



**DOĞALGAZ ŞEBEKESİ İÇİN KULLANILAN
POLİETİLEN SEMER (SADDLE) TEE EK
PARÇALARININ SIZDIRMAZLIK
SORUNLARININ ARAŞTIRILMASI VE YENİ
TASARIM KRİTERLERİNİN OLUŞTURULMASI**

Elvan SARI

**2022
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Cevat ÖZARPA**

**DOĞALGAZ ŞEBEKESİ İÇİN KULLANILAN POLİETİLEN SEMER
(SADDLE) TEE EK PARÇALARININ SIZDIRMAZLIK SORUNLARININ
ARAŞTIRILMASI VE YENİ TASARIM KRİTERLERİNİN
OLUŞTURULMASI**

Elvan SARI

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Cevat ÖZARPA**

**KARABÜK
Ocak 2022**

Elvan SARI tarafından hazırlanan “DOĞALGAZ ŞEBEKESİ İÇİN KULLANILAN POLİETİLEN SEMER (SADDLE) TEE EK PARÇALARININ SIZDIRMAZLIK SORUNLARININ ARAŞTIRILMASI VE YENİ TASARIM KRİTERLERİNİN OLUŞTURULMASI” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Cevat ÖZARPA

.....

Tez Danışmanı, Enerji Sistemleri Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 28/01/2022

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Kurtuluş BORAN, (GÜ)

.....

Üye : Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK, (KBÜ)

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Cevat ÖZARPA, (KBÜ)

.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

.....

Lisansüstü Eğitim 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.”

Elvan SARI

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

**DOĞALGAZ ŞEBEKESİ İÇİN KULLANILAN POLİETİLEN SEMER
(SADDLE) TEE EK PARÇALARININ SIZDIRMAZLIK SORUNLARININ
ARAŞTIRILMASI VE YENİ TASARIM KRİTERLERİNİN
OLUŞTURULMASI**

Elvan SARI

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Dr. Öğr. Üyesi Cevat ÖZARPA

Ocak 2022, 93 sayfa

Semer T (ing; saddle tee) parçaları, doğalgaz borularının döşenmesi sırasında branşman almak için kullanılan bağlantı elemanlarıdır. Bu parçalar, PE malzemeden yapılan dağıtım hatlarına elektrofüzyon kaynağı ile bağlanmaktadır. Sızıntı kontrolü yapıp güvenilir şekilde üzeri kapatılmasına rağmen zaman içerisinde sıcaklık farkı, zemin oturması ve insan faktörü gibi çeşitli sebeplerle kontrolsüz gaz çıkışlarına sebep olmaktadır. Kontrolsüz gaz çıkışları, getirdiği sonuçlar itibariyle istenmeyen bir durumdur. Bu çıkışların görüldüğü başlıca yerler arasında Polietilen (PE) dağıtım hattı bağlantı noktaları gelmektedir. Sızıntılar ise çevre kirliliğine, işletmeler açısından maddi ve manevi kayıplar anlamına gelmektedir. Bu çalışma ile semer T parçalarının olduğu bölgelerde meydana gelen gaz sızıntılarının sebeplerinin belirlenmesi ve yeni bağlantı elemanına ihtiyaç duyulması durumunda bu parçaların tasarımında/imalatında

hangi kriterlere dikkat edilmesi gerektiğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın nihai hedefi ise üniversite sanayi iş birliği ile arz sağlayıcıların kullanabilecekleri yeni bağlantı elemanları kriterleri belirlemektir.

Anahtar Sözcükler : Doğalgaz, Polietilen, Elektrofüzyon Kaynağı, Saddle Tee.

Bilim Kodu : 92808

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

RESEARCHING THE LEAKING PROBLEMS OF POLYETHYLENE SADDLE TEE FITTINGS USED FOR NATURAL GAS NETWORK AND CREATING NEW DESIGN CRITERIA

Elvan SARI

Karabük University

Institute of Graduate Programs

Department of Energy Systems Engineering

Thesis Advisor:

Dr. Öğr. Üyesi Cevat ÖZARPA

January 2022, 93 pages

Saddle Tee parts are connecting elements used for branching during the laying of natural gas pipes. These parts are connected to distribution lines made of PE material by electrofusion welding. Although the pipeline tested before commissioning leak can occur over time due to various reasons such as temperature difference, ground settlement and human factor. Uncontrolled gas output is an undesirable situation due to the consequences it brings. Polyethylene (PE) distribution line connections are among the main places where these leaks are observed. Leaks, on the other hand, cause environmental pollution, material, and moral losses for businesses. With this study, it is aimed to determine the causes of gas leaks in elements of fitting where there are saddle Tee pieces and to determine the criteria to be considered in the design/manufacturing of these parts in case a new fastener is needed. The ultimate goal of the study is to determine the criteria for new fasteners that can be used by supply providers with university-industry cooperation.

Key Word : Natural Gas, Polyethylene, Electrofusion welding, Saddle Tee.

Science Code : 92808

TEŞEKKÜR

Bu tez çalıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Cevat ÖZARPA'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tez çalışması süresince bilgi ve eleőtirilerinden yararlandığım, hocalarım sayın Prof. Dr. Mustafa YAŐAR'a ve sayın Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK'a sonsuz őükranlarımı sunarım.

Sevgili aileme manevi hiçbir yardımını esirgemedен yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
1.1. DOĞALGAZIN KULLANIMA HAZIRLANMASI.....	1
1.2. DOĞALGAZIN KİMYASAL ÖZELİKLERİ.....	2
1.3. DOĞALGAZIN KULLANIMININ GETİRDİĞİ AVANTAJLAR	2
1.4. DOĞALGAZIN YANMASI.....	4
1.5. DÜNYADA KEŞFEDİLMİŞ DOĞALGAZ REZERVLERİ.....	5
1.6. DOĞALGAZ İHRACAT YÖNTEMLERİ.....	6
BÖLÜM 2	8
POLİETİLEN BORULARIN YAPISI.....	8
2.1. POLİETİLENİN ÜRETİMİ	8
2.2. POLİMERİZASYON PROSESİ.....	9
2.3. AYPE ve YYPE TANIMLANMASI.....	10
2.4. PLASTİK MALZEMELERİN KİMYASAL YAPISI.....	10
2.5. TERMOPLASTİK MALZEMELERİN ŞEKİLLENDİRİLMESİ.....	12
BÖLÜM 3	17

	<u>Sayfa</u>
3.1. POLİETİLEN BORULAR.....	17
3.2. PE ELEKTROFÜZYON FİTINGS ÇEŞİTLERİ	26
BÖLÜM 4	36
4.1. FÜZYON SÜREÇLERİ.....	36
4.2. ELEKTROFÜZYON YÖNTEMİNİN TERCİH EDİLME SEBEBİ	36
4.3. ELEKTROFÜZYON SİSTEMİ.....	38
4.4. ELEKTROFÜZYON KAYNAĞININ YÖNTEMLERİ.....	39
4.5. ELEKTROFÜZYON KAYNAĞI YAPIMI	39
4.6. ELEKTROFÜZYON KAYNAK TEKNİKLERİ	42
4.7. PE HATLARDA SIZDIRMAZLIK TESTİ.....	51
BÖLÜM 5	52
5.1. ELEKTROFÜZYON KAYNAK HATALARI VE SEBEPLERİ	52
BÖLÜM 6	62
6.1. FMEA ÇEŞİTLERİ.....	62
6.2. RISK ÖNCELİK SAYISI (RÖS).....	63
BÖLÜM 7	66
SAHA UYGULAMALARI	66
7.1. FİRMA TANITIMI.....	66
7.2. SADDLE TEE TANIMI	66
7.3. ÜRÜNÜN TANITIMI	66
7.4. FMEA EKİBİ VE ÇALIŞMA YÖNTEMİ	68
7.5. FMEA ÇALIŞMASI	69
7.6. BULGULAR.....	72
BÖLÜM 8	85
SONUÇLAR	85
KAYNAKLAR	88
ÖZGEÇMİŞ	93

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1. İdeal yanma	4
Şekil 1.2. Doğalgaz molekülü	4
Şekil 1.3. Doğalgaz yanma denklemi	5
Şekil 1.4. Boru hatlarıyla iletim	6
Şekil 1.5. LNG tankerlerle deniz yoluyla taşınımı	6
Şekil 1.6. CNG tankerlerle kara yoluyla taşınımı	7
Şekil 2.1. Polietilenin polimerizasyonu.....	8
Şekil 2.2. Yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) üretim şeması.....	9
Şekil 2.3. Alçak yoğunluklu polietilen (AYPE) üretim şeması	9
Şekil 2.4. Püskürtme (Enjeksiyon) işleminin yapılışı	13
Şekil 2.5. Ekstrüzyon makinesinin şeması	15
Şekil 2.6. Polietilen boru imalatı ve boruların kangal olarak üretilmesi	16
Şekil 3.1. Polietilen borular	17
Şekil 3.2. Polietilen borular üzerindeki ifadeler	19
Şekil 3.3. Polietilen boru renkleri	19
Şekil 3.4. MRS PE 80'den imal edilen plastik borular için ömür grafiği	21
Şekil 3.5. Polietilen boru bağlantı manşonunun ergimesi	27
Şekil 3.6. Polietilen boru bağlantı manşonunun yapısı	27
Şekil 3.7. Polietilen boru bağlantı manşonunun rezistanslarının x ışını altında görünümü	27
Şekil 3.8. Polietilen boru bağlantısı saddle tee.....	28
Şekil 3.9. Polietilen boru bağlantısı dirsek ve kep	28
Şekil 3.10. Taşınabilir jeneratör	29
Şekil 3.11. Delme aparatı	29
Şekil 3.12. PE kazıyıcılar	30
Şekil 3.13. PE pozisyoner	30
Şekil 3.14. PE boğma makinaları	31
Şekil 3.15. PE boru kesme makasları	31
Şekil 3.16. PE sh için sabitleyici pense	32
Şekil 3.17. Solvent	32

Sayfa

Şekil 3.18. Makara	33
Şekil 3.19. PE sarım makaraları.....	33
Şekil 3.20. Doğalgaz uyarı ikaz bandı	34
Şekil 3.21. Trafik işaretleri.....	34
Şekil 3.22. Çalışma levhaları	35
Şekil 4.1. Boru doğrultma ilkeleri	41
Şekil 4.2. S 700 Duvar tipi servis kutusu	43
Şekil 4.3. CES 200 Yer tipi servis kutusu	43
Şekil 4.4. Farklı Çaplarda bulunan saddle tee	44
Şekil 4.5. Saddle tee köpük kontrolü.....	45
Şekil 4.6. Farklı çaplarda dağıtım hattı kaynakları	45
Şekil 4.7. Farklı çaplarda dağıtım hattı boğma ve by-pass işleminin yapılması.....	46
Şekil 4.8. Manşon kaynağı	47
Şekil 4.9. Canlı hatta kaynak yapma tekniği	48
Şekil 4.10. Canlı hat yapımı	48
Şekil 4.11. Elektrofüzyon kaynak makinası.....	50
Şekil 4.12. Elektrofüzyon kaynağının basamakları.....	51
Şekil 5.1. Fazla ısının verilmesi ile erime	54
Şekil 5.2. Kaynak ve soğuma süresince pozisyoner kullanımı	55
Şekil 5.3. Kaynak noktasında kasıntı oluşumu.....	55
Şekil 5.4. Kaynak noktasında kasıntı oluşumunun kesit görüntüsü	55
Şekil 5.5. Boru ve fittinglerde kasıntı sonucunda akma.....	56
Şekil 5.6. Oval boru kullanılması sonucu kesim sırasında ayrılan kaynak bölgesi..	57
Şekil 5.7. Düşük gerilim sonucu kaynak noktasında ayrılma	57
Şekil 5.8. Boru alınları arasında boşluk	59
Şekil 5.9. Rezistansların bir araya toplanması	59
Şekil 5.10. Eriyen malzemenin boru içine akması	60
Şekil 5.11. Boruların yamuk kesilmesi sonucunda malzemede akma	60
Şekil 7.1. Saddle tee	67
Şekil 7.2. Saddle tee iç yapısı.....	67
Şekil 7.3. Saddle tee montajı	68
Şekil 7.4. RÖS dağılımı.....	72
Şekil 7.5. Şiddet dağılımı	72

Sayfa

Şekil 7.6. Olasılık dağılımı.....	73
Şekil 7.7. Farkedilebilirlik dağılımı	73
Şekil 7.8. Hata sebeplerinin oransal dağılımı.....	74
Şekil 7.9. Bıçak tasarım modeli.....	76
Şekil 7.10. Farklı modellerde çizilmiş Saddle Tee	77
Şekil 7.11. Ø63X63 Saddle Tee'ye farklı yönlerde uygulanan yükler ve momentler	78
Şekil 7.12. Ø63X63 Saddle Tee de emniyet katsayısı	78
Şekil 7.13. Ø63X63 Saddle Tee de total deformasyon	79
Şekil 7.14. Ø63X63 Saddle Tee de max. ve min. bölgeler	80
Şekil 7.15. Ø125X63 Saddle Tee'ye farklı yönlerde uygulanan yükler, momentler .	81
Şekil 7.16. Ø125X63 Saddle Tee de gerilmeye uğrayan bölgeler	81
Şekil 7.17. Ø125X63 Saddle Tee de emniyet katsayısı	82
Şekil 7.18. Ø125X63 Saddle Tee de total deformasyon	82
Şekil 7.19. Ø90X32 Saddle Tee'ye farklı yönlerde uygulanan yükler ve momentler	83
Şekil 7.20. Ø90X32 Saddle Tee de total deformasyon	83
Şekil 7.21. Ø90X32 Saddle Tee de eş değer gerilme	84

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1. Doğal gaz bileşenleri.....	2
Çizelge 1.2. Ülkelere göre doğalgaz rezervi.	5
Çizelge 2.1. Enjeksiyon kalıp şekillendirmede işleme etki eden faktörler	13
Çizelge 2.2. Malzeme sınıflarına göre optimum sıcaklık değerleri	14
Çizelge 3.1. PE boruların mukavemet ve basınç dayanımları	18
Çizelge 3.2. PE boruların et kalınlıkları ve ağırlıkları	18
Çizelge 4.1. Elektrofüzyon manşonları montaj tablosu	41
Çizelge 6.1. Olasılık değer tablosu	64
Çizelge 6.2. Şiddet değer tablosu	64
Çizelge 6.3. Farkedilebilirlik değer tablosu	65
Çizelge 6.4. RÖS değer tablosu	65
Çizelge 7.1. FMEA ekip listesi	68
Çizelge 7.2. Saddle tee için kullanılan parçalar ve fonksiyonları	69
Çizelge 7.3. FMEA tablosu	70
Çizelge 7.4. İmalat kontrol formu	75
Çizelge 7.5. ELGEF marka ürün ebatları.....	77

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

C	: Karbon
H	: Hidrojen
N	: Azot
CO	: Karbonmonoksit
CO ₂	: Karbondioksit
CH ₃	: Metil
CH ₂	: Metilen
CH ₄	: Metan
C ₂ H ₄	: Etilen
⁰ C	: Celsius

KISALTMALAR

THT	: Tetra Hidro Tiyofen
LPG	: Sıvılaştırılmış Petrol Gazı
LNG	: Sıvılaştırılmış Doğalgaz
AYPE	: Alçak Yoğunluklu Polietilen
OYPE	: Orta Yoğunluklu Polietilen
YYPE	: Yüksek Yoğunluklu Polietilen
PE	: Polietilen
PP	: Polipropilen
PVC	: Polivinil Klorür
SH	: Servis Hattı
DH	: Dağıtım Hattı
MRS	: Minimum Gerekli Dayanıklık
GF	: George Fischer

kVA : Kilo Volt Amper
MPa : Megapascal
FMEA : Hata Türleri ve Etkileri Analizi
RÖS : Risk Öncelik Sayısı
UV : Ultraviyole
m : Metre
s : Saniye
g : Gram
kg : Kilogram

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Doğalgaz, yanıcı, havadan hafif, renksiz ve kokusuzdur [1]. Büyük oranda Metan'dan oluşur. Metan dışında içeriğinde etan, propan gibi hafif moleküler yapıdaki hidrokarbonlardan bulunur. Aynı zamanda hafif hidrokarbonların yanında az miktarda ağır hidrokarbonlar, karbondioksit, azot, hidrojen, hidrojen sülfür ve helyum bulunur. Doğalgaz yer altında yalnız başına bulunabileceği gibi petrol ile birlikte de bulunabilir [2]. Doğalgaz yoğun olarak elektrik üretiminde, konutlarda, sanayide ve hizmet sektöründe kullanılmaktadır.

1.1.DOĞALGAZIN KULLANIMA HAZIRLANMASI

Doğalgaz elde edildiği haliyle kullanılamaz. Ham doğal gazda su buharı, hidrojen sülfür, karbon dioksit, helyum, nitrojen vs., gibi kimyasal maddeler vardır. Ham doğalgaz boru hatlarına (pipe-line) verilmeden önce bir dizi işlemde geçirilerek saflaştırılır ve kurutulur; bunlar gazın içerdiği tüm hidrokarbonların ve akışkanların uzaklaştırılması aşamalarıdır. Hidrokarbon bileşimi ne olursa olsun kuyudan çıkarılan doğalgaza su buharları ve katı kirlilikleri uzaklaştırmak için ön prosesler uygulanır [1];

- CO₂ 'in giderilmesi
- Suyun giderilmesi
- Ağır hidrokarbonların giderilmesi
- Azotun giderilmesi
- Gazın temizlenmesi
- Kurutma

1.2. DOĞALGAZIN KİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Doğalgaz rutubetsiz, kuru, renksiz ve kokusuz bir gazdır. Doğalgaz bilinenin aksine zehirli bir gaz değildir. Bulunduğu ortamda oranı yükselirse boğucu hale gelmektedir. Aşağıda doğalgazın kimyasal özellikleri maddeler halinde verilmiştir.

- -162 °C de sıvı hale gelir,
- Doğalgazın bileşiminin büyük bölümü metandır. CH₄ yaklaşık % 95'tir,
- Doğalgaz içerisinde yanmayan hiçbir madde yoktur,
- 1 m³ gazın yanması sonucu ortalama 8250 kcal ısı açığa çıkar,
- Tam yanma sağlanamazsa CO gazı ortaya çıkar,
- Doğalgazın ortalama kalorifik değeri 8788 kcal/kg,
- Doğalgazın tutuşma sıcaklığı 650 °C,
- Doğalgazın alev hızı 0,36 m/s,
- Doğalgazın yoğunluğu 0 °C ve 1 atmosfer basınçta 0,67 ile 0,8 kg/m³ arasında değişir,
- Doğalgaz, kapalı bir hacimde hava ile % 5- % 15 oranında karıştığı zaman patlayıcı bir özellik alır; ateş ve kıvılcım gördüğünde patlar.

Çizelge 1.1. Doğalgaz bileşenleri [1].

MADDE	RUSYA GAZI	CEZAYİR GAZI (LNG)
METAN	% 98.52	% 91.4
ETAN	% 0.41	% 8.01
PROPAN	% 0.14	% 0.27
BÜTAN	% 0.06	% 0
AĞIR H.KARBON	% 0.03	% 0.02
KRBONDİOKSİT	% 0.03	% 0
AZOT	% 0.81	% 0.03

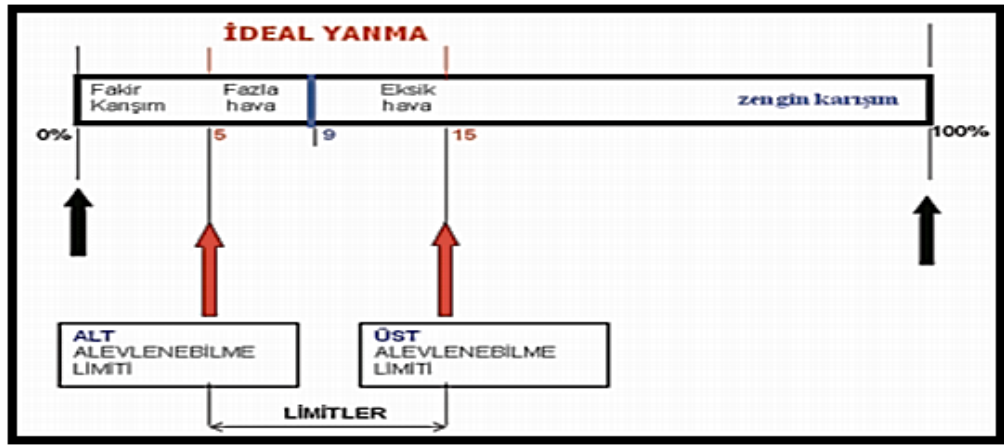
1.3. DOĞALGAZIN KULLANIMININ GETİRDİĞİ AVANTAJLAR

- Doğalgaz her an için kullanıma hazırdır,
- Stok yapma, önceden sipariş verme gerektirmez,

- Doğalgaz depolama yeri gerektirmez, böylece binalarda boş alanlar elde edilir,
- Doğalgaz ekonomiktir. Zaman ve iş gücü tasarrufu sağlar,
- Doğalgazlı cihazlarda ısı geçişi kısa sürede olur,
- Doğalgazlı cihazlarda sıcaklık kontrolü çok hassas olarak yapıldığı için hem yakıt kaybı azalır hem de konfor ve enerji tasarrufu sağlar,
- Verimli bir yakıt olması sebebiyle de enerji tasarrufu sağlar,
- Yandığı zaman atık bırakmaz, zehirsiz, külsüz, dumansızdır,
- Diğer yakıtlardan daha ucuzdur,
- Uzun zaman dilimi içinde aynı yakıt kalitesi elde edilebilir,
- Gaz oluşundan dolayı hava ile çok iyi karıştığından yanma verimi yüksektir,
- Ön yakıt hazırlama masrafı yoktur,
- Doğalgaz tesisatı ve cihazları düşük basınçla çalıştığı için LPG tüpleri gibi patlama tehlikesi ve basınçlı parça tesiri yoktur,
- Kurum, is gibi atık ürünleri olmadığı için ısı transfer yüzeyleri temiz kalır,
- Tesis çok az bakım ve denetleme gerektirir,
- Ham petrole alternatif bir yakıt olarak dış kaynaklı enerji çeşitliliği açısından stratejik bir avantaj sağlar,
- Ayrıca boru hatlarıyla kullanıcıya kadar iletiildiği için iletim maliyeti çok düşüktür. Ayrıca nakliye aracına ihtiyaç duyulmadığından karayollarının araç yükü azaltılır.
- Bir apartmanda her dairenin ayrı gaz sayacı monte ettirmesi halinde ne kadar gaz tüketildiği kolaylıkla belirlenir,
- Temiz olması ve içerisinde kükürt bulunmamasından dolayı birçok sanayi sektöründe doğrudan kullanılabilmesi hem sistem veriminin hem de ürünün kalitesinin artmasını sağlar,
- Karbon içeriğinin düşük olması nedeniyle atmosferde sera etkisi oluşturan ve insan sağlığı bakımından zehirleyici olan karbondioksit gazı emisyonu, katı yakıtlara göre 1/2 oranındadır [1].

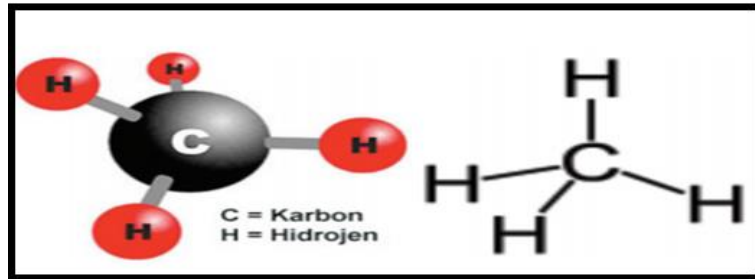
1.4. DOĞALGAZIN YANMASI

Doğalgazın yanabilmesi için hava ile % 5-15 arasında karışım yapması gerekir. Karışım oranı bu aralığın altında ya da üstünde olursa doğalgaz yanmaz. En iyi yanma karışımı % 9 doğalgaz ve % 91 havadır. Doğalgazın tutuşma sıcaklığı 650 °C'dir. Tam yanma anında mavi bir alevle yanar. Karışımın içinde % 95 ya da daha yüksek bulunan metan gazının özelliği kimyasal yapısı en basit ve karbon içeriği en düşük olan hidrokarbon gazı olmasıdır [1].



Şekil 1.1. İdeal yanma [1]

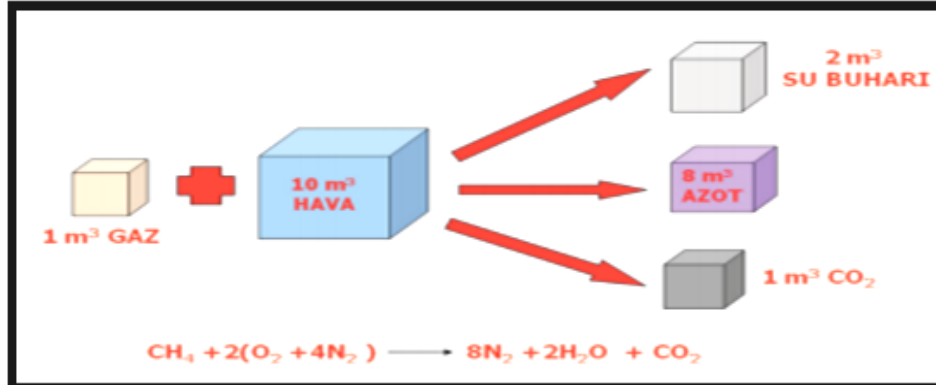
Metan molekülü 1 karbon 4 hidrojen atomundan oluşur.



Şekil 1.2. Doğalgaz molekülü [1]

Kimyasal yapısının basit olması nedeniyle yanma işlemi kolaydır ve tam yanma gerçekleşir. Dolayısıyla; duman, is, kurum ve kül oluşturmaz. Maden ocaklarında metan gazının havayla karışması sonucunda ve bir kaynak aracılığıyla reaksiyona geçerek patlamasına GRİZU PATLAMASI denilmektedir. Ancak kural ve standartlara

uyulduğunda ve gerekli tedbirler alındığında en az diğer yakıtlar kadar güvenli bir yakıttır [3]. Yanma için gerekli hava miktarı daha azdır. 1 m³ doğal gazın yanabilmesi için yaklaşık 10 m³ havaya ihtiyaç vardır. Gazların homojen yapısı dolayısıyla hava ile karışımları daha kolaydır. Bu yüzden yanma verimi de yüksek olur (% 95-99). 1 m³ doğal gazın yanma denklemi ve çıkan ürünler şu şekildedir [1].



Şekil 1.3. Doğalgaz yanma denklemi [1]

1.5. DÜNYADA KEŞFEDİLMİŞ DOĞALGAZ REZERVLERİ

Dünyada, Rusya, İran, Katar, Türkmenistan ve ABD zengin doğal gaz rezervlerine sahiptir. 2019 yılında en yüksek üretime sahip ABD'yi Rusya, İran, Katar, Çin ve Kanada izlemiştir. 2019 yılı sonu itibariyle dünya doğalgaz rezervi 198,8 trilyon m³ olarak gerçekleşmiş ve aynı yıl içerisinde bu rezervlerden 4 trilyon m³ doğalgaz üretimi yapılmıştır [2,4].

Çizelge 1.2. Ükelere göre doğalgaz rezervi (milyar m³) [5].

Ükelere Göre Doğalgaz Rezervi (milyar m ³)	
ÜLKE	PAY (%)
Rusya	24,38
İran	16,48
Katar	11,56
ABD	6,91
Türkmenistan	5,91
Türkiye	0,26

2020 sonu itibariyle resmi olarak 3.004.121.349 m³ olan Türkiye'nin doğalgaz rezervine 21 Ağustos 2020'de Sakarya sahasındaki Tuna-1 kuyusunda 320 milyar m³,

17 Ekim 2020'de Sakarya sahasındaki Tuna-1 kuyusunda 85 milyar m³ ve 4 Haziran 2021'de Amasra-1 kuyusunda 135 milyar m³ rezerv bulunduğu duyurulmuştur. Açıklanan bu yeni 540 milyar m³ doğalgaz rezervi henüz uluslararası raporlarda yayımlanmamıştır [5].

1.6. DOĞALGAZ İHRACAT YÖNTEMLERİ

1.6.1. Dünya Üzerinde Doğalgaz Taleplerini Karşılama İçin Kullanılan Taşıma Yöntemleri

Doğalgaz boru hatlarıyla, LNG ve CNG olarak taşınmaktadır.

a) Boru hatlarıyla

Doğalgaz nakli için taşınması esnasında en sık kullanılan yöntem boru hatlarıyla taşıma yöntemidir.



Şekil 1. 4. Boru hatlarıyla iletim

b) Özel tasarlanmış tanker gemilerle deniz yoluyla

Doğalgazın deniz aşırı naklinde LNG ve CNG yöntemleri kullanılmaktadır. LNG yönteminde doğalgaz atmosfer basıncında -163 °C ye kadar soğutulmaktadır. CNG yönteminde ise doğalgaz standart hacminin %1'i ne kadar sıkıştırılmaktadır..



Şekil 1.5. LNG tankerlerle deniz yoluyla taşınımı

c) Tankerlerle kara ve deniz yoluyla

Doğalgaz taşınırken kullanılan CNG (Compressed Natural Gas) doğalgazın sıkıştırılarak taşındığı yöntemdir.



Şekil 1.6. CNG tankerlerle kara yoluyla taşınımı

Ülkeler arasında doğalgaz nakli ülkelerin konumuna bağlı olarak yukarıdaki 3 yöntem kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Deniz ulaşımıyla yapılan doğal gaz nakli boru hatlarıyla yapılan nakillere göre hem uzun sürmekte hem de maliyetli olmaktadır. Ülkeler doğalgaz naklini çelik kaynaklı borularla nakletmeyi tercih etmektedir [3]. Boru hatları hem kara hem de deniz sahasından hatlandırılmaktadır. Doğalgazın yanıcılığı ve parlayıcılığı göz önüne alındığında boru hatlarının kullanım anındaki kontrolü diğer taşıma yöntemlerine göre oldukça zorlaşmaktadır. Sebebi hatların uzun olması deniz ve toprak altından yürütülmesi kontrol işlerini zora sokacaktır. Dolayısıyla boru hatlarının imalat aşamasında daha emniyetli ve güvenli montajı istenmektedir. Montaj işlemleri çelik borularda çeşitli kaynak yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Plastik borularda yine belirli kaynak yöntemleri ile montaj yapılmaktadır. Burada yüksek basınçta gaz taşınması gerçekleştirilecek çelik boru hatlarının muayeneleri, montaj hatalarının tespiti ve yapılan hataların en aza indirilmesi önem kazanmaktadır [3].

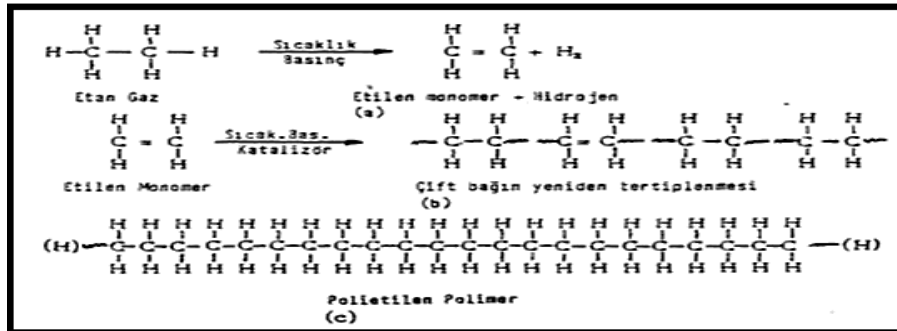
BÖLÜM 2

POLİETİLEN BORULARIN YAPISI

2.1. POLİETİLENİN ÜRETİMİ

Dünya genelinde en yaygın olarak kullanılan polietilen ürünlerdir. Farklı kullanım alanları olarak ambalajlama, bidon, elektrik izolasyonunda ve birçok farklı alanda kullanımı yaygındır. Polietilen malzemelerin genellikle imalat işlemlerinde ilk olarak ham petrol olarak yola çıkar. Ham petroler genellikle hidrokarbonlar adı altında adlandırılan Karbon (C) ve Hidrojen (H) ile birleşimi ile oluşan koyu renkli bir sıvıdır. Dünyada ham petroler damıtılarak değişik yakıt türleri, gaz yağı, nafta ve bitüm gibi petroler oluşturulmuştur. İleriki süreçlerde nafta kendi içerisinde ara ürünlere ayrılır. Etilen (C₂H₄), polietilenin ana malzemesi olarak ayrıştırılır. Etilen (C₂H₄) ham petrol harici doğalgaz ve kömür gibi malzemelerden de elde edilir [6-9].

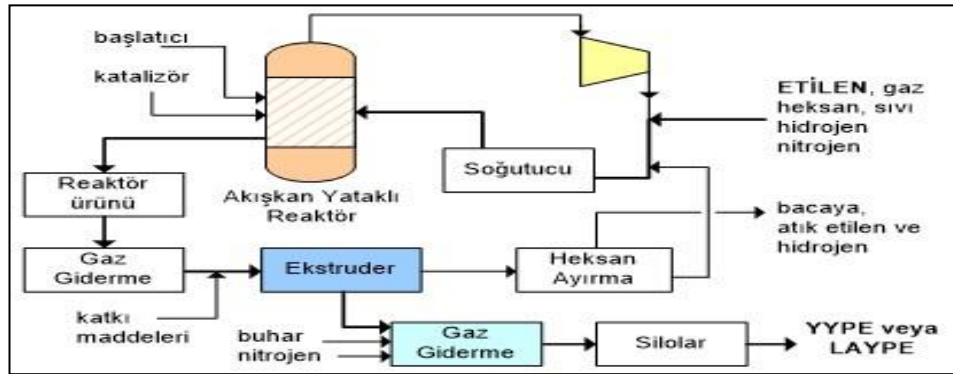
Polietilenler, polimer sınıfında yer almaktadır. Etilen ise, bir polimer olan polietilenin imalatlarında kullanılan monomerdir. Kimyasal formülü olarak (CH₃ – CH₃) etan molekülleri sıcaklığın ve basıncın etkisi ile iki Hidrojen (H) kaybederek ve elektronların tekrardan düzenlenmesi ile Karbon (C) elementleri arasında çift bağ (CH₂ - CH₂) oluşması sağlanır. Oluşan bu karbon elementinin dört adet enerji bağının doyması sağlanarak, etilen monomeri elde edilir [6].



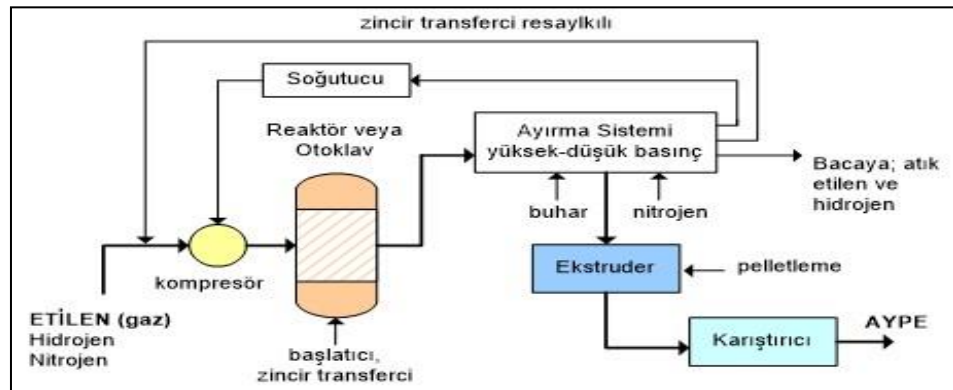
Şekil 2.1. Polietilenin polimerizasyonu [6].

2.2.POLİMERİZASYON PROSESİ

Polietilen ürünler yoğunluklarına göre; Yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) ve Alçak yoğunluklu polietilen (AYPE) olmak üzere iki farklı yoğunlukta üretilirler. Yüksek yoğunluklu polietilenler için etan elementinden elde edilen ile soğutma kazanlarından gelen gaz iki kademeli olarak bir kompresör yardımı ile, 2000 Atü basınçla polimerizasyon sistemine gönderilerek ve elde edilen polietilen bir soğutucudan sonra ayırma ünitesinden geçirilmektedir. Bu süreçte ayrılan polietilen sonsuz vida transportörü yardımı ile soğutulur ve bir granülatörde granül hale getirilmektedir [6]. Ayrıcılardan elde edilmiş olan gazın bir kısmı kompresörlere bir kısmı ise doğaya atılmaktadır. Alçak yoğunluklu polietilenlerde ise; bir pompa yardımıyla etilen ve çözelti ortamı polimerizasyon kazanına, bu esnada buradan elde edilen ürün bir filtre yardımıyla su damıtma kazanlarından geçirilerek pompalar vasıtasıyla kurutucu cihazlarına daha sonra ise ayırma ünitelerine gönderilmektedir [6].



Şekil 2.2. Yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) üretim şeması [6].



Şekil 2.3. Alçak yoğunluklu polietilen (AYPE) üretim şeması [6].

2.3. AYPE ve YYPE TANIMLANMASI

Piyasalarda bulunan en çok polietilen grupları ise 500 ile 2000 arasında tekrarlanan birimlerden meydana gelmektedir. Moleküller eğer birbirlerine çok yakın dizilmiş ise YYPE'yi oluştururlar. Genel olarak polietilenler tok, elektriksel ve kimyasal özellikleri, düşük sürtünme katsayısı, sıfıra yakın nem emme özelliklere sahip ve kolay işlenebilir üründür. Çalışma sıcaklıkları -4.5°C ile $+90^{\circ}\text{C}$ arasında değişiklik göstermektedir. Günümüzde en sık karşılaşılan polietilen türleri alçak ve yüksek yoğunluklu olanlarıdır [6].

2.3.1. AYPE

Alçak yoğunluklu polietilen (AYPE) iyi tokluk, saydam, yırtılmaya karşı dirençli, alçak sıcaklıklarda darbe mukavemetine ve film şeklinde berraklık gibi özelliklere sahip olmasının yanı sıra sıcaklığa karşı mukavemetleri oldukça düşüktür. Oda sıcaklığında ise iyi derecede kimyasal mukavemete sahip olan bu ürünün mukavemeti sıcaklıkla ters orantılı olarak hareket etmektedir [6].

2.3.2. YYPE

Yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) yaşlanma ve korozyona karşı dayanıklıdır. Esnek malzeme olduklarından en kötü çevre koşullarında dahi kolaylık ve sağlamlık sağlar. Kendi kendilerini kısmen de olsa yağlama özelliklerine sahiptirler [6].

Yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) büyük rijid yapıya ve çekme mukavemetindedirler. Darbe mukavemetleri düşük olmasına rağmen, düşük sıcaklıktaki değerleri birçok polietilenle karşılaştırılırsa oldukça iyidir [6].

2.4. PLASTİK MALZEMELERİN KİMYASAL YAPISI

Polimerizasyon esnasında birbirinden bağımsız şekilde milyonlarca polimer zincirine sahip monomerler bitinceye kadar aynı anda uzunlukları doğrultusunda büyürler. Belirli miktarda Hidrojen (H) veya başka zincir durduran atomlar ilave ederek,

uzunlukları yaklaşık eşit olan zincirler elde edilebilir. Zincirlerin uzunluğu, polietilen malzemenin özellikleri ve teknolojisini önemli konuda etkiler [1,4]. Zincirlerin uzunluklarının büyümesi sonucu ise, polietilen malzemenin tokluğu, sürünme mukavemetleri, erime sıcaklığı, erime viskozitesi gibi kısımlarda büyüme gerçekleşir. Ancak zincirlerin uzunluklarının büyümesi sonucunda teknolojisi daha zorlaşır. Polietilenleri oluşturan tüm zincirler aynı uzunlukta imalatları gerçekleşmez, aralarında farklılıklar mevcut olur. Bu bakımdan bir polimeri oluşturan zincirlerin uzunluğu istatistik olarak dağılım gösterebilir. Ancak polimerlerin molekül ağırlıkları esasen tüm zincirlerin ortalama molekül ağırlığı olarak kabul edilir [6].

Örneğin; etilen monomerinden ($\text{CH}_2 - \text{CH}_2$) elde edilen polietilen ($-\text{CH}_2 - \text{CH}_2-$)_n ve zincirin molekül ağırlığı;

$$M = n \cdot M_m \quad (2.1)$$

Buradan;

M_m : Monomerin molekül ağırlığı

n: Polimerizasyonun derecesi [6].

Yoğunluğun artmasıyla birlikte, polietilenin kimyasal direnci artar. Yoğunluk sabit kaldığı zaman molekül ağırlığı attığı zaman mekanik ve kimyasal zorlanmalara karşı dirençleri artar. Molekül ağırlığı sabit kaldığı ve yoğunluğun azaldığı süreçte kırılma direnci artar [6]. Yoğunluk ve molekül ağırlığının artması ile malzemede meydana gelen değişiklikler şu şekilde olur.

Yoğunluk arttıkça;

ARTAR

Kimyasal dayanıklılık

Çekme gerilimi

Mukavemet

Sertlik

Kristalleşme

Gaz sızdırmazlığı

AZALIR

Gerilimlerin neden olduğu çatlaklıklar

Saydamlık

Esneklik

Molekül ağırlığı arttıkça;

ARTAR

Atmosferik şartlara karşı dayanıklılık

Zorlamaya karşı çatlaklıklar

Esneklik

Çarpma gerilmesi

Yırtılma direnci

Genleşme

Bu sebeple yüksek yoğunluklu polietilenler, genel olarak doğalgaz sanayiinde ve özel malzemelerin imalatlarında kullanımı sağlanır. Yüksek yoğunluklu polietilenlerden üretilen borular, doğalgaz ve su alt yapılarında; orta yoğunluklu polietilenler ise atık sular ve sulama sistemleri gibi faaliyetlerde kullanılmaktadır. Yüksek yoğunluklu polietilenin kristalleşme derecesi % 60 – 80, özgül ağırlığı ise 942 – 965 kg/dm³' dür [6].

2.5. TERMOPLASTİK MALZEMELERİN ŞEKİLLENDİRİLMESİ

Polimer maddelerin ham maddesi üreticiler tarafından içerisine genellikle farklı karışımlar ile tane veya toz şeklinde kurutulmuş olarak piyasalarda yerini almaktadır. Polimer malzemelere şekil verme işlemleri şu şekillerde gerçekleşir [4-6].

2.5.1. Püskürtme ile Presleme

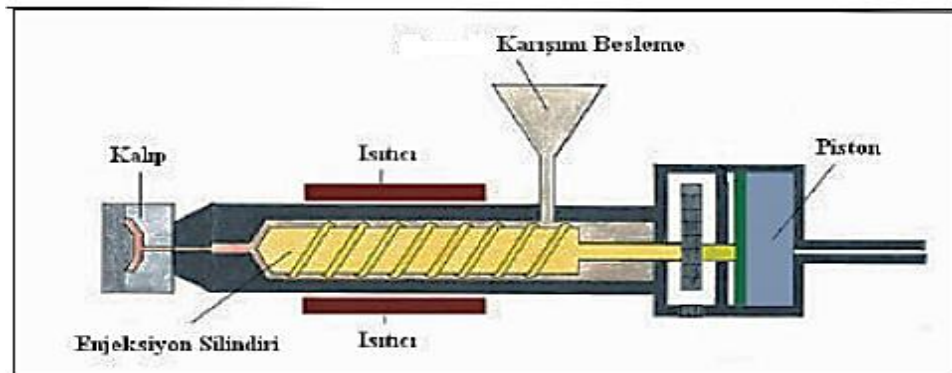
Enjeksiyon kalıpta şekillendirme, sürekli üretim halinde kullanılır. Üretimin hızı yüksek olup maliyeti düşüktür. Bu prosesde, toz boyutu mikronun altındadır ve çeşitli termoplastik reçine plastikliği artırıcı katkı maddeleri ilave edilir. Şekil 2.4.'de enjeksiyon şekillendirme sistemi şematik olarak gösterilmiştir. Ayrıca Çizelge 2.1'de şekillendirmeye etki eden faktörler de belirtilmiştir [10].

Günümüzde PE, PS, PP, ABS, SAN, Naylon gibi bir çok polimer bu işlemler sonucu elde edilirler [1,4].

Genellikle püskürtme yöntemi ile parçalar 3 kademedede elde edilir. Bunlar ise ergitme, kalıp boşluğuna doldurma, soğutma ve parçayı kalıp boşluğu içerisinde çıkarılma işlemidir. Prensip olarak bu işlem şu şekilde gerçekleşir (Şekil 2.4.). Toz veya granül şeklinde bulunan reçine besleme hunisinden bir silindire aktarılırken, bu esnada malzeme ısıtılarak ergimiş hale getirilir. Daha sonra bir piston yardımıyla ergimiş olan reçine yüksek basınçla kalıbın boşluğuna doğru iletilirken parça soğutulur, daha sonra kalıp açılarak parça yerinden çıkarılır. Kalıbın açılması ile piston geriye doğru hareket ederek huniden ısıtma silindirlerine reçine aktarılır [4-6].

Çizelge 2.1. Enjeksiyon kalıp şekillendirmede işleme etki eden faktörler [10].

Esas Değişkenler	Makineye Ait Değişkenler
Malzemenin Sıcaklığı	Ergimiş Malzemenin Sıcaklığı Enjeksiyon Basıncı Kalıp Sıcaklığı Piston Hızı
Akış Hızı	Piston Hızı Enjeksiyon Basıncı Kalıp Geometrisi
Boşluk Basıncı	Enjeksiyon Basıncı Kalıp Geometrisi Piston Hızı Ergimiş Malzemenin Sıcaklığı
Soğutma Hızı	Ergimiş Malzemenin Sıcaklığı Kalıp Sıcaklığı



Şekil 2.4. Püskürtme (Enjeksiyon) işleminin yapılışı [10].

Her plastik malzemeli yapılar için farklı bir püskürtme sıcaklığı bulunmaktadır. Bu sıcaklık malzemelerin yeterli derecede viskoz olduğu ve hiçbir bozulma göstermediği sıcaklık olarak bilinir. Bu sebeple Çizelge 2.2. bazı değerler verilmiştir.

Çizelge 2.2. Malzeme sınıflarına göre optimum püskürtme sıcaklık değerleri [1,4].

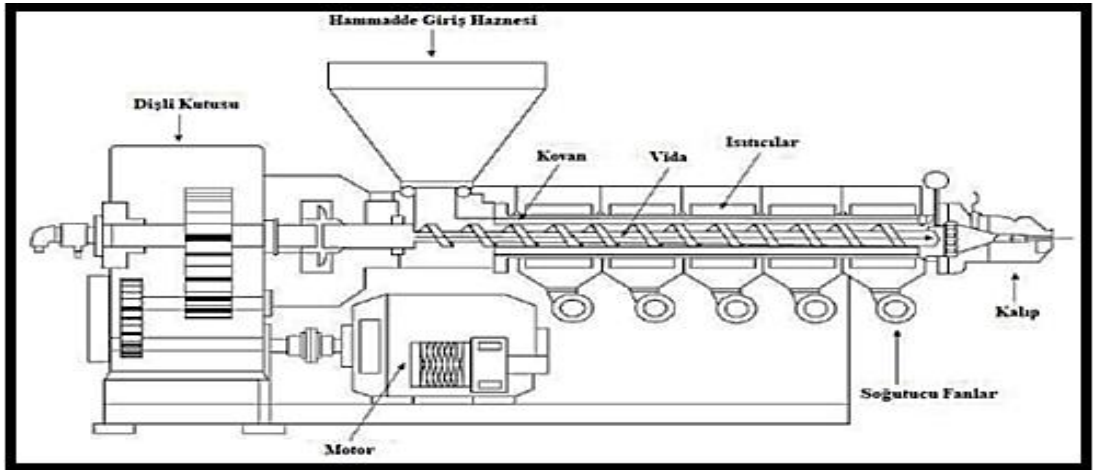
Malzeme Sınıfı	Optimum Püskürtme Sıcaklığı
Alçak Yoğunluklu Orta Yoğunluklu Polietilen	163 - 260 °C
Yüksek Yoğunluklu Polietilenler	204 - 816 °C
Polipropilen	204 - 288 °C

2.5.2. Ekstrüzyon

Ekstrüzyon, basınç altında eritilmiş plastik malzemenin bir başlık yardımıyla akışa zorlanarak şekillendirilmesi işlemi olarak adlandırılır. Ekstrüzyon, uzunlukları belli olmayan ancak kesitleri sabit olan boru, çubuk, levha ve film gibi yarı mamüllerin işleme yöntemidir. Esasen sürekli bir proses olan ekstrüzyonda; toz veya granül halindeki reçine bir besleme hunisinden sürekli olarak bir ısıtma hunisine düşmekte, kıyma makinesinin çalışma prensibine benzer şekilde boruda bulunan sonsuz vidanın yardımı ile ileri itilmekte, silindirde ilerledikçe ısınması ve yumuşaması sağlanmaktadır. Silindirin uç kısmına ulaştığında burada bulunan ve malzemenin kesit şeklini veren bir kalıptan geçmeye zorlanan, meydana gelen profil, genişleme oranı hesaba katılarak malzemenin şekline göre oluşur. Kalıptan çıktıktan sonra düzenli bir şekilde soğutulması sağlanarak bir konveyör veya süreklilik esasına göre çalışan bir başka sistemle uzaklaştırılması sağlanır [4-6].

Elde edilen malzemeler istenilen uzunlukta kesilebilir. Polietilen doğalgaz borularında büyük ebatlarda boy boru olarak kesimler gerçekleştirir. Daha küçük ebatlarda ise makaralara sarılarak kangal polietilen borular olarak hazır hale getirilir. Boruların veya kabloların etrafına tekrardan bir kılıf geçirilmesi yine ekstrüzyon yardımı ile yapılır, ama bu işlem sırasında ise eğri püskürtme başlıklar kullanılır [6].

Genel olarak termoplastik malzemeler için gerekli olan yöntem en çok ise PE, PVC, ABS; Selülozikler ve PS için uygulanması sağlanır. Şekil 2.5.'de bir ekstrüzyon makinesinin şeması gösterilmiştir. Besleme hunisinden düşen malzemeler, sonsuz vida tarafından ilerlenmesi sağlanarak, ilerleme esnasında gerek silindir cidarından aldığı ısılar ile gerekse kayma ile birlikte meydana gelen iç sürtünmeden dolayı ısınmakta ve yumuşamaktadır. Silindir sonunda basınçları eleştiren kırma plakası bulunmaktadır. Bu plakadan geçtikten sonra malzeme kalıbına girmekte ve kalıp ağzını kesit alanının şeklini almaktadır [4-6].



Şekil 2.5. Ekstrüzyon makinesinin şeması [10].

Isıtma genel olarak silindirin çevresinde olan elektrikli ısıtıcılar ile yapılır. Reçinenin yumuşaması, sadece ısı ve iç sürtünmelere direnç gösteren sistemler kuru ekstrüzyon ile adlandırılmaktadır. Böylece, yüksek sıcaklıklarda alevlenme ve yanma tehlikesi gösteren selüloz nitrat gibi yumuşatma özelliğine sahip bir çözelti ile yapılır. Islak ekstrüzyonda ise reçine daha düşük sıcaklıklarda veya ısıtma yapılmadan yapılan bir yöntemdir [6,10].

Sıcak imalat ile yapılan yöntemlerden sonra malzemenin kalıptan çıktıktan sonra soğutulması sağlanır. Soğutma esnasında malzeme üzerine dolaylı olarak yada direk olarak hava üfleme yapılarak, kalıplar soğutulması sağlanarak yahut ta malzemelerin soğutma rulolarıyla temas ettirilerek yapılır [6,10].



Şekil 2.6. Polietilen boru imalatı ve boruların kangal olarak üretilmesi [11].

2.5.3. Reaksiyon Şekillendirilmesi

Büyük ebatlı borularda kalıpların kapatılmasının sağlanması için gerekli kuvvet kontrol edilemeyecek kadar yükselir. Bu esnada makro moleküllerin teşekkülünü gerçekleştirilmesini sağlayan kimyasal reaksiyon kalıplar halinde oluşur [6].

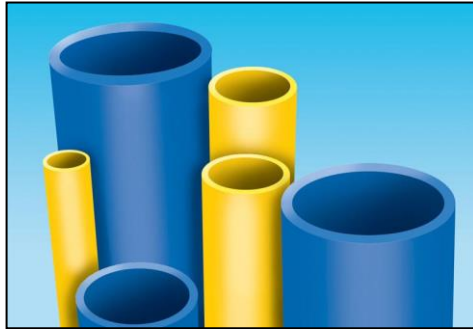
BÖLÜM 3

DOĞALGAZ ALTYAPISI İÇİN POLİETİLEN YÖNTEMİ

3.1.POLİETİLEN BORULAR

Doğalgaz dağıtım hatlarında yaygın olarak PE 80 ve son yıllarda ise PE 100 sınıfı polietilen malzemeden üretilen borular ve ek bağlantı parçaları kullanılmaktadır. Bu boruların yoğunlukları $0,930 - 0,965 \text{ kg/m}^3$ arasında değişmektedir [10]. PE 80 polietilen için minimum 8 MPa, PE 100 Polietilen için minimum 10 MPa gerilme mukavemetine sahip olmalıdır [12].

Doğalgaz basınç düşürme istasyonlarında talep edilen basınca düşürüldükten sonra dağıtımını polietilen borularla sağlanmaktadır. Kimyasal olarak polietilenin formülü " $C_2 nH_4 n+2$ "dir. Polietilen yoğunluk sınıfına göre; Yüksek Yoğunluklu (YYPE), Orta Yoğunluklu (MYPE), Alçak Yoğunluklu (AYPE) olarak gruplandırılmaktadır. Polietilen borular ve ekleme parçaları yoğunluğu $0,94 - 0,95 \text{ gr /cm}^3$ olan yüksek yoğunluklu polietilen malzemeden imal edilmektedir. Boru ve bağlantı parçalarının yapıldığı malzemeler aynı özellikte olmalıdır [13]. Polietilen boruların raf ömrü 2 yıl, bağlantı parçalarının raf ömrü ise 4 yıldır. Gaz taşımacılığında kullanılan polietilen borular TS EN 1555-2 standardına göre üretilmektedir. Polietilen borular gaz taşınmasında 4 bar, sıvı taşınmasında 10 bar işletme basıncında kullanılır [1,4].



Şekil 3.1. Polietilen borular

Polietilen boru ve ek parça üretiminde kullanılan hammaddeler MRS (Minimum Gerekli Dayanıklılık-Minimum Required Strength) ile sınıflandırılır. MRS, malzemenin 20°C’de 50 yıl süre ile iç basınca gösterdiği mukavemet değeridir. PE malzemelerin yoğunluğu arttıkça mekanik mukavemet değerleri de artmaktadır [1].

Çizelge 3.1. PE boruların mukavemet ve basınç dayanımları [1].

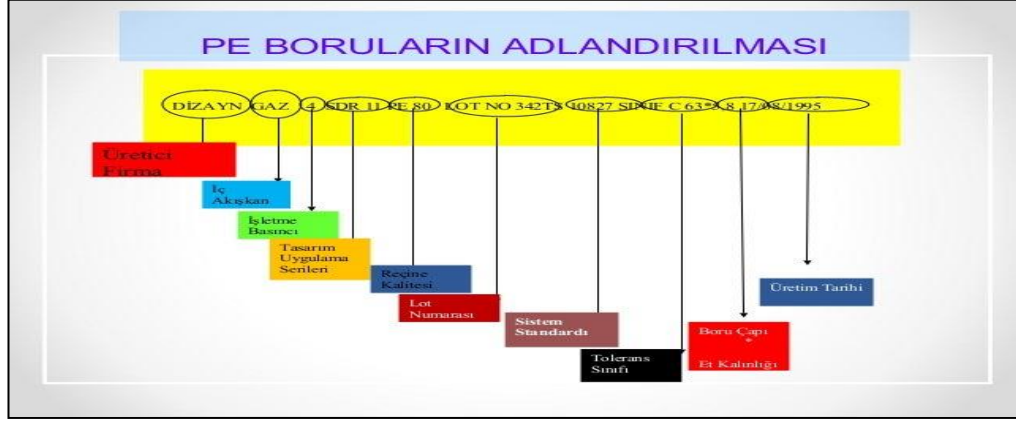
SINIFLANDIRMA ISO 12162	MİN. GEREKLİ MUKAVEMET MPa	50 YILLIK DİZAYN MUKAVEMETİ MPa	MAK. İŞLETME BASINCI (SDR11) bar
PE 63	6,3	6,3 – 7,99	-
PE 80	8,0	8,0 – 9,99	4,0
PE 100	10,0	10,0 Üzeri	10,0

Aynı çalışma basıncına ve çapa sahip olan bir boru farklı hammaddelerden üretildiğinde hammaddenin minimum gerekli mukavemet değeri yükseldikçe et kalınlığı azalır ve içeriden geçen akışkan miktarı da artar [1]. Doğalgaz çalışmalarında kullanılan polietilen borular PE 80 hammaddesinden, bağlantı parçaları ise PE 100 hammaddesinden üretilmektedir. Dış çapı 110 mm, çalışma basıncı 10 bar olan bir borunun PE 32, PE 63, PE 80 ve PE 100 hammaddelerinden üretilmesi halinde et kalınlıkları ve ağırlıkları Çizelge 4.2. verilerine göre olacaktır [13].

Çizelge 3.2. PE boruların et kalınlıkları ve ağırlıkları [1].

SINIFLANDIRMA ISO 12162	ET KALINLIKLARI (s) mm	AĞIRLIKLARI (m) kg/m³
PE 32	18,3	5,09
PE 63	10	3,14
PE 80	8,1	2,62
PE 100	6,6	2,17

TS EN 1555-2 standardına göre üretilen boruların üzerinde üretim bilgilerini gösteren ifadeler bulunmaktadır. . Borular üzerinde işaretleme sıklığı, her metrede bir defadan az olmayacak şekilde yazılmaktadır [1].



Şekil 3.2. Polietilen borular üzerindeki ifadeler [1].

3.1.1. Polietilen Boru İmalatı Esnasında Malzeme Seçimi

Günümüzde yapıları farklı dolayısıyla fiziksel ve mekanik özellikleri birbirinden çok farklı bir çok PE türü üretilmektedir [1,4,13].

Karbon siyahı katkısı ile üretildiğinde güneşten gelen ultraviyole ışınlarına dayanım gösterir. Malzeme içine UV ışınlarına karşı mukavemet özelliği kazandırmak için rafineri şartlarında homojen olarak %2-2,5 karbon takviye edilir. Rengin, ürünün mukavemetine direk katkısı olmamakla beraber karbon siyahı katıldığından UV dayanımı sağlar ve ürün siyah renk alır [1,4].



Şekil 3.3. Polietilen boru renkleri

3.1.2. Polietilen Boru Tasarımı

Polietilen borular uluslararası standartlara göre A veya B tipi yüksek yada orta yoğunluklu PE reçinelerinden üretilirler. Bu reçineler 20 °C sıcaklıkta, 5 MPa'lık bir basınç gerilmesine, herhangi bir sorun çıkarmaksızın 50 yıl boyunca durabilirler [4,6,13].

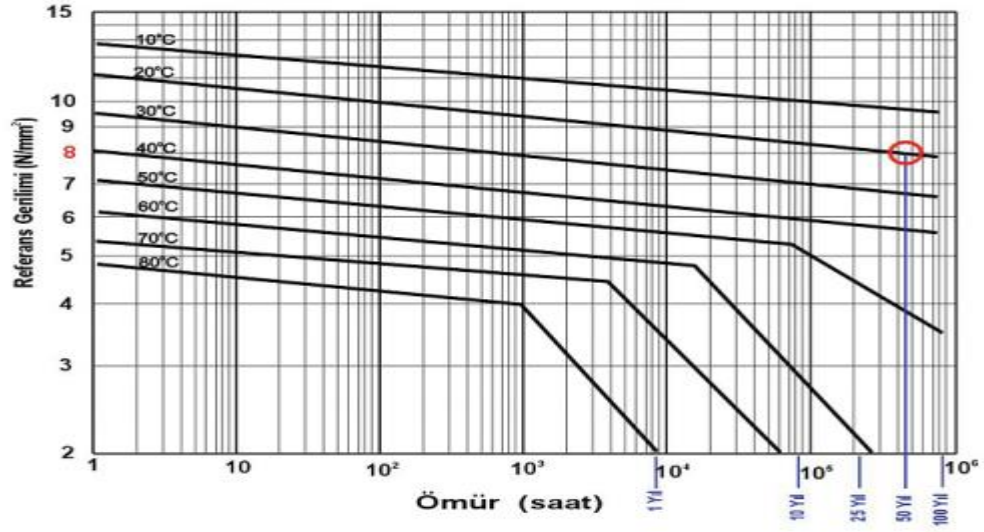
PE borular 5 serisindedirler. Boru çaplarına karar verilirken şu faktörler göz önünde tutularak büyük bir emniyet payı belirlenir. Bunlar;

- Belli doğalgazlarda bulunması muhtemelen çığlenme sularının zararlı etkileri,
- Boruların döşenmesi sırasında dış gerilmelere dayanması için gerekli payın verilmemesi [1,4,13].

Emniyet payı 50 yıl boyunca 2,5 kat daha fazla gerilmeye dayanabilen 4 MPa boruların tercih edilmesindedir [1,4].

3.1.2.1. Güvenlik Faktörünün Hesaplanması ve İşletme Basıncı

Bir malzemenin uzun dönemde kopma streslerinin bilinmesi için gereklidir. Şekil 4.4.'de MRS PE 80 için bir grafikdir. Bu grafik uzun dönemli kopma stresi K'nın istenilen işletme ömrü ve çalışma sıcaklığına göre okunmasını sağlar. +GF+ (George Fischer) fittingslerinin ve valflerinin et kalınlığı eşit basınç oranındaki borularda genellikle daha incedir. Tüm hesaplamalar temelde boruların çap ve et kalınlığına göre yapılır [1,4,13].



Şekil 3.4. MRS PE 80'den imal edilen plastik borular için ömür grafiği [4,6].

3.1.2.2. Polietilen Boru Basınçlarına Göre Seçimi

Polietilen borular, fittingsler ve vanalar düzenli bir kritere göre seçilebilmesi için, standart basınç oranlarına göre sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırılma “nominal basınç” olarak bilinir ve uluslararası kullanımı oldukça geniştir [1,4,6].

Nominal basınçta izin verilebilir basınç değeri bar olarak 20 °C de belirtilir. Bu kural şöyledir ki; aynı oranlı basınç bileşenleri ve aynı nominal çapta aynı bileşme boyutlarına sahiptir. Bunlar özellikle fittingsler ve vanalar için önem taşımaktadır [1,4,6].

3.1.2.3. Polietilen Boru Boyut Seçimi

Kullanılmak istenen boru çapına göre akış hızı yaklaşık bir değer olmalı. Standartlarda akış hızları için şu değerler verilmiştir. Bunlar;

Sıvılar; $V = 0,5 - 1,0$ m/s (Vakum için), $V = 1,0 - 3,0$ m/s (Taşıma için)

Gazlar; $V = 10 - 30$ m/s

Boru çapı hesaplarında hidrolik kayıp hesapları dahil edilmez. Bunlar özel hesaplar gerektirir [1,4].

3.1.3. Polietilen Boru İmalatı

Kaliteli bir boru üretmek için iyi bir hammadde zorunlu ama yeterli olmaya bilir. Gerçekten de üretim esnasında geçirdiği termodinamik tarih boruya, onun davranışlarını büyük ölçüde belirleyen özel yapılara sahip bir element kazandırır. Boru üretim üç aşamadan ibarettir. Maddenin eritilmesi, ekstrüzyon şekillendirme ve soğutmadır. Tazyikle yapılan eritmeler silsile halinde ve homojen olmalıdır. Son sıcaklık çok yüksek olmamalıdır [1,4,13].

3.1.4. Polietilen Boruların Özellikleri

PE borular üç ana özelliği bulunmaktadır. Bunlar;

- Fiziksel özellikler
- Kimyasal özellikler
- Mekanik özellikler

3.1.4.1. Fiziksel Özellikler

Maddenin bir başka madde ya da maddelere dönüşmeksizin gözlemlenebilen, ölçülebilen ve hissedilebilen özellikleridir.

Hacim ve Kütle

Doğalgaz uygulamalarında ilgili seri 5 polietilenlerin 23⁰C deki nominal hâkim kütlesi alt sınırı 0,925 g/cm³ olan bir yelpaze oluşturur. PE 5'in suya göre ortalama ağırlığı 0,95'tir. Böylece özgül ağırlığı sudan daha hafif, çelik ve dökme demirden 8 kat daha hafif boruların üretilmesine imkân tanır. Bu yönüyle PE 5, kanalizasyon yapımında önemli rol almaktadır [1,4].

Genleşme Katsayısı

Polietilen borular yaklaşık 0,13 ve 0,20 mm/m⁰C'lik bir doğrusal genleşme katsayısına sahiptir ve bu çeliğin genleşme katsayısından 10 kat daha iyi bir değerdir.

Bu yüksek değer bazen, doğalgaz dağıtım Őebekelerindeki ana borulara yapılan dikey dirseklerin bel vermesini ya da yeraltı borularının deplase olmasını engellemek amacıyla alınan tedbirleri boŐa çıkarabilmektedir [1,4].

Isıl zellikler

Polietilen boruların ısıl deęerleri dűŐűktűr. Bűylelikle zayıf bir ısı ileticidir. Ortalama űzgűl ısısı 0,45 cal/g⁰C'dir [1,4].

Sıcaklık

Sıcaklık artışı, polietilen boruların űnemli bir doğrusal geniŐlemeye uğramasına yol açtığı gibi, ayrıca mekanik karakteristiklerini de etkiler. Isının etkisiyle polietilen maddesi űnce cam haline sonra geçiŐ haline sonra kıvamlı elastik hale en sonunda da sıvı hale geçer [1,4].

Elektrik

Polietilen borular çok iyi bir yalıtıkcıdırlar. Bűylece, gűműlű kanalizasyonlardan gelen ve doęal olarak topraęa verilen elektrostatik yűkleri biriktirme yeteneęi kazandırır. Katodik korumaya ihtiyaç yoktur [1,4].

Isıęa Maruz Kalma ve Katalizűr

Polietilen, mor űtesi ışınlara ve ısıya karŐı duyarlıdır. Mor űtesi ışınlar ve sıcaklık, PE molekűllerinin oksitlenme sűrecini hızlandırır ve bu sűre bazen onun mekanik űzelliklerinde de deęiŐmelere sebep olur, daha sert ve daha gevrek hale gelmesine, bűylelikle boruların basınç altındaki űműrlerinin kısalmasına sebep olur [1,4].

Geçirgenlik

Polietilen 50'nin hidrojen karşısındaki geçirgenliği, metan ve doğalgazlara karşı geçirgenliğinden daha yüksektir. Ancak borularda muhafaza ettiği doğalgaz miktarı aynı büyüklükte olduğundan, bütünüyle ihmal edilebilir [1,4].

Abrazyon Direnci

Polietilen borular sıvı ve katı maddelerin taşınması için uygundur. Bu özellik polietilenin düşük elastisite modülünün sonucudur. PE boru ile çelik boru arasında içerisinde %14 oranında kum bulunan su ile 7 m/s hızda yapılan deneyde polietilenin direnci çelik boru direncinin 4 ~ 5 katı daha büyük olduğu tespit edilmiştir [1,4].

Esneklik

Polietilenin bu özelliği özellikle soğuk havalarda ve boru döşenirken büyük yarı çaplı eğri ile yapılan dönüşlerde herhangi bir ek işleme gerek kalmadan kullanılabilir. Depremlere karşı dirençleri yüksektir [1,4].

Yangına Karşı Duyarlılık

Polietilen ateşte bir mum gibi eriyerek ve aynı tür kokuyla yanar o yüzden gerek depolarda gerekse sahalarda monte edildiği yerlerde tutuşma tehlikesine karşı tedbirler alınmalıdır. Ancak, polietilen yandığında herhangi bir toksik ürün yaymaz [1,4].

3.1.4.2. Kimyasal Özellikler

Gaz Bileşimlerine Karşı Kimyasal Direnç

Polietilenler oldukça inert maddelerdir. Asit, baz vb. gibi bilinen zararlı ürünlere karşı direnci yüksektir. Bu sebeple kimyasal direnç bakımından polietilen çeşitli asitler, soda, organik ve inorganik solventler, tuzlar, alkol, petrol, su, yağ taşımacılığı için uygundur [1,4].

Çevresel Gerilmeli Çatlak Direnci

Mekanik zorlamaların bulunduğu ortamlarda ısıtma kapasitesi yüksek bazı sıvılar, polietilende birincil zorlamaların en yüksek olduğu bölgelerde, bölgeye dikey çatlakların zamanla malzeme çeperini yanlamasına katederek polietilen kısmın zayıflaması ve hasara uğramasına sebep olur [1,4].

3.1.4.3. Mekanik Özellikler

Polietilenin mekanik özelliklerinin incelenmesi, çeşitli zorlamalar ile malzemede oluşan deformasyonlar arasındaki bağıntıların tanımlanmasından oluşur [1,4].

Ani Darbeler

Polietilen ani darbelerle karşı iyi dirençlidir. Şekillendirme ve soğutma sürecinde özgül bir moleküler düzenleme elde etmek, iç gerilmeleri azaltmak ve böylelikle borunun kalitesini yükseltmek için özel ekipmanlar kullanılmalı ve hassas bir çalışma gerektirmektedir [1,4].

3.1.4.4. Polietilen Boruların Ekonomik Avantajı

- Uzun ömürlüdür; ömrünün uzunluğu sistem ve tesis maliyetini azaltmaktadır,
- Esnektir; esnek özelliği ile dirsek ihtiyacı olmadan boru çapının 20-35 katı ile dönüş yapabilir. Kopma uzaması %600'e kadar ulaşabilir,
- Hafiftir; taşıma ve maliyet konusunda büyük avantajlar sağlamaktadır,
- Kolay birleştirilebilir; imalat tekniği kolay ve devamlıdır,
- Anti-korozyon özelliklidir; korozyon olmadığından kaplama, katodik koruma gerektirmez,
- Temizlik ve hijyen özelliği vardır; yandığında herhangi bir toksit ürün yaymaz [1,13].

3.1.4.5. Polietilen Boruların Dezavantajları

- Kesici darbelere ve çizilmelere karşı hassastır,
- Polietilen borular sabun köpüğü ve bazı temizleyici çözücülere karşı hassastır; bu yüzden sızdırmazlık kontrolünden sonra sabun köpüğü temizlenmelidir,
- PE borular ateş ve yüksek sıcaklığa karşı dayanıklı değildir. Özellikle yangın tehlikesinin olduğu yerlerde ve bina içi tesisatlar da kesinlikle PE boru kullanılmaz,
- Yüksek basınçlarda gaz ve sıvı taşınmasında uygun değildir [1,13].

3.2. PE ELEKTROFÜZYON FİTINGS ÇEŞİTLERİ

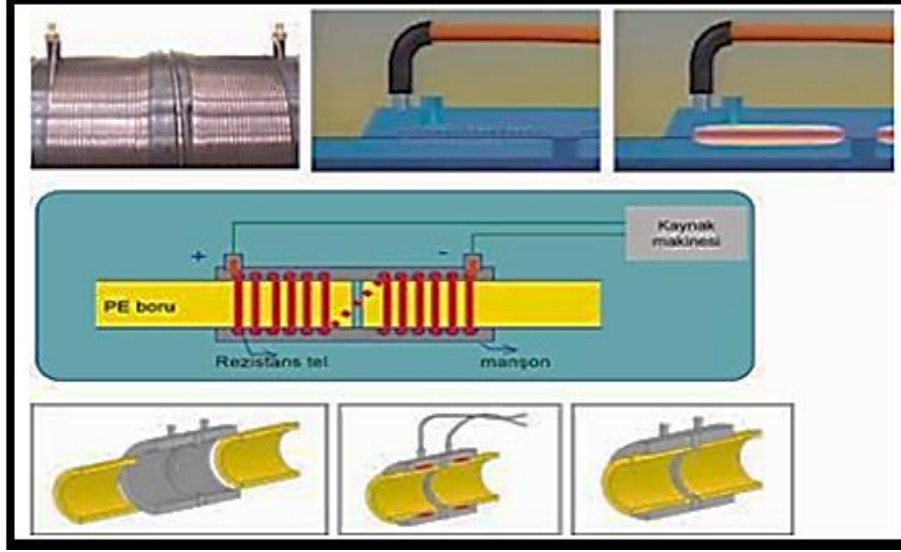
Elektrofüzyon kaynağı için birçok fittings malzemesi kullanılmaktadır. Bunların başında en çok tercih edilenler manşon, saddle Tee, Tee, eşit tee, dirsek, kep ve redüksiyon yer almaktadır.

3.2.1. ELEKTROFÜZYON FİTINGSLERİN İMALATI

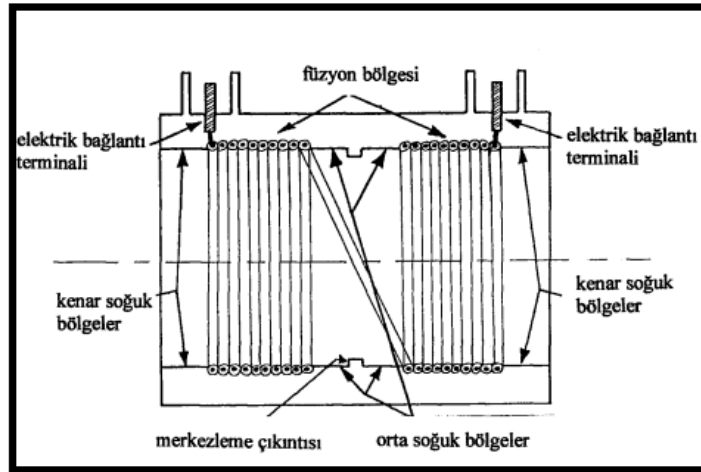
Kaynak makinaları için kullanılan fittings malzemeler genellikle eritilmiş polietilenlerin reçinelerinin bir kalıba enjekte edilerek imal edilmesi sağlanır.

3.2.2. PE MANŞON

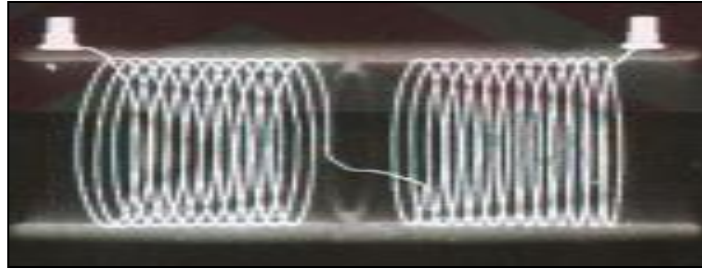
Aynı çaptaki iki boruyu birleştirmeye yarayan bilezik şeklindeki bağlama parçasıdır ve kaynak makinesinde I şeklinde görülür.



Şekil 3.5. Polietilen boru bağlantısı manşonu ve ergimesi [1,4].



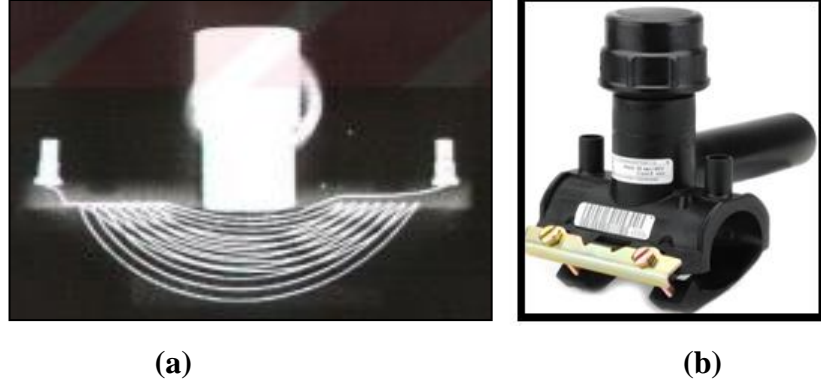
Şekil 3.6. Polietilen boru bağlantısı manşonunun yapısı [14].



Şekil 3.7. Polietilen boru bağlantısı manşonunun rezistanslarının x ışını altında görünümü [14].

3.2.3. SADDLE TEE

Polietilen dağıtım hatlarından bransman almak için kullanılan semer şeklindeki bağlantı parçası malzemeleridir.



Şekil 3.8. Polietilen boru bağlantısı Saddle Tee a) rezistansların x ışını altında görünüşü b) saddle tee normal görünüşü [14].

3.2.4. Diğer Bağlantı Elemanları

Herhangi bir engeli geçmek veya hattın yönünü değiştirmeye yarayan muhtelif çaplarda üretilmiş bağlantı parçalarına dirsek adı verilmektedir. Kaynak makinesinde L şeklinde görülür.

Hatların sonunu kapamakta kullanılan malzemelere kep denir. PE boru sistemlerinde elektrofüzyon kaynak işlemiyle yapılan sonlandırma elemanıdır.



Şekil 3.9. Polietilen boru bağlantısı dirsek ve kep [1].

3.2.5. Güç Elemanları

Elektrofüzyon kaynak için gerekli elektrik akımını sağlar. Jeneratörler benzin ya da dizel motorlu olabilir. Tekerlekli veya elle taşınabilir biçimde üretilmişlerdir. Ağırlıkları yaklaşık olarak ortalama 35-40 kg dır. Güçleri ise 4 kVA'dır. Jeneratörden sağlanan akım bir transformatörden geçişi sağlanarak 55 volta düşürülür [1,4].

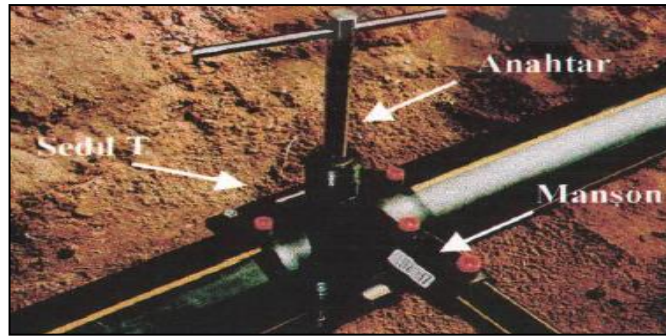


Şekil 3.10. Taşınabilir jeneratör

3.2.6. Kaynak İşlemi Esnasında Kullanılan Aletler

3.2.6.1. Saddle Tee Delme Aparatı

Saddle tee fittingsinin kaynak işlemi yapıldıktan sonra delme işleminde kullanılan ve fittingslerin çaplarına göre değişen alettir [1,4].



Şekil 3.11. Delme aparatı [6].

3.2.6.2.Kazıma Aparatı

Polietilen borular imal edilirken ultraviyole ışınlarından, sıcak-soğuk ortam koşulları değişimlerinden olumsuz yönde etkilenmemesi amacıyla dış yüzeyi oksitlenmiş polimerlerle kaplanmıştır. Oksitlenmiş tabakayı temizlemek amacıyla kullanılan aletlere boru kazıma aparatı veya boru kazıyıcı denir. Boru kazıma işleminin yapılış yöntemine göre boru kazıyıcılar, El Tipi ve Mekanik olmak üzere ikiye ayrılırlar. Genelde el tipi boru kazıyıcılar kullanılır. El tipi boru kazıyıcılar ahşap bir gövde üzerine monte edilebilen kesici bir metal ağızdan oluşmuştur. Kesici ağızlar sökülüp takılabilir, değiştirilebilir ve hatta ağızları bileylenebilir. Ancak, kazıyıcı ağızının aşırı keskin olması istenen bir durum değildir.



Şekil 3.12. PE kazıyıcılar

3.2.6.3.Pozisyoner

PE şebeke üzerinde yapılan kaynak işlemleri sırasında birleştirilmesi düşünülen parçaların kolay ağızlanması, bağlantı parçası montajının yapılabilmesi ve kaynak öncesi verilen pozisyonun sabitlenerek, soğuma süresi sonuna kadar sabitlenmesi amacı ile kullanılan ekipmanlardır.



Şekil 3.13. PE pozisyoner

3.2.6.4. PE Boğma Makinası

Ø63, Ø90 ve Ø125 mm çaplarına sahip YYPE borularda, gerek acil durumlar karşısında uygun çapta pe boruların boğulması sağlanarak kontrolsüz gaz çıkışının durdurulması amacı ile, gerek operasyonel çalışmalarda gaz akışını kesmek ve gereken işlemleri yapmak için kullanılır [1,4].



Şekil 3.14. PE boğma makinaları

3.2.6.5. PE Boru Kesme Makasları

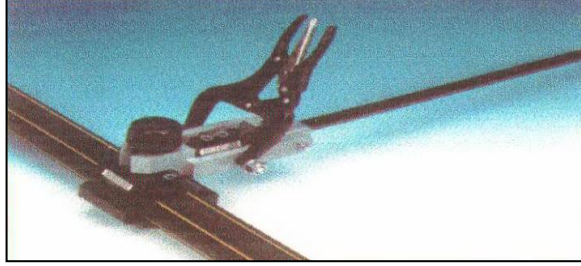
Tip: Ø20/32 mm ve Tip: Ø63 mm PE boru kesicileri oluşturan ana parçalar; kesici bir ağız, boru dış yüzeyinin oturmasına uygun iç bükey oturma yüzeyi, kademeli olarak yapılan sıkma işleminin düzgün devamlılığı için kademe kolu tespit plakası, sıkma kuvvetini uyguladığımız karşılıklı iki mafsallı kol ve bu kolların kullanılmadığı zaman sıkılı bir şekilde tutmaya yarayan oynar halkadan oluşur.



Şekil 3.15. PE boru kesme makasları

3.2.6.6.PE SH için Sabitleyici

Dış çapı Ø20, Ø25 ve Ø32 mm olan servis hatlarının elektrofüzyon kaynağı yapılırken veya soğuma süresince sabitlemeyi sağlar [1,4].



Şekil 3.16. PE sh için sabitleyici pense [6]

3.2.6.7.Solvent

Bağlayıcıları eritmekte veya kimi sıvıları inceltmekte kullanılan uçucu sıvı, eritici, çözücü madde. Bir solüsyonda eriyen maddenin içerisinde dağılıp homojen bir karışım meydana getirdiği sıvı veya gaz ortam [13-17]. Solvent kullanmanın amacı, kaynak bölgesinde bulunan kir, yağ, toz vb. maddeleri temizlemektir. Solvent kendiliğinden uçucu özellikte olmalıdır (toulen ve petrol tipi olabilir).



Şekil 3.17. Solvent

3.2.6.8.Makaralar

Kanal içerisine serilmekte olan PE boruların sert zeminle temas etmemesini engellemek için kullanılan makara türüdür.



Şekil 3.18. Makara

3.2.6.9. PE Boru Sarım Aletleri

Kanal içerisine serilmek istenilen PE boruların sahaya getirilmesi ve sarılmış şekilde olan borunun düzgün şekilde açılması için kullanılan makara türüdür.



Şekil 3.19. PE sarım makaraları

3.2.6.10. Uyarı İkaz Bandı

Yer altı kazı çalışmalarında doğalgaz hatlarının nerelerden geçtiğini bilmek için kullanılan bir malzeme olan bu bantlar ile birlikte kazıların daha güvenli olması sağlanmış olur [4,6]. Doğalgaz ikaz bandı kullanımı aşamasında farklı yer altı sistemlerinin de güvende kalması yerine getirilir. Doğalgaz dışında internet kablolarının, elektrik kablolarının ve benzeri yer altı sistemlerinin bu ikaz bantları ile güvence alınması kolaylaşır.



Şekil 3.20. Doğalgaz uyarı ikaz bandı

3.2.6.11. Trafik İşaretleri

Karayolu ve çevresindeki tehlikeler hakkında sürücülere önceden haber vererek onları uyarır. Trafiği düzenleyip, yol güvenliğinin sağlanması amacıyla sürücü ve yayalar için trafik kısıtlamaları ve yasaklar içeren işaretlerdir [18].



Şekil 3.21. Trafik işaretleri

3.2.6.12. Çalışma Levhaları

Sokak çalışmalarında kalabalığı bir yöne yönlendirmenin yanı sıra insanları belirli bir alandan sınırlamak veya trafik akışını sınırlamak için de kullanılabilir [19]. Genellikle

halkın girmesine izin verilmeyen belirli alanları belirlemek ve kontrol etmek için de kullanılır. Özellikle gaz akışı devam eden doğal gaz boru hatları üzerinde yapılan çalışmalar tehlike kaynaklarıdır ve yüksek risk potansiyeline sahiptirler. Çalışanların tedbir almalarının yanında çalışma sahasına yaklaşan sürücüler ve yayalar uyarılmalı çalışma sahasından emniyetli bir şekilde uzakta tutulmalıdır. Tabelalara ilave olarak teknik emniyet personeli çalışmalarda bulunmalı çevre emniyetinin alınması ve bu sayede hem çalışma ortamının hem de çalışma süresince istenmeyen kazalar olmaması için önlemler alınmasına yardımcı olmalıdır. Sahada kullanılan örnek bir çalışma tabelası Şekil 3.22.'de verilmiştir.



Şekil 3.22. Çalışma levhaları

BÖLÜM 4

ELEKTROFÜZYON TEKNİKLERİ VE ELEKTROFÜZYON FİTINGSLERLE YAPILMIŞ BAĞLANTILAR

4.1. FÜZYON SÜREÇLERİ

Geçmişten günümüze kadar polietilen borularının füzyonlanma işlemi, eriyen bölgelerin mekanik olarak baskı altında tutulması sağlanarak, kaynak olacak yere ısıtıcı malzemeler (demir, alüminyum) bastırılmasıyla yapılmıştır [20,21]. Şu anda ise karmaşık alın, soket veya çeper füzyon tekniklerinin olmasına rağmen yapılan füzyonların kalite parametreleri hemen hemen ustaların yani kaynakçıların tecrübesi ile belirlenmektedir [4,6].

4.2. ELEKTROFÜZYON YÖNTEMİNİN TERCİH EDİLME SEBEBİ

Çağımızda elektrofüzyon, doğalgaz altyapı şirketlerinin ihtiyaçlarının karşılanmasında daha seri, emniyetli, güvenli ve basit kaynak işlem sıralarını karşıladığından dolayı tercih edilmektedir [1,6].

4.2.1. Teknik Sebepler

Bir alın veya soket kaynağında birleştirme işlemi şu şekilde ilerlemektedir [19,20].

- Isıtıcı kaynak makinaları ile kaynak yapılması planlanan yüzeylerin bir ön füzyonla kaynak yapılması,
- Kaynak makinalarının ekipmanlarının birleşme noktası üzerinden çıkarılması ve kaynak yüzeyleri arasında düzgün bir kaynağın olup olmadığının anlaşılması sebebi ile kaynak olan parçaların yerinden oynatılması,

- Kaynak sonunda soğuma esnası süresince bir basınç altında temas halinde tutturulması.

Kaynak esnasında kaynak yapılan malzemelerin hareket ettirilmesinden dolayı kaynak bölgesinde ekipmanın uzun vadeli davranışı üzerinde zararlı etkileri olan iç gerilmeler meydana getirir [6].

Bir elektrofüzyon kaynağında birleştirme işlemi ise şu şekilde ilerlemektedir.

- Montaj işleminin tamamlanması sağlanır,
- Kaynak yapılacak elemanlar sıkıca birbirine karşı gelmesi sağlanır,
- Kaynak alınlarında veya fittings aralarında herhangi bir oynama olması sağlanmaz, böylelikle kaynak yüzeylerinde gerilmenin en aza indirilmesi sağlanır.

4.2.2. Pratik Sebepler

Alın ve soket kaynak teknikleri daima kendi başlarına yeterli bir teknikler olmamıştır. Daima tamamlayıcı teknik olarak yer almışlardır.

- Soket kaynak sadece 75 mm çaplı borularda kullanılmaktadır.
- Alın kaynağı, boru malzemesinin et kalınlığı az olması istenmektedir. Bu sebeple 50 mm'nin altındaki borularda ve düz olan kısımlarda kullanılması tercih edilir. Böylece bu da kanal genişliğinde ve kaynak sayısında artış olacağına sebep olur [1,4].

Elektrofüzyon kaynak yönteminde ise;

- Çapları 20 mm ile 315 mm arasında olan boruların imalatında kolaylık sağlar,
- Çapları 125 mm' ye kadar olan borularda uzun mesafelerde kullanılması imkan sağlar,
- Şebeke çalışmalarının tüm safhasında kullanılır,
- Basınçlı hat güzergahlarında,
- Tamir gerektiren her yerde kullanım imkanı sağlamaktadır.

Bu sebeple diğer teknikler tek başlarına bu sebepler için uygun değildirler ve önceden imalatı gerçekleşmiş borularda ek veya tamir işlerini yapılması için elektrofüzyon veya mekanik fittingslerle birlikte kullanılması sağlanır [6].

4.2.3. İnsanlar Tarafından Kaynaklanan Sebepler

Alın ve soket kaynaklarında kaliteli bir kaynağın yapılması için iyi bir ustanın el becerisi ön plandadır. Bu sebeple kaynak işlemleri esnasında gereken basınç ve sıcaklıkları tanımlamak ve uygulamak için mühendislere ihtiyaç duyulmaktadır [9]. Yani kaynağın kalitesi, böylelikle uzun dönem gitmesi dolaylı olarak kaynak ustasına bağlıdır.

- Personele kaynak eğitimi programı hazırlanmaya gerek duyulması ve periyodik kontrolünün sağlanması,
- Kaynakları gözle ve ultrasonik cihazlarla kontrol etme gereğinin duyulması [1,4].

Elektrofüzyon kaynak tekniği sonradan kontrol gerektirmez. Kaynak esnasında sıcaklık ve basıncı eksiksiz olarak belirtmiş kaynak parametrelerinin ve kaplin geometrisinin bir fonksiyonudur. Bu sebeple ideal kaynak koşullarının sağlanması sonucunda bir kaynaktan diğerine sistematik olarak tekrarlama imkânı bulunmaktadır. Koşullar elverişli olduğu durumlarda ise kaynaklar otomatik olarak yapılmaktadır. Böylece basit bir kaynak eğitimi yeterli olacaktır [4,6].

4.3. ELEKTROFÜZYON SİSTEMİ

Elektrofüzyon sistemi, füzyon çemberine kumanda edebilmek için, füzyon bölgesi eriyen malzemenin ürettiği sıcaklık ve basınçtan yararlanır. İyi bir füzyon olabilmesi için enerji faktörü şunlara bağlıdır:

- Fittings tipi veya çapı,
- Kaynak öncesi borunun sıcaklığı veya fittings sıcaklığı
- Kontrol ünitesinden çıkan voltaj değeri
- Boru ile boru arasında kullanılan fittings teması (gevşek veya sıkı olması)
- Uygulanacak elektrik akımının, fittings içerisinde kullanılan rezistans tellerinin direncine uygun olması [1,4].

4.4. ELEKTROFÜZYON KAYNAĞININ YÖNTEMLERİ

Elektrofüzyon kaynağı ile mükemmel bir kaynak yapmak tasarlanmış uygun fittings kullanılarak yapılmış bir kaynak mükemmelliği değildir. Ayrıca çalışma koşullarına riayet etmekte gerekir [6].

Bir elektrofüzyon fittings tasarımında ve montaj koşullarının tamamlanmasında hesaba katılmasının gerekli olduğu konuların başında gelen kullanılan boruların çapları ve boruların kullanım alanında kangal şeklinde boruların düzeltilmesi gelmektedir [1,6].

Diğer kaynak yöntemlerinde PE parçaların birbirlerine kaynayıp kaynamadığının kontrolü 3 faktör önemlidir.

- Kaynak yapılacak yüzeylerin sıcaklığı,
- Kaynak esnasında ve soğuma esnasında yüzeylerdeki basma basıncı
- Zaman

Böylece elektrofüzyon kaynak yönteminde bu faktörler dolaylı olarak birbirlerine bağlıdırlar [6]. Çünkü sıcaklık ile basınç, uygulanan elektrik enerjisinin etkisiyle hem kaynak aşaması hem de soğuma aşaması boyunca, zamana bağlı olarak sürekli bir değişim içerisinde yer alacaktır [4,6].

4.5. ELEKTROFÜZYON KAYNAĞI YAPIMI

Elektrofüzyon kaynağı yapımı kolaydır ve dört aşamadan oluşmaktadır.

5. Kaynak yapılacak yüzeyin hazır hale getirilmesi, PE yüzeylerin temizlenmesi,
6. Pozisyonerler kullanarak kaynak yapılacak yüzeylerin birbirine karşılık gelecek şekilde pozisyon aldırılması,
7. Kaynak işleminin gerçekleştirilmesi,
8. Kaynak soğuma süresince aynı pozisyonda beklemesi.

4.5.1. Posizyoner Kullanımı

Posizyoner kullanımı şu aşamalarda gerçekleşir.

- Kangal halindeki borulara bir manşon kaynağı yapılacağı zaman, boruların doğrultulması veya hizalanması,
- Fittings malzemelerin yerleştirilmesinde,
- Kaynak sırasında borunun ve fittings sabit kalmasını sağlamak için,
- Kaynak soğuma süresince sabitliğin devam etmesi için [1,4].

4.5.2. Doğrultma İşlemi

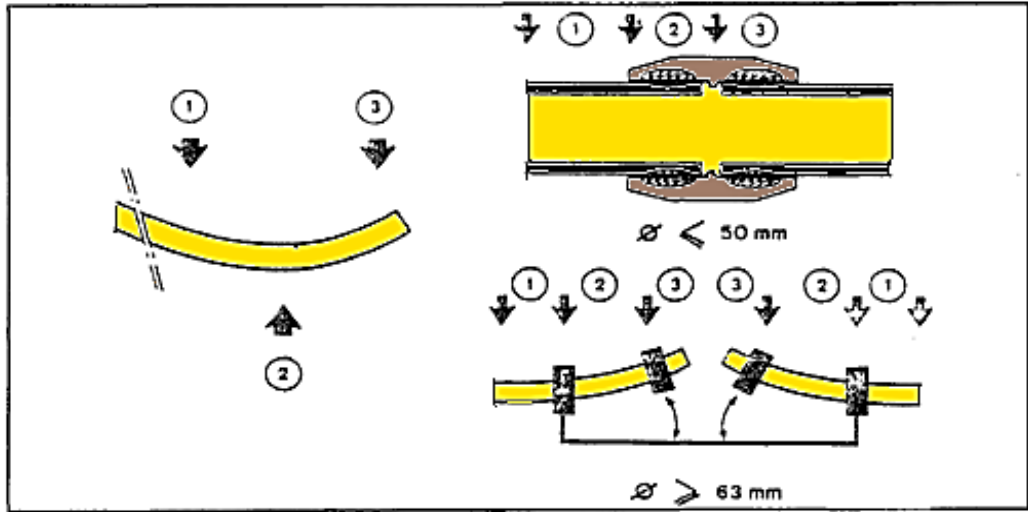
Doğrultma işlemi, her boru ağzına üç noktadan belirli bir kuvvet uygulamasını gerektirir. Bu kuvvetler, kullanılan manşonun tipine bağlı olarak farklı şekillerde uygulanır [6].

Çapı ≤ 50 mm olan borular için doğrultma işlemi; doğrultma amaçlı kuvvetlere göre azdır ve doğrultma işinde sliv etkin olarak yer alır.

- Sarılmamış boru kısmının ağırlığı ile birinci noktaya baskı uygulanarak sabitleme sağlanır,
- İkinci nokta sliv ağzı hizasında tutulması,
- Üçüncü nokta sliv dibine kadar sokularak orada saklanması,
- Borunun ikinci ve üçüncü noktalarından doğrulması, içeride sliv ağzı ile sokulan kısmın tabanında oluşan kısmın kaynak süresince değişmeden sabit kalmasını sağlar (Şekil 4.1.) [4,6].

$63 \leq \text{Çap} \leq 125$ mm olan borular için doğrultma işlemi;

- Sarılmamış boru kısmının ağırlığı ile birinci noktaya baskı ile sabitlenmesi yapılır,
- Doğrulma aparatına bağlı kelepçeler yardımı ile ikinci nokta sabitlenir,
- Üçüncü noktası kelepçeler ayarlanarak doğrulma işlemi tamamlanır (Şekil 4.1.) [6].



Şekil 4.1. Boru doğrultma ilkeleri [6].

4.5.3. Fittingslerin Montajı

Kaynak işlemi için kullanılacak olan boru veya fittingslerin boyutlarına bağlı olarak imalat işlemleri elle veya yardımcı elemanlarla yapılabilir (Çizelge 4.1.). 50 mm çap üzerinde bulunan elle imalat, boru çapı ile manşon iç çapı arasında belli oranda bir açıklık kalacağı anlamına gelir. 50 mm çap altında bulunan, manşonlar daha ince olması polietilen boruların esneme özelliği göz önünde bulundurulması dahilinde her tür fittingsin elle yapılan imalata izin verir [1,6].

Çizelge 4.1. Elektrofüzyon manşonları montaj tablosu [6].

Boru Çapı (mm)	Mutad Boru Ambalajı	Montaj Tipi	Manşon Montajı	Aletlerin İşlevi
$20 \leq \phi \leq 50$	Kangal	Açıklık veya Temas	Elle	Sabit Tutma
$63 \leq \phi \leq 125$	Düz Boru	Açıklık	Elle	Sabit Tutma
		Temas	Araçlarla	Montaj Sabit Tutma
	Kangal	Açıklık	Elle	Doğrultma Sabit Tutma
		Temas	Araçlarla	Doğrultma Montaj Sabit Tutma
$140 \leq \phi \leq 200$	Düz Boru	Açıklık	Elle	Sabit Tutma
		Temas	Araçlarla	Montaj Sabit Tutma

4.5.4. Hareketsizlik

Kaynak işleminin vazgeçilmez faktörüdür. Buna göre kaynak sonunda tam soğumanın sağlanması, kaynaklanan parçaların yerinden oynaması engellenmiş olur.

4.6. ELEKTROFÜZYON KAYNAK TEKNİKLERİ

PE boruların birbirlerine kaynak edilmesi, boruların keplenmesi veya borular üzerinden kolların alınması için daima elektrofüzyon kaynak yöntemleri tercih edilir.

4.6.1. Elektrofüzyon Kaynak Yöntemi

Elektrofüzyon kaynağı yöntemi nedeni ile PE borular tekrar PE maddelerden imal edilmiş ve iç dizaynları rezistansla donatılmış manşon, Te, Saddle, Redüksiyon ve kep gibi fittings elemanlarla bağlantı yapılır veya mevcut hatlardan kol alınır [13].

Elektrofüzyon kaynağı yönteminin en önemli özelliği; fittingslerin rezistanslarını üretim yapan firma tarafından belirlenen zaman ve voltaj kadar enerji verilmektedir. Bu esnada voltaj alan malzemeler yüzeysel olarak erimeye başlar. Arada bulunan rezistanslardaki sıcaklık 130-250 °C'ye kadar yükseldiği görülür. Erime bölgesindeki sıcaklıkla hacmin artması ve dış kısmının düşük ısı iletkenlik sebebi ile soğuk olması kaynak basıncının oluşmasını sağlar. Kaynak işleminin sona ermesi ile soğuma işlemi başlar ve eriyen malzeme katılaşmaya başlar [1,4].

Elektrofüzyon kaynak işlemleri kontrol kutusu adı verilen kaynak makinaları ile gerçekleşir. Bu aletler, mekanik, manuel veya otomatik olabilmektedir [1,4].

Kontrol kutusu kullanımında öncelikle aletin verimine uygun şebeke voltajı veya güç kaynağı seçilmelidir. Kaynak sırasında oluşan hataları bazı aletler ekranlarında göstermektedir [13]. Kaynak yapan operatör kaynak kodlarını çözümlmelidir. İşlem sonunda PE borularda akma, çözülme veya büzülme olması, kaynak esnasında çatlama sesi gelmesi durumunda, kaynak esnasında elektrik kesilmesi sonucu iki defa kaynak verilmesi durumunda tekrar yarım bırakması olayında, soğuma süresi bekletilmeden

yerinden oynatılması durumunda, pozisyoner kullanılmadan kaynak işleminin gerçekleşmesi durumunda, kaynak esnasında PE içinde veya dışından su ile temas eden kaynaklar güvensiz imalat olarak görülürler, incelemeler yapılarak iptal edilebilir [14].

4.6.2. Servis Hattı Kaynakları (SH)

Ø63- 110 ve Ø125 mm çaplı ve PE dağıtım hatlarından tüketime sunulması için servis kutularına kadar çekilen ve Ø20-32 mm ve Ø40 mm çaplı olan PE hatlara servis hattı denilmektedir. Gazsız dağıtım hatları üzerinde yapılabileceği gibi daha çok gazlı hatlardan bağlantı olarak çalışılır. Gümüşhane ilinde kullanılan S700 ve S300 Duvar tipi, Ces200 Yer tipi (Gömülü) olarak üç tip servis kutusu modelleri ile imalatlar gerçekleştirilmektedir [11].



Şekil 4.2. S 700 Duvar tipi servis kutusu [8].



Şekil 4.3. Ces 200 Yer tipi servis kutusu [8].

Saddle Tee yani semer şekline benzer bir aparatın imalat edilmesi ile birlikte, PE fittings elemanların ilgili çapta dağıtım boruları üzerine kaynatılması sonucunda, uygun halde çekilmiş olan PE boruyu manşon yardımı ile dağıtım şebekesi üzerine kaynatılmış olan saddle Tee ile birbirlerine eklenerek servis hattı tamamlanmış olur.

Saddle Tee gaz geçişinin sağlanması için uygun delme aparat yardımıyla saddle Tee içerisinde bulunan bıçak yavaş yavaş saat yönünde döndürülerek dağıtım şebekesi üzerinden gelen PE boru üzerine indirilerek Saddle Tee çapı kadar bıçak içerisine PE kesilerek alınır [15,16]. Daha sonra saddle tee saat yönünün tersine döndürülerek dağıtım hattından servis hattına gaz geçişinin ilerlenmesi sağlanır. Ancak saddle tee delme işlemi sırasında sakın ve yavaş hareket edilmelidir. Çünkü bıçağı aşağı veya yukarı hareket edilmesi bir dişli yardımıyla gerçekleşmektedir. Şayet hızlı ve ani hareket sonunda bıçağın hareket sırasında vida üzerinde diş atılması imalatın tekrar baştan alınması, maliyet, zaman kaybı ve gazsız kalacak birçok bölge dağıtım hattının tekrardan imalat edilmesine kadar işlem devam eder.

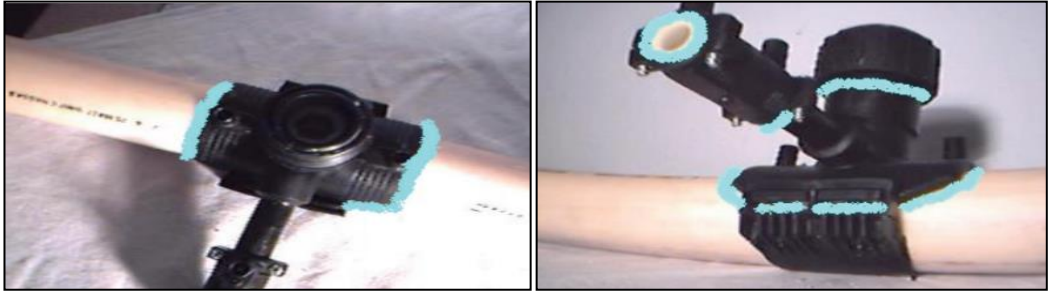


Şekil 4.4. Farklı çaplarda bulunan saddle Tee [11].

Gazlı hatlarda yapılan tüm çalışmalarda servis hattı çalışmalarında önce iş güvenliği kurallarına uyulmalıdır. Üretim yapan firmaların talimatlarına uygun olarak elektrofüzyon kaynak süreleri ve voltajları verilmelidir. Kaynak yapılacak elemanın barkodu okutularak işlem yürütülmelidir, farklı barkot okutulmamalıdır.

Servis hattı kaynaklarında ve uygun soğuma sürelerinin bitiminden sonra 6 bar basınçta teste tabii tutulmalıdır. Hat içerisine basılan 6 bar havanın yardımıyla saddle tee ile manşon ve servis kutusu içerisinde bulunan vana bağlantı noktaları köpükle test

edilerek kaçak olup olmadığına bakılır. Daha sonra hat içerisinde bulunan 6 bar hava 1 bar'a indirilerek köpük testi tekrarlanarak kaçak olup olmadığı gözlemlenir [4,6]. Yapılan testler sonucunda herhangi bir problemle karşılaşılması durumunda Saddle tee delinerek servis kutusu içerisinde bulunan vanaya kadar gaz arzı sağlanmış olur. Servis hattı içerisindeki vanadan gaz tahliyesi yapılarak gazın oranının %100 gaz eldesinin görülmesi sonucunda işlem sonlandırılır [1]. Tahliye sırasında statik elektriklenmeye karşı topraklanma yapılması gerekir.



Şekil 4.5. Saddle Tee köpük kontrolü

4.6.3. Dağıtım Hattı Kaynakları (DH)

Dağıtım hatları kaynakları, mevcut hatların üzerinden aynı veya farklı çaplarda manşon yardımı ile yeni hatlar oluşturma işlemidir. $\text{Ø}63 \times 63$, $\text{Ø}90 \times 63$, $\text{Ø}125 \times 90$ veya $\text{Ø}125 \times 63$ mm çaplarında gazlı dağıtım hatlarında saddle tee ile gaz kesme, boğma veya by-pass işlemlerine gerek duymadan direk yeni dağıtım hatlarının gazlanması sağlanır. Elektrofüzyon kaynağı işlemleri sırasında üretim firmalarının talimatlarına kesinlikle uyulmalı, uygun şartlarda test edilmeli ve delme esnasında çevre güvenliğinin yanı sıra iş güvenliğine dikkat edilmeli [1]. Saddle tee'ler ile yeni dağıtım hatlarının tahliyesinde unutulmamalıdır.



Şekil 4.6. Farklı çaplarda dağıtım hattı kaynakları

Ø63 ve Ø90 mm çapındaki PE borularda çokça rastlanan gaz kesme işlemi yapılmasında yeni hatların imalatında eşit Tee yardımı ile gazlanması durumunda, boğma işlemi yardımıyla gerçekleşir. Boğma ile yapılan hatlarda gaz sızmalarına karşı mutlaka havalandırma Saddle Tee kaynakları yapılmalıdır. Gazlanması planlanan hat boyunca uygun debide PE boru içerisine hava basılarak süpürme işleminde yapılarak güvenli bir ortamın oluşturulması sağlanır.



Şekil 4.7. Farklı çaplarda dağıtım hattı boğma ve by-pass işleminin yapılması

4.6.4. Manşon Kaynakları

Günümüzde manşon kaynaklarında şu işlemler takip edilerek yapılması planlanmalıdır. Fakat bu esnada kanalın uygun şartlarda olmalı ve gazsız bir ortam olduğunu bilmeliyiz.

- PE boruların temizliği,
- PE boruların doğrultarak pozisyoner üzerine yerleştirilmesi,
- PE boruların kaynak olacak ağız kısımlarının uygun makas yardımı ile kesiminin yapılması,
- Manşonun ölçüsü alınarak PE boru üzerine işaretlenmesi sağlanmalı,
- PE boru üzerinde bulunan mumsu tabakanın kazınması,
- Manşonların gözle muayenesi yapılarak, imalat tarihleri ve seri numaraları kontrol edilerek kayıt altına alınması,
- Solvent mendil kullanılarak PE boru üzeri ve manşonun iç kısımları temizlenmeli,
- Manşon PE boruya geçirilir,

- Pozisyoner yardımıyla kaynak olacak PE boruların alın altına getirilmesi,
- Manşonun kaynak yüzeylerine göre ortalanması,
- Manşonlarda kasıntı olmayacak şekilde pozisyonerler sabitlenmesi sağlanır,
- Elektrofüzyon kaynak makinesinin soketlerinin manşon üzerine yerleştirilmesi,
- Barkot okutularak kaynak işleminin başlatılması,
- Kaynak bitiminde soğuma süresi boyunca pozisyone dokunmama,

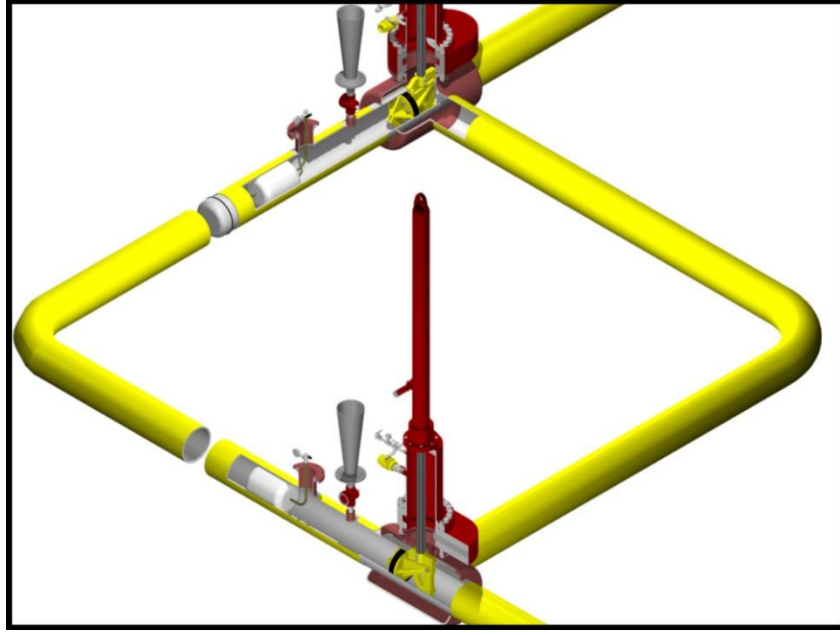
Böylece yapılan işlemlerin ardından testler yapılarak, kaynak föylerine çizilerek, kaynak numaraları kaydedilir.



Şekil 4.8. Manşon kaynağı

4.6.5. Canlı Hat Kaynakları

Gazlı hatlarda Tee fittings yardımı ile aynı ya da farklı çaplarda kol alma işlemleridir. Gazlı hatlarda çalışma yapılacağından dolayı kanal uzunluğu yaklaşık 5 m az olmamasına dikkat edilmelidir. By-pass kurulma işleminde boğma yapılacağı için kaynak sayısı 13 adettir. Ancak işlem yapılacak borunun çaplarına bağlı olarak işlem süresi yaklaşık olarak 2 - 4 saat kadar sürebilmektedir [1,4].



Şekil 4.9. Canlı çelik hatta kaynak yapma tekniği [6].



Şekil 4.10. Canlı hat yapımı

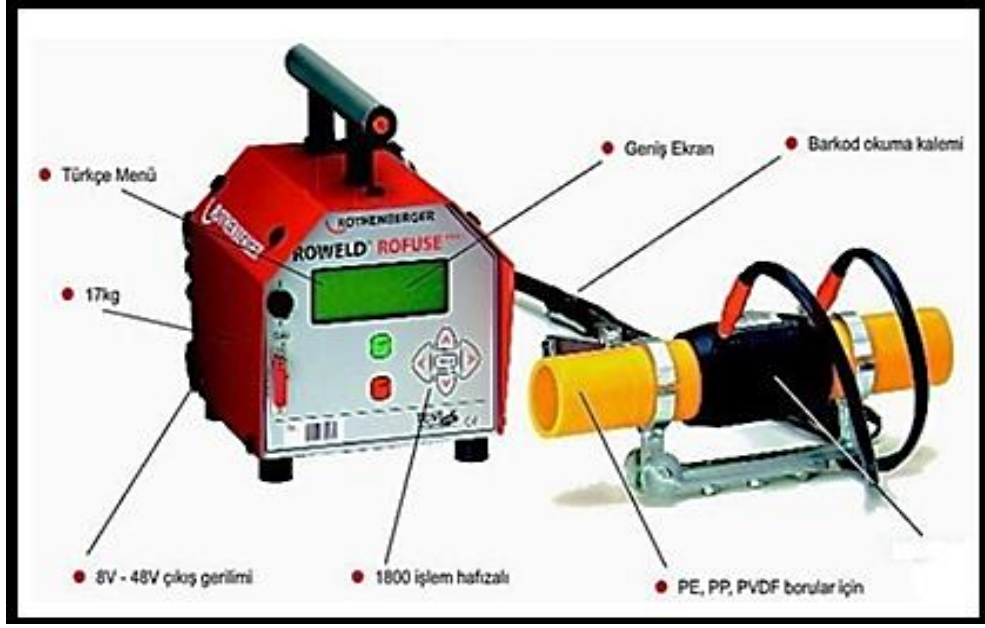
Bir Tee fittings elemanın bağlantı kaynakları şu aşamaları takip edilerek yapılması planlanmalıdır.

- Tee fittings bağlanması planlanan yer, By-pass saddle tee konulacak yerler, havalandırma işlemi için konulacak saddle tee yerleri ve boğma yapılacak yerler belirlenerek PE boru üzerinde işaretlenmeli,
- By-pass ve havalandırma işlemi için saddle tee yerleri hazırlanarak montaj edilerek, pozisyonerler bağlanması sağlanır,
- Kaynak işlemleri sonunda soğumaya bırakılır, işlemlerinin ardından testler yapılır, testler sonucu olumlu ise saddle tee delinir,
- By-pass işlemi gerçekleştirildikten sonra boğma işlemi yapılır,

- Havalandırma işlemleri için saddle tee delinir, havalandırma işlemi için kaynak yapılan saddle tee tekinden arada kalan gaz süpürme işlemi ile tahliye edilmesi sağlanır,
- Statik elektriklenmeye karşı topraklanma yapılır,
- Havalandırma saddle açık olması durumunda boğma işlemi sonrasında PE borularda kaçak olup olmadığı kontrol edilir,
- PE boru üzerine tee fittingsinin ölçüsü işaretlenir, işlemin yapılacağı kısım kesilerek çıkarılır, ölçülere göre kol alınacak PE boruda hazırlanmalı,
- PE borular pozisyoner üzerine yerleştirilir,
- Tee fittings montajı yapılır, pozisyoner yardımıyla kol alınacak PE boru birleştirilerek sabitlenmesi sağlanır,
- Kaynak işlemleri hazır bir hal aldığıında tekrar PE borularda kaçak olup olmadığı kontrol edilir,
- Kaynak işlemi gerçekleştirilir ve soğuma süresi kadar beklenecek test işlemi yapılır,
- Test sonuçları olumlu ise gaz verme işlemine geçilir,
- By-pass işlemi ve havalandırma işlemleri için yapılan saddle tee kepler ve test edilir,
- Boğma yavaş yavaş kaldırılır ve boğmanın boğmuş olduğu yerler ise düzeltme aparatı ile düzeltilir ve test edilir,
- Böylece yapılan işlemlerin ardından testler yapılarak, kaynak föyelerine çizilerek, kaynak numaraları kaydedilir.

4.6.6. Elektrofüzyon Kaynak Makinası

Elektrofüzyon kayna makinası kaynak yapılacak parçalara uygun voltajı sağlayarak ve manşon iç yüzeylerinde yeterince malzemelerin erime sıcaklığına ulaşma esnasında otomatik olarak gerilimi keser [6].



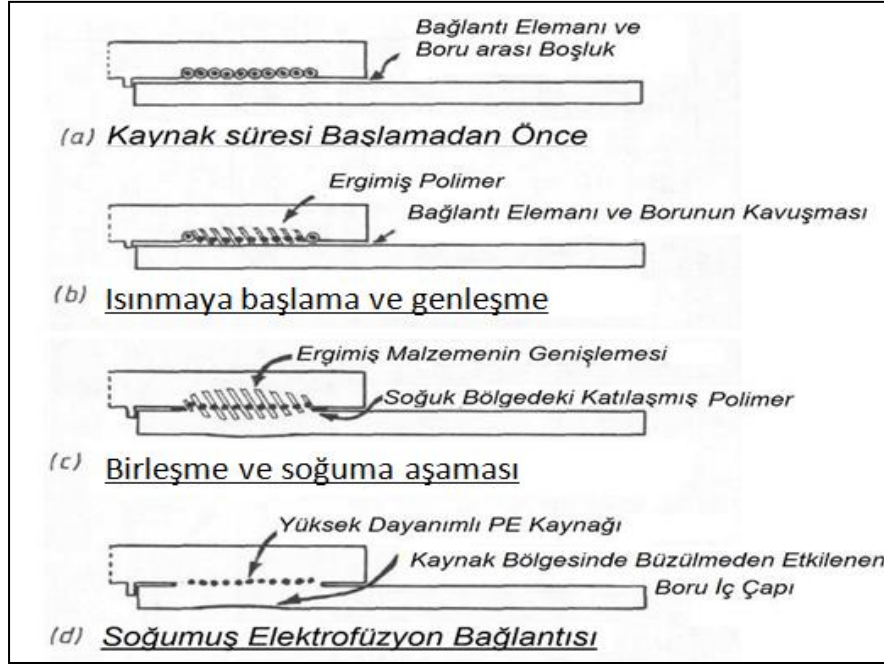
Şekil 4.11. Elektrofüzyon kaynak makinası [1]

4.6.7. Kaynak İşleminin Yapılması

Kaynak değerleri kaynak makinasında PE boru çap nominal basıncına göre ayarlanır. Kaynak makinası kablolarla manşon üzerinde bulunan soket uçlarına takılır. Elektrik verilerek kaynak işlemleri otomatik olarak başlatılır [13]. Kaynak işlemi sırasında kaynak işlemi için gerekli voltaj kaynak makinasından kontrolü sağlanır. PE boru kaynak işlemleri sonrasında soğuma zamanı içinde hareketsiz kalmalıdır. Soğuma süreleri genellikle PE boru çaplarına göre değişkenlik göstermekte ve ortalama olarak 10 dakika belirtilmiştir [1,4].

4.6.8. Kaynak İşleminin Basamakları

Kaynak işlemleri için gerekli olan parametreler hazırlanıp, kaynak makinası bağlantı kabloları manşona bağlandıktan sonra kaynak safhaları şematik olarak Şekil 4.12.'de gösterilmiştir [12-14].



Şekil 4.12. Elektrofüzyon kaynağının basamakları [4-13].

4.7. PE HATLARDA SIZDIRMAZLIK TESTİ

Sızdırmazlık testleri, doğalgazın normal işletme sınırları altında boru içerisinde tutulacağını ve herhangi bir sızıntı gerçekleşmeyeceğini doğrulamak suretiyle yapılır. Testin süresi, stabilizasyon zamanının sonundan başlayarak 48-192 saattir. Sızdırmazlık testleri yapılacak olan hatların uç kısımları kepli her bir kolda genellikle bir adet ve en son nokta da servis hattı imalatı yapılmış olmalıdır [4,6,10]. Bir doğalgaz dağıtım hattının içindeki tüm hatların sızdırmazlık testleri tek olarak yapıldıktan sonra toplu olarak ta sızdırmazlık testleri tamamlanmalıdır. Test basıncı: 0,5 - 1,0 bar'dır. Basınç ölçümü: 1 mm cıva basıncını ölçen hassas ölçüm cihazı ile yapılmalıdır (U-Manometre). Yapılan testin okunma süreci en son noktada bulunan servis kutusunun girişinden yapılmalıdır. Sızdırmazlık testlerinin toleransı $\Delta P= 13$ milibarı (10 mm cıva) dır. Kaçak olması halinde sızdırmazlık testleri tekrarlanır. Kaçak olması durumun da genellikle hat ikiye ayırarak sızdırmazlık testleri uygulanır [1,4,9].

BÖLÜM 5

KAYNAK HATALARI VE SEBEPLERİ

5.1.ELEKTROFÜZYON KAYNAK HATALARI VE SEBEPLERİ

5.1.1. Kötü Hava Koşullarından Korunama

Kaynak işlemi süresince kötü hava şartları tüm kaynak tekniklerinde olduğu gibi elektrofüzyon kaynak tekniğinde de kaynak kalitesini etkiler. En önemlisi de kaynak yapan kişiyi etkilediği için yeni hataların oluşmasına davetiye çıkarır. Örneğin, ansızın gelen yağmurun etkisiyle kaynağı yapan kişinin acele etmesine ve kaynak prosedürlerine uymamasına sebep olur.

5.1.2. Gaz Sıkışması

Kaynak yapılacak bölge gazlı hatlar için ilk olarak iş sağlığı ve güvenliği tedbirleri alınarak başlatılmalıdır [18]. Kaynak yapılacak boru içerisinde basınçlı havanın kalması durumu kaynak işlemi öncesi ve sonrası olarak değerlendirilir. Hasara uğramış olan boru kısımlarının değiştirilmesi veya canlı hat üzerinde Tee fittingsinin kaynağı için yapılan manşon kaynaklarında karşılaşılabılır [4]. Boğma bölgesinde boru içerisine sızan gazlar kaynak süresince tahliye saddle tee vakumla alınması sağlanmalıdır. Aksi takdirde basınç fazlaca yükselmesi durumunda kaynak noktasını etkileyecektir. Bu sebeple kaynak işlemleri sırasında tahliye saddle tee kullanılmalı ve vakumlama işlemi yapılmasına özen gösterilmelidir.

Kaynak soğuma süresinin yeteri kadar beklenmemesi aceleci davranarak tahliye saddle tee kapatılması böylelikle boğma kısmından sızan gazların basınç oluşumuna sebep olur. Kaynak soğuma süresinin yeteri kadar beklemeden borunun içerisini gazla basınçlandırılması veya soğuma süresi beklemeden hemen teste tabi tutulması, sıcak

olan ve mukavemeti oldukça düşük olan boruların ve manşonun basınç yüksek ise genişmesine yahut manşon iç yüzeyi ile boru dış yüzeyi noktasını etkileyerek hava boşluklarının oluşmasına veya gazın soğumamış olan noktadan sızıntı yapmasına sebep olur.

5.1.3. Ortam Sıcaklığının Düşük veya Yüksek Olması

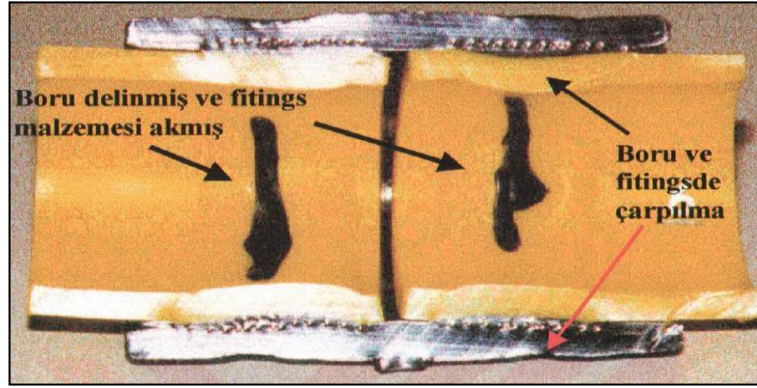
Boru çevresindeki boru sıcaklığının düşük ya da yüksek olması önemsiz gibi görünse de kaynak kalitesini ve ömrünü azaltan hatalı bir kaynaktır. Kaynak parametrelerinde kaynak süresi seçilirken dış ortam sıcaklığı daima dikkate alınmalıdır. Boru ve fittingslerin sıcaklıkları ortam sıcaklığına yakın olduğu farz sayılır. Bu sebeple borunun veya fittingslerin kaynaktan önce farklı sıcaklıklarda bulunması kaynak işlemlerinden sonra tespit edilemeyeceğinden kaynağın yaşam süresini kısaltacak bir etki yaratır.

Kaynak bölgesi soğuk ortamdaki, yağmurdan ve kardan korunmalıdır. Üretici firmanın tavsiye ettiği ortam sıcaklığının dışındaki havalarda kaynak işlemi yapılması gerekiyorsa kaynak işlemi için tedbirler alınmalı, kaynak çadırı kurmak suretiyle kaynak işlemi yapılmalıdır [1].

5.1.4. Eksik Kalmış Kaynağı Sonradan Devam Ettirme

Elektrofüzyon kaynağı işlemlerinde bazen beklenmedik anda kaynak tamamlanamayabilir. Bunun sebeplerinden en çok rastlanan hataların başında gelen akımın kesilmesi veya elektrofüzyon kaynak makinasının bağlantı aparatlarının fittings malzeme üzerinde bulunan soketlerden çıkmasıyla gerçekleşir. Kaynak operatörü kaynak esnasında kaynak süresini takip etmediği takdirde kaynağın hangi süre içinde kesildiği bilinemeyecektir [1]. Şayet kaynak operatörü kaynağı takip etmiş ise hemen ara vermeden kaçınıcı saniyede kalınmışsa geriye kalan kaynak süresi elektrofüzyon makinasına manuel girilerek kaynak işlemine devam edilir. Bu işlemde önemli olan doğru sürenin tespit edilmesi ve kaynak işlemi için gerekli olan enerjinin sağlanmasıdır [19].

Şayet kaynak operatörü tarafından kaynak süresi tespit edilememiş ise kaynağın tamamen soğuması beklenmelidir. Soğuma bittikten sonra yeni bir fittings miş gibi tekrardan kaynak işlemi yapılır [19]. Ancak kaynakçı elektrofüzyon kaynak yöntemlerini bilmiyor ise kaynak soğumadan aynı sürede kaynak yapmaya devam eder. Böylece bu tür kaynak işlemlerinde kaynağın kalitesi bozulacak ve gözle görülür bir şekilde kaynak hataları meydana gelecektir.

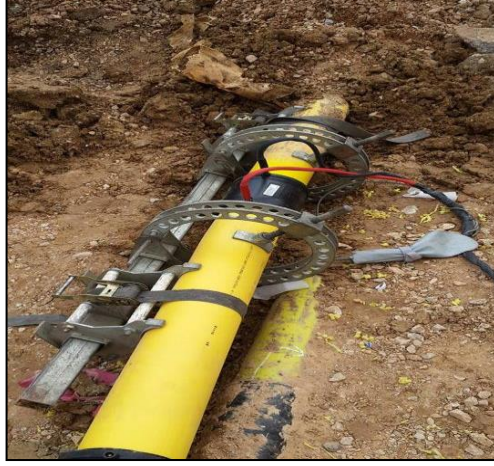


Şekil 5.1. Fazla ısının verilmesi ile erime [6]

5.1.5. Kaynak Noktalarının Mekanik Zorlamalara Maruz Kalması

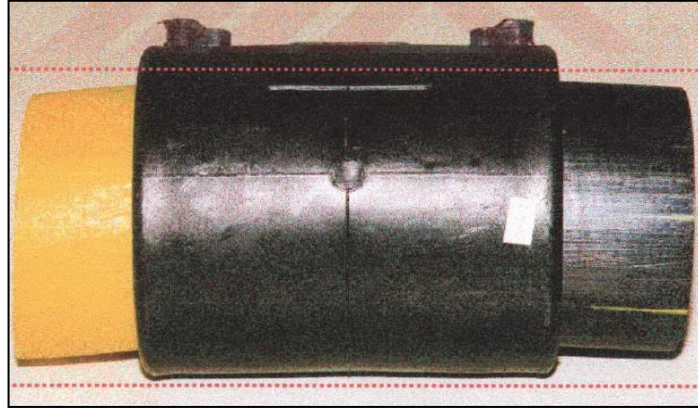
Kaynak ve soğuma süresince boru ve bağlantı parçası herhangi bir yüke maruz kalmamalıdır. Borular kangal halinde geldiği için kaynaktan önce pozisyoner yardımıyla düzeltilmesi gerekir. Ama bu işleme rağmen boruların özelliklerinden dolayı eski hallerine gelmesini isterler ki buda kaynak noktasında hata oluşturacak gerilmeler oluştururlar [1,24].

Pozisyoner kullanmayı en çok kaynak noktasına gerekli enerjinin verilip soğuma zaman diliminde ihtiyaç duyulur (Şekil 5.2.). Pozisyonerler genellikle kaynak noktalarında aşırı oluşmayan kasıntıları ortadan kaldırırken diğer yandan boru birleştirme fittingslerin sabit kalmasını sağlar. Şayet kasıntılar fazla ise pozisyonerler yetersiz geleceğinden hata oluşur (Şekil 5.3.). Diğer bir hata türü ise soğuma süresi bekletilmeden pozisyonerlerin çıkarılmasıdır.

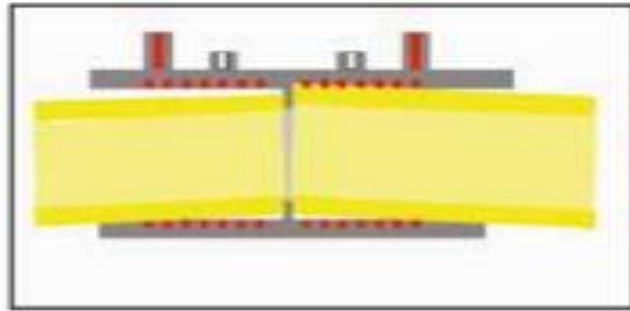


Şekil 5.2. Kaynak ve soğuma süresince pozisyoner kullanımı.

Kaynak işlemleri genellikle talimatlara uymayı gerektiren bir işittir. Aceleci olmadan kaynak işlemi yapılmalı ve fittings elektrofüzyon kaynak makinasından elektrik bağlantı elemanları sökülmemelidir.

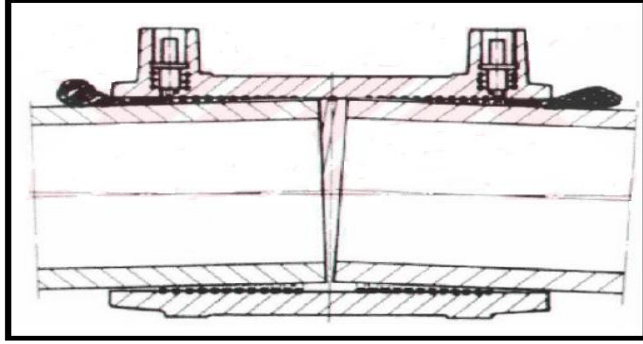


Şekil 5.3. Kaynak noktasında kasıntı oluşumu [6].



Şekil 5.4. Kaynak noktasında kasıntı oluşumunun kesit görüntüsü [1].

Şekil 5.3. ve Şekil 5.4.'de kasıntılar gözükmemektedir. Boruların açılı durması kaynak noktasına yeterli enerji verildikten sonra boru çaplarının büyük olmasından dolayı fittingsler de kasılma ve boruların pozisyona gelmesi görülmektedir. Bu tür hatalar boruların büyüklükleriyle artmaktadır. En ideal kaynak işlemi Ø63 mm gerçekleştirilmektedir. Kaynak işlemi kangal borular halinde değil de kısa boy 2 veya 5 m aralığındaki borular tercih edilmelidir. Böylece hatalar azaltış olacaktır. Şekil 5.4.'de belli olmaktadır [1,4].



Şekil 5.5. Boru ve fittingslerde kasıntı sonucunda akma [6].

Büyük çaplı boru hatları yapılırken uzun boy borular kullanılarak hataları en aza indirirken, hatlardan kol alınırken ve tamir işlemleri sırasında tekrar hatalarda artış gözükmemektedir. Böyle hatalarda gözle görülebilmekte ve kaynak noktalarında akıntılar görülmektedir.

5.1.6. Kaynak Bölgesinin Yeterince Temizlenmemesi

Elektrofüzyon kaynak yönteminde kaynak olacak noktaların temizliği kaynak kalitesini etkileyecektir. Kaynak noktaları kaynak işleminden önce 0,2 mm olacak bir biçimde boru üzerindeki mumsu tabaka kazıtılmalı ve alkollü solvent ile silinmelidir. Temizlenen bölgeye sonradan kesinlikle elle dokunulmamalıdır. Aksi durumda kaynak işlemi gerçekleşmez lakin dış görüntüsü ile kaynak işlemi tamamlanmış ve fittings taşma noktaları da kaynağın tamamlandığını gösterebilir. Bu tür kaynaklarda test işlemleri sırasında tespit edilir, tespit edilememe durumunda ise kısa zaman içerisinde basınç altında olacağından kaynak noktası açılacaktır [6].

5.1.7. Eğik Boru Kullanımı

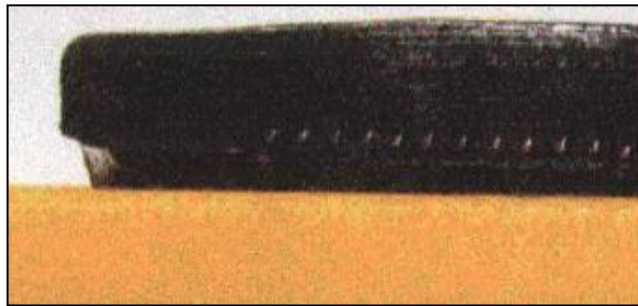
Polietilen borular oval şekilde olabilmektedir bunun nedeni üretimden veya kesme sırasında olmaktadır. Böyle durumlarda borular kaynaktan önce bir mengeneye veya boğma yardımıyla düzeltilmesi sağlanmalıdır. Düzeltme işlemi gerçekleşmeden yapılan kaynaklarda imalat hatalı olur. Kaynak işlemlerinin tam olması için manşon iç yüzeyi ile boru dış yüzeyi arasındaki malzemenin eriyip basınç oluşması gerekir. Ancak oval olduğunda manşona boşluklu geçme olacağından basınç fazla yükselemeyeceğinden kaynak işlemi gerçekleşmeyecektir.



Şekil 5.6. Oval boru kullanılması sonucu kesim sırasında ayrılan kaynak bölgesi [6].

5.1.8. Düşük Gerilimde Kaynak Yapılması

Kaynağın gereken performansta olabilmesi için kaynak noktasında gerekli basınç ve enerjiyi oluşturacak akım rezistanslara verilmelidir. Aksi durumda erime oluşmaz ve sonucunda kaynaşmayı sağlayacak basınç düşük olduğu için kaynak gerçekleşmez veya gereken ısıdan %30 daha az gerilimin uygulanması kaynak işleminin bittiğini gösterir ama kaynaktan beklenen kalite sağlanamaz [1,4,15].



Şekil 5.7. Düşük gerilim sonucu kaynak noktasında ayrılma [6].

5.1.9. Kaynak Süresinin Yanlış Uygulanması

Elektrofüzyon kaynağında sabit akımda ve üretim firmalarının bu akımları dikkat ederek tamamen laboratuvar ortamlarında belirledikleri kaynak süreleri uygulanmadığı zaman kaynaklardan verim alınmaz. Fazla süre uygulamalarında boru ile fittings malzeme arasında akma görülür. Yetersiz süre verilmesinde ise boru ile fittings malzeme arasında yeterince erime olmayacağından dolayı ayrılma meydana gelir. Bu tür hatalar şöyledir;

- Yüksek akımla kaynak yapılması,
- Akımın aniden kesilmesi,
- Manuel makinalarda gerilimin farklı girilmesi,
- Manuel makinalarda süre bitmeden kaynağın sonlandırılması,
- Hava sıcaklığına bakılmaksızın tablodan yanlış hava kaynağının süresinin seçilmesi, Kaynak işleminin zamanının uzaması veya kısılması,
- Yanlış fittings barkodu okutma veya yanlış fittings tanıma.

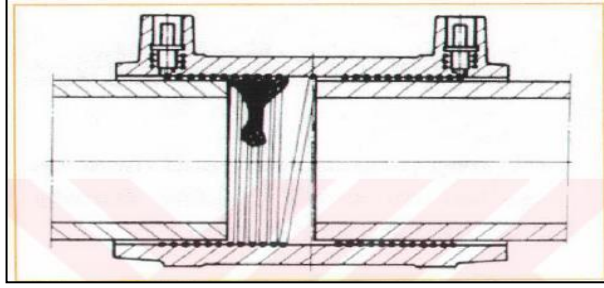
5.1.10. Alın Kaynağı İçin İmal Edilmiş Boruların Elektrofüzyon Tekniğinde Kullanılması

Poliyeten borular dış çapları esas alınarak üretilirler. Bunlar A ve B olarak iki'ye ayrılır. Elektrofüzyon kaynak yöntemlerinde A sınıfı borular tercih edilir. Alın kaynak yöntemlerinde normal toleranslı borular tercih sebebidir [6]. Örneğin, dış çapı 110 mm olan bir doğalgaz borusu hassas toleranslı üretilirse, dış çaptaki tolerans +0,6 mm, normal toleranslı üretilirse dış çaptaki tolerans +1,0 mm değerindedir. Fittings malzemeleri ise iç çapa göre toleranslı olarak üretilirler. Bu sebeple iki yüzey arasındaki boşluktan dolayı meydana gelecek hatalar önlenmiş olur [1,4,15].

Alın kaynak için üretilmiş boruların dış çap toleransları hassas değildir. Bu tür boruların kullanımında kaynaklarda sıkıntı oluşmaktadır. Mecburiyet söz konusu ise toleranslar dikkate alınarak işlem yapılmalıdır.

5.1.11. Polietilen Boruların Alınları Arasında Boşluk Kalması

Kaynak işlemleri sırasında PE borular fittingsler dikkat edilerek hazırlanmalıdır. Aksilikte boru yerleştirildikten sonra boru alınları arasında boşluk oluşur. Kaynak işlemi sırasında oluşan bu boşluktan fittings malzemesinin içine eriyen malzeme akar.



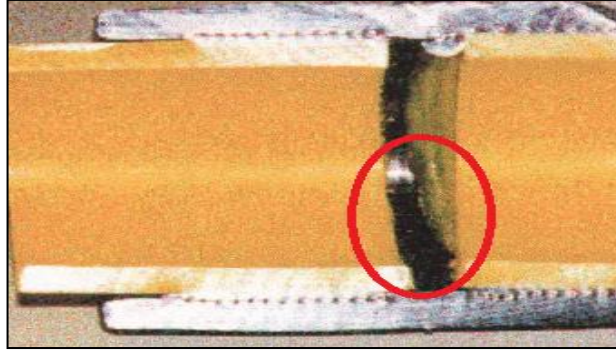
Şekil 5.8. Boru alınları arasında boşluk [6].

Erime esnasında malzeme bu noktada azalacağından dolayı rezistanslar birbirlerine doğru yaklaşır ve bu esnada rezistanslar arasında kısa devre oluşarak rezistans teller kopar.



Şekil 5.9. Rezistansların bir araya toplanması [6].

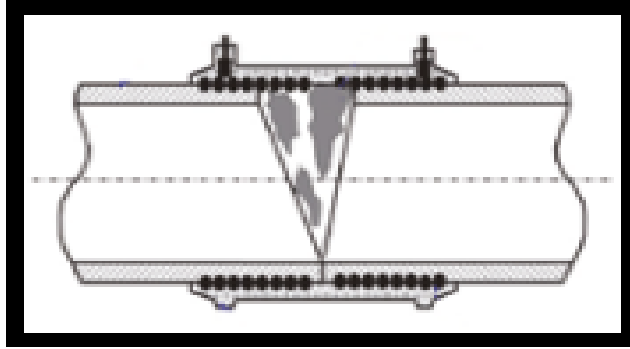
Boşluk fazla olmaması durumunda kaynak işlemi tamamlanmış dahi olsa kaynağın ömür süresi kısılacaktır.



Şekil 5.10. Eriyen malzemenin boru içine akması [6].

5.1.12. Polietilen Boruların Alınlarının Yamuk Kesilmesi

Boru alınlarının ağızları arasında açıklık kalması kaynak işlemi sırasında eriyen malzemelerin bu kısımlara akmasına neden olur. Kaynak mukavemetinin düşmesine sebep olur.



Şekil 5.11. Boruların yamuk kesilmesi sonucunda malzemede akma [1,4].

5.1.13. Farklı Malzemelerden İmal Edilmiş Boru ve Fittings Kullanımı

Kaynak işleminin başlaması için manşon iç kısmı ile borunun iç kısmının arasındaki malzeme erime sağlamaktadır. Eriyen malzeme polietilen maddenin özelliklerine bağlı olarak değişim göstermektedir. Farklı iki maddeden üretilmiş fittings ve boruların kullanılmasında erimeler eşit oranda olmayacağından kalitesiz bir kaynak işlemi oluşmuş olacaktır.

5.1.14. Kullanılacak Olan Fittings Malzemelerden Kaynaklı Hatalar

Rezistansları kopmuş olan bağlantı elemanlarında kaynak işlemi yapılamaz. Üretim sırasında rezistanslar birbirine yakın yerleştirilmişse kaynak başladıktan kısa bir süre sonra kısa devre sonucu teller kopar ve kaynak yarıda kalır.

Diğer karşılaşılan bir hata türü ise boruların oval olması gibi fittinglerin de standart dışında bir ovalliğe sahip olmasıdır. Bu tür bağlantı parçası ile kaynak işlemi yapılırsa oval borulardakine benzer sonuçlarla karşılaşılır [1].

Fittingslerin raf ömrü 4 yıldır. Fittingslerin üretim esnasında üzerlerine imalat ayı ve yılı işlenmektedir. Ancak depolama ve ambalajlama koşullarına göre farklılıklar göstermektedir. Güneş ışığına maruz kalmış bir fittings malzemenin iç bölgelerinde oksitlenme meydana gelir. Bu oksitlenmeyi polietilen borulardaki gibi kazımak mümkün olamayacağından dolayı kaynak hatası verirler [20].

5.1.15. Fittings Malzemelerin Polietilen Üzerine Fazla Geçirilmesi

Kaynak işlemine başlamadan önce manşon içerisine girmesi gereken kısımlar işaretlenmeden montaj yapılırsa kaynak hataları meydana gelecektir. Manşon yardımıyla yapılan bağlantılarda manşonun fazla veya az sürülmesi manşon içerisinde iki kısmı birleştiren ve rezistanssız olarak imal edilen kısmın kaymasına yol açar. Bu hatalı işlemin sonucunda eriyen malzeme boru içine akabilir [21].

BÖLÜM 6

HATA TÜRLERİ VE ETKİLERİ ANALİZİ (FMEA)

FMEA, bir hatanın nerede ve nasıl meydana geldiğini tanımlayan ve bu hataların bağlantılı olduğu farklı kusurlara yönelik bölümlerin, değişime ihtiyaç duyan süreçlerini tanımlamak amacıyla değerlendiren proaktif ve sistematik bir yöntemdir [23,27].

6.1. FMEA ÇEŞİTLERİ

6.1.1. Sistem FMEA

Sistem ve alt sistemleri analiz ederek, sistemin eksiklerinden doğan fonksiyonları arasındaki potansiyel hata türlerini belirlemeye odaklanır. Hedefi, sistemin kalitesini, güvenilirliğini ve korunabilirliğini artırmaktır [23]. Sistem FMEA ile sistemi etkileyen potansiyel problemlerin bulunabileceği alanlar daralır, içerisinde uygulanacak prosedürler için bir temel oluşturulmasına yardımcı olur, sistem içerisindeki fazlalıkların tespit edilmesine yardım eder [28,29].

6.1.2. Tasarım FMEA

Tasarım hatalarından doğan hata türlerine yönelik olarak üretime başlamadan önce ürünlerin analiz edilmesinde kullanılır [23]. Böylece tasarım geliştirme faaliyetleriyle ilgili önceliklerin belirlenmesi, potansiyel hataların tasarım aşamasında iken belirlenmesi, potansiyel güvenlik sorunlarının belirlenerek ortadan kaldırılmasına yardım etmesi ve değişiklik için açıklamaların kaydedilmesi, önemli ve kritik özelliklerin belirlenmesine yardım etmesi sağlanmış olur [29,30].

6.1.3. Proses FMEA

Bu analiz üretim veya montaj prosesindeki eksiklerden doğabilecek hata türlerini ortadan kaldırmak ve üretim ve montaj prosesini analiz etmek amacıyla hizmet etmektedir. Kritik veya önemli olan özellikleri tespit etmede ve kontrol planı oluşturmada yardımcı olur, proses aşamasında ortaya çıkacak hataları belirler ve düzeltici faaliyetlerle ilgili plan sunar [28-30].

6.1.4. Servis FMEA

Servis FMEA organizasyondaki aksaklıkların analiz edilmesinde yardımcı olur. Bu analizin uygulanmasıyla; organizasyon faaliyetleri arasında önceliklendirme yapılması ve değişiklik için açıklamaların kaydedilmesi sağlanır [23]. İş akışının, sistem ve proses analizinin etkin bir şekilde yapılmasında, işteki hataların ve kritik önemli işlerin belirlenmesinde ve kontrol planlarının oluşturulmasında yol göstermesi gibi avantajlar sağlar [30].

6.2. RISK ÖNCELİK SAYISI (RÖS)

FMEA yönteminde hata türlerinin öncelikleri bir Risk Öncelik Sayısı (RÖS) üretilerek belirlenir. RÖS değeri hataların Olasılıkları (O), Şiddeti (Ş) ve Fark edilebilirlik (F) değerlerinin çarpımıyla elde edilir [28-30].

$$RÖS = O \times \text{Ş} \times F \quad (6.1)$$

O: Her bir hata türünün oluşma olasılık değeri,

Ş: Şiddet, diğer bir deyişle zararın ne kadar önemli olduğunun değeri,

F: Fark edilebilirlik, diğer bir deyişle zarar meydana getirecek durumun keşfedilmesinin zorluk derecelendirilmesi,

Çizelge 6.1. Olasılık değer tablosu [23,27-30]

ETKİ	OLASILIK DEĞERİ	KRİTER
Nerdeyse İmkânsız	1	Geçmiş herhangi bir hata göstermiyor
Uzak	2	Seyrek hata sayısı
Çok Az	3	Çok az hata sayısı
Az	4	Az hata sayısı
Düşük	5	Ara sıra hata oluşur
Orta	6	Orta hata sayısı
Kısmen Yüksek	7	Kısmen yüksek hata sayısı
Yüksek	8	Yüksek hata sayısı
Çok Yüksek	9	Çok yüksek hata sayısı
Nerdeyse Kesin	10	Geçmiş benzer tasarım hatalarından çok sayıda gösteriyor

Çizelge 6.2. Şiddet değer tablosu [23,27-30]

ETKİ	ŞİDDET DEĞERİ	KRİTER
Yok	1	Etki yok
Çok az	2	Hayati olmayan hata bazen fark edilir
Az	3	Hayati olmayan hata sıklıkla fark edilir
Minör	4	Hayati olmayan hata sürekli fark edilir
Orta	5	Hayati olmayan hata onarım gerektirir
Belirgin	6	Hayati önemi olmayan parçalar çalışmıyor
Majör	7	Alt sistem çalışmıyor
Aşırı	8	Ürün çalışmıyor fakat güvenli
Ciddi	9	Potansiyel tehlikeli etki
Tehlikeli	10	Tehlikeli etki

Çizelge 6.3. Fark edilebilirlik değer tablosu [23,27-30]

ETKİ	FARKEDİLEBİLİRLİK	KRİTER
Nerdeyse Kesin	1	Uygulanabilen her kategoride en yüksek etkinliğe sahip
Çok Yüksek	2	Çok yüksek etkinliğe sahip
Yüksek	3	Yüksek etkinliğe sahip
Kısmen Yüksek	4	Kısmen yüksek etkinliğe sahip
Orta	5	Orta düzeyde etkinliğe sahip
Düşük	6	Düşük düzeyde etkinliğe sahip
Az	7	Az etkinliğe sahip
Çok Az	8	her kategoride en az düzeyde etkinliğe sahip
Uzak	9	Kanıtlanmamış, güvenilirmez yada etkinlik bilinmiyor
Nerdeyse İmkansız	10	Hiç bir tasarım tekniği bilinmiyor yada uygulanamıyor yada hiçbiri planlanmamış

Çizelge 6.4. RÖS değer tablosu [23,27-30]

$RÖS < 40$	Önlem almaya gerek yok
$40 \geq RÖS \geq 100$	Önlem alınmasında fayda var
$RÖS > 100$	Mutlaka önlem alınmalı

BÖLÜM 7

SAHA UYGULAMALARI

7.1. FİRMA TANITIMI

Ülkemizde prestij sahibi olan firmalar arasında yer alan dört farklı firma yetkilisi ile görüşmeler sağlanarak hiçbir firma ismi, kişi ve kişiler belirtilmeyecektir.

7.2. SADDLE TEE TANIMI

Saddle Tee sıvı veya doğalgaz alt yapı sistemlerinde kullanılan hammaddesi PE100 olarak üretilen malzemelerdir. Elektrofüzyon yöntemine uygun olarak üretilmektedir. Saddle Tee en büyük özelliği çalışan bir hat üzerinden başka bir yöne sıvı veya gazın yönlendirilmesinde kullanılabilmesidir. Ayrıca branşman bağlantılarında bağlantı kolaylığı sağlar. PE80 ve PE100 borulara elektrofüzyon birleştirme yöntemi ile monte edilir. Ayrıca hatlar üzerine boruların kesilmesine ihtiyaç duyulmadan monte edilebilmektedir [26-40].

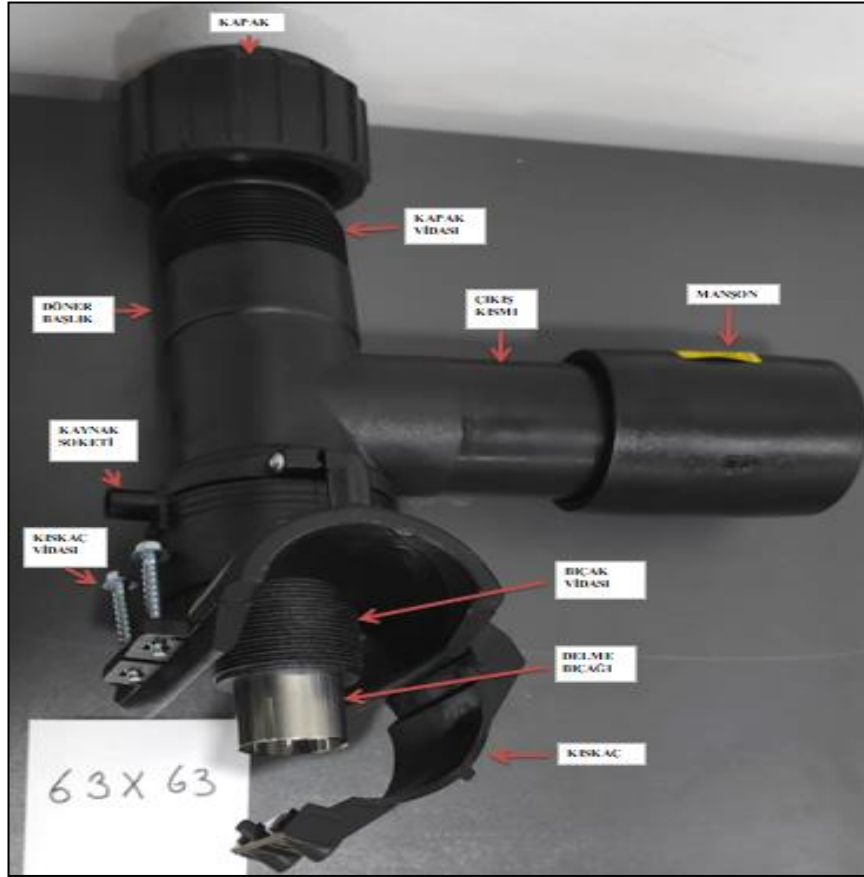
7.3. ÜRÜNÜN TANITIMI

Bu çalışmamız aşamasında kullandığımız Saddle Tee Ø90x32 mm, Ø63x63 mm ve Ø125x63 mm model çeşitleridir. Bu Saddle Tee modellerinin genel görünüşü Şekil 7.1.'de gösterilmektedir.

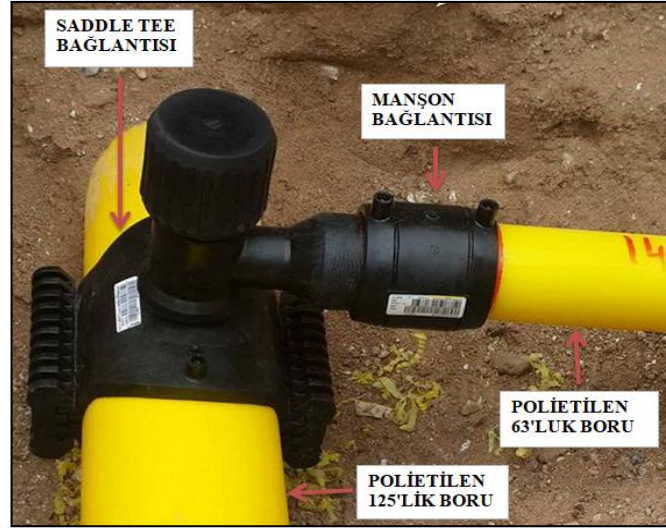


Şekil 7.1. Saddle Tee

Saddle Tee kullanımı polietilen boru üzerine montaj edilirken her polietilen boru için farklı çaplarda saddle tee kullanılmaktadır. Bir Saddle Tee'nin polietilen boru üzerine nasıl montaj edildiği Şekil 7.2. ve Şekil 7.3.'te gösterilmektedir.



Şekil 7.2. Saddle Tee iç yapısı



Şekil 7.3. Saddle Tee montajı

7.4. FMEA EKİBİ VE ÇALIŞMA YÖNTEMİ

Farklı üretim firmalarının temsilcileri ile irtibat sağlanarak yaşanmış olan sıkıntılar beraber iştişare içerisinde çözümler bulunmaya çalışıldı. Farklı bölgelerde yer alan firma yetkilileri ile görüşler sağlanarak FMEA ekibi oluşturulmuştur. FMEA çalışmasına başlamadan önce firma temsilcilerine FMEA hakkında çalıştıkları iş yerine sağlayacağı yararlar neler olduğu anlatarak ve onların desteği ile birlikte bu çalışma için onay alınmıştır. Bu onaya istinaden FMEA ekip tablosu oluşturulmuştur.

Çizelge.7.1. FMEA ekip listesi

Adı Soyadı	Ekipteki Görevi	Mesleği
A	Ekip Lideri	Makine Mühendisi
B	Üye	Makine Mühendisi
C	Üye	Makine Mühendisi
D	Üye	Makine Mühendisi
Elvan SARI	Üye	Enerji Sistemleri Mühendisi

FMEA ekibi 8 hafta boyunca her cumartesi günü (19:00 – 21:00) online olarak görüşmeler sağlanmıştır.

Ekip olarak çalışmaya başlamadan önce çevrimiçi olarak FMEA ile ilgili olarak Elvan SARI tarafından eğitime alınmış, tasarım FMEA nasıl uygulanacağı hakkında 4 saat bir toplantı gerçekleştirilmiştir.

7.5. FMEA ÇALIŞMASI

Tasarım FMEA çalışması şu şekilde belirlenmiştir. Saddle Tee her polietilen boru için farklı çaplarda kullanıldığından montaj esnasında oluşacak hataları görmek için EU uygun çalışma yöntemi Tasarım FMEA olduğu tespit edilmiştir.

Çalışmaya ilk olarak Saddle Tee montajı için kullanılan tüm parçaların ve bu parçaların fonksiyonlarının belirlenmesi ile başlanılmıştır. Bu Saddle Tee için kullanılan parçalar ve fonksiyonları Çizelge.7.2.'de gösterilmiştir.

Çizelge.7.2. Saddle Tee için kullanılan parçalar ve fonksiyonları

Parça Adı	No	Özelliği	Fonksiyonu
Saddle Tee Kapağı	1	Aşınmalara karşı termoplastik malzemeden olmalı	Kaçığı önlemek
			Muhafaza etmek
			Yabancı cisim düşmesini engellemek
Döner Başlık	2	İşlevsel olmalı	360° dönme kolaylığı
Kaynak Soketi	3	Korozyona karşı paslanmaz iletken olmalı	Saddle Tee kaynak yapma
Kıskaç Vidası	4	Korozyona karşı paslanmaz malzemeden olmalı	Kıskaçı sabitlemek
Kıskaç	5	Aşınmalara karşı termoplastik malzemeden olmalı	Saddle Tee sabitlemek
Delme Bıçağı	6	Korozyona karşı paslanmaz malzemeden olmalı	Gaz geçişini sağlamak

Saddle Tee tasarımı için kullanılan tüm malzemeler ve fonksiyonunun listelenmesinden sonra bu fonksiyonlara ilişkin ne tür hatalar ile karşılaşılacağı, karşılaşılacak hataların sebepleri, etkileri, kontrolleri ve hataları önlemek için faaliyetler konusunda beyin fırtınası yapılarak FMEA çizelgesi (Çizelge 7.3.) aşağıdaki gibi oluşturulmuştur.

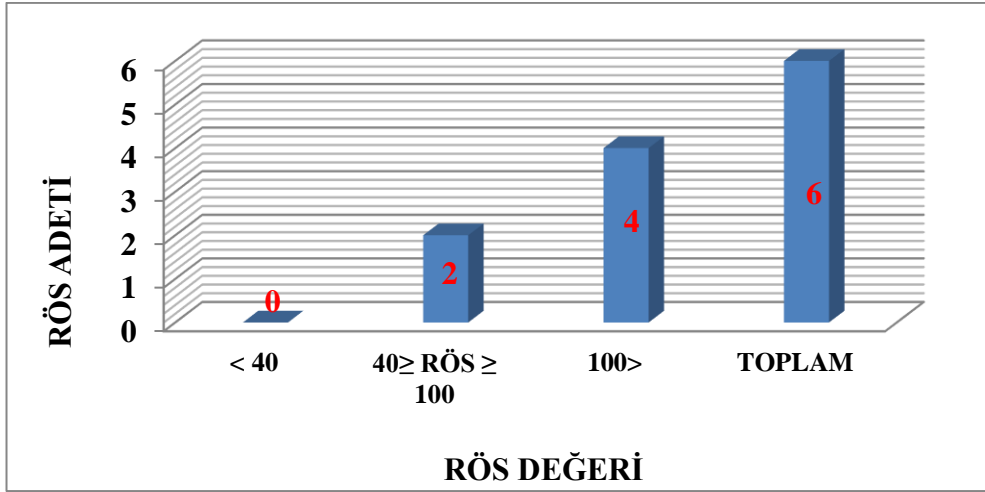
Çizelge 7.3. FMEA tablosu

<p style="text-align: center;">HATA TÜRÜ ve ETKİLERİ ANALİZİ TASARIM FMEA</p> <p>..... Sistem : Saddle Tee Tasarım Sorumluluğu : Yatırım Dep. FMEA Tarihi : 13.10.2021</p> <p>..... Sistem: Hedef Tarihi : 01.07.2021 Hazırlayan : Yatırım Sor.</p> <p>..... Parça : Sayfa : 2</p> <p>Anahtar Takım : A, B, C, D, E. SARI</p>											
RİSK NO	BÖLÜM	TASARIM FONKSİYONU	POTANSİYEL HATA TÜRÜ	HATANIN POTANSİYEL ETKİSİ	ŞİDDET (1-10)	HATANIN POTANSİYEL SEBEBİ	OLASILIK (1-10)	TESPİT YÖNTEMİ	FARKEDİLEBİLİRLİK (1-10)	RÖS	ÖNERİLEN FAALİYET
1	DOĞALGAZ	Bıçak	Bıçağın keskin olmayışı	Gaz Sızıntısı	5	Girdi kontrolü'nün yada tedarikçi kontrolünün yapılmaması	2	Test raporlarının istenmesi	6	60	Test raporlarını firmalardan temin etmek ve yeni tasarımlar üzerinde çalışmalar

2	DOĞALGAZ	Bıçak	Düzgün bıçak overlağının olmaması	Gaz Sızıntısı	5	Personelin dikkatsiz çalışması	2	Saha personelinin göz kontrolü	6	60	Test raporlarını firmalardan temin etmek ve yeni tasarımlar üzerinde çalışmalar
3	DOĞALGAZ	Vida	Diş Sıyırma	Gaz Sızıntısı	5	Personelin dikkatsiz çalışması	2	Saha personelinin göz kontrolü	9	90	Montaj personeline eğitim verilmesi ve yeni tasarımlar üzerinde çalışmalar
4	DOĞALGAZ	Yükseklik	Kopma	Gaz Sızıntısı	5	Personelin dikkatsiz çalışması	3	Saha personelinin göz kontrolü	8	120	Üretim yapan firmaların bilgilendirilmesi ve yeni tasarımlar üzerinde çalışmaların yapılması
5	DOĞALGAZ	Uzunluk	Kırılma	Gaz Sızıntısı	9	Girdi kontrolü'nün yada tedarikçi kontrolünün yapılmaması	2	Kaçak arama sonucu	9	162	Üretim yapan firmaların bilgilendirilmesi ve yeni tasarımlar üzerinde çalışmaların yapılması
6	DOĞALGAZ	Kıskaç	Kırılma	Saddle Tee Çalışmaz	2	Personelin dikkatsiz çalışması	5	Saha personelinin göz kontrolü	10	100	Üretim yapan firmaların bilgilendirilmesi ve yeni tasarımlar üzerinde çalışmaların yapılması

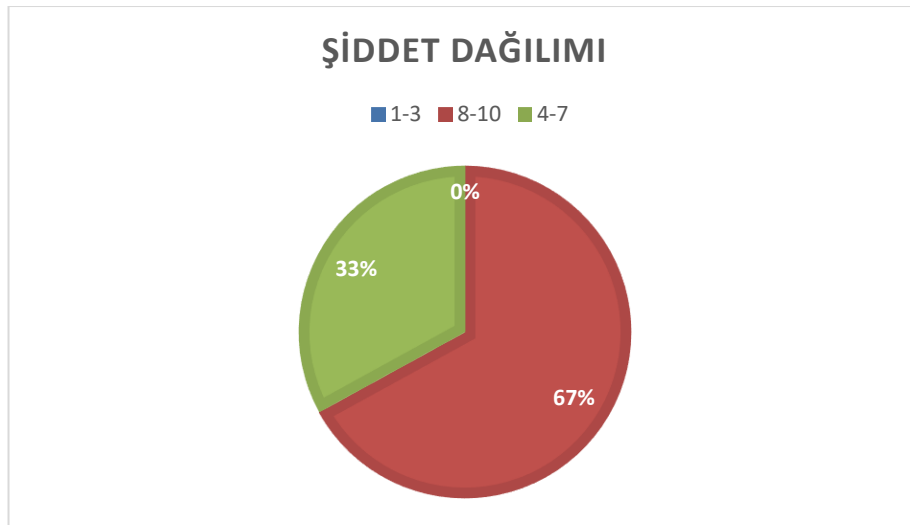
7.6. BULGULAR

Gerçekleştirilmek istenilen Tasarım FMEA sonucu ilk öncelik dereceleri hesaplanmış ve dağılımı Şekil 7.4. te verilmiştir. Görüldüğü gibi toplamda 6 adet hata tespiti gözlemlenmiştir. Bu hatalardan 2 adet potansiyel hatanın mutlaka önlem alınması gerekmekte diğer hataların 4 tanesinde ise önlem alınmasında fayda var.



Şekil 7.4. RÖS dağılımı

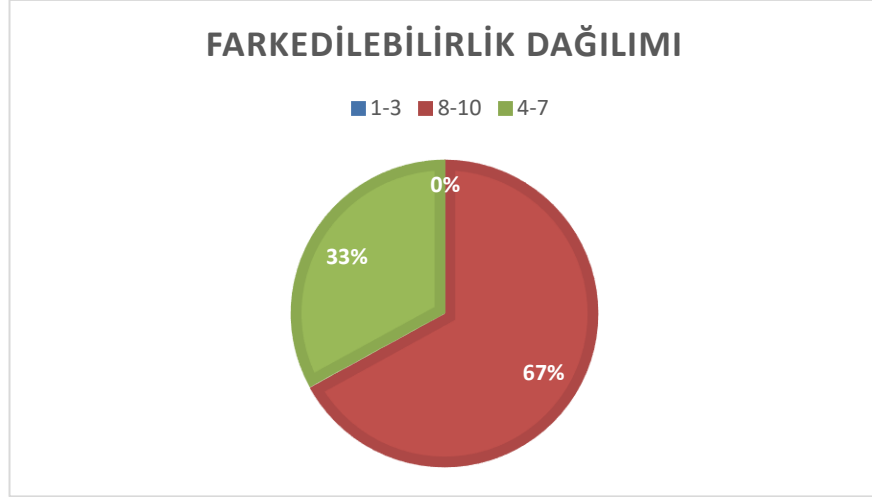
RÖS sonuçlarına göre potansiyel hata türlerinin birleşenlerinin dağılımları da aşağıdaki gibi gösterilmiştir. Şekil 7.5. Şiddet dağılımı, Şekil 7.6. Oluşma dağılımı ve Şekil 7.7. Farkedilebilirlik dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 7.5. Şiddet dağılımı

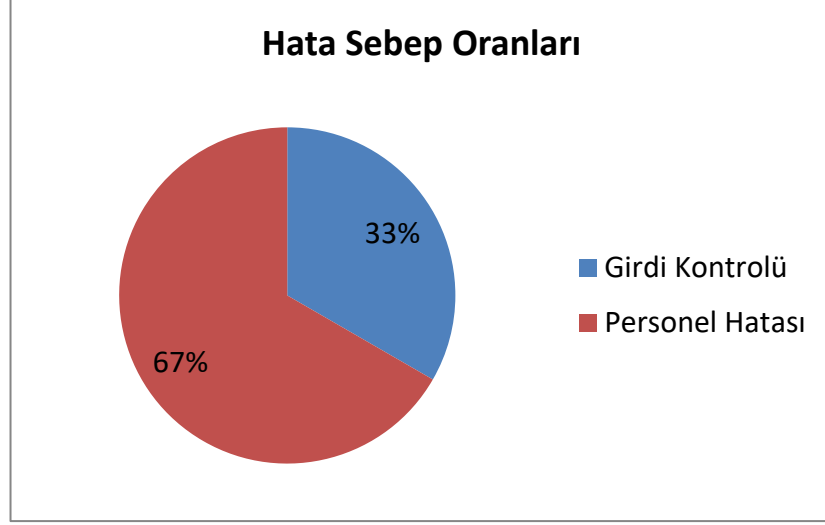


Şekil 7.6. Oluşma dağılımı



Şekil 7.7. Farkedilebilirlik dağılımı

Hata sebeplerinin oransal dağılımı Şekil 7.8.'de verilmiştir. En yüksek orana bakılacak olursa ilk olarak personel hatalarından meydana geldiği görülmektedir. Böylece personellerin eğitime önem verilmesi gerektiğini öne çıkarmaktadır.



Şekil 7.8. Hata sebeplerinin oransal dağılımı

Toplam 6 adet hata tespitinden 4 tanesinin personel hatasından kaynaklanması montaj sırasında saha personelinin göz kontrolü ile önleneceğinden FMEA ekibi buradaki personeller tarafından yapılan kontrollerin daha etkin hale getirilmesi için imalat talimatlarının ve imalat tamamlandıktan sonra bir kontrol formu ile kontrollerin sağlanması hataların bir nebze düşeceği görüşü kanaatine varıldı. Hazırlanan imalat kontrol formu Çizelge 7.4. da gösterilmiştir.

Yapılan imalat talimatında imalat sırasında nasıl bir yol izleneceği ve kontrollerin nasıl uygulanacağı belirtilmiştir. Kontrol için uygulanacak imalat kontrol formunu montaj yapan personel değil de saha kontrol personelinin yapması önerildi.

Önlemlerden sonra tüm RÖS'ler de düşüş olması için; montaj personeline Saddle Tee bağlantısı ve elektrofüzyon kaynağı ile ilgili eğitimlerin verilmesi gerekir. Böylece hem hataların tespit edilme oranında hem de oluşma olasılığının oranlarında iyileşme sağlanarak daha güvenli imalatlar sunulmuş olacaktır.

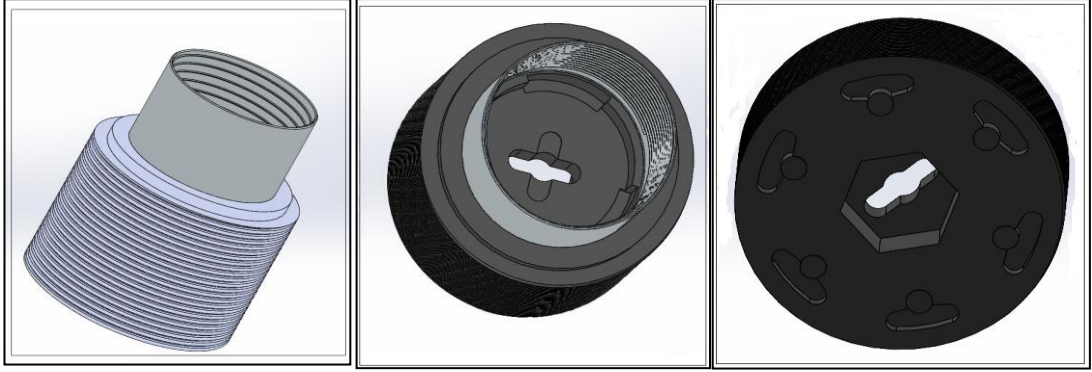
Çizelge 7.4. İmalat kontrol formu

A Firması	İMALAT KONTROL FORMU		Tarih	
A Firması	SADDLE TEE		Form No	
NO	KONTROL EDİLECEK NOKTALAR	KONTROL SONUCU		
		EVET	HAYIR	
1	Saddle Tee üst kapağının olup olmadığı?			
2	Saddle Tee döner başlığı sağlam mı?			
3	Saddle Tee kaynak soketi sağlam mı?			
4	Saddle Tee alt bağlantı kıskaç vidasının bulunup bulunmadığı?			
5	Saddle Tee alt bağlantı kıskaç olup olmadığı?			
6	Saddle Tee delme bıçağı sağlam mı?			
7	Saddle Tee delme bıçağı vida yatağı sağlam mı?			
KONTROL EDEN		ONAYLAYAN		
Adı SOYADI		Adı SOYADI		
İMZA		İMZA		

7.6.1. Analiz Sonuçları

Tasarım FMEA uygulama sonucunda yeni tasarımlar modellerine örnek önerilerde bulunarak;

1. Saddle Tee bıçak kısımlarının iç tarafında bulunan boşluklu kısımda yer alan burgulu şekilde gözükken akım yolunun kesitlerinin hesaplanması sonucunda büyük ya da küçük çaplı akım yolları tercih edilmesi sağlanarak, bu şekilde boruların kesilen kısmı bıçakta bulunan boşluğa akım yolu ile doğru bir şekilde daha kolaylıkla ilerlemesi sağlanabilir (Şekil 7.9.).

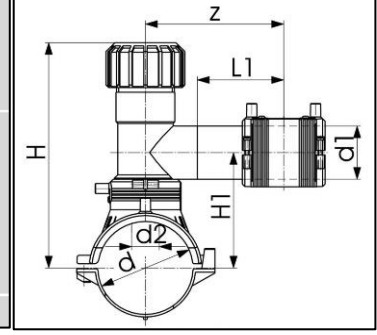


Şekil 7.9. Bıçak tasarım modeli

Çizimler CAD programı olarak Solidworks 2021 kullanılarak yapılmıştır. Çizimin ebatları da pipestock.com (Tapping Saddle Kit - 16 Bar) sitesinde bulunan ELGEF markalı ürünün ebatlarına göre çizilmiştir. Bu ebatlar aşağıdaki çizelgede gösterilmiştir.

Çizelge 7.5. ElGEF marka ürün ebatları

Product Code	d (mm)	d1 (mm)	d2 (mm)	H (mm)	H1 (mm)	L (mm)	L1 (mm)	z (mm)	Weight (kg)
402399	63	20	32	186	108	165	76	130	0.754
402400	63	25	32	186	108	165	76	130	0.761
402401	63	32	32	186	108	165	76	130	0.773
402402	63	40	32	186	108	165	76	130	0.798
402403	63	50	32	234	112	165	100	160	1.619
402404	63	63	32	234	112	165	100	160	1.623
402405	75	20	32	191	113	165	76	130	0.879
402406	75	25	32	191	113	165	76	130	0.900
402425	125	32	32	216	138	165	76	130	0.955
402426	125	40	32	216	138	165	76	130	0.964
402427	125	50	35	256	143	165	100	160	1.374
402428	125	63	35	256	143	165	100	160	1.161
402429	140	20	32	234	146	165	76	130	0.941
402413	90	32	32	199	121	165	76	130	0.857



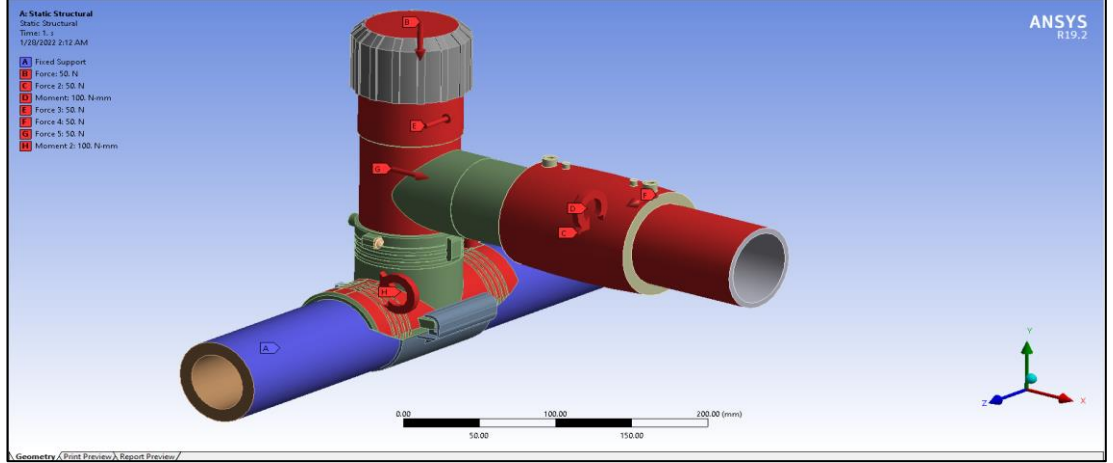
Şekil 7.10. Farklı modellerde çizilmiş saddle tee

Sonlu elemanlar (FE) yöntemine dayanarak yapısal statik analiz ANSYS 19.2 kullanarak gerçekleştirilmiştir.

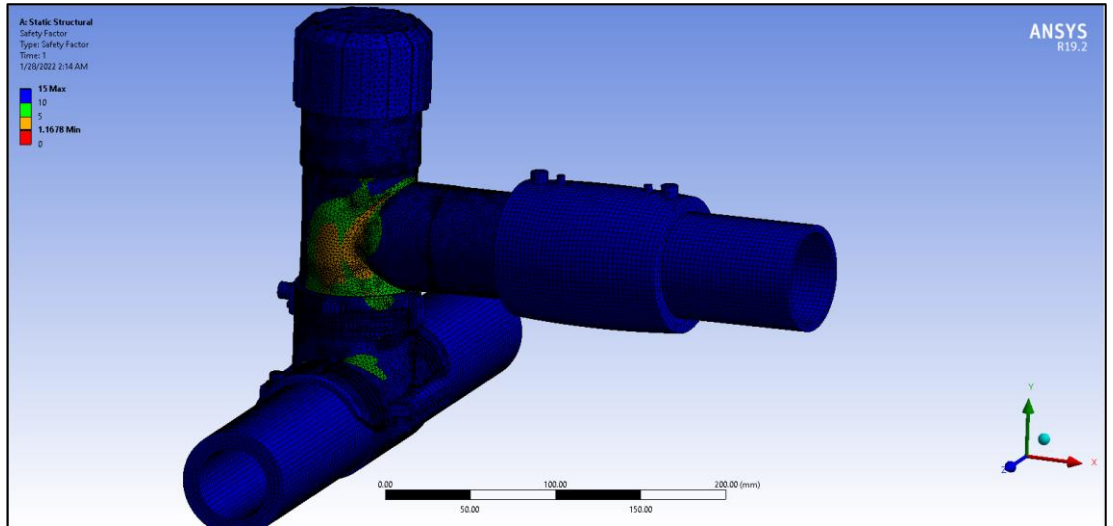
Statik Analiz: Tasarımın kararlı yük yükleme koşullarına dayanıklılığını analiz eder.

Kaliteli bir analiz sonucunu elde etmek için nesne boyutu olabildiğince küçük yani eleman sayısı olabildiğince fazla olmalıdır. Hem kaliteli bir sonuç elde etmeyi hem de bilgisayar özellikleri göz önüne alarak 3 mm olarak verilmiştir.

UYGULAMA 1: Resimdeki görüldüğü gibi Ø63X63 Saddle Tee'ye farklı yönlerde yükler ve moment uygulanmıştır. Uygulanan statik analiz verilerine göre 50 kg yük ile 100 Nmm moment uygulanmıştır.



Şekil 7.11. Ø63X63 Saddle Tee'ye farklı yönlerde uygulanan yükler ve momentler



Şekil 7.12. Ø63X63 Saddle Tee'de emniyet katsayısı

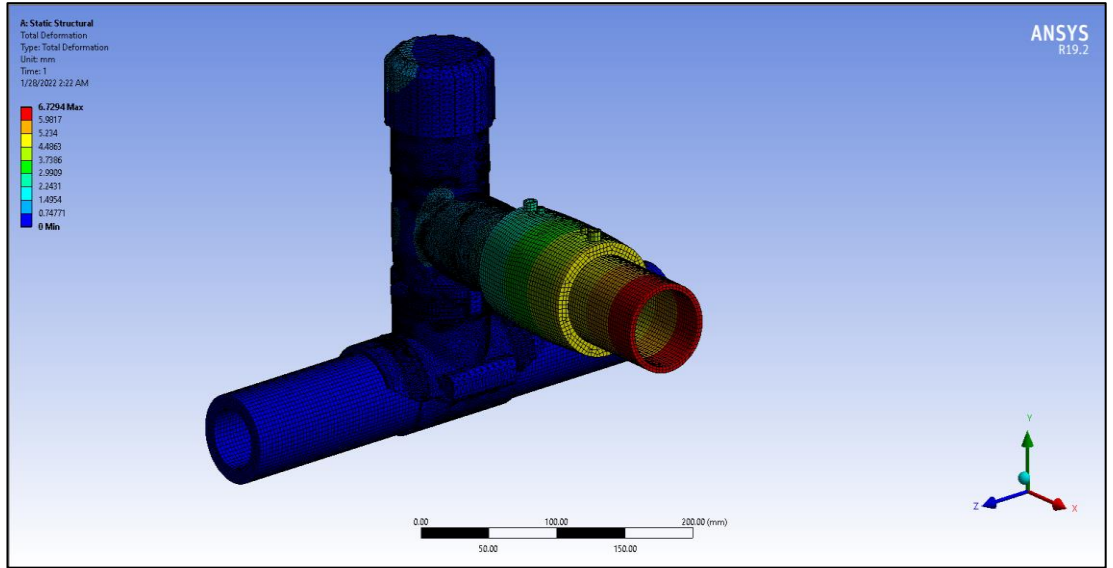
Kritik bölge kırmızı ile boyanan bölgedir. Mavi ile boyanan bölgeler en az etki gören bölgelerdir. Uygulanan yüklerde bu bölgede emniyet katsayısı birin altında olduğunu görebilmekteyiz. Polietilenin ANSYS programındaki akma gerilmesi 25 Mpa'dır.

Analiz sonucunda elde edilen eşdeğer gerilme 21,409 Mpa olduğu için emniyet katsayısı 1,1678 olarak bulunmuştur.

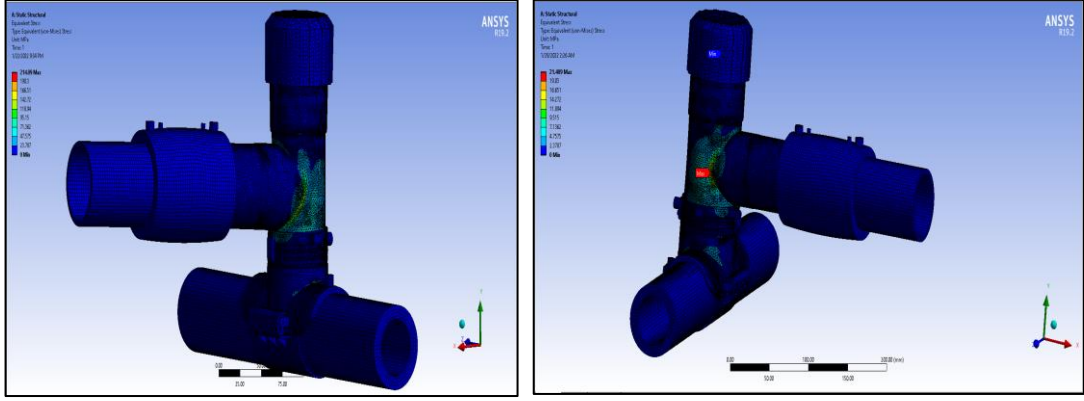
$$emniyet\ katsayısı = \frac{akma\ gerilmesi}{maksimum\ eş\ değer\ gerilme} = \frac{25\ Mpa}{21,409\ Mpa} = 1,1678$$

Bu sonuçlarda bize bu tasarım esnasında uygulanan yükleri emniyetli bir şekilde kaldırabileceğini göstermiştir.

ANSYS programında total deformasyon için yapılan analizin sonucu 6,7294 mm olarak elde edilmiştir. Kırmızı ile gösterilen bölge en fazla uzayan yani deforme edilen bölgedir. Mavi ile gösterilen bölgeler çok az deformasyona uğrayan bölgelerdir. Mavi bölgelerdeki deformasyon şeklin sol üst kısmındaki skaladan görebildiğimiz gibi 0 ile 0,74771 mm arasında deformasyon olduğunu diyebiliriz.



Şekil 7.13. Ø63X63 Saddle Tee’de total deformasyon

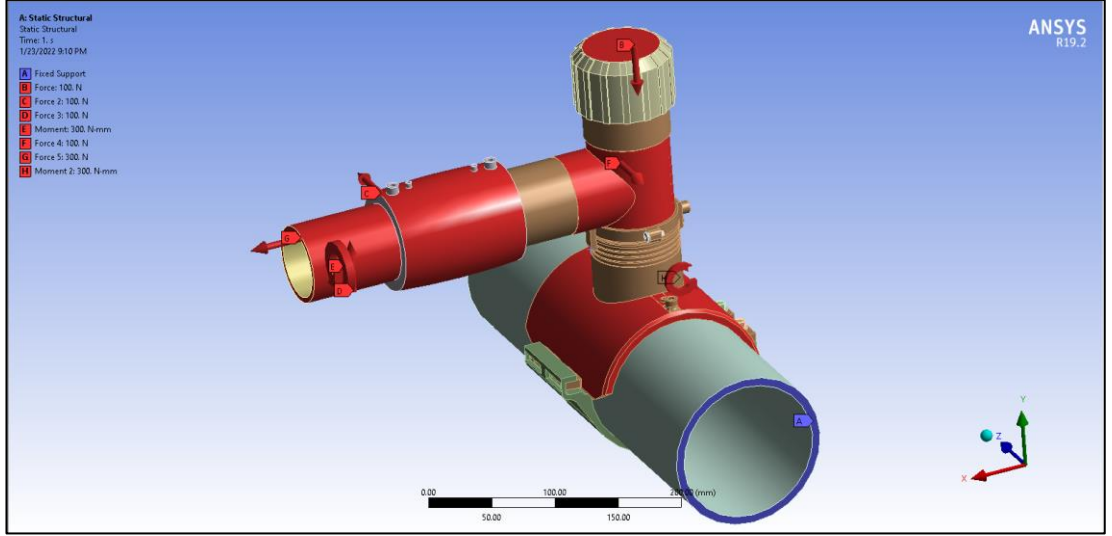


Şekil 7.14. Ø63X63 Saddle Tee’de Max. ve Min. bölgeler

Uyguladığımız yüklerden dolayı meydana gelen eş değer gerilme 21,409 Mpa olarak elde edilmiştir. Bu bölgeler kırmızı yakın bir renk ile gösterilmiştir. En az gerilmeye uğrayan bölgeler ise gök kuşağı formundaki renk dağılımında koyu mavi ile boyanan bölgelerdir. Bu bölgelerdeki gerilme 0 ile 2,3787 Mpa arasındadır. Böylece minimum gerilmeye uğrayan noktaların görülmesi sağlanmıştır.

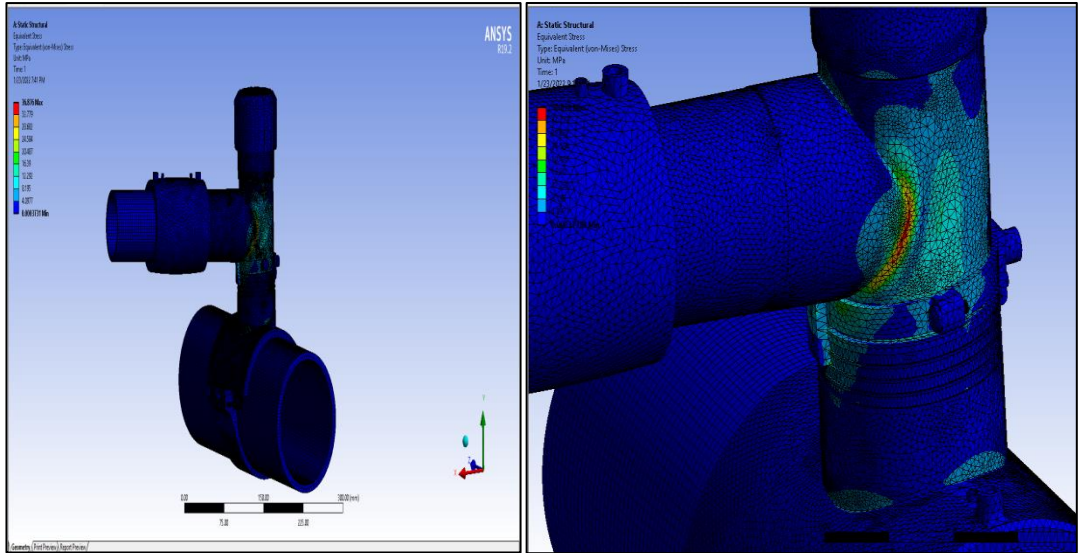
Elde edilen sonuçlardan uygulanan yükü değiştirdiğimizde aradaki farkı görmek açısından yükü 50 N’den 100 N’a artırdığımızda malzeme aynı olduğu için yük artırıldığı dolay emniyet katsayısında düşme, total deformasyon ve eş değer gerilmede ise artma gözlenmiştir.

UYGULAMA 2: Ø125X63 Model Saddle Tee farklı yönlerde yükler ve moment uygulanmıştır. Aynı analiz yöntemi ile uygulanan statik analiz verilerine göre 10 kg (100 N) yük ile 300 Nmm moment uygulanmıştır. Sabitlenen kısım lacivert ile gösterilen borunun her iki ucudur.



Şekil 7.15. Ø125X63 Saddle Tee'ye farklı yönlerde uygulanan yükler ve momentler

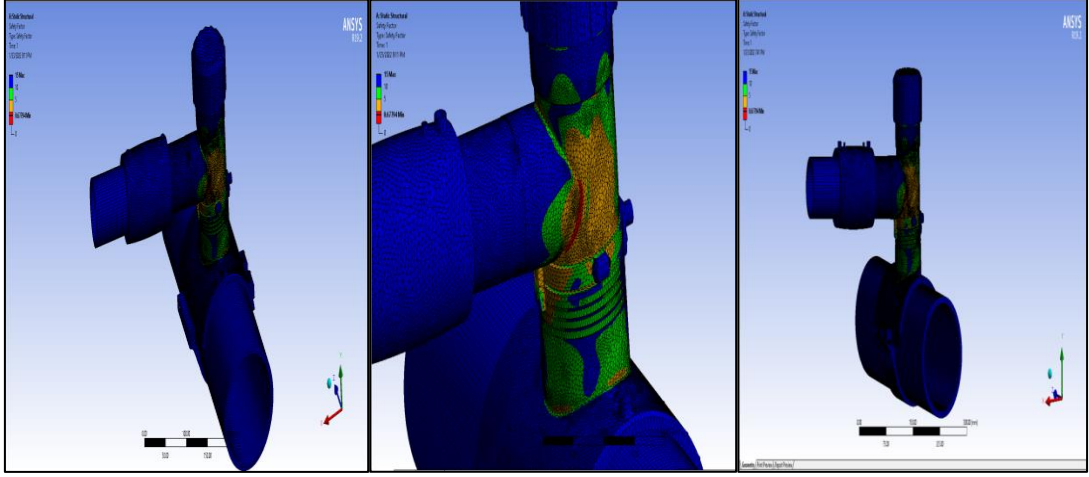
Uyguladığımız yüklerden dolayı meydana gelen eş değer gerilme (maksimum gerilme) 36,876 Mpa olarak elde edilmiştir. En az gerilmeye uğrayan bölgeler gök kuşağı formundaki renk dağılımında kuyu mavi ile boyanan bölgelerdir. Bu bölgelerdeki gerilme 0 Mpa'nın üstündedir.



Şekil 7.16. Ø125X63 Saddle Tee'de gerilmeye uğrayan bölgeler

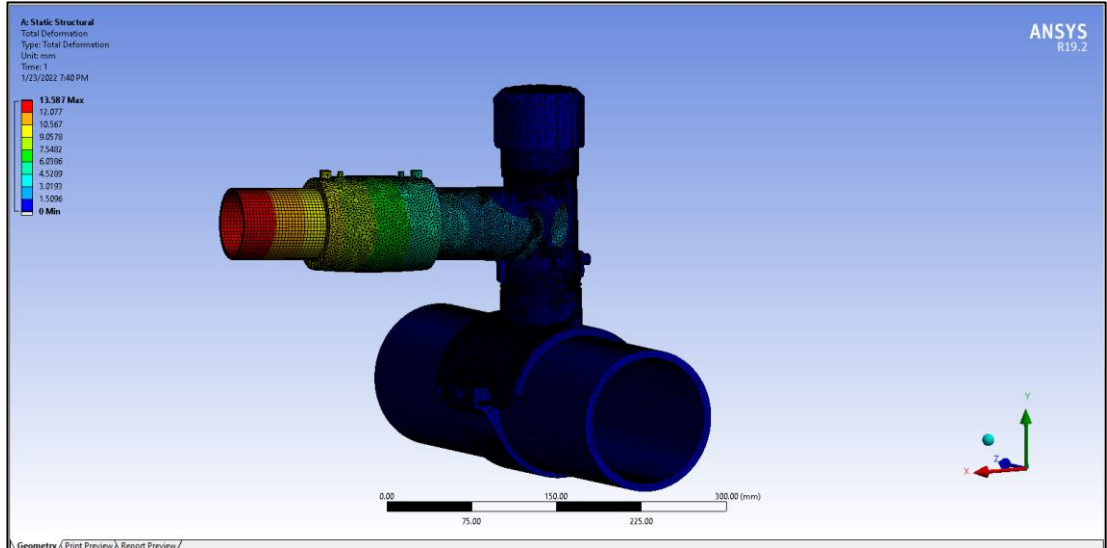
$$emniyet\ katsayısı = \frac{akma\ gerilmesi}{maksimum\ eş\ değer\ gerilme} = \frac{25\ Mpa}{36,876\ Mpa} = 0,67794$$

Uygulanan kuvvetler onun da elde edilen emniyet katsayısı 0,67794 dir. Renklerde görüldüğü gibi kırmızı bölgeler kritik olan bölgelerdir ve emniyet katsayısı bu bölgede ve birin altında olduğunu yani bu bölgelerin emniyetli olmadığını göstermektedir.



Şekil 7.17. Ø125X63 Saddle Tee’de emniyet katsayısı

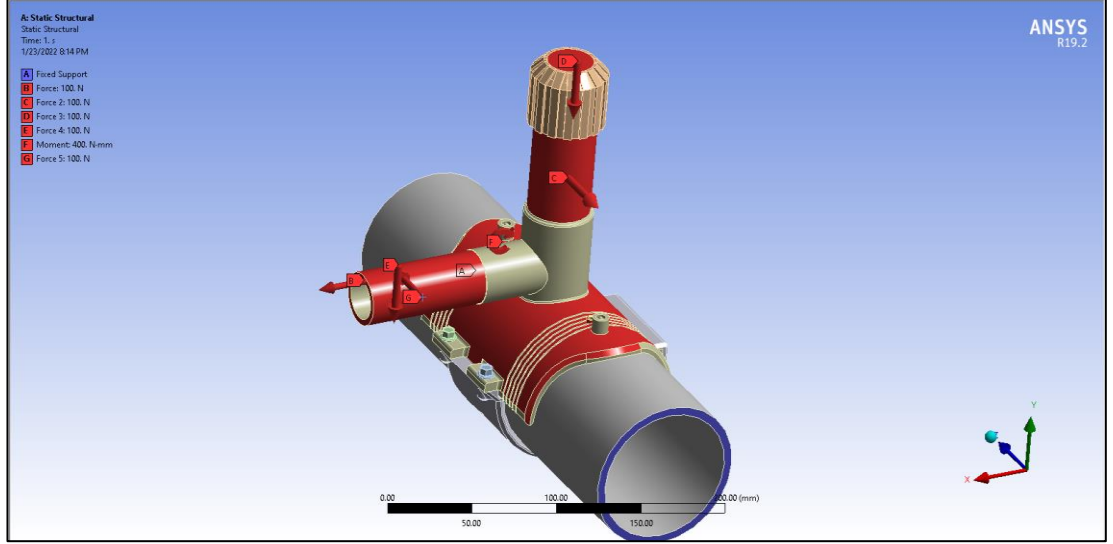
Total deformasyon ise 13.587 mm olarak elde edilmiştir. Kırmızı ile gösterilen bölge en fazla uzayan yani deforme edilen bölgedir. Mavi ile gösterilen bölgeler en az deformasyona uğrayan bölgeler olarak göze çarpmaktadır.



Şekil 7.18. Ø125X63 Saddle Tee’de total deformasyon

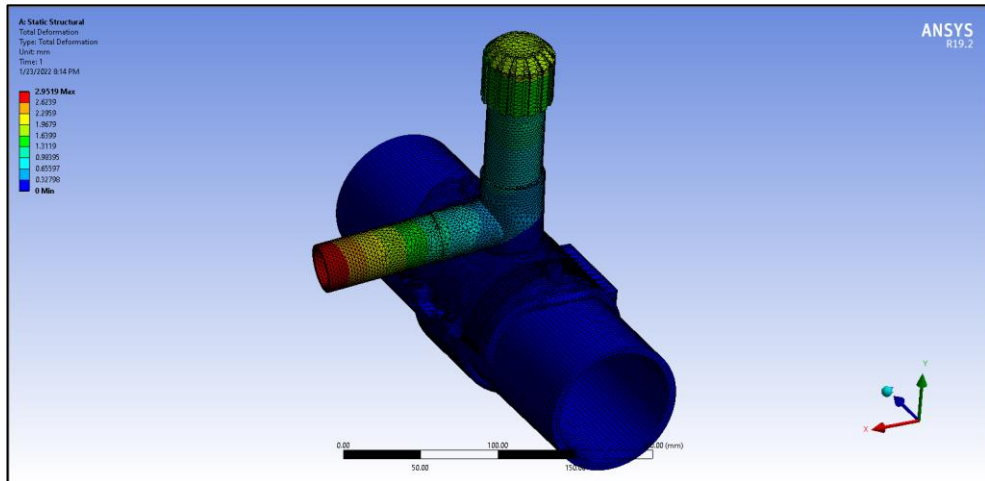
UYGULAMA 3: Bu analizimiz ise bir Ø90X32 Servis Saddle Tee analizidir. Branşman hatlarında kullanılan Saddle Tee ile servis hatlarında kullanılan Saddle

Tee'ler arasındaki farkları ortaya koymak için yapılmıştır. Böylece Kırmızı ile taranan bölgelerde farklı yönlerden tekrar yükler ve momentler uygulanmıştır. Lacivert ile taranan bölge ise sabitlenen bölgedir. Burada 10 kg yük ile 400 N.mm moment uygulanmıştır.



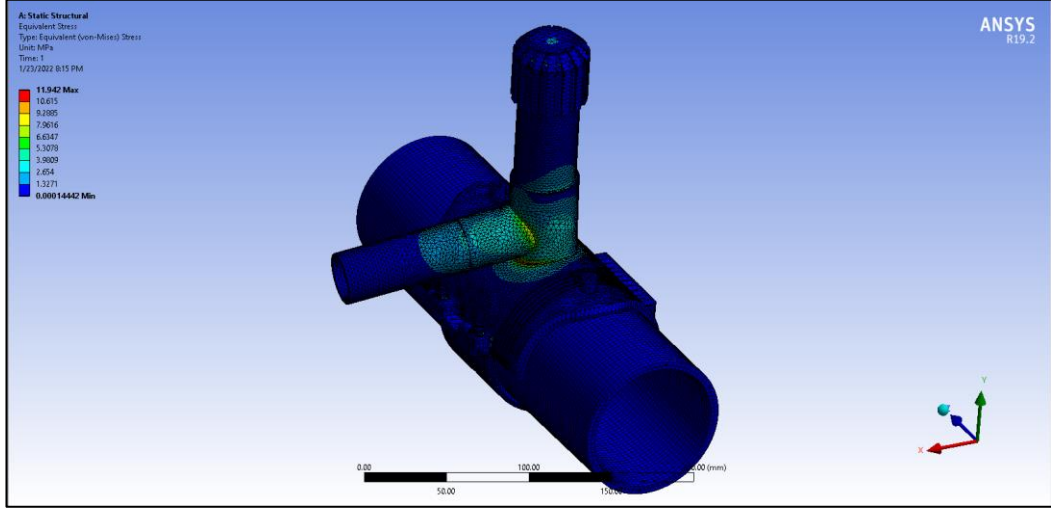
Şekil 7.19. Ø90X32 Saddle Tee'ye farklı yönlerde uygulanan yükler ve momentler

Branşman için kullanılan Saddle Tee'lerin analiz sonuçlarında görüldüğü gibi burada da total deformasyon (şekil değişimi) en fazla olduğu bölge Ø32 mm PE boru bağlantı noktası ile Saddle Tee çıkışının uc bölgesinde gözükmemektedir. Bu tasarım diğer branşman Saddle Tee tasarımlarla karşılaştırdığımızda farklı olarak kabak kısmı da deformasyona uğradığını görebiliriz.



Şekil 7.20. Ø90X32 Saddle Tee'de total deformasyon

Maksimum eş değer gerilme kırmızı ile gösterilen ve renk skalasında ise 10.615 ile 11.942 Mpa arasında belirtilen bölgede yer almaktadır. Mavi bölgeler ise 0 Mpa gerilme civarında olduğu bölgelerdir.



Şekil 7.21. Ø90X32 Saddle Tee’de eş değer gerilme

Emniyet kat sayısı birin üstünde yani tasarımın uygulanan yüklere göre emniyetli olduğunu söyleyebiliriz.

$$emniyet\ katsayısı = \frac{akma\ gerilmesi}{maksimum\ eş\ değer\ gerilme} = \frac{25\ Mpa}{11,942\ Mpa} = 2,0934$$

Bütün tasarımlarda elde edilen sonuçların ortak noktası. Çıkış kısmı (yatay boru) ile döner başlığın (Saddle Tee’nin dikey kısmı) bağlandığı bölge en kritik olan bölgedir. Polietilenin dayandığı gerilmenin üstüne bir gerilmeye çıkıldığında kopmanın gerçekleşeceği bölgeler olarak gözükmemektedir.

BÖLÜM 8

SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, doğalgaz dağıtımında kullanılan polietilen boru bağlantı parçalarından Semer T çalışılmıştır. Bu bağlantı parçalarından kaynaklı gaz dağıtım hatlarında kontrolsüz gaz çıkışları meydana gelebilmektedir. Bu parçalar, PE malzemeden yapılan boru hatlarına elektrofüzyon kaynağı ile bağlanmaktadır. Gaz kaçağı kontrolü yapıp güvenilir şekilde üzeri kapatılmasına rağmen serviste kaldığı süre içerisinde sıcaklık farkı, zemin oturması ve insan faktörü gibi çeşitli sebeplerle kontrolsüz gaz çıkışlarına sebep olduğu tespit edilmiştir. Gaz kaçaklarının ise çevre kirliliğine, işletmeler açısından maddi ve manevi kayıplara sebep olduğu tespit edilmiştir.

Bu çalışma ile semer T parçalarının olduğu bölgelerde meydana gelen gaz sızıntılarının sebeplerinin belirlenmiş ve yeni tasarlanacak bağlantı parçalarının tasarımında/imalatında hangi kriterlere dikkat edilmesi gerektiği ile ilgili öneriler verilmiştir. Yöntem olarak hata türü ve etkileri analizi tercih edilmiştir. FMEA'nın uygulanması çok eski tecrübeler, ürünler hakkında teknik bilgilere, malzemelerin kullanımından geri bildirimler elde edilebildiği için hem teknik hem de pratik bilgileri aynı anda kullanma imkânı sağlamıştır. Özellikle FMEA'nın türlerinden olan tasarım aşamasında uygulanan Tasarım FMEA, benzer malzemelerde önceden meydana gelmiş hataların bilinmesinden dolayı önlem almayı ve yeni malzeme tasarımların da ne tür hataların oluşacağı üzerinde durularak gerekli tedbirlerin alınmasını sağlaması açısından da önemli olduğunu tespit edilmiştir.

Tez çalışması kapsamında görüştüğümüz üretim yapan 4 adet firmanın tasarım FMEA sistemini kullanmadıkları tespit edilmiştir. Tasarımları ve üretimleri yapılan bağlantı parçalarını genel olarak benchmarking yöntemiyle geliştirdikleri tespit edilmiştir. Bu çalışmaya katılan firmalar, malzemelerin tasarımında oluşacak hataların incelenmesi, gerekli tedbirlerin alınması, genellikle Avrupa Birliği ülkelere yapılacak olan

ihracatlar da malzeme güvenilirliğini sağlayarak, imalat yapan firmaların herhangi bir şekilde malzeme sorumluluğundan oluşabilecek zararların önüne geçilebileceğini görmüşlerdir.

Yapmış olduğumuz bu çalışmada sonuçlandırdığımız Tasarım FMEA uygulamasında şirketlerde eskiden beri gelen hata türleri, hatanın etkileri ve hatanın nedenleri incelenerek şirketlerin yaşamış olduğu problemleri yine karşılaşılmaması için kolay, gideri düşük olan tedbirler sunulmuştur. Böylece tedbirlerin uygulanması şirketlere büyük yük getirmeyeceği gibi olumlu sonuçların meydana geleceği görülmüştür.

Tasarım FMEA uygulaması sonucuna göre personel hatalarından kaynaklanan hatalara bakıldığında neredeyse hepsi eğitimsiz personel kaynaklı olduğu tespit edilmiştir. Bu sebeple imalat gerçekleşmeden önce MYK belgesi eğitimlerine önem verilmesi önerilmiştir. Hataların önlenmesi için Saddle Tee montaj ve kaynak işlemleri için “İmalat Kontrol Formu” geliştirilmiş hem imalatçı firmalar hem de gaz dağıtım firmalarına öneri olarak sunulmuştur. Saddle Tee de bıçak kısımlarının daha keskin olmasının ve et kalınlığının artırılması ile kesim hatalarının engellenebileceği sonucuna varılmıştır.

Saddle Tee için ANSYS 19.2 programı ile yapmış olduğumuz yapısal statik ANSYS analizleri sonucunda deformasyona ve kırılma eğilimine sebep olmayan malzemelerin tercih edilmesinin ve emniyet katsayısının büyütülmesinin meydana gelecek kaynak hataları ve yüklemelerde oluşacak hasarları önleyeceği gösterilmiştir.

Saddle Tee gibi bağlantı parçalarında işletme sırasında sızıntı problemleri yaşanmaması için tasarım ve üretim süreçlerinde kaynak bölgesi ve rezistans sarım sayısı artırılmalıdır.

Kaynak öncesi montaj sırasında kullanılan bağlantı parçaları belirlenen tork değerlerine göre tork anahtarı ile sıkılmalıdır. Ayrıca bu bağlantı parçaları korozyona karşı dirençli olmalıdır. Ya da korozyon oluşmaması için boya ve kaplama ile izole edilmelidir.

Gelecek alışmalar için tavsiyeler;

Boru ile Saddle Tee arası iki malzemeyi birbirine bağlayan kaynak alanının artırılması için boru yüzeyine oturan taban alanı genişletilmesi ve rezistans sarım sayısının artırılması kapsamında optimizasyon yapılması tavsiye edilmektedir.

Montaj esnasında Saddle Tee vidalarının gevşek kalmaması için tek bir noktadan sıkılmaları sağlanmalı ve eşit kuvvetle sıkılması için de tork anahtarı geliştirilmelidir. Sıkma değerleri yapılan deneyler sonucunda tespit edilmelidir. Üreticiler geliştirilecek tork anahtarlarını bağlantı parçaları ile servis yapmalıdır. Gaz dağıtım firması kaynak operatörü de montaj sırasında mutlaka tork anahtarını kullanmalı ve deneysel olarak tespit edilecek kuvvet değerleri ile sıkmalıdır.

KAYNAKLAR

1. Tdw, D., "Polyethylene Pipe Service System Including Quick Connect Means For Polyethylene Pipe Tapping, Plugging And Completion Operations", Mar. 9, *Ser. No. 16/812 – 953*, CI. 37 - 256), (2020).
2. Ronald, S., Montgomery, "Tapping Saddle", Sep. 20, *Ser. No. 778 – 362, 2 Claims. CI.* (137 - 315), (1985).
3. Howard, T., De Grafenreid, Inola, Judson, C., "Removable Seal Plug For Closing The Upper End Of Self-Punching T Fittings", Apr. 9, *Ser. No. 814 – 641, 16 Claims. CI.* (77 - 42), (1969).
4. Paul, G., "Pipe Saddle Assembly", July 27, *Ser. No. 275 – 481, 4 Claims. CI.* (137 - 315), (1972).
5. Odet, K., Menashe, D. N., "Tapping Fittings", Jan. 19, *Ser. No. 375 – 091, 20 Claims. CI.* (137 - 318), Israel, (1995).
6. UGETAM Genel Müdürlüğü, "Doğalgaz Polietilen Boru Kaynakçısı", *Ugetam Yayinlari 43*, ISBN: 978-605-4706-17-4, (2011).
7. N. Engin, "Enerji Kaynağı Olarak Doğalgaz ve Türkiye", *Marmara Coğrafya Dergisi*, c. 0, sayı. 22, ss. 233-244, (2013).
8. Tuzun, H., "Doğalgaz Enerjisi Tercih Nedenleri: Batman İli Üzerine Bir Uygulama", Yüksek Lisans Tezi, *Batman Üniversitesi Sosyal Bilim Enstitüsü*, Batman, 2-24 (2020).
9. İnternet: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, "Doğalgaz", Doğal Gaz - T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, <https://www.enerji.gov.tr/>, 2021.

10. İnternet: Enerji Atlası, “Ülkelere Göre Dünya Doğalgaz Rezervi”, Ülkelere Göre Dünya Doğal Gaz Rezervi, <https://www.enerjiatlası.com/>, 2021.
11. Özarpa, C., “Termoplastik Doğal Gaz Borularının Elektrofüzyon Kaynağı ve Kaynak Parametrelerinin Kaliteye Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, (1998).
12. Kınacı, B.F., “Endüstriyel Tesislerde Doğal Gaz Çelik Boru Kaynak Uygulamaları ve Kaynaklı Bağlantıların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, **Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Yüksek Lisans Tezi)**, 99s, Sivas, 2019.
13. Elhan, M.S., Özarpa, C., “Canlı Çelik Boru Hatlarında Hot-Tap Fitting Kaynakçı Belgelendirmesi”, **Kaynak Teknolojisi VIII. Ulusal Kongre ve Sergisi**, 2011.
14. Özarpa, C., Elhan, M.S., “Risk in The Hot-Tap Operation”, **WGC Paris**, 2015.
15. Duman, Ş., “Püskürtmeli Kurutma Tekniği İle ZnO-PVA Kompozit Tozların Hazırlanması ve Bu Tozların Yüksek Sıcaklık Davranışlarının Etüdü”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 15-17(2009).
16. Milli Eğitim Bakanlığı, “Doğalgaz Bina Bağlantı Hattı”, **MEGEP**, Ankara, (2014).
17. Akkurt, A., Saraç, E., “The Research for Reliabilities of PE Natural Gas Transferring Lines Joining with Butt Fusion Welding in Different Temperatures”, **Pamukkale Univ Muh Bilim Dergisi**, 21(1): 15-23, (2015).
18. Najafigharehtapeh, A., “Çevre Sıcaklığı ve Kaynak Ön Tav Isıl İşlemlerinin Polietilen Doğalgaz Borularının Elektrofüzyon Kaynağına Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, **Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Karabük, 1-52 (2015).
19. Elhan, S. M., Özarpa, C., “Doğalgaz Boru Hatlarında Hot-Tap Fitting Kaynak ve Operasyon Risklerinin Azaltılması İçin Kaynakçı ve Operatör Eğitimi”, **Kaynak Kongresi IX. Ulusal Kongre ve Sergisi Bildirimler Kitabı**, İstanbul, 239-247 (2017).
20. Webber, C. H., Tucson, A., “Tapping and Cutoff Connection To Plastic Fluid Pressure Main”, **Application March 23, Serial No. 344-101, 3 Claims.** (Cl. 37-318), (1953).
21. John, J., S., Becatur, H., Assignor to Mueller Co., Decatur, III., A Corporation of Elinois, “Method an Apparatus for Connection A Service Pipe to A Man”, **Fied Dec. 23, Ser. No. 86-527, 21 Cairns.** (C. 137-15), (1959).

22. Tozan, E., "Polietilen Doğal Gaz Borularının Elektrofüzyon Yöntemi İle Birleştirilmesinin Isıl Analizinin Teorik ve Deneysel Olarak İncelenmesi", Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 10-13(2002).
23. Kahraman, H., "Doğalgaz Kombine Çevrimi Enerji Santralinde İş Sağlığı ve Güvenliği Uygulamaları Risk Değerlendirmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kırklareli, 19-21(2021).
24. Akkurt, A., Saraç, E., "Farklı Ortam Sıcaklıklarında Elektro Ergitme Kaynağı ile Birleştirilen PE Doğalgaz Transfer Hatlarının Güvenirliklerinin Araştırılması", *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi* Cilt: 9, No: 2, (2012).
25. Özarpa, C., Albayrak, A.F., "Polietilen Doğal Gaz Borularının Elektrofüzyon Kaynağı Ve Kaynak Parametrelerinin Kaliteye Etkisi", *TMMOB Makina Mühendisleri Odası - Doğal Gaz & Enerji Yönetimi Kongre Ve Sergisi*, 2001.
26. Özarpa, C., Albayrak, A.F., "Doğalgaz Nakil Hatlarında Meydana Gelen Kirlenme Ve Çözüm Önerileri", *TMMOB Makina Mühendisleri Odası - Doğal Gaz & Enerji Yönetimi Kongre Ve Sergisi*, 2001.
27. M. Aydan ve S. Kaya, "Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA): Üniversite Hastanesinde Bir Uygulama", *Hacettepe Sağlık İdaresi Dergisi*, c. 20, sayı. 4, ss. 475-502, (2017).
28. P. Mızrak Özfirat, "Bulanık Önceliklendirme Metodu Ve Hata Türü Ve Etkileri Analizini Birleştiren Yeni Bir Risk Analizi Yöntemi", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 29, sayı. 4, ss. 755-768, (2014).
29. İnternet: İstanbul Üniversitesi, "Risk Değerlendirmesi ve Metodolojisi", https://cdnacikogretim.istanbul.edu.tr/auzefcontent/21_22_Guz/risk_degerlendirme_ve_metodolojisi/11/index.html#konu-3 (2021).
30. Aydın, Ö., "Tasarımda Hata Türü ve Etkileri Analizi ve Bir Uygulama", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 57-90, (2004).
31. Carl, E., Floren, D., "A Corporation of Elinois Continuation of Abandoned, Plastic Service T", *Ser. No. 289-610, June 21, This application May 2*, Ser. No. 547-131, 2 Claims. (Cl. 77-42), (1966).

32. Wilbur, R.L., Jr., John, J.S., Carl, E.F., “Method and Connection Foreestablishing Service Between A Plastic Man And Plastic Service Pipe With A Plastic Service T”, Dec. 2, *Ser. No. 598-653, 8 Claims.* (CI. 137-15), ABD, (1966).
33. Robert, R., Roos, D., “Circular Knife Cutter for Fitting Used With Plastic Main Or Pipes”, Oct. 11, *Ser. No. 46-373, 7 Claims.* (CI. 137-318), ABD, (1972).
34. Eldon, W., “Self – Punching T Fitting”, May 11, *Ser. No. 366 – 330, 4 Claims.* (CI. 77 - 42), (1964).
35. Minchhoff, J. P., “Method and Apparatus for Connecting A Tap To A Pipeline”, *Nov.16, Appl. No: 199 – 120, 3 Claims.* (CI. 137 – 15 / 137 - 318), (1971).
36. Frank, H., “Service T For Plastic Mains”, February 16, *Ser. No. 410 – 587, 7 Claims.* (CI. 137 - 318), (1954).
37. Thamas, F., “Water Main Service Valve”, *Jan. 7, Ser. No. 336 – 159, 3 Claims.* (CI. 137 - 318), (1964).
38. Yair, G., Doar Na Menashe; Eitan, K., “Tapping Fitting”, *Jun. 10, Ser. No. 662 – 749, 20 Claims.* (CI. 137 - 318), (1996).
39. Frank, R., Volgstadt, Madison; Albert, H. R., “Valve and Tapping Tee Apparatus and Method”, *Nov. 19, Ser. No. 932 – 323, 33 Claims.* (CI. 137 - 15), Israel, (1986).
40. Thalmann, A., Uhwiesen, Assingnee; Fischer, G., “Molded Tapping Member Formed of A Weldable Plastics Material”, Aug. 6, *Ser. No. 762 – 953, 9 Claims.* (CI. 285 - 21), Switzerland, (1985).
41. Tdw, D., “Polyethylene Pipe Service System Including Quick Connect Means for Polyethylene Pipe Tapping, Plugging and Completion Operations”, Mar. 9, *Ser. No. 16/812 – 953, CI. 37 - 256*, (2020).
42. Ronald, S., Montgomery, “Tapping Saddle”, Sep. 20, *Ser. No. 778 – 362, 2 Claims. CI.* (137 - 315), (1985).
43. Howard, T., De Grafenreid, Inola, Judson, C., “Removable Seal Plug for Closing the Upper End Of Self-Punching T Fittings”, Apr. 9, *Ser. No. 814 – 641, 16 Claims. CI.* (77 - 42), (1969).
44. Paul, G., “Pipe Saddle Assembly”, July 27, *Ser. No. 275 – 481, 4 Claims.* CI. (137 - 315), (1972).

45. Odet, K., Menashe, D. N., "Tapping Fittings", Jan. 19, *Ser. No. 375 – 091, 20 Claims. CI.* (137 - 318), Israel, (1995).

ÖZGEÇMİŞ

Elvan SARI, Lise öğrenimini Gümüşhane lisesi fen bilimleri bölümünde, Lisans eğitimini 2013 yılında Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Tesisat Öğretmenliği Bölümünde, 2. lisans eğitimini 2021 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümünde tamamlamıştır. Aksa Doğalgaz Dağıtım A.Ş.'nde yer altı doğalgaz çelik boruların ve polietilen boruların kaynaklı imalatı ve proje saha kontrolleri ile ilgili olarak yatırım biriminde çalışmaktadır. Evli, 2 çocuk babasıdır.