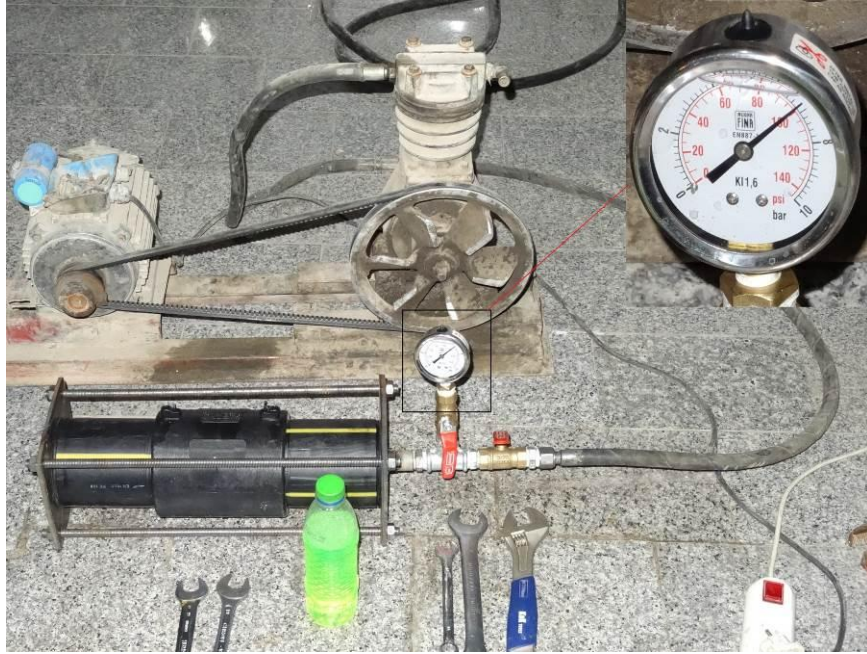
| Sıcaklık/Öntav | | -30°C | -20°C | -10°C | 0°C | 20°C |
|----------------|------|-------|-------|-------|-----|------|
| PE100 | YOK | G1 | F1 | E1 | C1 | A1 |
| | 60°C | G2 | F2 | E2 | C2 | A2 |
| | 80°C | G3 | F3 | E3 | - | - |
| PE80 | YOK | P1 | O1 | N1 | M1 | L1 |
| | 60°C | P2 | O2 | N2 | M2 | L2 |
| | 80°C | P3 | O3 | N3 | - | - |

3.4.2. Sızdırmazlık Test Numunesi Hazırlanması

Elektrofüzyon kaynaklı polietilen doğal gaz borularının kaynak kalitesinin kontrolü öncelikle sızdırmazlık testi ile belirlenmesi istenir. Bu amaçla çalışmada DIN 4279-1 standartında detayları verilen basınçlı hava testi uygulanmıştır [43]. Sızdırmazlık testi için öncelikle deney düzeneği oluşturulmuş ve bu deney düzeneğinden yararlanarak kaynaklı boru birleştirmeleri test edilmiştir.

3.4.2.1. Sızdırmazlık Deney Düzeneğinin Geliştirilmesi

Makro görüntüsü Şekil 3.10'da gösterilen deney düzeneği tasarlanarak üretilmiştir. Sızdırmazlık testinin başarı ile yapılabilmesi için kaynaklı boru birleştirmelerinin ağız kısımlarının çok düzgün ve dik olarak kesilmesi önemlidir. Deney düzeneği kaynaklı borunun ağızını sızdırmaz bir şekilde kapatacak flanş ve tutturma vidalarının yanısıra, basınçlı hava pompası ve hortumu, bağlantı elemanları ve hava basıncını göstermek için bir manometreden oluşmaktadır.



Şekil 3.10. Sızdırmazlık testi deney düzeneği.

3.4.2.2. Sızdırmazlık Testi Uygulanışı

Test edilecek elektrofüzyon kaynaklı polietilen doğalgaz boruları deney düzeneğinin flanşları arasına sızdırmazlığı sağlayacak iki lastik conta ile oturtulduktan sonra dört adet uzun vida kullanılarak sızdırmazlık sağlanıncaya kadar sıkıştırılmıştır. Basıncı hava pompasından sağlanacak olan hava hortum vasıtasıyla flanşa bağlı vanaya sıkıca tutturularak basınç manometresi hava yüklemesi sırasında zarar görmemesi için vana aracılığıyla kapatılmıştır. Daha sonra hava pompası çalıştırılarak basınç kontrol manometresinin vanası açılmıştır. Sızdırmazlık testi için istenilen basınca ($4 \times 1.5 = 6$ bar) ulaşıldığında pompa durdurularak, pompa ile deney düzeneğinin ilişkisini kesen küresel vana kapatılmıştır.

İlgili standartta belirtildiği gibi uygulanan basınç altında 2 saat beklenerek arada sırada köpükle sızdırma kontrolü yapılarak manometre üzerinden basınç azalması olup oluşmadığı kontrol edilmiştir. Sızdırmazlık testinin basınç altında bekleme süresi bazı çalışmalarda 10 dakika olarak uygulanmasına rağmen bu çalışmada tüm test edilen numuneler basınç altında 2 saat bekletilmiştir.

3.4.3. Kaynaklı Borulara Uygulanan Ezme Testi Numunesinin Hazırlanması

Elektrofüzyon kaynaklı doğalgaz borularının kaynak kalitesini belirlemede kullanılan diğer bir test yöntemi de ezme testidir. Ezme testi ile ilgili detaylar ISO 13955 standartında verilmiştir [13]. Standarta göre hazırlanan deney numuneleri ve testin uygulanışı alt bölümlerde sırasıyla açıklanmıştır.

3.4.3.1. Ezme Test Numunesinin Hazırlanması

Ezme testi için $\varnothing 110$ mm olan polietilen doğalgaz boru birleştirmeleri 90° kesme açısıyla, boyuna doğrultuda kesilerek dörde ayrılması önerilir (Çizelge 3.6) Bu sebeple kaynaklı borular dairesel kesme cihazı ile dört eşit parçaya bölündü (Şekil 3.11). 220 mm boyutunda hazırlanan ezme test numuneleri numaralandırılmıştır.

Çizelge 3.6. Ezme testi için polietilen boru birleştirme verileri.

| Boru çapı | Numune kesme açısı | Numune sayısı | Kaynak dışı boru uzunluğu |
|-----------------------------------|--------------------|---------------|---------------------------|
| $16\text{mm} < d_n < 90\text{mm}$ | 180° | 2 | $2d_n$ ya 100mm |
| $d_n \geq 110\text{mm}$ | 90° | 4 | $2d_n$ |



Şekil 3.11. Kaynaklı doğalgaz borularının kesilerek dört eşit parçaya bölünmesi.

3.4.3.2. Ezme Testinin Uygulanması

Çeyrek daire şeklindeki numuneler mengene tipi tasarlanmış ezme cihazına yerleştirilmiştir (Şekil 3.12). Deney numuneleri 100mm/dak $\pm 10\%$ sabit ilerleme hızıyla mengenenin ağızları 2t mesafesine gelinceye kadar sıkıştırılmıştır.



Şekil. 3.12. Ezme test cihazı.

2t et kesit kalınlığına ezilen birleştirmelerinin boru ile bağlantı elemanı arayüzeyi bir levye ile ayrılmaya zorlanmıştır (Şekil 3.13.).



Şekil. 3.13. Ezme testinin uygulanması.

Standarda göre ayrılma kaynak arayüzeyden olursa sünek, yüksek dayanımlı ve dolayısıyla kaynağın geçerli olduğu kabul edilmiştir. Kaynaklı birleştirme düşük dayanımlı gevrekse ve gevrek bölge birleştirme bölgesinin %20'den azsa kaynaklı boru geçerli birleştirme olarak kabul edilmiştir. Ancak gevrek bölge birleştirme bölgesinin %20'den fazlaysa kaynaklı birleştirme testten başarılı sayılmamıştır.

3.4.4. Elektrofüzyon Kaynaklı Borulara Uygulanan Çekme Soyma-Ayrılma Testi

Elektrofüzyon kaynaklı polietilen boruların dayanımı belirlemek için tekli ve çiftli soyma testi (Peel Decohesion Test/Double Peel Decohesion Test) uygulanır. Tekli soyma ayrılma testi ISO 13954, çiftli soyma ayrılma testi ise EN12814-4 standartlarına göre hazırlanan numunelere uygulanır [45,46]. Her iki test içinde gevrek ayrılma kaynak bölgesinin % 33'den daha az olursa kaynak başarılı kabul edilir.

3.4.4.1. Tekli Çekme Soyma-Ayrılma Test Numunelerinin Hazırlanması

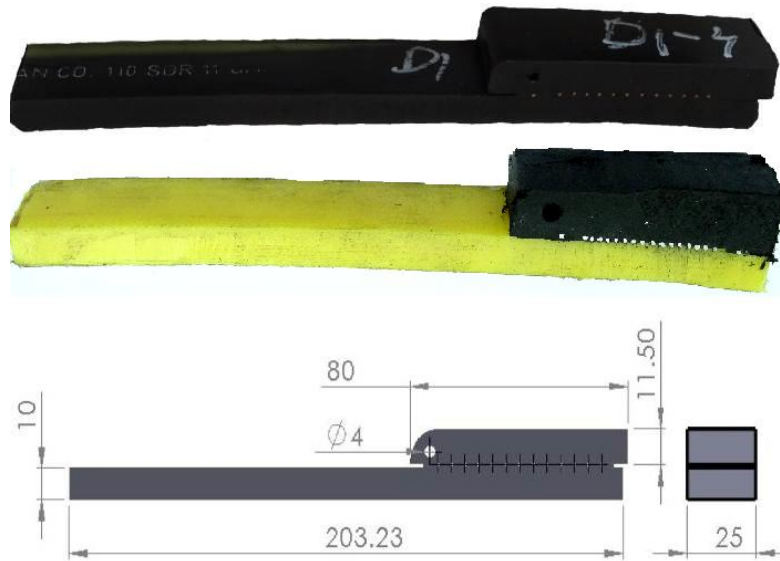
Kaynaklı boruların statik kuvvet etkisi altındaki davranışlarını belirlemek için çekme soyma-ayrılma test numuneleri kaynaklı borunun kesilerek oniki eşit parçaya ayrılmasıyla sağlanmıştır. 200mm boyutunda oniki eşit parçaya bölünen numunelerin

genişlikleri eşit olması için yan yüzeyleri birbirine paralel olacak şekilde freze tezgahında işlenerek standartta belirlenen 25 mm'ye düşürülmüştür. Şekil 3.14'de frezede işlenen çekme soyma-ayrılma numunesi gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Frezede işlenen çekme soyma-ayrılma numunesi.

Bu amaçla tekli çekme soyma-ayrılma test numuneleri ISO 13954 standartına göre Şekil 3.15'da gösterildiği boyutlarda kesilerek numuneye standartta belirtildiği yerden delik açılmıştır.



Şekil 3.15. Tekli çekme soyma-ayrılma test numunesi.

3.4.4.2. Tekli Çekme Soyma-Ayrılma Testinin Uygulanması

Deney numunelerini tekli çekme soyma-ayrılma testine tabi tutabilmek amacıyla çekme test cihazında asılmak için Şekil 3.16’de gösterilen tutucu hazırlanmıştır.



Şekil 3.16. Çekme test cihazı ve tekli çekme soyma-ayrılma test numunesi tutucusu.

Deney numuneleri tutucuya yerleştirildikten sonra 50KN kapasiteli Schimatzu marka çekme test cihazında 25mm/dak çekme hızında çekilerek koparılmıştır. Standartın önerdiği şekliyle her bir parametre için sekiz deney numunesi test edilmiştir. Ancak çalışmada sonuçların tutarlılığı açısından birbirine en yakın dört numune ortalamasından yararlanılmıştır. Test sonrasında deney numunelerinde meydana gelen ayrılma biçimleri Şekil 3.17’de özetlenmiştir.



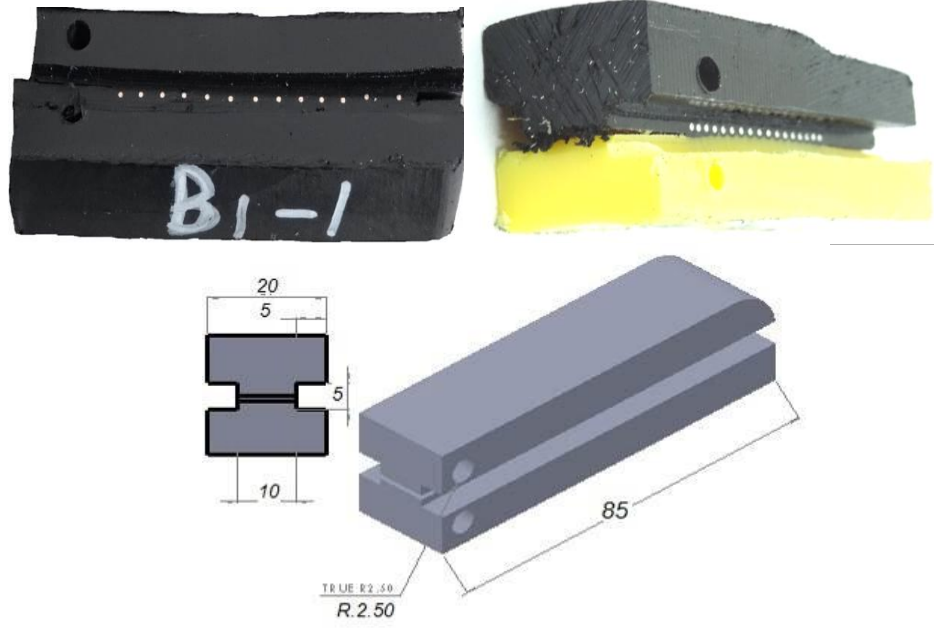
Şekil. 3.17. Tekli çekme soyma-ayrılma numuneleri ayrılma biçimleri.

3.4.4.3. Çiftli Çekme Soyma-Ayrılma Test Numunelerinin Hazırlanması

Tekli çekme soyma-ayrılma testinde ayrılma kaynak arayüzeyinden meydana gelmemesi sebebiyle ve bu test yöntemindeki eksiklikleri gidermek amacıyla detayları EN12814-4 standardında belirtilen çiftli soyma-ayrılma testi daha uygun bir test yöntemidir [1]. Bu amaçla deney numuneleri Şekil 3.18'de gösterildiği gibi frezede işlenerek hazırlanmıştır. Tekli çekme soyma-ayrılma numunesi boyutlarında hazırlanan numunelerin kaynak arayüzeyinden tamamen ayrılması için yan yüzeylere 5mm genişliğinde iki kanal açıldıktan sonra birleştirmenin boru ve manşonu üzerine standartta belirtilen boyutta delik delinmiştir. Çiftli çekme soyma-ayrılma numunesi boyutları Şekil 3.19'da gösterilmiştir.



Şekil 3.18. Frezede işlenerek hazırlanan çiftli çekme soyma-ayrılma numunesi.



Şekil 3.19. Çiftli çekme soyma-ayrılma test numunesi.

3.4.4.4. Çiftli Çekme Soyma-Ayrılma Testinin Uygulanması

Numuneler Schimadzu marka çekme cihazında bu amaçla geliştirilen tutucu (Şekil 3.20) ile 25 mm/dak çekme hızında çekilerek kaynak arayüzeyinden koparılmıştır. Standardın önerdiği şekliyle her bir parametre için sekiz deney numunesi test edilmiştir. Ancak sonuçların tutarlılığı açısından birbirine en yakın sonuç veren dört numunenin verileri çalışmada kullanılmıştır.



Şekil 3.20. Çiftli çekme soyma-ayrılma testi için numune tutucusu.

3.4.4.5. Birleştirme Tokluğu ve Normal Çekme Soyma Enerjisi Hesabı

Çiftli çekme soyma-ayrılma testinde numuneler kaynak arayüzeyinden ayrıldıkları için inceleme işlemi daha kolay ve verimli hale gelmiştir. Böylece bağlantının birleştirme tokluğu, soyma-ayrılma enerjisi (kuvvet-birim şekil değiştirme eğrisinin altındaki taralı alan) ve normal soyma-ayrılma enerjisi aşağıdaki denklemlerden yararlanılarak hesaplanmıştır [1,45].

$$K = \frac{F_w \cdot C}{(0,5bH^2)} (3,46 + 2,38 \frac{H}{c})$$

Bu denklemde:

K: Birleştirme tokluğu c:çekme çivisi ve kaynak başlangıcı arasındaki mesafe, F_w : en yüksek yük, b: numune genişliği, H: numune kalınlığıdır.

$$E_P = \int_0^{x_f} P(x) dx$$

E_P : Soyma ayrılma enerjisi

$P(x)$: Uygulanan yük

x_f : Soyma enerjisi

n : Kaynak bölgesindeki rezistans tel sayısı

$$E_N = \frac{E_P}{W(L - n\phi_w)}$$

E_N : Normal soyma-ayrılma enerjisi

W: Numune genişliği

L: Kaynak bölgesi uzunluğu

ϕ_w : Rezistans direnç tellerin çapı

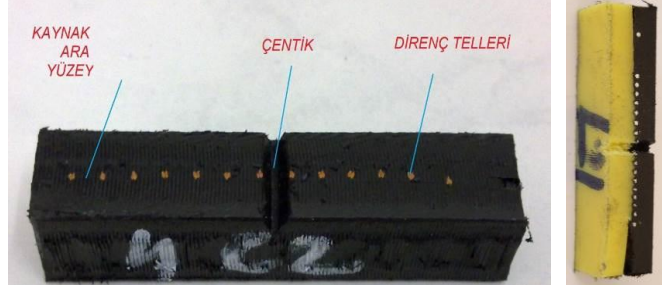
3.4.5. İzod Darbe Testi

Elektrofüzyon kaynaklı doğalgaz borularının ani bir kuvvet altındaki davranışları darbe çentik deneyi ile belirlenir. Bu amaçla çalışmada ASTM D256 standartına göre kaynaklı birleştirmelerden deney numuneleri hazırlanarak izod darbe testine tabi tutulmuştur [49]. Deney numunelerinin hazırlanması ve deneyin uygulanışı sırasıyla alt bölümde tanıtılmıştır.

3.4.5.1. İzod Darbe Numunelerinin Hazırlanması

Numuneler rezistans direnç telleri tam ortaya gelecek şekilde yarısı bağlantı elemanından ve yarısı borudan oluşacak şekilde ASTM D256 standardında belirtilen boyutlarda (12,7x12,7x 63.5mm) hazırlanmıştır (Şekil 3.21). Rezistans direnç

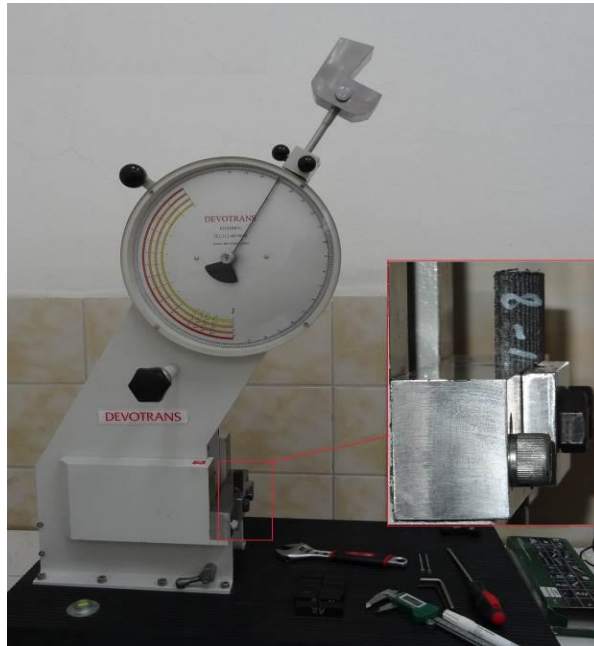
tellerinin etkisini minimize etmek için iki tel arasından 2.54 mm derinlikte ağız açısı 45° olacak şekilde çentik açılmıştır.



Şekil 3.21. Izod darbe testi numunesi.

3.4.5.2. İzod Darbe Deneyinin Uygulanması

Bu deney yöntemini uygulamak için darbe çentik test cihazından yararlanılmıştır (Şekil 3.22). Kaynaklı birleştirmelerin kırılmasında 24J enerji uygulayan çekiçten yararlanılmıştır. Deney numunelerini tutucu mengeneye dik bir şekilde tutacak tutucu kalıp hazırlanarak darbe çentik deney cihazına sabitlenmiştir. Deney numunesini kırmak için üretilen 24J darbe enerjisi sağlayan çekiç ve numune tutucusu Şekil 3.22'de gösterilmiştir.



Şekil 3.22. Darbe çentik cihazı ve izod darbe numune tutucusu.

Standartta belirtildiği gibi çentik ekice bakacak Şekilde ve eki çentikten 22 mm daha yukarıya vurdurularak numuneler kırılmıŐtır. Her bir parametre için sekiz numune oda sıcaklığında test edilmiştir. Daha sonra numuneyi kırmak için harcanan enerji numune kesit alanına oranlanarak, numunelerin darbe emme enerjisi hesaplanmıştır. Ancak çalışmada sonuçların tutarlılığı açısından birbirine en yakın dört numune ortalamasından yararlanılmıştır.

3.4.5.3. İzod Darbe Deney Numunelerinin Kırılma Yüzey İncelenmesi

İzod darbe testine tabi tutulan deney numunelerinin kırık yüzey incelemesi yalnızca oda sıcaklığı, 0°C ve -30 °C sıcaklıkta temin edildiği ve ön tav uygulanmış Şekliyle birleştirilen numuneler için gerçekleştirilmiştir. İnceleme öncesi deney numuneleri kırık yüzeyi içerisine alacak Şekilde 15 mm uzunluğunda kesildikten sonra iletkenliği sağlamak amacıyla yüzeyi paladyum tozu ile kaplanmıŐtır. Numuneler Carl Zeiss marka SEM mikroskobu ile incelenmiştir.

BÖLÜM 4

DENEYSEL SONUÇLAR

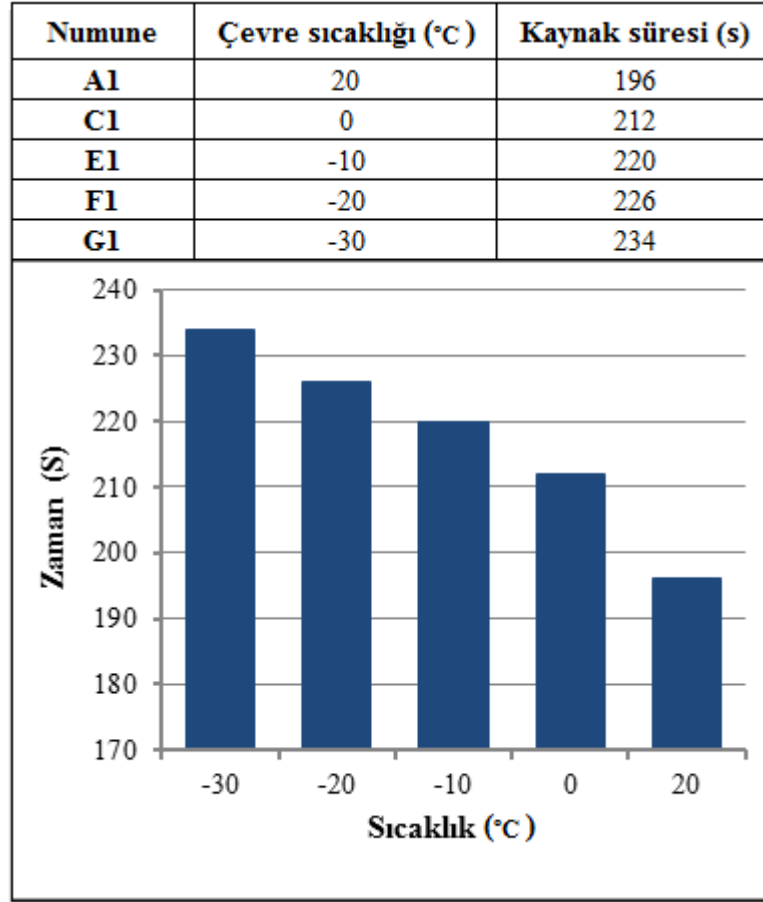
Çalışmada temin edildiği şekliyle ve iki farklı sıcaklıkta ön tav ısıl işlemi (60°C ve 80°C) uygulandıktan sonra belirlenen çevre sıcaklıklarında elektrofüzyon kaynak yöntemiyle birleştirilen YYPE100 ve OYPE80 doğal gaz borularının kaynak kalitesi; sızdırmazlık, ezme ve çekme soyma-ayırılma testinin yanısıra izod darbe çentik deneyi ile belirlenmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar sırasıyla alt bölümlerde verilmiştir.

4.1. ÇEVRE SICAKLIĞI İLE KAYNAK ZAMANININ İLİŞKİSİ

Çalışmada elektrofüzyon kaynak yöntemiyle birleştirilen PE100 ve PE80 doğal gaz borularının çevre sıcaklığıyla kaynak zamanı arasındaki ilişki araştırılmıştır.

4.1.1. PE100 Doğal Gaz Borularının Çevre Sıcaklığı İle Kaynak Zamanı İlişkisi

Elektrofüzyon kaynak yöntemi ile birleştirilen PE100 doğal gaz borularının çevre sıcaklığına bağlı olarak, manşon üretici firmanın önerdiği aralıklarda kaynak makinesi tarafından belirlenen kaynak süreleri Şekil 4.1'de grafiksel olarak gösterilmiştir.

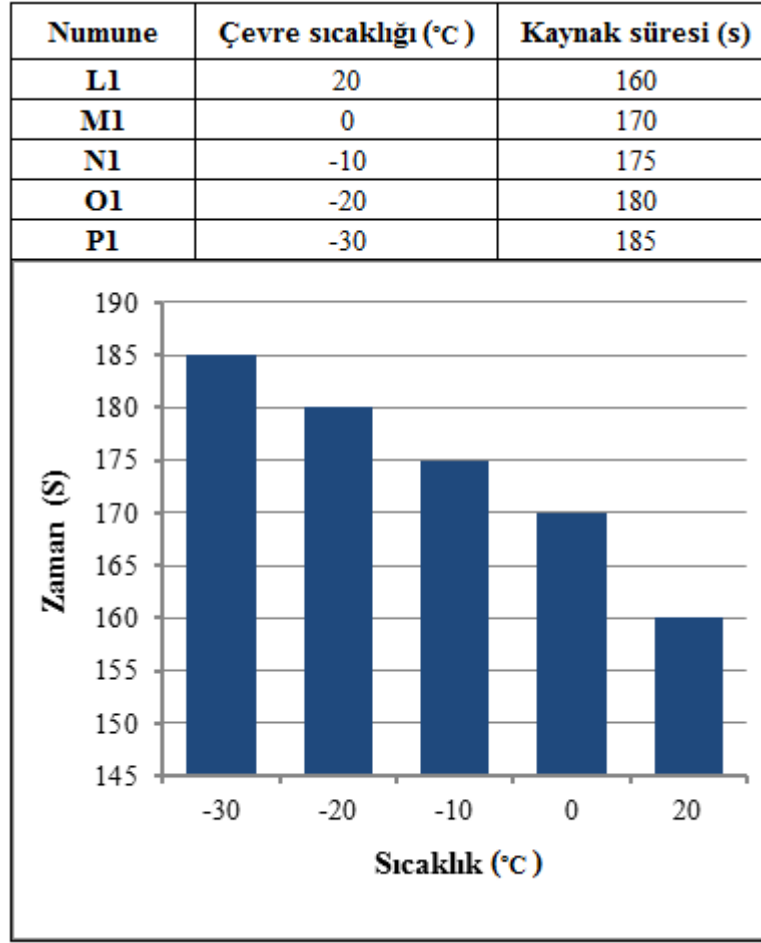


Şekil 4.1. PE100 doğal gaz borusunun kaynak süresinin çevre sıcaklığına bağlı olarak değişimi.

Şekil 4.1'den görüldüğü gibi azalan çevre sıcaklığı ile birlikte birleştirme için gerekli sürenin değiştiği, düşük çevre sıcaklıklarında birleştirilen boruların kaynak zamanının daha fazla olduğu görülmektedir. Oda sıcaklığı ile -30°C çevre sıcaklığında birleştirilen yüksek yoğunluklu PE100 numunelerin kaynak zamanında 38 saniye gibi belirgin bir fark olduğu tespit edilmiştir.

4.1.2. PE80 Doğal Gaz Borularının Çevre Sıcaklığı İle Kaynak Zamanı İlişkisi

Elektrofüzyon kaynak yöntemi ile birleştirilen orta yoğunluklu PE80 doğal gaz borularının çevre sıcaklığına bağlı olarak birleştirme sırasında kaydedilen kaynak süreleri Şekil 4.2'de grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.2. PE80 doğal gaz borusunun kaynak süresinin çevre sıcaklığına bağlı olarak değişimi.

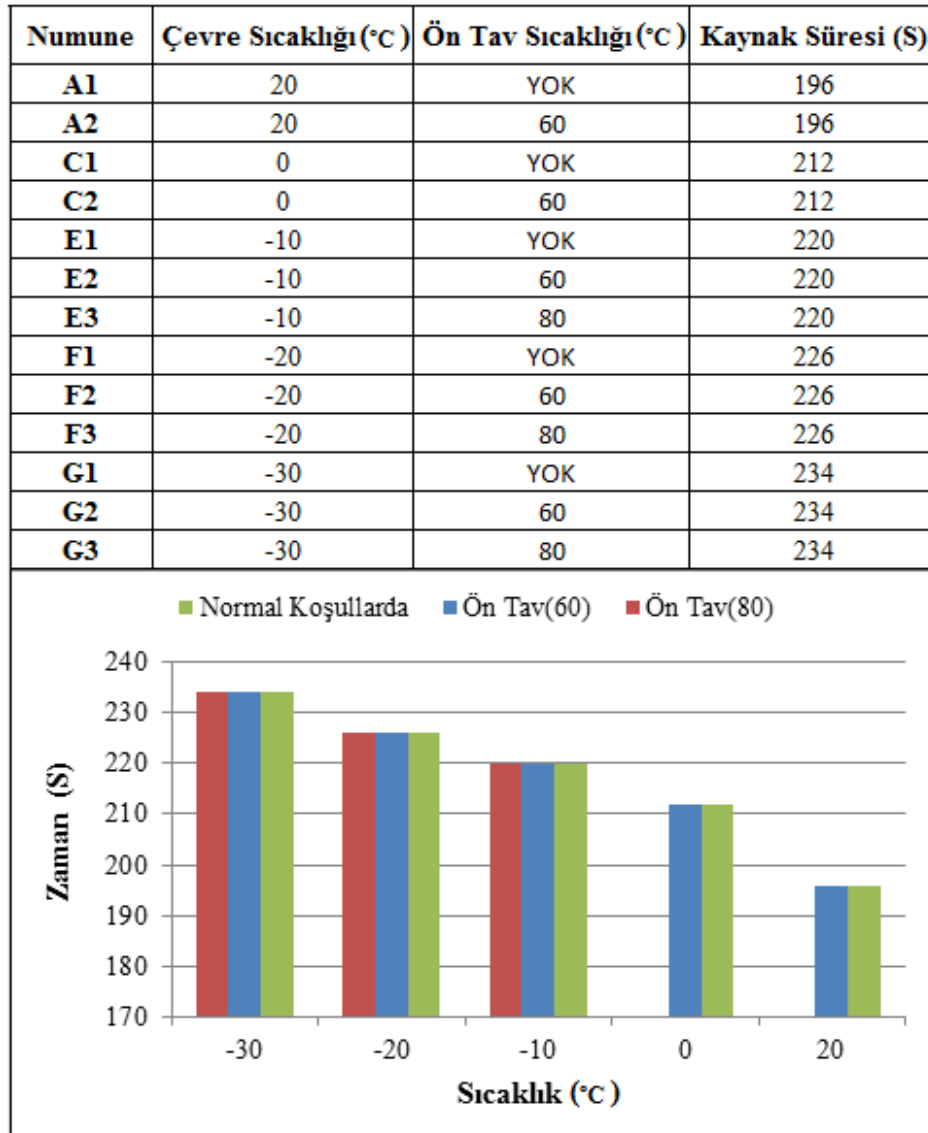
Şekil 4.2'den görüldüğü gibi azalan çevre sıcaklığı ile birlikte PE80 birleştirmesi için gerekli sürenin değiştiği tespit edilmiştir. Düşük çevre sıcaklıklarında birleştirilen boruların kaynak zamanının daha fazla olduğu görülmektedir. Oda sıcaklığı ile -30°C çevre sıcaklığında birleştirilen numunelerin kaynak zamanında 25 saniye gibi belirgin bir fark oluştuğu tespit edilmiştir.

4.2. ÖNTAV SICAKLIĞI İLE KAYNAK ZAMANININ İLİŞKİSİ

Çalışmada kullanılan PE100 ve PE80 doğalgaz birleştirmelerinin ön tav sıcaklığı ile kaynak zamanı arasındaki ilişki sırasıyla alt bölümde değerlendirilmiştir.

4.2.1. PE100 Doğal Gaz Borularının Öntav Sıcaklığı İle Kaynak Zamanı İlişkisi

Elektrofüzyon kaynak yöntemi ile birleştirilen PE100 doğal gaz borularının ön tav sıcaklıklarına bağlı olarak, manşon üretici firmanın önerdiği aralıklarda kaynak makinesi tarafından belirlenen kaynak süreleri Şekil 4.3’de grafiksel olarak gösterilmiştir. Grafikte mukayese yapabilmek amacıyla temin edildiği şekliyle birleştirilen numuneler için çevre sıcaklığıyla kaynak zamanı arasındaki ilişkide gösterilmiştir.

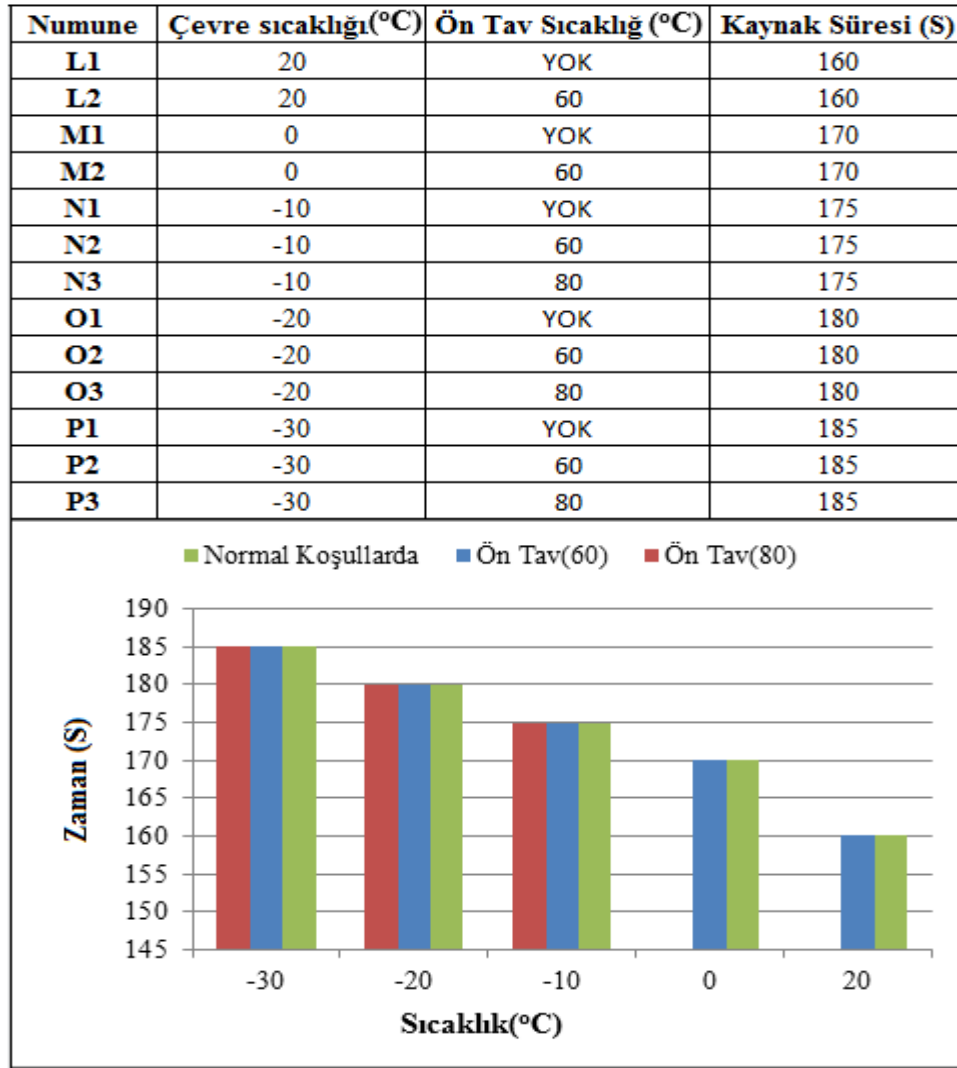


Şekil 4.3. PE100 doğalgaz borusunun kaynak süresinin ön tav sıcaklığına bağlı olarak değişimi.

Şekil 4.3'den görüldüğü gibi artan kaynak ön tav sıcaklığı ile birlikte birleştirme için gerekli sürenin değişmediği görülmektedir. Ancak azalan çevre sıcaklığıyla birlikte numunelerin birleştirilmesi için gerekli kaynak zamanının belirgin bir şekilde arttığı tespit edilmiştir.

4.2.2. PE80 Doğal Gaz Borularının Öntav Sıcaklığı İle Kaynak Zamanı İlişkisi

Elektrofüzyon kaynak yöntemi ile birleştirilen PE80 doğal gaz borularının kaynak ön tav sıcaklığına bağlı olarak birleştirme sırasında kaydedilen kaynak süreleri Şekil 4.4'de verilmiştir.



Şekil 4.4. PE80 doğalgaz borusunun kaynak süresinin ön tav sıcaklığına bağlı olarak değişimi.

Şekil 4.4'den görüldüğü gibi artan ön tav sıcaklığı ile birlikte PE80 birleştirmesi içinde gerekli kaynak süresinin değişmediği tespit edilmiştir. Fakat azalan çevre sıcaklığıyla birlikte numunelerin birleştirilmesi için gerekli kaynak zamanının belirgin bir şekilde arttığı tespit edilmiştir.

4.3. KAYNAKLI BORULARA UYGULANAN SIZDIRMAZLIK TESTİ

PE doğal gaz boru hatlarının kaynaklı birleştirmelerin kalitesi sızdırmazlık testiyle değerlendirilir. Çalışmada temin edildiği şekliyle ve iki farklı sıcaklıkta ön tav ısıl işlemi uygulandıktan sonra belirlenen çevre sıcaklıklarında birleştirilen YYPE100 ve OYPE80 doğalgaz boru birleştirmelerinin sızdırmazlık testi sonuçları sırasıyla verilmiştir.

4.3.1. PE100 Doğal Gaz Borularının Sızdırmazlık Testi

Deneysel metod bölümünde de belirtildiği gibi doğal gaz borularının kaynak kalitesi sızdırmazlık testiyle belirlenir. Bu amaçla tüm çevre ve ön tav sıcaklıklarında birleştirilen numunelere uygulanması gereken 6 bardan daha yüksek örneğin 7 bar basınç altında 2 saat süreyle test uygulanmıştır. Test sonucu Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. PE100 doğal gaz borularının sızdırmazlık testi.

| Numune | Çevre Sıcaklığı (°C) | Ön Tav Sıcaklığı (°C) | Deneme Sonucu |
|--------|----------------------|-----------------------|---------------|
| A1 | 20 | YOK | Başarılı |
| A2 | 20 | 60 | Başarılı |
| C1 | 0 | YOK | Başarılı |
| C2 | 0 | 60 | Başarılı |
| E1 | -10 | YOK | Başarılı |
| E2 | -10 | 60 | Başarılı |
| E3 | -10 | 80 | Başarılı |
| F1 | -20 | YOK | Başarılı |
| F2 | -20 | 60 | Başarılı |
| F3 | -20 | 80 | Başarılı |
| G1 | -30 | YOK | Başarılı |
| G2 | -30 | 60 | Başarılı |
| G3 | -30 | 80 | Başarılı |

Çizelge 4.1'den görüldüğü gibi YYPE 100 borularının tamamı basınç testinden başarı ile geçmiştir.

4.3.2. PE80 Doğal Gaz Borularının Sızdırmazlık Testi

PE80 borulara uygulanan sızdırmazlık test sonucu Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. PE80 doğal gaz borularının sızdırmazlık testi.

| Numune | Çevre Sıcaklığı (°C) | Ön Tav Sıcaklığı (°C) | Deneme Sonucu |
|--------|----------------------|-----------------------|---------------|
| L1 | 20 | YOK | Başarılı |
| L2 | 20 | 60 | Başarılı |
| M1 | 0 | YOK | Başarılı |
| M2 | 0 | 60 | Başarılı |
| N1 | -10 | YOK | Başarılı |
| N2 | -10 | 60 | Başarılı |
| N3 | -10 | 80 | Başarılı |
| O1 | -20 | YOK | Başarılı |
| O2 | -20 | 60 | Başarılı |
| O3 | -20 | 80 | Başarılı |
| P1 | -30 | YOK | Başarılı |
| P2 | -30 | 60 | Başarılı |
| P3 | -30 | 80 | Başarılı |

Çizelge 4.2'den görüldüğü gibi OYPE 80 borularının tamamı basınç testinden başarı ile geçmiştir.

4.4. KAYNAKLI BORULARA UYGULANAN EZME TESTİ

PE doğal gaz boru hatlarının kaynak kalitesi ile ilgili değerlendirmeler genellikle ezme test sonuçlarına göre yapılır. Ezme test sonucuna göre kaynak arayüzeyinin gevrek veya sünekliği değerlendirilir. Çalışmada YYPE100 ve OYPE80 doğalgaz boru birleştirmelerinin ezme testi sonuçları sırasıyla verilmiştir.

4.4.1. PE100 Doğal Gaz Borularının Ezme Testi

YYPE100 elektrofüzyon kaynaklı doğal gaz birleştirmelerinden standartta uygun olarak hazırlanan ezme test numuneleri 2t mesafesine kadar katlandıktan sonra bağlantı elemanı ile boru birleştirmesi arayüzeyi levye yardımıyla ayrılmağa zorlanmıştır. Çalışmada belirlenen çevre sıcaklıkları ve ön tav sıcaklıkları için numunelerin ezme testi sonucu Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.3. PE100 doğal gaz borularının ezme testi sonucu.

| Numune | Çevre Sıcaklığı (°C) | Ön Tav Sıcaklığı (°C) | Deneme Sonucu |
|--------|----------------------|-----------------------|---------------|
| A1 | 20 | YOK | Başarılı |
| A2 | 20 | 60 | Başarılı |
| C1 | 0 | YOK | Başarılı |
| C2 | 0 | 60 | Başarılı |
| E1 | -10 | YOK | Başarılı |
| E2 | -10 | 60 | Başarılı |
| E3 | -10 | 80 | Başarılı |
| F1 | -20 | YOK | Başarılı |
| F2 | -20 | 60 | Başarılı |
| F3 | -20 | 80 | Başarılı |
| G1 | -30 | YOK | Başarılı |
| G2 | -30 | 60 | Başarılı |
| G3 | -30 | 80 | Başarılı |

Çizelge 4.3’den görüldüğü gibi test sonunda tüm numunelerde ayrılma ana malzemeden kopma şeklinde gerçekleşmiştir. Test sonucu; tüm numunelerin sünek bir kaynak arayüzeyine sahip olması sebebiyle ezme testinden başarılı olduğuna işaret etmektedir.

4.4.2. PE80 Doğal Gaz Borularının Ezme Testi

OYPE80 elektrofüzyon kaynaklı doğal gaz birleştirmelerinden standartta uygun olarak hazırlanan numunelerin ezme test sonucuda Çizelge 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.4. PE80 doğal gaz borularının ezme testi sonucu.

| Numune | Çevre Sıcaklığı (°C) | Ön Tav Sıcaklığı (°C) | Deneme Sonucu |
|--------|----------------------|-----------------------|---------------|
| L1 | 20 | YOK | Başarılı |
| L2 | 20 | 60 | Başarılı |
| M1 | 0 | YOK | Başarılı |
| M2 | 0 | 60 | Başarılı |
| N1 | -10 | YOK | Başarılı |
| N2 | -10 | 60 | Başarılı |
| N3 | -10 | 80 | Başarılı |
| O1 | -20 | YOK | Başarılı |
| O2 | -20 | 60 | Başarılı |
| O3 | -20 | 80 | Başarılı |
| P1 | -30 | YOK | Başarılı |
| P2 | -30 | 60 | Başarılı |
| P3 | -30 | 80 | Başarılı |

Çizelge 4.4'den görüldüğü gibi test sonunda tüm numunelerde ayrılma ana malzemeden kopma şeklinde gerçekleşmiştir. Test sonucu; tüm numunelerin sünek bir kaynak arayüzeyine sahip olması sebebiyle ezme testinden başarılı olduğuna işaret etmektedir.

4.5. KAYNAKLI BORULARIN TEKLİ ÇEKME SOYMA AYRILMA TESTİ

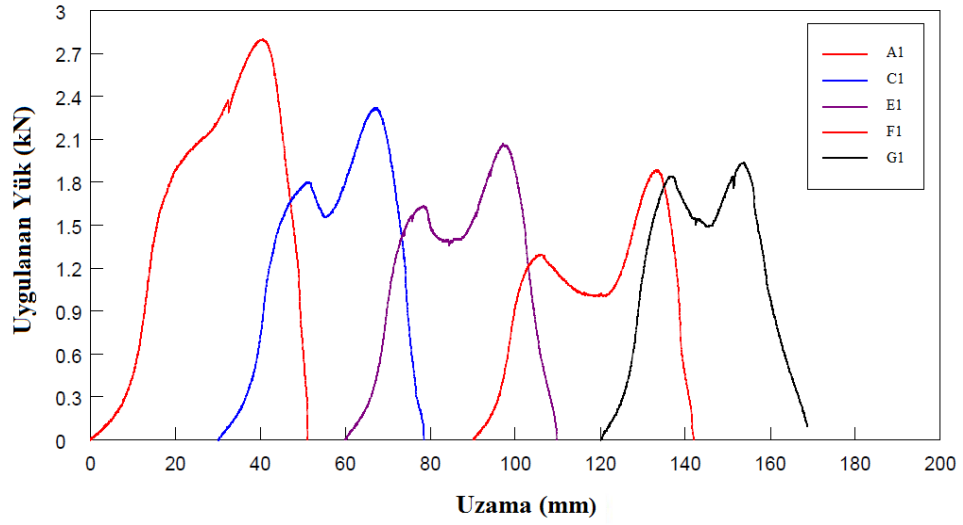
Elektrofüzyon kaynaklı PE doğal gaz borularının statik yük etkisi altındaki davranışlarının belirlenmesinde **ISO 13954/ EN12814-4** standartlarında detayları verilen tekli ve çiftli çekme soyma-ayrılma testinden yararlanılmıştır. Çalışmada kullanılan YYPE100 ve OYPE80 tekli ve çiftli çekme soyma-ayrılma testi sonuçları sırasıyla verilmiştir.

4.5.1. PE100 Doğal Gaz Borularının Tekli Çekme Soyma-Ayrılma Testi

Çalışmada statik çekme kuvveti etkisi altında kalan YYPE100 doğal gaz boru birleştirmesinin davranışı etrafıca araştırılmıştır. Bu amaçla temin edildiği şekliyle farklı çevre sıcaklıklarında ve ön tav ısıl işlemi uygulandıktan sonra belirlenen çevre sıcaklıklarında birleştirilen numunelerin dayanımı belirlenmiştir. Sonuçlar sırasıyla alt bölümde paylaşılmıştır.

4.5.1.1. Çevre Sıcaklığının PE100 Doğal Gaz Borularının Tekli Çekme Soyma - Ayrılma Dayanımına Etkisi

Çevre sıcaklığının PE100 doğal gaz borularının dayanımına etkisi tekli çekme soyma-ayrılma testi ile belirlenmiştir. Farklı çevre sıcaklığında birleştirilen deney numunelerinin ortalama kuvvet-uzama grafikleri Şekil 4.5’de gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Farklı çevre sıcaklıklarında birleştirilen PE100 numunelerin tekli çekme soyma-ayrılma grafikleri.

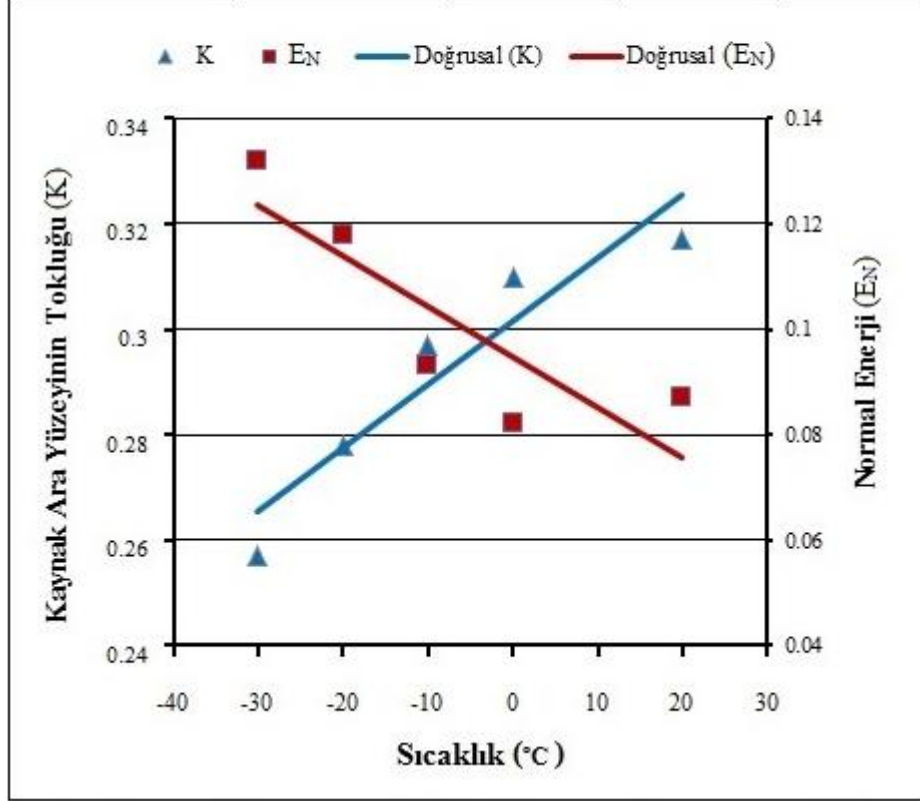
Şekil 4.5’de gösterilen grafik verilerinden yararlanarak deney numunelerin ayrılması için uygulanan maksimum yük, F_w , soyma-ayrılma enerjisi, E_p , birleştirme arayüzeyi tokluğu, K , ve normal soyma-ayrılma enerjisi, E_N , hesaplanmıştır. Ancak belirtilen bu değerlerin elde edilmesi için birleştirmelerin kaynak arayüzeyinden ayrılması gerekir. Test sırasında ana malzemeden ayrılma meydana gelmesi elde edilen değerlerin kaynak dayanımından daha ziyade ana malzemenin verilerine işaret eder. Çalışmada tekli çekme soyma-ayrılma testine tabi tutulan numunelerin ortalama taşıyabilecekleri maksimum yük, soyma-ayrılma enerjileri ve ayrılma biçimleri Çizelge 4.5’de özetlenmiştir.

Çizelge 4.5. PE 100 numunelerin tekli çekme soyma-ayrılma test sonucu verileri.

| Numune | A1 | | | |
|---------------------------|---------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| F_w (kN) | 2.09 | 1.61 | 1.19 | 2.07 |
| E_p | 143 | 55 | 28 | 50 |
| Ayrılma | ARA/S | ANA/M | ANA/B | ANA/B |
| Numune | C1 | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| F_w (kN) | 2.56 | 2.06 | 1.9 | 1.37 |
| E_p | 86.59 | 78.6 | 62.77 | 55.61 |
| Ayrılma | ANA/B/M | ANA/M | ANA/M | ARA/S |
| Numune | E1 | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| F_w (kN) | 2.64 | 2.79 | 2.07 | 2.78 |
| E_p | 112.65 | 89.75 | 82.36 | 97.6 |
| Ayrılma | ANA/B | ANA/B | ANA/M | ANA/B |
| Numune | F1 | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| F_w (kN) | 1.71 | 2.14 | 1.43 | 2.64 |
| E_p | 40.35 | 55.4 | 33.2 | 66.1 |
| Ayrılma | ANA/B | ANA/B | ANA/B | ANA/B |
| Numune | G1 | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| F_w (kN) | 2.09 | 1.19 | 1.49 | 1.8 |
| E_p | 64.16 | 23.58 | 37.45 | 45.77 |
| Ayrılma | ANA/B/M | ANA/B | ANA/M | ANA/B |

Çizelge 4.5’den görüldüğü gibi, tekli soyma-ayrılma testi numunelerinin %90 boru ana malzemesinden (ANA/B ve ANA/M), %10’si kaynak arayüzeyinden (ARA/S) ayrıldığı tespit edilmiştir. Bu sonuçlar kaynaklı birleştirmelerin dayanımının iyi olduğuna işaret ederken birleştirmelerin maksimum yük, F_w , soyma-ayrılma enerjisi, E_p , birleştirme arayüzeyi tokluğu, K , ve normal soyma ayrılma enerjisi, E_N , verilerinin tüm numuneler için hesaplanmasına olanak sağlamamıştır. Ancak çalışmada farklı çevre sıcaklığında birleştirilen PE100 boru birleştirmelerinin kaynak arayüzeyinden ayrılan numunelerinin kaynak bölgesi tokluğu hesaplanabilir. Çalışmada yalnızca kaynak arayüzeyinden kopan numunelerin K ve E_N değerleri grafiksel olarak Şekil 4.6’da gösterilmiştir.

| NUMUNE | SICAKLIK(°C) | ÖN TAV(°C) | K | E _N |
|--------|--------------|------------|-------|----------------|
| A1 | 20 | YOK | 0.317 | 0.087 |
| C1 | 0 | YOK | 0.31 | 0.082 |
| E1 | -10 | YOK | 0.297 | 0.093 |
| F1 | -20 | YOK | 0.278 | 0.118 |
| G1 | -30 | YOK | 0.257 | 0.132 |

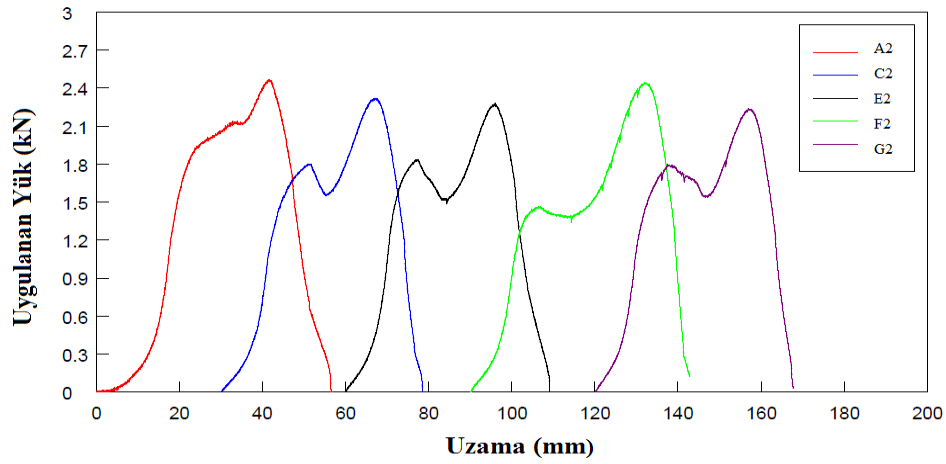


Şekil 4.6. Çevre sıcaklığının arayüzeyden ayrılan PE100 tekli çekme soyma-ayrılma numunelerinin birleştirme arayüzey tokluğu (K) ve normal çekme soyma-ayrılma enerjisine (E_N) etkisi.

Şekil 4.6'dan görüldüğü gibi tekli çekme soyma-ayrılma testinde yalnızca kaynak arayüzeyinden ayrılan numunelerin kaynak bölgesi tokluğu (K) ve normal soyma-ayrılma enerji (E_N) verileri değerlendirilmiştir. Temin edildiği şekliyle farklı çevre sıcaklıklarında birleştirilen numunelerin arayüzey ayrılma tokluğu genel eğilim olarak azalan çevre sıcaklığıyla birlikte azalırken, soyma-ayrılma enerjileri ise arttığı tespit edilmiştir.

4.5.1.2. Ön Tav Sıcaklığının PE100 Doğal Gaz Borularının Tekli Çekme Soyma-Ayrılma Dayanımına Etkisi

Çalışmada kullanılan ön tav sıcaklıklarının PE100 doğal gaz borularının dayanımına etkisinde tekli çekme soyma-ayrılma testi ile belirlenmiştir. Ön tav ısıtma işlemi uygulanmış şekliyle farklı çevre sıcaklığında birleştirilen deney numunelerinin ortalama kuvvet-uzama grafikleri Şekil 4.7’de gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Ön tav ısıtma işlemi uygulanmış şekliyle farklı çevre sıcaklıklarında birleştirilen PE100 numunelerin tekli çekme soyma-ayrılma grafikleri.

Çalışmada tekli çekme soyma-ayrılma testine tabi tutulan 60°C ve 80°C sıcaklıkta ön tav uygulandıktan sonra farklı çevre sıcaklıklarında birleştirilen PE100 doğal gaz boru numunelerinin ortalama taşıyabilecekleri maksimum yük, soyma-ayrılma enerjileri ve ayrılma biçimleri Çizelge 4.6 ve 4.7’de özetlenmiştir.

Çizelge 4.6. 60°C ön tav uygulandıktan sonra farklı çevre sıcaklığında birleştirilen PE100 numunelerin tekli çekme soyma-ayrılma test sonucu verileri.

| Numune | A2 | | | |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| F_w (kN) | 2.19 | 1.64 | 1.49 | 1.44 |
| E_p | 64 | 35.1 | 34.2 | 35.01 |
| Ayrılma | ANA/B | ANA/B | ANA/B | ANA/B |
| Numune | C2 | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| F_w (kN) | 1.97 | 1.85 | 2.32 | 1.91 |
| E_p | 67.12 | 65.55 | 49.5 | 60 |
| Ayrılma | ANA/M | ARA/S | ANA/B | ANA/B |

| Numune | E2 | | | |
|---------------------------|---------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| F_w (kN) | 1.67 | 1.74 | 2.01 | 2.09 |
| E_p | 42.76 | 52.27 | 59.11 | 69.1 |
| Ayrılma | ANA/B/M | ANA/M | ARA/S | ANA/M |
| Numune | F2 | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| F_w (kN) | 1.4 | 1.8 | 2.37 | 1.41 |
| E_p | 49.97 | 31.9 | 87.4 | 49.97 |
| Ayrılma | D/K | ANA/B | ARA/S | ARA/S |
| Numune | G2 | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| F_w (kN) | 2.6 | 1.51 | 1.43 | 1.87 |
| E_p | 61.91 | 71.37 | 52.83 | 42.72 |
| Ayrılma | ANA/B | ARA/S | ARA/S | ANA/B |

Çizelge 4.7. 80°C ön tav uygulandıktan sonra farklı çevre sıcaklığında birleştirilen PE100 numunelerin tekli çekme soyma-ayrılma test sonucu verileri.

| Numune | E3 | | | |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| F_w (kN) | 1.67 | 1.85 | 1.6 | 2.17 |
| E_p | 37.97 | 38.6 | 38.3 | 40.18 |
| Ayrılma | ANA/B | ANA/B | ANA/B | ANA/B |
| Numune | F3 | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| F_w (kN) | 2.2 | 2.91 | 2.09 | 2.32 |
| E_p | 51.75 | 43.25 | 49.2 | 47.53 |
| Ayrılma | ANA/B | H/S | ANA/B | ANA/B |
| Numune | G3 | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| F_w (kN) | 2.59 | 2.19 | 1.59 | 2.05 |
| E_p | 67.27 | 56.18 | 34.32 | 47.53 |
| Ayrılma | ANA/M | ANA/M | ANA/B | ANA/B |

Çizelge 4.6 ve 4.7'den görüldüğü gibi, ön tav uygulandıktan sonra farklı çevre sıcaklıklarında birleştirilen doğal gaz boru birleştirmesi tekli çekme soyma-ayrılma test numunelerinin %75 boru ana malzemesinden,%19 kaynak arayüzeyinden ve %6'sı delikten ayrıldığı tespit edilmiştir. Daha öncede belirtildiği gibi bu sonuçlar kaynaklı birleştirmelerin dayanımının iyi olduğuna işaret ederken, birleştirmelerin maksimum yük, F_w, soyma ayrılma enerjisi, E_p, birleştirme arayüzeyi tokluğu, K, ve normal soyma-ayrılma enerjisi, E_N, verilerinin tüm numuneler için hesaplanmasına olanak sağlamamıştır.

Sonuçlar, ön tav ısıl işleminin yüksek çevre sıcaklıklarında birleştirilen numunelerin taşıma yükü kapasitelerine olumsuz etki ettiğine işaret etmektedir. Düşük çevre

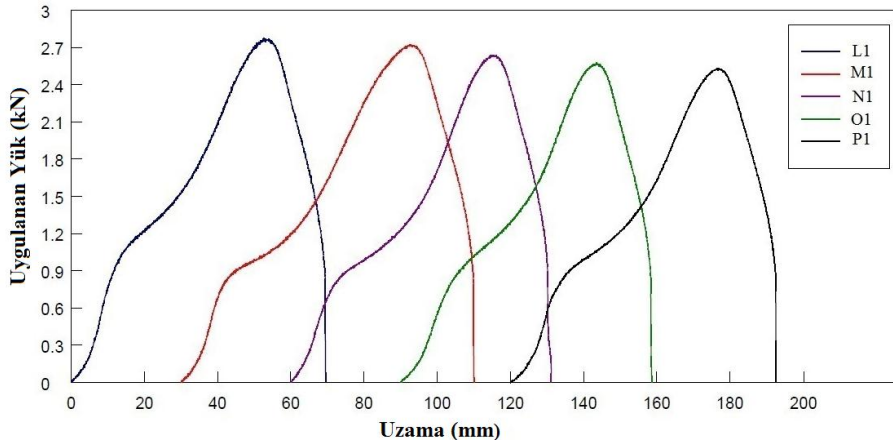
sıcaklığında birleştirilen numunelerin uygulanan ön tav sıcaklığıyla birlikte artan kristalin miktarına bağlı olarak taşıma yükü kapasitelerinin bir miktar artığı görülmektedir. Artan ön tav sıcaklığı düşük çevre sıcaklıklarda birleştirmenin özelliklerine olumlu yönde etki ederken, yüksek çevre sıcaklıklarında ise olumsuz yönde etki ettiği belirlenmiştir.

4.5.2. PE80 Doğal Gaz Borularının Tekli Çekme Soyma-Ayrılma Testi

Çalışmada statik çekme kuvveti etkisi altında kalan PE80 doğal gaz boru birleştirmesinin davranışı etraflıca araştırılmıştır. Bu amaçla temin edildiği şekliyle farklı çevre sıcaklıklarında ve ön tav ısıl işlemi uygulandıktan sonra belirlenen çevre sıcaklıklarında birleştirilen doğal gaz boruların dayanımı belirlenerek sonuçlar sırasıyla alt bölümde paylaşılmıştır.

4.5.2.1. Çevre Sıcaklığının PE80 Doğal Gaz Borularının Tekli Çekme Soyma-Ayrılma Dayanımına Etkisi

Farklı çevre sıcaklığının PE80 doğal gaz borularının dayanımına etkisi tekli çekme soyma-ayrılma testiyle belirlenmiştir. Temin edildiği şekliyle farklı çevre sıcaklığında birleştirilen deney numunelerinin ortalama kuvvet-uzama grafikleri Şekil 4.8’de gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Temin edildiği şekliyle farklı çevre sıcaklıklarında birleştirilen PE80 numunelerinin tekli çekme soyma-ayrılma grafikleri.

Şekil 4.8’de gösterilen grafikten yararlanarak çalışmada tekli çekme soyma-ayrılma testine tabi tutulan farklı çevre sıcaklıklarında birleştirilen PE80 doğal gaz boru numunelerinin ortalama taşıyabilecekleri maksimum yük, soyma-ayrılma enerjileri ve ayrılma biçimleri Çizelge 4.8’de özetlenmiştir.

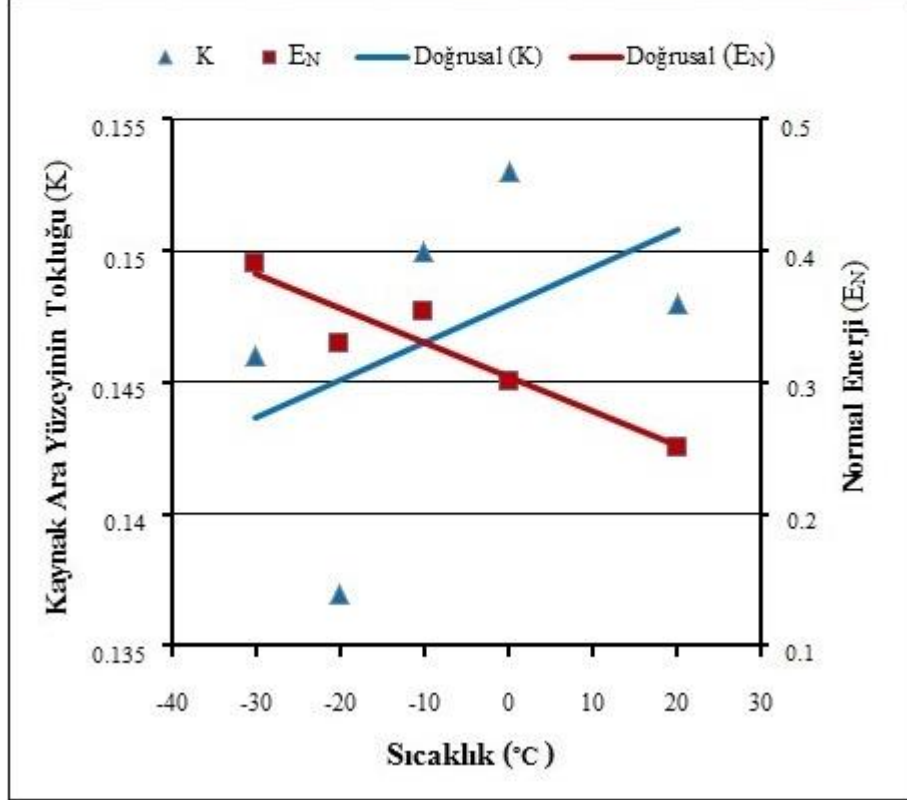
Çizelge 4.8. Farklı çevre sıcaklıklarında birleştirilen PE80 doğalgaz borularının tekli çekme soyma-ayrılma test sonucu verileri.

| Numune | L1 | | | |
|---------------------------|---------|--------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| F_w (kN) | 2.742 | 0.903 | 2.64 | 2.6 |
| E_p | 116.145 | 29.42 | 99.05 | 102.65 |
| Ayrılma | ARA/S | ARA/G | ANA/B | ANA/B |
| Numune | M1 | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| F_w (kN) | 2.56 | 2.68 | 2.92 | 2.71 |
| E_p | 97.04 | 106.8 | 135.98 | 106.78 |
| Ayrılma | ANA/B | ANA/B | ARA/S | ANA/B |
| Numune | N1 | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| F_w (kN) | 2.725 | 2.58 | 2.54 | 3.125 |
| E_p | 122.99 | 107.82 | 101.77 | 153.6 |
| Ayrılma | ANA/B | ANA/B | ANA/B | ARA/S |
| Numune | O1 | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| F_w (kN) | 2.78 | 2.511 | 2.72 | 2.58 |
| E_p | 111.5 | 96.75 | 113.26 | 96.43 |
| Ayrılma | ANA/B | ANA/B | ANA/B | ANA/B |
| Numune | P1 | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| F_w (kN) | 1.83 | 1.78 | 2 | 2.094 |
| E_p | 68.45 | 61.62 | 82.4 | 87.1 |
| Ayrılma | ARA/S | ARA/S | ARA/S | ARA/S |

Çizelge 4.8’den görüldüğü gibi, tekli soyma-ayrılma testi numunelerinin %60 boru ana malzemesinden,%40 kaynak arayüzeyinden ayrıldığı tespit edilmiştir.

Bu sonuçlar kaynaklı birleştirmelerin dayanımının kabul edilebilir olduğuna işaret etmektedir. Farklı çevre sıcaklığında birleştirilen PE80 boru birleştirmelerinin yalnızca kaynak arayüzeyinden ayrılan numunelerin maksimum taşıma yükü verileri ve grafiksel olarak Şekil 4.9’da gösterilmiştir.

| NUMUNE | SICAKLIK(°C) | ÖN TAV(°C) | K | E _N |
|--------|--------------|------------|-------|----------------|
| L1 | 20 | YOK | 0.148 | 0.25 |
| M1 | 0 | YOK | 0.153 | 0.3 |
| N1 | -10 | YOK | 0.15 | 0.354 |
| O1 | -20 | YOK | 0.137 | 0.33 |
| P1 | -30 | YOK | 0.146 | 0.39 |

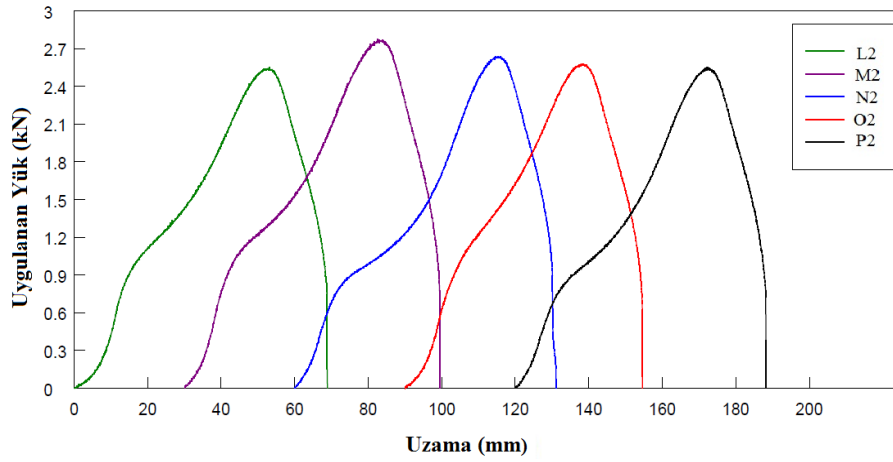


Şekil 4.9. Çevre sıcaklığının arayüzeyden ayrılan tekli PE80 numunelerin kaynak arayüzey tokluğu (K) ve normal soma-ayırılma enerjisine (E_N) etkisi.

Şekil 4.9'dan görüldüğü gibi tekli çekme soyma-ayırılma testinde yalnızca kaynak arayüzeyinden ayrılan PE80 numunelerin taşıma yükü verileri değerlendirilmiştir. Daha yüksek yükleri taşıyabilen, yüksek çevre sıcaklıklarında birleştirilen, elastisite modülü ve kristal yapı oranı yüksek olan numunelerdir. Daha düşük çevre sıcaklıklarında birleştirilen numunelerin elastisite modülü düşüktür. Bu numuneler düşük yükler altında yüksek uzama sergiler. Oda sıcaklığında olan numunelere göre daha yüksek amorf yapıya sahiptirler. Grafikteki eğrilerdeki sapmalar değerlendirmelerin yalnızca arayüzeyden ayrılan az sayıdaki numuneler üzerinden yapılmasından dolayı kaynaklandığı düşünülmektedir.

4.5.2.2. Ön Tav Sıcaklığının PE80 Doğal Gaz Borularının Tekli Çekme Soyma-Ayrılma Dayanımına Etkisi

Çalışmada ön tav sıcaklıklarının PE80 doğal gaz borularının dayanımına etkisinde tekli çekme soyma-ayrılma testiyle belirlenmiştir. Ön tav ısıtma işlemi uygulanmış şekilde belirlenen çevre sıcaklığında birleştirilen deney numunelerinin ortalama gerilme-uzama grafikleri Şekil 4.10’de gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Ön tav ısıtma işlemi uygulanmış şekilde farklı çevre sıcaklıklarında birleştirilen PE80 numunelerin tekli çekme soyma-ayrılma grafikleri.

Çalışmada tekli çekme soyma-ayrılma testine tabi tutulan 60 °C ve 80 °C sıcaklıkta ön tav uygulandıktan sonra farklı çevre sıcaklığında birleştirilen PE80 doğal gaz boru numunelerinin ortalama taşıyabilecekleri maksimum yük, soyma-ayrılma enerjileri ve ayrılma biçimleri Çizelge 4.9 ve 4.10’de özetlenmiştir.

Çizelge 4.9. 60 °C ön tav uygulandıktan sonra farklı çevre sıcaklığında birleştirilen numunelerin tekli çekme soyma-ayrılma test sonucu verileri.

| Numune | L2 | | | |
|------------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| F_w (kN) | 2.64 | 2.72 | 2.28 | 1.98 |
| E_p | 87.92 | 105 | 81.11 | 82 |
| Ayrılma | ARA/S | ANA/B | ARA/S | ARA/S |
| Numune | M2 | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| F_w (kN) | 2.641 | 2.661 | 1.92 | 2.29 |
| E_p | 96.24 | 89.69 | 94.61 | 86.55 |

| | | | | |
|---------------------------|-----------|-------|--------|--------|
| Ayrılma | ANA/B | ARA/S | ARA/S | ARA/S |
| Numune | N2 | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| F_w (kN) | 3.23 | 2.36 | 2.6 | 3.06 |
| E_p | 159.82 | 84.61 | 89.65 | 135.6 |
| Ayrılma | ARA/S | ARA/S | ARA/S | ANA/B |
| Numune | O2 | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| F_w (kN) | 2.96 | 2.5 | 2.69 | 2.78 |
| E_p | 110.9 | 97.17 | 101.36 | 189.17 |
| Ayrılma | ARA/S | ANA/M | ANA/B | ARA/S |
| Numune | P2 | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| F_w (kN) | 2.64 | 2.58 | 2.82 | 3.01 |
| E_p | 101.93 | 96.12 | 114.1 | 125.8 |
| Ayrılma | ARA/YS | ANA/B | ANA/B | ARA/S |

Çizelge 4.10. 80°C ön tav uygulandıktan sonra farklı çevre sıcaklığında birleştirilen PE80 numunelerin tekli çekme soyma-ayrılma test sonucu verileri.

| | | | | |
|---------------------------|-----------|--------|--------|--------|
| Numune | N3 | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| F_w (kN) | 2.72 | 2.1 | 2.25 | 1.8 |
| E_p | 101.23 | 93.93 | 75.06 | 50.66 |
| Ayrılma | ANA/B | ARA/S | ARA/S | ARA/S |
| Numune | O3 | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| F_w (kN) | 2.1 | 1.83 | 2.094 | 2.84 |
| E_p | 59.3 | 68.45 | 87.11 | 89.78 |
| Ayrılma | ARA/YS | ARA/YS | ARA/YS | ANA/B |
| Numune | P3 | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| F_w (kN) | 2.053 | 2.26 | 2.672 | 2.622 |
| E_p | 62.8 | 80.36 | 98.4 | 85.7 |
| Ayrılma | ARA/YS | ARA/YS | ANA/B | ARA/YS |

Çizelge 4.9 ve 4.10'dan görüldüğü gibi, ön tav ısıl işlemi uygulandıktan sonra farklı çevre sıcaklıklarında birleştirilen doğal gaz boruların tekli soyma-ayrılma testi numunelerinin %35 boru ana malzemesinden, %65 kaynak arayüzeyinden ayrıldığı tespit edilmiştir.

Bu sonuçlar kaynaklı birleştirmelerin dayanımının iyi olduğuna işaret ederken, birleştirmelerin maksimum yük, F_w , soyma-ayrılma enerjisi, E_p , birleştirme arayüzeyi tokluğu, K , ve normal soyma-ayrılma enerjisi, E_N , verilerinin tüm numuneler için hesaplanmasına olanak sağlamamıştır.

Sonuçlar, ön tav ısıl işleminin yüksek çevre sıcaklıklarında birleştirilen numunelerin taşıma yükü kapasitelerine olumsuz etki ettiğine işaret etmektedir. Düşük çevre sıcaklığında birleştirilen numunelerin uygulanan ön tav sıcaklığıyla birlikte artan kristalin miktarına bağlı olarak taşıma yükü kapasitelerinin bir miktar arttığı görülmektedir. Artan ön tav sıcaklığı düşük çevre sıcaklıklarda birleştirmenin özelliklerine olumlu yönde etki ederken, yüksek çevre sıcaklıklarında ise olumsuz yönde etki ettiği belirlenmiştir.

4.6. KAYNAKLI BORULARIN ÇİFTLİ ÇEKME SOYMA AYRILMA TESTİ

Tekli çekme soyma-ayrılma testinde ayrılmanın birleştirme arayüzeyinden meydana gelmemesi sebebiyle ve bu test yöntemindeki eksiklikleri gidermek amacıyla detayları EN12814-4 standardında belirtilen çiftli soyma-ayrılma testinin uygulanması gerekir. Tekli soyma-ayrılma testi yük altındaki birleştirmelerin arayüzeyden ayrılıncaya kadar davranışlarının belirlenmesinde kullanılan yöntemdir. Ancak bu yöntem bireysel olduğu için objektif bir ölçüm verememektedir [1]. Test edilen numunenin birleştirme tokluğu, soyma-ayrılma enerjisi ve normal soyma-ayrılma enerjisi, gevreklik ve sünekliliğinin miktarını belirlemek için yeni bir yöntem gereklidir. Çünkü endüstride kaynaklı birleştirmedeki oluşan hasardan üretici firmadan veya kaynakçıdan kaynaklandığının bilinmesi önemlidir.

Bu amaçla deney numunelerine çiftli çekme soyma ayrılma testi uygulanmıştır. Çalışmada kullanılan YYPE100 ve OYPE80 elektrofüzyon kaynaklı doğalgaz borularının çiftli çekme soyma-ayrılma testi sonuçları sırasıyla paylaşılmıştır.

4.6.1. PE100 Doğal Gaz Borularının Çiftli Çekme Soyma-Ayrılma Testi

Statik çekme kuvveti etkisi altında kalan doğal gaz boru birleştirmesinin dayanımının belirlenmesi endüstriyel uygulamalar için çok önemlidir. Normalde kaynaklı birleştirmelerin ayrılma enerjisi tekli çekme soyma-ayrılma testi ile elde edilen kuvvet birim şekil değiştirme eğrisinin altındaki taralı alan olarak hesap edilir. Ancak numune genişliği ve birleştirme bölgesi uzunluğu değiştiği için normal soyma-ayrılma enerjisi hesaplanır. Tekli çekme soyma-ayrılma testinde kaynak

arayüzeyinden ayrılma tamamen gerçekleşmediği için normal soyma-ayrılma enerjisini tam anlamıyla yansıtmadığı düşünülmektedir.

Birleştirmenin çiftli soyma-ayrılma testinde ayrılma tamamen kaynak arayüzeyinden meydana geldiği için birleştirme tokluğu ve birleştirme soyma-ayrılma enerjisi deneysel metot bölümünde de belirtildiği üzere aşağıdaki bağıntılardan yararlanarak hesap edilmiştir.

$$K = \frac{F_w \cdot c}{(0.5bH^2)} (3,46 + 2,38 \frac{H}{c})$$

Bu denklemde:

K: Birleştirme tokluğu c: çekme çivisi ve kaynak başlangıcı arasındaki mesafe, F_w : en yüksek yük, b: numune genişliği, H: numune kalınlığıdır.

$$E_P = \int_0^{x_f} P(x) dx$$

$$E_N = \frac{E_P}{W(L - n\phi_w)}$$

E_P : Soyma ayrılma enerjisi

E_N : Normal soyma ayrılma enerjisi

$P(x)$: Uygulanan yük

W: Numune genişliği

x_f : Soyma enerjisi

L: Kaynak bölgesi uzunluğu

n: Kaynak bölgesindeki rezistans tel sayısı

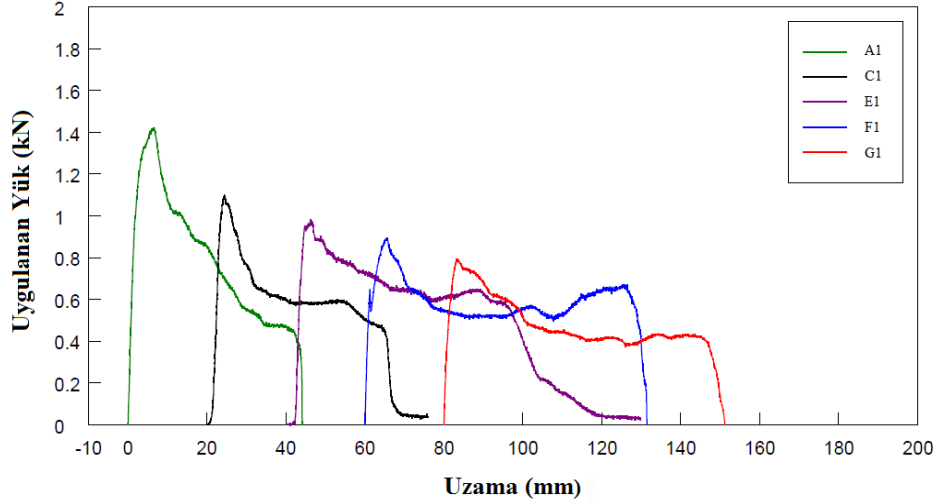
ϕ_w : Rezistans direnç tellerin çapı

Bu amaçla temin edildiği şekliyle ve ön tav ısıtma işlemi uygulandıktan sonra belirlenen çevre sıcaklıklarında birleştirilen PE100 ve PE80 doğal gaz boruların birleştirme tokluğu ve çekme soyma-ayrılma enerjisi belirlenmiştir. Sonuçlar sırasıyla alt bölümde paylaşılmıştır.

4.6.1.1. Çevre Sıcaklığının PE100 Doğal Gaz Borularının Çiftli Çekme Soyma-Ayrılma Dayanımına Etkisi

Temin edildiği şekliyle farklı çevre sıcaklıklarında birleştirilen PE100 doğal gaz boruların birleştirme tokluğu ve birleştirmeyi ayırmak için çekme soyma-ayrılma enerjisi ve normal soyma-ayrılma enerjisi belirlenmiştir. Öncelikle farklı çevre

sıcaklıklarında birleştirilen numunelerin çiftli çekme soyma-ayrılma testinden elde edilen ortalama gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri Şekil 4.11’de gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Farklı çevre sıcaklıklarında birleştirilen PE100 numunelerin ortalama çiftli çekme soyma-ayrılma grafikleri.

Şekil 4.11’deki grafikten yararlanarak numunelerin ayrılması için uygulanan maksimum yük, F_w , soyma-ayrılma-enerjisi, E_p , birleştirme arayüzeyi tokluğu, K , ve normal soyma-ayrılma enerjisi, E_N , hesaplanarak Çizelge 4.11’de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Farklı çevre sıcaklığında birleştirilen PE100 doğal gaz borularının çiftli soyma-ayrılma testi verileri.

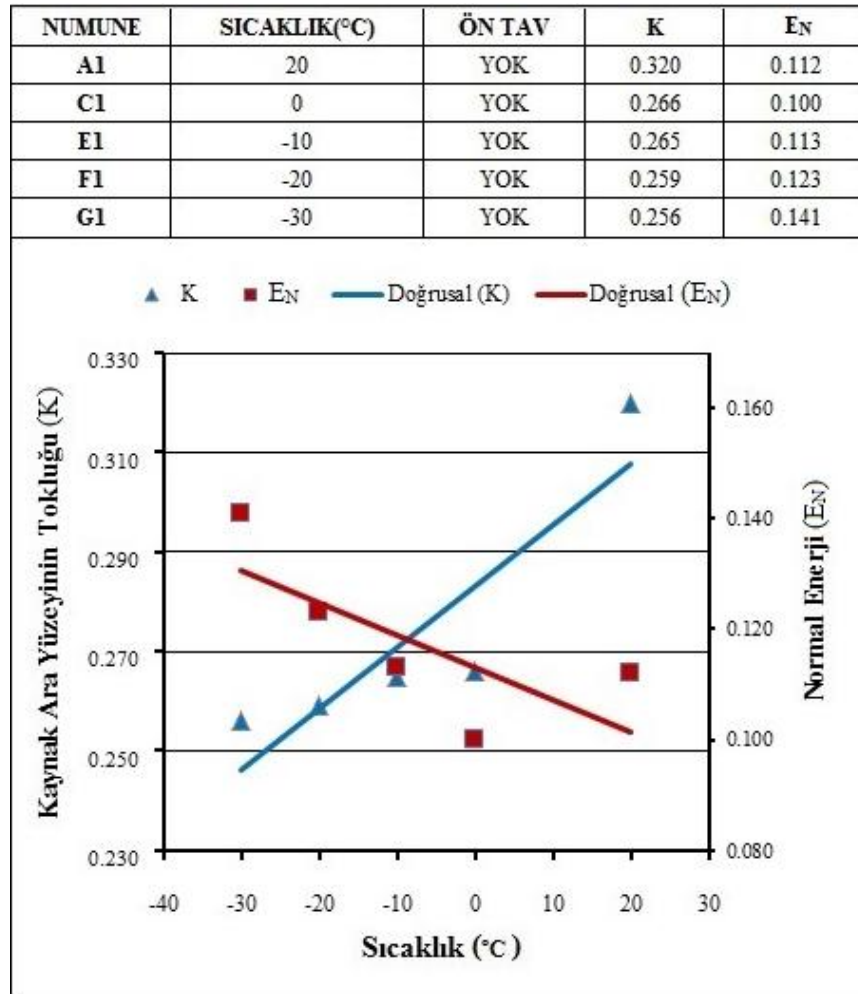
| NUMUNE | A1 | | | |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| F_w (kN) | 1.26 | 0.89 | 0.98 | 1.41 |
| E_p | 48.87 | 48.83 | 22.78 | 41.83 |
| $H/2$ | 11.54 | 11.48 | 11.55 | 11.83 |
| C | 7.82 | 8.88 | 7.75 | 6.53 |
| b/W | 9.88 | 9.86 | 9.35 | 9.28 |
| L | 46.28 | 42.36 | 43.66 | 44.00 |
| n | 12.00 | 12.00 | 13.00 | 13.00 |
| K | 0.35 | 0.27 | 0.29 | 0.38 |
| K Ortalama | 0.323 | | | |
| E_N | 0.13 | 0.12 | 0.07 | 0.13 |
| E_N Ortalama | 0.112 | | | |
| AYRILMA | YS | S | G | YS |
| NUMUNE | C1 | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| F_w (kN) | 0.87 | 1.10 | 1.07 | 1.02 |
| E_p | 39.16 | 26.00 | 30.96 | 18.64 |

| | | | | |
|-------------------------------|-----------|-------|-------|-------|
| H/2 | 11.58 | 11.35 | 11.5 | 11.5 |
| C | 6.15 | 9.07 | 6.66 | 7.48 |
| b/W | 9.62 | 9.31 | 10.20 | 9.50 |
| L | 49.22 | 42.42 | 46.70 | 28.50 |
| n | 12.00 | 12.00 | 12.00 | 7.00 |
| K | 0.22 | 0.28 | 0.27 | 0.29 |
| K Ortalama | 0.266 | | | |
| E_N | 0.10 | 0.11 | 0.08 | 0.12 |
| E_N Ortalama | 0.10 | | | |
| AYRILMA | S | YG | YS | S |
| NUMUNE | E1 | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| F_w (kN) | 0.97 | 1.02 | 1.30 | 1.27 |
| E_p | 49.73 | 49.94 | 46.80 | 33.36 |
| H/2 | 11.43 | 11.35 | 11.5 | 11.5 |
| C | 9.41 | 10.19 | 5.30 | 6.17 |
| b/W | 13.15 | 11.78 | 11.49 | 11.10 |
| L | 44.82 | 45.10 | 45.16 | 43.30 |
| n | 13.00 | 11.00 | 12.00 | 12.00 |
| K | 0.23 | 0.28 | 0.27 | 0.29 |
| K Ortalama | 0.265 | | | |
| E_N | 0.13 | 0.13 | 0.11 | 0.09 |
| E_N Ortalama | 0.113 | | | |
| AYRILMA | S | S | YS | S |
| NUMUNE | F1 | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| F_w (kN) | 1.04 | 1.24 | 0.80 | 0.83 |
| E_p | 54.08 | 39.52 | 22.91 | 28.63 |
| H/2 | 11.37 | 11.31 | 1.50 | 11.50 |
| C | 7.18 | 9.36 | 7.03 | 6.44 |
| b/W | 9.65 | 11.08 | 9.36 | 8.15 |
| L | 44.28 | 41.36 | 49.20 | 47.20 |
| n | 12.00 | 12.00 | 13.00 | 13.00 |
| K | 0.28 | 0.27 | 0.23 | 0.26 |
| K Ortalama | 0.259 | | | |
| E_N | 0.16 | 0.11 | 0.13 | 0.10 |
| E_N Ortalama | 0.123 | | | |
| AYRILMA | S | YS | S | YS |
| NUMUNE | G1 | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| F_w (kN) | 1.12 | 0.72 | 0.69 | 0.63 |
| E_p | 44.10 | 48.80 | 8.22 | 9.28 |
| H/2 | 11.5 | 11.45 | 11.93 | 11.74 |
| C | 7.11 | 6.71 | 5.22 | 5.57 |
| b/W | 10.97 | 6.88 | 6.52 | 6.70 |
| L | 44.30 | 46.67 | 44.28 | 45.80 |
| n | 11.00 | 12.00 | 12.00 | 12.00 |
| K | 0.27 | 0.27 | 0.26 | 0.22 |
| K Ortalama | 0.256 | | | |
| E_N | 0.11 | 0.18 | 0.15 | 0.13 |
| E_N Ortalama | 0.141 | | | |
| AYRILMA | YS | YS | S | YS |

Şekil 4.11 ve Çizelge 4.11'den görüldüğü gibi azalan çevre sıcaklığıyla birlikte birleştirmelerin çekme soyma-ayırma enerjileri artarken, birleştirme arayüzey tokluğunda genel eğilim olarak azalma tespit edilmiştir. Birleştirmelerin taşıyabileceği maksimum yük artan çevre sıcaklığıyla arttığı belirlenmiştir.

4.6.1.2. Farklı Çevre Sıcaklıklarının PE100 Boruların Birleştirme Tokluğu ve Normal Soyma-Ayırma Enerjisine Etkisi

Çalışmada farklı çevre sıcaklığında birleştirilen yüksek yoğunluklu PE100 doğal gaz boru birleştirmelerinin birleştirme tokluğuna ve normal çekme soyma-ayırma enerjisine çevre sıcaklığının etkisi Şekil 4.12'de grafiksel olarak özetlenmiştir.

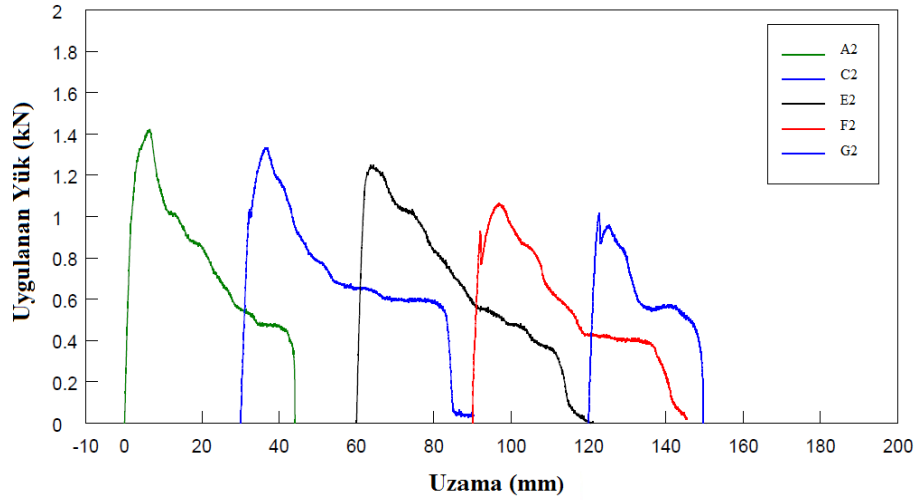


Şekil 4.12. Farklı çevre sıcaklıklarının PE100 borularının birleştirme tokluğu ve normal çekme soyma-ayırma enerjisine etkisi.

Şekil 4.12’de görüldüğü gibi genel eğilim azalan çevre sıcaklığıyla birleştirme arayüzey tokluğunda, K , azalma, normal soyma-ayırma enerjisinde, E_N , artış yönündedir. Azalan çevre sıcaklığının YYPE100 doğalgaz borularının kaynak kabiliyetini olumsuz etkilediği anlaşılmaktadır.

4.6.1.3. Ön Tav Sıcaklığının PE100 Doğal Gaz Borularının Çiftli Çekme Soyma-Ayrılma Dayanımına Etkisi

Ön tav ısıtma işlemi uygulandıktan sonra farklı çevre sıcaklıklarında birleştirilen PE100 doğal gaz boruların birleştirme tokluğu ve birleştirmeyi ayırmak için çekme soyma-ayırma enerjisi ve normal soyma-ayırma enerjisi belirlenmiştir. Bu bağlamda öncelikle 60 °C sıcaklıkta ön tav ısıtma işlemi uygulandıktan sonra farklı çevre sıcaklıklarında birleştirilen numunelerin çiftli çekme soyma-ayırma testi ortalama gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri Şekil 4.13’de gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Ön tav ısıtma işlemi uygulandıktan sonra farklı çevre sıcaklıklarında birleştirilen PE100 numunelerin çiftli çekme soyma-ayırma grafikleri.

Şekil 4.13’deki grafik verilerinden yararlanarak deney numunelerin ayrılması için uygulanan maksimum yük, F_W , soyma-ayırma enerjisi, E_P , birleştirme arayüzeyi tokluğu, K , ve normal soyma-ayırma enerjisi, E_N , hesaplanarak Çizelge 4.12’de verilmiştir.

Çizelge 4.12. 60°C ön tav ısıl işlemi uygulandıktan sonra farklı çevre sıcaklığında birleştirilen PE100 numunelerin çiftli soyma-ayırılma testi verileri.

| NUMUNE | A2 | | | |
|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| F_w (kN) | 1.04 | 0.91 | 1.21 | 1.19 |
| E_p | 54.71 | 20.45 | 22.95 | 49.40 |
| H/2 | 11.35 | 11.36 | 11.50 | 11.50 |
| C | 7.00 | 7.51 | 5.40 | 4.75 |
| b/W | 9.30 | 8.71 | 10.21 | 9.05 |
| L | 46.39 | 52.03 | 43.60 | 48.67 |
| n | 13.00 | 13.00 | 13.00 | 12.00 |
| K | 0.30 | 0.29 | 0.28 | 0.30 |
| K Ortalama | 0.291 | | | |
| E_N | 0.16 | 0.07 | 0.07 | 0.14 |
| E_N Ortalama | 0.107 | | | |
| AYRILMA | YS | YS | YG | YS |
| NUMUNE | C2 | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| F_w (kN) | 1.08 | 1.16 | 1.14 | 1.13 |
| E_p | 43.92 | 15.01 | 20.06 | 14.16 |
| H/2 | 11.26 | 11.5 | 11.5 | 11.5 |
| C | 6.26 | 4.54 | 4.80 | 5.30 |
| b/W | 12.37 | 9.80 | 8.70 | 10.06 |
| L | 52.07 | 53.00 | 31.00 | 51.00 |
| n | 13.00 | 12.00 | 6.00 | 12.00 |
| K | 0.30 | 0.26 | 0.27 | 0.26 |
| K Ortalama | 0.273 | | | |
| E_N | 0.08 | 0.10 | 0.06 | 0.09 |
| E_N Ortalama | 0.08 | | | |
| AYRILMA | YG | G | YS | YS |
| NUMUNE | E2 | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| F_w (kN) | 1.11 | 0.90 | 1.28 | 0.90 |
| E_p | 82.44 | 42.22 | 10.44 | 23.02 |
| H/2 | 11.30 | 11.18 | 11.5 | 11.5 |
| C | 6.32 | 7.48 | 5.93 | 5.31 |
| b/W | 11.14 | 12.86 | 11.05 | 9.30 |
| L | 55.34 | 49.62 | 45.90 | 46.50 |
| n | 13.00 | 12.00 | 12.00 | 12.00 |
| K | 0.26 | 0.29 | 0.28 | 0.25 |
| K Ortalama | 0.27 | | | |
| E_N | 0.14 | 0.09 | 0.07 | 0.11 |
| E_N Ortalama | 0.102 | | | |
| AYRILMA | G | YG | G | YS |
| NUMUNE | F2 | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| F_w (kN) | 1.31 | 1.32 | 1.10 | 1.16 |
| E_p | 67.63 | 66.70 | 8.26 | 17.08 |
| H/2 | 11.70 | 11.48 | 11.50 | 11.50 |
| C | 7.62 | 7.09 | 5.59 | 5.05 |

| | | | | |
|-------------------------------|-----------|-------|-------|-------|
| b/W | 12.08 | 11.56 | 10.62 | 10.84 |
| L | 42.34 | 44.10 | 32.47 | 53.57 |
| n | 12.00 | 13.00 | 7.00 | 13.00 |
| K | 0.29 | 0.28 | 0.25 | 0.25 |
| K Ortalama | 0.266 | | | |
| E_N | 0.13 | 0.12 | 0.15 | 0.09 |
| E_N Ortalama | 0.122 | | | |
| AYRILMA | S | S | YS | YS |
| NUMUNE | G2 | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| F_w (kN) | 0.95 | 1.21 | 0.98 | 1.03 |
| E_p | 67.77 | 6.03 | 42.46 | 24.69 |
| H/2 | 11.23 | 11.5 | 11.5 | 11.77 |
| C | 5.80 | 7.28 | 6.23 | 7.50 |
| b/W | 8.31 | 11.70 | 10.72 | 10.30 |
| L | 54.44 | 29.68 | 43.57 | 50.00 |
| n | 12.00 | 8.00 | 12.00 | 12.00 |
| K | 0.28 | 0.28 | 0.23 | 0.27 |
| K Ortalama | 0.265 | | | |
| E_N | 0.18 | 0.16 | 0.11 | 0.06 |
| E_N Ortalama | 0.13 | | | |
| AYRILMA | YS | G | S | YG |

Çalışmada ayrıca 80°C sıcaklıkta ön tav ısıl işlemi uygulandıktan sonra farklı çevre sıcaklığında birleştirilen PE100 numunelerin çiftli soyma-ayrılma testi verileri ise Çizelge 4.13’da verilmiştir.

Çizelge 4.13. 80°C ön tav ısıl işlemi uygulandıktan sonra farklı çevre sıcaklığında birleştirilen PE100 borularının çiftli soyma-ayrılma testi verileri.

| | | | | |
|-------------------------------|-----------|-------|-------|-------|
| NUMUNE | E3 | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| F_w (kN) | 0.93 | 1.47 | 0.94 | 1.47 |
| E_p | 46.79 | 54.15 | 23.04 | 16.70 |
| H/2 | 11.55 | 11.5 | 11.5 | 11.5 |
| C | 7.82 | 5.54 | 6.20 | 5.67 |
| b/W | 9.30 | 9.80 | 8.74 | 10.30 |
| L | 55.36 | 50.40 | 52.00 | 49.90 |
| n | 13.00 | 13.00 | 11.00 | 13.00 |
| K | 0.28 | 0.31 | 0.27 | 0.34 |
| K Ortalama | 0.299 | | | |
| E_N | 0.11 | 0.13 | 0.06 | 0.06 |
| E_N Ortalama | 0.090 | | | |
| AYRILMA | S | YG | YS | YS |
| NUMUNE | F3 | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| F_w (kN) | 0.99 | 1.07 | 1.06 | 1.42 |
| E_p | 56.94 | 57.16 | 65.72 | 29.51 |
| H/2 | 11.50 | 11.54 | 11.47 | 11.5 |

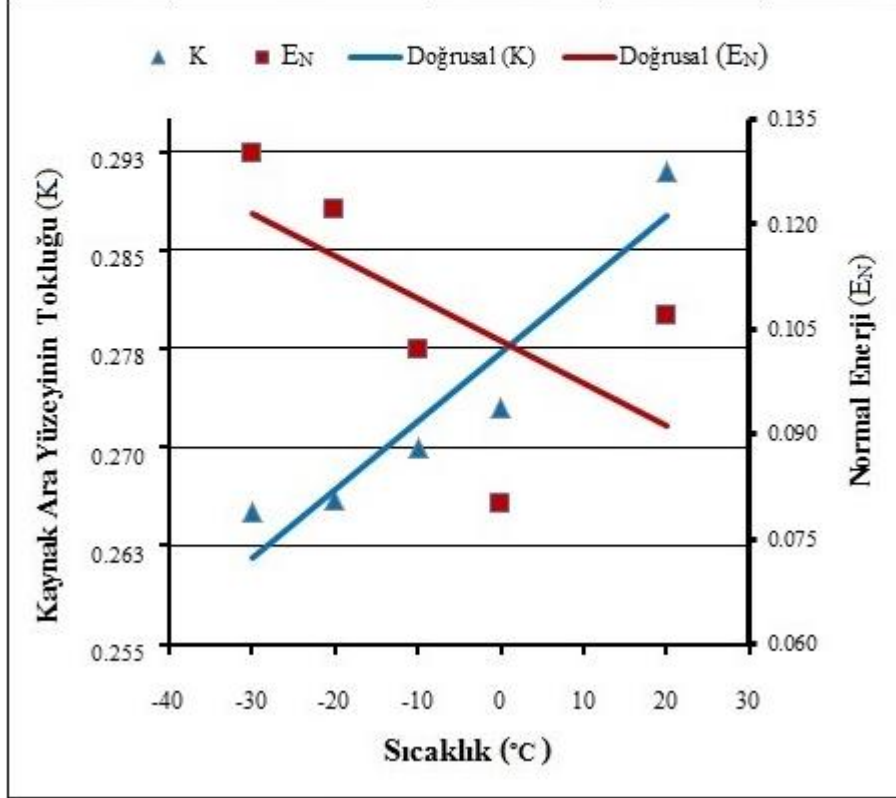
| | | | | |
|-------------------------------|-----------|-------|-------|-------|
| C | 9.94 | 8.95 | 7.14 | 4.65 |
| b/W | 10.07 | 9.42 | 8.78 | 9.60 |
| L | 47.80 | 40.47 | 42.76 | 49.78 |
| n | 12.00 | 12.00 | 12.00 | 13.00 |
| K | 0.31 | 0.28 | 0.28 | 0.29 |
| K Ortalama | 0.289 | | | |
| E_N | 0.13 | 0.15 | 0.13 | 0.08 |
| E_N Ortalama | 0.120 | | | |
| AYRILMA | S | S | YS | G |
| NUMUNE | G3 | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| F_W (kN) | 1.20 | 0.96 | 1.11 | 1.13 |
| E_P | 32.02 | 31.30 | 11.11 | 19.51 |
| H/2 | 11.5 | 11.5 | 12.19 | 11.5 |
| C | 6.12 | 7.50 | 7.70 | 5.98 |
| b/W | 9.81 | 8.47 | 9.55 | 9.40 |
| L | 50.20 | 49.51 | 47.46 | 37.80 |
| n | 11.00 | 12.00 | 13.00 | 9.00 |
| K | 0.30 | 0.26 | 0.27 | 0.29 |
| K Ortalama | 0.281 | | | |
| E_N | 0.13 | 0.14 | 0.09 | 0.14 |
| E_N Ortalama | 0.124 | | | |
| AYRILMA | YS | YS | YS | G |

Çizelge 4.12 ve 4.13'dan görüldüğü gibi ön tav ısıl işlemi düşük çevre sıcaklıklarında birleştirilen numunelerin birleştirme tokluğuna olumlu yönde etki ederken, yüksek çevre sıcaklıklarında birleştirilen numunelerin dayanımına olumsuz yönde etki ettiği tespit edilmiştir. Birleştirme çekme soyma-ayırma enerjisi üzerindeki etkisi yüksek çalışma sıcaklıklarında birleştirilen numunelerin gevrek kırılmasına işaret ederken düşük çevre sıcaklıklarında birleştirilen numunelerin sünek kırılma davranışı sergilediklerine işaret etmektedir.

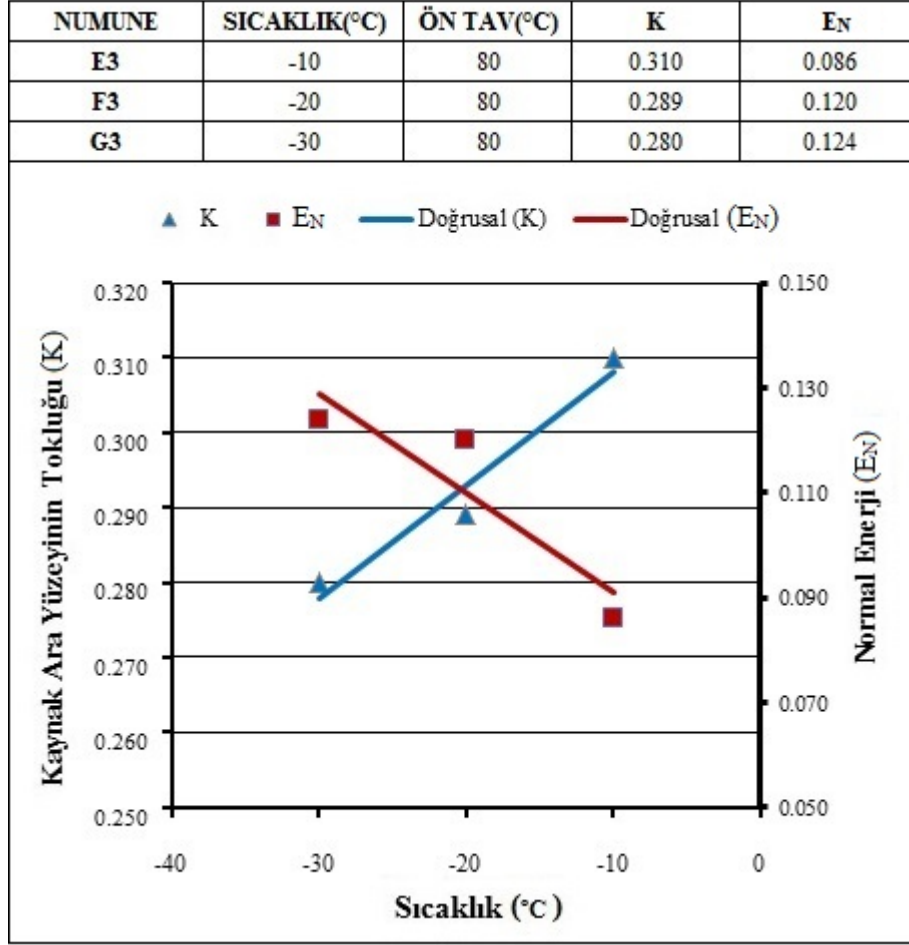
4.6.1.4. Ön Tav Sıcaklıklarının PE100 Boruların Birleştirme Tokluğu ve Normal Soyma-Ayırma Enerjisine Etkisi

Çalışmada iki farklı sıcaklıkta ön tav ısıl işlemi uygulandıktan sonra farklı çevre sıcaklığında birleştirilen PE100 doğal gaz boru birleştirmelerinin birleştirme tokluğuna ve normal çekme soyma-ayırma enerjisine 60°C ve 80°C sıcaklıkta uygulanan öntav ısıl işleminin etkisi sırasıyla Şekil 4.14 ve 4.15'de grafiksel olarak özetlenmiştir.

| NUMUNE | SICAKLIK(°C) | ÖN TAV(°C) | K | E _N |
|--------|--------------|------------|-------|----------------|
| A2 | 20 | 60 | 0.291 | 0.107 |
| C2 | 0 | 60 | 0.273 | 0.080 |
| E2 | -10 | 60 | 0.270 | 0.102 |
| F2 | -20 | 60 | 0.266 | 0.122 |
| G2 | -30 | 60 | 0.265 | 0.130 |



Şekil 4.14. 60°C sıcaklıkta ön tav ısıl işlemleri uygulanan PE100 borularının birleştirme tokluğu ve normal çekme soyma-ayırılma enerjisine etkisi.



Şekil 4.15. 80°C sıcaklıkta ön tav ısıl işlemi uygulanan PE100 borularının birleştirme tokluğu ve normal çekme soyma-ayırma enerjisine etkisi.

Şekil 4.14 ve 4.15 den görüldüğü gibi, kaynak öncesi uygulanan ön tav ısıl işleminin kaynak sonrası soğuma hızını yavaşlatarak yapıdaki kristalin miktarını artırarak, dayanımı iyileştirmesi amaçlanmıştır. Genel eğilim olarak ön tav ısıl işlemi düşük çevre sıcaklıklarında birleştirilen numunelerin birleştirme tokluğuna olumlu yönde etki ederken, yüksek çevre sıcaklıklarında birleştirilen numunelerin dayanımına olumsuz yönde etki ettiği tespit edilmiştir. Birleştirmelerin çekme soyma-ayırma enerjileri ise artan çevre sıcaklığıyla düşerken azalan çevre sıcaklığıyla belirgin bir şekilde iyileşme göstermiştir.

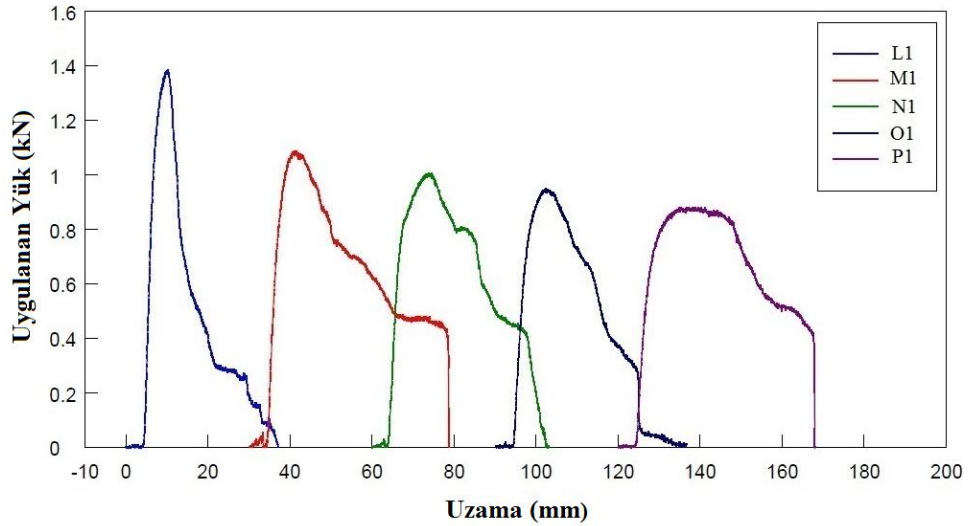
4.6.2. PE80 Doğal Gaz Borularının Çiftli Çekme Soyma-Ayırma Testi

Daha öncede belirtildiği gibi tekli çekme soyma-ayırma testinde kaynak arayüzeyinden ayırma tamamen gerçekleşmediği için PE80 doğalgaz boru

birleştirme tokluğu ve çekme soyma-ayrılma enerjisine çevre sıcaklığı ve ön tav ısı işleminin etkisi araştırılmıştır. Bulgular sırasıyla alt bölümde paylaşılmıştır.

4.6.2.1. Çevre Sıcaklığının PE80 Doğal Gaz Borularının Çiftli Çekme Soyma-Ayrılma Dayanımına Etkisi

Temin edildiği şekliyle farklı çevre sıcaklıklarında birleştirilen PE80 doğal gaz boruların birleştirme tokluğu ve birleştirmeyi ayırmak için çekme soyma-ayrılma enerjisi ve normal soyma-ayrılma enerjisi belirlenmiştir. Farklı çevre sıcaklıklarında birleştirilen PE80 numunelerin çiftli çekme soyma-ayrılma testi ortalama gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri Şekil 4.16'de gösterilmiştir.



Şekil 4.16. Farklı çevre sıcaklıklarında birleştirilen PE80 numunelerin ortalama çiftli çekme soyma-ayrılma grafikleri.

Şekil 4.16'deki grafik verilerinden yararlanarak deney numunelerin ayrılması için uygulanan maksimum yük, F_w , soyma-ayrılma enerjisi, E_p , birleştirme arayüzeyi tokluğu, K , ve normal soyma-ayrılma enerjisi, E_n , hesaplanarak Çizelge 4.14'de verilmiştir.

Çizelge 4.14. Farklı çevre sıcaklığında birleştirilen PE80 doğalgaz borularının çiftli soyma-ayrılma testi verileri.

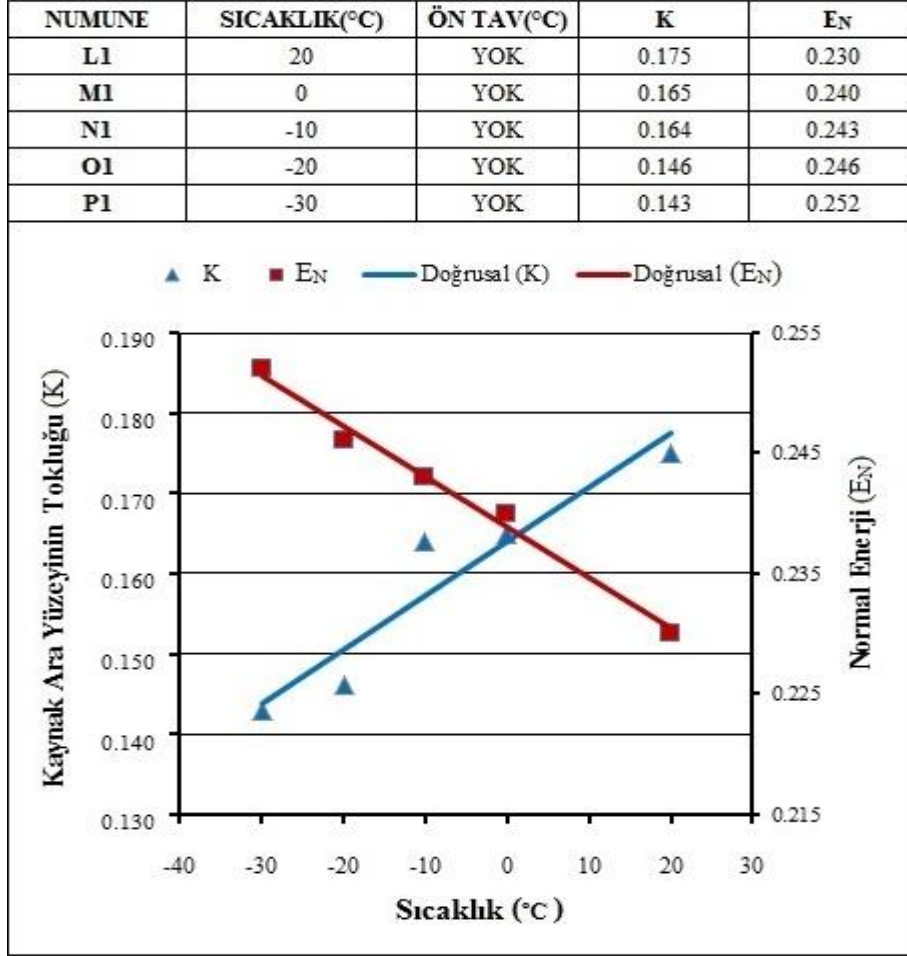
| NUMUNE | L1 | | | |
|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| F_w (kN) | 1.32 | 1.15 | 1.54 | 1.04 |
| E_p | 43.2 | 42.5 | 32.5 | 40.2 |
| d | 0.85 | 0.85 | 0.85 | 0.85 |
| C | 6.75 | 8.58 | 5.57 | 4.82 |
| L | 37.26 | 32.24 | 32.14 | 31.75 |
| B/W | 8.8 | 9.21 | 8.4 | 9.33 |
| n | 17 | 17 | 17 | 16 |
| K | 0.187 | 0.167 | 0.218 | 0.129 |
| K Ortalama | 0.175 | | | |
| E_N | 0.22 | 0.26 | 0.22 | 0.24 |
| E_N Ortalama | 0.23 | | | |
| AYRILMA | G | YS | S | YS |
| NUMUNE | M1 | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| F_w (kN) | 0.74 | 0.73 | 1.12 | 0.72 |
| E_p | 33.12 | 25.68 | 28.64 | 23.45 |
| d | 0.85 | 0.85 | 0.85 | 0.85 |
| C | 8.5 | 9.18 | 7.16 | 8.15 |
| L | 31 | 33 | 31.6 | 30.9 |
| B/W | 6.7 | 6.63 | 6.51 | 6.56 |
| n | 16 | 17 | 17 | 17 |
| K | 0.147 | 0.151 | 0.218 | 0.145 |
| K Ortalama | 0.165 | | | |
| E_N | 0.28 | 0.21 | 0.26 | 0.22 |
| E_N Ortalama | 0.24 | | | |
| AYRILMA | S | S | S | S |
| NUMUNE | N1 | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| F_w (kN) | 1.67 | 0.98 | 0.96 | 1.14 |
| E_p | 63.04 | 30.94 | 38.07 | 39.77 |
| d | 0.85 | 0.85 | 0.85 | 0.85 |
| C | 9.9 | 8.04 | 7.62 | 8.67 |
| L | 31.97 | 32.7 | 32.55 | 30.8 |
| B/W | 10.2 | 9.67 | 10.1 | 9.1 |
| n | 17 | 17 | 17 | 17 |
| K | 0.230 | 0.133 | 0.123 | 0.168 |
| K Ortalama | 0.164 | | | |
| E_N | 0.35 | 0.18 | 0.21 | 0.27 |
| E_N Ortalama | 0.251 | | | |
| AYRILMA | S | S | S | S |
| NUMUNE | O1 | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| F_w (kN) | 0.95 | 1.18 | 1.19 | 1.25 |
| E_p | 69.34 | 35.4 | 40.08 | 38.84 |
| d | 0.85 | 0.85 | 0.85 | 0.85 |
| C | 8.45 | 8.71 | 7 | 7.62 |

| | | | | |
|-------------------------------|-----------|-------|-------|-------|
| L | 34.4 | 31.69 | 35.85 | 33.1 |
| B/W | 9.55 | 10.54 | 11.1 | 9.66 |
| n | 17 | 17 | 17 | 17 |
| K | 0.133 | 0.151 | 0.135 | 0.167 |
| K Ortalama | 0.146 | | | |
| E_N | 0.36 | 0.19 | 0.17 | 0.22 |
| E_N Ortalama | 0.236 | | | |
| AYRILMA | S | S | YS | YS |
| NUMUNE | P1 | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| F_w (kN) | 0.88 | 1.05 | 1.04 | 0.97 |
| E_p | 29.55 | 48.6 | 35.9 | 57.45 |
| d | 0.85 | 0.85 | 0.85 | 0.85 |
| C | 8.5 | 10.64 | 9.68 | 8.19 |
| L | 32.28 | 31.63 | 32.62 | 32.75 |
| B/W | 8.87 | 9.7 | 9.72 | 9.57 |
| n | 17 | 17 | 17 | 17 |
| K | 0.132 | 0.156 | 0.149 | 0.134 |
| K Ortalama | 0.143 | | | |
| E_N | 0.19 | 0.29 | 0.20 | 0.33 |
| E_N Ortalama | 0.252 | | | |
| AYRILMA | YS | YS | YS | S |

Çizelge 4.14'den görüldüğü gibi azalan çevre sıcaklığıyla birlikte birleştirmelerin çekme soyma-ayrılma enerjileri artarken, birleştirme arayüzey tokluğunda genel eğilim olarak azalma tespit edilmiştir. Birleştirmelerin taşıyabileceği maksimum yük artan çevre sıcaklığıyla arttığı belirlenmiştir.

4.6.2.2. Farklı Çevre Sıcaklıklarının PE80 Boruların Birleştirme Tokluğu ve Normal Soyma-Ayrılma Enerjisine Etkisi

Çalışmada farklı çevre sıcaklığında birleştirilen orta yoğunluklu PE80 doğal gaz boru birleştirmelerinin birleştirme tokluğuna ve normal çekme soyma-ayrılma enerjisine çevre sıcaklığının etkisi Çizelge 4.20'deki verilerden yararlanarak Şekil 4.17'de grafiksel olarak özetlenmiştir.

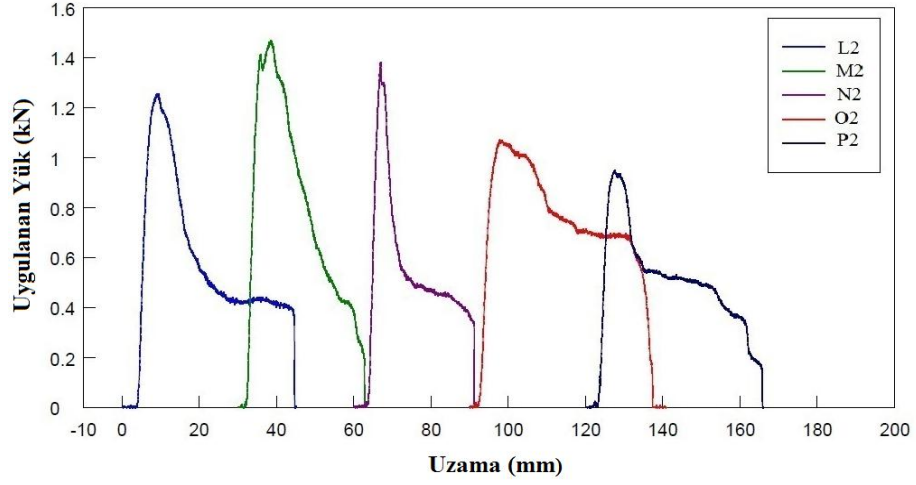


Şekil 4.17. Farklı çevre sıcaklıklarının PE80 borularının birleştirme tokluğu ve normal çekme soyma-ayrılma enerjisine etkisi.

Çizelge 4.17 ve Şekil 4.18’de görüldüğü gibi genel eğim çevre sıcaklığın azalmasıyla OYPE80 birleştirme arayüzey tokluğunda, K, azalma, çekme soyma-ayrılma enerjisi, E_N, değerinde ise bir yükselişin olduğunu göstermektedir.

4.6.2.3. Ön Tav Sıcaklığının PE80 Doğal Gaz Borularının Çiftli Çekme Soyma-Ayrılma Dayanımına Etkisi

Ön tav ısı işlemi uygulandıktan sonra farklı çevre sıcaklıklarında birleştirilen PE80 doğal gaz boruların birleştirme tokluğu ve birleştirmeyi ayırmak için çekme soyma-ayrılma enerjisi ve normal soyma-ayrılma enerjisi belirlenmiştir. Deney numunelerinin ortalama gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri Şekil 4.18’de gösterilmiştir.



Şekil 4.18. Ön tav ısıl işlemi uygulandıktan sonra farklı çevre sıcaklıklarında birleştirilen PE80 numunelerin çiftli çekme soyma-ayrılma grafikleri.

Şekil 4.18'deki grafik verilerinden yararlanarak 80°C sıcaklıkta ön tav ısıl işlemi uygulanan numunelerin ayrılması için uygulanan yük, F_w , soyma-ayrılma enerjisi, E_p , birleştirme arayüzeyi tokluğu, K , ve normal soyma-ayrılma enerjisi, E_N , hesaplanarak Çizelge 4.15'de verilmiştir. Çalışmada ayrıca 80°C sıcaklıkta ön tav ısıl işlemi uygulandıktan sonra farklı çevre sıcaklığında birleştirilen PE80 numunelerin çiftli soyma-ayrılma testi verileri ise Çizelge 4.16'de verilmiştir.

Çizelge 4.15. 60°C ön tav ısıl işlemi uygulandıktan sonra farklı çevre sıcaklığında birleştirilen PE80 borularının çiftli soyma-ayrılma testi verileri.

| NUMUNE | L2 | | | |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| F_w (kN) | 1.07 | 1.09 | 1.62 | 1.24 |
| E_p | 34 | 33.45 | 24.83 | 58.72 |
| C | 5.51 | 7.05 | 4.51 | 9.63 |
| L | 36.57 | 36.4 | 32.8 | 35.58 |
| B/W | 9.24 | 8.25 | 10.43 | 9.5 |
| n | 18 | 17 | 16 | 17 |
| K | 0.138 | 0.167 | 0.177 | 0.182 |
| K Ortalama | 0.166 | | | |
| E_N | 0.17 | 0.18 | 0.12 | 0.29 |
| E_N Ortalama | 0.19 | | | |
| AYRILMA | S | YS | H | YS |
| NUMUNE | M2 | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| F_w (kN) | 1.39 | 1.55 | 1.71 | 1.07 |
| E_p | 56.43 | 34.58 | 34.52 | 29.36 |
| C | 4.65 | 5.72 | 4.75 | 9.4 |

| | | | | |
|-------------------------------|-----------|-------|-------|-------|
| L | 27.17 | 34.16 | 33.75 | 36.95 |
| B/W | 9.98 | 10.4 | 10.39 | 9.45 |
| n | 13 | 17 | 17 | 17 |
| K | 0.160 | 0.179 | 0.189 | 0.156 |
| K Ortalama | 0.171 | | | |
| E_N | 0.35 | 0.17 | 0.17 | 0.14 |
| E_N Ortalama | 0.207 | | | |
| AYRILMA | YS | YS | YS | YS |
| NUMUNE | N2 | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| F_w (kN) | 1.07 | 1.96 | 1.57 | 1.31 |
| E_p | 63.24 | 26.08 | 53.67 | 47.68 |
| C | 5.52 | 3.13 | 3.45 | 5.05 |
| L | 37.75 | 33.35 | 39.38 | 36.5 |
| B/W | 9.66 | 10.14 | 9.7 | 9.45 |
| n | 17 | 16 | 16 | 17 |
| K | 0.132 | 0.207 | 0.176 | 0.162 |
| K Ortalama | 0.169 | | | |
| E_N | 0.28 | 0.13 | 0.21 | 0.23 |
| E_N Ortalama | 0.214 | | | |
| AYRILMA | S | YS | S | YS |
| NUMUNE | O2 | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| F_w (kN) | 1.12 | 1.47 | 0.98 | 1.39 |
| E_p | 25.68 | 44.72 | 66.25 | 52.15 |
| C | 8.5 | 1 | 9.2 | 10.7 |
| L | 34.35 | 29.5 | 39 | 24.37 |
| B/W | 9.52 | 10.56 | 11.45 | 10.11 |
| n | 17 | 14 | 17 | 12 |
| K | 0.157 | 0.134 | 0.117 | 0.199 |
| K Ortalama | 0.152 | | | |
| E_N | 0.14 | 0.24 | 0.24 | 0.36 |
| E_N Ortalama | 0.244 | | | |
| AYRILMA | YS | S | S | YS |
| NUMUNE | P2 | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| F_w (kN) | 1.09 | 0.95 | 0.93 | 0.78 |
| E_p | 38.45 | 27.12 | 16.7 | 26.69 |
| C | 3.2 | 24.3 | 6.3 | 10 |
| L | 17.1 | 18.9 | 34.85 | 33.5 |
| B/W | 9.55 | 8.9 | 9.3 | 9.5 |
| n | 6 | 9 | 17 | 17 |
| K | 0.123 | 0.226 | 0.123 | 0.116 |
| K Ortalama | 0.157 | | | |
| E_N | 0.34 | 0.27 | 0.09 | 0.15 |
| E_N Ortalama | 0.231 | | | |
| AYRILMA | YS | YS | G | YS |

Çizelge 4.16. 80°C ön tav ısıl işlemi uygulandıktan sonra farklı çevre sıcaklığında birleştirilen PE80 borularının çiftli soyma-ayrılma testi verileri.

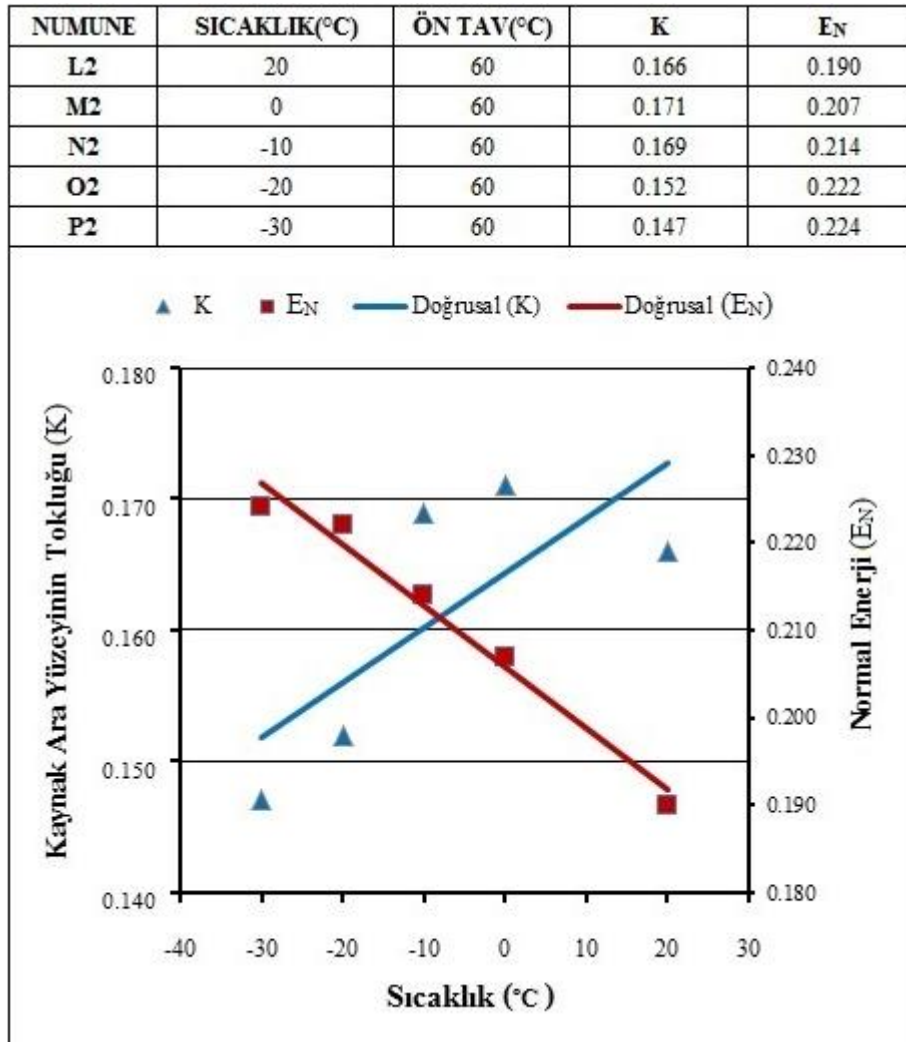
| NUMUNE | N3 | | | |
|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| F_w (kN) | 0.96 | 0.87 | 1.06 | 0.98 |
| E_p | 11.26 | 28.7 | 28.37 | 20.16 |
| C | 3.45 | 30.26 | 3.8 | 5.5 |
| L | 7.95 | 18.37 | 41.05 | 31 |
| B/W | 8.34 | 8.16 | 8.05 | 8.45 |
| n | 3 | 7 | 17 | 16 |
| K | 0.125 | 0.257 | 0.145 | 0.138 |
| K Ortalama | 0.166 | | | |
| E_N | 0.25 | 0.28 | 0.13 | 0.14 |
| E_N Ortalama | 0.201 | | | |
| AYRILMA | S | S | YS | YS |
| NUMUNE | O3 | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| F_w (kN) | 1.55 | 0.75 | 0.81 | 0.82 |
| E_p | 21.44 | 30.92 | 21.89 | 40.04 |
| C | 5.27 | 24 | 11.6 | 5.6 |
| L | 23.36 | 26.81 | 23.7 | 32.37 |
| B/W | 8.45 | 9.6 | 8.4 | 7.94 |
| n | 12 | 10 | 12 | 17 |
| K | 0.216 | 0.164 | 0.144 | 0.123 |
| K Ortalama | 0.162 | | | |
| E_N | 0.19 | 0.18 | 0.19 | 0.28 |
| E_N Ortalama | 0.211 | | | |
| AYRILMA | YS | YS | YS | YS |
| NUMUNE | P3 | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| F_w (kN) | 1.34 | 1.26 | 1.33 | 1.08 |
| E_p | 52.97 | 74.9 | 32.6 | 25.72 |
| C | 5.03 | 5.6 | 7.15 | 8.2 |
| L | 36.32 | 41.5 | 26.1 | 37.6 |
| B/W | 10.37 | 9.8 | 9.41 | 9.3 |
| n | 17 | 17 | 13 | 17 |
| K | 0.150 | 0.153 | 0.179 | 0.153 |
| K Ortalama | 0.159 | | | |
| E_N | 0.23 | 0.28 | 0.23 | 0.12 |
| E_N Ortalama | 0.216 | | | |
| AYRILMA | YS | YS | YS | YS |

Çizelge 4.15 ve 4.16'dan görüldüğü gibi ön tav ısıl işlemi düşük çevre sıcaklıklarında birleştirilen PE80 numunelerin birleştirme tokluğuna olumlu yönde etki ederken, yüksek çevre sıcaklıklarında birleştirilen numunelerin dayanımına olumsuz yönde etki ettiği tespit edilmiştir. Birleştirme çekme soyma-ayrılma enerjisi üzerindeki etkisi yüksek çalışma sıcaklıklarında birleştirilen numunelerin gevrek

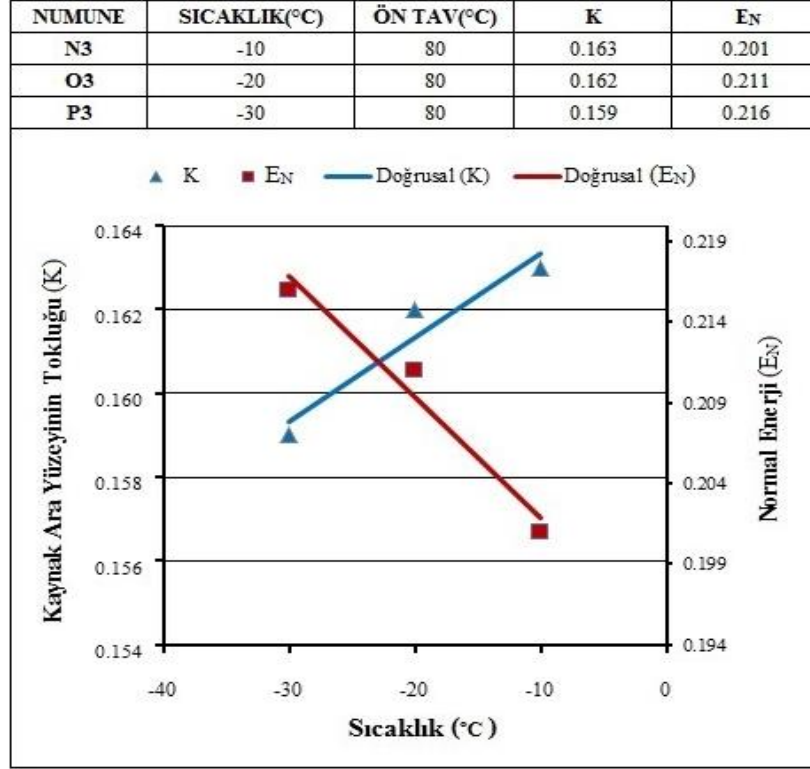
kırılmasına işaret ederken düşük çevre sıcaklıklarında birleştirilen numunelerin sünek kırılma davranışı sergilediklerine işaret etmektedir.

4.6.2.4. Ön Tav Sıcaklıklarının PE80 Boruların Birleştirme Tokluğu ve Normal Soyma-Ayrılma Enerjisine Etkisi

PE80 doğal gaz boru birleştirmelerinin birleştirme tokluğuna ve normal çekme soyma enerjisine 60°C ve 80°C sıcaklıkta uygulanan ön tav ısıl işleminin etkisi Çizelge 4.21 ve 4.22'deki verilerden yararlanarak sırasıyla Şekil 4.19 ve 4.20'de grafiksel olarak özetlenmiştir.



Şekil 4.19. 60°C sıcaklıkta uygulanan ön tav ısıl işleminin PE80 borularının birleştirme tokluğu ve normal çekme soyma-ayrılma enerjisine etkisi.



Şekil 4.20. 80°C sıcaklıkta uygulanan ön tav ısıl işleminin PE80 borularının birleştirme tokluğu ve normal çekme soyma-ayrılma enerjisine etkisi.















Şekil 4.19 ve Şekil 4.20'den görüldüğü gibi oda sıcaklığından 0°C çevre sıcaklığında ön tav ısıl işlemi uygulandıktan sonra birleştirilen numunelerin birleştirme arayüzey tokluğunda artış görülürken, diğer çevre sıcaklıklarında azalma tespit edilmiştir. Bunun tersi olarakta 0°C çevre sıcaklığında 80°C sıcaklıkta ön tav ısıl işlemi uygulandıktan sonra birleştirilen numunelerin ayrılma enerjilerinde oda sıcaklığına göre azalma ancak diğer çevre sıcaklıklarında artış görülmektedir. Ancak 60°C ön tav ısıl işlemi uygulandıktan sonra tüm çevre sıcaklığında birleştirilen numunelerin soyma-ayrılma enerjilerinde artış tespit edilmiştir.

4.6.3. PE100 ve PE80 Birleştirmeleri Çekme Soyma-Ayrılma Test Numunelerinin Ayrılma Yüzeylerinin İncelenmesi

Çekme soyma-ayrılma testinde ayrılma yüzeyleri çevre sıcaklığı ve ön tavlama koşullarına bağlı olarak değişim göstermektedir. Çalışmada PE100 ve PE80 doğal gaz birleştirmelerinden oda sıcaklığı, 0°C ve -30°C çevre sıcaklıklarında ve temin edildiği şekliyle 60°C ve 80°C sıcaklıkta ön tav ısıl işlemi uygulanmış şekliyle

birleştirilen numunelerin ayrılma yüzey görüntüleri Çizelge 4.17’de örnek olarak gösterilmiştir.

Çizelge 4.17. Çekme soyma-ayırma testinde ayrılma yüzeyleri çevre sıcaklığı ve ön tavlama koşullarına bağlı olarak değişimi.

| SICAKLIK | Malzeme | Temin edildiği şekliyle | 60°C | 80°C |
|---------------|---------|---|--|---|
| Oda Sıcaklığı | PE 100 |  |  | - |
| | PE 80 |  |  | - |
| 0°C | PE 100 |  |  | - |
| | PE 80 |  |  | - |
| -30°C | PE 100 |  |  |  |
| | PE 80 |  |  |  |

Çizelge 4.17’den görüldüğü gibi artan çevre sıcaklığı ile birlikte ayrılma yüzeyi daha gevrek ve düz bir yüzey sergilerken, düşük çevre sıcaklıklardaki yüzey daha lifli ve girintili çıkıntılı sünek ayrılma yüzeyi göstermektedir. Ön tav ısıl işlemi yüksek çevre sıcaklıklarında birleştirilen numunelerin direnç tellerinin etrafındaki yapının yüksek ısıdan bozulmasından dolayı ayrılma yüzeylerinde daha gevrek ayrılma biçimi oluştururken düşük çevre sıcaklıklarında birleştirilenlerde ise kristalin miktarında artış oluşturması sebebiyle gevrek bir ayrılma biçimi oluşturduğu tespit edilmiştir. Bu değişim YYPE100 birleştirmelerinde OYPE80 birleştirmelerine oranla daha belirgindir. Bu durum YYPE100 birleştirmelerinde daha fazla kristalin oluştuğuna işaret etmektedir.

4.7. KAYNAKLI BORULARA UYGULANAN İZOD DARBE TESTİ

Deneysel metod bölümünde de belirtildiği gibi ani bir kuvvet etkisi altında kalan doğal gaz borularının dayanımı izod darbe testi ile belirlenir. Bu amaçla temin edildiği şekliyle farklı çevre sıcaklıklarında ve ön tav uygulandıktan sonra belirlenen çevre sıcaklıklarında birleştirilen PE100 ve PE80 doğal gaz borularından elde edilen deney numunelerine oda sıcaklığında izod darbe testi uygulanmıştır.

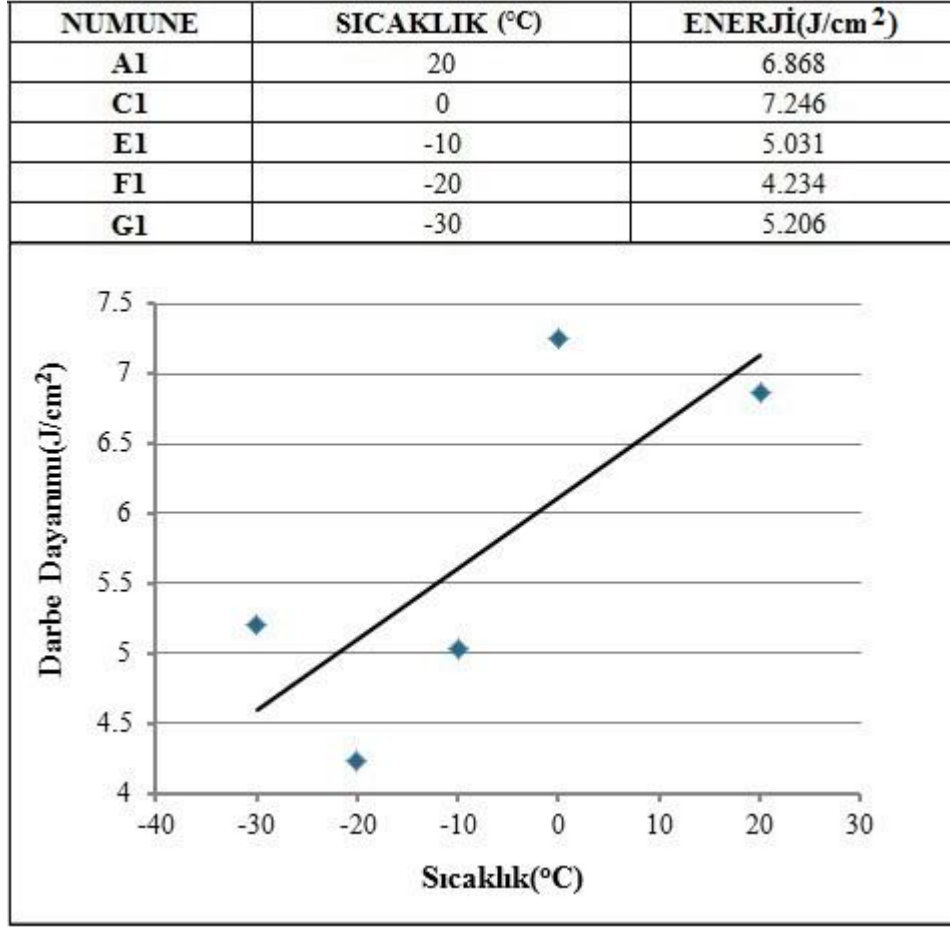
4.7.1. Çevre Sıcaklığının PE100 Birleştirmelerinin Darbe Dayanımına Etkisi

Çalışmada farklı çevre sıcaklığında birleştirilen PE100 doğal gaz boru kaynaklı birleştirmelerinin izod darbe deney sonucu Çizelge 4.18’de verilmiştir. Çizelge 4.18’den görüldüğü gibi oda sıcaklığında test edilen numunelerin darbe emme enerjisi kesit alanına oranlanarak darbe dayanımı (J/cm^2) cinsinden hesap edilmiştir.

Çizelge 4.18. PE100 doğal gaz borularının İzod darbe deneyi verileri.

| Numune | Yükseklik (mm) | Genişlik (mm) | Çentik (mm) | Enerji | Alan (cm^2) | Enerji/Alan (J/cm^2) | Ortalama |
|--------|----------------|---------------|-------------|--------|-----------------|--------------------------|----------|
| A1 | 1 | 12.65 | 12.98 | 10.68 | 9.9 | 1.386 | 7.141 |
| | 2 | 12.59 | 12.98 | 10.94 | 10.5 | 1.42 | 7.394 |
| | 3 | 13.05 | 12.68 | 10.81 | 8.9 | 1.371 | 6.493 |
| | 4 | 12.75 | 12.85 | 10.64 | 8.7 | 1.367 | 6.363 |
| C1 | 1 | 12.6 | 12.84 | 10.55 | 9.9 | 1.355 | 7.308 |
| | 2 | 12.95 | 12.9 | 10.04 | 9.7 | 1.295 | 7.489 |
| | 3 | 12.12 | 13.2 | 9.95 | 9.2 | 1.313 | 7.005 |
| | 4 | 12.26 | 12.96 | 10.22 | 9.5 | 1.325 | 7.18 |
| E1 | 1 | 12.91 | 12.54 | 10.36 | 6.7 | 1.299 | 5.157 |
| | 2 | 12.75 | 13.15 | 10.46 | 6.3 | 1.375 | 4.58 |
| | 3 | 12.48 | 13.42 | 10.3 | 7.4 | 1.382 | 5.354 |
| | 4 | 12.91 | 13.3 | 10.01 | 6.7 | 1.331 | 5.033 |
| F1 | 1 | 12.78 | 12.99 | 10.33 | 5.9 | 1.342 | 4.397 |
| | 2 | 13.1 | 12.82 | 10.53 | 5.3 | 1.35 | 3.926 |
| | 3 | 12.62 | 13.01 | 10.46 | 6.1 | 1.361 | 4.483 |
| | 4 | 13.11 | 13.2 | 10.45 | 5.7 | 1.379 | 4.132 |
| G1 | 1 | 13.07 | 13.25 | 10.61 | 10 | 1.406 | 7.113 |
| | 2 | 12.95 | 12.96 | 10.7 | 6.6 | 1.387 | 4.759 |
| | 3 | 12.74 | 12.84 | 10.34 | 6.6 | 1.328 | 4.971 |
| | 4 | 12.76 | 12.58 | 10.79 | 5.4 | 1.357 | 3.978 |

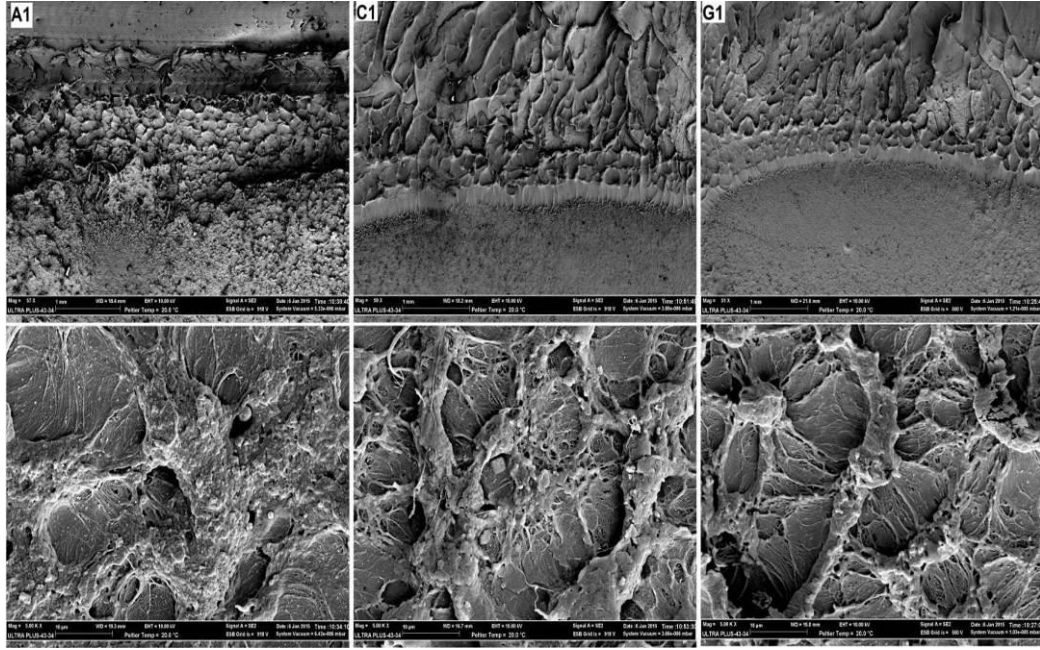
Çizelge 4.18’deki verilerden yararlanarak çevre sıcaklığının PE100 doğal gaz borularının izod darbe dayanımına etkisi grafiksel olarak Şekil 4.21’de gösterilmiştir.



Şekil 4.21. Çevre sıcaklığının PE100 doğal gaz boruların darbe dayanımına etkisi.

Şekil 4.21’de grafiksel olarak gösterilen farklı çevre sıcaklıklarının PE100 doğal gaz boru birleştirmelerinin darbe dayanımına etkisini göstermektedir. Sonuçlar deney numunelerinin kaynaklı birleştirmesinin darbe dayanımının azalan çevre sıcaklığından olumsuz olarak etkilendiğine işaret etmektedir. En yüksek darbe dayanımı 0°C çevre sıcaklığında birleştirilen numunede tespit edilirken, en düşük darbe dayanımı -20°C çevre sıcaklığında birleştirilen numunede tespit edilmiştir. Ancak genel eğilim azalan çevre sıcaklığıyla deney numunelerinin darbe dayanımının azalması yönündedir.

Çalışmada ayrıca oda sıcaklığında, 0°C ve -30°C çevre sıcaklıklarında birleştirilen PE100 doğalgaz borularının oda sıcaklığında test edilen izod darbe deneyi numunelerinin kırılma yüzeyi SEM mikroskobu ile incelenmiştir. Kırık yüzey görüntüleri Şekil 4.22’de gösterilmiştir.



Şekil 4.22. Oda sıcaklığında, 0°C ve -30°C çevre sıcaklıklarında birleştirilen PE100 doğalgaz borularının izod darbe numunelerinin kırılma yüzeyi.

Şekil 4.22'den görüldüğü gibi oda sıcaklığında birleştirilen kaynaklı numunenin yapısındaki daha fazla kristalin miktarına bağlı olarak gevrek kırılma davranışıyla kopmanın meydana geldiğine işaret etmektedir. Azalan çevre sıcaklığıyla kaynak bölgesinin yapısındaki kristalin miktarının azalmasına bağlı olarak, diğer bir ifadeyle bölgedeki artan amorf yapı miktarıyla ilişkili olarak daha sünek bir kırılma davranışıyla kırılmanın gerçekleştiği görülmektedir. Bu durum düşük çevre sıcaklıklarında birleştirilen numunenin kristalin çekirdeklenme sayısının artmasına bağlı olarak kristalin sayısının artmasına neden olurken onu çevreleyen amorf bölge miktarının artmasına fakat amorf katman kalınlığının incelmeye neden olarak darbe etkisini yeterince absorbe edemez duruma getirdiği düşünülmektedir.

4.7.2. Ön Tav Sıcaklığının PE100 Doğal Gaz Borularının İzod Darbe Dayanımına Etkisi

Çalışmada 60°C ve 80°C iki farklı sıcaklıkta ön tav ısıl işlemi uygulandıktan sonra farklı çevre sıcaklıklarında birleştirilen PE100 doğal gaz boru kaynaklı

birleştirmelerinin izod darbe deney sonucu sırasıyla Çizelge 4.19' ve 4.20'de verilmiştir.

Çizelge 4.19. 60°C ön tav ısıl işlemleri uygulandıktan sonra farklı çevre sıcaklıklarında birleştirilen PE100 doğal gaz borularının İzod darbe deneyi verileri.

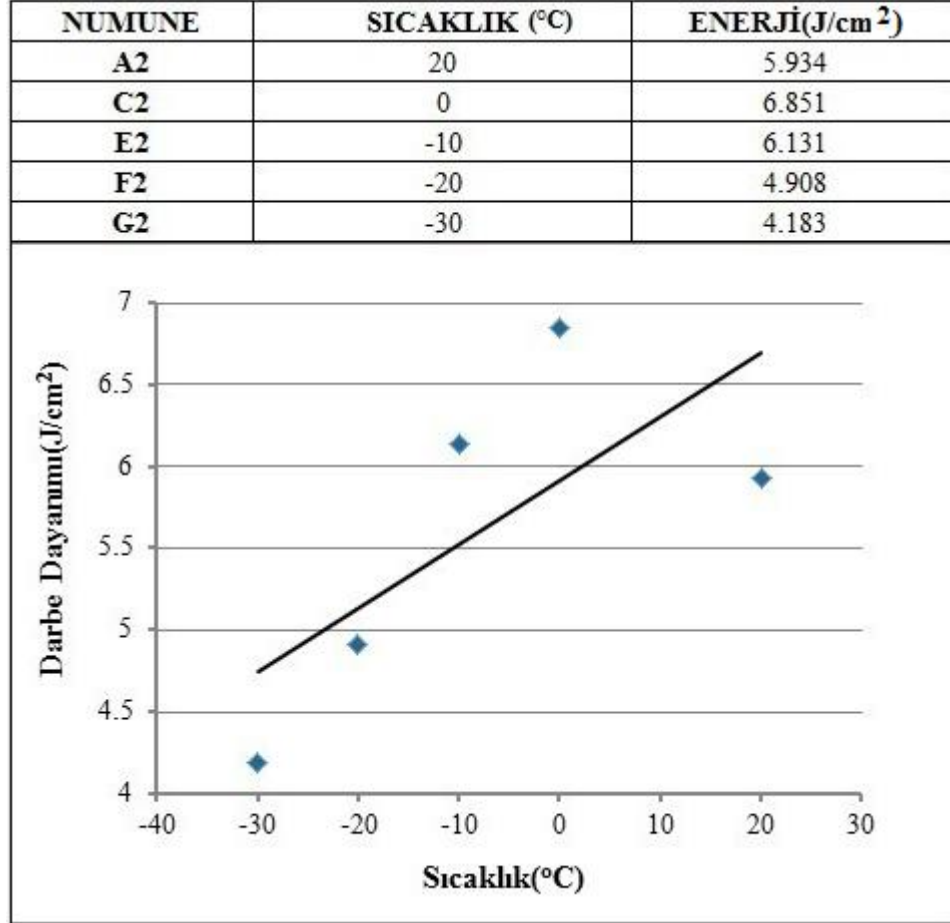
| Numune | Yükseklik (mm) | Genişlik (mm) | Çentik (mm) | Enerji | Alan (cm ²) | Enerji/Alan (J/cm ²) | Ortalama |
|--------|----------------|---------------|-------------|--------|-------------------------|----------------------------------|----------|
| A2 | 1 | 13.05 | 13.49 | 10.74 | 8.2 | 1.449 | 5.66 |
| | 2 | 12.79 | 13.07 | 10.6 | 8 | 1.385 | 5.774 |
| | 3 | 13.07 | 13.37 | 10.7 | 9.2 | 1.431 | 6.431 |
| | 4 | 13.05 | 13.42 | 10.66 | 8.4 | 1.431 | 5.872 |
| C2 | 1 | 12.78 | 12.85 | 10.88 | 9.3 | 1.398 | 6.652 |
| | 2 | 13.02 | 13 | 10.51 | 9.2 | 1.366 | 6.734 |
| | 3 | 12.67 | 12.53 | 10.69 | 9.2 | 1.339 | 6.868 |
| | 4 | 12.65 | 12.59 | 11 | 9.9 | 1.385 | 7.149 |
| E2 | 1 | 12.74 | 12.99 | 10.47 | 7.7 | 1.36 | 5.662 |
| | 2 | 12.55 | 12.96 | 10.39 | 8.3 | 1.347 | 6.164 |
| | 3 | 12.49 | 12.95 | 10.29 | 8.4 | 1.333 | 6.304 |
| | 4 | 13.02 | 12.5 | 10.26 | 8.2 | 1.283 | 6.394 |
| F2 | 1 | 12.74 | 12.94 | 10.27 | 5.3 | 1.329 | 3.988 |
| | 2 | 12.9 | 13.6 | 10.3 | 6.9 | 1.401 | 4.926 |
| | 3 | 12.31 | 13 | 10.51 | 7.3 | 1.366 | 5.343 |
| | 4 | 12.98 | 12.68 | 10.71 | 7.3 | 1.358 | 5.375 |
| G2 | 1 | 12.5 | 12.69 | 10.7 | 5.4 | 1.358 | 3.977 |
| | 2 | 12.79 | 12.9 | 10.65 | 5.9 | 1.374 | 4.295 |
| | 3 | 12.68 | 13.21 | 10.71 | 6.3 | 1.415 | 4.453 |
| | 4 | 12.42 | 13.01 | 10.36 | 5.4 | 1.348 | 4.006 |

Çizelge 4.20. 80°C ön tav ısıl işlemleri uygulandıktan sonra farklı çevre sıcaklıklarında birleştirilen PE100 doğal gaz borularının İzod darbe deneyi verileri.

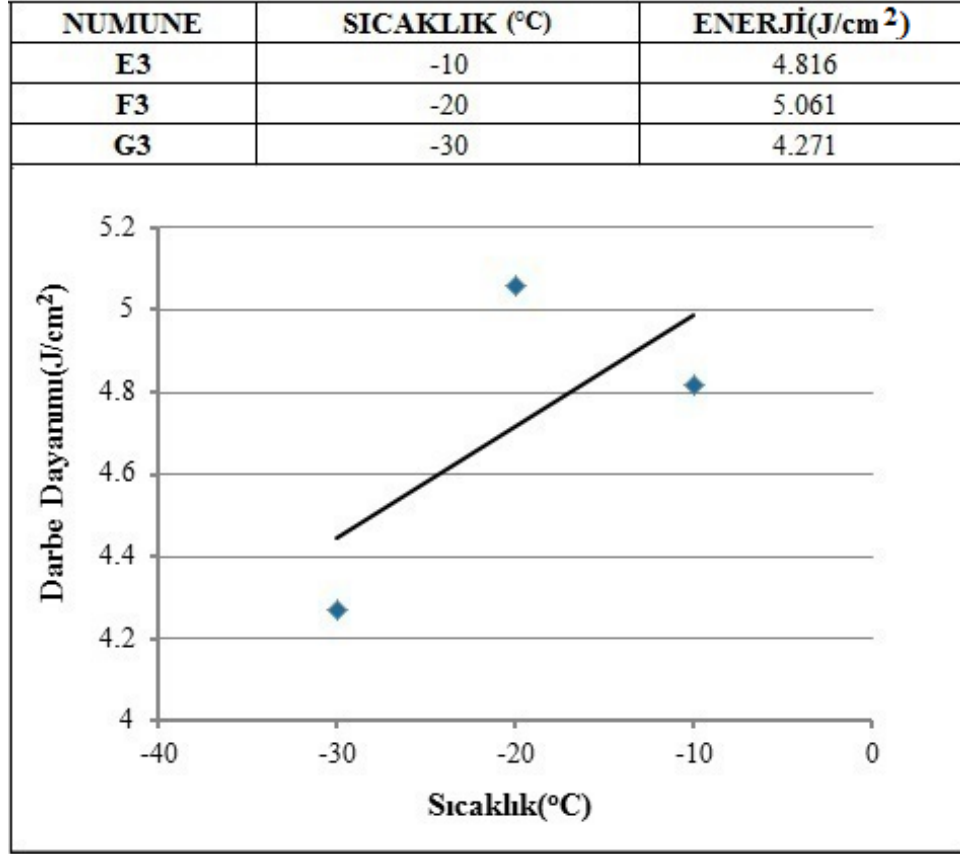
| Numune | Yükseklik (mm) | Genişlik (mm) | Çentik (mm) | Enerji | Alan (cm ²) | Enerji/Alan (J/cm ²) | Ortalama |
|--------|----------------|---------------|-------------|--------|-------------------------|----------------------------------|----------|
| E3 | 1 | 13 | 12.78 | 10.5 | 6.7 | 1.342 | 4.993 |
| | 2 | 12.62 | 12.91 | 10.48 | 6 | 1.353 | 4.435 |
| | 3 | 12.93 | 12.94 | 10.29 | 6.4 | 1.332 | 4.807 |
| | 4 | 12.98 | 12.78 | 10.42 | 6.7 | 1.332 | 5.031 |
| F3 | 1 | 13.6 | 13.08 | 10.49 | 7.8 | 1.372 | 5.685 |
| | 2 | 13.21 | 13.54 | 10.07 | 6.9 | 1.363 | 5.061 |
| | 3 | 12.92 | 13.05 | 10.8 | 6.5 | 1.409 | 4.612 |
| | 4 | 12.77 | 13.33 | 10.13 | 6.6 | 1.35 | 4.888 |
| G3 | 1 | 12.8 | 12.74 | 10.64 | 6.2 | 1.356 | 4.574 |
| | 2 | 13.16 | 13.37 | 10.82 | 6.7 | 1.447 | 4.631 |
| | 3 | 12.75 | 13.13 | 10.3 | 5.6 | 1.352 | 4.141 |
| | 4 | 12.98 | 12.85 | 10.41 | 5 | 1.338 | 3.738 |

Çizelge 4.19 ve 4.20'deki verilerden yararlanarak 60°C ve 80°C sıcaklıklarda uygulanan ön tav ısıl işleminin PE100 doğal gaz borularının izod darbe dayanımına

etkisi grafiksel olarak sırasıyla Şekil 4.23 ve Şekil 4.24’de gösterilmiştir. 80°C ön tav sıcaklığı yalnızca -30°C, -20°C ve -10°C çevre sıcaklığında birleştirilen numunelere uygulanmıştır.



Şekil 4.23. Kaynak öncesi 60°C sıcaklıkta uygulanan ön tav ısıl işleminin farklı çevre sıcaklıklarında birleştirilen numunelerin izod darbe dayanımına etkisi.

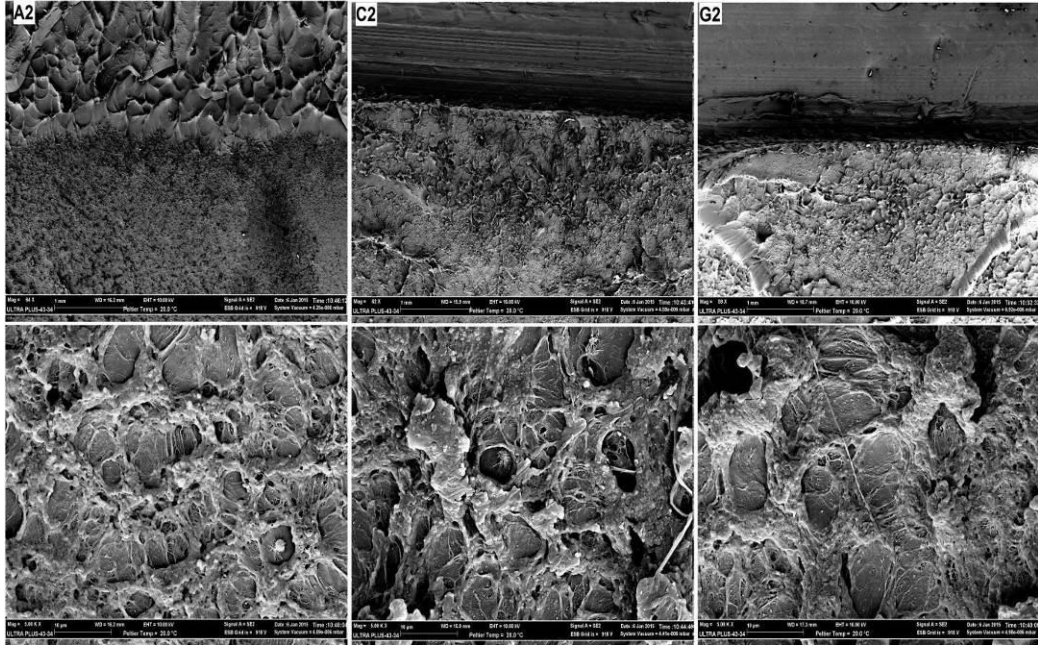


Şekil 4.24. Kaynak öncesi 80°C sıcaklıkta uygulanan ön tav ısıl işleminin farklı çevre sıcaklıklarında birleştirilen numunelerin izod darbe dayanımına etkisi.

60°C sıcaklıkta ön tav ısıl işleminden sonra belirlenen farklı çevre sıcaklıklarında birleştirilen kaynaklı deney numunelerinin darbe dayanımı azalan çevre sıcaklığından olumsuz olarak etkilendiğine işaret etmektedir (Şekil 4.23). En yüksek darbe dayanımı 0°C çevre sıcaklığında birleştirilen numunede tespit edilirken, en düşük darbe dayanımı -30°C çevre sıcaklığında birleştirilen numunede tespit edilmiştir. Genel eğilim azalan çevre sıcaklığıyla deney numunelerinin darbe dayanımının azalması yönündedir. Ancak sonuçlar ön tav ısıl işleminin düşük çevre sıcaklıklarında birleştirilen numunelerin darbe dayanımına etkisi belirgin olmasada artan kristalin miktarının birleştirmenin arayüzey tokluğunu olumlu yönde etkilemesinin sebebi olduğu düşünülmektedir. Ön tav uygulanmış numunelerin darbe dayanımının ön tav uygulanmamış numunelere göre daha düşük bulunmasının sebebidir kristalinler arasındaki amorf bölge katmanının daha ince oluşmasıyla ilişkili olduğu düşünülmektedir.

Çalışmada ayrıca -10°C , -20°C ve -30°C düşük çevre sıcaklıklarında birleştirilen numunelere ön tav ısıl işleminin etkisini daha iyi belirleyebilmek amacıyla kaynak öncesi 80°C sıcaklıkta ön tav uygulanan numunelerin darbe dayanımlarının gösterildiği Şekil 4.24'de grafik artan ön tav sıcaklığının PE100 kaynaklı birleştirmelerin tokluğu üzerinde çok belirgin etkisi tespit edilememiştir. Bunda yapıdaki artan kristalin miktarı etkili olduğu düşünülmektedir. İzod darbe numunelerinin hazırlanması açısından numune boru ve manşon ana malzemesinin yanısıra kaynak bölgesini kapsamaktadır. Ön tav ısıl işlemi esnasında boru ve manşon ana malzemesi kristalin miktarında belirgin bir değişim oluşmazken, kaynak arayüzey kristalin miktarı artan ön tav sıcaklığıyla arttığı için toklukta düşme ancak birleştirme arayüzey dayanımında ise artışa sebep olduğuna inanılmaktadır. Ancak çentik açısının etkisinde burada göz ardı edilmemelidir.

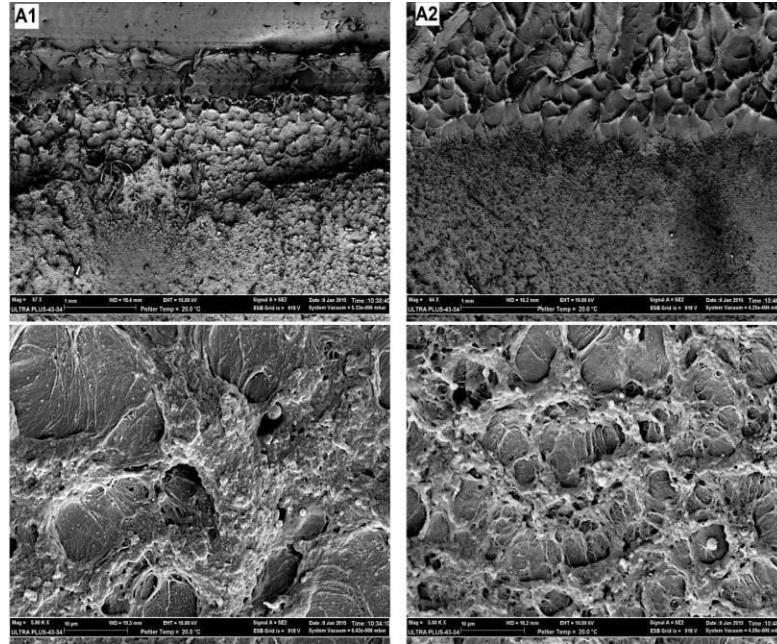
Çalışmada 60°C sıcaklıkta ön tav uygulandıktan sonra oda sıcaklığında, 0°C ve -30°C çevre sıcaklıklarında birleştirilen PE100 doğalgaz borularının izod darbe deneyi numunelerinin kırılma yüzeyi SEM mikroskopuyla incelenmiştir. Kırık yüzey görüntüleri sırasıyla Şekil 4.25 gösterilmiştir.



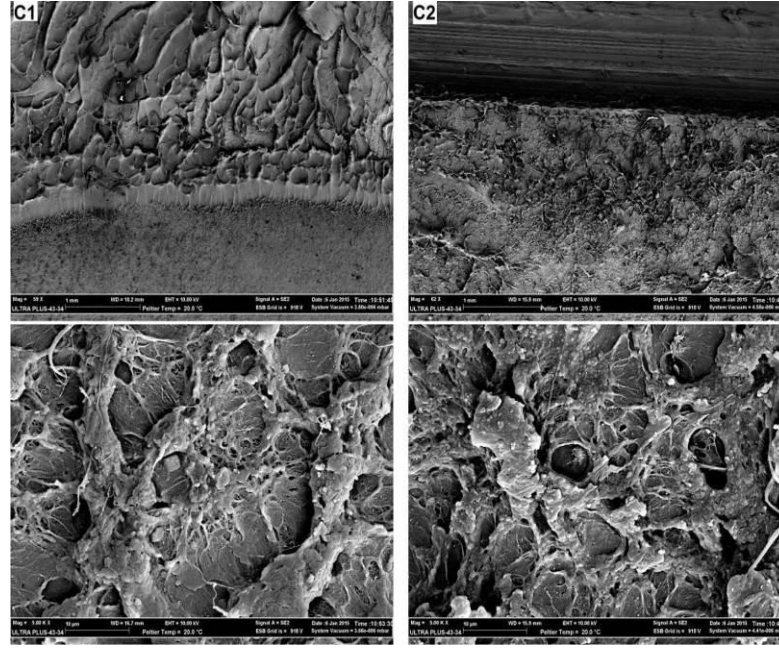
Şekil 4.25. 60°C sıcaklıkta ön tav ısıl işlemi uygulandıktan sonra oda sıcaklığında, 0°C ve -30°C çevre sıcaklıklarında birleştirilen PE100 doğalgaz borularının izod darbe numunelerinin kırılma yüzeyi.

Ayrıca çalışmada oda sıcaklığı ve 0°C çevre sıcaklığında temin edildiği şekliyle ve 60°C sıcaklıkta ön tav ısıl işlemi uygulandıktan sonra birleştirilen PE100 doğalgaz borularının izod darbe numunelerinin kırılma yüzeyi Şekil 4.26 ve 4.27’de gösterilmiştir.

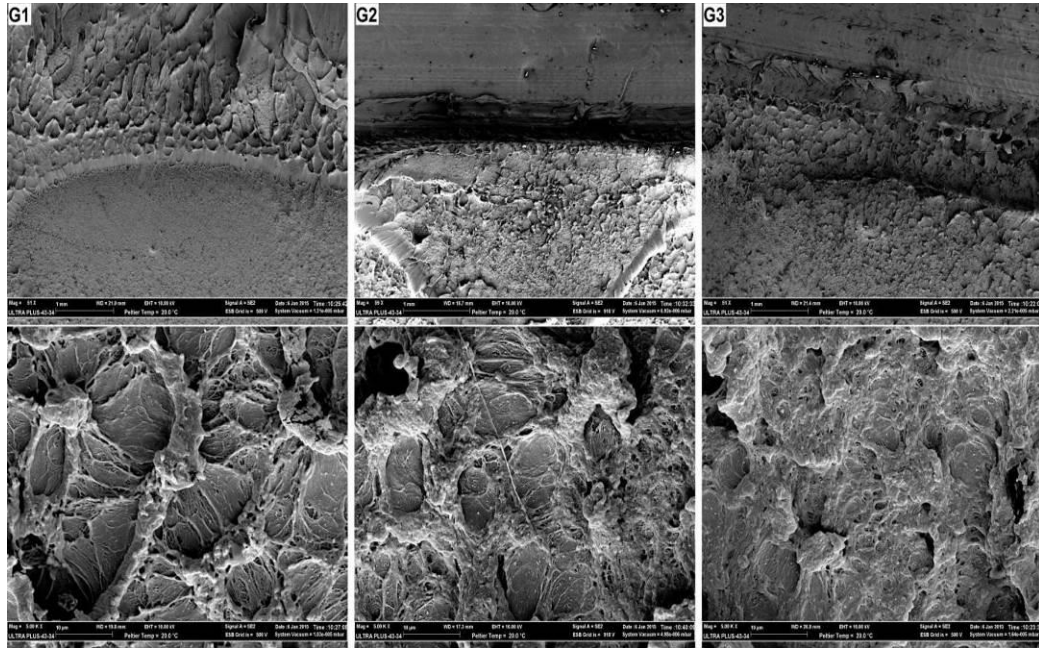
Çalışmada -30°C çevre sıcaklığında birleştirilen numunelere artan ön tav sıcaklığının etkisinde araştırılmıştır. Bu amaçla 60°C ve 80°C sıcaklıkta ön tav ısıl işlemi uygulandıktan sonra -30°C çevre sıcaklığında birleştirilen PE100 doğalgaz boru izod darbe deney numuneleri kırılma yüzeyi ise 4.28’de gösterilmiştir.



Şekil 4.26. Oda sıcaklığında temin edildiği şekliyle ve ön tav ısıl işlemi uygulandıktan sonra birleştirilen PE100 doğalgaz borularının izod darbe numunelerinin kırılma yüzeyi.



Şekil 4.27. 0°C çevre sıcaklığında temin edildiği şekliyle ve ön tav ısıl işlemi uygulandıktan sonra birleştirilen PE100 doğalgaz borularının izod darbe numunelerinin kırılma yüzeyi.



Şekil 4.28. -30°C çevre sıcaklığında temin edildiği şekliyle ve 60°C ve 80°C sıcaklıkta ön tav ısıl işlemi uygulandıktan sonra birleştirilen PE100 doğalgaz borularının izod darbe numunelerinin kırılma yüzeyi.

Şekil 4.25-4.28'dan görüldüğü gibi, ön tav ısıl işlemi uygulandıktan sonra oda sıcaklığında birleştirilen kaynaklı numunenin yapısındaki daha fazla kristalin

miktarına bağlı olarak genel olarak daha gevrek kırılma davranışıyla kırılma gerçekleşmiştir. Azalan çevre sıcaklığıyla kaynak bölgesinin yapısındaki kristalin miktarının azalmasına bağlı olarak, diğer bir ifadeyle bölgedeki daha fazla amorf yapı miktarıyla ilişkili sünek bir kırılma gerçekleştiği görülmektedir.

Şekil 4.27-4.29'den görüldüğü gibi artan ön tav sıcaklığı -30°C çevre sıcaklığında birleştirilen numunelerin kristalin miktarında azda olsa bir artış sağlamıştır. Ayrıca ön tav ısıtma işlemi uygulanan numunelerin amorf bölge ile kristalin arayüzeyinde çatlak olduğu düşünülen oluşumlar göze çarpmaktadır.

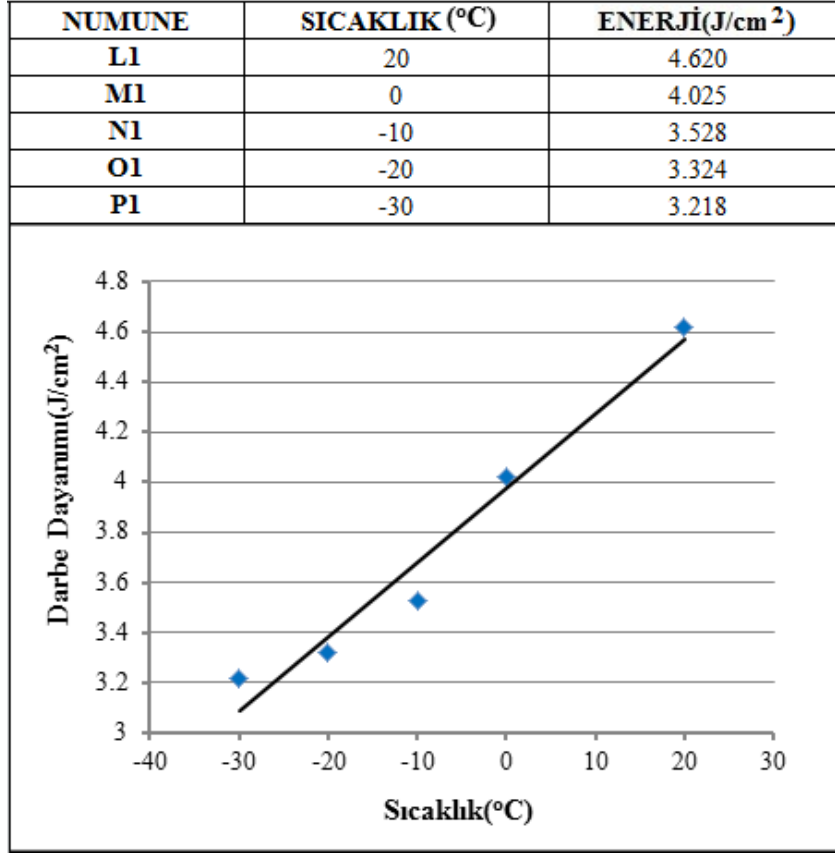
4.7.3. Çevre Sıcaklığının PE80 Birleştirmelerinin Darbe Dayanımına Etkisi

Çalışmada farklı çevre sıcaklığında birleştirilen PE80 doğal gaz boru kaynaklı birleştirmelerinin izod darbe deney sonucu ise Çizelge 4.21'de verilmiştir.

Çizelge 4.21. PE80 doğal gaz borularının İzod darbe deneyi verileri.

| Numune | Yükseklik | Genişlik | Çentik | Enerji | Alan (cm ²) | Enerji/Alan (J/cm ²) | Ortalama |
|--------|-----------|----------|--------|--------|-------------------------|----------------------------------|----------|
| L1 | 1 | 12.86 | 12.77 | 10.5 | 6.5 | 1.341 | 4.848 |
| | 2 | 13.04 | 12.77 | 10.6 | 6.3 | 1.354 | 4.654 |
| | 3 | 11.98 | 12.58 | 10.72 | 6.3 | 1.349 | 4.672 |
| | 4 | 10.25 | 13.12 | 8.85 | 5.0 | 1.161 | 4.306 |
| M1 | 1 | 12.86 | 12.65 | 10.6 | 6.4 | 1.341 | 4.773 |
| | 2 | 12.71 | 13.05 | 10.75 | 5.4 | 1.403 | 3.849 |
| | 3 | 12.45 | 12.65 | 11.22 | 6.0 | 1.417 | 4.235 |
| | 4 | 12.62 | 12.4 | 10.94 | 4.4 | 1.357 | 3.243 |
| N1 | 1 | 12.9 | 12.56 | 10.83 | 5.0 | 1.360 | 3.676 |
| | 2 | 12.76 | 12.72 | 10.83 | 4.6 | 1.378 | 3.339 |
| | 3 | 12.8 | 12.55 | 10.8 | 4.8 | 1.355 | 3.541 |
| | 4 | 12.95 | 12.7 | 11.3 | 5.1 | 1.435 | 3.554 |
| O1 | 1 | 12.77 | 12.6 | 10.7 | 5 | 1.348 | 3.709 |
| | 2 | 13.2 | 12.63 | 11.41 | 4.5 | 1.441 | 3.123 |
| | 3 | 13.25 | 12.62 | 11.17 | 4.9 | 1.440 | 3.403 |
| | 4 | 12.35 | 12.67 | 11.08 | 4.3 | 1.404 | 3.063 |
| P1 | 1 | 12.82 | 12.6 | 11.6 | 4.8 | 1.462 | 3.284 |
| | 2 | 12.66 | 12.94 | 11.14 | 4.6 | 1.442 | 3.191 |
| | 3 | 12.5 | 12.72 | 11.05 | 4.6 | 1.406 | 3.273 |
| | 4 | 12.76 | 12.86 | 11.2 | 4.5 | 1.440 | 3.124 |

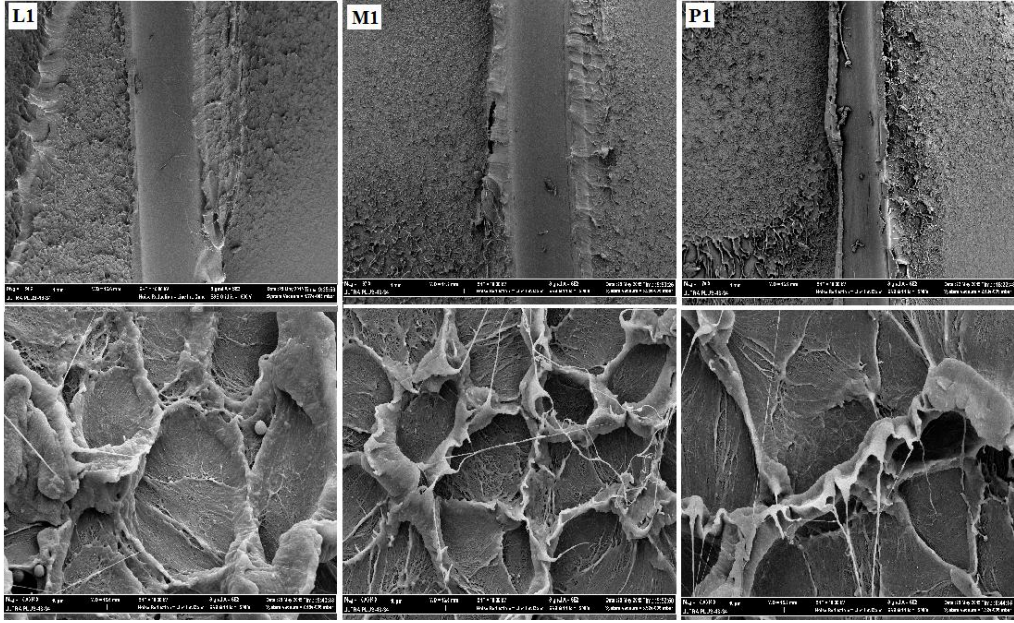
Çizelge 4.21'deki verilerden yararlanarak çevre sıcaklığının PE80 doğal gaz borularının izod darbe dayanımına etkisi grafiksel olarak Şekil 4.29'de gösterilmiştir.



Şekil 4.29. Çevre sıcaklığının PE80 doğal gaz borularının darbe dayanımına etkisi.

Şekil 4.29'dan görüldüğü gibi deney numunelerinin darbe dayanımının azalan çevre sıcaklığından olumsuz olarak etkilendiğine işaret etmektedir. En yüksek darbe dayanımı oda sıcaklığında birleştirilen numunede tespit edilirken, en düşük darbe dayanımı ise -30°C çevre sıcaklığında birleştirilen numunede tespit edilmiştir. Genel eğilim azalan çevre sıcaklığıyla deney numunelerinin darbe dayanımının azalması yönündedir. Bu durum PE80 borunun özellikleri ve yapısıyla ilişkili olduğu düşünülmektedir. Çentik açısında sonuçlar üzerinde etkili olan bir diğer parametre olarak düşünülebilir.

Çalışmada oda sıcaklığında, 0°C ve -30°C çevre sıcaklıklarında birleştirilen PE80 doğalgaz borularının darbe deneyi numunelerinin kırılma yüzeyi SEM mikroskobu ile incelenmiştir. Kırık yüzey görüntüleri Şekil 4.30'de gösterilmiştir.



Şekil 4.30. Oda sıcaklığında, 0°C ve -30°C çevre sıcaklıklarında birleştirilen PE80 doğalgaz borularının izod darbe numunelerinin kırılma yüzeyi.

Şekil 4.30'den görüldüğü gibi oda sıcaklığında birleştirilen numunenin kaynak bölgesindeki daha fazla kristalin miktarına bağlı olarak gevrek kırılma davranışıyla kopmanın meydana geldiğine işaret etmektedir. Azalan çevre sıcaklığıyla kaynak bölgesinin yapısındaki kristalin miktarı azalmasına bağlı olarak daha sünek bir kırılma davranışıyla kırılmanın gerçekleştiği görülmektedir. Amorf bölgedeki lif şeklindeki uzamalar numunelerin sünekliğinin göstergesidir. Darbe dayanımının sünek malzemelerde daha düşük bulunmasının sebebi numuneyi kırmak için açılan çentik açısıyla alakalı olabilir. Ayrıca yüksek çevre sıcaklıklarında birleştirilen numunelerin yapısındaki amorf bölge ile çevrelenmiş sert kristalin etki eden darbe kuvvetini daha fazla absorbe etmesinden dolayı darbe dayanımının daha yüksek bulunmasına neden olabilir.

4.7.4. Ön Tav Sıcaklığının PE80 Doğal Gaz Borularının İzod Darbe Dayanımına Etkisi

Çalışmada 60°C ve 80°C olmak üzere iki farklı sıcaklıkta ön tav ısıl işlemi uygulandıktan sonra farklı çevre sıcaklıklarında birleştirilen PE80 kaynaklı birleştirmelerinin izod darbe deney sonucu sırasıyla Çizelge 4.22 ve 4.23'de verilmiştir. Daha öncede belirtildiği gibi 80°C sıcaklıkta ön tav ısıl işlemi -10 °C,

-20 °C ve -30 °C çevre sıcaklıklarında birleştirilen numunelere uygulandığı için burada yalnızca bu çevre sıcaklıkları verileri kullanılmıştır.

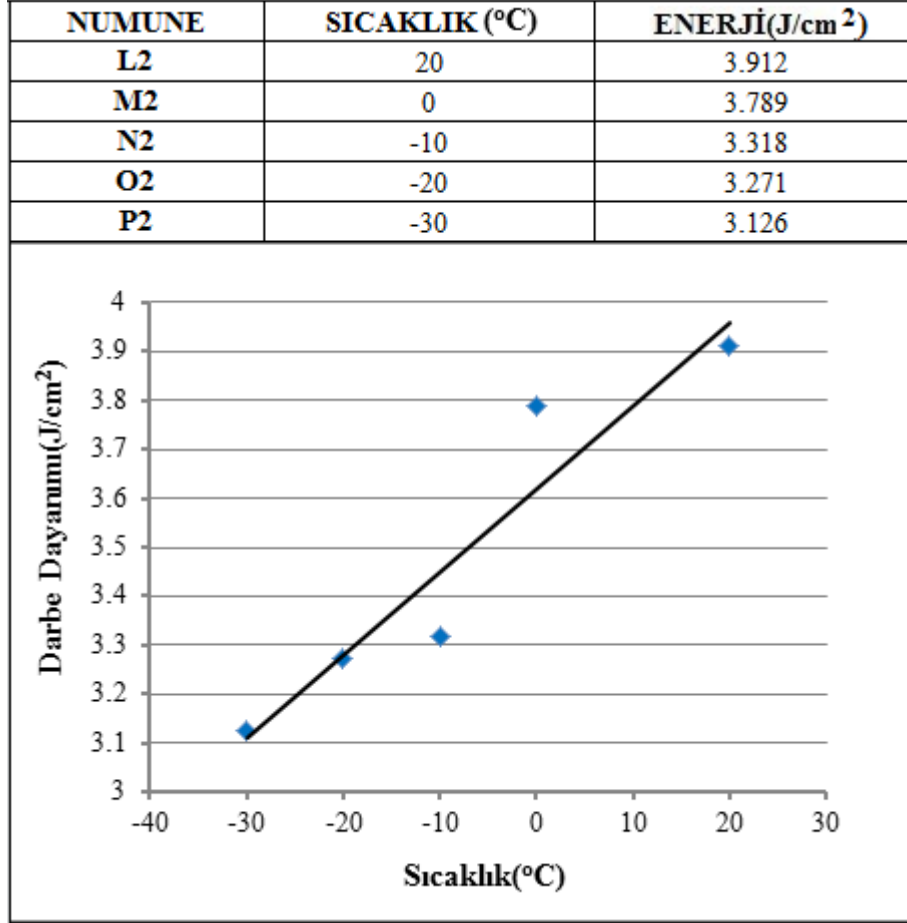
Çizelge 4.22. 60°C ön tav ısı işlemleri uygulandıktan sonra farklı çevre sıcaklıklarında birleştirilen PE100 doğal gaz borularının İzod darbe deneyi verileri.

| Numune | Yükseklik | Genişlik | Çentik | Enerji | Alan (cm ²) | Enerji/Alan (J/ cm ²) | Ortalama |
|--------|-----------|----------|--------|--------|-------------------------|-----------------------------------|----------|
| L2 | 1 | 13.55 | 12.75 | 11.27 | 5.8 | 1.437 | 3.912 |
| | 2 | 12.5 | 12.75 | 11.03 | 5.7 | 1.406 | |
| | 3 | 12.82 | 12.62 | 11 | 5.3 | 1.388 | |
| | 4 | 12.78 | 12.89 | 11.2 | 5.4 | 1.444 | |
| M2 | 1 | 12.49 | 12.84 | 10.54 | 4.7 | 1.353 | 3.789 |
| | 2 | 12.3 | 12.92 | 10.66 | 5.5 | 1.377 | |
| | 3 | 12.07 | 12.66 | 10.8 | 5.0 | 1.367 | |
| | 4 | 12.67 | 12.9 | 10.76 | 5.6 | 1.388 | |
| N2 | 1 | 12.93 | 12.48 | 11.25 | 4.7 | 1.404 | 3.318 |
| | 2 | 13.05 | 12.31 | 11.13 | 4.6 | 1.370 | |
| | 3 | 12.98 | 12.35 | 11 | 4.5 | 1.359 | |
| | 4 | 13 | 12.63 | 10.95 | 4.5 | 1.383 | |
| O2 | 1 | 12.7 | 12.78 | 11 | 4.5 | 1.406 | 3.271 |
| | 2 | 12.8 | 12.83 | 10.78 | 4.4 | 1.383 | |
| | 3 | 12.7 | 12.96 | 10.82 | 4.7 | 1.402 | |
| | 4 | 12.7 | 12.75 | 11 | 4.7 | 1.403 | |
| P2 | 1 | 12.54 | 12.13 | 10.72 | 4.0 | 1.300 | 3.126 |
| | 2 | 12.52 | 11.82 | 11.3 | 4.2 | 1.336 | |
| | 3 | 12.53 | 12.12 | 11.25 | 4.2 | 1.364 | |
| | 4 | 12.48 | 12.36 | 11.36 | 4.5 | 1.404 | |

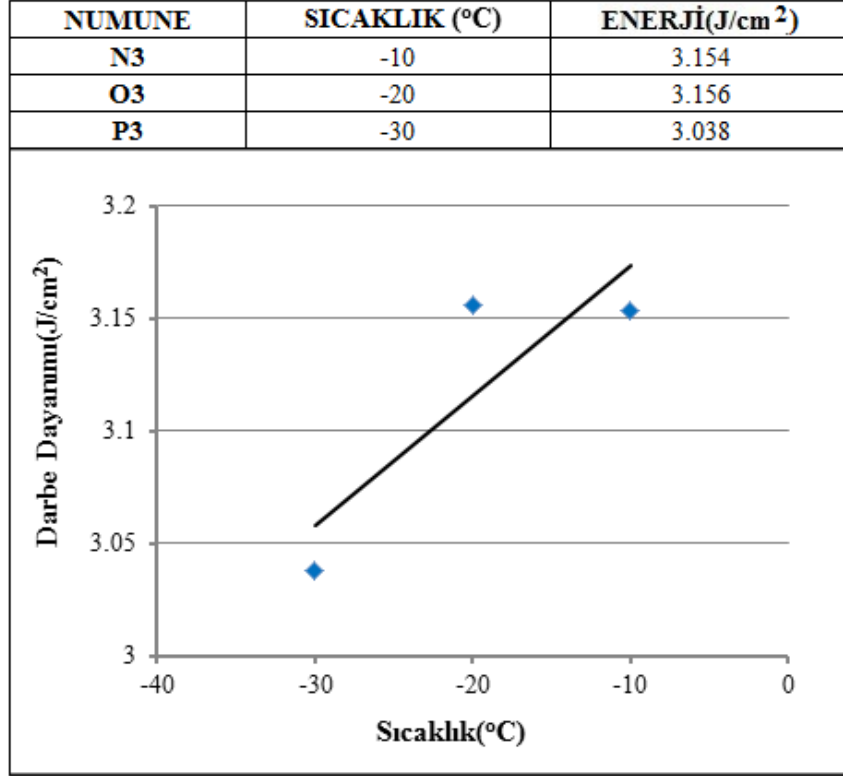
Çizelge 4.23. 80°C ön tav ısı işlemleri uygulandıktan sonra farklı çevre sıcaklıklarında birleştirilen PE80 doğal gaz borularının İzod darbe deneyi verileri.

| Numune | Yükseklik | Genişlik | Çentik | Enerji | Alan (cm ²) | Enerji/Alan (J/ cm ²) | Ortalama |
|--------|-----------|----------|--------|--------|-------------------------|-----------------------------------|----------|
| N3 | 1 | 12.66 | 12.38 | 11.02 | 4.3 | 1.364 | 3.154 |
| | 2 | 12.86 | 12.48 | 11.05 | 4.3 | 1.379 | |
| | 3 | 12.7 | 12.43 | 10.65 | 4.2 | 1.324 | |
| | 4 | 12.62 | 12.75 | 10.88 | 4.4 | 1.387 | |
| O3 | 1 | 12.69 | 13.01 | 10.7 | 4.4 | 1.392 | 3.156 |
| | 2 | 12.67 | 13 | 11 | 3.8 | 1.430 | |
| | 3 | 12.44 | 12.64 | 10.56 | 4.3 | 1.335 | |
| | 4 | 12.81 | 12.62 | 11.05 | 5.0 | 1.395 | |
| P3 | 1 | 12.78 | 12.98 | 11.06 | 4.5 | 1.436 | 3.038 |
| | 2 | 13.01 | 12.76 | 11.15 | 4.6 | 1.423 | |
| | 3 | 13.08 | 13.02 | 11.08 | 4.1 | 1.443 | |
| | 4 | 12.84 | 12.78 | 10.9 | 4.1 | 1.393 | |

Çizelge 4.27 ve 4.28'deki verilerden yararlanarak 60°C ve 80°C sıcaklıklarda uygulanan ön tav ısıl işleminin PE80 doğal gaz borularının izod darbe dayanımına etkisi grafiksel olarak sırasıyla Şekil 4.31 ve Şekil 4.32'de gösterilmiştir.



Şekil 4.31. Kaynak öncesi 60°C uygulanan ön tav ısıl işleminin farklı çevre sıcaklıklarında birleştirilen PE80 numunelerin darbe dayanımına etkisi.



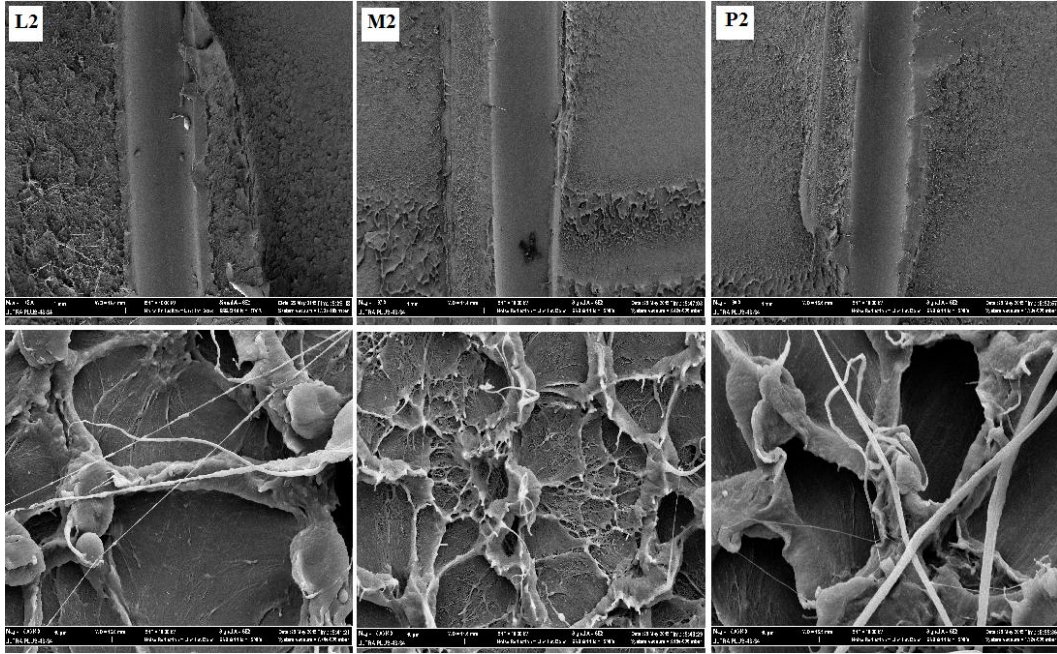
Şekil 4.32. Kaynak öncesi 80°C uygulanan ön tav ısıl işleminin farklı çevre sıcaklıklarında birleştirilen PE80 numunelerin izod darbe dayanımına etkisi.

60°C sıcaklıkta ön tav ısıl işleminden sonra belirlenen farklı çevre sıcaklıklarında birleştirilen kaynaklı deney numunelerinin darbe dayanımı azalan çevre sıcaklığından olumsuz olarak etkilendiğine işaret etmektedir (Şekil 4.31). En yüksek darbe dayanımı oda sıcaklığında birleştirilen numunede tespit edilirken, en düşük darbe dayanımı -30°C çevre sıcaklığında birleştirilen numunede tespit edilmiştir. Eğilim azalan çevre sıcaklığıyla deney numunelerinin darbe dayanımının azalması yönündedir. Genel olarak Şekil 4.29'da temin edildiği şekliyle birleştirilen numunelere oranla tüm çevre sıcaklıklarında ön tav ısıl işlemi uygulandıktan sonra elde edilen numunelerin izod darbe dayanımının daha düşük bulunmasının sebebi yapıdaki amorf bölge miktarının azalması ile ilişkili olabilir. Yapıdaki sert kristalin bölgeleri çevreleyen amorf bölge katmanının azalması darbe kuvvetini emme etkisini azaltmış olabileceği düşünülmektedir.

Çalışmada ayrıca -10°C, -20°C ve -30°C düşük çevre sıcaklıklarında birleştirilen numunelere ön tav ısıl işleminin etkisini daha iyi belirleyebilmek amacıyla kaynak öncesi 80°C sıcaklıkta ön tav uygulanan numunelerin darbe dayanımlarının

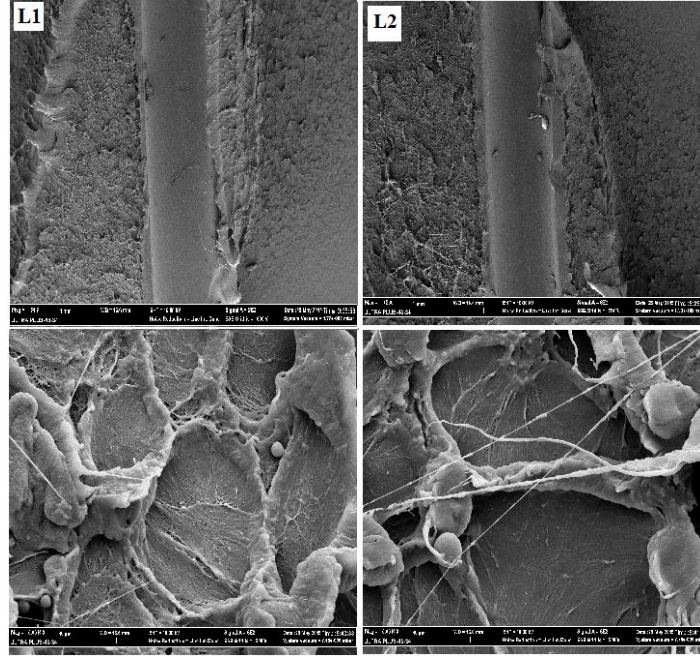
gösterildiği Şekil 4.32'de grafik artan ön tav sıcaklığı kaynaklı birleştirmelerin dayanımında belirgin bir iyileşmeye neden olmadığı tespit edilmiştir. Bu durum darbeyi absorbe eden sert kristalinler arasındaki amorf katmanının incilmesi diğer bir ifadeyle kristalin katmanının irileşmesiyle ilişkilendirilebilir.

Çalışmada 60°C sıcaklıkta ön tav uygulandıktan sonra oda sıcaklığında, 0°C ve -30°C çevre sıcaklıklarında birleştirilen PE80 doğalgaz borularının izod darbe deneyi numunelerinin kırılma yüzeyi SEM mikroskopuyla incelenmiştir. Kırık yüzey görüntüleri sırasıyla Şekil 4.33 gösterilmiştir.

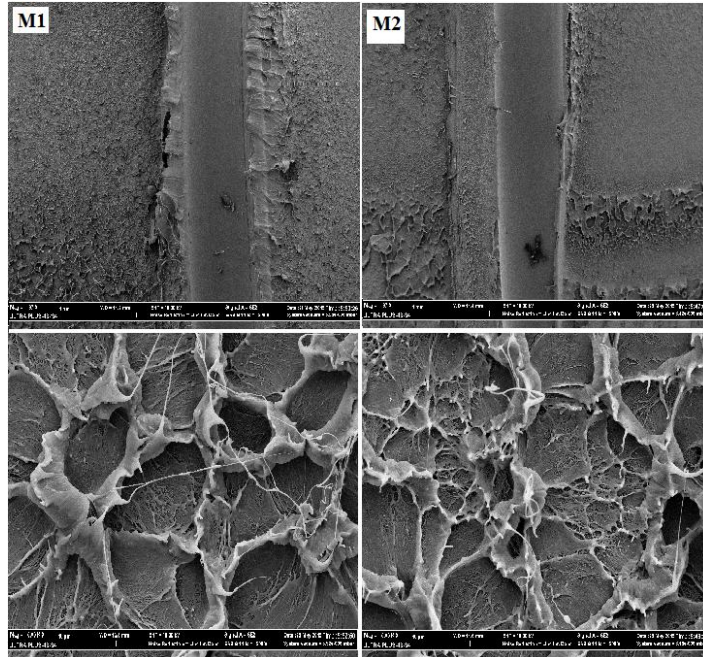


Şekil 4.33. 60°C ön tav ısıtma işlemi uygulandıktan sonra oda sıcaklığında, 0°C ve -30°C sıcaklıklarında birleştirilen PE80 darbe numunelerinin kırılma yüzeyi.

Ayrıca çalışmada oda sıcaklığı ve 0°C çevre sıcaklığında temin edildiği şekliyle ve 60°C sıcaklıkta ön tav ısıtma işlemi uygulandıktan sonra birleştirilen PE80 doğalgaz borularının izod darbe numunelerinin kırılma yüzeyi sırasıyla Şekil 4.34 ve 4.35'de gösterilmiştir.



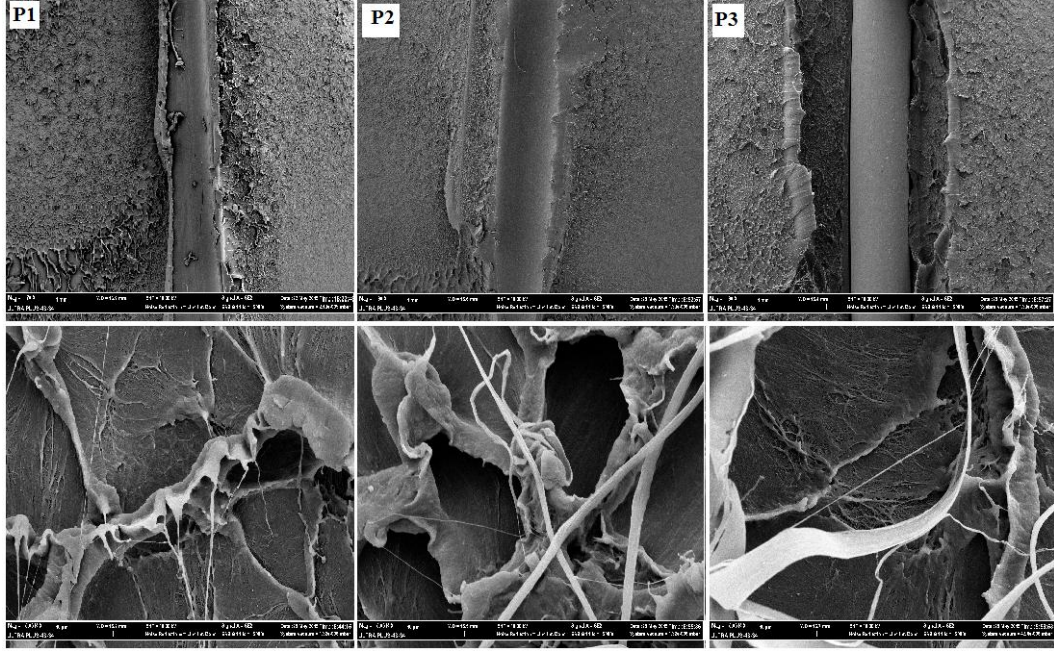
Şekil 4.34. Oda sıcaklığında temin edildiği şekliyle ve ön tav ısıl işlemi uygulandıktan sonra birleştirilen PE80 izod darbe numunelerinin kırılma yüzeyi.



Şekil 4.35. 0°C çevre sıcaklığında temin edildiği şekliyle ve ön tav ısıl işlemi uygulanarak birleştirilen PE80 darbe numunelerinin kırılma yüzeyi.

Çalışmada -30°C çevre sıcaklığında birleştirilen numunelere artan ön tav sıcaklığının etkisinde araştırılmıştır. Bu amaçla 60°C ve 80°C sıcaklıkta ön tav ısıl işlemi

uygulandıktan sonra -30°C çevre sıcaklığında birleştirilen PE80 doğalgaz boru izod darbe deney numuneleri kırılma yüzeyi ise 4.36'da gösterilmiştir.

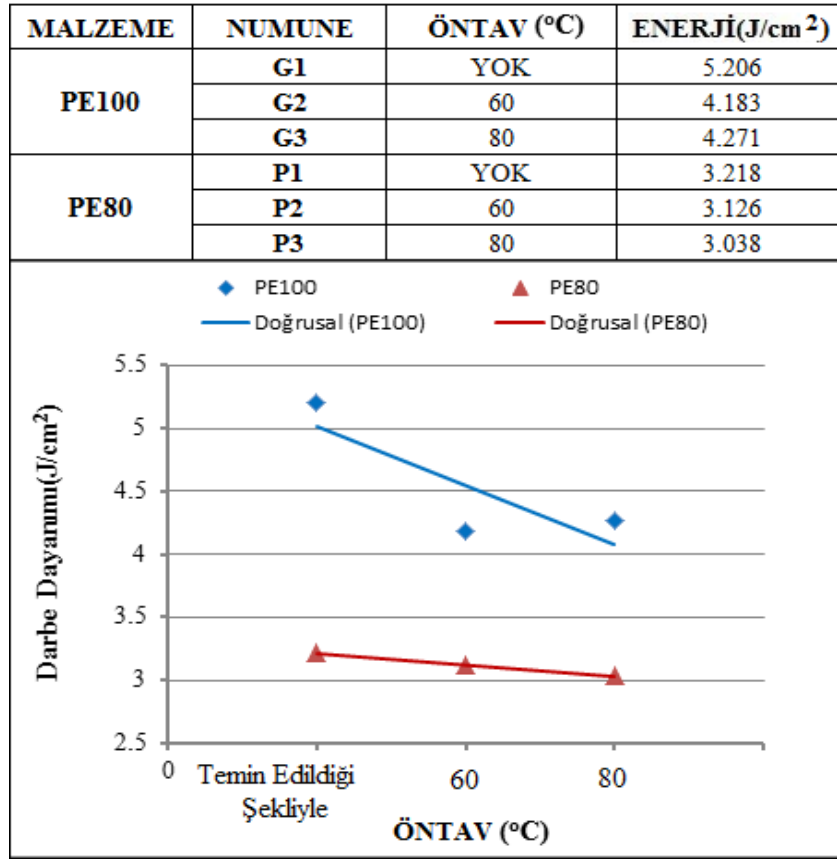


Şekil 4.36. -30°C çevre sıcaklığında temin edildiği şekliyle ve 60°C ve 80°C sıcaklıkta ön tav ısıl işlemi uygulandıktan sonra birleştirilen PE80 doğalgaz borularının izod darbe numunelerinin kırılma yüzeyi.

Şekil 4.33-4.36'dan görüldüğü gibi, ön tav ısıl işlemi uygulandıktan sonra oda sıcaklığında birleştirilen kaynaklı numunenin yapısındaki daha fazla kristalin miktarına bağlı olarak genel olarak daha gevrek kırılma davranışıyla kırılma gerçekleşmiştir. Ancak kristali çevreleyen sünek amorf bölge katmanı kalın olduğu için darbe etkisini daha fazla emerek tokluğun yüksek bulunmasına neden olmuştur. Düşük çevre sıcaklıklarında ön tav ısıl işlemi uygulandıktan sonra birleştirilen numunelerin kırılma yüzeylerinde kristalin bölgeyi sarmalayan amorf yapı katmanı incelirken kırılma sürecinde uzama gösteren lifler darbeyi daha az absorbe ederek tokluğun düşmesine neden olduğu düşünülmektedir. Sert kristalini çevreleyen sünek lifler uzayarak kesit daralması oluşturması sünek kırılmanın işareti olarak düşünülmektedir.

4.8. Düşük Çevre Sıcaklığında Ön Tav Sıcaklığının PE100 ve PE80 Birleştirmelerinin İzod Darbe Dayanımına Etkisi

Düşük çevre sıcaklığında (-30°C) 60°C ve 80 °C sıcaklıkta ön tav ısıl işleminin çalışmada kullanılan YYPE100 ve OYPE80 birleştirmelerinde etkiside incelenmiştir. Bu amaçla -30°C çevre sıcaklığı için 60°C ve 80 °C sıcaklıkta ön tav ısıl işlemi uygulanan numunelerin darbe dayanımı Şekil 4.37’de gösterilmiştir.



Şekil 4.37. Ön tav sıcaklığının düşük sıcaklıkta birleştirilen PE100 ve PE80 birleştirmelerinin İzod darbe dayanımına etkisi.

Şekil 4.37’den görüldüğü gibi ön tav ısıl işleminin PE80 malzemelerin izod darbe dayanımına etkisi daha az olumsuz etki ederken, PE100 birleştirmelerinde ise daha fazla olumsuz etkisi olduğu belirlenmiştir. Bu durum malzemelerin farklı yoğunlukları ve özellikleriyle ilgili olabilir. Ön tav ısıl işlemi YYPE100 boruların yapısındaki kristalin miktarının OYPE80 birleştirmelerine oranla daha fazla oluşması darbe dayanımındaki etkisini yükselttiği düşünülmektedir.

BÖLÜM 5

SONUÇLARIN İRDELENMESİ

Çalışmada temin edildiği şekliyle ve iki farklı sıcaklıkta ön tav ısıl işlemi (60°C ve 80°C) uygulandıktan sonra belirlenen çevre sıcaklıklarında elektrofüzyon kaynak yöntemiyle birleştirilen yüksek yoğunluklu PE100 ve orta yoğunluklu PE80 doğal gaz borularının kaynak kalitesi; sızdırmazlık, ezme ve çekme soyma-ayrılma testinin yanısıra izod darbe çentik deney sonuçları sırasıyla alt bölümde tartışılmıştır.

5.1. ÇEVRE SICAKLIĞI İLE KAYNAK ZAMANININ İLİŞKİSİ

Elektrofüzyon kaynak yöntemiyle birleştirilen PE100 ve PE80 doğal gaz borularının çevre sıcaklığıyla kaynak zamanı arasındaki ilişki araştırılarak alt bölümde tartışılmıştır.

5.1.1. PE100 ve PE80 Doğal Gaz Borularının Çevre Sıcaklığı İle Kaynak Zamanı İlişkisi

Azalan çevre sıcaklığı ile birlikte birleştirme için gerekli sürenin değiştiği, düşük çevre sıcaklıklarında birleştirilen boruların kaynak süresinin daha fazla olduğu görülmektedir (Bkz. Şekil 4.1). Oda sıcaklığı ile -30°C çevre sıcaklığında birleştirilen yüksek yoğunluklu PE100 numunelerin kaynak zamanında 38 saniye gibi belirgin bir fark olduğu tespit edilmiştir. Ancak orta yoğunluklu PE80 numunelerin oda sıcaklığı ile -30°C çevre sıcaklığında birleştirilen numunelerin kaynak zamanında ise 25 saniye gibi daha az bir fark olduğu tespit edilmiştir (Bkz. Şekil 4.2). Bu farkın oluşmasında etkin olan husus kaynak yönteminden ve malzeme yoğunluk farkından kaynaklandığı düşünülmektedir. Çünkü elektrofüzyon kaynak işleminde birleştirme için gerekli parametreler manşon üzerindeki üretici firmanın önerdiği unsurlar bir barkod okuyucu ile makineye aktarıldıktan sonra kaynak makinesi sıcaklık sensörü

çevre sıcaklığında dikkate alarak bir kaynak zamanı belirler. Bu sebeple daha düşük çevre sıcaklıklarında birleştirilecek numuneler için azalan çevre sıcaklığıyla birlikte kaynak makinesi daha uzun kaynak zamanı tanımlamaktadır. Benzer şekilde Akkurt A. vd. tarafından yürütülen çalışmada birleştirme kaynak zamanının azalan çevre sıcaklığıyla değiştiği rapor edilmiştir [2,3].

5.2. ÖN TAV SICAKLIĞI İLE KAYNAK ZAMANININ İLİŞKİSİ

Elektrofüzyon kaynak yöntemiyle birleştirilen PE100 ve PE80 doğal gaz borularının ön tav sıcaklığıyla kaynak zamanı arasındaki ilişki araştırılarak alt bölümde tartışılmıştır.

5.2.1. PE100 ve PE80 Doğal Gaz Borularının Öntav Sıcaklığı İle Kaynak Zamanı İlişkisi

Yürütülen deneysel çalışmada kaynak ön tav sıcaklığı ile birlikte PE100 ve PE80 doğal gaz boru birleştirmeleri için gerekli kaynak zamanının değişmediği bulunmuştur (Şekil 4.3 ve Şekil 4.4). Bu beklenen bir durumdur. Çünkü kaynak zamanı makine çevre sıcaklık algılayıcısı tarafından manşon üretici bilgileriyle koordineli olarak ayarlandığı için çalışmada birleştirmelere 60°C ve 80°C sıcaklıkta kaynak öncesi uygulanan ısı işlem sadece boru ve manşon için uygulanmıştır. Kaynak işlemi sırasında makine çevre sıcaklık algılayıcısı kaynak yapılan ortamın sıcaklığını baz aldığı için kaynak ön tav sıcaklığının kaynak zamanı üzerinde bir etkisi beklenemez.

Ancak azalan çevre sıcaklığıyla birlikte numunelerin birleştirilmesi için gerekli kaynak zamanının belirgin bir şekilde arttığı tespit edilmiştir. Bu durum bölüm 5.1.1’de detaylıca değerlendirildiği için burada tekrar değinilmeyecektir.

5.3. KAYNAKLI BORULARA UYGULANAN SIZDIRMAZLIK TESTİ

PE doğal gaz boru hatlarının kaynaklı birleştirmelerin kalitesi sızdırmazlık testiyle değerlendirilir. Çalışmada temin edildiği şekliyle ve iki farklı sıcaklıkta ön tav ısı

işlemi uygulandıktan sonra belirlenen çevre sıcaklıklarında birleştirilen YYPE100 ve OYPE80 doğalgaz boru birleştirmelerinin sızdırmazlık testi sonuçları değerlendirilmiştir.

PE100 ve PE80 doğalgaz borularının tamamı basınç testinden başarı ile geçmiştir (Bkz. Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2). Elektrofüzyon kaynaklı doğalgaz boru birleştirmelerinin sızdırmazlık testinden başarıyla geçmeleri kaynak zamanının uygulanan tüm çevre sıcaklıkları için yeterli olduğuna işaret etmektedir. Elde edilen boru birleştirmeleri servis şartlarında doğal gaz boru hatlarında güvenle kullanılabilir. Sızdırmazlık testi birleştirmenin normal şartlarda servis altında maruz kalacak basıncın 1.5 katına kadar hava ile test edilmesi esasını içerir. Ancak bu çalışmada 7 bar basınç altında servis şartlarında maruz kalacağı doğalgaz basıncından çok yüksek basıçlarda bile başarıyla kullanılabileceğini göstermektedir.

5.4. KAYNAKLI BORULARA UYGULANAN EZME TESTİ

PE doğal gaz boru hatlarının kaynak kalitesi ile ilgili detaylı değerlendirmeler genellikle ezme test sonuçlarına göre yapılır. Ezme test sonucuna göre kaynak arayüzeyinin gevrek veya sünekliği değerlendirilir. Çalışmada temin edildiği şekliyle ve iki farklı ön tav sıcaklığında ısıl işlem uygulandıktan sonra birleştirilen YYPE100 ve OYPE80 doğalgaz boru birleştirmelerinin ezme testi sonuçları birlikte değerlendirilmiştir.

Elektrofüzyon kaynaklı doğal gaz birleştirmeleri ezme test numuneleri standartta uygun olarak 2t mesafesine kadar katlandıktan sonra manşon ile boru birleştirmesi arayüzeyi levye yardımıyla ayrılmağa zorlanmıştır. Test sonunda tüm numunelerde ayrılma ana malzemedan kopma şeklinde gerçekleşmiştir. Test sonucu; tüm numunelerin sünek bir kaynak arayüzeyine sahip olması sebebiyle ezme testinden başarılı olduğuna işaret etmektedir (Bkz. Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4). Tüm test numunelerinde ayrılmanın boru malzemesinden veya manşondan oluşması birleştirmelerin tüm çevre sıcaklıklarında başarıyla birleştirildiğine işaret etmektedir.

5.5. KAYNAKLI BORULARIN TEKLİ ÇEKME SOYMA AYRILMA TESTİ

Elektrofüzyon kaynaklı YYPE100 ve OYPE80 doğal gaz borularının statik yük etkisi altındaki davranışlarının belirlenmesinde tekli ve çiftli çekme soyma-ayrılma testinden yararlanılmıştır. Çalışmada PE100 ve PE80 doğal gaz boru birleştirmelerine uygulanan tekli çekme soyma-ayrılma testi sonuçları bir arada değerlendirilmiştir.

5.5.1. PE100 ve PE80 Doğal Gaz Borularının Tekli Çekme Soyma-Ayrılma Testi

Çalışmada statik çekme kuvveti etkisi altında kalan YYPE100 ve OYPE80 doğal gaz boru birleştirmesinin davranışı etraflıca araştırılmıştır. Bu amaçla temin edildiği şekliyle farklı çevre sıcaklıklarında ve 60°C ve 80°C sıcaklıkta ön tav ısıl işlemi uygulandıktan sonra belirlenen çevre sıcaklıklarında birleştirilen numunelerin dayanımı belirlenmiştir.

PE100 tekli soyma-ayrılma numunelerinin %90 boru ana malzemesinden,%10'u ise kaynak arayüzeyinden ayrıldığı tespit edilmiştir (Bkz. Çizelge 4.5). PE80 tekli soyma-ayrılma numunelerinin ise %60 boru ana malzemesinden, %40'ı kaynak arayüzeyinden ayrıldığı, ancak kaynak arayüzeyinden ayrılan numunelerde standartta belirlenen %20 gevrek ayrılma sınırını geçemedikleri tespit edilmiştir (Bkz. Çizelge 4.8). Bu sonuçlar kaynaklı birleştirmelerin dayanımının iyi ve kabul edilebilir olduğunu göstermektedir. Fakat birleştirmelerin maksimum yük, F_w , soyma-ayrılma enerjisi, E_p , birleştirme arayüzeyi tokluğu, K , ve normal soyma-ayrılma enerjisi, E_N , verilerinin tüm numuneler için hesaplanmasına olanak sağlamamıştır. Çünkü farklı çevre sıcaklığında birleştirilen deney numunelerinin ayrılması için uygulanan maksimum yük, F_w , soyma-ayrılma enerjisi, E_p , birleştirme arayüzeyi tokluğu, K , ve normal soyma-ayrılma enerjisi, E_N , hesaplanması için birleştirmelerin kaynak arayüzeyinden ayrılması gerekir. Ancak test sonunda hasarın borudan veya manşondan yırtılarak ayrılma şeklinde oluşması birleştirme dayanımının iyi olduğuna işaret eder.

Çalışmada tekli çekme soyma-ayırılma testinde yalnızca kaynak arayüzeyinden ayrılan PE100 ve PE80 numunelerin kaynak birleştirme arayüzey tokluğu (K) ve normal soyma-ayırılma enerji (E_N) verileri değerlendirilmiştir (Bkz. Şekil 4.6 ve Şekil 4.9). Temin edildiği şekliyle farklı çevre sıcaklıklarında birleştirilen numunelerin arayüzey ayırılma tokluğu genel eğilim olarak azalan çevre sıcaklığıyla birlikte azalırken, soyma-ayırılma enerjileri ise arttığı tespit edilmiştir. Grafikteki eğrilerdeki sapmalar değerlendirmelerin yalnızca arayüzeyden ayrılan az sayıdaki numuneler üzerinden yapılmasından dolayı kaynaklandığı düşünülmektedir (Bkz. Şekil 4.9). Azalan çevre sıcaklığıyla birlikte birleştirme bölgesindeki kristalin miktarının azalması diğer bir ifadeyle amorf yapı miktarının artması birleştirmenin dayanımının azalmasına fakat buna mukabil sünekliliği artırarak çekme soyma-ayırma enerjisini arttırdığı düşünülmektedir.

Daha yüksek yük taşıyabilen, yüksek çevre sıcaklıklarında birleştirilen, elastisite modülü ve kristal yapı oranı yüksek olan numunelerdir. Daha düşük çevre sıcaklıklarında birleştirilen numunelerin elastisite modülü düşüktür. Bu numuneler düşük yük altında yüksek uzama sergilerler. Oda sıcaklığında elde edilen numunelere göre daha yüksek amorf yapıya sahiptirler. Bu durum onların birleştirme arayüzey tokluğunun düşük bulunmasına fakat çekme-soyma ayırılma enerjilerinin ise yüksek bulunmasına neden olduğu düşünülmektedir.

5.5.2. Ön Tav Sıcaklığının PE100 ve PE80 Doğal Gaz Borularının Tekli Çekme Soyma-Ayırılma Dayanımına Etkisi

Çalışmada kullanılan ön tav sıcaklıklarının YYPE100 ve OYPE80 doğal gaz borularının dayanımına etkisinde tekli çekme soyma-ayırılma testi sonuçları birlikte değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.6 ve 4.7'den görüldüğü gibi, 60°C ve 80°C sıcaklıkta ön tav uygulandıktan sonra farklı çevre sıcaklıklarında birleştirilen PE100 doğal gaz boru birleştirmesi tekli çekme soyma-ayırılma test numunelerinin %75 boru ana malzemesinden,%19'u kaynak arayüzeyinden ve %6'sı ise delikten ayrıldığı tespit edilmiştir. Ön tav ısıl işlemi uygulandıktan sonra farklı çevre sıcaklıklarında birleştirilen PE80 doğal gaz

boruların tekli soyma-ayrılma testi numunelerinin %35 boru ana malzemesinden, %65'i kaynak arayüzeyinden ayrıldığı tespit edilmiştir (Bkz. Çizelge 4.9 ve Çizelge 4.10).

Sonuçlar, ön tav ısıl işleminin yüksek çevre sıcaklıklarında birleştirilen numunelerin taşıma yükü kapasitelerine olumlu etki ettiğine işaret etmektedir. Düşük çevre sıcaklığında birleştirilen numunelerin uygulanan ön tav sıcaklığıyla birlikte artan kristalin miktarına bağlı olarak taşıma yükü kapasitelerinin bir miktar arttığı görülmektedir. Artan ön tav sıcaklığı düşük çevre sıcaklıklarında birleştirmenin özelliklerine olumlu yönde etki ederken, yüksek çevre sıcaklıklarında ise olumsuz yönde etki ettiği belirlenmiştir. Yüksek çevre sıcaklıklarında ön tav ısıl işlemi kaynak arayüzeyinde direnç tellerinin etrafındaki polietilen malzemenin fazla ısıdan dolayı molekül zincirlerinin bozulmasından kaynaklandığı düşünülmektedir [1,36].

5.6. KAYNAKLI BORULARIN ÇİFTLİ ÇEKME SOYMA AYRILMA TESTİ

Tekli çekme soyma-ayrılma testinde ayrılmanın birleştirme arayüzeyinden meydana gelmemesi sebebiyle numunelerin birleştirme arayüzey tokluğu, soyma-ayrılma enerjisi ve normal soyma-ayrılma enerjisinin yanısıra gevreklik ve sünekliğinin miktarını belirlemek için çiftli çekme soyma-ayrılma testi uygulanmıştır. Çalışmada kullanılan YYPE100 ve OYPE80 elektrofüzyon kaynaklı doğalgaz borularının çiftli çekme soyma-ayrılma testi sonuçları birlikte değerlendirilmiştir.

5.6.1. PE100 ve PE80 Doğal Gaz Borularının Çiftli Çekme Soyma-Ayrılma Testi

Statik çekme kuvveti etkisi altında kalan doğal gaz boru birleştirmesinin dayanımının belirlenmesi servis şartlarında doğalgaz boru hatlarının maruz kalacağı yükler açısından çok önem arz etmektedir. Temin edildiği şekliyle farklı çevre sıcaklıklarında birleştirilen PE100 ve PE80 doğal gaz boru deney numunelerin ayrılması için uygulanan maksimum yük, F_w , soyma-ayrılma enerjisi, E_p , birleştirme arayüzeyi tokluğu, K , ve normal soyma-ayrılma enerjisi, E_N , hesaplanmıştır (Bkz. Çizelge 4.11 ve Çizelge 4.14).

Azalan çevre sıcaklığıyla birlikte birleştirmelerin çekme soyma-ayrılma enerjileri, E_N , artarken, birleştirme arayüzey tokluğunda, K , genel eğilim olarak azalma tespit edilmiştir. Birleştirmelerin taşıyabileceği maksimum yük, F_w , artan çevre sıcaklığıyla arttığı belirlenmiştir (Bkz. Şekil 4.12 ve Şekil 4.17). Azalan çevre sıcaklığının PE100 ve PE80 doğalgaz borularının kaynak kabiliyetini olumsuz etkilediği anlaşılmaktadır. Azalan çevre sıcaklığıyla PE100 ve PE80 doğalgaz boru birleştirmelerinin arayüzey tokluğunun azalmasının arkasında birleştirme bölgesindeki azalan kristalin miktarının sorumlu olduğu düşünülmektedir. PE100 ve PE80 malzeme kısmi kristal yapılı olduğundan dolayı yapısındaki kristal oranına göre sünek veya gevrek davranış sergileyebilir. Yüksek kristal oranı gevrekliği ve dolayısıyla dayanımında arttırmaktadır.

Ancak yapıdaki düşük kristal oranı (yüksek amorf yapı oranı) birleştirmenin arayüzey tokluğunun düşük, fakat daha sünek davranış göstermesine neden olmaktadır. Özetle, kaynaklı birleştirme yapısındaki kristalin miktarı çevre sıcaklığına bağlı olarak kaynak sonrası soğuma hızından olumsuz etkilenmektedir. Kaynak sonrası soğuma hızı artışı yapıda oluşan kristalin miktarını azalttığı rapor edilmiştir [2,36]. Çünkü polietilen plastiklerin yapısındaki kristalin miktarı sıcaklıkla ilişkilidir [15,36]. Düşük çevre sıcaklıkta birleştirilen numuneler daha hızlı soğuduğu için yapısındaki çok sayıdaki çekirdeklenen küçük boyutlu kristalin miktarı toplam hacim içerisinde kapladığı hacim azalırken, bunları çevreleyen amorf yapı hacmi artmaktadır. Buda birleştirmenin dayanımının düşmesine ve daha sünek olmasına sebep olur.

Kaynak sonrası farklı soğuma hızının PE malzemelerin katılaşması üzerindeki etkisini belirlemek için yürütülen üç farklı soğutma sürecine tabi tutulan numunelere ait çalışmada kaynak sırasında sabit kristalizasyon sıcaklığında bekletildikten sonra soğutulan numunede en yüksek kristal yapı oranı, kaynak sonrası hızla suda soğutulmuş numunede ise en az kristalin oranı olduğu belirtilmiştir. Aynı zamanda çalışmada elektrofüzyon kaynaklı borunun bağlantı elemanı dış yüzeyindeki yoğunluk kaynak öncesi 934 kg/m^3 , kaynaktan sonra 940.8 kg/m^3 bulunmuştur. Kaynak bölgesinde bu yoğunluk kaynak öncesi 937.2 kg/m^3 kaynak sonrası 938 kg/m^3 bulunmuştur. Boru iç yüzeyinde ise yoğunluk kaynak öncesi 940.2 kg/m^3

kaynak sonrası ise 938.9 kg/m^3 olarak ölçülmüştür [36]. Bu sonuç aynı zamanda kristal yapı oranının bağlantının farklı bölümlerinde değiştiğine işaret etmektedir.

5.6.2. Ön Tav Sıcaklığının PE100 ve PE80 Doğal Gaz Borularının Çiftli Çekme Soyma-Ayrılma Dayanımına Etkisi

60°C ve 80°C sıcaklıkta ön tav ısıl işlemi uygulandıktan sonra farklı çevre sıcaklıklarında birleştirilen YYPE100 ve OYPE80 doğal gaz boruların birleştirme arayüzey tokluğu ve birleştirmeyi ayırmak için çekme soyma–ayrılma enerjisi ve normal soyma-ayrılma enerjisi belirlenerek sonuçlar bir arada değerlendirilmiştir.

Sırasıyla 60°C ve 80°C sıcaklıkta ön tav ısıl işlemi uygulandıktan sonra farklı çevre sıcaklıklarında birleştirilen PE100 ve PE80 deney numunelerin ayrılması için uygulanan maksimum yük, F_w , soyma-ayrılma enerjisi, E_p , birleştirme arayüzey tokluğu, K , ve normal soyma-ayrılma enerjisi, E_N , belirlenmiştir (Bkz. Çizelge 4.12, Çizelge 4.13, Çizelge 4.15 ve Çizelge 4.16).

Ön tav ısıl işlemi düşük çevre sıcaklıklarında birleştirilen numunelerin birleştirme arayüzey tokluğuna olumlu yönde etki ederken, yüksek çevre sıcaklıklarında birleştirilen PE100 ve PE80 numunelerin arayüzey tokluğuna olumsuz yönde etki ettiği tespit edilmiştir (Bkz. Şekil 4.14, Şekil 4.15, Şekil 4.19 ve Şekil 4.20). Ön tav ısıl işlemi birleştirme çekme soyma-ayrılma enerjisi üzerindeki etkisi ise yüksek çalışma sıcaklıklarında birleştirilen numunelerin gevrek kırılmasına işaret ederken düşük çevre sıcaklıklarında birleştirilen numunelerin sünek kırılma davranışı sergilediklerine işaret etmektedir.

Kaynak öncesi uygulanan ön tav ısıl işleminin kaynak sonrası soğuma hızını yavaşlatarak yapıdaki kristalin hacim oranını arttırmasıyla dayanımın iyileşmesi hedeflemiştir. Genel eğilim olarak ön tav ısıl işlemi düşük çevre sıcaklıklarında birleştirilen numunelerin birleştirme arayüzey tokluğuna olumlu yönde etki ederken, yüksek çevre sıcaklıklarında birleştirilen numunelerinkine olumsuz yönde etki ettiği tespit edilmiştir. Birleştirmelerin çekme soyma-ayrılma enerjileri ise artan çevre

sıcaklığıyla düşerken azalan çevre sıcaklığıyla belirgin bir şekilde iyileşme göstermiştir.

Düşük çevre sıcaklıklarında birleştirilen PE100 ve PE80 boru birleştirmelerinde hızlı soğuma sürecinde kaynak banyosunda çoklu çekirdeklenme noktası oluşturarak ve küçük boyutlu kristalinlerin oluştuğu yapıya neden olur. Kristalin yapı amorf bölgeye oranla daha serttir. Düşük çevre sıcaklıklarında küçük boyutta oluşan kristalinler sünek amorf yapıyla çevrelendiklerinden dolayı daha kolay kayabilir ve daha sünek davranış sergilerler. Normal şartlarda temin edildiği şekliyle oda sıcaklığında ve ön tav ısıtılma işlemi uygulanmış şekliyle düşük çevre sıcaklıklarında birleştirilen numunelerde soğuma hızı yavaşladığı için kaynak banyosunda çoklu ufak çekirdek yerine daha az miktarda kaba kristalinler oluşur ve kristalinler arasındaki amorf yapı hacim oranının az olması sebebiyle düşük orandaki deformasyondan sonra şekil değişimi kristalin yapıdan gerçekleşir. Kristalin yapıdaki bağların daha güçlü olmasından dolayı PE malzeme daha yüksek kuvvetlerde deformasyona uğrayarak daha mukavim bir davranış sergiler [15]. Bu durum 60°C ve 80°C sıcaklıkta ön tav ısıtılma işlemi uygulandıktan sonra düşük çevre sıcaklığında birleştirilen deney numunelerinde birleştirme arayüzey tokluk artışının sebebi olarak düşünülmektedir.

5.6.3. PE100 ve PE80 Birleştirmeleri Çiftli Çekme Soyma-Ayrılma Test Numunelerinin Ayrılma Yüzeylerinin Değerlendirilmesi

Çiftli çekme soyma-ayrılma testinde ayrılma yüzeyleri çevre sıcaklığı ve ön tavlama koşullarına bağlı olarak değişim göstermektedir. Çalışmada PE100 ve PE80 doğal gaz birleştirmelerinden yalnızca oda sıcaklığı, 0°C ve -30°C çevre sıcaklıklarında temin edildiği, 60°C ve 80°C sıcaklıkta ön tav ısıtılma işlemi uygulanmış şekliyle birleştirilen numunelerin ayrılma yüzey görüntüleri değerlendirilmiştir.

Artan çevre sıcaklığı ile birlikte ayrılma yüzeyi daha gevrek ve düz bir yüzey sergilerken, düşük çevre sıcaklıklardaki yüzey daha lifli ve girintili çıkıntılı sünek ayrılma göstermektedir (Bkz. Çizelge 4.17). Ön tav ısıtılma işlemi yüksek çevre sıcaklıklarında birleştirilen numunelerin ayrılma yüzeylerinde direnç tellerinin

etrafındaki polietilenin yüksek ısıdan dolayı molekül zincirlerinin bozulmasından dolayı daha gevrek ayrılma biçimi oluştururken düşük çevre sıcaklıklarında birleştirilenlerde ise soğuma hızının yavaşlamasından dolayı kristalin hacim oranında azda olsa artış oluşturması gevrek ayrılma biçiminin sebebi olarak düşünülmektedir. YYPE100 birleştirmelerinde gevrek ayrılma biçiminin OYPE80 birleştirmelerine oranla daha belirgin olması oluşan kristalin hacim oranının daha fazla olmasından kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir.

5.7. KAYNAKLI BORULARA UYGULANAN İZOD DARBE TESTİ

Servis şartlarındaki karşılaşılabilecek bir olumsuz durum göz önünde bulundurularak standartlarda istenmemesine rağmen YYPE100 ve OYPE80 doğalgaz boru birleştirmelerinin ani bir kuvvet etkisi altında tokluğu izod darbe testi ile belirlenmiş sonuçlar birlikte değerlendirilmiştir.

Bu amaçla temin edildiği şekliyle farklı çevre sıcaklıklarında ve ön tav ısıl işlemi uygulandıktan sonra belirlenen çevre sıcaklıklarında birleştirilen PE100 ve PE80 doğal gaz borularından elde edilen deney numunelerine oda sıcaklığında izod darbe testi uygulanmıştır. Farklı çevre sıcaklığında birleştirilen PE100 ve PE80 kaynaklı birleştirmelerinin izod darbe deney sonucu sırasıyla Çizelge 4.18 ve Çizelge 4.21’da verilmiştir.

Sonuçlar deney numunelerinin kaynaklı birleştirmesinin darbe dayanımının azalan çevre sıcaklığından olumsuz olarak etkilendiğine işaret etmektedir (Bkz. Şekil 4.21 ve Şekil 4.29). PE100’de en yüksek darbe dayanımı 0°C çevre sıcaklığında birleştirilen numunede tespit edilirken, en düşük darbe dayanımı -20°C çevre sıcaklığında birleştirilen numunede tespit edilmiştir. PE80’de ise en yüksek darbe dayanımı oda sıcaklığında birleştirilen numunede tespit edilirken, en düşük darbe dayanımı -30°C çevre sıcaklığında birleştirilen numunede tespit edilmiştir. Çevre sıcaklığıyla deney numunelerinin darbe dayanımının azaldığı net olarak görülmektedir. Azalan çevre sıcaklığıyla darbe dayanımının azalmasında küçük boyutlu kristalinlerin etrafını çevreleyen ince sünek amorf tabakanın darbe etkisini yeterince absorbe edememesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Yüksek çevre

sıcaklığında birleştirilen numunelerin yapısındaki kaba kristalinlerin etrafındaki kalın amorf tabaka darbe etkisini daha fazla sönümleyerek darbe tokluğunun daha yüksek bulunmasının sebebi olarak düşünülmektedir.

Çalışmada 60°C sıcaklıkta ön tav ısıl işleminden sonra belirlenen farklı çevre sıcaklıklarında birleştirilen PE100 ve PE80 kaynaklı deney numunelerinin darbe dayanımı azalan çevre sıcaklığından olumsuz olarak etkilendiğine işaret etmektedir (Bkz. Şekil 4.23 ve 4.31). Genel eğilim azalan çevre sıcaklığıyla deney numunelerinin darbe dayanımının azalması yönündedir. Soğuma hızının yavaşlaması daha fazla kristalin oluşturarak amorf tabakanın incelmeye sebep olduğundan dolayı darbe dayanımının düşük bulunmasına sebebiyet verdiğine inanılmaktadır. Ön tav ısıl işleminin düşük çevre sıcaklıklarında birleştirilen PE80 numunelerin darbe dayanımına daha az olumsuz etki ettiğine işaret etmektedir. Bu durum PE80 polietilenin yoğunluğunun daha düşük olmasıyla ilişkili olabilir.

Çalışmada ayrıca -10°C, -20°C ve -30°C düşük çevre sıcaklıklarında birleştirilen numunelere ön tav ısıl işleminin etkisini daha iyi belirleyebilmek amacıyla kaynak öncesi 80°C sıcaklıkta ön tav uygulanan PE100 ve PE80 numunelerin darbe dayanımlarının gösterildiği Şekil 4.24 ve 4.32'de grafik artan ön tav sıcaklığı kaynaklı birleştirmelerin tokluğunda azalmaya neden olduğu tespit edilmiştir.

Sonuçlar ön tavlama ısıl işleminin yapıdaki kristalin miktarını arttırarak birleştirmenin statik yük etkisi altında kaldığında sünekliliğinin göstergesi olan normal soyma-ayırılma enerjisini azaltırken birleştirme arayüzey dayanımı arttırdığı daha önce ifade edilmişti. Yapıdaki kristallenme moleküller arası hareketi azaltır. Kristalleşmenin artması elastisite modülünü arttırarak malzemeyi rijitleştirir [51]. Ancak soğuma hızı yavaşlamasına bağlı olarak kabalaşan kristalinleri çevreleyen amorf yapı hacim oranının azalması darbe direncinde azalmaya neden olduğu düşünülmektedir. Diğer bir ifadeyle yarı kristalin polimerlerde yapıdaki amorf bölge sünekliliğe, dolayısıyla darbe direncine olumlu etki eder [52,53]. Sıcaklık kontrolü yapıdaki kristal büyümesi için önemlidir. Soğutma yavaş yapılırsa bir kaç büyük kristalinin bulunduğu kaba bir yapı elde edilir. Bu yapı; sert ve kırılğan olup geçirgenliği azdır [53]. Deney sırasında darbeyi uygulayan çekic numuneye temas

ettiği zaman önce kristalinleri çevreleyen amorf bölge darbe enerjisini emmeğe çalışarak akma noktasına kadar absorbe devam eder. Daha sonra malzemede plastik deformasyona başlar. Plastik deformasyon bölgesinde numune enerji emmeye devam eder ve aynı zamanda çalışma sertleşmesi oluşmaya başlar. Malzemenin emme kapasitesi dolduğu zamanda kırılma oluşur ve malzeme kopar [47]. Bu sebeple kaba kristalinleri çevreleyen daha kalın amorf yapı darbeyi daha fazla sönümleyerek tokluğun yüksek bulunmasının sebebi olarak görülmektedir.

Kaynak sonrası hızlı soğutma işlemi etrafını ince amorf katmanının sarmaladığı çok sayıda küçük kristalinlerin bulunduğu bir yapının oluşmasına sebep olarak sünekliliği arttırır bu durumda birleştirmenin çekme soyma-ayırma enerjisinin artmasına neden olur. Fakat bu kristalinleri çevreleyen ince amorf katman deney sırasında darbe etkisini yeterince sönümleyemeyerek sert kristalinlerin kırılmasına yol açar. Bu sebeple düşük çevre sıcaklıklarında hızlı soğuyan deney numunelerinin darbe dayanımının düşük bulunmasında etkili olduğu düşünülmektedir. Bu çalışmada PE100 ve PE80 boruların temin edildiği şekliyle farklı çevre sıcaklıklarında elde edilen kaynaklı birleştirmelerinin statik yük etkisi altındaki çekme soyma-ayırma enerjisi daha yüksek bulunmasına rağmen izod darbe dayanımı düşük bulunmuştur. Aynı zamanda bu durum deney numuneleri üzerinde açılan çentiğin yarıçapıyla da ilişkili olabilir. Çünkü çentik derinliği ve çentik ucu yarıçapı, çarpma direncini etkilediği rapor edilmiştir [51].

Düşük çevre sıcaklıklarında birleştirilen PE100 ve PE80 deney numunelerinde darbe direncinde azda olsa meydana gelen sapmalar birleştirme bölgesinin yanısıra boru ve bağlantı elemanında kırılmaya zorlanmasıyla ilişkili olabilir. Daha öncede belirtildiği gibi birleştirme yoğunluğu manşon ve boru iç yüzey ile dış yüzeyinde ve kaynak arayüzeyinde farklılık arz ettiği rapor edilmiştir [36].

Düşük çevre sıcaklığında ön tav uygulanarak birleştirilen numunelerin birleştirme arayüzey dayanımında, K, temin edildiği şekliyle birleştirilen numuneye oranla belirgin bir iyileşme tespit edilmiştir. Bunda yapıdaki azda olsa kabalaşan kristalin hacim oranının artmasının yanısıra molekül yan dallarının artışı sorumlu olduğu düşünülmektedir. Elektrofüzyon kaynaklı birleştirme özellikleri üzerinde etkisi olan

parametreler, yapıdaki kristalin miktarı, molekül ağırlığı ve moleküllerin yönleri, molekül zincir uzunluğu, molekül zincirlerinin yan dal sayısı, boyutları ve biçimleri, lamella boyutları, yönleri ve aralarındaki mesafe, çevresel koşullar ve karışımlar olarak sıralanmaktadır [1-5,37,51,54-59]. Polietilen plastiklerin yapısındaki kristalin miktarı sıcaklıkla ilişkilidir [5,51,57]. Kristalin miktarı çevre sıcaklığına bağlı olarak soğuma hızından olumsuz etkilenmektedir. Kaynak sonrası soğuma hızı artışı yapıda oluşan kristalin miktarını hacimsel olarak azalttığı rapor edilmiştir [2,5]. Kaynak öncesi uygulanan ön tav ısıtma işlemi kaynak sonrası soğuma hızını yavaşlatarak yapıdaki kristalin miktarını arttırmayı dolayısıyla birleştirme arayüzey dayanımını, K , iyileştirmeyi hedeflemiştir. Ön tav uygulandıktan sonra belirlenen çevre sıcaklığında birleştirilen numunelerin çekme soyma-ayrılma enerjisinde azda olsa azalma tespit edilmiştir. Zira E_N kuvvet-uzama eğrisi ile ilişkili bir alan hesaplaması olduğundan birleştirmenin dayanımının yanısıra birim uzamasından da etkilenir. Birleştirmenin arayüzey dayanımı, K , yüksek olması istenilen bir durumdur. Ancak birim uzamanın yüksek olması boruların yüksek basınçlarda kullanılmasından dolayı istenilmez. Polietilen boruların kaynaklı birleştirmelerinde amaç gevreklikiği fazla arttırmadan dayanımı yükseltmektir. Araştırmalar PE100 doğalgaz boruların kaynak süresi çevre sıcaklığına bağlı makine tarafından belirlenen sürenin %62'de dahi birleştirebileceğini göstermiştir [1]. Çok uzun kaynak zamanı PE malzemenin yapısının bozulmasına yol açarak birleştirmenin gevrek ve düşük dayanımlı olmasına neden olmaktadır [1,36]. Çalışmada belirlenen kaynak zamanı yeterince uzun tutulmasına ilaveten ön tav ısıtma işlemi uygulanması birleştirmeye verilen ısı girdisinin artışına sebep olarak boruların yapısının bozulmasına diğer bir ifadeyle molekül zincirlerinin hasar görmesine neden olarak normal soyma-ayrılma enerjisinde azda olsa düşüşe yol açtığı düşünülmektedir. Fakat ani kuvvet etkisi altında kalındığında düşük çevre sıcaklıklarında ön tav ısıtma işlemi uygulandıktan sonra birleştirilen numunelerin yapısındaki kristalin bölgeyi sarmalayan amorf yapı katmanını incelerken darbeyi daha az absorbe ederek darbe dayanımında yeterince etkili olamadığı düşünülmektedir.

Çalışmada ayrıca oda sıcaklığında, 0°C ve -30°C çevre sıcaklıklarında birleştirilen YYPE100 ve OYPE80 doğalgaz borularının oda sıcaklığında test edilen izod darbe deneyi numunelerinin kırılma yüzeyleride değerlendirilmiştir (Bkz. Şekil 4.22 ve

4.30). Oda sıcaklığında birleştirilen kaynaklı numunenin yapısındaki daha kaba ve hacimsel olarak fazla kristalin miktarına bağlı olarak gevrek kırılma oluşmuştur. Azalan çevre sıcaklığıyla kaynak bölgesinin yapısındaki kristalin hacimsel oranının azalmasına bağlı olarak, diğer bir ifadeyle bölgedeki artan ince katman şeklindeki amorf yapı miktarıyla ilişkili olarak daha sünek bir kırılma gerçekleşmiştir.

Çalışmada 60°C sıcaklıkta ön tav uygulandıktan sonra oda sıcaklığında, 0°C ve -30°C çevre sıcaklıklarında birleştirilen PE100 ve PE80 doğalgaz borularının izod darbe deneyi numunelerinin kırılma yüzeyleride değerlendirilmiştir (Bkz. Şekil 4.25 ve 4.33.). Ayrıca çalışmada oda sıcaklığında ve 0°C çevre sıcaklığında temin edildiği şekliyle ve 60°C sıcaklıkta ön tav ısıl işlemi uygulandıktan sonra birleştirilen PE100 ve PE80 doğalgaz borularının izod darbe numunelerinin kırılma yüzeyleri irdelenmiştir (Bkz. Şekil 4.26, 4.27, 4.34 ve 4.35.) İlave olarak çalışmada 60°C ve 80°C sıcaklıkta ön tav ısıl işlemi uygulandıktan sonra -30°C çevre sıcaklığında birleştirilen PE100 ve PE80 numunelere artan ön tav sıcaklığının etkiside araştırılmıştır. Deney numuneleri kırılma yüzeyleri bir arada değerlendirilmiştir (Bkz. Şekil 4.28 ve 4.36.)

Ön tav ısıl işlemi uygulandıktan sonra oda sıcaklığında birleştirilen kaynaklı numunenin yapısındaki daha fazla kristalin miktarına bağlı olarak genel olarak daha gevrek kırılma gerçekleşmiştir. Azalan çevre sıcaklığıyla kaynak bölgesinin yapısındaki kristalin miktarının azalmasına ve amorf katmanının incelmesine bağlı olarak daha sünek bir kırılma davranışıyla kırılmanın gerçekleştiği görülmektedir. Artan ön tav sıcaklığı -30°C çevre sıcaklığında birleştirilen PE80 numunelerin kırılma yüzeyinin sert kristalinlerini çevreleyen ince amorf katmanının kesiti daralarak ve sünerek uzaması sünek kırılma biçimi olarak değerlendirilmektedir.

YYPE100 ve OYPE80 birleştirmelerinin kırılma yüzey görüntülerinde göze batan önemli bir hususta yapıdaki sert kristalinler etrafındaki amorf bölge PE100 borunun yüksek yoğunluğu ile ilişkili olarak daha gevrek bir görünüm sergilerken PE80 ise daha sünek görünüm sergilemektedir.

BÖLÜM 6

GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

- Elektrofüzyon kaynağıyla birleştirilen YYPE100 boruların kaynak zamanı azalan çevre sıcaklığı ile arttığı tespit edildi. Ancak bu değişim OYPE80 boru birleştirmeleri için YYPE100 borularından daha az olduğu belirlenmiştir. Kaynak makinesi kaynak zamanını çevre sıcaklığıyla ilişkilendirilerek belirlediği için ön tav ısıl işleminin kaynak zamanı üzerinde etkisi olmamıştır.
- Farklı çevre sıcaklıklarında temin edildiği şekliyle ve ön tav uygulanarak birleştirilen YYPE100 ve OYPE80 borularının sızdırmazlık testinden başarı ile geçtiği tespit edilmiştir.
- Farklı çevre sıcaklıklarında temin edildiği şekliyle ve ön tav uygulanarak birleştirilen YYPE100 ve OYPE80 boruların tamamı ezme testinden başarıyla geçtiği belirlenmiştir.
- Elektrofüzyon kaynak yöntemiyle farklı çevre sıcaklıklarında birleştirilen YYPE100 ve OYPE80 boruların birleştirme arayüzey dayanımı, K, yapıdaki oluşan kristalin hacim oranındaki düşüşe bağlı olarak azalan çevre sıcaklığıyla azaldığı tespit edilmiştir. PE80 borularıyla karşılaştığında PE100 birleştirmeleri için birleştirme arayüzey dayanımı, K, daha yüksek bulunmuştur.
- YYPE100 ve OYPE80 borularında düşük sıcaklıklarda birleştirilen numunelerin kristalin miktarındaki azalma soyma-ayırılma enerjisinde, E_N artışa ve numunelerde daha sünek bir ayrılmaya sebep olmuştur. Çekme soyma-ayırılma enerjisi PE100 borularıyla karşılaştığında PE80 birleştirmeleri için daha düşük bulunmuştur.

- Artan çevre sıcaklığı ile birlikte çiftli çekme soyma-ayrılma test numunelerinin ayrılma yüzeyi daha gevrek ve düz bir yüzey sergilerken, düşük çevre sıcaklıklarında birleştirilenlerin yüzeyi ise daha lifli ve girintili çıkıntılı sünek ayrılma biçimi göstermektedir.
- Ön tav ısıtma işlemi (60°C sıcaklıkta 2 saat için) düşük çevre sıcaklıklarında birleştirilen PE100 ve PE80 numunelerin birleştirme arayüzey tokluğuna olumlu yönde etki ederken, yüksek çevre sıcaklığında birleştirilen numunelerin dayanımına ise olumsuz yönde etki ettiği tespit edilmiştir. Birleştirmelerin çekme soyma-ayrılma enerjileri ise artan çevre sıcaklığıyla düşerken azalan çevre sıcaklığıyla belirgin bir şekilde iyileşme göstermiştir.
- Genel eğilim azalan çevre sıcaklığıyla PE100 ve PE80 deney numunelerinin darbe dayanımının azalması yönündedir. Düşük çevre sıcaklıklarında birleştirilen numunelerde kaynak sonrası hızlı soğuma işlemi çok sayıda küçük kristalinleri çevreleyen ince amorf katmanı ile çevrelendiği için ani kuvveti yeterince absorbe edemeyerek kırılma tokluğunda azalmaya sebep olduğu düşünülmektedir. Yüksek çevre sıcaklıklarında birleştirilen numunelerde yavaş soğuma az sayıda kaba kristalinlerin bulunduğu bir yapının oluşmasına neden olur. Buda kaba kristalinlerin etrafını sergileyen amorf malzeme katmanının daha kalın oluşmasına neden olarak ani kuvveti daha fazla absorbe ederek tokluğun yüksek bulunmasına neden olduğu düşünülmektedir.
- Genel olarak PE100 birleştirmesinin darbe dayanımı PE80 birleştirmelerine oranla daha yüksek bulunmuştur. Bunda PE100 borunun yoğunluğunun PE80 boruya göre daha yüksek olmasının etkisi olduğu düşünülmektedir.
- PE100 ve PE80 birleştirmeleri için azalan çevre sıcaklığıyla kaynak bölgesinin yapısındaki kristalin miktarının azalmasına bağlı olarak, diğer bir ifadeyle bölgedeki artan amorf yapı miktarıyla ilişkili olarak daha sünek bir kırılma davranışıyla kırılmanın gerçekleştiği görülmektedir. Bu durum düşük çevre sıcaklıklarında birleştirilen numunelerin kristalin çekirdeklenme sayısının

artışına neden olurken onu çevreleyen amorf yapı hacim oranının artmasına fakat amorf katman kalınlığının incelmesine neden olarak darbe etkisini yeterince absorbe edemez duruma getirdiği düşünülmektedir.

- YYPE100 ve OYPE80 birleştirmelerinin kırılma yüzeyinde; yapıdaki sert kristalinler etrafındaki amorf bölge PE100 borunun yüksek yoğunluğu ile ilişkili olarak daha gevrek bir görünüm sergilerken PE80 ise daha sünek görünüm sergilemektedir.

KAYNAKLAR

1. Boge, L. and Hjrtfors, E., “Surface Analysis Of Polyethylene Pipes And Failure Characterization Of Electrofusion Joints”, Master of Science Thesis, **Department of Chemical and Biological Engineering**, Chalmers University Of Technology, Göteborg-Sweden, 1-36(2011).
2. Akkurt, A., “An Analysis Of Electromelting And Hot Element Welding Method’s Safety Used To Join PE Natural Gas Pipes”, **International Journal Of Electronics, Mechanical And Mechatronics Engineering**, Vol. 3 No 2: 493-504 (2014).
3. Akkurt, A. ve Saraç, E., “Farklı Ortam Sıcaklıklarında Elektroergitme Kaynağı ile Birleştirilen PE Doğalgaz Transfer Hatlarının Güvenirliklerinin Araştırılması”, **Electronic Journal Of Machine Technologies**, Vol. 9 No 2: 39-52 (2012).
4. Akkurt, A. ve Ertürk, I., “Sıcak Elaman Alın Kaynak Yöntemi İle Birleştir -ilen PE Doğalgaz Borularının Güvenirliklerinin Araştırılması”, **Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi**, Vol. 16 No 2: 221-233 (2010).
5. Chen, W. F. and Cheng, Lu. M., “Tension And Compression Tests Of Two Polymers Under Quasistatic and Dynamic Loading”, **Polymer Testing**, vol. 21, 113–121(2002).
6. Frank, A., Pinter, A.G. and Lang, R.W. B., “Prediction Of The Remaining Lifetime Of Polyethylene Pipes After Up To 30 Years In Use”, **Polymer Testing**, vol. 28, 737–745 (2009).
7. Mruk, S.A. “A finite element model of the electrofusion welding of thermoplastic pipes”, **Twelfth Plastic Fuel Gas Symposium**, Boston, 2–22(1991).
8. Rajendra K. Krishnaswamy, “Analysis Of Ductile And Brittle Failures From Creep Rupture Testing of High-Density Polyethylene (HDPE) Pipes”, **Polymer**, vol. 46, 11664–11672 (2005).
9. Andreas Frank D., Gerald Pinter C., Ivaylo Mitev, Luboš Nahlik A.B., Martin Ševcik, A.B. and Pavel Hutar, A., “A Numerical Methodology For Lifetime Estimation of HDPE Pressure Pipes Engineering Fracture Mechanics”, vol. 78, 3049–3058 (2011).
10. Iranian Gas Standards, IGS-C-DN-001, Code of Practice For Construction And Commissioning of PE Gas Networks.
11. DVS 2207-1 Standard, Welding of Thermoplastics Heated Tool Welding of Pipes, Pipeline Components Made of PE-HD.

12. Akkurt, S., "Plastik Malzeme Bilgisi", *Birsen Yayın Evi*, İstanbul,(1991).
13. Zade, .P.H., "Heating And High-Frequency Welding of Plastics", *Temple Press Books*, London, 42-87(1959).
14. Buckley, C.P., Bucknall, C.B. and Mccrum, N.G., "Principles Of Polymer Engineering", *Oxford University Press*,15-146(1991).
15. MEGEP (Mesleki Eğitim Ve Öğretim Sisteminin Güçlendirmesi Projesi), "Plastik Teknolojisi Polimerlerin Fiziksel Özellikleri", Ankara, 3-52(2006).
16. Lovell, P.A. and Young, R.J. , "Introduction To Polymers", *CRC Press*, Boca Raton, 2nd Ed., 23-186(1991).
17. Menges, G. And Osswald, T.A., "Materials Science Of Polymers For Engineers", *Hanser Gardner Publications*, Munich , 2nd Ed., 14-46(2003).
18. Strobl, G.R., "The Physics Of Polymers : Concepts For Understanding Their Structures And Behavior", *Springer*, New York, 3rd Ed., 74-89(2007).
19. Basan, S., "Polimer Kimyası", *Cumhuriyet Üniversitesi*, Ankara, (2001)
20. Tsuruta, T., "Polimer Kimyası", Mustafaev, M. , *Seç Yayın Dağıtım*, İstanbul, (2001).
21. Beşergil, B., "Polimer Kimyası", *Öz Baran Ofset Matbaacılık*, (2008).
22. Pişkin, E., "Polimerler-2: Mühendislik Polimerleri", *Pagev Yayınları*,(2000).
23. Saçak M., "Polimer Kimyası", *Gazi Kitabevi*, (2006).
24. Bilgiç, T., Cöbek, M., Erbay, E., Taşkıran,İ., Ezdeşir, A. ve Yağcı, M.A., "Polimerler-1", *Pagev Yayınları*, (1999).
25. İkizler, A., "Organik Kimyaya Giriş", *Ege Üniversitesi Yayınları*, İzmir(1982).
26. Uyar, T., "Organik Kimya", *Güneş Kitabevi*, Ankara, (1992).
27. Baysal, B., "Polimer Kimyası", *ODTÜ Yayınları*, Ankara, 15-175(1981).
28. Beşergil, B., "Polimer Teknolojisi", *Ege Üniversitesi Yayınları*, İzmir, 78-182(2010).
29. İşler, R. ve Alanbay, D., "Plastik İşleme Teknolojisi", *Aliğa Petro- kimya yayınları*, 23-64(1989).
30. Pişkin, E., "Polimerler 2 (Mühendislik polimerleri)", *Pagev Yayınları*, İstanbul, 26-54(1999).
31. Pişkin, E., "Polimer Teknolojisine Giriş", *İnkilap Yayınevi*, İstanbul,(1987).

32. Akovalı, G., “Polimer Temel ve Uygulamalı”, *Ankara Üniversitesi Basımevi*, 15-78(1984).
33. T.C.Milli Eğitim Bakanlığı, “Kimya Teknolojisi Etilen Türevleri Ve Prosesleri”, Ankara, (2010)
34. Çolak, Ö.Ü. ve Düşünceli, N., “İmalat Yöntemlerinin Yüksek Yoğunluklu Polietilenin (YYPE) Tek Eksenli Çekme Davranışı Üzerindeki Etkisi”, *8.Uluslar Arası Kırılma Konferansı Bildiriler Kitabı*, 290-301(2007).
35. Plastics Pipe Institute (PPI), “HANDBOOK OF PE PIPE”, First Edition, 5-155(2006).
36. Bowman, J., “A Review Of The Electrofusion Joining Process For Polyethylene Pipe Systems”, *Polymer Engineering And Science*, Vol. 37 No 4: 674-691(1997).
37. Joy, J.J., “Mechanical And Chemical Properties Of High Density Polyethylene: Effects Of Microstructure On Creep Characteristics”, Doctoral Thesis, *Chemical Engineering*, University Of Waterloo, 9-33(2008).
38. Akgüngör, A.A. ve Say, S.S., “Welding Defects And Their Reasons Observed In Electrofusion Welding Of Polyethylene Pipes”, *24th World Gas Conference*, WGC Argentina, 1-11(2009).
39. Akio, N., Fumio, I., Hiroyuki, N. and Testuo, I., “Design Of Electrofusion Joints And Evaluation Of Fusion Strength Using Fusion Simulation Technology” *Polymer Engineering And Science*, Vol. 34 No 20: 1529-1534(1994).
40. Rouge, B. and Stakenborghs, R., “Microwave Based NDE Inspection Of HDPE Pipe Welds”, *17th International Conference On Nuclear Engineering*, Brussels, Belgium, 1-9(2009).
41. Fukumurat, M., Fujikakef, M. and Kitao, K., “Analysis Of The Electrofusion Joining Process In Polyethylene Gas Piping Systems”, *Computer And Structures*, Vol. 64 No 5/6, 939-948(1997).
42. Gerasimov, A.I., Egorova, M.P. and Starostin, N.P., “The Temperature Field Dynamics In The Electrofusion Welding Of Gas-Line Polyethylene Pipes”, *Plasticheskie Massy*, No.2: 27–30(2013).
43. DIN 4279-1 Part 1. Standard, Leak Test Of Pressure Pipe Systems.
44. ISO 13955:1997 Standard, Plastics Pipes And Fittings Crushing Decohesion Test For Polyethylene (PE) Electrofusion Assemblies.
45. ISO 13954:1997 Standard, Plastics Pipes And Fittings Peel Decohesion Test For Polyethylene (PE) Electrofusion Assemblies Of Nominal Outside Diameter Greater Than or Equal To 90 mm.

46. BS EN 12814-4:2001 Standard, Testing Of Welded Joints Of Thermoplastic Semi Finished Products –Part 4: Peel Tests.
47. Bivolaru, C., Murar, D., Nita, A. and Opran, C., “Charpy Impact Test On Polymeric Molded Parts”, *Academic Journal Of Manufacturing Engineering*, VOL. 8 No1: 85-91(2010).
48. Hylton, D.C., “Understanding Plastics Testing”, *Carl Hanser Verlag*, 5-35(2004).
49. ASTM-D256-10:2010 Standard, Test Methods For Determining The Izod Pendulum Impact Resistance Of Plastics.
50. PipeLife, Anhar Hayat Kerman Ve Innogaz Firmalarının Ürün Katalogları ve Kalite Kontrol Belgeleri.
51. Weissbach, W., “Materials Science And Materials Testing”, *Verlag*, 250-270(2007).
52. Carraher, Jr. and Charles, E., “Polymer Chemistry”, *CRC Press*, 37-58(2005).
53. Menges, G. “Werkstoffkunde Kunststoffe”, *Hanser*, 45-67(2002).
54. Leever, P. and Morales, A.G., “Experimental And Numerical Investigation Of Barreling At The Cut Endsof Solid And Skinned PE Pipes”, *Polymer Testing*, vol. 31, 557–563 (2012).
55. Brown, N. , Lu, X. and Qian, R. , “The Effect Of Crystallinity On Fracture And Yielding Of Polyethylenes”, *Materials Science and Engineering*, vol. 26, 1338-1343(2006).
56. Rosala, G. F., “The process mechanics of polymer pipes welding by electrofusion”, PhD thesis, *Polymer Engineering*, University of Bradford, 15-67(1995).
57. Boyer, S.A.E. and Haudin, J. M., “Crystallization Of Polymers At Constant And High Cooling Rates: A New Hot-Stage Microscopy Set up”, *Polymer Testing*, Vol. 29, 445–452(2010).
58. Strobl, G., “Crystallization And Melting Of Bulk Polymers: New Observations, Conclusions And A Thermodynamic Scheme”, *Progress in Polymer Science*, Vol. 31, 398–442(2006).
59. Lugito, G., Wang, L.Y., Wang, Y.H. and Woo, E.M. , “Phase Behavior, Polymorphism And Spherulite Morphology İn Poly (1,4-Butylene Adipate) Interacting With Two Structurally Similar Acrylic Polymers”, *Polymer*, Vol. 53, 3815-3826 (2012).

ÖZGEÇMİŞ

Asghar NAJAFIĞHAREHTAPEH 1984 yılında DOĞU AZERBAYCAN bölgesine bağlı olan KARATEPE köyünde, İRAN'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini KARATEPE'de tamamladı. 2002 yılında MARAND şehrinde Ebureyhan başarılı öğrenciler Lisesi Matematik ve Fizik Bölümü'nü bitirdi. 2003 yılında kazandığı TEHRAN, Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Sapco Meslek Yüksek Okulu, Kalite Kontrol Bölümü'nü 2005 yılında tamamladı. Aynı yıl başlamış olduğu lisans eğitim-öğretimini QAZVIN, Kar Üniversitesi, İmalat Mühendisliği Bölümü'nü 2008 yılında tamamlamıştır. 2013 yılında başlamış olduğu Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İmalat Mühendisliği anabilim dalında yüksek lisans eğitim öğretimine devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Culfa Caddesi 24 Metre Darayı Arkası Sokağı Lale Sitesi Karşısı Hassan NAJAFİ QARATEPE MARAND Doğu AZERBAYCAN İRAN.

Tel : 05372188466

E-posta : najafi.asghar@yahoo.com