

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TERMOPLASTİK BORULARIN  
ELEKTROFÜZYON KAYNAĞINDA  
DİKİŞ KALİTESİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER  
İLE UYGULANAN TESTLERİN ANALİZİ**

Makina Mühendisi Önder ÖZKAN

**FBE Makina Mühendisliği Anabilim Dalı İmal Usulleri Programında Hazırlanan**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tez Danışmanı:** Prof. Dr. Selahattin YUMURTACI (Y.T.Ü.)

İstanbul 2009

*Hakkı Özkan'ın anısına*

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ .....	v
KISALTMA LİSTESİ .....	vii
ŞEKİL LİSTESİ .....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ .....	x
ÖNSÖZ .....	xi
ÖZET .....	xii
ABSTRACT .....	xiii
1 GİRİŞ .....	1
1.1 Polimerler ve Plastikler .....	3
1.2 Plastiklere Uygulanan Birleştirme Yöntemleri .....	6
2 TERMOPLASTİK BORU SİSTEMLERİ .....	7
2.1 Boru Sistemlerinin Gelişimi .....	7
2.2 Termoplastik Boru Mazemeleri .....	7
2.3 Termoplastik Boruların Avantajları .....	11
2.4 Termoplastik Boruların Dezavantajları .....	13
2.5 Malzeme Seçimi .....	14
2.6 Plastik Boruların Sınıflandırılması .....	14
2.6.1 Geometrik Parametrelere ve İç Basınç Direncine Göre Sınıflandırma .....	15
2.6.2 Halka Rijitliğine Göre Sınıflandırma .....	15
2.7 Birleştirme Yöntemleri .....	16
2.7.1 Yapıştırma Yöntemi .....	16
2.7.2 Mekanik Birleştirme Yöntemleri .....	17
2.7.2.1 Esnek Conta İle Birleştirme .....	17
2.7.2.2 Vidalı Birleştirme .....	17
2.7.2.3 Mekanik Ekleme .....	17
2.7.2.4 Flanşlı Birleştirme .....	18
2.7.3 Kaynak İle Birleştirme Yöntemleri .....	19
2.7.3.1 Sıcak Gaz Kaynağı .....	19
2.7.3.2 Alın Kaynağı .....	20
2.7.3.3 Soket Kaynağı .....	21
2.7.3.4 IR (Kızılötesi) Kaynağı .....	23
2.7.3.5 Elektrofüzyon Kaynağı .....	24
3 ELEKTROFÜZYON KAYNAĞI .....	25
3.1 Yöntemin Ortaya Çıkışı ve Gelişimi .....	25
3.2 Yöntemin Esasları .....	25
3.3 Elektrofüzyon Ekleme Parçaları .....	26
3.4 Kaynak Donanımı .....	27
3.5 Yöntemin Uygulanışı .....	29
3.5.1 Hazırlık Aşaması .....	29
3.5.2 Kaynak Usülü .....	31

3	KAYNAK SÜREÇLERİ .....	36
4.1	Füzyon Süreci .....	36
4.1.1	Istma Fazı .....	36
4.1.2	Basınç Fazı .....	37
4.1.3	Moleküller Arası Yayınım Fazı .....	41
4.2	Soğuma Süreci .....	43
4.3	Kaynak Parametrelerin Kaynak Süreçleri Boyunca Değişimi.....	43
4.3.1	Akım .....	43
4.3.2	Sıcaklık .....	44
4.3.3	Basınç .....	46
4.3.4	Diğer Büyüklükler .....	47
5	KAYNAK DİKİŞİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER .....	49
5.1	Kaynak Parametrelerinin Etkisi .....	49
5.1.1	Füzyon Süresi .....	49
5.1.2	Montaj Boşluğu (Manşon İle Boru Arasındaki Boşluk).....	52
5.1.3	Soğuma Süresi .....	52
5.2	İnsan Faktörü .....	55
5.3	Çevre Şartları .....	55
5.4	Malzeme Özelliğinin Etkisi .....	56
5.5	Hazırlık İşlemlerinin Etkisi.....	58
5.5.1	Yüzey Temizliği .....	58
5.5.2	Boru ve Manşonun Montajı .....	60
5.5.3	Birleştirilecek Malzemelerin Sabitlemesi.....	61
6	UYGULANAN TESTLERİN ANALİZİ .....	63
6.1	Tahribatlı Testler .....	63
6.1.1	ASTM Testleri .....	63
6.1.1.1	Minimum Hidrolik Patlama Basıncı Testi.....	63
6.1.1.2	Sürekli Basınç Testi.....	64
6.1.1.3	Gerilme Dayanımı Testi .....	64
6.1.1.4	Ezme Testi .....	64
6.1.1.5	(FET) Füzyon Değerlendirme Testi.....	65
6.1.2	EN Testleri.....	66
6.1.2.1	TS 418-3 EN 12201-3 .....	66
6.1.2.2	TS EN 12814-4 .....	67
6.1.2.2.1	Ayırma Testi .....	67
6.1.2.2.2	Ezme Testi .....	67
6.1.3	ISO Testleri.....	68
6.1.3.1	TS ISO 13954 .....	68
6.1.3.1	TS ISO 13955 .....	70
6.2	Tahribatsız Testler .....	71
7	DENEYSEL ÇALIŞMA.....	75
7.1	Deneysel Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	75
7.2	Elektrofüzyon Kaynağı Devresi .....	75
7.3	Kullanılan Donanımın Özellikleri .....	76
7.4	Kullanılan Boru ve Manşonların Özellikleri .....	76

7.5	Numunelerin Oluşturulması.....	77
7.6	Test Parçalarının Kodlanması.....	79
7.7	Sıkıştırarak Ayırma (Crush Decohesion) Deneyi.....	79
7.7.1	Deney Sırasında Elde Edilen Görsel Bulgular .....	81
7.7.2	Ayrılma Yüzdelerinin Hesaplanması.....	86
7.8	Sıyrarak Ayırma (Peel Decohesion) Deneyi .....	89
7.9	Boru İç Yüzey Deformasyonunun İrdelenmesi .....	95
SONUÇ VE ÖNERİLER .....		99
KAYNAKLAR.....		100
ÖZGEÇMİŞ.....		103

## SİMGE LİSTESİ

$D_m$	: Boru ortalama çapı
$D_e$	: Boru dış çapı
$D_N$	: Boru nominal çapı (termoplastik borular için dış çap)
$e$	: Boru et kalınlığı
$\delta D_v$	: Halka çapındaki değişim
$k$	: Halkanın doğrusal olmayan davranışı ve çapsal kuvvet için sayısal faktör
$E$	: Borunun çevresel yönde elastiklik modülü
$\nu$	: Poisson oranı
$E_i$	: Borunun çevresel yönde kısa dönem elastiklik modülü
$E_t$	: Borunun çevresel yönde uzun dönem elastiklik modülü
$I$	: Boru et kesitinin atalet momenti:
$PN$	: Nominal basınç
$SR$	: Halka rijitliği
$SN$	: Nominal rijitlik
$h_0$	: Damlacığın başlangıç yüksekliğinin yarısı
$h$	: Damlacığın $t$ zamanındaki yüksekliğinin yarısı
$F$	: Sıkıştırma kuvveti
$\eta$	: Vizkozite
$L$	: Damlacığın boyu
$b_0$	: Damlacığın başlangıç genişliğinin yarısı
$\tau_{xy}$	: Kesme gerilmesi
$E_a$	: Aktivasyon enerjisi
$R$	: Evrensel gaz sabiti
$T$	: Mutlak sıcaklık
$R$	: Yuvarlak diskin yarıçapı
$T_e$	: Polimer zincirinin kendi tüpü içerisindeki hareketi için geçen süre
$T_r$	: Polimer zincirinin yeni bir tüp oluşturması için gerekli süre
$X$	: Nüfuziyet derinliği
$l$	: Zincirin ortalama uzunluğu
$\sigma_f$	: Kırılma gerilimi
$I_0$	: Başlangıç akımı
$P_0$	: Başlangıç gücü
$Q_t$	: Toplam elektrik enerjisi girdisi
$I_t$	: $t$ zamanındaki akım miktarı
$Q_{t/a}$	: Birim füzyon alana düşen enerji girdisi
$L_f$	: Füzyon bölgesi uzunluğu
$K_c$	: Kırılma tokluğu parametresi
$E_p$	: Toplam sıyırma enerjisi
$W$	: Çap
$P(x)$	: Kuvvet
$x$	: Yer değişimi
$x_f$	: Yer değişimi hatası
$\phi_w$	: Sargı çapı
$n$	: Metal tel sayısı
$E_N$	: Füzyon zamanı
$d_{emp}$	: Ekleme parçası ucunun ortalama dış çapı
$d_{em}$	: Boru ucunun ölçülen çevresinden hesaplanan ortalama dış çapı

$D_{im}$  : Ekleme parçası ergime bölgesinin ortalama iç çapı  
 $E_s$  : Sıyırma derinliği  
 $S$  : Halka gerilimi  
 $D$  : Ortalama dış çap  
 $t$  : En küçük et kalınlığı

## KISALTMA LİSTESİ

ASTM	American Society For Testing And Materials
ABS	Akrilonitril Bütadien Stiren
BG	British Gas Company
CAB	Selüloz Asetat Bütirat
CBD	Canadian Building Diegest
CPVC	Klorlanmış Polivinil Klorür
DVS	Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e.V. (Alman Kaynak Cemiyeti)
DWV	Drain West Vantilate (Pis Su Drenaj Havalık)
FDA	Food and Drug Administration (Gıda ve İlaç İdaresi)
FET	Fusion Evaluation Test (Füzyon Değerlendirme Testi)
FEA	Finite Element Analysis (Sonlu Elemanlar Analizi)
FM	Fracture Mechanics (Kırılma Mekaniği)
EF	Elektrofüzyon
EN	European Standard
GFRP	Cam Takviyeli Plastik Boru
ISO	The International Organization for Standardization
IR	Infra Red (Kızıl Ötesi)
MRS	Minimum Required Strength (Gerekli En Düşük Dayanım)
PE	Polietilen
PP	Polipropilen
PPFA	Plastic Pipe and Fittings Association
PPI	Plastic Pipe Institute (Plastik Boru Enstitüsü)
PVC	Polivinil Klorür
PTFE	Politetrafloretillen
SDR	Standart Dimension Ratio (Standart Çap Oranı)
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
TWI	The Welding Institute (İngiliz Kaynak Enstitüsü)
UMHW	Ultra High Molecular Weight (Çok Yüksek Molekül Ağırlıklı)

## ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1	Etilenin polietilene dönüştüğü tepkime ..... 4
Şekil 1.2	Plastiklere uygulanan birleştirme yöntemlerinin sınıflandırılması ..... 6
Şekil 2.1	NPT konik diş formu ..... 17
Şekil 2.2	Dış yüzüğün sıkıştırılması ile birleştirme ..... 18
Şekil 2.3	8 delikli bir flanş için civataların sıkılma sırası ..... 18
Şekil 2.4	a) Sıcak gaz kaynağının uygulanışı, b) torç, d) nozul ..... 19
Şekil 2.5	Alın kaynağının uygulanışı ..... 20
Şekil 2.6	Soket kaynağı makinası ..... 22
Şekil 2.7	Soket kaynağı işlemleri ..... 22
Şekil 2.8	Kızılötesi kaynak makinası ..... 23
Şekil 3.1	Elektrofüzton ekleme parçalarının şematik gösterimi ..... 27
Şekil 3.2	Çeşitli elektrofüzyon kontrol cihazları ..... 28
Şekil 3.3	Ön temizlik ..... 31
Şekil 3.4	Boru ucunun düzgün kesilmesi için kullanılan aparatlar ..... 32
Şekil 3.5	Borunun manşon içine sürüleceği derinliğin üzerinde işaretlenmesi ..... 32
Şekil 3.6	Boru ovalliğinin ölçülmesi ..... 33
Şekil 3.7	Oval boruların yuvarlatılmasında kullanılan aparatlar ..... 33
Şekil 3.8	Boru yüzeyinin temizlenmesinde kullanılan aparatlar ..... 33
Şekil 3.9	Borunun manşon içerisine tam olarak yerleştirilmesi ..... 34
Şekil 3.10	Kaynak sırasında malzemelerin desteklenmesi ..... 34
Şekil 3.11	Manşon üzerine kaynak bilgileri bulunan barkod etiketi ve barkod okuyucu ..... 35
Şekil 3.12	Manşon üzerine kaynak bilgilerinin yazılışı ..... 35
Şekil 4.1	Basit bir yüzey pürüzünün yakından görünüşü ..... 38
Şekil 4.2	Basit bir yüzey pürüzü için sıkışmış akışkan modeli ..... 38
Şekil 4.3	Paralel iki disk arasında sıkışan akışkan ..... 40
Şekil 4.4	Dikdörtgen tabakalar arasında sıkışan akışkan ..... 40
Şekil 4.5	Arayüzey üzerindeki moleküller arası yayılım ..... 41
Şekil 4.6	Polimer difüzyonunun hayali tüp ile açıklanması ..... 42
Şekil 4.7	Elektrofüzyon kaynağı sırasında oluşan sıcaklığın füzyon süresiyle değişimi ..... 45
Şekil 4.8	Elektrofüzyon kaynağı sırasında oluşan basıncın füzyon süresiyle değişimi ..... 47
Şekil 5.1	Ayrırma testi için hazırlanan numune ..... 49
Şekil 5.2	Kırılma tokluğunun füzyon süresiyle değişimi ..... 50
Şekil 5.3	Sıyırarak ayrırma testi için hazırlanan test parçası ..... 50
Şekil 5.4	Sıyırma enerjisinin füzyon süresi ile değişimi ..... 51
Şekil 5.5	Füzyon süresinin gerilme dayanımı ve ömür üzerindeki etkisi ..... 52
Şekil 5.6	Soğuma süresi boyunca arayüzey sıcaklığının değişimi ..... 53
Şekil 5.7	Numunelerin deformasyona uğratılması ..... 54
Şekil 5.8	Değişik soğutma yöntemlerinin soğuma süresine etkisi ..... 55
Şekil 5.9	Rüzgar hızı ve hava sıcaklığının füzyon süresine etkisi ..... 56
Şekil 5.10	MFR test düzeneği ..... 57
Şekil 5.11	Füzyon kesitinde nem nedeniyle oluşan kabarcık ..... 59
Şekil 5.12	Manşon iç yüzeyinde kirlenme ve nem ..... 59
Şekil 5.13	Borulardan birinin manşona kısa saplanması ..... 60
Şekil 5.14	Boruların manşon içine asimetric uzunlukta yerleştirilmesi ..... 60
Şekil 5.15	Kaynak bölgesinde distorsiyon oluşumu ..... 61
Şekil 6.1	İç basınç testleri için deney şeması ..... 64
Şekil 6.2	Ezme testinin yapılışı ..... 65
Şekil 6.3	FET test parçasının hazırlanması ..... 65

Şekil 6.4	Hidrostatik testte kullanılan boru kapak bağlantısı örneği .....	66
Şekil 6.5	Ayırma testi için numunenin alınışı.....	67
Şekil 6.6	Mengenede yapılan ezme testinin yandan ve üstten görünüşü .....	68
Şekil 6.7	Sıyırarak ayırma deneyi numunesinin konumu .....	68
Şekil 6.8	Sıyırarak ayırma numunesinde hasar oluşumu .....	69
Şekil 6.9	Sıkıştırılarak ayrılma deneyinde hasarın oluşumu.....	70
Şekil 6.10	Ultrasonik yöntemin temel çalışma prensibi .....	72
Şekil 6.11	Hazırlanan manipulatörün yerleşimi.....	73
Şekil 6.12	İki boyutlu hata görüntüleri .....	73
Şekil 6.13	Shi vd.'nin araştırmasında incelenen numuneler .....	74
Şekil 7.1	Kaynak devresi .....	75
Şekil 7.2	Birinci grup ve ikinci grup numuneler için devreler .....	77
Şekil 7.3	Kaynak işlemleri tamamlanmış ve beklemeye alınan birinci ve üçüncü grup numuneler .....	78
Şekil 7.4	Test parçası numarası örneği .....	79
Şekil 7.5	Test parçalarının hazırlanması .....	80
Şekil 7.6	Deney öncesi ilk ve son sargı arası uzunlukların kaydedilmesi .....	80
Şekil 7.7	Test parçasının iki et kalınlığına kadar sıkıştırılması .....	81
Şekil 7.8	Tam ayrılma olan test parçalarında manşon iç yüzeyindeki değişimler.....	82
Şekil 7.9	(a) CD271 (Ø63, 24V, Tf:60s) nolu test parçası manşon iç yüzeyi (b) CD171 (Ø63, 40V, Tf:10s) nolu test parçası manşon iç yüzeyi.....	82
Şekil 7.10	(a) CD151 (Ø63, 40V, Tf:20s) nolu test parçası manşon iç yüzeyi (b) CD221 (Ø63, 24V, Tf:70s) nolu test parçası manşon iç yüzeyi .....	83
Şekil 7.11	CD141 (Ø63, 40V, Tf:25s) nolu test parçasında kısmi ayrılma ve büzüşme .....	84
Şekil 7.12	CD122 (Ø63, 40V, Tf:50s) nolu test parçası ayrılma yok.....	84
Şekil 7.13	CD112 (Ø63, 40V, Tf:70s) nolu test parçasında aşırı ısınma belirtileri.....	85
Şekil 7.14	Test parçasında sargı uzunluğu ve ayrılma uzunluğunun gösterilişi .....	86
Şekil 7.15	Test parçalarında yapılan ölçümlerin sonuçları .....	88
Şekil 7.16	(a)Test parçasının alınma şekli (b) hazırlanan test parçaları .....	89
Şekil 7.17	(a) Kullanılan çekme cihazı (b) test parçasının bağlantı şekli .....	90
Şekil 7.18	PD311 (Ø110, 40V, Tf:411s) nolu test parçasının sabit hızla çekilmesi.....	90
Şekil 7.19	PD321(Ø110, 40V, 250s) nolu test parçasının sıyırarak ayırma testi .....	91
Şekil 7.20	PD322(Ø110, 40V, 250s) nolu test parçasının sıyırarak ayırma testi .....	91
Şekil 7.21	PD311 (Ø110, 40V, 411s) nolu test parçasının sıyırarak ayırma testi .....	92
Şekil 7.22	PD312(Ø110, 40V, 411s) nolu test parçasının sıyırarak ayırma testi .....	92
Şekil 7.23	PD331(Ø110, 40V, 510s) nolu test parçasının sıyırarak ayırma testi .....	93
Şekil 7.24	PD332 (Ø110, 40V, 510s) nolu test parçasının sıyırarak ayırma testi .....	93
Şekil 7.25	Sıyırarak ayırma deneyi sonuçları .....	94
Şekil 7.26	İkinci grup numunede oluşan deformasyon (a) 510 s, (b) 411s, (c)250s .....	95
Şekil 7.27	Deney parçaları yüzeylerinde gözlemlenen deformasyonun gösterimi.....	95
Şekil 7.28	Gözlem sonuçları .....	97

## ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1	Termoplastik boru malzemelerinin özellikleri..... 10
Çizelge 2.2	Termoplastik boruların kimyasallara karşı direnci ..... 12
Çizelge 2.3	Flanş büyüklüğüne göre önerilen civata sıkma torkları..... 19
Çizelge 2.4	Plastik boru malzemeleri için önerilen gaz cinsi ve sıcaklık değerleri ..... 20
Çizelge 2.5	PE borularda sıcak elemanın ayrılması için gerekli çapak boyutu ..... 21
Çizelge 2.6	Soket kaynağının uygulanabileceği ergime akış hızı aralıkları ..... 22
Çizelge 2.7	Termoplastik boru malzemelerine uygulanan kaynaklı birleştirme yöntemleri..... 22
Çizelge 4.1	Elektrofüzyon kaynağı sırasında yoğunluk değişimi ..... 48
Çizelge 5.1	Yoğunluğun kaynak dayanımına etkisi..... 58
Çizelge 5.2	MFR değerinin kaynak dayanımına etkisi ..... 58
Çizelge 7.1	Numunelerin füzyon süreleri ..... 78
Çizelge 7.2	Kaynak devresinin başlangıç değerleri ..... 78
Çizelge 7.3	Kaynak karakterleri ve bu özelliği gösteren numuneler ..... 85
Çizelge 7.4	Test parçalarının $y$ , $d_2$ ve $C_c$ değerleri..... 87
Çizelge 7.5	Test parçalarında yapılan ölçümlerin sonuçları ..... 88
Çizelge 7.6	Sıyırarak ayırma deneyi sonuçları ..... 94
Çizelge 7.5	Üçüncü grup numunelerde görülen deformasyonlara ait ölçüler..... 96
Çizelge 7.6	Üçüncü grup numuneler için $R_{ort}$ değerleri..... 86

## ÖNSÖZ

Öncelikle bu çalışma, tez danışmanım sayın Prof. Dr. Selahattin Yumurtacı'nın yol göstericiliği ile hayat buldu. Desteği, ilgisi ve değerli önerileri için kendisine teşekkürlerimi sunarım.

Fırat Plastik Aş. kaynak deneylerinin ilk kısmı için üreticisi oldukları boru ve ekleme parçası malzemeleri ile laboratuvar ve teknik destek imkanlarını sundu. Kimya mühendisi Sayın Barış Uğurlu şahsında firma yönetimi ve laboratuvarı çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Kaynak deneylerin ikinci kısmı için Alarge Ltd. kaynak donanımı ve atelye imkanı sundu. Deney numuneleri üreticisi oldukları kontrol cihazları ile hazırlandı. Sayın Enes Aktürk şahsında, firma yöneticileri ve çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Kaynak numunelerinin hazırlanmasındaki yardımlarından dolayı Sayın Fikret Özgen'e teşekkürlerimi sunarım.

Sayın Nafi Baran şahsında, MMO İstanbul Şube teknik biriminden çalışma arkadaşlarıma destekleri için teşekkürlerimi sunarım.

Her zaman yanımda olan sevgili aileme teşekkürlerimi sunarım.

# TERMOPLASTİK BORULARIN ELEKTROFÜZYON KAYNAĞINDA DİKİŞ KALİTESİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER İLE UYGULANAN TESTLERİN ANALİZİ

Önder Özkan  
Makine Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi

Termoplastik borular, üstün özellikleri sayesinde kısa sürede tüm dünyada yaygınlık kazanmıştır. Günümüzde pek çok uygulama için uygun bir termoplastik boru malzemesi bulunmaktadır.

Elektrofüzyon kaynağı özellikle basınçlı su ve gaz dağıtım hatlarında, polietilen boruların birleştirilmesinde kullanılır. Yöntem içlerinde direnç teli bulunan ekleme parçaları ile gerçekleştirilir. Birleştirme için gerekli ısı, füzyon süresi boyunca, direnç telinden elektrik akımı geçirilmesiyle sağlanır.

Bu çalışmada öncelikle termoplastik boru sistemleri ve elektrofüzyon kaynağı tanıtılmıştır. Daha sonra bu kaynak yöntemi farklı kaynak parametreleri kullanılarak polietilen borular üzerinde uygulanmış, tahribatlı testler yardımıyla dikiş kalitesi araştırılarak sonuçlar irdelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Elektrofüzyon kaynağı, kaynak plastik borular, aynak dikiş kalitesi.

JÜRİ:

1. Prof. Dr. Selahattin Yumurtacı
2. Prof. Nurullah Gültekin
3. Doç. Dr. Ahmet Karaaslan

Kabul tarihi: 10.02.2009  
Sayfa Sayısı: 103

# ANALYSIS OF FACTORS INFLUENCING WELD BEAD QUALITY AND TESTS APPLIED IN ELECTROFUSION WELDING OF THERMOPLASTIC PIPES

Önder Özkan  
Mechanical Engineer, M. S. Thesis

Thermoplastic pipes, thanks to unique features, in a short period of time, have gained popularity all over the world. Today, for most applications, at least one suitable thermoplastic pipe can be found.

Electrofusion welding, is used especially in pressurized water and gas distribution lines, for joining polyethylene pipes. This method includes use of electrical resistance wire embedded special fittings. The heat required for fusing is supplied by electrical current passing through the wire.

In this study firstly a brief information about thermoplastic piping systems and electrofusion welding was given. Secondly, using different parameters, welding method was applied on polyethylene pipes. Finally, weld bead quality was researched by means of destructive tests and results were analysed.

**Keywords:** Electrofusion welding, plastic pipes, welding, weld bead quality.

JURY:

1. Prof. Dr. Selahattin Yumurtacı
2. Prof. Nurullah Gültekin
3. Doç. Dr. Ahmet Karaaslan

Date: 10.02.2009

Page: 103

## 1 GİRİŞ

İlk olarak geçtiğimiz yüzyılın başlarında pazara sunulan termoplastik borular, 1950'lerin sonlarından itibaren tüm dünyada yaygınlık kazanmıştır. Geçmişte metal esaslı veya beton boruların kullanıldığı; sulama, drenaj, petrokimya ve gaz dağıtım hatlarında günümüzde büyük oranda termoplastik borular kullanılmaktadır. Termoplastik boruların bu hızlı gelişiminde sahip oldukları avantajlar önemli yer tutmuştur. Bu avantajlara örnek olarak korozyona ve kimyasal çözücülere karşı dirençlerinin yüksek oluşu, hafif ve esnek olmaları, kolay birleştirilebilmeleri ve üretim maliyetlerinin düşük olması verilebilir.

Termoplastik boruların birleştirilmesinde kullanılan yöntemler, mekanik birleştirme, yapıştırma ve kaynak ile birleştirme olmak üzere üç gruba ayrılır. Kaynak yöntemleri sızdırmazlık ve yüksek dayanım özellikleri ile diğer birleştirme yöntemlerinden ayrılır. Ayrıca, pek çok termoplastik boru malzemesi, uygun bir kaynak yöntemi ile birleştirilebilir.

Termoplastiklerin kaynak yöntemi ile birleştirilmeleri şu esasa dayanır: Malzemelerin birleştirilecek bölgeleri ısı enerjisi ile kısmen ergitilir (amorf ise yumuşatılır). Ergiyen kısımlar biraraya getirilerek basınç uygulanır. Basınç altındaki malzemelerin soğuyarak katılaşması sonrasında işlem birleştirme işlemi tamamlanır. Burada birleşmeyi sağlayan mekanizma zincir moleküllerinin yayınıdır.

Elektrofüzyon kaynağı termoplastik boruların birleştirilmesinde kullanılan yeni bir yöntemdir. Ancak basınçlı su ve doğalgaz taşınan polietilen hatlarda kullanılan temel yöntemlerden biri haline gelmiştir. Yöntemin tercih edilmesinde, saha uygulamaları için pratik oluşu, kısa sürede gerçekleştirilebilmesi ve dayanım değerlerinin yüksek oluşu etkilidir.

Elektrofüzyon kaynağında boru ile aynı malzemedeki soket veya semer tipinde ekleme parçaları kullanılır. Ekleme parçalarının iç yüzeylerinin hemen altında sargı halinde direnç teli bulunur. Birleştirme işleminde öncelikle hazırlık işlemleri yapılan borular manşon içerisine yerleştirilir. Daha sonra jeneratörden sağlanan elektrik enerjisi, kontrol cihazı sayesinde uygun gerilim değerine düşürülerek, belirli süre boyunca direnç telinden geçirilir. Elektrik enerjisinin direnç telinde ısıya dönüşmesi, tel civarındaki sıcaklığın artmasına, böylelikle boru ve manşon arayüzeyindeki polimerin ergimesine neden olur. Faz değişimi nedeniyle artan hacmi polimeri akmaya zorlar, ancak ekleme parçası geometrisi

(soğuk bölgeler) bu akışı engeller. Böylece birleşme bölgesinde iç basınç kendiliğinden oluşur. Sıcaklık ve basınç plastiklerin kaynağı için temel mekanizma olan moleküller arası yayınıcı meydana getirir. Arayüzeyde ergiyen polimer malzeme elektrik enerjisinin kesilmesinin ardından soğumaya başlar. Katılama tamamlandığında birleştirme işlemi gerçekleşir.

Kaynak işlemi sırasında uyulması gereken kurallar ve işlem parametreleri elektrofüzyon ekleme parçası üreticileri tarafından belirtilir. Ayrıca amaçla hazırlanan çeşitli standartlar da bulunmaktadır.

Elektrofüzyon kaynağında dikiş kalitesi; boru ve ekleme parçasının özelliklerine, hazırlık işlemlerinin uygun şekilde yapılmasına, ortam şartlarına ve gerekli enerjinin birleşme bölgesine doğru parametrelerle verilmesine bağlıdır.

Özarpa, hazırlık işlemlerinde yapılan hataların kaynak kalitesine etkilerini araştırmıştır [1]. Bowman, füzyon süresi ve montaj boşluğunun; Nishimura vd. ise soğuma süresinin birleşme bölgesinin dayanımına etkilerini araştırmışlardır [2,3].

Elektrofüzyon kaynağında birleşme bölgesinin dayanımı genellikle tahribatlı test yöntemleri ile değerlendirilir. Kısa dönem ve uzun dönem testleri olarak ikiye ayrılan testler için birçok standart bulunmaktadır. Kısa dönem testlerinde numunelerden hazırlanan test parçaları sıkıştırılarak veya sıyrılarak birleşme bölgesinden ayrılmaya zorlanır. Uzun dönem testlerinde ise numuneler uzun süreler boyunca iç hidrostatik basınç altında tutularak, zamanla oluşacak hata incelenir.

Birleşme bölgesinin değerlendirilmesinde, tahribatsız test yöntemlerinin kullanımı henüz standart hale getirilememiştir. Çünkü geliştirilen yöntemler halen bütünlüklü bir değerlendirmeden uzaktır. Ancak bu konuda araştırmalar devam etmektedir. Yang vd. ve Caravaca vd. araştırmalarında, çeşitli kaynak hatalarını, ultrasonik faz sıralı yöntem ile incelemişlerdir [4,5]. Bu çalışmalarda elde edilen iki boyutlu görüntüler sayesinde, pek çok kaynak hatası kolaylıkla belirlenebilirken, yetersiz yüzey temizliği gibi nedenlerle oluşan kaynak hataları belirlenememiştir.

Ayrıca kaynak işleminin bilgisayar ortamında modellendiği çeşitli simülasyon teknolojileri üzerinde araştırmalar sürdürülmektedir. Nishimura, simülasyon yöntemiyle kaynak parametrelerinin birleşme bölgesine etkisini incelemiştir [3]. Yöntem, özellikle tasarım aşamasında önemli faydalar sağlamaktadır.

Elektrofüzyon kaynağında, birleşme bölgesine sabit gerilim altında verilen elektrik enerjisinin miktarı genellikle füzyon süresi ile ayarlanır. Deneysel çalışmada, füzyon süresi ile gerilimdeki değişimin dikiş kalitesine etkileri araştırılmıştır. Bunun için, farklı iki gerilim değeri ve ardışık füzyon süreleri belirlenerek kaynak numuneleri hazırlanmıştır. Numunelerden oluşturulan test parçalarına TS ISO 13953 de belirtilen sıyrarak ayırma testi ve TS ISO 13954 belirtilen sıkıştırarak ayırma testi uygulanmıştır. Testlerde oluşan hasarın tipi ve boyutları incelenerek sonuçlar yorumlanmıştır.

### 1.1 Polimerler ve Plastikler

Polimerler mol ağırlıkları 10.000 g ile 1.000.000 g arasında değişen (dev) moleküllerden oluşan malzemelerdir. Bu moleküller monomer adı verilen basit yapıların tekrarlandığı bir zincir biçimindedir. Monomerler çoğunlukla karbon ve hidrojenden oluşurken; oksijen, hidrojen, azot, klor ve flor gibi elementleri de içerebilir.

Polimerler bitkisel ve hayvansal yapılarda selüloz veya protein olarak bulunur. Ahşap, pamuk, kenevir, mantar, yün ve ipek bu yapılardandır. Doğal polimerlerin yalnızca birkaçı teknik polimer olarak kullanılır [9].

19. yüzyılın ortalarında doğal polimerlerin kimyasal modifikasyonu ile ilk yarı sentetik polimerler üretilmiştir. Böylece selüloz plastikleri gibi ilk plastik malzemeler ortaya çıkmıştır.

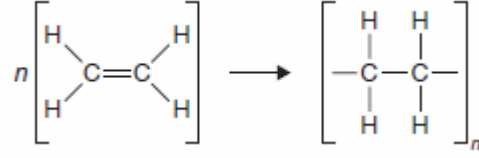
1930'lu yıllarda ise özellikle petrokimya endüstrisindeki gelişmeler sayesinde, polimerler tamamen sentetik olarak, fosil yakıtlardan elde edilmeye başlanmıştır. Günümüzde üretilen plastik malzemelerin büyük bir kısmı petrol türevlerinden elde edilir.

Petrol türevlerinden kimyasal yöntemlerle elde edilen monomerler yine polimerizasyon adı verilen kimyasal yöntemlerle uzun zincir moleküllerine dönüştürülür. Bunun için genellikle ekleme veya yoğunlaşma polimerizasyonu yöntemleri kullanılır.

Ekleme polimerizasyonunda bir veya daha fazla çift bağa sahip moleküllerin, zayıf bağları açılarak makromoleküller halinde birleşmeleri sağlanır. Reaksiyon hızlıdır, egzotermiktir ve yan ürün oluşmaz.

Genel kimyasal formülü  $C_nH_{2n}$  olan alkenler (olefinler); sıcaklık, basınç ve katalizör yardımıyla açılabilen çift karbon ortaklaşım bağına sahiptir. Basit bir alken olan etilen molekülündeki çift bağ açıldığında, karbon atomları tek bir ortaklaşım bağına ve birer

serbest elektrona sahip olur. Diğer bir etilen molekülünün serbest elektronu ile ortaklaşım bağı yaparak peşpeşe bağlanan moleküller uzun polimer zinciri meydana getirirler. Etilenin ( $C_2H_4$ ), polietilene  $(C_2H_4)_n$  dönüştüğü genel tepkime Şekil 1.1’de verilmiştir.



Şekil 1.1 Etilenin polietilene dönüştüğü tepkime

Yoğunlaşma polimerizasyonunda ise reaksiyon yeteneği olan noktalara sahip moleküller, makromoleküller halinde birleşir. Bu sırada sistemden uzaklaştırılması gereken düşük moleküllü bir yan ürün (kondensat) ayrılır. Monomerler reaksiyon kabiliyetine sahip iki noktaya sahipse zincir molekülleri, üç noktaya sahipse üç boyutlu ağ molekülleri meydana gelir. Kimyasal reaksiyon kademeli olarak meydana gelir ve yavaştır [10].

Plastikler için çeşitli tanımlamalar bulunur. ASTM ise plastiklerin tanımını şu şekilde yapmıştır: “Plastikler esas olarak bir veya daha çok, molekül ağırlığı yüksek organik polimerik malzemeden oluşurlar. Çeşitli uygulamalar için özelliklerini iyileştirmeye yarayan katkı maddeleri içerirler. Sentetikler veya doğal polimerlerin yüksek kimyasal modifikasyonu ile elde edilirler. Üretimlerinin bir aşamasında mutlaka ısı ile ergitilerek şekillendirilirken, bitmiş halde mutlaka katıdırlar” [11].

Plastikler, termoplastikler ve termosetler olmak üzere ikiye ayrılırlar. Bu ayrım ısı karşısında gösterdikleri davranışa göre yapılmıştır.

*Termoplastik* malzemelerin çoğu birbirine ortaklaşım bağıyla bağlı çok uzun karbon atomu zincirlerine sahiptir. Asılı atomlar ve atom grupları bu ana zincir atomlarına ortaklaşım bağıyla bağlanır. Bazen ana molekül zincirleri ortaklaşım bağıyla azot, oksijen veya kükürt atomları da bağlanır. Polimer zincirleri ise birbirlerine ikincil bağlarla bağlıdır. Termoplastik malzemeler ısıtıldığında polimer zincirleri arasındaki zayıf bağlar ortadan kalkar, zincirler birbiri üzerinden rahatlıkla kayabilir. Bu nedenle ısıtılarak şekillendirilebilirler. Soğuduktan sonra ise tekrar sertleşerek şekillerini korurlar. Bozunacak derecede yüksek sıcaklıklara ulaşılmadığı sürece tekrar ısıtıp şekillendirilebilirler. Oda sıcaklığında katı halde bulunan termoplastikler hammadde olarak çoğunlukla granül haldedir. Genellikle ergime veya camsı geçiş sıcaklığında

şekillendirilirler. Termoplastiklerin ısı kararlılıkları ve kimyasallara karşı dirençleri termosetlere göre daha sınırlıdır. Daha esnektirler. Geri dönüşüm özellikleri vardır.

*Termosetler* ise çoğunlukla ortaklaşım bağına sahip karbon atomları ağına sahiptir. Bazen azot, oksijen, kükürt ve diğer atomlar bu ısısız ağa ortaklaşım bağıyla bağlanır. Oda sıcaklığında katı veya sıvı halde bulunan termosetler ısıtıldığında, önce vizkoziteleri düşer. Isıtılmaya devam edildiğinde uzun zincirler arasında çapraz bağ adı verilen, üç boyutlu bağlar oluşur ve katılaşırlar. Oluşan çapraz bağlar, zincirlerin ısıtıldıklarında birbiri üzerinden kaymalarını, yani polimerin ergimesini önler. Isıtmaya yüksek sıcaklıklara kadar devam edilirse termosetler bozunur. Bu nedenle termosetler ergitilerek tekrar şekillendirilemezler. Termosetlerin mekanik dayanımı, ısı kararlılığı ve kimyasallara karşı direnci daha yüksek, esneklikleri ise daha düşüktür. Geri dönüşüm özellikleri yoktur [12].

Polimerlere özelliklerini iyileştirmek amacıyla katılan maddelerden bazıları şunlardır:

*Oksitlenme önleyiciler (antioksidanlar)* polimer yapının havadaki oksijen etkisiyle zarar görmesini önlemek için kullanılır,

*Pekiştiriciler* plastiklerin mekanik elektriksel ve ısıl özelliklerini yükseltir, boyut kararlılığı sağlar,

*Ultraviyole ışınım dengeleyiciler (UV stabilizatörleri)* güneş ışınları nedeniyle plastik malzemenin renginde ve yapısal özelliklerinde meydana gelen bozunmayı önler,

*Renklendiriciler (boyar maddeler veya pigmentler)* gelen ışığın absorbe edilmesini sağlar,

*Yanma yavaşlatıcılar* yangına karşı önlem sağlar,

*Antistatikler (statik elektriklenmeyi önleyiciler)* elektrostatik yük nedeniyle oluşabilecek yapışma, toz tutma, yanma ve patlama gibi sorunları önlemeye yardımcı olur,

*Plastikleştiriciler* vizkoziteyi ve sertliği azaltarak, plastiğin akışını ve işlenebilirliğini kolaylaştırır, kırılmasını azaltır, esnekliğini artırır,

*Bağlama etken maddeleri* yüzey özelliklerini geliştirir,

*Biyozehirleyiciler* mikrobiyolojik bozunmaya karşı koruma sağlar,

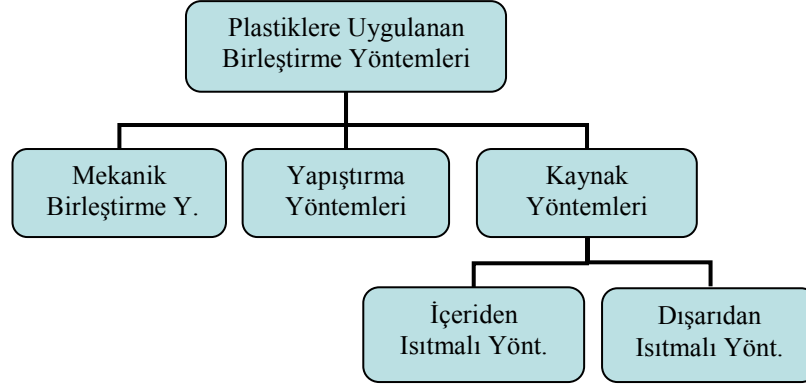
*Takviye maddeleri* dayanımı ve sertliği artırır,

*Köpük yapıcılar (genleştiriciler)* katı, sıvı veya gaz halindeki bazı kimyasallardır, polimere işleme sırasında katıldıklarında buharlaşarak sistemden ayrılır veya bozularak hücresel boşluklu yapı oluştururlar,

*Özel katkılar* elektriksel veya manyetik iletkenlik gibi özellikler kazandırır [13].

## 1.2 Plastiklere Uygulanan Birleştirme Yöntemleri

Plastik malzemeleri birleştirmek amacıyla, günümüze kadar pek çok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemler genel olarak; mekanik birleştirme, yapıştırma ve kaynak olmak üzere üç sınıfa ayrılır (Şekil 1.2).



Şekil 1.2 Plastiklere uygulanan birleştirme yöntemlerinin sınıflandırılması

Vidalı, flanşlı veya geçme tipi birleştirmeler mekanik birleştirmeye örnek olarak verilebilir. Geçme tipi birleştirmelerde, bağlantı elemanı, birleştirilecek parçalarla bütün olarak tasarlanırken, vidalı ve flanşlı birleştirmelerde ayrı bağlantı elemanları kullanılır.

Birleştirilecek parçaların arasına sürülen, yapısal veya sıcak-eriyen türde yapıştırıcılar, yükü bağlantı boyunca ileten bir malzeme özelliği gösterirler.

Yapıştırma ve mekanik birleştirme yöntemleri tüm plastiklere uygulanabilir. Kaynak yöntemleri ise yalnızca termoplastiklere uygulanabilirken, daha yüksek dayanım değerleri sağlar.

Kaynak yöntemi ile birleştirilecek parçaların arayüzeyi ısıtılarak ergitilir (amorf ise yumuşatılır). Vizkoz hale gelen polimerde basıncın da etkisiyle moleküllerarası yayılım gerçekleşir. Kaynak yöntemleri ısıtma tarzına göre iki sınıfa ayrılır. Dışarıdan ısıtmalı yöntemlerde birleştirilecek yüzeyler konveksiyon ve/veya kondüksiyonla ısıtılır. Sıcak eleman, sıcak gaz, implant indüksiyon ve elektrofüzyon (implant direnç) kaynağı yöntemleri bu gruba girer. İçeriden ısıtmalı yöntemlerde ise yüzey sürtünmesi ve moleküllerarası sürtünme sayesinde, mekanik enerji veya elektromanyetik radyasyon emilerek ısıya dönüştürür. Titreşim, kızılötesi, lazer, radyo dalgası ve mikrodalga kaynak yöntemleri bu gruba girer [14].

## 2 TERMOPLASTİK BORU SİSTEMLERİ

### 2.1 Boru Sistemlerinin Gelişimi

Eski çağlarda, insan topluluklarının kentsel yaşama geçişi ile beraber, içme suyunun (tatlı su kaynaklarından) kent merkezlerine taşınması gereksinimi doğmuştur. Bu durum zamanla; su kanalı, su kemeri ve ilk boru sistemlerini ortaya çıkarmıştır. İlk iki yöntem buharlaşma sorunu, yükseklik farklılıkları ve inşaa zorlukları nedeniyle çeşitli kısıtlamalar içermekteydi.

İlk borular binlerce yıl önce toprak ve bambu gibi organik malzemelerden yapılyordu. Boru ile ilgili ilk standartların hazırlandığı Roma İmparatorluğu döneminde döşenen toplam boru tesisatının yaklaşık 400 km uzunluğunda olduğu hesaplanmaktadır. 19. yüzyılın ortalarına kadar boru sistemlerinde büyük bir ilerleme kaydedilmezken, buhar makinaların kullanımı önemli gelişimlere yol açmıştır. Bu yıllarda ortaya çıkan dökme demir borular 20.yüzyılın başında yaygınlaşırken, devam eden yıllarda bronz, pirinç, bakır, alüminyum ve diğer boru malzemeleri geliştirilmiştir. Yine özellikle basınçsız yeraltı hatlarında kullanılan beton borular bu dönemde geliştirilmiştir. [15,16]

İlk defa 1935 yılında pazara sunulan plastik boruların gelişiminde ikinci dünya savaşı sırasında yapılan malzeme araştırmaları etkili olmuştur. Pek çok plastik boru malzemesi bu çalışmalarda geliştirilmiştir. Savaş sonrası Avrupa ve Japonya'da yıkılan kentlerin alt yapılarının yenilenmesinde kullanılan plastik borular, 1960'lardan itibaren tüm dünyada yaygınlaşmış ve günümüzde pek çok uygulamada geleneksel beton ve metal esaslı boru malzemelerinin yerini almıştır. [15]

### 2.2 Termoplastik Boru Malzemeleri

Termoplastik borular pek çok avantaja sahip malzemelerdir. Korozyona karşı dirençlerinin yüksek olması, esnek ve hafif olmaları, etkili ve pratik yöntemlerle birleştirilebilmeleri ve kolay imal edilebilmeleri bunlardan bazılarıdır. Ayrıca, bünyelerine katılan çeşitli katkı malzemeleri ile farklı uygulamalara uygun hale getirilebilmektedir.

Günümüzde en çok kullanılan termoplastik boru malzemeleri polivinil klorür (PVC) ve polietilendir (PE). Polipropilen (PP), akrilonitril bütadien stiren (ABS), klorlanmış polivinil klorür (CPVC), polibütilen (PB) ve poliviniliden florür (PVDF) ise kullanılan diğer termoplastik boru malzemeleridir. Termoplastik boru malzemelerinin genel özellikleri ve kullanım alanları aşağıda özetlenmiştir. Ancak bu malzemelerin derecelerinin (grade) özelliklerini önemli ölçüde değiştirdiği de gözönünde tutulmalıdır.

### **Polivinil klorür (PVC)**

En geniş hacimde üretilen termoplastik boru malzemesidir. Pek çok korozif akışkana karşı karşı kimyasal dirence sahiptir. Ancak çözücülere karşı direnci düşüktür. Ketonlar, aromatik hidrokarbonlar ve bazı klorlu hidrokarbonlar tarafından hasara uğratılabilir (Çizelge 2.2).

Hem basınçsız, hem de basınçlı hatlarda kullanılırlar. İçme suyu, kanalizasyon (basınçsız/basınçlı), gaz (düşük basınçlı), pis su tesisatı, kablo muhafazası, endüstriyel sistemler başlıca kullanım alanlarıdır.

500 mm dış çapa kadar üretilen PVC borular; vidalı birleştirme, çözücülü yapıştırma veya esnek conta yöntemi ile birleştirilirler.

Boru ve ekleme parçalarının üretiminde iki tip PVC malzeme kullanılır:

I. Tip PVC, rijit ya da plastikleştirilmemiş PVC (uPVC) olarak adlandırılır. Düşük oranda katkı maddesi içerir. Çekme dayanımı, eğilme dayanımı, elastiklik modülü ve kimyasallara karşı direnci yüksektir. 65°C'ye kadar çalışma sıcaklığına sahiptir. Isıl genişleme oranı II. Tip'ten daha azdır. Kendi kendini söndürme özelliğine sahiptir.

II. Tip PVC ise kauçuk ile işlenerek, daha tok hale getirilmiştir. Böylelikle, darbe dayanımı yükselmiş ve daha esnek hale gelmiştir. Ancak; çekme dayanımı, eğilme dayanımı ve elastiklik modülü düşüktür. Isıl kararlılığı daha azdır ve kimyasallara karşı direnci daha düşüktür.

### **Klorlu polyvinil klorür (CPVC)**

PVC polimerinin klorlanmasıyla üretilir. CPVC temel olarak I. Tip PVC ile aynı özelliklere sahiptir. Ancak, 100°C'ye kadar (yaklaşık 30°C daha fazla) çalışma sıcaklığına sahiptir. I. Tip PVC ile aynı uygulamalara uygun olmasına rağmen, yüksek maliyeti kullanımını kısıtlamaktadır. Su dağıtım hatlarında bakır boru yerine aynı çapta CPVC boru, 82°C'de 6,9 bar basınca kadar kullanılabilir. Avrupa ve ABD'de bakır borunu yerine CPVC boru kullanımı artmaktadır.

### **Polietilen (PE)**

Polietilen boruların mekanik dayanım değerleri daha düşüktür (Çizelge 2.2). Ancak kimyasallara karşı direnci ve esnekliği sayesinde, 50°C'den düşük sıcaklıklarda kullanım özellikleri genel olarak yeterlidir. Esnekliğini -55°C'ye kadar koruyabilir.

Polietilen boru malzemeleri düşük yoğunluklu, orta yoğunluklu ve yüksek yoğunluklu olmak üzere üçe ayrılır. Yoğunlukla beraber mekanik dayanım değerleri ile kimyasallara ve sıcaklığa karşı dirençleri artarken, sürünme eğilimleri azalır.

İçme suyu (basınçlı), kanalizasyon (basınçlı), gaz (basınçlı), kablo muhafazası, edüstriyel sistemler ve sulama-drenaj (basınçlı) hatları temel kullanım alanlarıdır.

PE borular liste numarası veya standart çap oranı (SDR) ile 1600 mm dış çapa kadar bulunabilirler. Alın kaynağı, elektrofüzyon kaynağı veya mekanik birleştirme yöntemleri ile birleştirilebilirler.

Yeni geliştirilen PE boru malzemelerinden bazıları; UHMW (çok yüksek molekül ağırlıklı) polietilen borular ve PEX (çapraz bağlı) polietilen borulardır.

UHMW polietilen boruların gerilmeli çatlamaya karşı direnci oldukça yüksektir. Bu durum; sürekli basınç şartlarında ek bir güvenlik sağlar. Ancak bu boruların maliyetleri yüksektir. Bu nedenle, geleneksel polietilen boruların gerilme çatlağı riskini önlemede yetersiz kaldığı, bazı kimya endüstrisi uygulamalarında tercih edilirler.

PEX boruların mekanik dayanımları, sertlikleri ve aşınma dirençleri, geleneksel polietilen malzemelerden daha yüksektir. 95°C'ye varan sıcaklıklarda pek çok kimyasala ve çözücüye karşı direnci yüksektir. Ayrıca dayanım değerlerini sıfır derecenin altındaki sıcaklıklarda da korur. Mekanik birleştirme yöntemleri ile birleştirilebilen PEX borular, son zamanlarda özellikle sıcak sulu mobil ısıtma sistemlerinde tercih edilmektedirler

### **Akrilonitril bütadien stiren (ABS)**

ABS; bütadien ve stiren ile en az % 15 oranda akrilonitril içeren bir kopolimerdir. Bileşimi sayesinde tokluk, rijidlik ve sertlik özelliklerini birarada taşır. -40°C ile 80°C aralığında koruduğu özellikleri sayesinde düşük sıcaklıktaki uygulamalara yatkındır. ABS borular esas olarak DWV (pis su-drenaj-havalık) sistemlerinde kullanılır. Ancak soğutma ve arıtma sistemlerinde de kullanılırlar.

PVC'den daha rijittirler ancak, çözücülere karşı direnci en düşük olan malzemedir.

12-315 mm dış çaplarda üretilen ABS borular, çözücülü yapıştırma veya vidalı yöntemlerle birleştirilebilirler.

Bu malzemelerde yeni bir gelişme de, DWV sistemlerinde kullanılan köpük özlü ekstrüzyon ABS borularıdır. Bu borular katı kabuk arasında sıkıştırılmış köpük öz içerirler. Daha az reçine gerektirmesi, bu borulara maliyet avantajı sağlamaktadır.

### Polibütülen (PB)

Polibütülen, plastik boru sistemleri için yeni bir malzemedir. Sürünme özelliği çok düşüktür, gerilmeli çatlamaya ve aşınmaya karşı direnci yüksektir. Pek çok yönden III. tip polietilene benzer. Ancak mekanik dayanımı daha yüksektir ve 110°C'ye kadar özelliklerini korur. Düşük sıcaklıklarda ise pek çok asit, baz veya polar çözücüye karşı direnci yüksektir.

Ana kullanım alanı su dağıtım hatlarıdır. Bununla beraber, basınçlı sıvı ve gazların taşınmasında, sulu karışım iletiminde ve kimyasal atık hatlarında kullanılır.

450 mm dış çapa kadar bulunan polibütülen borular; alın kaynağı, soket kaynağı ve mekanik yöntemlerle birleştirilebilir.

### Polipropilen (PP)

Polipropilen pek çok özelliği yönünden polietilene benzer. Ancak, sıcaklığa karşı direnci daha yüksektir, daha sert, rijit ve hafiftir (yoğunluğu ~0,90 g/cm<sup>3</sup>). Bununla beraber tokluk değeri daha düşüktür. Kimyasallara karşı direnci polietilene yakın değerler gösterirken, organik çözücülere karşı direnci PVC ve ABS'den yüksektir. Basınçsız tesisatlarda 90°C'ye kadar kullanılır.

Endüstriyel sistemler, kanalizasyon hatları, bina içi temiz su ve pis su tesisatları başlıca kullanım alanlarıdır. Basınçlı korozif kimyasalların taşınması ve asidik koroziflerin drenajı endüstriyel uygulamalarıdır.

300 mm dış çapa kadar bulunabilir. Alın kaynağı, soket kaynağı, elektrofüzyon kaynağı, çözücülü yapıştırma ve mekanik bağlantı yöntemleri ile birleştirilebilir.

Çizelge 2.1 Termoplastik boru malzemelerinin özellikleri (\*ort. Değer, \*\* II. ve III. Tip)

Plastik Tipi	Yoğunluk	Isıl Gen. Katsayısı	Isıl İletken.	Isıl Dön. Sıcaklığı	Gerilme Dayanımı	Basınç Dayanımı	Eğilme Dayanımı	Elastiklik Modülü
	g/cm <sup>3</sup>	10 <sup>-6</sup> /°C	W.m <sup>-1</sup> .°C <sup>-1</sup>	°C-182 MPa	MPa	MPa	MPa	GPa
	ASTM D 792	ASTM D 696	ASTM D 177	ASTM D 648	ASTM D 638	ASTM D 695	ASTM D 790	ASTM D 638
PVC	1,38	50	0,16	74	48,3	62,2	99,8	3,1(4,5)
CPVC	1,54	79	0,14	102	50,3	106,9	99,8	2,5
PE UHMW	0,95	149	0,50	77	23,4	--	19,3	0,48
PE**	0,92-0,95	130-180	0,33-0,50	--	12,0-19,3	--	11,7-13,8	1,4-10
ABS	1,04	101	0,20	92	37,9	53,1	68,9	2,1
PP	0,91	68	0,19	66	33,8	58,6	58,6	1,0

## **Diğer Termoplastikler**

PVDC (poliviniliden klorür), PVDF (poliviniliden florür), CAB (selüloz asetat bütirat), PTFE (politetrafloretillen) ve FEP (florlu etilen propilen) termoplastik boru üretiminde kullanılan diğer bazı polimerlerdir. Bu malzemeler daha önce açıklananlardan daha pahalı olduklarından sadece özel uygulamalarda kullanılmaktadırlar. [17,18,19,20]

### **2.3 Termoplastik Boruların Avantajları**

*Düşük Isıl İletkenlik:* Plastiklerin ısıl iletkenliklerinin düşük olması, borularda iletilen akışkanın sıcaklığının düzgün dağılmasını ve sürekliliğini sağlar. Genellikle boru yalıtımı için ilave bir malzemeye gerek duyulmaz. Böylece, hem enerji tasarrufu sağlanır, hem de donmayı önleyen ilave sistemlerin kurulum ve bakım maliyeti ortadan kalkar. Bu durum özellikle, soğuk hava şartlarında vizkoz akışkanların pompalanması sırasında büyük önem taşır. Proses sıcaklığındaki birkaç derecelik değişimin, bakteri oluşumu tehlikesine neden olduğu ilaç vb. sanayi kolları için de bu özellik faydalıdır.

*Galvanik Korozyon Direnci:* Plastik malzemenin büyük bir kısmının elektrik iletkenliği çok düşüktür (pratik olarak yalıtkan sayılırlar) bu nedenle galvanik veya elektrolitik (asit, baz veya tuz elektrolitlerin neden olduğu) korozyondan etkilenmezler. Oysa, yeraltına döşenen metal borular için bu durum, önemli bir problem oluşturur, gerekli önlemler alınmadığı takdirde korozyon nedeniyle borular çalışamaz hale gelir. Bu nedenle yeraltı petrol tanklarında ve bağlantılı borularda geniş ölçüde plastik malzeme kullanılır. Ayrıca plastik boru malzemeleri biyolojik açıdan saldırgan ortamlardan da etkilenmez.

*Kimyasallara Karşı Dayanım:* Termoplastik boruların korozyon dirençleri metal borulardan çok daha üstündür. Ortamdaki su veya nemden neredeyse hiç etkilenmezler. Metallerin çevresel korozyona neden olan yüzey saldırılarından etkilenmedikleri gibi kimyasal çözücülerin bir çoğuyla tepkimeye girmezler. En yaygın termoplastik boru malzemesi olan PVC pek çok kimyasala karşı dirençlidir. Metal borular için kullanılan korozyon hızı kavramı plastiklere uygulanmaz. Asit, çözücülü, halojen, baz veya koroziv ortamda kullanılabilen en az bir plastik boru malzemesi mutlaka bulunur. Termoplastik boruların bazı kimyasallara karşı direnci Çizelge 2.2’de verilmiştir.

*İşletme Maliyeti Düşüklüğü:* Termoplastik boruların dışında korozyon (pas, kireçlenme veya çukurcuk) oluşmaz. Bu nedenle boyama, plastik kaplama, galvanizleme, elektro kaplama ve katodik koruma gibi tedbirler gerektirmez. Bu ise işletme maliyetini düşürür.

*Uzun İşletme Ömrü:* Termoplastik boruların işletme ömürleri uzundur. Zor saha şartlarına uygun olarak, yüz yıla varan ömür için test edilirler. Bu süre içerisinde fiziksel ve moleküler özelliklerinde herhangi bir sapma meydana gelmez. Ayrıca aşındırıcılara karşı dirençleri yüksektir. Katı parçacıklı yarı-sıvı malzemeler metal borularda hızla aşınmaya neden olurken, termoplastiklerde önemli bir etkiye sahip değildir.

Çizelge 2.2 Termoplastik boruların kimyasallara karşı direnci (U: uygun, UD: uygun değil, S: sınırlı)

Kimyasallar	ABS	PVC		CPVC	PE	PEX	PB	PP	PVDF
		I	II						
<b>İnorganik Kimyasallar</b>									
Asitler, seyreltik	U	U	S	U	U	U	U	U	U
Asitler, konsantre (<80%)	S	S	S	U	S	S	S	S	U
Asitler, oksitleyici	S	UD	UD	S	UD	S	UD	UD	U
Alkaliler, seyreltik	U	U	U	U	U	U	U	U	U
Alkaliler, konsantre (<80%)	S	U	S	U	U	U	U	U	U
Gazlar,	S	S	S	S	S	S	S	S	U
Gazlar, amonyak, kuru	S	U	S	U	U	U	U	U	U
Gazlar, halojen, kuru	S	S	S	S	S	S	S	UD	U
Gazlar, azot içeren, kuru	UD	U	S	U	U	U	S	UD	U
Tuzlar, asidik	U	U	U	U	U	U	U	U	U
Tuzlar, bazik	U	U	U	U	U	U	U	U	U
Tuzlar, nötr	U	U	U	U	U	U	U	U	U
Tuzlar, oksitleyici	S	S	S	S	U	U	U	U	U
<b>Organik Kimyasallar</b>									
Asitler	U	U	U	S	U	U	U	U	U
Asit anhidritler	S	S	S	UD	S	S	S	S	S
Alkoller, glikol	S	U	S	U	S	U	U	U	U
Esterler, eterler, ketonlar	UD	UD	UD	UD	S	S	S	S	S
Hidrokarbonlar, alifatik	S	S	S	U	S	S	S	S	U
Hidrokarbonlar, aromatik	UD	UD	UD	S	UD	S	UD	UD	U
Hidrokarbonlar, halojenli	S	S	S	S	UD	S	UD	UD	S
Doğal gaz (yakıt)	U	U	U	U	U	U	U	U	U
Mineral Yağ	U	U	U	U	S	U	U	U	U
Yağlar, hay. ve bitkisel	U	U	U	U	S	U	U	U	U
Sentetik gaz	S	S	S	S	S	S	S	S	U

*İç Yüzey Pürüzlülüğü:* Metal borular kullanım öncesi düzgün yüzeylere sahiptirler, ancak işletmeye alınmalarından kısa bir süre sonra, iç yüzeylerinde tortu birikimi ve pullanma oluşur. Bu durum, sistemde zamanla basınç kaybına ve akışın zayıflamasına neden olur. Plastik boruların iç yüzey pürüzlülüğü metallere oranla ortalama % 25 daha düşüktür. Bu ise düşük dirence ve sürtünme katsayısına sahip oldukları anlamına gelir. Bu nedenle, kirlenme eğilimi azalır ve iç yüzey özelliklerini zamanla korur.

*Uygulama Giderlerinin Düşüklüğü:* Termoplastik boruların sahip olduğu çeşitli avantajlar uygulama giderlerini oldukça düşürmektedir. Taşıma, kesme, vidalama, kaynak işlemleri için daha az güç gerekir. Özellikle küçük çaplı termoplastik boruların kangal haline getirilebilmeleri maliyeti oldukça düşürür. Büyük çaplarda ise ilk giderlerin fazla olmasının getirdiği dezavantaj, bakım giderlerinin az olması ve işletme ömrünün uzunluğu sayesinde aşılır. Ayrıca, döşeme için daha basit donanım gerektirir.

*Esneklik:* Termoplastik borular esnek olmaları sayesinde, döşeme doğrultusundaki küçük sapmalara rahatlıkla uyum sağlayabilirler. Bu durum özellikle yeraltı uygulamalarında büyük avantaj sağlar. Ayrıca esneklikleri mekanik şokları absorbe etmelerine yardımcı olur.

*Daha Az Enerji İle Üretim:* Termoplastik ekleme parçalarının üretiminde metallere göre % 50 daha az enerji harcanmaktadır. Bu nedenle termoplastiklerin çoğunun hidrokarbon esaslı ve petrol türevli olmalarına rağmen, plastiklerin kullanımını doğal kaynakların tüketimini azaltmaktadır.

*Hafiflik:* Termoplastik boruların hafif olması, nakil giderlerini ve uygulanması için gerekli işgücünü azaltmaktadır.

*Zehirsiz Oluşu:* Çoğu akışkan termoplastik borularla kirlenmeden taşınabilir. NSF (National Sanitation Foundation) tarafından içme suyu standartlarına uygun ürünler listelenmiştir. Ayrıca FDA (Gıda ve İlaç İdaresi) laboratuvarları ve benzer kurumlar tarafından gereken şartları yerine getiren plastik malzemeler belirlenmektedir.

*Kullanım Sıcaklığı:* Termoplastik borular genellikle  $-40^{\circ}\text{C}$ 'den  $150^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar işletme sıcaklıklarında kullanılabilir. Bu sıcaklık bazı malzemelerde  $250^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar çıkar. Kullanım sıcaklıkları metal borulara göre oldukça düşük olmasına rağmen, pek çok kimyasal proses uygulamaları için yeterlidir. [21]

#### **2.4 Termoplastik Boruların Dezavantajları**

Termoplastiklerin mekanik dayanımları ve rijitlikleri metallere göre daha düşüktür. Sıcaklığa karşı daha hassastırlar. Bu nedenle daha düşük basınç ve sıcaklıklarda kullanılırlar.

İyi bir tasarım için termoplastik malzemelerin vizkoelastik yapısı dikkate alınmalıdır. Çünkü, termoplastiklerde gerilim-gerinim ilişkisi metallere göre daha basit değildir. Yükleme şekline, sıcaklığa ve ortam şartlarından oldukça etkilenir. Bu etkiler ise, termoplastiğin türüne, katkı maddelerinin miktarına, modifiye edicilerine ve üretim şartlarına bağlı olarak belirgin değişiklikler gösterir.

*Isıl Genleşme:* Termoplastiklerin ısı genleşme miktarı metallere göre yaklaşık on kat fazladır. Bu nedenle uygulama sırasında ortam ve akışkan sıcaklığı dikkate alınmalıdır. Uygun şekilde tasarlanarak yerleştirilmeyen borularda çökme meydana gelebilir.

*Düşük Darbe Dayanımı:* Termoplastiklerin darbe dayanımı metallere göre oldukça düşüktür. Bu nedenle termoplastik boru döşenirken, hat üzerindeki muhtemel araç ve yaya trafiği değerlendirilmeli, gerekiyorsa ek önlemler alınmalıdır.

*Yanma Özelliği:* Çoğu termoplastik boru malzemesi yanmaz özelliğe sahiptir. Yani, alevi oluşturan sıcaklık kaynağı uzaklaştırıldığında yanma durur. Buna rağmen, termoplastiklerle yanıcı akışkanların taşınması veya termoplastik hatların yangına dayanıklı duvarlardan geçişi sınırlandırılmıştır. Termoplastik borularla taşınabilecek akışkanlar ve tesisatın yangına dayanıklı duvarlardan ne şekilde geçeceği yangın yönetmeliklerinde belirtilir.

*Düşük Gerilme Dayanımı:* Termoplastik boruların kullanımını sınırlandıran diğer bir neden ise düşük gerilme dayanımlarıdır. Metal borulara göre taşıyabileceği yük daha düşüktür ve bu nedenle daha fazla destek kullanılır. [21]

## 2.5 Malzeme Seçimi

Plastik boru tesisatında uygun malzeme seçimi yapabilmek için tesisata ve uygulamaya dair önbilgiler elde edilmelidir. Bu önbilgiler özetle şunlar olmalıdır:

- *İşletme Şartları:* çalışma basıncı ve sıcaklığı, yerüstü-yeraltında çalışma durumu
- *Akışkan Özellikleri:* viskozite, özgül ağırlık, akış hızı
- *Boru Boyutları:* kullanılacak boruların boyut aralığı
- *Özel Şartlar:* uyulacak standartlar ve şartnameler

Elde edilen önbilgiler ışığında; kimyasal uyumluluk, basınç-sıcaklık uyumu, uygun boyutların bulunabilirliği, birleştirme yöntemi ve maliyet faktörleri değerlendirilerek uygun malzeme seçilir. [22]

## 2.6 Plastik Boruların Sınıflandırılması

Plastik borular farklı yöntemlere göre sınıflandırılabilirler. En çok kullanılan iki sınıflandırma yöntemi; geometrik parametrelere veya halka rijitliğine göre sınıflandırmadır.

### 2.6.1 Geometrik Parametrelere ve İç Basınç Direncine Göre Sınıflandırma

Bu sınıflandırma genellikle basınçlı termoplastik borularda kullanılır.

- S (Boru Serileri); ortalama boru yarıçapının et kalınlığına oranı ile belirlenir (Eşitlik 2.1).

$$S = (D_e - e) / 2.e = D_m / 2.e \quad (2.1)$$

- SDR (Standart Çap Oranı); boru dış çapının et kalınlığına oranı ile belirlenir (Eşitlik 2.2).

$$SDR = D_e / e \quad (2.2)$$

- PN (Nominal Basınç); oda sıcaklığında en az 50 yıl boyunca borunun direneceği iç hidrostatik basınç olarak belirlenir.

- MRS (Gerekli En Düşük Dayanım); borunun oda sıcaklığında en az 50 yıl boyunca direneceği iç hidrostatik basıncın değerinin 10 ile çarpımıdır. EN ISO 12162'de basınç uygulanan durumlarda kullanılan boru ve ekleme parçaları için tasarım gerilmesini hesaplama yöntemi MRS değerine bağlı olarak şu şekilde verilmiştir.

Burada, tasarım gerilmesi ( $\sigma_s$ ) belirli bir uygulama için müsaade edilen gerilmedir ve bu değer, MRS değerinin C katsayısına bölünmesiyle elde edilir (Eşitlik 2.3). C katsayısı ise plastik malzemeler için en alt sınır olarak belirlenmiştir. Örneğin tüm PE malzemeler için 1,25 değeri alınmalıdır.

$$\sigma_s = \frac{[MRS]}{C} \quad (2.3)$$

Bu sınıflandırmaya örnek olarak yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) PE 100 malzemedен, dış çapı ( $D_e$ ) 315 mm, et kalınlığı ( $e$ ) 28,6 mm olan bir termoplastik boru için,

$$S = 5,$$

$$SDR = 11,$$

$$PN = 16 \text{ bar},$$

$$MRS = 10 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_s = 8 \text{ MPa bulunur.}$$

### 2.6.2 Halka Rijitliğine Göre Sınıflandırma

Bu sınıflandırma ise genellikle; drenaj hatlarında kullanılan borularda, cam takviyeli plastik borularda (GFRP) ve diğer kompozitlerde kullanılır.

- $SR$  (Boru Halka Rijitliği) Eşitlik 2.4'te belirtilen şekilde hesaplanır.

$$SR = 8.E.I / D_m^3 \quad (2.4)$$

- $S$  (Hesaplanan Halka Rijitliği) Eşitlik 2.5'te belirtilen şekilde hesaplanır.

$$S = E.I / D_m^3 = SR/8 \quad (2.5)$$

- $S_i$  (Kısa Dönem Halka Rijitliği) Eşitlik 2.6'da belirtilen şekilde hesaplanır.

$$S_i = E_i.I / D_m^3 \quad (2.6)$$

- $S_t$  (Uzun Dönem Halka Rijitliği) Eşitlik 2.7'de belirtilen şekilde hesaplanır.

$$S_t = E_t.I / D_m^3 \quad (2.7)$$

Bu sınıflandırılmaya örnek olarak nominal çapı ( $DN$ ) 500 mm, et kalınlığı ( $e$ ) 10,7 mm, nominal basıncı ( $PN$ ) ise 10 bar olan GFRP boruyu ele alalım. Borunun hesaplanan halka rijitliği  $SR = 0,04 \text{ N/mm}^2$  olmaktadır.

Böylece borunun rijitlik sınıflandırması:  $S = SR / 8 = 5000 \text{ N/mm}^2$  şeklinde yapılır. [23,24]

## 2.7 Birleştirme Yöntemleri

### 2.7.1 Yapıştırma Yöntemi

ABS, CPVC ve PVC, çözücülü yapıştırma yöntemi ile birleştirilebilen boru malzemeleridir. Bu malzemeler için mekanik birleştirme yöntemleri de kullanılabilir. PE, PEX ve PP ise çözücülü yapıştırma ile birleştirilemez.

Çözücülü yapıştırmada borunun ucu ile soket tipi bir ekleme parçası veya diğer borunun soket şeklindeki ucu birleştirilir. Borunun soket içerisine rahatça yerleşmesi için, soketin iç çapı, bir miktar artırılır. Yapıştırıcı boru ucunun dış yüzeyine ve soketin iç yüzeyine sürülür. (Üretici önermişse önce astar kullanılır). Ardından boru ucu soket içerisine yerleştirilir. Birleştirilecek yüzeyler, kısmi olarak çözünmeye ve yumuşamaya başlar. Bu sırada meydana gelen kimyasal füzyon sayesinde, boru ve ekleme parçası arasında bir bağlantı oluşur. Çözücünün uçmasının ardından birleştirme işlemi tamamlanır. Farklı termoplastiklerin çözücülü yapıştırıcı ile birleştirilmeleri için çeşitli standartlar bulunmaktadır (PVC için ASTM D 2855, CPVC için ASTM F 493, ABS için ASTM D 2235). [25]

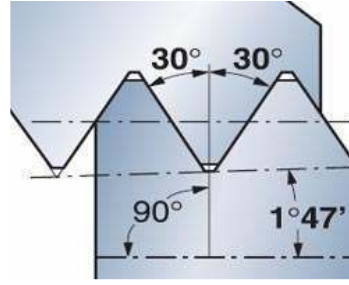
## 2.7.2 Mekanik Birleştirme Yöntemleri

### 2.7.2.1 Esnek Conta İle Birleştirme:

Yeraltına döşenen PVC borular ile drenaj hattında kullanılan borular çoğunlukla esnek o-ring veya conta yardımıyla birleştirilir. Burada kesilerek istenilen ölçüye getirilen borunun uçları yuvarlatılır. Uçlarına yağlayıcı malzeme sürülen borular hızlıca conta veya o-ring içerisine sokulur. ASTM D3212 ve ASTM D3139 ilgili standartlardandır.

### 2.7.2.2 Vidalı Birleştirme:

Bazı plastik boru ekleme parçaları bir tarafı NPT konik tip (Şekil 2.1) dişli diğer tarafı ise dişi veya erkek plastik olarak imal edilirler. Bu ekleme parçaları farklı iki cins boru malzemesinin birleştirilmesinde adaptör olarak kullanılır.



Şekil 2.1 NPT konik diş formu

PE 80 özellikte; CPVC, PVC, PVDF veya PP plastik borulara özel paftalar yardımı ile vida açılabilir. Boru vidalama usulü belli standartlara göre, örneğin ASTM F 1498'e uygun olarak yapılır. Borulara vida açılması, çalışma basıncını % 50 oranında düşürmektedir. Vidalı yöntemle birleştirilen plastik boruların en büyük çalışma basınçları çözücülü yapıştırma ile birleştirilenlerden daha düşüktür. Çözülebilir olması ise bu yöntemin avantajıdır.

Vidaların sızdırmazlığını sağlamak amacıyla tüm plastik boru malzemeleri için teflon (PTFE) bant önerilir. Ayrıca, üretici tarafından önerilen dolgu macunları da kullanılabilir.

### 2.7.2.3 Mekanik Ekleme:

Genellikle içme suyu ve sıcak sulu ısıtma sistemlerinde, PE veya PEX tesisatlarda kullanılan bir yöntemdir. Üç farklı şekilde uygulanabilir:

İlk yöntemde metal ekleme paçası boru içerisine sokulur, borunun dışını saran metal yüzük özel bir pense ile sıkıştırılarak (Şekil 2.2) birleştirme işlemi tamamlanır. Bu birleştirme yöntemi çözülemez türdedir.

İkinci yöntemde rakor ile konik iç yüzük kullanılır. Rakor vidalandıkça, boru içerisindeki yüzük boruyu sıkıştırarak sızdırmazlığı sağlar.



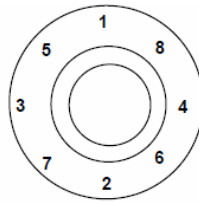
Şekil 2.2 Dış yüzüğün sıkıştırılması ile birleştirme

Üçüncü yöntemde ise ucuna yiv açılan borunun özel olarak hazırlanan ekleme parçasına saplanmasıyla birleştirme sağlanır.

#### 2.7.2.4 Flanşlı Birleştirme:

Tüm termoplastik borulara uygulanabilen yöntem sık sökülen bağlantılarda tercih edilir. Yöntem çözücülü yapıştırmanın avantajlarına sahiptir. 10 bar çalışma basıncına kadar uygulanabilir.

Boru uçlarına çözücülü yapıştırma veya vidalı yöntemle birleştirilen flanşlar birbirlerine civata ile bağlanır. Sızıntıyı önlemek amacıyla flanşlar arasına conta konulur. Flanşlı birleştirmede, civataların sıkılması ile ilgili olarak üreticinin belirttiği kurallara uyulması önemlidir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 8 delikli bir flanş için civataların sıkılma sırası

Flanşlı birleştirmede, ANSI B16.1'de 150 lb metal flanşlar için belirtilen civata boyutları ve delik sayıları geçerlidir. Civatalar flanş büyüklüğüne göre belirli sırada (Şekil 2.3) ve belirli torkta (Çizelge 2.3) sıkılır. [25,26]

Çizelge 2.3 Flanş büyüklüğüne göre önerilen civata sıkma torkları

Flanş Boyutu (in)	Önerilen Tork (N.m)
1/2 -1 1/2	14-20
2-4	27-41
6-8	45-68
10	72-102
12	108-149
14-24	136

## 2.7.3 Kaynak İle Birleştirme Yöntemleri

### 2.7.3.1 Sıcak Gaz Kaynağı

Sıcak gaz kaynağı ABS dışındaki tüm termoplastik borulara uygulanabilir. Basınç dayanım değerleri sınırlı olduğundan genellikle onarım işlerinde ve bazı özel uygulamalarda kullanılır. Çözücülü yapıştırma veya füzyon kaynağı ile birleştirilmiş borularda küçük sızıntıların giderilmesi ve küçük çaplı branşmanların ana boruya birleştirilmesi bu uygulamalardan bazılarıdır. Bu işlemlerden önce sistemin drenajı gerçekleştirilmeli ve onarılacak kısım kurutulmuş olarak temizlenmelidir.

Kaynak donanımı basittir (Şekil 2.4). Üflemeli manuel kaynak tabancası, termostatlı ısıtma elemanı ve sıcak gazı iş parçasına yöneltmeye yarayan değiştirilebilir nozülleden oluşur. Ayrıca, kaynak sırasında birleştirilecek parçalarla aynı polimer malzemeden dolgu çubuğu kullanılır. Dolgu çubuğu genellikle daire kesitlidir ve çapı 3-4 mm'dir.



Şekil 2.4 (a) Sıcak gaz kaynağının uygulaması (b) torç (c) nozul

Sıcak gaz olarak genellikle hava, bazı uygulamalarda ise azot gazı kullanılır. Kaynak sırasında 200-400°C arasında bulunan sıcak gaz bağlantıya yöneltilir. Parçalarda ve ilave malzemede ergime (veya yumuşama) meydana gelir. Birleşme bölgesinin ve ilave malzemenin füzyona uğramasıyla başlayan birleştirme işlemi, parçaların çevre sıcaklığına kadar soğuması ile tamamlanır.

Çizelge 2.4 Plastik boru malzemeleri için önerilen gaz cinsi ve sıcaklık değerleri

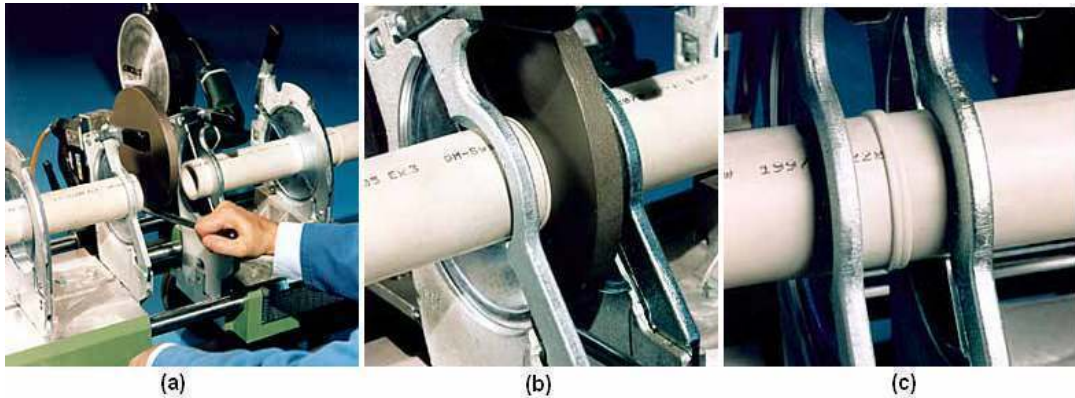
	PVC U	CPVC	PP	PE	PVDF
Kaynak Gazı	Hava	Hava	Hava / Azot	Hava / Azot	Hava
Gaz Sıcaklığı (°C)	330-350	360-410	280-330	300-350	350-400

Elle uygulanan diğer yöntemlerde olduğu gibi kaynak dikişinin kalitesi, büyük oranda operatörün yeteneğine bağlıdır. Dolgu çubuğuna elle uygulanan basınç ve üflenen havanın sıcaklığı işlemin önemli parametreleridir. Sıcak gaz kaynağının avantajı, kolay taşınabilir donanımına sahip olmasıdır. İşlemin yavaş oluşu ve operatör kaynaklı hatalardan etkilenmesi başlıca dezavantajlarıdır. [27]

### 2.7.3.2 Alın Kaynağı

Yöntem 50 ile 1500 mm aralığında dış çapa sahip; polietilen, polipropilen, polibütlen ve poliviniliden florür boruların birleştirilmesinde kullanılır. En çok kullanıldığı alan ise basınçlı (özellikle büyük çaplı) polietilen gaz ve su hatlarının kaynağıdır.

Kaynak işlemi için hidrolik veya manuel tipte bir kaynak makinası kullanılmaktadır (Şekil 2.5a). Kaynak makinasında boru uçlarını ergitmeye yarayan bir sıcak eleman bulunur. Elektriksel olarak ısıtılan bu aparat özel alaşımdandır ve boruya yapışmasını önleyen bir malzeme ile kaplanmıştır. Cihaz ayrıca boruları sabitlemeye yarayan kelepçeler ve boru ucunu tıraşlamak için kullanılan araçları içerir.



Şekil 2.5 Alın kaynağının uygulanışı (a) kaynak makinasına bağlanmış borular (b) boruların sıcak elemana teması (c) sıcak eleman ayrıldıktan sonra boruların biraraya getirilerek basınç altında soğuması

Birleştirme işlemi beş aşamada gerçekleşir:

- *Yığma*: Kesilen ve aynı hizaya getirilen borular başlangıç yığma basıncı ile sıcak elemana bastırılır. Basınç, boru uçları ergimeye başlayıp, her iki boru ucunda uniform

bir yığma çapağı oluşuncaya kadar uygulanır (Şekil 2.5b). Yığma çapağının boyutu; malzemeye ve borunun çapına göre değişiklik gösterir (Çizelge 2.5).

- *Isı Nüfuziyeti:* Çapağın belirli boya ulaşmasının ardından basınç düşürülür. Bir süre boyunca sadece borunun sıcak elemana temasını sağlayacak düzeyde tutulur. Bu süre boru çapına ve et kalınlığına bağlı olarak değişir. Burada, çapak boyu artmadan, ısı nüfuziyetinin ve ergimenin daha derine ilerlemesi amaçlanır.

Çizelge 2.5 PE borularda sıcak elemanın ayrılması için gerekli çapak boyutu

Boru çapı (mm)	Çapak Boyu (mm)
40mm'ye kadar	1-2
40<DN<=90	2
90<DN<=225	3-5
225<DN<=315	5-6
315<DN<=630	6-11
630<DN<=915	11
915<DN<=1600	14

- *Sıcak Elemanın Ayrılması:* Isı nüfuziyeti için gereken süre tamamlandığında, boru uçlarının ısıtıcı elemandan çekilerek sıcak elemanın ayrılması sağlanır. Bu işlem çok kısa bir sürede tamamlanır.
- *Füzyon:* Sıcak elemanın ayrılmasının ardından, boru uçları yumuşak ve kontrollü olarak biraraya getirilir ve uygulanan basınç başlangıçtaki değerine çıkarılır (Şekil 2.5c). Büyük çaplarda, hidrolik alın kaynak makinalarında, Newton cinsinden, boru ucu yüzey alanının, 0,4-0,6 katı kadar baskı kuvveti uygulanmalıdır. Manuel kaynak makinalarında bu işlem için tork anahtarı kullanılır.
- *Soğuma:* Füzyon aşamasının sonunda, birleştirilen borular basınç altında soğumaya bırakılır. Soğuma zamanı boru malzemesine ve çapa bağlı olarak değişmektedir.

Yöntemin ucuz olması, dayanım değerlerinin yüksek olması ve ilave parçalar gerektirmemesi önemli avantajlardır. Kazısız teknikle çekilen hatlarda da kullanıma uygundur.

Ancak, farklı et kalınlıklarına sahip olan termoplastik borular veya aynı malzemeden farklı polimer derecelerine sahip olan termoplastik borular bu yöntemle birleştirilemez. Ayrıca, kaynak donanımı için gereken alan, dar olan bölgelerde yapılan saha çalışmalarında önemli dezavantajlar oluşturur. [28]

### 2.7.3.3 Soket Kaynağı

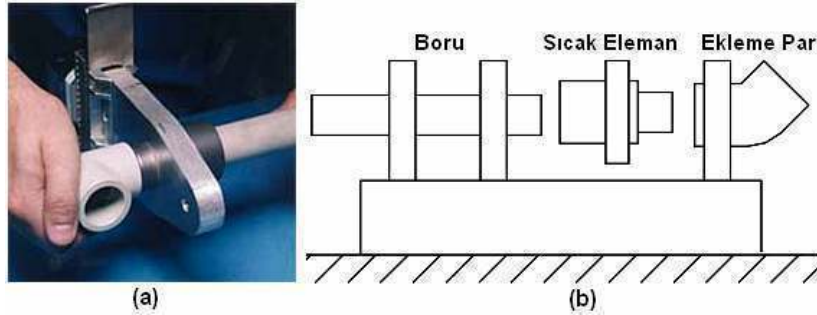
150 mm çapa kadar polietilen, polipropilen, polibütilen ve poliviniliden florür borulara uygulanabilir. Yöntem özellikle kimyasal proses uygulamalarında kullanılmaktadır.

Yöntem Çizelge 2.6'da belirtilen ergime akış hızlarına sahip polimerlere uygulanabilir. Aynı türdeki polimerler malzemelerin birleştirilmesinde uygulanabilirken, PE 100 ve PE 80 gibi aynı polimer malzemelerin farklı dereceleri de bu yöntemle birleştirilebilir.

Çizelge 2.6 Soket kaynağının uygulanabileceği ergime akış hızı aralıkları

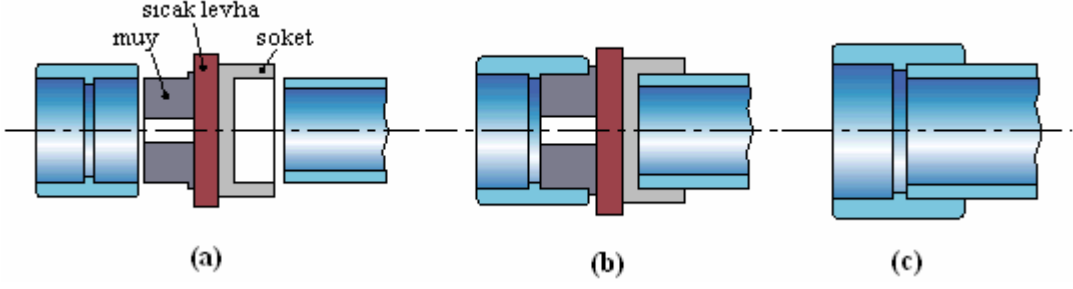
Malzeme	MFR (g/10d)
PE	0,3-1,7 MFR 190/5
PP	0,4-0,8 MFR 190/5
PVDF	1,0-25 MFR 230/5

Kaynak donanımı, kaynak makinası (Şekil 2.6a) ve ilave cihazlardan oluşur. Kaynak makinasında ayarlanabilir termostatlı ve rezistanslı bir sıcak eleman bulunur. Sıcak elemanın bir yanına boru dış çapına uygun metal soket, diğer yanına ise manşon iç çapına uygun metal muy bağlanır. 50 mm dış çapa kadar borular elle kaynaklanabilirken, 63-150 mm çaplarda elle kumandalı, sabitleme kelepçeleri ve kaydırma tertibatı bulunan düzenler kullanılır (Şekil 2.6b). Büyük çaplı borularda pah kırmak için ek cihaz gereklidir. Küçük çaplı borularla yapılacak kaynak işleminin sayısı fazlaysa yine bu düzenlerin kullanılması önerilir.



Şekil 2.6 Soket kaynağı makinası (a) elle kullanım (b) kaydırma tertibatı

Yöntem eklemeye parçasının ve boru ucunun sıcak eleman yardımıyla aynı anda ergitilerek birleştirilmesi esasına dayanır. Sıcak elemana monte edilmiş metal soket borunun dış yüzeyini ısıtır (Şekil 2.7). Aynı anda sıcak elemanın diğer tarafındaki metal muy ise eklemeye parçasının iç yüzeyini ısıtır. Isıtma, boru ve eklemeye parçasının ölçülerine bağlı belirli bir uzunluk boyunca yapılır. Boru ve eklemeye parçasında ısıtılan bölgelerin uzunluğu aynıdır.



Şekil 2.7 Soket kaynağı işlemleri. (a) Hazırlık, (b) Hizalama ve ön ısıtma, (c) Birleştirme ve soğuma

Boru ve ekleme parçasının belirli süre boyunca ısıtılmasının ardından, yüzeylerinde meydana gelen kısmi ergimenin ardından, soket ve muy çıkarılır. Boru, ekleme parçasının içine yerleştirilir. Kaynak işleminin tamamlanması için parçaların önceden belirlenen bir süre boyunca soğumaları sağlanır. [29]

#### 2.7.3.4 IR (Kızılötesi) Kaynağı

Kızılötesi yöntem, polimer malzemelerin sıkıştırarak kalıplanmasında, ön-ısıtma işlemlerinde uzun yıllardan beri kullanılan bir yöntemdir. Buna karşın termoplastiklerin birleştirilmesinde kızılötesi kaynak yöntemi ticari olarak 1980'li yılların sonlarında ortaya çıkmıştır.

Kaynak donanımı, kızılötesi kaynak makinası ile boru tıraşlama tertibatı gibi yardımcı araçlardan oluşur. Kızılötesi kaynağı polietilen, polipropilen ve poliviniliden florür malzemelere uygulanabilmektedir. 20-315 mm dış çaplardaki borular için geliştirilen kaynak cihazları mevcuttur. Şekil 2.8'de bir kızılötesi kaynak makinası gösterilmiştir.



Şekil 2.8 Kızılötesi kaynak makinası

Termoplastik borular; alın kaynağındaki ilkedden yararlanarak kızılötesi yöntem ile iki farklı şekilde birleştirilebilirler:

*Temassız Sıcak Levha Kaynağı:*

Bu yöntemde, elektrik direnci ile ısıtılan (bazı durumlarda seramikle kaplı) sıcak levha kullanılmaktadır. Metal levha, birleştirilecek boru malzemelerinin cinsine ve kaynak makinasının kapasitesine göre 310-510°C'ye kadar ısıtılır. Boru uçları, sıcak levhaya temas etmeden (genellikle 0,2 mm aralık kalacak şekilde) yaklaştırılarak, radyasyon ve konveksiyona bağlı olarak ergir (veya yumuşar). Daha sonra levha aradan çekilir, boruların birbirlerine bastırılması ile kaynak işlemi gerçekleştirilir.

*IR Lambası Kaynağı:*

Bu yöntemde, standart ısıtıcı levha yerine hareketli baskı levhasının her iki yanına bağlanmış kızılötesi yayıcılar bulunur. Geleneksel alın kaynağı yöntemine göre çok daha yüksek güç kullanılır. Kaynak süresi belirgin şekilde kısalmıştır. Yöntem, baskı levhasına ek yayıcı yerleştirilerek, geniş yüzey alanına sahip malzemelerde de kullanılabilir.

Birleşme bölgesi, sıcak eleman kaynağı ile aynı dayanım özelliklerine sahiptir. Bununla beraber ısıtma süresi yarı yarıya azalmıştır. Bu durum toplam kaynak süresini de düşürür. Boru uçlarının sıcak elemana temas etmeden ısıtılması, boru uçlarının kirlenmesi riskini azaltır. Başlangıç basıncı olmaması ise çapak miktarının daha düşük seviyelerde olmasını sağlar. [30]

### 2.7.3.5 Elektrofüzyon Kaynağı

Elektrofüzyon kaynağı bir sonraki bölümde incelenecektir.

Termoplastik borulara uygulanan kaynaklı birleştirme yöntemlerine ait bir karşılaştırma Çizelge 2.7'de verilmiştir.

Çizelge 2.7 Termoplastik boru malzemelerine uygulanan kaynaklı birleştirme yöntemleri

	<b>Alın Füzyon</b>	<b>Elektro Füzyon</b>	<b>Soket Füzyon</b>	<b>Sıcak Gaz</b>	<b>IR (K.Ötesi)</b>
PP	√	√	√	√	√
PE	√	√	√	√	
PB	√		√		
PVC				√	
PVDF	√		√		√
ABS					
DN [mm]	63-1500	16-800	E1<50 Mak. 63-150		20-225

### 3. ELEKTROFÜZYON KAYNAĞI

#### 3.1 Yöntemin Ortaya Çıkışı ve Gelişimi

Günümüze kadar elektrofüzyon kaynağı için birkaç farklı tasarım geliştirilmiştir. Bu tasarımlar, ekleme parçası geometrisi, ısı oluşumu mekanizması ve malzeme türüne bağlı olarak farklılıklar göstermişlerdir.

Halen kullanılan tasarım, ilk defa 1970'lerin başında ortaya çıkmış ve standart hale gelmiştir. Burada, içerisinde gömülü direnç teli bulunan özel geometriye sahip ekleme parçaları kullanılır. Direnç telinden belirli süre boyunca akım geçirilerek kaynak ısısı elde edilir.

Elektrofüzyon kaynağında eski önemlerini yitiren iki farklı tasarım daha bulunmaktadır. 1970'lerin son yıllarında geliştirilen bir tasarımda iletken ve ısıyla-daralma özelliğine sahip polimer malzemedeki ekleme parçaları kullanılmıştır. Ekleme parçasına akım verilerek içindeki iletken parçacıkların ısınması sağlanmış, böylece kaynak ısısı elde edilmiştir.

1980'lerin ilk yıllarında geliştirilen diğer bir tasarımda ise ekleme parçası içine gömülü tel kafes kullanılmıştır. Kaynak ısısı, dışarıdan manyetik alan uygulanarak, kafes içerisinde indüksiyon oluşturulması sayesinde elde edilmiştir.

#### 3.2 Yöntemin Esasları

Elektrofüzyon kaynağı esas olarak basınçlı su ve gaz taşıyan polietilen hatlarda kullanılmaktadır. Polipropilen ve poliviniliden florür borular da bu yöntemle birleştirilebilir.

Elektrofüzyon kaynağı 16-500 mm dış çaplardaki boruların birleştirilmesinde kullanılır.

Elektrofüzyon kaynağında içinde sargı halinde direnç teli bulunan ekleme parçaları kullanılır. Birleştirilecek boruların uçları ekleme parçasının içerisine yerleştirilir. Ekleme parçası içerisindeki durdurucu, boru uçlarının birbirine temasını önler.

Kaynak işlemi öncesinde boru uçları düzgün ve dik şekilde kesilir, yüzey temizliğinin sağlanması amacıyla birleştirilecek boruların yüzeyleri kazınır. Borular ekleme parçası ile aralarında meydana gelebilecek hareketi önlemek için sabitlenir. Kaynak işlemi sırasında, üzerinden akım geçen direnç teli ısınarak etrafındaki polimerin ergime sıcaklığına ulaşmasına neden olur.

Burada meydana gelen olaylar, ısıtılma, ekleme parçasının ısı genleşmesi, ısı nüfuziyeti ve birleşim bölgesinin soğuması olarak sıralanır.

### ***Avantajları***

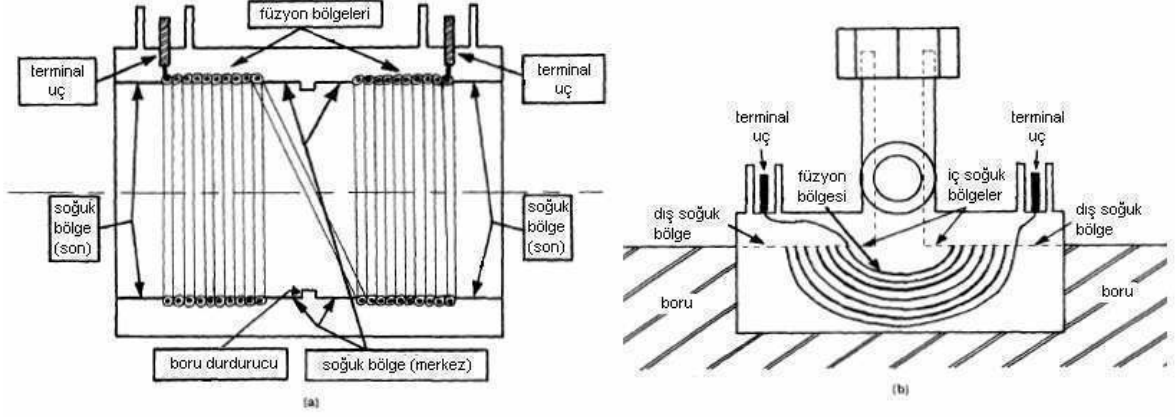
- Kaynak donanımı hafiftir, ucuzdur ve kolay taşınabilir. Bu durum çalışma bölgesinin dar, boru hareketinin kısıtlı olduğu sahalarda kullanım ve onarım işlemlerini kolaylaştırır.
- İşlem kontrol cihazında herhangi bir ayar yapılmadan, üreticinin hazırladığı barkodun okutulması ile uygun parametrelerle hızlı bir şekilde gerçekleştirilebilir.
- Özellikle büyük çaplı borularda operasyon hızı diğer yöntemlerden üstündür.
- Yarı otomatik karakteri sayesinde operatör kaynaklı hatalar en aza indirilmiştir.
- İşlemin ilerleyişi, ekleme parçalarındaki indikatörler sayesinde görsel olarak takip edilebilir.
- Gelişmiş kontrol cihazları sayesinde işlem verileri saklanır, bilgisayara aktarılarak incelenebilir.
- Farklı et kalınlıklarındaki borular veya farklı dereceden borular (PE80 ve PE100 gibi) bu yöntemle rahatlıkla birleştirilebilir.
- Malzemenin mekanik dayanım değerlerinde ve boru iç çapında değişikliğe neden olmaz.

### ***Dezavantajları***

- İşlem ilave malzeme (ekleme parçaları) gerektirir ve bu parçalar üretim teknolojisi nedeniyle daha pahalıdır.
- Yüzey hazırlığı işlemleri daha ayrıntılı olarak yapılır.
- Soket tipi ekleme parçalarında, soğuk bölgenin oluşumu için montaj boşluğunun belirli sınırı geçmemesine dikkat edilmelidir.
- Genellikle, -12°C'ye kadar olan sıcaklıklarda uygulanabilir.

### **3.3 Elektrofüzyon Ekleme Parçaları**

Elektrofüzyon manşonun genel temsili Şekil 3.1a'da gösterilmiştir. Ekleme parçasının iç çapı manşon boyunca sabittir ve genellikle boru dış çapından bir miktar büyüktür. Bu durum boşluklu tasarım olarak ta bilinir. Boşluklu tipte elektrofüzyon ekleme parçaları; özellikle büyük çaplı boruların kaynak öncesi montajında kolaylıklar sağlar.



Şekil 3.1 Elektrofüzyon ekleme parçalarının şematik gösterimi (a) Soket tipi (b). Semer tipi

Soket tipi elektrofüzyon ekleme parçaları (manşon, redüksiyon, dirsek ve T parçaları) iki farklı füzyon bölgesi içerir. Füzyon bölgeleri soğuk bölgelerle sınırlıdır. Soğuk bölgeler ergiyen polimerin füzyon bölgesinden dışarı taşmasını engeller. Füzyon bölgesinde oluşan ergimenin meydana getirdiği basınç ve ergiyen polimer miktarı birleşme bölgesini önemli oranda etkiler. Her iki parametrenin istenilen değerlere ulaşması için, soğuk bölgelerin eksiksiz olarak sağlanması gerekir. Bu nedenle soket tipi ekleme parçalarıyla yapılan elektrofüzyon kaynağında, boruların ekleme parçasının iç soğuk bölgelerini örtecek şekilde yerleştirilmesi gerekir. Aksi takdirde ergiyen polimerin akışını durduran iç soğuk bölgeler oluşamaz. Bu ise tellerin hareket etmesine ve sıcak ergiyiğin bir miktarının füzyon bölgesinden taşarak ekleme parçasının orta kısmına akmasına neden olur.

Semer veya servis T tipi ekleme parçalarında ise (Şekil 3.1b) tek bir füzyon bölgesi iki adet soğuk bölge ile çevrelenmiştir. Kaynak süreci soket tipi ekleme parçalarına benzer şekilde gelişir. Semer ve servis T tipi ekleme parçalarının boruya tutturulması için çeşitli yöntemler bulunur. Yükleme, kelepçeleme veya sargı yöntemleri bunlardan bazılarıdır. Bu yöntemlerin türü birleştirme işleminin oluşum mekanizmasını etkilemez. [2]

### 3.4 Kaynak Donanımı

Kaynak donanımı, ekleme parçası içindeki dirence verilecek elektrik enerjisinin miktarını ayarlayan cihaz (kontrol cihazı) ve ilave donanımdan oluşur.

Sabit gerilim altında verilen enerjinin miktarı genellikle uygulama süresi ile kontrol altında tutulur. Süre uzadıkça verilen enerji miktarı ile kaynak bölgesinin sıcaklığı artar.

Arayüzeyde polimerin sıcaklığı ergime değerinin üzerine çıkmalı, ancak direncin kısa devre yapması (sargıların birbirine teması) veya polimerin bozunmasına neden olacak aşırı basınç ve sıcaklık artışlarına ulaşılması önlenmelidir.

Kontrol cihazı içinde bulunan trafo sayesinde jeneratörden aldığı enerjinin, gerilim değerini kaynak için gerekli düzeye düşürür. 220 v giriş gerilimini 40-48 v'a düşüren trafolar, en çok 16A çekecek şekilde sigortalıdır. Bu nedenle kontrol cihazları genellikle 2800-3500 W arasında değişen güçlerde imal edilirler.

Cihazlarda genellikle kaynak yapılabilecek çap aralığı belirtilir. Bu durum şu şekilde açıklanabilir. Direncin çektiği güç büyüklüğü ile ters orantılıdır ve sıcaklığı arttıkça bir miktar düşer. 40 v gerilim ile kaynak yapıldığında 1,87  $\Omega$  dirence sahip  $\varnothing$  63 mm manşon çektiği başlangıç gücü ortalama 855 W' ken 1,30  $\Omega$  dirence sahip  $\varnothing$  110 mm bir manşonda bu değer 1230 W'dır. Dolayısıyla boru çapı büyüdükçe ergitilmesi gereken malzeme miktarı ve bunun için gereken ısı enerjisi artmaktadır. Bu nedenle büyük çaplı borularda daha düşük direnç seçilerek çekilen güç artırılır ve kullanılacak cihazların kapasitesi buna uygun olarak seçilir.



Şekil 3.2 Çeşitli elektrofüzyon kontrol cihazları

Kontrol cihazları ekleme parçası imalâtçısının talimatına uygun olarak eritme çevrimini gerilim, akım ve zaman veya enerji gibi çıkış eritme parametrelerini gerçekleştirmektedir. Kontrol cihazları iyi kalitede ve kararlı çıktıya sahip olmalıdır. Çıkış parametrelerindeki değişiklikler cihazdan ekleme parçasına iletilen güçte sorunlar meydana getirmekte ve bağlantı kalitesini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Kontrol cihazları için çeşitli standartlar mevcuttur.

TS ISO 12176-2'ye göre beş tip kontrol cihazı tanımlanmıştır:

- Ön ayarlı kontrol cihazı: İmalâtçı tarafından ayarlanan ve önceden belirlenen bir veya birkaç seçmeli gerilim veya akım veya enerji veya zaman seviyesinde üretilen, kademeli bir çıkış gücü temin eder.
- Değişken kontrol cihazı: Bir dış kaynaktan belirlenen değişken parametrelere göre üretilen kademeli bir çıkış gücü temin eder. Örnek: Barkod, manyetik kart, mikroçip

- Çok modlu kontrol cihaz: Birkaç gerilim ve akım seviyesinde üretilen kademeli bir çıkış gücü temin eden ve değişken bir sistem ile ilişkili en az bir ön ayarlı sisteme sahip, farklı imalâtçıların imal ettiği ekleme parçaları için gerekli olan, farklı enerji ihtiyacını, her sistemin kapasitesi içinde karşılar.
- Çok amaçlı kontrol cihazı, birkaç gerilim veya akım seviyesinde üretilen kademeli veya sürekli çıkış gücü temin eder.
- Üniversal kontrol cihazı, değişken bir sistemden gelen, birkaç gerilim ve akım seviyesinde üretilen kademeli veya sürekli bir çıkış gücü temin eder. [31]

### 3.5 Yöntemin Uygulanışı

Elektrofüzyon kaynağı, hazırlık, füzyon ve soğuma olmak üzere üç aşamada gerçekleşir. Kaynak işleminin yapılışı ile ilgili olarak DVS 2207-1’de ve PPI TN-34’de çeşitli prosedürler verilmiştir. Ayrıca üreticilerden de bu konuda bilgi edinilebilir.

Hazırlık işlemlerin doğru şekilde yapılması elektrofüzyon kaynağında çok önemlidir. Bu aşama manuel olarak yürütüldüğü için operatörün yeteneği ve yeterliliği belirleyicidir. PPI TN-34’de bu konu özellikle vurgulanmıştır. Kaynak işleminin, yalnızca polietilen ve füzyon kaynağı konusunda kapsamlı bilgiye ve tahrifatlı muayene yeterliliğine sahip, yetkili bir eğitmenen eğitim almış kişilerce yapılması gerektiği bildirilmiştir.

Füzyon aşaması ise kontrol cihazına gereken parametrelerin girilmesinden sonra otomatik olarak gerçekleştirilir. Parametreler manuel olarak veya ekleme parçası üzerindeki barkodun okutulmasıyla girilebilir. İkinci yöntem daha hızlıdır ve hatalı girişi önler bu nedenle genellikle tercih edilir.

Kontrol cihazının, gereken süre kadar uyguladığı enerjiyi kesmesinden sonra, soğuma aşaması başlar. Bu aşama parçaların tamamen katılaşması için geçen süreyi kapsar. Bu süre genellikle ekleme parçaları üzerinde belirtilir. Gene kontrol cihazları bu süreyi gösterir. Bu süre boyunca parçalara herhangi bir kuvvet uygulanamaz. [32,33]

#### 3.5.1 Hazırlık Aşaması

Plastik malzemelerin kaynak hazırlıklarının ilk aşaması yüzey hazırlığıdır. Bu aşama özellikle elle gerçekleştirilen veya yarı-otomatik yöntemlerde önemlidir. Çünkü malzemeye temas etmek kirlenme olasılığını artırmaktadır. Tipik bir yüzey hazırlığı işlemi, yüzeyin mekanik olarak işlenmesini ve/veya temizlenmesini kapsar. Mekanik olarak işleme sayesinde yüzeyin dik olması sağlanır veya kaynak yüzleri birbirinine uygun hale getirilir. Yüzey temizleme ise genellikle bir çözücü ile yüzeydeki yağı uzaklaştırmak için yapılır. Bazı uygulamalarda kirli

yüzey kimyasallar ile işleme tutulup ardından çözücü ile temizlenir. Yüzey özelliklerinin kaybedilmemesini gerektiren uygulamalarda mekanik veya kimyasal yüzey işleme yapılması sakıncalıdır.

Otomatik kaynak uygulamalarında ise yüzey işleme nadiren başvurulur. Burada kirin kaynağı kalıplama sırasında parçaya karışan maddelerdir. Bunun için kalıbı termoset ile kaplama vs. yöntemler kullanılmaktadır.

Aşağıda maddeler halinde verilen kontrol ve hazırlıkların yapılması hatasız bir kaynak işlemi için önemlidir.

- *Boru çapı:* Boru çapı, hassas ölçme şeridi yardımıyla ölçülür. Ölçülen çapın, çalışılan sıcaklık için ilgili standartta (örneğin ASTM F714) belirtilen değerlere uygunluğu kontrol edilir. Standart çaplar 23°C için belirlenirler.
- *Boru ovalliği:* Borunun yuvarlaklıktan sapma değerleri belirlenir. Ölçme şeridi ile boru çapının yüksek ve alçak değerleri bulunur. Bu değerlerin, imlatçının önerdiği değerleri aşması durumunda, boru kaynak işleminden önce tekrar yuvarlak hale getirilmelidir. Bu amaçla yuvarlatma kelepçeleri kullanılır.
- *Çap azalması (Toe-in):* Boru uçlarında çap azalması olup olmadığı kontrol edilir. Çap azalması varsa, boru ucundan geriye doğru 50 mm mesafeyi geçmemelidir. Aksi halde boru uçları tekrar kesilir.
- *Boru uçlarının kesilmesi:* Boru uçları 90°'ye yakın diklikte kesilmesine dikkat edilmelidir.
- *Boruların hizalanması:* Boruların montaj sırasında, herhangi bir gerilme altında olmayacak şekilde hizalanmış olduğu kontrol edilir.
- *Güç Kaynağı:* Kaynak işlemi için uygun bir güç kaynağının kullanımı önemlidir. Kullanılacak jeneratörün ölçüleri, gerilim ve frekans değerleri için manşon / ekipman imalatçısının önerileri dikkate alınır. Güç kaynağının füzyon zamanı sonuna kadar kesilmeksizin güç iletteceğinden emin olunmalıdır.
- *Uzatma Kabloları:* Bazı imalatçılar uzatma kablosu kullanımını önermemektedir. Kablo kullanımı gerekiyorsa, kullanmadan önce üreticiye danışılmalıdır.
- *Kontrol Cihazı:* Manşona gerekli elektrik akımını iletmek için uygun bir kontrol cihazı kullanılmalıdır. Manşon ve kontrol cihazı imalatçılarının malzemelerin uyumlulukları konusunda danışılmalıdır.

- *Kazıma Aletleri:* Boru yüzeyinin hazırlanması için yalnızca ekleme parçası üreticisinin önerdiği araçlar kullanılmalıdır. Taşlama, zımpara kağıdı, zımpara bezi, törpü gibi aşındırıcılar kullanılmamalıdır.
- *İşaretçiler / Kalemler:* Borunun üzerine saplama derinliği işaretlenmede veya işlem sonunda manşon üzerine gerekli notların yazılmasında, yağsız, çabuk kuruyan, sabit mürekkepli kalemler kullanılmalıdır.
- *Temizleyici / Silme Bezi:* Boru yüzeyini temizlemek için temiz, boyasız ve tiftiksiz bir bez kullanılmalıdır. Temizleyici olarak % 96 veya üzeri derişimde izopropil alkol önerilmektedir. Su dışında katkı içermemesi şartıyla ekleme parçası imalatçısına danışılarak daha düşük derişimlerde alkol veya önceden alkol emdirilmiş bezler de kullanılabilir.
- *Oram Şartları:* Ekleme parçası imalatçısının, kaynak işlemi için önerdiği ortam sıcaklığının alt ve üst sınırlarına dikkat edilmelidir. Büyük çaplı manşonlar, özel füzyon zamanı veya ön ısıtma gerektirebilir. Ayrıca, elektriksiz ekipmanların nemli ortamlarda kullanılması ile ilgili gereken önlemler alınmalıdır.

### 3.5.2 Kaynak Usulü

- Boru uçları kir, çamur ve diğer döküntülerin giderilmesi için temizlenir (Şekil 3.3). Kazıma öncesinde temiz su kullanılabilir. Boru yüzeyinde kazıma aletlerinde hasara neden olabilecek gömülü döküntülerin olmadığı kontrol edilir. Boru hazırlığı ve kirlenme elektrofüzyon kaynağı için çok önemli iki konudur. Kazıma ve temizleme prosedürlerine gereken özen gösterilmelidir.



Şekil 3.3 Ön temizlik

- Boru uçları 90° ye yakın diklikte kesilir. Boru uçlarının düzgün bir şekilde kesilmesini sağlamak amacıyla kılavuz şerit (Şekil 3.4) kullanılabilir.



Şekil 3.4 Boru ucunun düzgün kesilmesi için kullanılan aparatlar

- Manşonun toplam uzunluğu ölçülür. Boru ucundan itibaren bu uzunluğun yarısı yağlı olmayan bir kalemle işaretlenir. (Şekil 3.5). Bu işaret borunun saplanacağı derinliği gösterir, böylece kaynak işlemi öncesinde boru ucunun manşon merkezine kadar yerleşmesi sağlanır.



Şekil 3.5 Borunun manşon içine sürüleceği derinliğin üzerinde işaretlenmesi

- Boru uçlarının ovalliği belirlenir. Bunun için en büyük ve en küçük çaplar ölçülür (Şekil 3.6). Birleştirme işlemine başlayabilmek için ölçülen değerlerin farkı üreticinin önerdiği ölçüleri geçmemelidir. Bu değer DVS 2207-1'de boru dış çapının % 1,5'i olarak verilmiştir.



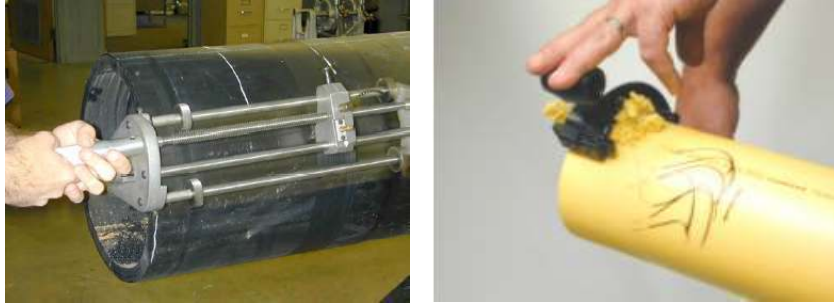
Şekil 3.6 Boru ovalliğinin ölçülmesi

Gerektiği durumda, saplama derinliği işaretinin hemen dışına yuvarlatma kelepçesi yerleştirilir (şekil 3.7). Ovalliğin giderilesi amacıyla büyük çapın kenarlarının kazınması uygun değildir. Oval boruların yuvarlatılması için özel yuvarlatma aparatları veya boruyu tam olarak saran basit metal kelepçeler kullanılabilir.



şekil 3.7 Oval boruların yuvarlatılmasında kullanılan aparatlar

- Boru ucu dış yüzeyinde bulunan oksit tabakasının ve diğer kirlerin giderilmesi amacıyla kazınır. Bu işlem için ekleme parçası imalatçısının önerdiği uygun kazıma aletleri kullanılır. Kazıma işlemi, borunun dış tabakası (derisi) kaldırılıp, temiz boru malzemesi ortaya çıkana kadar sürdürülür. Kirli malzemeyi tamamen kaldıramayan aşındırıcı aletler veya taşalama makinası kullanılmamalıdır. şekil 3.8’de boru kazıma işleminde kullanılan farklı iki aparat gösterilmektedir.



şekil 3.8 Boru yüzeyinin temizlenmesinde kullanılan aparatlar

- Vücut yağları ve diğer kirler kaynak kalitesini etkileyeceğinden, kazınmış boru yüzeyine veya manşon iç yüzeyine dokunulmamalıdır. Yüzeylerin kirlenmesi durumunda izopropil alkol ile tiftiksiz havlu kullanılarak (en az imalatçının önerdiği derişimde olması şartıyla) temizlenmeli ve biraraya getirilmeden önce kurumaları sağlanmalıdır. Kullanılan alkol, su dışında herhangi bir katkı içermemelidir.

- Saha şartlarında, manşonun boru ucuna tamamen itilmesi gerekirse, manşonun kazınmamış boru üzerinden kayarken bulaşacak kirden korunması amacıyla, boru ucu manşon uzunluğu kadar kazınır.
- Boru, üzerindeki saplama derinliği işareti manşonun kenarına gelinceye kadar ilerletilerek manşon içine yerleştirilir. Boru uçlarının kolay yerleşmesi için pah kırılabilir. Gerekirse, manşonu boru üzerinde hareket ettirmek amacıyla lastik çekiç (veya ahşap kütükle metal çekiç) kullanılabilir. İşlem sırasında terminal pinlerin ve iç telin hasar görmemesi için gerekli özen gösterilmelidir. Ayrıca açık uçtan kir ve döküntü gelmesini engellemek amacıyla manşon üzerine plastik bir poşet geçirilir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9 Borunun manşon içerisine tam olarak yerleştirilmesi

- Birleştirme işlemi esnasında herhangi bir sıkışma olmadığından emin olmak amacıyla boru ucu kontrol edilir. Ayrıca, füzyon sırasında oluşan ısının neden olduğu gerilmelerden korumak amacıyla boru ve manşon için destek gerekebileceği dikkate alınmalıdır (Şekil 3.10).



Şekil 3.10 Kaynak sırasında malzemelerin desteklenmesi

- Kontrol cihazına güç vermeden önce jeneratörün doğru değerlerde çalıştığı kontrol edilir. Kontrol kutusunun kabloları manşona üzerindeki terminal pinlere takılır. Bütün bağlantıların ve adaptör uçlarının uygun ölçülerde ve güvenli olduğundan emin olunmalıdır.
- Kontrol cihazında gerekli füzyon süresinin ayarlanması için manşon üzerindeki barkod taranır. Etiket bilgilerinin taranan veri ile uyumlu olduğu kontrol edilir. İmalatçının füzyon süresi için önerdiği önısıtma veya ortam sıcaklığı prosedürlerine uyulmalıdır. Bazı manşonlar çevre sıcaklığına uyumlu çoklu barkodlar veya füzyon öncesi kullanılan ayrı bir önısıtma barkodu içerirler (Şekil 3.11). Uygun barkodun taranması için imalatçının önerileri takip edilir.



Şekil 3.11 Manşon üzerinde kaynak bilgileri bulunan barkod etiketi ve barkod okuyucu

- Füzyon işlemi bitirildikten sonra ekleme parçası üzerine, işlemin yapıldığı tarih, başladığı saat ve soğuma süresi not edilir. Gerekliyse, kaynak kayıt numarası, kontrol cihazının seri numarası gibi bilgiler de belirtilir (Şekil 3.12). [33]



Şekil 3.12 Manşon üzerine kaynak bilgilerinin yazılışı

#### 4. KAYNAK SÜREÇLERİ

Elektrofüzyon kaynağında birleşme bölgesinin oluşumu farklı teorilerle açıklanmaya çalışılmıştır. Bunlar adhezyon teorisi, vizkoelastik temas teorisi, yayınım teorisi ve akış prosesi teorisidir.

Özellikle küçük çaplarda yapılan elektrofüzyon kaynağında, radyal akış ihmal edilebilir düzeyde olduğundan akış teorisi geçerli değildir. Ancak büyük çaplarda yapılan kaynak işlemlerinde bu teori değerlendirilebilir.

Vizkoelastik temas teorisinde bağlantı dayanımı Van der Waals kuvvetiyle açıklanır. Ancak birleşme bölgesinin sünek yapısı ve dayanım değerleri, malzemenin diğer kısmı ile hemen hemen aynıdır. İyi yapılmış bir kaynaklı bağlantının dayanımını yalnız bu kuvvete bağlamak uygun gözükmemektedir.

Adhezyon teorisi ise farklı özellikte malzemeler için anlamlıdır. Oysa elektrofüzyon kaynağında, malzemeler arasındaki farklılık oldukça sınırlıdır.

Yayınım teorisi, elektrofüzyon kaynağında bağlantının oluşumunu en iyi açıklayan teori olarak göze çarpar. Bu nedenle kaynak sürecinin incelenmesinde esas olarak bu teoriden yararlanılır. [2]

#### 4.1 Füzyon Süreci

Füzyon süreci, ısıtma fazı, basınç fazı, moleküllerarası yayınım fazından meydana gelmektedir.

##### 4.1.1 Isıtma Fazı

Kaynak işlemi sırasında, termoplastik malzemelerin ısıtılması için çeşitli yöntemler kullanılır. Termoplastiklerin ısı iletimleri düşük olduğundan, polimerin kondüksiyon veya konveksiyon yoluyla tamamen ergimesini beklemek yerine hızlı bir şekilde kaynak bölgesi ertilir. Malzemenin büyük bir kısmının ısıtılması yerine, ince bir yüzeyin ısıtılarak ertilmesi enerji verimliliğini de sağlar.

Isıtma, kaynak işleminde önemli yere sahiptir, çünkü bağlantının oluşması için öncelikle her iki parçada ergimiş ince bir tabaka olmalıdır. Bu tabakaların arayüzeyde homojen bir karışım oluşturması sayesinde, moleküller arası yayınım gerçekleşir ve zincirlerin birbirine dolaşması (chain entanglement) sağlanır.

Bu tabakaların ergimesi için gereken sıcaklık, dolayısıyla verilecek enerji miktarı malzemenin kristal yapısıyla bağlantılıdır.

Amorf polimerlerde akışın ve yayının meydana gelmesi için camsı geçiş sıcaklığının ( $T_g$ ) üstüne çıkılması yeterlidir. Ancak yumuşayan polimerin sıcaklığı camsı geçiş sıcaklığına yakın değerlerdeyse akış ve yayınım çok uzun sürer. Kaynak işlemini kısaltmak için amorf termoplastikler genellikle camsı geçiş sıcaklıklarının  $100^\circ\text{C}$  üzerine çıkana kadar ısıtılır.

Yarı kristalli polimerlerde ise ergime sıcaklıklarının ( $T_m$ ) üzerinde bir ergiyik tabakası oluşturulmalıdır. Bu nedenle daha yüksek enerji girdisi gerekir. Polimerin sıcaklığı ergime sıcaklığını aşmaya kadar moleküllerin çoğu hala kristalli yapıdadır, bu nedenle yayınım gerçekleşemez. Yarı kristalli polimerlerde, kaynak ara yüzeyindeki polimerin tamamen ergidiğinden emin olmak için, ergime sıcaklığının  $50^\circ\text{C}$  üzerine çıkılması önerilir.

Isıtma hızı ve ısı transferi; ergiyen veya yumuşayan tabakaların kalınlığını ve kaynak işleminin hızını etkilediği için önemlidir. Genellikle, içeriden ısıtmalı kaynak yöntemleri en hızlı ısıtma hızlarına sahiptir bu nedenle füzyon süreleri daha kısa, ergiyen veya yumuşayan tabaka ise daha incedir.

Kaynak işlemi sırasında oluşan ısı transferi, ergimiş veya yumuşamış bölgenin miktarını etkilediği için ayrıca önemlidir. Isı transferi genellikle kondüksiyon, konveksiyon ve radyasyon ile gerçekleşir. Şekil 5.1'de gösterilen basitleştirilmiş ısı transferi analizinde, parçaya kondüksiyon yoluyla giren ısı, konveksiyon veya radyasyonla atmosfere atılan ısılardan çok daha büyüktür. Bu nedenle çoğu ısı akışı analizde konveksiyon ve radyasyonla ısı transferi (konveksiyon ve radyasyonla yapılan ısıtma uygulamaları hariç tutulduğunda) ihmal edilmektedir.

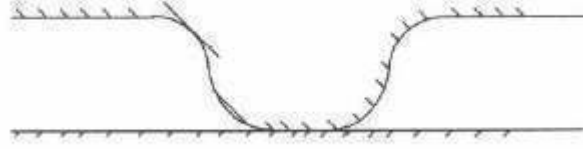
#### 4.1.2 Basınç Fazı

Plastiklerin kaynağında, kaynak bölgesi ısıtıldıktan sonra, parçaların tam temasını sağlamak için basınç uygulanır. Elektrofüzyon kaynağında basınç ekleme parçası geometrisi sayesinde kendiliğinden sağlanır. Burada, direnç teli üzerinde oluşan ısı nedeniyle ergiyen polimerin hacmi artarken, etrafı soğuk bölgeler tarafından çevrelenendiği için akması engellenmiştir. Bu nedenle polimerin ergimesi basıncı artırır.

Basınç fazının başlangıcında yüzeydeki pürüzlerin deforme olması ve parçaların tam teması sağlanır. Bunun ardından ergiyen tabaka parçaları sıkıştırılır.

Birleştirilecek parçalar, yüzeylerinin pürüzlü olması nedeniyle her noktada temas halinde değildir. Hatta ergimiş polimerin yüzeyi bile yüksek vizkozitesi nedeniyle gerçekte pürüzlü bir geometriye sahiptir. Arayüzde artan basınç temas yüzeyinin artmasına neden olur. Elasto-plastik bir malzemenin basıncı arttığında, yüzey pürüzleri elastik ve plastik deformasyona uğrar. Bu sayede temas yüzeyi artar. Ergimiş polimer gibi vizkoelastik sıvılarda basıncın artırılması zamana bağlı olarak temas yüzeyini artırır.

Yüzey pürüzünün deformasyonunu analiz edebilmek için Şekil 4.1’de birleşme yüzeyinin büyütülmüş gösterimi vermiştir. Pürüz, sadeleştirme için, uygulanan kuvvet ile iki tabla arasında sıkışan bir Newton sıvısı olarak modellenmiştir (Şekil 4.2). Problemi iki boyutlu hale indirmek amacıyla, parçaların ve damlacığın kalınlıklarının genişliklerine göre çok uzun oldukları kabul edilmiştir.

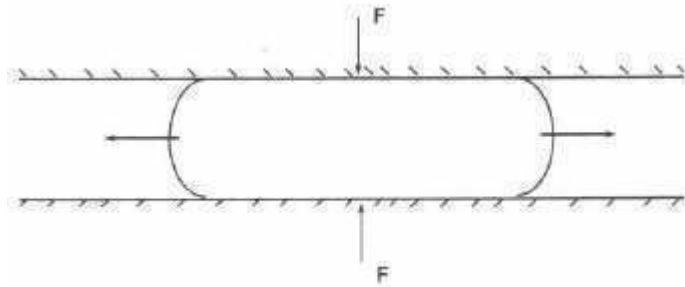


Şekil 4.1 Basit bir yüzey pürüzünün yakından görünüşü

Parçacığın zamana bağlı olarak son yüksekliği; sabit kuvvet etkisi altındaki, sabit vizkoziteli bir Newton akışkanı olarak aşağıdaki ifade ile bulunur.

$$\frac{h_0}{h} = \left( 1 + \frac{5 \cdot F \cdot t \cdot h_0^2}{4 \cdot \eta \cdot L \cdot b_0^3} \right)^{\frac{1}{5}} \quad (4.1)$$

Burada  $2 h_0$  damlacığın başlangıç yüksekliğini,  $2 h$  damlacığın  $t$  zamanındaki yüksekliğini,  $F$  sıkıştırma kuvvetini,  $\eta$  vizkoziteyi,  $2 L$  damlacık boyunu,  $2 b_0$  ise damlacığın başlangıçtaki genişliğini ifade etmektedir.



Şekil 4.2 Basit bir yüzey pürüzü için sıkışmış akışkan modeli

Ergimiş bir termoplastik tipik olarak vizkoelastik malzeme özelliği gösterir. Artan sıcaklıklarda, yani yarıkristalli polimerler için ergime sıcaklığı üzerinde, amorf polimerler için ise camsı geçiş sıcaklıklarının üzerinde, polimer güçlü akışkan modeline göre ifade edilebilir. Dara, Loos ve Gutowski vd. iki boyutlu sıkıştırılmış güçlü akışkanlar için aşağıdaki eşitliği geliştirmişlerdir:

$$\frac{h_0}{h} = \left( 1 + t \cdot \frac{2n+3}{4n+2} \cdot \left( \frac{(4h_0b_0)^{n+1} \cdot F \cdot (n+2)}{(2b_0)^{2n+3} \cdot L \cdot m} \right)^{\frac{1}{n}} \right)^{\frac{n}{2n+3}} \quad (4.2)$$

Burada  $m$  ve  $n$  kesme gerilmesi  $\tau_{xy}$  ile kesme gerinim hızı  $\dot{\gamma}_{xy}^n$  arasındaki  $\tau_{xy} = m \cdot \dot{\gamma}_{xy}^n$  güçlü akışkan bağıntısında belirtilen değerlerdir. Görüldüğü üzere Eşitlik 4.3 damlacık yüksekliğinin kuvvet, zaman,  $m$  ve sıcaklıkla ilişkisini göstermektedir.  $m$  ile sıcaklık arasında Arrhenius bağıntısı bulunmaktadır.

$$m = m_0 \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{R \cdot T}\right) \quad (4.3)$$

Burada  $E_a$  aktivasyon enerjisi,  $R$  evrensel gaz sabiti ve  $T$  ise mutlak sıcaklıktır.

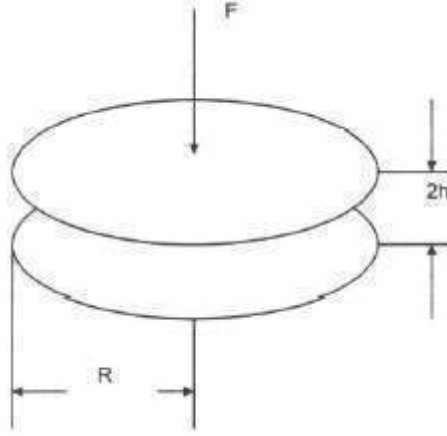
Kütlenin korunumu nedeniyle, damlacığın genişliği, yüksekliği ile ters orantılıdır. Başka bir ifade ile, zaman ilerledikçe damlacığın yüksekliği azalırken, genişliği artar.

Eşitlik 3.3 ve Eşitlik 3.4 özellikle ultrasonik kaynak uygulamalarına uygundur. Benzer yaklaşım iki parça arasında bir çıkıntının sıkıştırıldığı diğer kaynak türlerinde örneğin vibrasyon kaynağı veya bazen sıcak eleman kaynağında da kullanılmaktadır.

Basınç fazındaki ikinci aşama ise ergimiş tabakanın akma hareketidir. Bu durum büyük çaplı boruların elektrofüzyon kaynağı ile birleştirmesinde dikkate alınmalıdır. Problemi basitleştirmek için ergimiş polimerin Newton sıvısı şeklinde aktığı kabulü yapılır. Bird vd. paralel iki yuvarlak disk arasında sıkışan akışkan (Şekil 4.3) için şu ifadeyi geliştirmişlerdir:

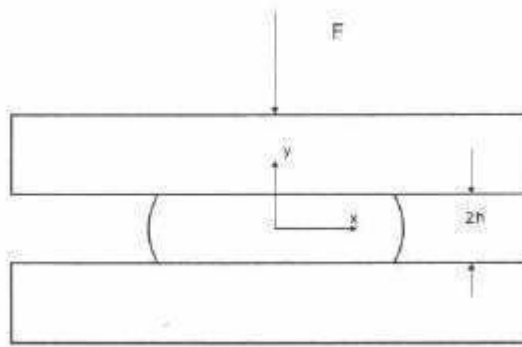
$$\frac{h_0}{h} = \left( 1 + \frac{16 \cdot F \cdot t}{3 \cdot \pi \cdot R^4 \cdot \eta} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (4.4)$$

Burada  $R$  yuvarlak diskin yarıçapıdır.



Şekil 4.3 Paralel iki disk arasında sıkışan akışkan

Benzer şekilde, dikdörtgen tabakalar arasında sıkışarak akan ergimiş tabakalar düşünülebilir. İki boyutlu hale getirmek amacıyla erimiş tabakanın uzunluğu, genişliğine ve kalınlığına göre çok büyük olduğu kabul edilir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 Dikdörtgen tabakalar arasında sıkışan akışkan

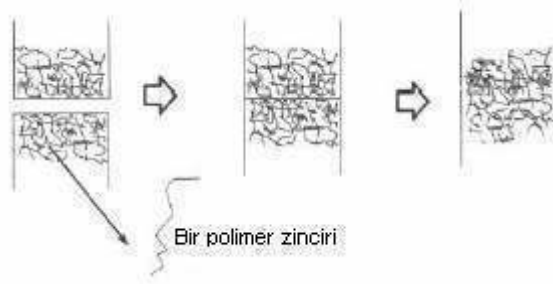
Bu halde, erimiş tabaka kalınlığı, vizkozite, kuvvet ve zamana bağlı olarak aşağıdaki şekilde verilebilir:

$$\frac{h_0}{h} = \left( 1 + \frac{16 \cdot F \cdot h_0}{2 \cdot b^3 \cdot L \cdot \eta} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (4.5)$$

Eşitlik 4.4 ve 4.5 güçlü akışkan modelinden türetilebilirken, Newton akışkanı kabulü pek çok durumda yeterlidir. Gerçekte polimerlerin basınç altında akışları atalet ve elastik etkilerden etkilenen karmaşık bir süreçtir. Grimm basınç altında akan polimer sıvılar hakkında bir inceleme yapmıştır. Bunun sonunda Newtonsal olmayan etkiler için yarı ampirik bir yaklaşım önermiştir. Gerçek kaynak işlemi ise ergiyik sıcaklığının sabit olmaması, ısıtma ve soğuma sırasında sürekli değişmesi nedeniyle daha karmaşıktır.

### 4.1.3 Moleküller Arası Yayınım Fazı

Arayüzeyde polimer-polimer teması gerçekleştikten sonra, işlemin tamamlanıp, iyi bir kaynak bağlantısının elde edilebilmesi için moleküller arası yayınım ve zincirlerin birbirine karışımı sağlanmalıdır. Termoplastik polimerde birleşme bölgesinin dayanımını sağlayan bu olgular otohezyon kavramı ile açıklılır. Farklı malzemeler arasındaki ikincil kimyasal bağlara veya yüzey enerjilerine dayanan adhezyondan farklı olarak otohezyon benzer malzemelerin polimer zincirlerinin ikincil bağlarına ve zincir karışımına dayanır. İdeal şartlar altında, yayınım gerçekleştiğinde, parçaların arayüzeyleri ortadan kalkar.



Şekil 4.5 Arayüzey üzerindeki moleküller arası yayınım

Otohezyon süreci boyunca sırayla yüzeyin yeniden şekillenmesi, yüzeylerin birbirine yaklaşması ve ıslatması, yayınım ve raslantısal karışım olayları gelişir. Bu olaylardan ilk üçü basınç fazında diğerleri ise moleküller arası yayınım fazında gerçekleşir.

DeGennes tarafından geliştirilen sürünme teorisinde doğrusal bir polimer zincirinin yayınımı modellenmiştir. Bu modele göre polimer zinciri etrafı komşu zincirlerle çevrili bir tüp içerisinde yer almaktadır. Zincir bu tüp içerisinde ileri geri hareket edebilirken (uç noktaları haricinde) tüpün dışına çıkamaz (Şekil 4.5). Belirli bir süre sonunda yavaş yavaş orijinal tüpün dışına doğru kaymaktadır. Tüp dışına taşan zincir uçları, zincirin kütle merkezini tüpten ayıracak şekilde zorlar. Bu sürecin sonunda, zincirin tamamı orijinal tüp dışına çıkar ve yeni bir tüp oluşur. Gerçekte, zamanla çok sayıda yeni tüp oluşurken hepsi orijinal tüpten meydana gelir (Şekil 4.6).

Sürünme modelinde iki zaman ölçüsü bulunmaktadır:  $T_e$  zincirin kendi tüpü içerisinde kısa erimli hareketleri veya kıvrılması için geçen süredir.  $T_r$  ise zincirin yeni bir tüp oluşturması için gerekli süredir. Otohezyon için zincirin tüp dışındaki hareketi gereklidir. Yeni bir tüp oluşturulması gerekli değildir. Bu nedenle otohezyon için önemli olan zaman  $T_e < t < T_r$  aralığıdır. Ayrıca,  $T_e$  molekül ağırlığının karesiyle,  $T_r$  ise molekül ağırlığının küpü ile orantılıdır. Molekül ağırlığının büyük olması nedeniyle,  $T_e \ll T_r$  olur.

Uygulamada  $t > 0$  için  $t > T_e$  alınır. Bu nedenle  $0 < t < T_r$  zaman aralığında yayınan zincir ortalama uzunluğunun ( $l$ ) karesi ile, zincirin (malzeme içerisindeki hayali bir) arayüzeyinin diğer tarafına nüfuziyet derinliğinin ( $X$ ) orantılı olduğu söylenebilir.

$$X \propto \langle l \rangle^2 \quad (4.6)$$

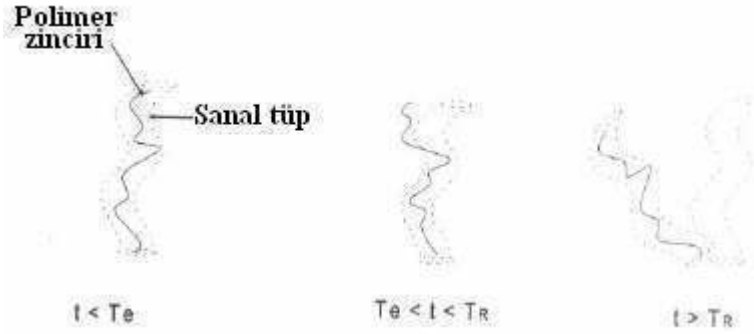
Yayınımın ve raslantısallığın başlangıç aşamalarında ( $t < T_r$ ), Kim ve Wool  $l$ 'nin  $t^{\frac{1}{2}}$  ile orantılı olduğunu göstermiştir. Bu nedenle,

$$X \propto t^{\frac{1}{4}} \quad (4.7)$$

Wool ve O'Connor daha da ilerleyerek nüfuziyet derinliğini, kırılma gerilimine ve zamana oranladılar. Kırılma gerilimi, ortalama nüfuziyet derinliği ile orantılı olduğundan ifade aşağıdaki şekilde geliştirilir.

$$\sigma_f \propto t^{\frac{1}{4}} \quad (4.8)$$

Burada  $\sigma_f$  kırılma gerilimidir.



Şekil 4.6 Polimer difüzyonunun hayali tüp ile açıklanması

Pek çok araştırmada verilen eşitlikler ile deneysel sonuçlar arasında uyum sağlanmıştır. Şimdiye kadar özellikle amorf termoplastikler için deneyler ve teorik çalışmalar yapılmıştır. Amorf polimerlerde moleküller arası yayılım camsı geçiş sıcaklığı ve üzerindeki tüm sıcaklıklarda gerçekleşir.

Bu teori; yarıkristalli polimerlere, kristallerin tamamen ergimesi ve polimer zincirlerinin serbest zincirler haline gelmesi şartıyla uygulanabilir. Bu şart ancak ergime sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklarda sağlanır. Bu nedenle, yarıkristalli polimerlerde  $T_m$ 'in üzerindeki sıcaklıklarda moleküller arası yayılım çok hızlıdır ve ölçülmesi güçtür.  $T_m$ 'in altındaki sıcaklıklarda, kristal yapının mevcut olması moleküller arası difüzyon olmasına engel oluşturur. Bu nedenle kaynak işlemi gerçekleşmez.

## 4.2 Soğuma Süreci

Kaynak işleminin son aşaması soğuma veya diğer bir tarifile arayüzeyde ergiyen polimerin tekrar katılaştırılması işlemidir. Bu işlem sırasında, amorf polimerler daha önce aldıkları moleküler yönelimi korurken, yarıkristalli matrisler son şekillerini almak üzere yeniden kristalleşirler. Isıl sebeplerle oluşan kalıntı gerilmeler ve distorsiyonlar soğuk olarak kalır.

Amorf polimerlerde, basınç aşamasında, moleküler yönelim kaynak dikişine paralel olarak gelişir ve soğuma sonunda kalıcı hale gelir. Ayrıca, Triumalai ve Lee kaynak dikişine yakın bölgede yeniden ısıtma ve eritmenin moleküler yönelime ters yönde bir büzülme meydana getireceğini belirtmişlerdir.

Yarıkristalli polimerlerde ise soğuma hızı kaynak bölgesi ve yakınında meydana gelen kristalleşme hızını etkilemektedir.

Distorsiyon ve kalıntı gerilme oluşumu soğuma sırasında da gerçekleşmektedir. Kaynak bölgesinin ısıtılması, parça içinde, komşu soğuk bölgeler tarafından engellenen, ısıl genişleme bölgeleri oluşturur. Ergimiş veya yumuşamış bölgeler soğuma sırasında yine komşu soğuk bölgeler tarafından engellenen ısıl büzölmeler meydana getirir.

Kaynak dikişine yakın bölgelerde kalıntı gerilmelerin oluşumu, kaynağın yan etkilerinden biridir. Bu durum; kaynak dayanımını düşürür, yorulmayı artırır, kırılma tokluğunu düşürür ve gerilmeli korozyon çatlağına neden olur. Polimerlerin vizkoelastik yapıları ve kalıntı gerilmeleri ölçmenin genel zorluğu nedeniyle deneysel veya teorik olarak kalıntı gerilmelerini belirlemek güçtür. [14]

## 4.3 Kaynak Parametrelerin Kaynak Süreçleri Boyunca Değişimi

### 4.3.1 Akım

Sabit gerilim altında yapılan elektrofüzyon kaynağında, akım başlangıçta yüksek değer almasına karşın füzyon zamanı boyunca azalır. Füzyon aşamasının başlangıcında direnç teli soğuktur bu nedenle direnç değeri en alt seviyededir. Telden geçen akım ( $I_0$ ) ve direncin çektiği güç ( $P_0$ ) en büyük değerlerindedir. Enerjinin verilmesi ile beraber telin sıcaklığı ve direncini giderek artar. Bu nedenle enerji kesilmesine kadar akım ve çekilen gücün miktarı giderek azalır.

Kaynak işleminin gerçekleşebilmesi için jeneratörün ve kontrol cihazının gücü en az  $P_0$  değerinde olmalıdır.  $I_0$ 'ın ise elektrofüzyon kontrol cihazının kapasitesini aşmaması gerir.

Ayrıca ısıtma telinde bir kısa devre meydana gelmesi durumunda, devrenin direncinin bir anda düşeceği, bunun ise akımın çok yüksek değerlere çıkmasına neden olacağı gözönünde bulundurulmalıdır.

Akım eğrilerinden, toplam elektrik enerjisi girdisi ( $Q_t$ ) ısıtma bobinine bağlı olarak aşağıdaki şekilde bulunabilir.

$$Q_t = \int_0^{t_f} I(t) \cdot dt \quad (4.9)$$

Burada,  $I(t)$  akımın  $t$  zamanındaki miktarıdır. Eşitlik 4.9 sabit  $V$  gerilimi altında yapılan elektrofüzyon kaynağı için geçerlidir. Toplam enerji girdisi tüm füzyon alanına dağılmaktadır. Manşon tipi ek parçaları için birim füzyon alanına düşen enerji girdisi ( $Q_{t/a}$ ) aşağıdaki eşitlikte verilmektedir.

$$Q_{t/a} = \frac{Q_t}{2 \cdot L_f \cdot \pi \cdot \phi_{1D}} \quad (4.10)$$

$L_f$  füzyon bölgesinin uzunluğudur. Nishimura yaptığı elektrofüzyon kaynağı simülasyonunda, ideal bağlantı dayanımına ulaşmak için,  $Q_{t/a}$  değerinin 3,9 J/mm<sup>2</sup> olarak alınması gerektiğini belirtmiştir. Bu sonuca 120-320W arasında değişen üç farklı enerji girdisi için yaptığı çalışmada ulaşmıştır. Usclat ise çalışmasında,  $Q_{t/a}$ 'nın farklı kaynak yöntemleri için 2-13 J/mm<sup>2</sup> arasında değişeceğini raporlamıştır. Nakashibanın ideal elektrofüzyon kaynağı için tanımladığı  $Q_{t/a}$  değerleri de Usclat'ın verdiği aralık içindedir. Nakashiba bu çalışmalarını 50 mm iç çaplı manşonlar ile gerçekleştirmiştir.

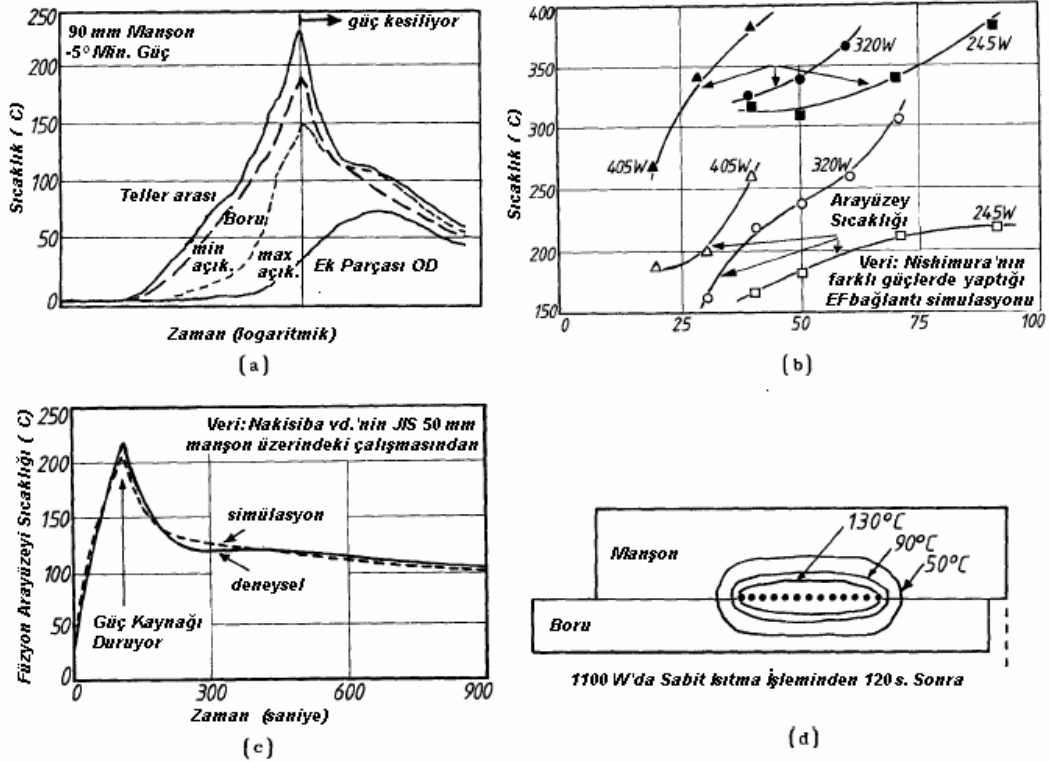
Kaynak bölgesine verilen enerjinin bağlantı içine hızla yerleşmesi kadar, füzyon bölgesi sınırları içerisinde kalaması da önemlidir. Bu sayede arayüzey sıcaklığı kaynak bölgesine verilen enerji için en yüksek değere ulaşabilir.

### 4.3.2 Sıcaklık

Elektrofüzyon kaynağı sırasında sıcaklık değişimi füzyon bölgesinde olduğu gibi boru iç yüzeyi ve manşon dış yüzeyini de etkiler. Maine ve Stafford füzyon aşamasında meydana gelen sıcaklık değişimini değişik konumlarda ölçtüler. Nishimura arayüzey ve tel sıcaklığını

verilen enerji ve zamana bağlı olarak kaydetti. Bu verilerden ve diğer çalışmalardan şu sonuçlar çıkmıştır:

- Elektrofüzyon kaynağı sırasında kaynak bölgesi ve etrafında belirgin sıcaklık artışları meydana gelmektedir.
- İşlem sırasında direnç telinin sıcaklığı arayüzey sıcaklığının  $100^{\circ}\text{C}$  üzerine ulaşabilir. Bu sıcaklık telin direncinden yaklaşık olarak hesaplanabilir.
- Boru /ekleme parçası arayüzey sıcaklığı, elektrik enerjisinin verilmesi ile beraber hızla artarken ve füzyon süresi sonunda enerjinin kesilmesi ile hızla düşer. Polietilenin kristalleşmesi sırasında meydana gelen faz değişimi nedeniyle sıcaklık,  $120^{\circ}\text{C}$  civarında bir süre kararlı halde kalır.
- Manşon dış yüzeyi ile boru iç yüzeyinin sıcaklıkları en yüksek seviyesine enerjinin kesilmesinden bir süre sonra ulaşır.
- Arayüzey sıcaklığı, füzyon süresi içinde, enerjinin verildiği herhangi bir anda artar. Sıcaklık montaj boşluğuna bağlı olarak  $40^{\circ}\text{C}$  kadar oynayabilir. Orta düzeyde rüzgar hızından etkilenmez.



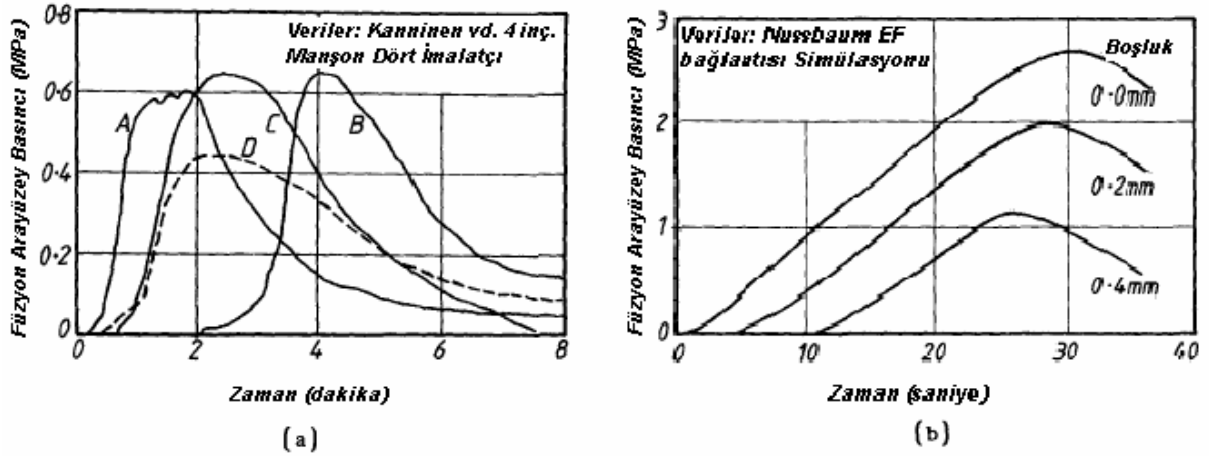
Şekil 4.7 Elektrofüzyon kaynağı sırasında oluşan sıcaklığın füzyon süresi ile değişimi (a) Çeşitli bölgelerde sıcaklığın zamanla değişimi (b) Tel ve arayüzey sıcaklıkları (simülasyon) (c) Deneysel verilerle modellemenin karşılaştırılması (d) Bağlantı etrafında oluşan sıcaklık eğrisi

Belirtilen çalışmalar çoğunlukla deneysel verileri kapsamaktadır. Günümüzde elektrofüzyon kaynağını sayısal olarak modelleyerek sıcaklık profilini oluşturan pek çok çalışma mevcuttur. Çoğu çalışma iki boyutlu olarak ve genellikle montaj boşluğu ihmal edilerek, sonlu elemanlar tekniği ile gerçekleştirilmektedir. Yine çoğu modelde manşon tipi bağlantılar incelemektedir. Bu şekilde eksenel simetriden yararlanılarak analiz kolay hale getirilir. Sıcaklıkla beraber polietilenin fiziksel özelliklerindeki belirgin değişiklikler gözönüne alınmakta, ergiyik hareketi ise ihmal edilmektedir.

Şekil 4.7c, Nakashiba'nın çalışmasında, simülasyon ile deneysel sonuçlar arasındaki uyumu göstermektedir. Benzer bir uyum Kanninen tarafından da rapor edilmiştir. Şekil 4.7d, birleşme bölgesi etrafındaki sıcaklık artışının bilgisayar analizini vermektedir. Buna göre dış soğuk bölgeden merkeze doğru gidildikçe sıcaklık artmaktadır. Direnç teli ve füzyon arayüzeyi civarında oluşan büyük sıcaklık değişimleri, simülasyonlarda belirgin olarak görülmektedir. Birleşme bölgesinin sıcaklığını ölçmek bu nedenle biraz zahmetlidir. Bu büyük sıcaklık değişimleri, polietilenin diğer polimer malzemeler gibi düşük ısı iletkenliğe sahip olmasından kaynaklanır.

### 4.3.3 Basınç

Elektrofüzyon kaynağı sırasında polimer sıcaklığı ortalama 200°C'ye çıkmaktadır. MDPE 20°C'den 200°C'ye çıkarken hacimsel olarak yaklaşık % 20 genişlemektedir. Soğuk bölgenin, bu ek hacmin füzyon bölgesinden dışarı çıkmasına izin vermeyişi arayüzeyde basıncı artırır. Kanninen farklı tasarıma sahip elektrofüzyon manşonları ile yaptığı çalışmada arayüzey basıncını zamanın fonksiyonu olarak kaydetmiştir (Şekil 4.8a). Nussbaum ise montaj boşluğu değerlerini değiştirerek basıncın zamanla değişimini modellemiştir (Şekil 4.8b). Benzer değerlerin çıktığı çalışmalardan aşağıdaki genel gözlemler elde edilmiştir.



Şekil 4.8 Elektrofüzyon kaynağı sırasında oluşan basıncın füzyon süresi ile değişimi (a) Farklı tasarımdaki manşonların basınç-zaman değerleri (b) Farklı montaj boşluğuna sahip manşonlar için basınç-zaman simülasyonu

- Basınç, füzyon süresinin % 20-25'i kadar bir kısmı (kuluçka süresi) aşıldıktan sonra artmaya başlar.
- Basınç hızla artar ve 6 bar civarında tepe noktasına ulaşır. Montaj boşluğu olmayan manşonlar için basınç daha yüksek değerler alabilir.
- Basınç tepe noktasına ulaştıktan sonra soğumayla beraber düşer.
- Montaj boşluğu arttıkça kuluçka süresi uzarken tepe noktasının basınç değeri düşer.

İncelenen çalışmalardan, elektrofüzyon kaynağı sırasında kendiliğinden oluşan basıncın oldukça yüksek değerler aldığı görülmektedir. Bazen, alın kaynağında dışardan uygulanan basınçtan daha büyük değerlere ulaşır.

#### 4.3.4 Diğer Büyüklükler

Elektrofüzyon kaynağı sırasında tellere verilen enerjiyle, hem borunun dış kısmı, hem de ekleme parçasının iç kısmı ergimektedir. Optik mikroskopi ile yapılan çalışmalarda füzyon süresinin uzaması veya montaj boşluğunun azalmasının ergiyen bölgenin boyutlarını büyüttüğü anlaşılmıştır. Nishimura, yaptığı çalışmada  $Q_t$  değerini ergiyen polimerin hacmi ile doğru orantılı olarak modellemiş ve % 20 den daha az hatalarla sonuca ulaşmıştır.

Elektrofüzyon kaynağı sırasında ortaya çıkan ergiyik basıncı diğer kaynak işlemlerine göre fazladır (Şekil 3.15a), ve direnç telinin sıcaklığı genellikle 300-400°C'ye kadar çıkar (Şekil 3.15b). Bu etkiler telin hareket etmesine yol açabilir. Telin sargılarından birinin diğerine teması durumunda kısa devre olur. Bu durum, çekilen akımı artırır, tel daha çok ısınır ve sıcaklık değeri en sonunda polimerin bozulmasına neden olur.

Kısa devre etkili yöntemler sayesinde artık bir problem olmaktan çıkmıştır. Kontrol cihazları, kısa devre oluştuğu takdirde; akımda meydana gelen artışı algılayıp, daha yüksek seviyelere çıkmasını önlemek için füzyonu durduran sistemlerle donatılmıştır. Saha uygulamalarında kısa devre olasılığını azaltmada, operatörün eğitimi de önemli rol oynar.

Ayrıca elektrofüzyon kaynağıyla birleştirilen boruların özelliklerinde bazı değişiklikler olabildiği kaydedilmiştir. Boşluklu tipte bir elektrofüzyon manşonunun kaynağı işleminde, ergiyen polimerin boşluğu doldurmasını nedeniyle, bağlantı sonrasında boru iç çapı artabilir.

Ayrıca borunun fiziksel özelliklerinde kaynak süreci nedeniyle değişiklikler meydana gelebilir. Ekstrüzyon yöntemi ile üretilen polietilen boruların dış katmanlarının yoğunluğu ve kristalleşme oranı iç katmanlarına göre daha düşüktür. Kaynak sırasında verilen enerji ve yavaş soğuma hızı, dış yüzeyin yoğunluğun artmasına ve sertleşmesine neden olur (Tablo 4.1). [2]

Tablo 4-1 Elektrofüzyon kaynağı sırasında yoğunluk değişimi

NUMUNE KONUMU	NUMUNE YOĞUNLUĞU <i>kg/m<sup>3</sup></i>	
	Kaynaktan Önce	Kaynaktan Sonra
Dış Duvar	934,0	940,8
İç Duvar	937,2	938,0
Boru İçi	940,2	938,9

## 5. KAYNAK DİKİŞİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Elektrofüzyon kaynağı bir önceki başlıkta da bahsedildiği gibi ardışık süreçlerden oluşan bir bütündür. Bu süreçlerde boru, ekleme parçası ve kaynak dikişinde meydana gelen değişiklikler çeşitli faktörün etkisi altındadır.

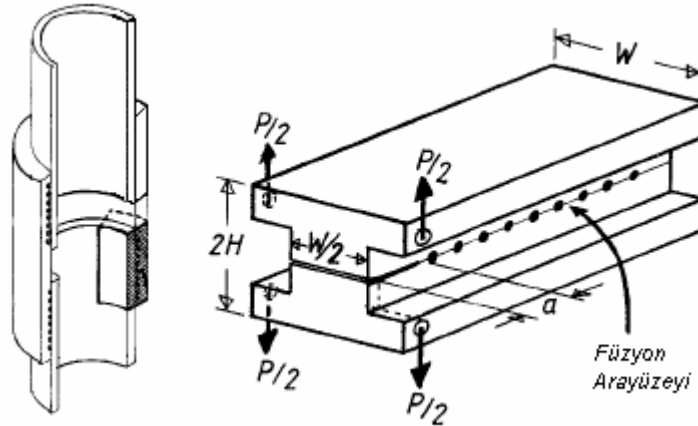
### 5.1 Kaynak Parametrelerinin Etkisi

#### 5.1.1 Füzyon Süresi

Füzyon süresinin bağlantı dayanımına etkisi, tahribatlı deneyler ve simülasyonlar yardımıyla çeşitli araştırmalarda incelenmiştir. Deneylerde farklı füzyon süreleriyle kaynaklı numuneler hazırlanırken, bu numunelerden oluşturulan test parçalarına tahribatlı testler uygulanmaktadır. Simulasyon çalışmalarında ise dayanım değerleri matematisel modellemeler yardımıyla tahmin edilmektedir.

Bowman çalışmasında çeşitli araştırmalarda elde edilen sonuçları karşılaştırmıştır.

İlk araştırma Marshal ve Cosgrove'nin 180mm çaplı manşonlarla uyguladığı (EN 12814-4'de tariflenen) ayırma deneyidir. Burada oluşturulan numunelerden yeri, şekli ve boyutsal parametreleri Şekil 5.1'de gösterilen test parçaları hazırlanmıştır. Direnç telinin olduğu kısımlara kanal açılarak, deney sırasında oluşacak hatanın bu bölgede oluşması sağlanmıştır.

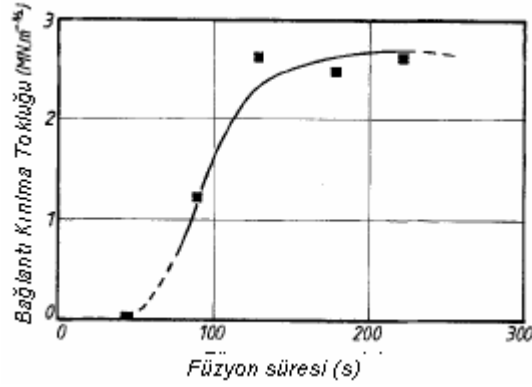


Şekil 5.1 Ayırma testi için hazırlanan numune

Ayrırma testi sonunda elde edilen değerlerden Eşitlik 5.1'de verilen ifade ile bir kırılma tokluğu değeri hesaplanmıştır.

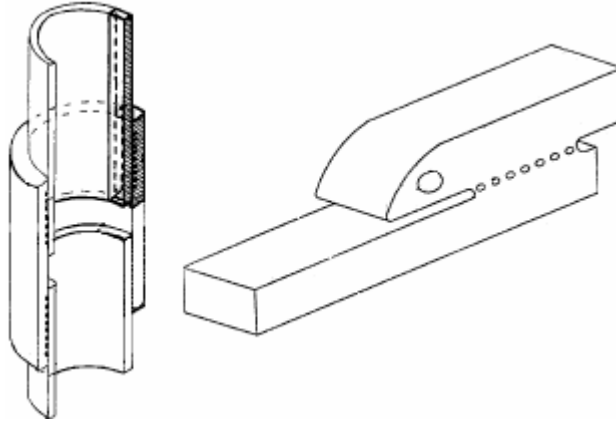
$$K_c = \frac{P_{\max} \cdot \alpha}{W \cdot H^{3/2}} \left[ 3,46 + 2,38 \frac{H}{\alpha} \right] \quad (5.1)$$

Kaynak bölgesinin dayanımını değerlendirmeye yarayan kırılma tokluğu değerlerinin, füzyon süresi ile değişimi Şekil 5.2’de görülmektedir.



Şekil 5.2 Kırılma tokluğunun füzyon süresiyle değişimi

İkinci çalışmada ise, Bowman aynı şekilde hazırlanan numunelerden, EN 12814-3’e benzer şekilde test parçaları oluşturmuş (Şekil 5.3) ve sıyrarak ayırma testi uygulamıştır.



Şekil 5.3 Sıyrarak ayırma testi için hazırlanan test parçası

Bowman burada bir toplam sıyırma enerjisi değeri ( $E_p$ ) formüle etmiştir (Eşitlik 5.2).

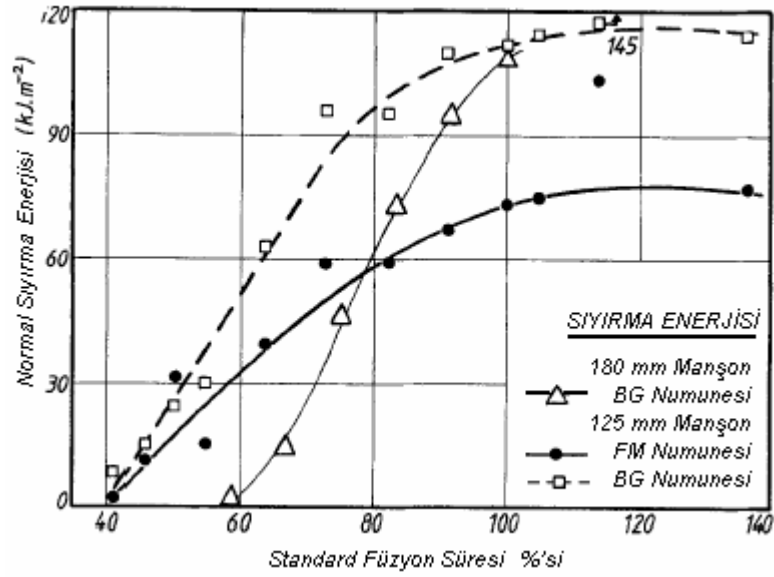
$$E_p = \int_0^{X_f} P(x) \cdot d(x) \quad (5.2)$$

Burada,  $P(x)$  kuvveti,  $x$  yer değişimini,  $x_f$  ise yer değişimindeki hatayı ifade etmektedir. Farklı  $W$  çapındaki ve füzyon bölgesi uzunluklarındaki örnekleri dikkate alarak ifadeyi aşağıda verilen  $E_N$  normalleştirilmiş sıyırma enerjisi haline dönüştürmüştür (Eşitlik 5.3).

$$E_N = E_p / W(t_f - n \cdot \phi_w) \quad (5.3)$$

$W.n.\phi_w$  terimi ile hata yüzeyinde kendini gösteren ve enerji absorpsiyonunu engelleyen  $\phi_w$  çapında,  $n$  sayıda metal tel gözönüne alınmaktadır.

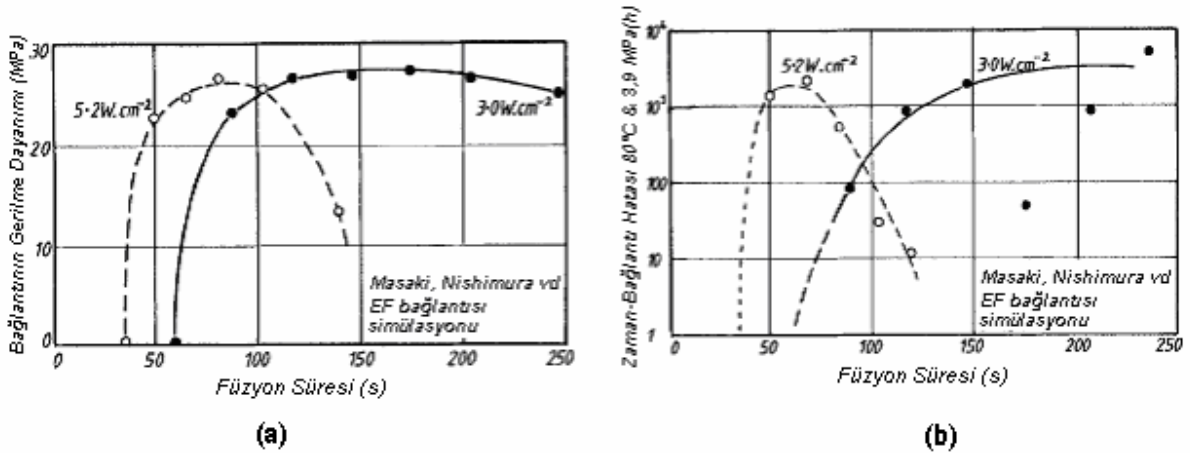
$E_p$ , 90 mm manşonlar için füzyon süresi ile orantılıdır.  $E_N$ 'nin füzyon süresi ile değişimi 125 ve 180 mm manşonlar için Şekil 5.4'de verilmiştir.



Şekil 5.4 Sıyırma enerjisinin füzyon süresi ile değişimi

Birinci ve ikinci çalışmada edinilen ortak sonuç şudur. Kaynak işlemi sırasında akımın uygulandığı süre yani füzyon süresi belirli bir değeri aşınca kadar bağlantının oluşması mümkün değildir. Bağlantı oluştuğundan sonra, füzyon süresinin uzatılması ise kaynak tamamlandığında oluşacak bağlantının tokluğunu yükseltir. Ancak belli bir değerden sonra süredeki bu uzamanın tokluğa etkisi yoktur.

Bowman kaynak simülasyonu ile yapılmış çeşitli çalışmalarda da benzer sonuçlara ulaşıldığını belirtmiştir. Bu çalışmalarda füzyon süresinin gerilme dayanımına (Şekil 5.5a) ve ömüre etkisi (Şekil 5.5b) modellenmiştir.



Şekil 5.5 Füzyon süresinin (a) gerilim dayanımı (b) ömür üzerindeki etkisi

Elektrofüzyon kaynağının testlerinde karşılaşılan gevrek karakterli hatalar kısa füzyon sürelerinde görülmekte, çatlak füzyon bölgesi boyunca yayılmaktadır. Standart füzyon sürelerinde hatalar sünek karakterlidir. Orta derece füzyon sürelerinde ise hatalar genellikle karışık karakterlidir. Bu durumda test parçası, gevrek ve sünek hatalar birarada kapsar.

### 5.1.2 Montaj Boşluğu (Manşon ile Boru Arasındaki Boşluk)

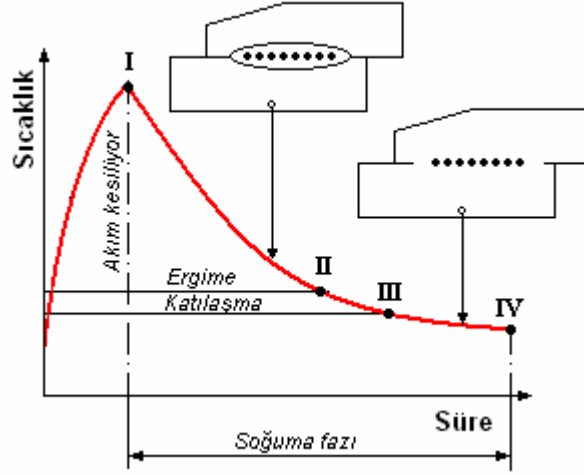
Montajı yapılan, manşon ile boru arasında bir miktar boşluk bulunmaktadır. Bunun bir nedeni bazı üreticilerin (özellikle büyük çaplı) ekleme parçalarını nominal çapın bir miktar üzerinde üretmeleridir. Bu sayede borunun manşona girmesi kolaylaşır. Diğer bir neden ise boru uçlarının üzerindeki oksit, yağ ve diğer kirlerin kaldırılması için boru uçlarının yüzeylerinin kazınmasıdır. Bu işlem de boru dış çapında bir miktar azalmaya neden olurken, boşluğun artmasına neden olur..

Yapılan çalışmalarda (Usclat, Nishimura, Bowman) nominal çapın % 2'sini geçmeyen bir boşluk miktarının kaynak kalitesine herhangi bir etkisi olmadığı sonucuna varılmıştır. Ancak daha büyük oranda bir boşluk olması dayanımı düşürmektedir. Nominal çapın % 5'ini geçmesi durumunda ise kaynak işleminin gerçekleşmesi mümkün olmamaktadır. Bu nedenle kazıma işlemi sırasında, düşük çaptaki borularda bu oranın daha kolay aşılabileceği dikkate alınmalıdır. 40 mm'den küçük çaplarda yüzeyden kaldırılan talaş miktarının doğru ayarlanabilmesi için mekanik kazıyıcılar kullanılması önerilir. [2]

### 5.1.3 Soğuma Süresi

Kaynak işleminin son aşamasında ergiyen polimer soğuyarak katılaşır. Katılaşma sırasında amorf polimerler moleküler yönelimlerini korurken, yarıkristalli polimerler son şekillerini

almak üzere yeniden kristalleşirler. Yarıkristalli polimer malzemelerin soğuma sürecine ait diyagram Şekil 5.6'da verilmiştir. Burada I noktası kaynak enerjisinin kesildiği andır ve arayüzey sıcaklığı bu noktada en yüksek değerdedir. Süre ilerledikçe sıcaklık azalır. II noktasında kristalleşme başlamakta, III noktasında tamamlanmaktadır. Bu noktadan itibaren arayüzey ortadan kalkarak parçalar tek parça hale gelmiştir. Isıl sebeplerle oluşan gerilmeler ve distorsiyonlar ise katılaşma sonunda kalıcı hale gelir. IV noktasında polimer iç sıcaklığı ortam sıcaklığına düşer.



Şekil 5.6 Soğuma süresi boyunca arayüzey sıcaklığının değişimi

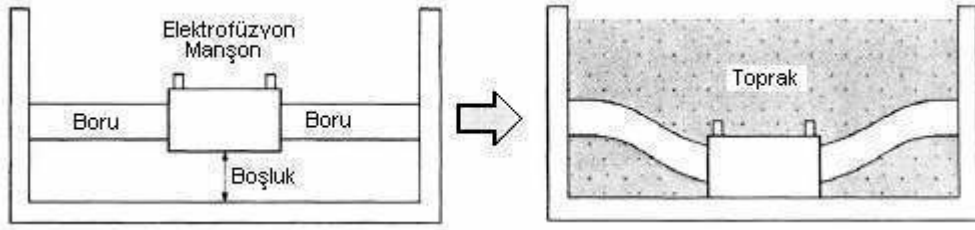
Saha şartlarında zaman kaybını azaltmak amacıyla yeterli en kısa soğuma süresi belirlenmelidir. Burada soğuma süresinin gereğinden kısa tutulması ise bazı sakıncalar doğuracaktır.

Higuchi vd. yaptıkları çalışmada soğuma süresinin kaynak kalitesine etkilerini incelemiştir. Çalışmalarında, 165 mm dış çaplı boruların füzyon işlemini gerçekleştirdikten sonra, numuneleri soğumaları için farklı sürelerde bekleterek deformasyona uğratmışlardır. Deformasyon oluşturmak için numuneler saha şartlarına benzer şekilde toprak altına gömülmüşlerdir (Şekil 5.8). Numuneler, deformasyonun daha belirgin oluşmasını sağlamak amacıyla, manşonların altlarında boşluk kalacak şekilde yerleştirilmişlerdir.

Araştırmacılar; numunelerin belirli bölgelerinden oluşturdukları test parçalarına çeşitli testler uygulayarak; deformasyon, kristalleşme derecesi, moleküler dizlim, sürünme ve yaşlanma etkilerini araştırmışlardır.

Kalıntı gerilmeleri polarize mikroskopu yardımıyla incelenmiş, numuneler arasında belirgin bir fark saptanmamıştır.

X-ışını difraksiyonu yöntemi ile incelenen numunelerin kristalleşme derecelerinde bazı farklılıklar saptanmıştır. Kristalleşme soğuma süresi ile beraber artmaktadır. Numunelerin üzerine örtülen toprağın meydana getirdiği deformasyon, ergimiş polimerin soğuması sırasında meydana gelen kristalleşmeyi engellemektedir.



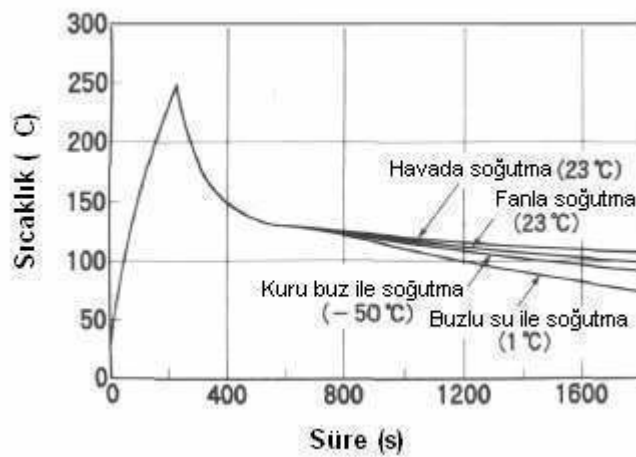
Şekil 5.7 Numunelerin deformasyona uğratılması

Numunelerde meydana gelen zincir karışımını incelemek amacıyla TEM yöntemi kullanılmış, belirgin bir fark oluşmadığı gözlenmiştir.

Kısa dönem dayanımın karşılaştırmak amacıyla, test parçalarına 23°C sıcaklıkta, çekme testi uygulanmış, belirgin bir fark oluşmadığı gözlenmiştir.

Numunelerin uzun dönem dayanımlarını karşılaştırmak amacıyla 80°C'de sürünme testi uygulanmıştır. Burada katılaşma tamamlanmadan deformasyona uğrayan numunelerde sürünme dayanımının daha düşük olduğu göze çarpmıştır.

Yine uzun dönem dayanımlarının karşılaştırmak amacıyla 80°C'de yaşlanma testi uygulanmıştır. Ancak burada da belirgin bir fark elde edememiştir.



Şekil 5.8 Değişik soğutma yöntemlerinin soğuma süresine etkisi

Sonuç olarak soğuma süresinin gerekenden kısa tutulmasının, kısa dönem dayanımına belirgin bir etkisi bulunmazken, uzun dönem dayanımını düşürdüğü anlaşılmıştır.

Ayrıca Nishimura vd. yaptıkları 150 mm iç çaplı manşona ait kaynak simülasyonunda farklı soğutma yöntemlerinin soğuma süresine etkisini incelemişlerdir. Burada; dış ortam ve kaynak bölgesi arasındaki ısı transferi katsayısını belirleyerek soğuma sürelerini hesaplamışlardır. Buna göre soğuma süresini azaltan yöntemler sırasıyla buzlu su, kuru buz ve fanla soğutma yöntemleridir (Şekil 5.7). [2, 3]

## 5.2 İnsan Faktörü

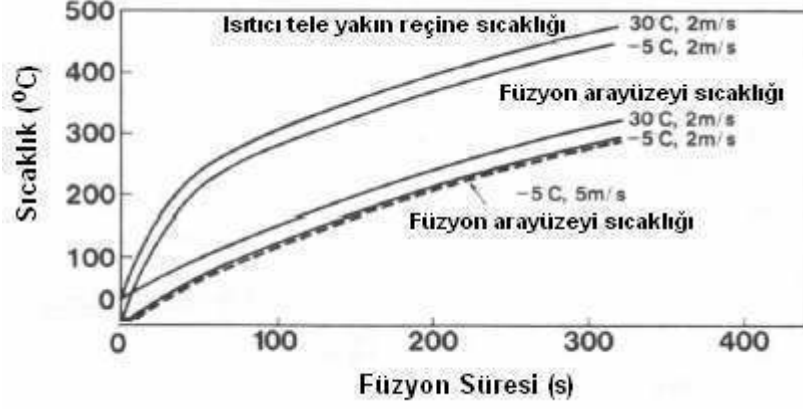
Gelişmiş kontrol cihazları sayesinde elektrofüzyon kaynağında operatör kaynaklı hataların etkisi azaltılmıştır. Ancak kaynak kalitesinde oldukça önemli yer tutan hazırlık işlemleri operatörce manuel olarak yürütülür. Bu aşamada oluşacak hataları en aza indirmek amacıyla hazırlık işlemleri ayrıntılı prosedürler halinde yayınlanmaktadır.

Operatör hazırlık işlemlerini imalatçının verdiği prosedürlere uygun olarak gerçekleştirmelidir. Ovallık kontrolü, ağız kesimi ve yüzey temizliğini uygun aletlerle gereken şekilde yapmalıdır. Pozisyoner kullanımının gereken durumlar saptamalı, uygun görmediği durumda kaynak işlemine başlamamalıdır. Ayrıca üretici tarafından önerilen kurallara uymak şartıyla, ortam şartlarını değerlendirerek kaynak işlemini manuel olarak yapacak yeterliliğe sahip olmalıdır.

PPI elektrofüzyon kaynağını yapacak operatörlerin yetkili bir eğitmenden eğitim almaları gerektiğini belirtmektedir. Ayrıca operatörler genel iş güvenliği kurallarına uymanın yanında kaynak işlemi ile ilgili gereken tedbirleri almalıdır. [33]

## 5.3 Çevre Şartları

Nishimura vd. simülasyon çalışmalarında rüzgar hızının kaynak bölgesindeki sıcaklığa etkisini incelemişlerdir. Çalışmada direnç teli etrafındaki ve kaynak arayüzeyindeki sıcaklıklar incelenmiştir. Hava sıcaklığının 30°C, rüzgar hızının ise yaklaşık 10 km/h olduğu ortam şartlarında kaynak arayüzeyinde sıcaklık 210°C'ye yaklaşık 200 s'de ulaşırken, aynı rüzgar hızında -5°C'deki ortam şartlarında bu süre yaklaşık 50 s uzamaktadır. Çalışmada rüzgar hızındaki 2,5 kat artışın ise kaynak bölgesinin sıcaklığına belirgin bir etkisinin olmadığı görülmektedir (Şekil 5.10).



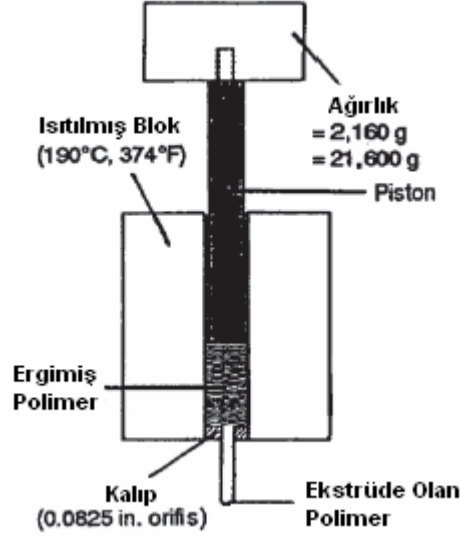
Şekil 5.9 Rüzgar hızı ve hava sıcaklığının füzyon süresine etkisi

Elektrofüzyon ekleme parçası imalatçıları kaynak işlemi için gereken füzyon süresini genellikle belirli ortam sıcaklıkları için önerirler. Bu aralık dışına düşen ortam sıcaklıkları için gereken füzyon süresinin değişeceği öngörülerek, üreticiden çalışılacak ortam sıcaklığı için gereken füzyon süresi bilgisi alınmalıdır. [6]

#### 5.4 Malzeme Özelliğinin Etkisi

Termoplastik boruların imalatında kullanılan reçineler molekül ağırlıkları, kristalleşme dereceleri, moleküler yerleşimleri ve katkı maddelerine göre çeşitlilik göstermektedir. Polimere ait bu yapısal özelliklerin, arayüzey dayanımına etkileri incelenerek kaynak dayanımını oluşturan mekanizmalar daha iyi anlaşılabilir.

İncelenecek birinci faktör molekül ağırlığının etkisidir. Termoplastik malzemelerin molekül ağırlıklarının tayininde kullanılan MFR (ergime akış hızı) testi ASTM D1238'de tariflenmiştir. Burada; polimer üzerinde ağırlık bulunan bir pistonun altında ekstrüde olmaktadır. Piston üzerine 2,160 kg yük yerleştirilerek, sıcaklığı 190°C'ye ulaşan polimerin bir kalıptan akması sağlanmaktadır. On dakika boyunca orifisten çıkan polimerin ağırlığı reçinenin MFR değerini vermektedir (Şekil 5.9).



Şekil 5.10 MFR test düzeneği

MFR değerinin yüksek olması molekül ağırlığının düşük olması anlamına gelmektedir. Test sırasında, belirtilmesi şartıyla, ağırlık polimerin akış karakteristiğine göre 5 kg, 15 kg, veya 21,6 kg. olarak ta uygulanabilir.

Boru malzemesi olarak kullanılan polietilen malzemelerin MFR 190/5 değerleri genellikle 4g/10d'nin altındadır. Polimer reçineler ergime sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklarda, MFR değeri yükseldikçe (azalan vizkoziteleri sayesinde) daha kolay akmaktadır. Aynı şartlarda MFR değerleri ölçülemeyen bir polietilen reçinenin çapraz bağlı olduğu söylenebilir.

Genel olarak elektrofüzyon kaynağı tüm düzeylerdeki polietilen reçinelerde kullanılabilir.

Kaynak kalitesi üzerinde malzeme etkisini oluşturan ikinci faktör ise polimerdeki kristalleşmedir. Kristalleşme derecesi polimerin yoğunluğundan hesaplanabilir. Burada katkı maddelerinin özellikle de karbon siyahının engelleyici etkisi dikkate alınmalıdır. Boru malzemelerinde kullanılan polietilen reçinelerin yoğunluğu 920-952 kg/m<sup>3</sup> arasında değişmektedir. Ancak gaz, içme suyu ve kimyasal madde taşınmasında kullanılan basınçlı boru malzemelerin yoğunlukları genellikle 935-948 kg/m<sup>3</sup> arasında sınırlandırılmıştır.

Bowman çalışmasında reçinelerin molekül ağırlıklarının ve yoğunluklarının kaynak dayanıma etkisini araştırmıştır. Çalışmasında elde ettiği sonuçlar Tablo 5.2 ve 5.3'de verilmiştir. [2, 34]

Çizelge 5-1 Yoğunluğun kaynak dayanımına etkisi

Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	Hata Şekli	Ort.Yük (N/mm <sup>2</sup> )	Ort. Sıyr. Ener. (J)
928	sünek	--	84
937	sünek	2149	137
949	sünek	2717	142
957	sünek	2543	114

Çizelge 5-2 MFR değerinin kaynak dayanımına etkisi

MFR (g/10d)	Hata Şekli	Ort.Yük (N/mm <sup>2</sup> )	Ort. Sıyr. Ener. (J)
0	sünek	1044	58
<0,05	sünek	2543	114
0,5	sünek	2717	142
0,9	sünek	2269	120
2,9	sünek	2431	128

## 5.5 Hazırlık İşlemlerinin Etkisi

Hazırlık işlemlerinin kaynak kalitesini etkileyen önemli aşamalardan biri olduğu ve manuel olarak gerçekleştirildiği için operatör kaynaklı insani hatalara açık olduğu daha önceki bölümde belirtilmişti. Ayrıntılı olarak yayınlanan hazırlık prosedürleri de bu durumun bir göstergesidir.

Hazırlık işlemlerinin eksik veya hatalı olarak gerçekleştirilmesi kaynak kalitesini önemli şekilde etkiler. Birleşme bölgesi dayanıma ulaşamaz ve işlem sonrası parça geometrilerinde çeşitli bozukluklar oluşabilir. Bazı durumlarda kaynak işleminin gerçekleşmesi dahi mümkün olmayabilir.

Hazırlık işlemlerinin etkisi üç başlık altında ele alınacaktır.

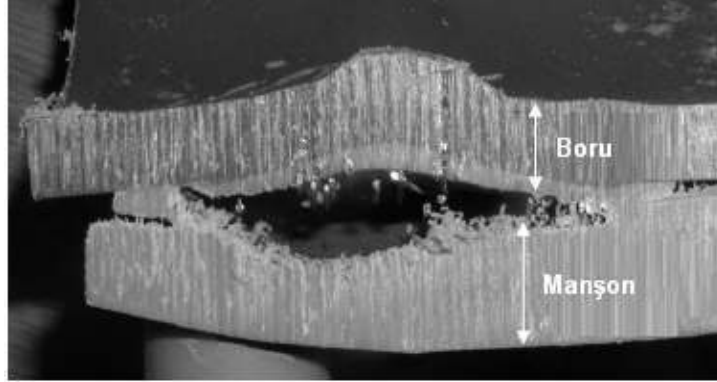
### 5.5.1 Yüzey Temizliği

Yüzey temizliği boru malzemesi üzerindeki oksit, kir gibi tabakaların ve nemin kaldırılması için yapılır. Bunun için yüzey uygun aparatlarla kazınır ve uygun derişimde izopropil alkol uygulanır. Temizlik saha uygulamalarında çok önemlidir.

Troughton vd. deneysel çalışmalarında, boru yüzeylerine ortalama 22 µm tane boyutunda talk ve 150-300 µm tane boyutunda doğal silis kumu uygulayarak kaynaklı numuneler hazırlamışlar ve yüzey temizliğinin, kaynak bölgesinin dayanımına etkisini incelemişlerdir. Çalışma sonunda talkın mukavemeti büyük ölçüde düşürdüğü gözlemlenmiştir.

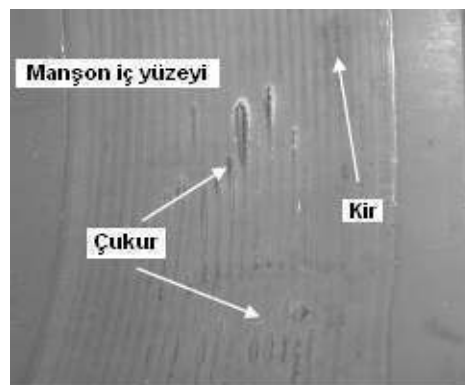
Yüzey temizliğinin hatalı veya eksik yapılmasının, kaynak dayanımına etkisini iki farklı örnekte net olarak görebiliriz.

Kaynak işlemi öncesinde parça yüzeylerindeki nemin kurutulmaması Şekil 5.11'deki hatayı meydana getirmiştir. Arayüzeydeki nem, füzyon sırasında yükselen sıcaklığın etkisiyle, buhar fazına geçmiştir. Su moleküllerinde oluşan büyük hacimsel genişleme nedeniyle, ergimiş polimerin içerisinde bir kabarcık meydana gelmiştir. Buhar direnç telinin olduğu yere yönelerek, burada bir ayırma yüzeyi oluşturmuştur.



Şekil 5.11 Füzyon kesitinde nem nedeniyle oluşan kabarcık

Şekil 5.12'de ise bir gerekli dayanıma ulaşamamış bir kaynak işlemi sonucunda oluşan ayrılma yüzeyi görülmektedir. Burada, manşon yüzeyine gömülü kirler ve nem nedeniyle oluşan çukurlar dikkati çekmektedir. Bu duruma yüzey temizliğinin yapılmaması neden olmuştur.

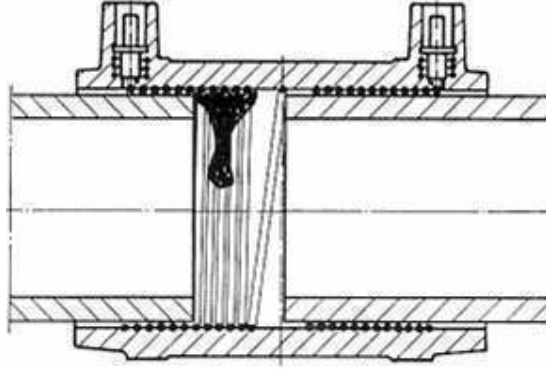


Şekil 5.12 Manşon iç yüzeyinde kirlenme ve nem

Kaynak işlemi sırasında manşon ile boru arasındaki montaj boşluğunun belirli bir değeri geçmesi füzyon sırasında oluşacak basınç değerlerini ve kaynak dayanımını düşürmektedir. Bu nedenle yüzey temizliği için yapılacak kazıma işlemlerinin, boru dış çapının % 2'sini geçmemesi gerekmektedir. Özellikle küçük çaplı borularda daha hassas yapılmalıdır. 40 mm'nin altındaki çaplarda ise mekanik kazıma aparatlarının kullanılması önerilmektedir.

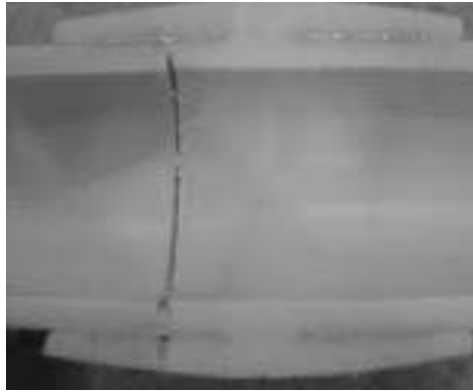
### 5.5.2 Boru ve Manşonun Montajı

Boruların manşon içine uygun mesafede yerleştirilememesi (Şekil 5.13) kısa saplama veya saplama hatası olarak adlandırılır. Borunun iç soğuk bölgeyi örtecek kadar saplanmamış olması bu bölgenin işlevini yerine getiremesini engeller. Yani, arayüzeyde ergiyen polimerin basınç etkisiyle boru merkezine akması engellenemez. Bu ise, füzyonun oluşumu için gerekli, basınç değerlerine ulaşılmasını engeller. Sonuç olarak, kaynak dayanımını önemli ölçüde düşürür.



Şekil 5.13 Borulardan birinin manşona kısa saplanması

Boruların ekleme parçası içerisine asimetrik yerleştirilmesi (Şekil 5.14) ise hazırlık aşamasında yapılan diğer bir hatadır. Uzun saplanan boruda kaynak gereken şekilde gerçekleşirken, kısa saplanan boru tarafında ergiyen polimer boru uçlarının arasından içeri akarak basıncın düşmesine neden olacaktır. Bu ise kısa saplanan borunun kaynak dayanımının düşmesine neden olacaktır.

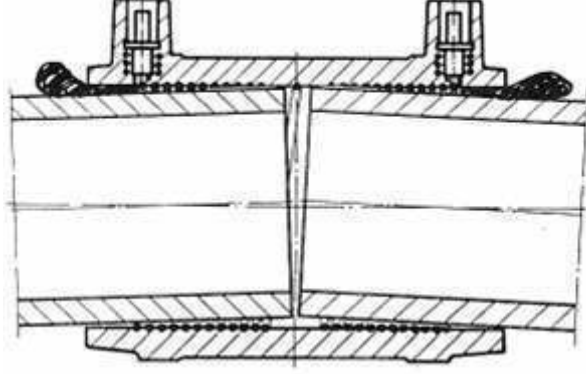


Şekil 5.14 Borulann manşon içine asimetrik uzunlukta yerleştirilmesi

Hazırlık işlemleri sırasında saplama derinliğinin işaretlenmesi kaynak dayanımını düşüren bu olumsuzlukları önlemektedir.

### 5.5.3 Birleştirilecek Malzemelerin Sabitlenmesi

Boru ve ekleme parçasının kaynak öcesinde sabitlenmesi kaynak işlemi ve soğuma süresi boyunca herhangi bir dış yüke maruz kalmasını önler. Kaynak sırasında boruların herhangi bir yüke maruz kalması, kaynak sonrasında çeşitli distorsiyonlar oluşmasına neden olur.



şekil 5.15 Kaynak bölgesinde distorsiyon oluşumu

Kangal halindeki boruların açıldıktan sonra eski şekline dönmeye çalışması bu dış yüklere bir örnektir. şekil 5.15’de füzyon sırasında ergiyen polimerin ekleme parçası dışına akarak, kaynak dayanımını düşmesine neden olduğu bir distorsiyonun oluşumu gösterilmiştir. [1,35,36]

## 6. UYGULANAN TESTLERİN ANALİZİ

Her yeni teknikte olduğu gibi termoplastik boru malzemelerinin kullanımında da belirli bir süre sonra, bazı eksiklik yönler ortaya çıkmıştır. Örneğin, ABD ve Kanada'da, 1970-1980 yılları arasında, polietilen gaz dağıtım hatlarında can ve mal kaybına yol açan pek çok kaza meydana gelmiştir. Yapılan incelemelerde, erken dönemlerde üretilen malzemelerdeki gevrek çatlama hassasiyetinin bu soruna neden olduğu anlaşılmıştır. Günümüzde kullanılan gelişmiş standartlar ve alınan önlemler sayesinde, belirtilen sorun artık tamamen aşılmıştır ancak sadece bu olgu bile, termoplastik boru malzemesi ve birleştirme yöntemlerinin kısa ve uzun dönem performansları ve bunları etkileyen faktörler hakkında yapılan araştırmaların önemini ortaya koymaktadır.

Elektrofüzyon kaynağının uygunluğunun değerlendirilmesi için genellikle tahribatlı yöntemler kullanılır. Bunlar kısa dönem ve uzun dönem testleri olarak iki şekilde gruplanırlar. Kısa dönem testlerinde kaynaklı numuneden kesilen parçalara mekanik deneyler uygulanır. Uzun dönem testlerinde ise numuneler uzun süreler boyunca, iç hidrostatik basınç altında tutulur ve zamanla oluşan hata incelenir. Bahsedilen tahribatlı testler ISO, EN, DIN ve ASTM standartlarında yer almaktadır.

Kaynak işleminin değerlendirilmesinde kullanılabilen diğer bir yöntem ise tahribatsız muayene yöntemleridir. Henüz genel kabul görmemesine ve standard hale getirilememiş olmasına rağmen bu konuda yapılan araştırmalar sürmektedir, hatta bazı test cihazları pazara sunulmuştur. Yang vd.'nin ve Caravaca vd.'nin araştırmalarında çeşitli kaynak hataları ultrasonik faz sıralı yöntem ile incelenmiştir. Bu çalışmalarda elde edilen iki boyutlu görüntüler sayesinde, çoğu kaynak hatası kolaylıkla belirlenebilirken, yetersiz yüzey temizliği gibi nedenlerle oluşan kaynak hataları belirlenememiştir.

Ayrıca son yirmi yıldır elektrofüzyon kaynağının bilgisayar ortamında modellendiği çeşitli simülasyon teknolojileri üzerinde çalışmalar sürdürülmektedir. Nishimura, simülasyon yöntemiyle kaynak parametrelerinin birleşme bölgesine etkilerini incelemiştir. Yöntem kaynak kalitesinin değerlendirilmesinde sınırlı özelliklere sahip olmakla beraber özellikle tasarım aşamasında önemli faydalar sağlamaktadır. [4, 5, 6, 37]

## 6.1 Tahribatlı Testler

### 6.1.1 ASTM Testleri

ASTM F 1055’de polietilen mazemededen elektrofüzyon ekleme parçaları için çeşitli test yöntemleri belirlenmiştir. Standartta tariflenen testlerde amaç, imalatçının önerdiği şekilde hazırlanan elektrofüzyon kaynaklı birleştirmelerin performanslarını belirlemektir. Üretici, imal ettiği her tasarım, her boyut ve kullanılan her malzeme türü için tüm testlerde başarı sağlamalıdır.

Testler sırasında bağlantı arayüzeyinde veya yakınında boşluğa rastlanabilmektedir. Bu durum kaynak işlemi sırasında arada kalmış hava veya soğuma sırasındaki büzüşme nedeniyle oluşmaktadır. Test sırasında bu tip boşluklar tespit edilmişse yuvarlak veya elips şeklinde olmaları şartıyla (keskin köşelere sahip olmamalı) kabul edilebilirler. Bununla beraber, eğer boşluk bir tane ise boyu, füzyon boyunun 1/10’undan küçük olmalıdır. Çok sayıda boşluk varsa toplam uzunlukları füzyon boyunun 1/5’ini geçmemelidir. Ayrıca boşluğa rastlanması durumunda farklı kesitler alınarak çapsal doğrultuda ilerlememiş olduğu görülmelidir.

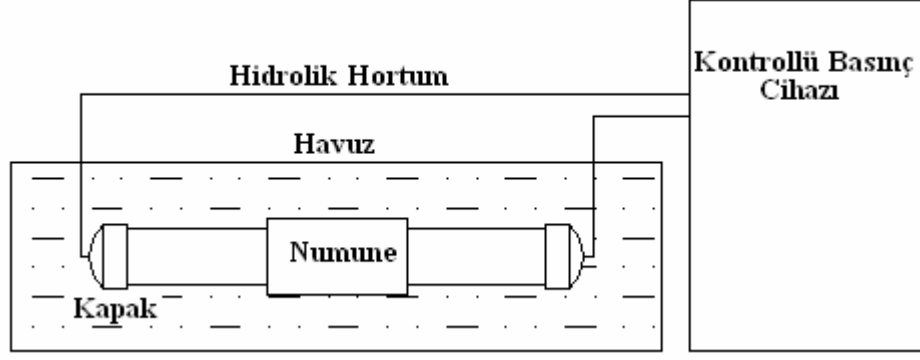
Standartta aşağıdaki testler tariflenmiştir:

#### 6.1.1.1 Minimum Hidrolik Patlama Basıncı Testi

Standart bu testin ASTM D 1599 test metoduna göre yapılacağını belirtmiştir. Bu test plastik boru ve ekleme parçalarının, kısa dönem hidrostatik basınca karşı direnci olarak adlandırılmıştır. Testler  $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ’de yürütülür. Deneyin yapılışına ait bir şema Şekil 6.1’de gösterilmiştir. Buna göre, kaynaklı boru ve ekleme parçasından oluşan numuneler, sıcaklığı kontrol edilebilen, içi su dolu bir havuz içerisine bırakılarak  $23^\circ\text{C}$ ’de şartlandırılırlar. Basınçlarını artıracak cihaza (elektriksel kontrollü pompa) bağlanan numunelerin iç basınçları, 60-70 s içinde yırtılmalarına neden olacak şekilde kademeli olarak artırılır. Bir test için en az beş numune gereklidir. Boruda meydana gelen yırtılma, iç basıncın ani olarak düşmesine neden olur. Deney sonunda aşağıdaki ifadeden halka gerilmesi hesaplanır.

$$S = P \cdot \frac{(D-t)}{2t} \quad (6.1)$$

Burada,  $S$  halka gerilimesini (MPa),  $P$  iç basıncı (MPa),  $D$  ortalama dış çapı (mm),  $t$  ise en küçük et kalınlığı’nı (mm) ifade etmektedir.



Şekil 6.1 İç basınç testleri için deney şeması

### 6.1.1.2 Sürekli Basınç Testi

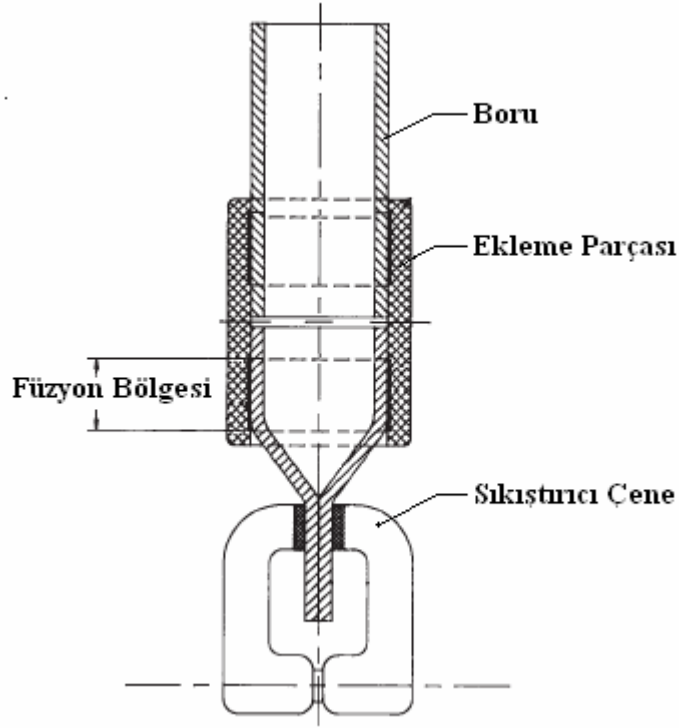
Standart bu testin ASTM D 1598 test metoduna göre yapılacağını belirtmiştir. Burada testler  $80 \pm 2^\circ\text{C}$ 'de yürütülür. Kaynaklı boru ve ekleme parçasından oluşan numune 1000 saat boyunca 4,0 MPa veya 170 saat boyunca 4,6 MPa büyüklüğünde bir iç basınç uygulanır. Numunelerin sıcaklıklarının kontrolü genellikle bir önceki deneyde olduğu gibi içi su dolu havuzda yapılır. Test süresi boyunca ekleme parçasında herhangi bir hata oluşmamalıdır. Oluşan herhangi bir hata mutlaka ekleme parçasından bağımsız olarak boruda gerçekleşmeli ve gevrek tipte olmalıdır. Test sonunda Denklem 6.1'de ki ifadeden çember gerilimi hesaplanır.

### 6.1.1.3 Gerilme Dayanımı Testi

Standart bu testin ASTM D 638 test metoduna göre yapılacağını belirtmiştir. Plastiklerin gerilme özelliklerinin test edildiği bu yöntemde, kaynaklı boruya (parça kesilmiyor) % 25 uzamasını sağlayacak şekilde çekme gerilmesi uygulanır. Dakikada 5,0 mm hızla çekilen boru numunede bir süre sonra kopma meydana gelir. Testin başarılı sayılması için kopmanın meydana geldiği bölge ekleme parçası veya kaynak bölgesinin dışında olmalıdır.

### 6.1.1.4 Ezme Testi

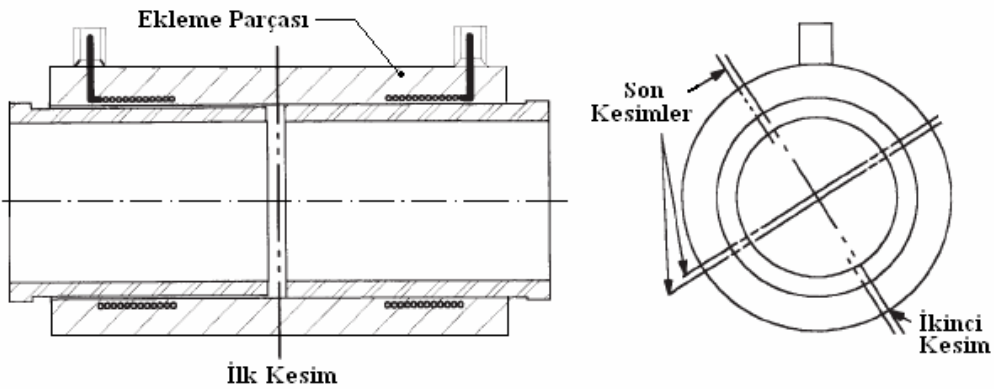
Kaynaklı boru ve ekleme parçası numunesi boru eksenine doğrultusunda, boylamasına ikiye ayrılır. Kesilen parçalar ekleme parçasından belirli bir uzaklıktan sıkıştırma cihazına bağlanır. Parça, cihazın çeneleri iki et kalınlığı mesafeye gelinceye kadar sıkıştırılır. Sıkıştırma sonunda kaynak arayüzeyi incelenir. Bu bölgede meydana gelen ayrılmaların, füzyon boyunun % 15'inden fazla olması durumunda test başarısız sayılır. İşlem kaynaklı her iki kısım için ayrı ayrı yapılır.



Şekil 6.2 Ezme testinin yapılışı

#### 6.1.1.5 FET (Füzyon Değerlendirme Testi)

Kaynaklı boru ve eklemesi parçası numunesi, eklemesi parçasının orta noktası hizasından bant testere ile dikine keserek ikiye ayrılır. Ayrılan parçalar boylamasına iki defa kesilirler. Bu iki kesim birbirine dik olarak yapılır. Kesim yerlerinden 1,6 mm kalınlığında şeritler kesilerek test parçaları hazırlanır. Şeritler bir sıkıştırıcı cihaza yerleştirilir. Yerleştirmede kaynak bölgesi yukarıda kalacak şekilde yapılır. Test parçası dört defa 90° esnetilir. Arayüzeyde meydana gelen hata testin başarısız olmasına neden olur. [38]



Şekil 6.3 FET test parçasının hazırlanması

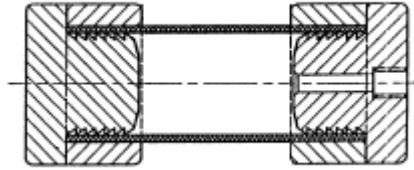
## 6.1.2 EN Testleri

### 6.1.2.1 TS 418-3 EN 12201-3 Plastik Boru Sistemleri- İçme ve Kullanma Suyu İçin – Polietilen (PE) Bölüm 3: Ekleme Parçaları

Bu standartta içme ve kullanma suyu için kullanılan plastik boru sistemlerinde kullanılacak ekleme parçaların sahip olması gereken fiziksel ve mekanik özellikler tanımlanmıştır.

Mekanik özellikler kısmında hidrostatik dayanım ile ilgili üç adet deney belirtilmiştir. Deneylerde PE 40, PE 63, PE 80 ve PE 100 malzemeler için farklı basınç değerleri belirtilmiştir. Numuneler su içerisinde şartlandırılmaktadır. İlk deney 20°C’de 100 saat, ikinci deney 80°C’de 165 saat, üçüncü deney ise 80°C’de 1000 saat süresince uygulanmaktadır. Standart her üç hidrostatik deneyin EN 921 metoduna uygun olarak yapılması gerektiğini belirtmiştir.

EN 921 tariflenen testte, şartlandırılmış deney parçalarına, havası boşaltıldıktan sonra, iç basınç uygulanır. Ortam sıcaklığı deney boyunca belirtilen toleranslar içerisinde sabit tutulur.



Şekil 6.4 Hidrostatik testte kullanılan boru kapak bağlantısı örneği

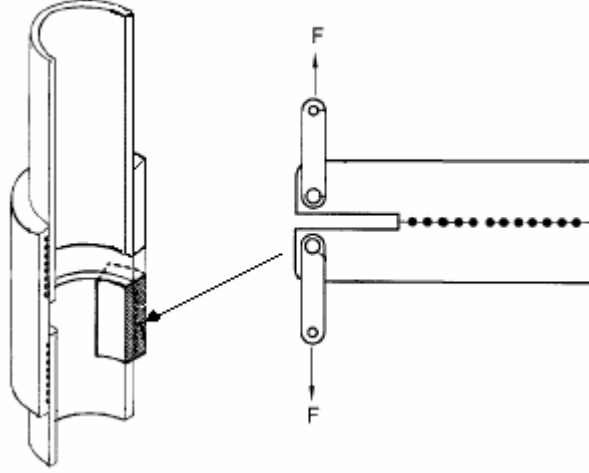
Deney basıncına erişildiğinde, zaman ölçülmeye başlanır, deney süresi bittiğinde veya deney parçasında hasar meydana geldiğinde ise durdurulur. Hasar meydana gelmişse, hasar süresi ve tipi kaydedilir. Hasarlar çatlama, kırılma veya plastik yapıda şişme şeklinde oluşabilir.

Fiziksel özellikler kısmında ise ekleme parçası malzemesinin özelliklerinin (MFR değerleri, yükseltgenme indüksiyon süresi değeri) ölçüldüğü testler ile birleşme bölgesinin ayrılma dayanımına dair testlerin uygulanma ile ilgili yöntemler tariflenmiştir. Ayrılma dayanımına dair belirtilen deneyler elektrofüzyon kaynağının değerlendirilmesinde sıklıkla kullanılan ISO 13954, ISO 13955 ve ISO 13956 deneyleridir. Bu deneylerden ISO deneyleri bölümünde bahsedilecektir. [39]

### 6.1.2.2 TS EN 12814-4 Yarı Mamül Termoplastik Malzemeler - Kaynaklı Bağlantıların Deneyleri - Bölüm 4: Sıyırma Deneyi

#### 6.1.2.2.1 Ayırma Testi:

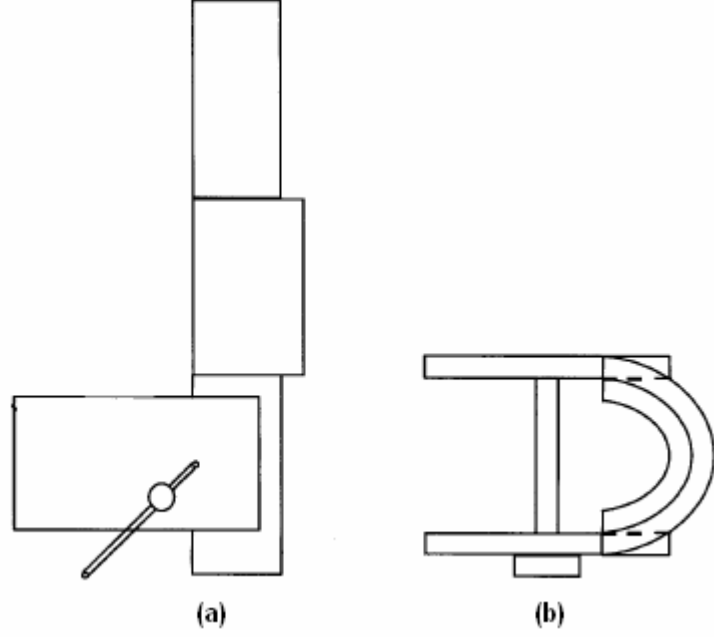
Standardın 7. bölümünde tariflenen test anma kalınlığı 10 mm'den fazla olan boru / ekleme parçalarının elektrofüzyon kaynağında kullanılmaktadır. Burada elektrofüzyon kaynaklı numune, çevresi boyunca, birbirine eşit mesafeli dört noktadan, uzunlamasına kesilir ve sıyırılma, erime ara yüzeyinin uzunluğu boyunca olacak şekilde, uzunlamasına sıyırma deneyine tabi tutulur. Parçaları, birbirlerinden tamamen ayrılıncaya kadar çekilir. Ayrılan yüzeyler, yumuşak ve/veya gevrek kırılma yönünden, birleşme bölgesi ara yüzeyi boyunca incelenir.



Şekil 6.5 Ayırma testi için numunenin alınışı

#### 6.1.2.2.2 Ezme Testi:

Standardın 8. bölümünde tariflenen test anma dış çapı 90 mm'ye kadar olan boruların elektrofüzyon manşonlu kaynaklarında uygulanmaktadır. [40]

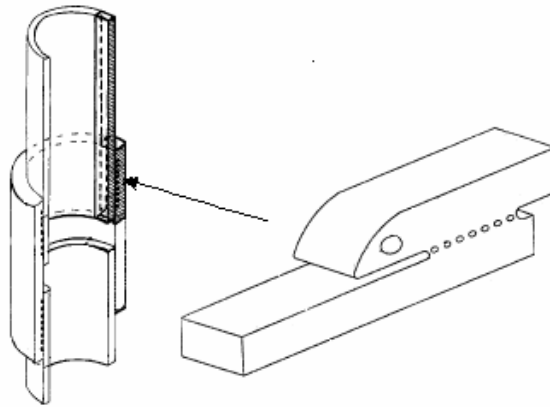


Şekil 6.6 Mengenede yapılan ezme testinin (a) yandan ve (b) üstten görünüşü

### 6.1.3 ISO Testleri

#### 6.1.3.1 TS ISO 13954 Plastik Borular ve Ekleme Parçaları - Anma Dış Çapı 90 mm veya Daha Büyük Olan Elektrik Eritmeli Polietilen (PE) Takımlar İçin Sıyrarak Ayırma Deneyi

Bu standart, akışkanların dağıtımında kullanılan polietilen (PE) elektrofüzyon boru başı takımının ayrılma dayanımının belirlenmesine dair bir deney yöntemini kapsar. Bu yöntem, anma dış çapı 90 mm veya daha büyük olan takımlara uygulanır.



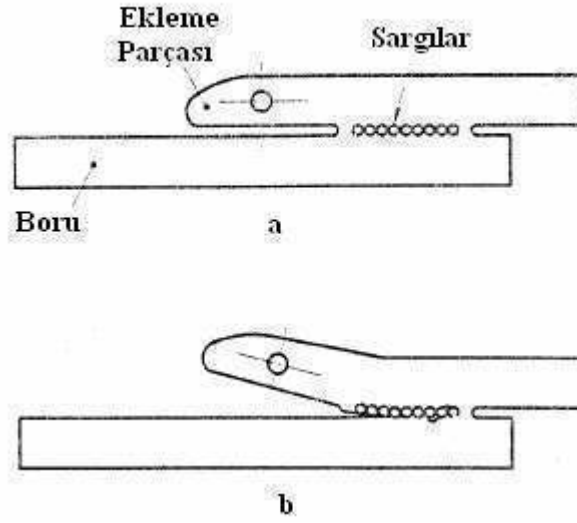
Şekil 6.7 Sıyrarak ayırma deneyi numunesinin konumu

Deneyde, birleşme bölgesinin kademeli olarak sıyrılarak ayrıldığı şartlar altında şerit şeklindeki bir deney parçasına çekme gerilimi uygulanarak ayrılmasının incelenmesi

yardımla, PE boru / elektrofüzyon boru başı takımının yapışma sağlamlığı belirlenir. Deney takımının ayrılma dayanımı, boru cidarındaki, ekleme parçası cidarındaki veya ergimiş malzeme düzlemindeki hasarlanma yapısıyla ve ayrılma yüzdesiyle tanımlanır.

Deneyde çekme cihazı ve bakla tipi bağlantı elemanı kullanılır.

Deney paçaları ve takımın hazırlanması için standartta gerekli bilgiler verilmiştir. Boru ve elektrofüzyon boru başlı ekleme parçası numuneleri ve her boru ucu, ISO 11413'e uygun olarak birleştirilir.



Şekil 6.8 Sıyırarak ayırma numunesinde hasar oluşumu

Numuneler kaynak işleminden en az bir gün sonra hazırlanır. Deney takımından aşağıda tanımlandığı şekilde dört tane deney parçası kesilir. Deney parçası kenarları birbirine paralel olacak ve et kalınlığı 20-25 mm civarında olacak şekilde elde edilmektedir. Deney parçalarına ekleme parçasından delik açılarak bakla tipli bağlantıya tutturulur. Deney için verilen sıcaklık şartlandırmalarına uyulur.

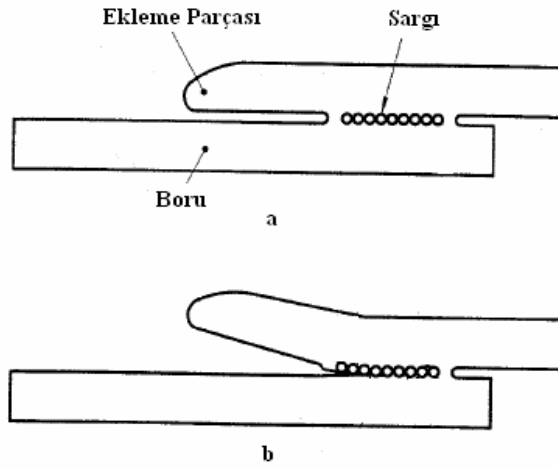
Elektrik eritmeli boru başındaki ilk sargı ile son sargı arasındaki mesafesi ölçülür. Deney parçasının boru başı, bakla tipli bağlantıya tutturulur ve boru ucu çekme cihazına yerleştirilir. Deney parçasına, uzunluğu boyunca belirtilen hızda çekme yükü uygulanır. Deney parçasında tam bir ayrılma meydana gelinceye kadar deneye devam edilir.

Kopmanın yeri kaydedilir. Boru eksenine paralel olan kaynak düzlemindeki toplam en büyük kırılma hasar uzunluğu ölçülür. En büyük kopma yükü kaydedilir. Her deney parçası için ayrılma yüzdesi bulunur.

Deney sonrasında ayrılma yüzdesi hesaplanır, ilgili mamul standardında verilen değerden daha yüksekse deney takımında hasar meydana geldiği kabul edilir. [18]

### 6.1.3.2 TS ISO 13955 Plastik Borular ve Ekleme Parçaları - Elektrik Eritmeli Polietilen (PE) Takımların Sıkıştırılarak Ayrılması Deneyi

Bu standart, akışkanların dağıtımında kullanılacak, polietilen (PE) boru ve elektrofüzyon boru başı veya semer takımlarının ayrılma dayanımlarının belirlenmesine dair bir sıkıştırma deney yöntemini kapsar. Bu yöntem, anma dış çapları 16-225 mm arasında olan boruları içeren takımlara uygulanır.



Şekil 6.9 Sıkıştırılarak ayrılma deneyinde hasarın oluşumu

Deneyde, bir deney parçası sıkıştırılarak bir PE boru/elektrofüzyon boru başı veya semer takımı arasındaki yapışma sağlamlığı belirlenir. Deney takımının ayrılma dayanımı ergimiş malzeme düzlemindeki hasarlanma yapısıyla ve ayrılma yüzdesiyle tanımlanır.

Deneyde sıkıştırma cihazı, kol, tablalar arası sıkıştırma mesafe ayar mekanizması kullanılmaktadır. Her deney parçası bir veya daha fazla PE boru ve bir PE boru başı veya semer içeren bir takımdan kesilen bir parçadan oluşmalıdır. Bu takım ISO 11413'e göre hazırlanmalıdır.

Elektrofüzyon boru başları standartta belirtilen özelliklerde kesilir. Elektrofüzyon semerler ise deney takımı boru ekseninden geçen bir düzlem boyunca kesilir. Deney parçalarının sayısı, mamul standardında verilen sayı kadar olmalıdır.

Deney ergitme işleminden en az 12 saat sonra uygulanır. Deneyde verilen sıcaklık şartlandırmalarına uyulmalıdır.

Elektrofüzyon boru başındaki ilk sargıdan sonuncaya kadar olan ve mesafesi ölçülür ve kaydedilir. Her deney parçasında elektrofüzyon boru başına en yakın kısma, boru iç cidarları birbirine temas edinceye kadar, belirtilen hızda sıkıştırma kuvveti uygulanır. Bu uygulamada, sıkıştırma cihazının tablaları birbirine en fazla boru et kalınlığının iki katı değerinde yaklaşmalıdır. Elektrofüzyon boru başı yavaşça hareket ettirilen kol vasıtasıyla dikkatli bir şekilde borudan ayrılır. Bu sırada deney parçası herhangi bir darbeye maruz kalmamalıdır. Deney parçası muayene edilir ve hasar tipi kaydedilir. Boru eksenine paralel ekleme parçasının dış kenarında, eritme düzleminde meydana gelen gösterilen toplam kırılma hasarının uzunluğu ölçülür. Her deney parçası için, ilk ve son sargılar arasındaki mesafe ve kırılma hasarının uzunluğundan, kırılarak ayrılma hasarı yüzdesi hesaplanır.

Elektrofüzyon semerler eritme düzleminin alanı belirlenir. Deney parçası cihaza, sıkıştırma kuvveti borunun kesildiği düzleme paralel olan bir düzlemde uygulanacak şekilde ve sıkıştırma cihazının tablaları semere bitişik olacak şekilde yerleştirilir. Deney parçasına, tablalar birbirine belirtilen hızda yaklaşacak şekilde, artan bir sıkıştırma kuvveti uygulanır. Deney parçası, tablalar arasındaki mesafe, borunun et kalınlığının iki katına ulaşana dek sıkıştırılmaya devam edilir. Boru cidarları temas etmeden hemen önceki sıkıştırma kuvveti kaydedilir.

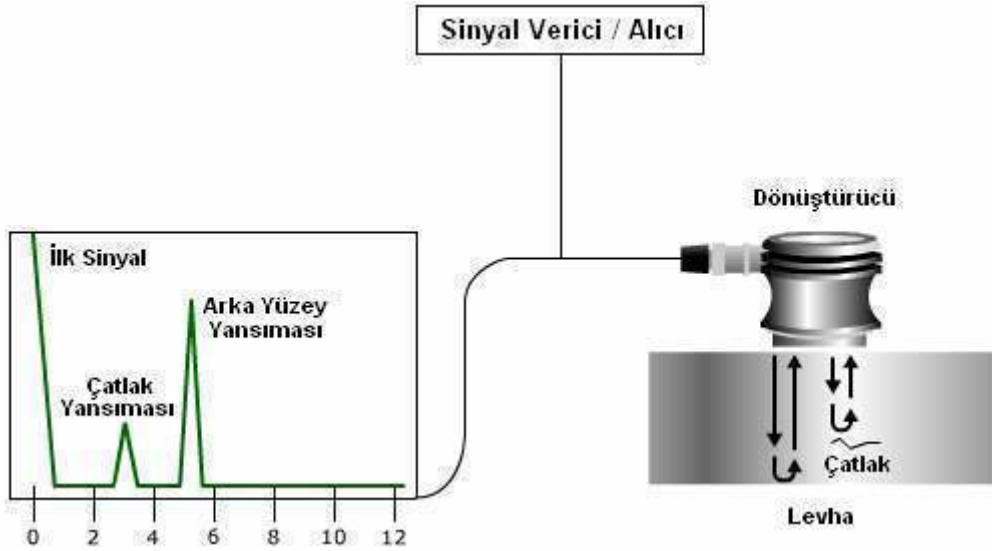
Deney sonunda kırılarak ayrılma hasarı yüzdesi hesaplanır, ilgili mamul standardında verilen değerden daha yüksekse, deney takımında hasar meydana geldiği kabul edilir. [7]

## 6.2 Tahribatsız Testler

Elektrofüzyon kaynağının tahribatsız muayenesi konusunda yirmi yılı aşkın bir süredir çeşitli çalışmalar yürütülmüş ve yayınlanmıştır. Ancak bu süre zarfında, elektrofüzyon kaynağının değerlendirilmesi için herhangi bir tahribatsız muayene metodu standart hale gelememiştir. Yapılan çalışmalar özellikle faz sıralı ultrasonik muayene üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu yöntemde kaynaklı bölgelerin iki boyutlu gerçek zamanlı görüntüleri oluşturulmuş ve görüntü üzerinden çeşitli kusurlar yorumlanmıştır.

Ultrasonik yöntemle muayene ve ölçüm yapmak amacı ile yüksek frekanslı ses enerjisi kullanılmaktadır. Yöntem çatlak bulma ve değerlendirme, boyutsal ölçümler yapma, malzeme tanımlama gibi amaçlarla kullanılabilir. Tipik bir muayene düzeneği sinyal verici/alıcı, sinyal dönüştürücü ve görüntüleme cihazlarından oluşur. Sinyal verici/alıcı yüksek voltajlı elektrik sinyalleri oluşturan elektronik bir cihazdır. Verici tarafından yönetilen dönüştürücü, yüksek frekanslı ultrasonik enerji üretmektedir. Ses enerjisi, malzeme içerisine doğru dalgalar

halinde yayılır. Dalga, yolu üzerinde çatlak benzeri bir süreksizlik ile karşılaştığında, enerjinin bir kısmı kusur yüzeyinden geri yansır. Yansıyan dalga sinyali, dönüştürücü tarafından elektrik sinyaline çevrilerek ekrana yansıtılır. Şekil 6.10'daki örnek şemada; sinyalin üretildiği andan, yansımanın ulaştığı ana kadar geçen süre boyunca, yansıyan sinyal gücü gösterilmektedir. Sinyal gidiş-dönüş süresi sinyalin gidip-döndüğü uzaklık ile doğrudan bağlantılı olduğundan sinyale bağlı olarak; yansıtıcının yerleşimi, boyutları, yönelimi ve diğer özellikleri hakkında bilgiler sağlanabilmektedir.

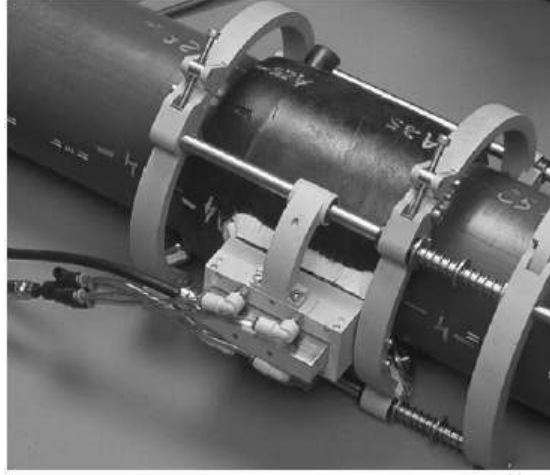


Şekil 6.10 Ultrasonik Yöntemin Temel Çalışma Prensipleri

Elektrofüzyon kaynağında, saha şartlarında, kısa sürede uygulayıp sonuç almak amacıyla çeşitli faz sıralı ultrasonik test yöntemleri geliştirilmiştir. Faz sıralı sistemlerde sayıları 128'e kadar ulaşan elemanlardan oluşan bir sıralı dönüştürücü kullanılarak çeşitli açı ve odak uzaklığına sahip ultrasonik demetlerle muayene yapabilmek mümkündür. Burada demet açısı ve odaklanma üzerindeki kontrolü, sıralı dönüştürücü içerisindeki her bir elemanın gönderdiği ve aldığı sinyallere kontrollü gecikme uygulanarak sağlanmaktadır.

Caravaca vd. tarafından bu konuda kapsamlı bir araştırma gerçekleştirilmiştir. Çalışmada; incelenecek numuneler; 125-250 mm dış çaplarında ve farklı üreticilerden sağlanan çeşitli polietilen borular ile uygun elektrofüzyon manşonların birleştirilmesi ile oluşturulmuştur. Kaynak işlemlerinin bir bölümü uygun şekilde yapılırken, diğerleri çeşitli hataları barındıracak şekilde yapılmıştır. Hatalar; yetersiz penetrasyon, yetersiz füzyon, soğuk kaynak ve yüzey temizliği eksikliğine bağlı olarak oluşturulmuştur.

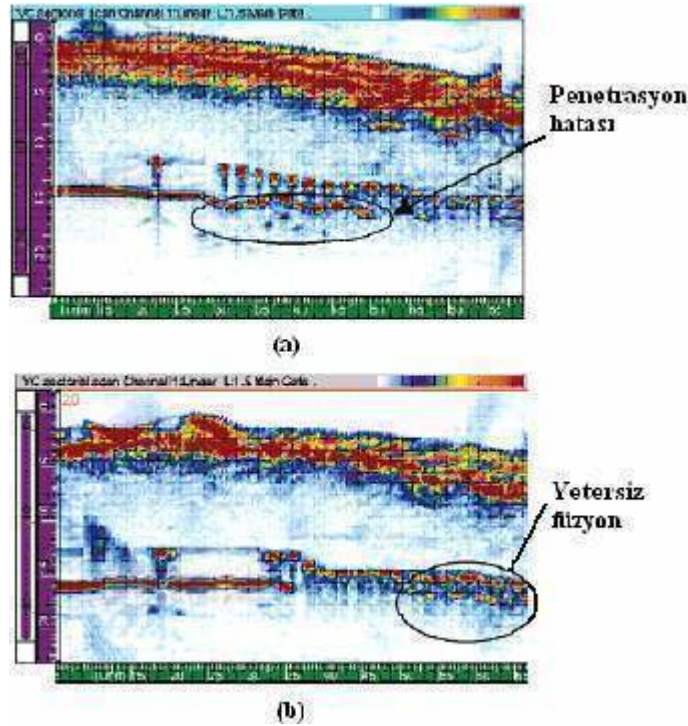
Test için daldırma metodu seçilmiş ve uygun bir manipulatör prototipi hazırlanmıştır (Şekil 6.11)



Şekil 6.11 Hazırlanan manipulatörün yerleşimi

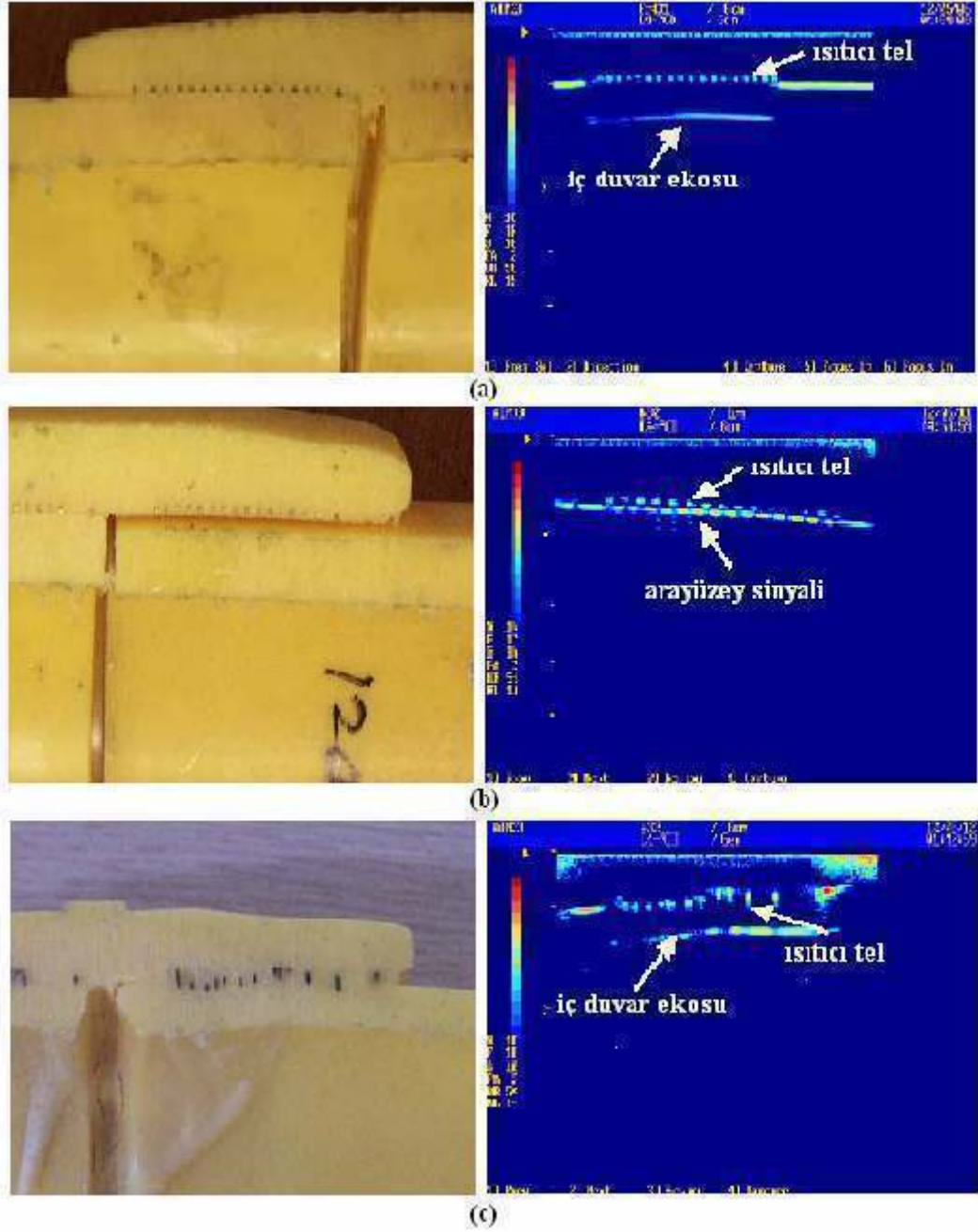
Kaynaklı numune içerisinde sesin ilerleme hızı ardışık soğuma sürelerinde ölçülerek, uygun süre tayin edilmiş ve testler bu sürenin sonunda gerçekleştirilmiştir. Sıcaklığın değişimi malzeme içerisinde ilerleyen sesin hızında farklılıklar meydana getirmektedir.

Deneyde elde edilen iki boyutlu görüntülerde hatalı kaynaklar ve hata çeşitleri tanımlanmıştır. Numuneler tahribatsız muayene sonrasında sıkıştırarak ayırma testine tabi tutulmuşlardır. Buna göre temizlenemeyen yüzey nedeniyle oluşan hata dışındaki tüm hatalar için sonuçlar tahribatlı testle uyumlu olduğu ortaya çıkmıştır. Aşağıdaki şekillerde iki ayrı hataya ait faz sıralı ultrasonik test görüntüleri görülmektedir.



Şekil 6.12 İki boyutlu hata görüntüleri

Yine, Shi vd. tarafından yapılan bir çalışmada eleman sayısı 96 olan bir prob kullanılarak hatalı ve düzgün elektrofüzyon kaynaklarının incelendiği bir yöntem geliştirilmiştir. Burada kullanılan düzenek ticari olarak kullanıma sunulan kontrol cihazı ve çeşitli problemlardan oluşmuştur. Elde edilen görüntülerden bazıları aşağıda verilmiştir. [4,5]



Şekil 6.13 Shi vd.'nin araştırmasında incelenen numuneler

## 7. DENEYSEL ÇALIŞMA

### 7.1 Deneğin Amacı ve Kapsamı

Deneysel çalışmada kaynak geriliminin ve füzyon süresininin dikiş kalitesine üzerindeki etkileri araştırılacaktır.

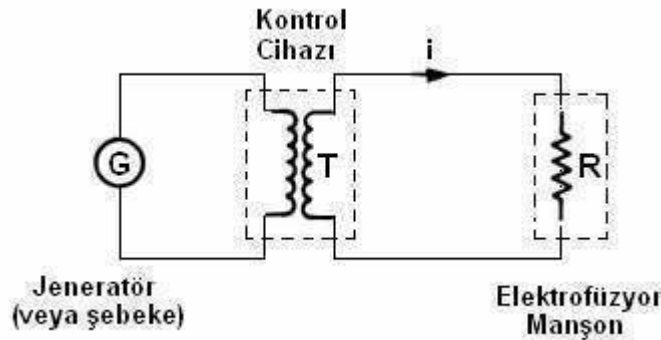
Bu amaçla aynı malzemeden üç grup numune hazırlanacaktır. Birinci grup Ø63mm borular 40V'da, ikinci grupta aynı çapta borular 24V'ta, üçüncü grupta ise Ø110mm borular 40 V'ta kaynaklanacaktır. Her grup için farklı füzyon süresi uygulanarak belirli sayıda kaynaklı numune hazırlanacaktır.

Numunelerden hazırlanan test parçalarının önce gözle kontrolleri yapılacak, daha sonra tahribatlı (sıkıştırarak ayırma ve sıyrarak ayırma) testler uygulanacaktır.

Deneysel elde edilen veriler karşılaştırılarak sonuçlar oluşturulacaktır.

### 7.2 Elektrofüzyon Kaynağı Devresi

Elektrofüzyon kaynağında kullanılan devre basitleştirilmiş haliyle Şekil 7.1'de gösterilmiştir. Burada şebeke veya jeneratörden sağlanan yüksek gerilimdeki (110V veya 220V) enerji, kontrol cihazının trafosu yardımıyla kaynak gerilimine düşürülerek manşona iletilir.



Şekil 7.1 Kaynak devresi

Manşona iletilen elektrik enerjisi, direnci  $R$  olan sargı telde Joule Yasası'na göre Eşitlik 7.1'de verilen ısı enerjisine dönüşür.

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t \quad (7.1)$$

Burada  $Q$  ısı enerjisi,  $I$  akım,  $t$  ise zamanı belirtir. Ohm Yasası'na göre  $I=E/R$  dönüşümü yapılarak enerji dirence ve gerilime ( $E$ ) bağlı olarak Eşitlik 7.2'de ki gibi ifade edilebilir.

$$Q = \frac{E^2}{R} \cdot t \quad (7.2)$$

Kaynak sırasında manşonun çektiği gücün ilk değeri ise Eşitlik 7.3’de belirtildiği şekilde olur.

$$P_0 = \frac{E^2}{R} \quad (7.3)$$

Direnç üzerinden geçen akım telin ısınmasına, telin sıcaklığındaki artış ise direncinin ( $R$ ) giderek artmasına neden olur. Eşitlik 7.4’te direncin sıcaklıkla değişimi ifade edilmiştir.

$$R = R_0(1 + \alpha \cdot \Delta T) \quad (7.4)$$

Kaynak işlemi öncesindeki direnç değeri  $R_0$  ile, sıcaklığın arttığı herhangi bir anda direnç değeri ise  $R$  ile ifade edilmiştir.  $\alpha$  direncin sıcaklıkla değişim katsayısı,  $\Delta T$  ise sıcaklıktaki anlık değişimdir.

Buradan füzyon süresi ilerledikçe direncin artacağı, akımın yükseleceği, harcanan gücün ise azalacağı ortaya çıkar. Her üçü için de değişim hızının giderek azalan karakterde olacağına dikkat edilmelidir.

### 7.3 Kullanılan Donanımın Özellikleri

Elektrofüzyon kaynağında, şebekeden veya jeneratörden sağlanan elektrik enerjisinin kaynak işlemi için uygun değerlere getirilmesi kontrol cihazları sayesinde olur. Bu cihazların ise en önemli kısmı otomatik kontrol devreleri ve trafosudur.

Deneyde elektrik enerjisi şehir şebekesinden (220V monofaz) sağlanacaktır. 40V sabit gerilim ile yapılacak kaynak işlemleri için standartta uygun kontrol cihazı (maks. 3300W), 24V sabit gerilim ile yapılacak kaynak işlemleri için ise çelik nüveli trafo (maks. 500kVA) kullanılmıştır.

### 7.4 Kullanılan Boru ve Manşonların Özellikleri

Deneylerde kullanılan boru ve elektrofüzyon manşonların tamamı aynı üreticinin imalatıdır.

Borular, DN63 ve DN110 olmak üzere iki ayrı dış çapta kullanılmıştır. Su taşınmasına uygun (TS 418-2 EN 12201-2), SDR17, PN10, PE100 özelliktedir.

Manşonlar ise 63 ve 110 mm iç çapında, su ve gaz taşınmasına uygun (TS 418-3 EN 12201-3 ve TS EN 1555-3), SDR11, PN16, PE100 özelliktedir.

Manşonların kaynağı için üretici tarafından gerilim değeri, füzyon ve soğuma süreleri önerilmiştir. Buna göre, 63mm iç çaplı manşonlara 40V gerilim altında 50 saniye; 110mm iç

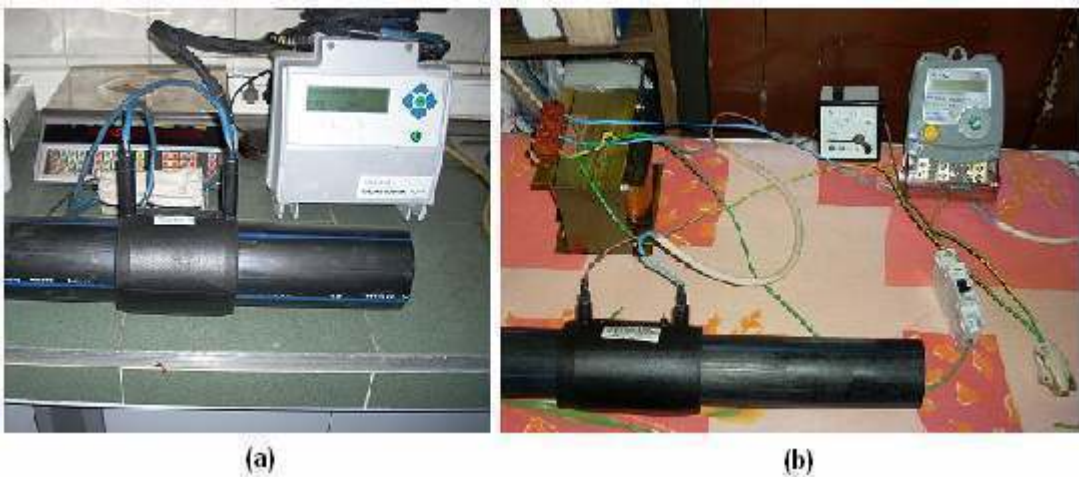
çaplı manşonlara ise aynı gerilim altında 411 saniye boyunca enerji verilmiştir. Yine üretici füzyon sonrası soğuma sürelerini sırasıyla en az 5 dakika ve 10 dakika olarak önerilmiştir.

Manşondaki tellerin dirençleri sırasıyla  $1,87\Omega$  ve  $1,34\Omega$  olarak ölçülmüştür.

### 7.5 Numunelerin Oluşturulması

Numuneler üç grup halinde hazırlanmıştır. Birinci ve ikinci grup numuneler DN63 boru ve aynı iç çapta elektrofüzyon manşonlarla, üçüncü grup numuneler ise DN110 çaplı boru ve aynı iç çapta manşonlarla hazırlanmıştır.

Hazırlık işlemlerinde TS ISO 11413'den yararlanılmıştır. Buna göre borular, manşon içerisine yerleştirildikten sonra, manşon dışında en az, dış çaplarının iki katı mesafe kalacak boyutta kesilmiştir. Boru uçları ve manşonların iç yüzeylerinde boşluk veya kalıntı olup olmadığı gözle kontrol edilmiş, herhangi bir oluşuma rastlanmamıştır. Boruların ovalliği kontrol edilmiş, uçlarında % 3'den fazla ovallik olan borular başkaları ile değiştirilmiştir. Boruların manşon içine gireceği uzunluk, boru uçlarına beyaz renkli sabit mürekkepli kalem ile işaretlenmiştir. Boru uçları bu mesafeye kadar el raspası ile kazınmıştır. El raspasıyla yapılan kazıma işleminde kalkan talaşın kalınlığı yaklaşık 0,2-0,4 mm arasındadır. Kazınan yüzeyler ve manşon iç yüzeyleri tiftiksiz kağıt peçete yardımıyla izopropil alkol uygulanarak silinmiş ve kurumaları beklenmiştir. Borular manşonun içine işaretli kısma kadar saplanarak yerleştirilmişler ve uygun şekilde pozisyonlandırılmışlardır.



Şekil 7.2 (a) Birinci grup ve (b) ikinci grup numuneler için devreler

Elektrik enerjisi birinci ve üçüncü grup numunelere kontrol cihazı ile 40V sabit gerilim altında (Şekil 7.2a), ikinci grup numunelere ise trafo ile 24V sabit gerilim altında verilmiştir (Şekil 7.2b).

Kaynak işlemi sırasında numunelere uygulanan füzyon süreleri Tablo 7.1’de ve direnç, akım ve çekilen gücün başlangıç değerleri Tablo 7.2’de verilmiştir.

Çizelge 7.1 Numunelerin füzyon süreleri

Numune Grubu	Numune No							
	1	2	3	4	5	6	7	8
I. ( Ø63, 40V)	70s	*50s	30s	25s	20s	15s	10s	5s
II. ( Ø63, 24V)	130s	110s	70s	60s	50s	40s	30s	--
III. ( Ø110, 40V)	411s	*250s	510s	82s	41s	--	--	--

Çizelge 7.2 Kaynak devresinin başlangıç değerleri

Numune Grubu	Ro [Ohm]	Io [Amper]	Po [Watt]
I. ( Ø63, 40V)	1,87	21,4	855,6
II. ( Ø63, 24V)	1,87	12,8	308,0
III. ( Ø110, 40V)	1,34	29,9	1.194,0

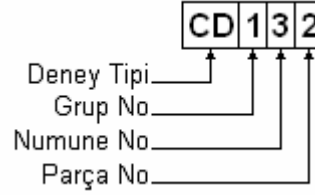
Kaynak işlemleri tamamlanan numuneler soğumaları için beklemeye bırakılmışlardır (Şekil 7.3). TS ISO 13954’de test parçalarının kaynak işleminden en az 24 saat sonra hazırlanabileceği ifade edilirken, TS ISO 13955’de bu süre 6 saat olarak belirtilmiştir. Bekleme süresi belirtilen tüm şartları sağlayacak şekilde bir gün olarak uygulanmıştır.



Şekil 7.3 Kaynak işlemleri tamamlanmış ve beklemeye alınan birinci ve üçüncü grup numuneler

## 7.6 Test Parçalarının Kodlanması

Çalışmada; “numune” terimi kaynak işlemi gerçekleştirilen manşon-boru bütünü, “test parçası” terimi ise test edilmek üzere, numunelerden belirli geometrielerde kesilerek hazırlanan parçaları ifade etmektedir. Test parçaları karışıklığı önlemek amacıyla aşağıda belirtilen şekilde kodlanacaktır (Şekil 7.4).



Şekil 7.4 Test parçası numarası örneği

Burada;

**Deney Tipi:** TS ISO 13954 testi için hazırlananlar “PD” (Peel Decohesion), TS ISO 13955 için hazırlananlar ise “CD” (Crush Decohesion) olarak belirtilir.

**Grup No:** 40V gerilim altında hazırlanan Ø63mm çaplı numunelerden için “1”, 24V gerilim altında hazırlanan Ø63mm çaplı numunelerden için “2”, 40V gerilim altında hazırlanan Ø110mm çaplı numunelerden için “3” değeri verilmiştir

**Numune No:** Test parçasının grubun kaçınıcı numunesinden kesildiğini belirtir.

**Test Parçası No:** Aynı test için, aynı numuneden hazırlanan kaçınıcı parça olduğunu belirtir.

**CD132:** TS ISO 13955 (sıkıştırarak ayırma) testi için kullanılmak üzere birinci gruptaki (40V’ta kaynaklanan Ø63mm çaplı numuneler), 3. numuneden kesilerek hazırlanan 2. test parçasını belirtir.

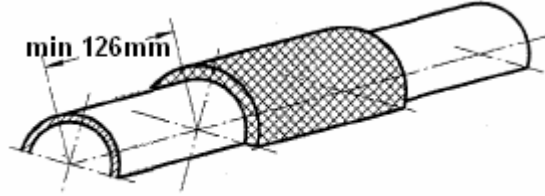
## 7.7 Sıkıştırarak Ayırma (Crush Decohesion) Deneyi

Deneyin yapılmasında TS ISO 13955’den yararlanılmıştır.

Deneyde birinci (Ø63, 40V) ve ikinci grup (Ø63, 24V) numunelerden hazırlanan test parçaları mengenede, çeneler arası mesafe, boru etinin iki katına gelene kadar sıkıştırılacak, kaynak ara yüzeyinde oluşan ayrılma durumu incelenecektir. Ayrılma yüzdeleri hesaplanarak kaynak dayanımı araştırılacaktır.

Sıkıştırma cihazı olarak çene uzunluğu 150 mm olan tesviyeci mengenesi kullanılmıştır.

Test parçalarının kesimi kaynak işleminden bir gün sonra yapılmıştır. Parçalar, numunenin Şekil 7.5'te gösterildiği gibi boylamasına ikiye kesilmesiyle elde edilmiştir. Kesme işlemi için boru testeresi ve freze kullanılmıştır.



Şekil 7.5 Test parçalarının hazırlanması

Deney için numunelerin her iki parçası kullanılmak üzere numaralandırılmıştır. Test parçalarında ilk ve son sargı arası uzunluklar (y) ölçülerek kaydedilmiştir (Şekil 7.6).



Şekil 7.6 Deney öncesi ilk ve son sargı arası uzunlukların kaydedilmesi

Test parçaları mengenede boru et kalınlığının iki katı mesafeye kadar sıkıştırılarak, on dakika bu halde beklenmiştir (Şekil 7.7).



Şekil 7.7 Test parçasının iki et kalınlığına kadar sıkıştırılması

Bu süre sonunda test parçaları gözle muayene edilmiş, meydana gelen hasar tipi ve ayrılma uzunlukları ölçülerek not edilmiştir. Ölçümler test parçasında yer alan her bir kaynak kesiti için yapılmıştır.

#### 7.7.1 Deney sırasında elde edilen görsel bulgular

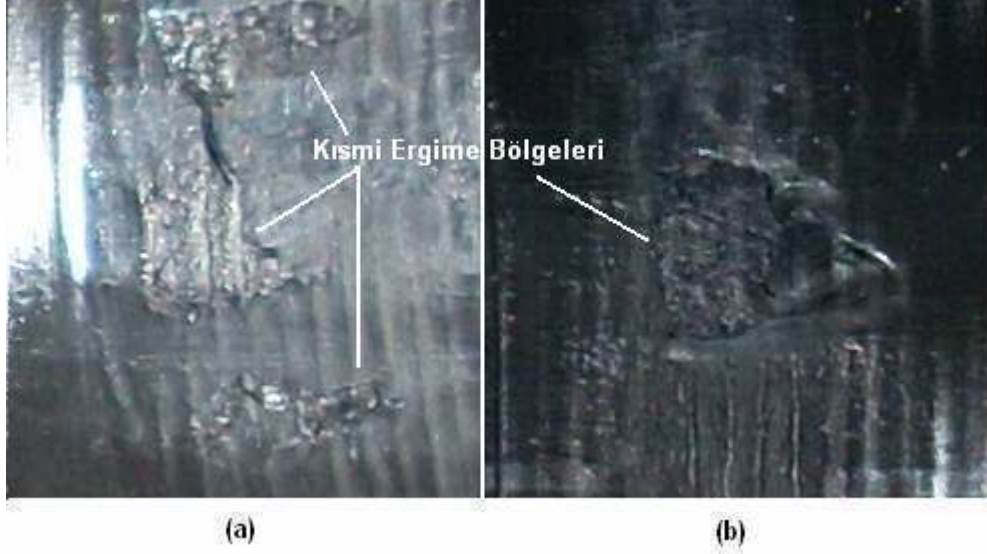
Deney sırasına ve sonrasında gözle yapılan kontrollerde aşağıdaki bulgular elde edilmiştir.

1. Bazı test parçaları hazırlanırken (kesim esnasında), bazıları ise sıkıştırılırken boru ve manşon tamamen ayrılmıştır.
2. Tamamen ayrılan test parçalarının manşon iç yüzeylerinde füzyon süresi arttıkça enine çizgiler halinde sıklaşan kabarma hatları olduğu görülmüştür. Füzyon süresi arttıkça bu yüzeylerde kısmi ergimelerin de olduğu tespit edilmiştir.
3. Bazı test parçaları sıkıştırma sonunda kısmen ayrılma göstermişlerdir.
4. Bazı test parçaları sıkıştırma sonunda herhangi bir ayrılma göstermemiştir.
5. Tamamen ayrılmanın olmadığı test parçalarında füzyon süresine bağlı olarak yüksekliği değişen genleşmeler ve derinliği değişen büzüşmeler meydana gelmiştir.
6. Her bir gruptaki numuneler farklı füzyon sürlerinde olmak şartıyla aynı özellikleri göstermektedir.

Bu bulgular ışığında test parçalarının arayüzey ve ayrılma durumları esas alındığında, bir numunenin kaynak işlemi sırasında beş farklı aşamadan geçtiği söylenebilir. Bu aşamalar ve karakteristik özellikleri şu şekildedir:



Bu parçalarda kabarmaların komşu boru yüzeyinin şeklini tüm ayrıntılarıyla aldığı ve arayüzeyde bazı noktalarda kısmi ergime ve birleşmelerin meydana geldiği görülmektedir (Şekil 7.10a ve Şekil 7.10b). Ancak bu birleşmeler yeterli dayanımı sağlamaktan uzaktır.



Şekil 7.10 (a) CD151 (Ø63, 40V, Tf:20s) nolu test parçası manşon iç yüzeyi (b) CD221 (Ø63, 24V, Tf:70s) nolu test parçası manşon iç yüzeyi

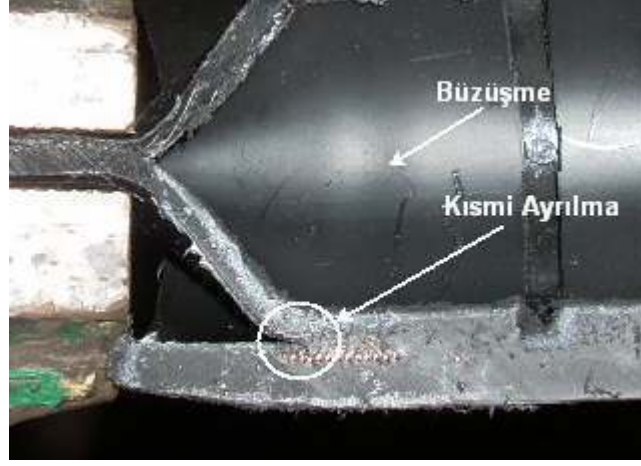
Birinci gruptaki numuneler 25.s'ye kadar, ikinci gruptaki numuneler ise 110.s'ye kadar füzyon sürelerinde bu durumdadırlar.

### III. Arayüzeyde tam ergime- kısmi ayrılma:

Bu özelliği gösteren test parçaları sıkıştırma sonrasında kısmen ayrılmışlardır. Dolayısı ile manşon iç yüzeyini görmek mümkün değildir.

Ancak boru iç yüzeylerinde füzyon süresine bağlı olarak artan derinlikte radyal bir büzüşme meydana geldiği görülmektedir.

Birinci grup numuneler 50.s.'ye, üçüncü grup numuneler ise 140.s'ye kadar füzyon sürelerinde bu durumdadırlar.



Şekil 7.11 CD141 (Ø63, 40V, Tf:25s) nolu test parçasında kısmi ayrılma ve büzüşme

#### IV. Arayüzeyde tam ergime – ayrılma yok:

Bu özelliği gösteren test parçaları sıkıştırma sonrasında herhangi bir ayrılma göstermemiştir.

Boru içindeki radyal büzüşme derinleşmeye devam etmiştir.

Birinci grup numuneler 50s.'den, ikinci grup numuneler ise 130s'den itibaren bu özelliği göstermişlerdir.



Şekil 7.12 CD122 (Ø63, 40V, Tf:50s) nolu test parçası ayrılma yok

#### V. Arayüzeyde aşırı ergime – kısa devre –bozunma:

Bu aşama füzyon süresinin gereğinden fazla uzatılması ve bu süre sonunda sargıların birbirine değerek kısa devre olması nedeniyle oluşur. Bu durum polimerin bozunmasına da neden olur. Önlem olarak, akımın belli değeri geçmesi durumunda devrenin açılması sağlanır.

CD112 nolu test parçası 70 saniye süren füzyonun sonunda dış ve iç soğuk bölgeden polimer fişkırmış ve kontrol cihazının sigortası akımı kesmiştir.

Tellerin biraraya toplandığı (kısa devre yaptığı) kesitte açık olarak görülmektedir.

Ayrıca boru içindeki radyal büzüşme derin bir oyuk halini almıştır.



Şekil 7.13 CD112 (Ø63, 40V, Tf:70s) nolu test parçasında aşırı ısınma belirtileri

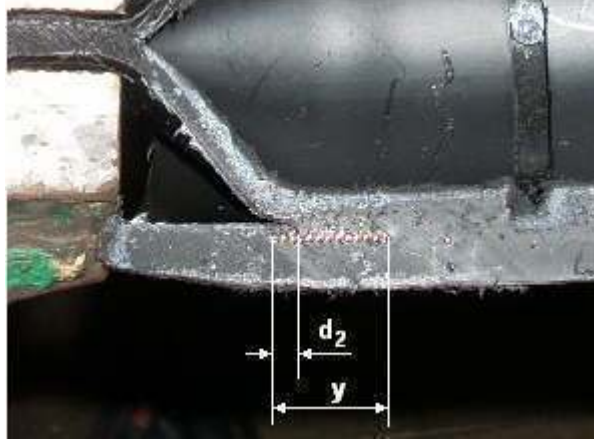
Çizelge 7.3'de aşamalar ve kaynaklı numunelerin bu karakterleri gösterdikleri füzyon süreleri özetlenmiştir. Burada 40V gerilim uygulanan birinci grup numunelerin daha kısa süreler içerisinde bu dönüşümü tamamlarken, 24V gerilim uygulanan ikinci grup numunelerde dönüşümün daha uzun sürelerde tamamlandığı anlaşılmaktadır.

Çizelge 7.3 Kaynak karakterleri ve bu özelliği gösteren numuneler

Kaynak Karakterleri	I. Grup (Ø63- 40V- 21,4A)	II. Grup (Ø63- 24V- 12,8A)
I. Arayüzeyde ergime yok - tam ayrılma	5s, 10s, 15s, 20s	30s, 40s, 50s, 60s
II. Arayüzeyde kısmi ergime - tam ayrılma	25s	70s
III. Arayüzeyde tam ergime- kısmi ayrılma	30s	110s
IV. Arayüzeyde tam ergime - ayrılma yok	50s	140s
V. Arayüzeyde aşırı ergime - kısa devre - bozunma	70s	-

### 7.7.2 Ayrılma Yüzdelerinin Hesaplanması

Kesitlerin numaralandırılması için test parçası numarası eksen referans alınmıştır. Numaralandırma (test parçası numarasının yazıldığı eksen referans alınarak) sol üst bölgeden başlayarak saat tersi yönünde yapılmıştır.



Şekil 7.14 Test parçasında sargı uzunluğu ve ayrılma uzunluğunun gösterilişi

Dikiş kesitlerinde meydana gelen ayrılmalar ( $d_2$ ) ölçülmüş (Şekil 7.14), sargı arası mesafelere ( $y$ ) Eşitlik 7.4'te gösterildiği şekilde oranlanarak ayrılma yüzdesi ( $C_c$ ) hesaplanmıştır.

$$C_c = \frac{d_2}{y} \cdot 100 \quad (7.5)$$

y ve d2 ölçümleri ile hesaplanan Cc değerleri toplu olarak Çizelge 7.4'te verilmiştir.

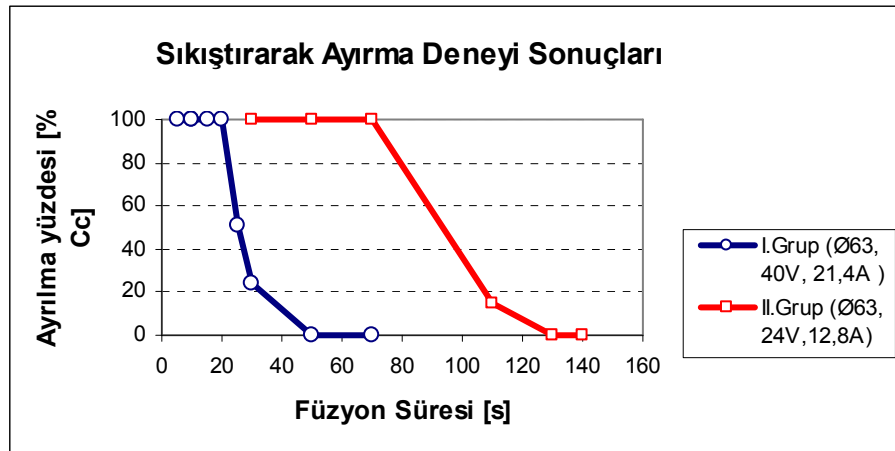
Çizelge 7.4 Test parçalarının y, d2 ve Cc değerleri

Test Parçası	Füzyon Süresi [s]	1. Kesit [mm]			2. Kesit [mm]			3. Kesit [mm]			4. Kesit [mm]													
		y	d2	Cc	y	d2	Cc	y	d2	Cc	y	d2	Cc											
CD.1.1.1	40V,	16,10	0,00	0	20,00	0,00	0	20,30	0,00	0	16,10	0,00	0											
CD.1.1.2	70s	16,10	0,00	0	20,30	0,00	0	20,00	0,00	0	16,10	0,00	0											
CD.1.2.1	40V,	17,60	0,00	0	19,60	0,00	0	19,80	0,00	0	17,55	0,00	0											
CD.1.2.2	50s	17,55	0,00	0	19,80	0,00	0	19,60	0,00	0	17,60	0,00	0											
CD.1.3.1	40V,	17,60	17,60	100	18,10	4,65	26	19,30	4,50	23	17,50	0,00	0											
CD.1.3.2	30s	17,50	2,35	13	19,30	3,30	17	18,10	2,10	12	17,60	0,00	0											
CD.1.4.1	40V,	19,70	1,85	9	17,60	2,85	16	19,15	6,70	35	17,75	17,75	100											
CD.1.4.2	25s	17,75	17,75	100	19,15	11,70	61	17,60	7,80	44	19,70	7,70	39											
CD.1.5.1	40V,	TAM AYRILMA		100	TAM AYRILMA		100	TAM AYRILMA		100	TAM AYRILMA		100											
CD.1.5.2	20s			100																				
CD.1.6.1	40V,			100																				
CD.1.6.2	15s			100																				
CD.1.7.1	40V,			100																				
CD.1.7.2	10s			100																				
CD.1.8.1	40V, 5s			100																				
CD.1.8.2				100																				
CD.2.1.1	24V,			18,00										0,00	0	19,00	0,00	0	17,90	0,00	0	18,20	0,00	0
CD.2.1.2	140s			17,80										0,00	0	17,80	0,00	0	18,00	0,00	0	18,20	0,00	0
CD.2.2.1	24V,	19,20	3,20	17	18,80	2,80	15	18,10	1,30	7	18,30	2,10	11											
CD.2.2.2	110s	20,00	6,00	30	19,00	2,00	11	18,00	3,00	17	18,20	2,00	11											
CD.2.3.1	24V,	TAM AYRILMA		100	TAM AYRILMA		100	TAM AYRILMA		100	TAM AYRILMA		100											
CD.2.3.2	70s			100																				
CD.2.4.1	24V,			100																				
CD.2.4.2	60s			100																				
CD.2.5.1	24V,			100																				
CD.2.5.2	50s			100																				
CD.2.6.1	24V,			100																				
CD.2.6.2	40s			100																				
CD.2.7.1	24V,			100																				
CD.2.7.2	30s			100																				

Her numune için ayrılma yüzdelerinin ortalaması alındığında sonuçlar Çizelge 7.5'deki gibi düzenlenebilir.

Çizelge 7.5 Test parçalarında yapılan ölçümlerin sonuçları

Füzyon Süresi (s)	Ayrılma Cc (%)	
	IG (Ø63- 40V-21,4A)	III.G (Ø63-24V-12,8A)
10	100	--
5	100	--
10	100	--
15	100	--
20	100	--
25	50,6	--
30	23,9	100
40	--	100
50	0	100
60	--	100
70	0	100
110	--	15
140	--	0



Şekil 7.15 Test parçalarında yapılan ölçümlerin sonuçları

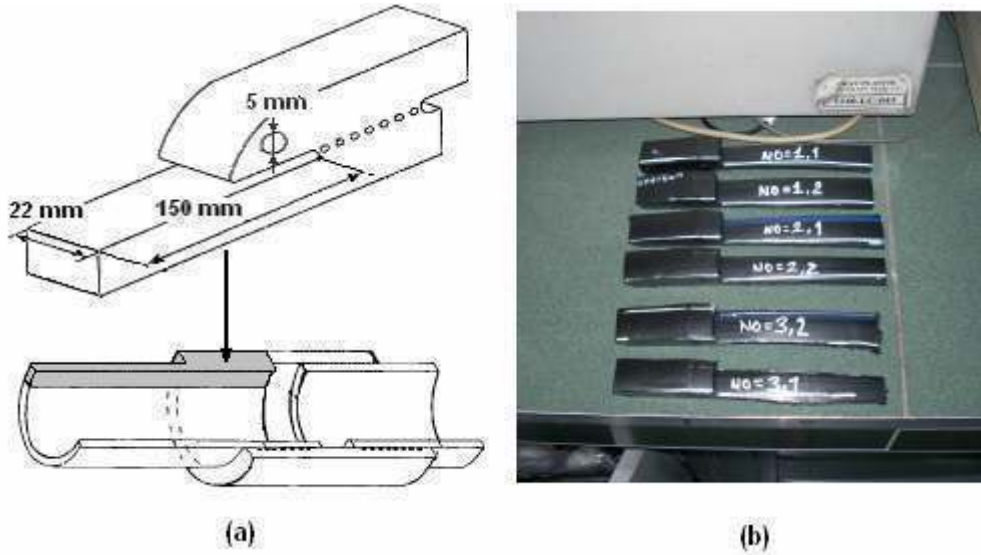
Elektrofüzyon kaynağında füzyon süresinin artması görüldüğü gibi dikiş kalitesine aşamalı bir etki yapar. Füzyon süresinin artması sırasıyla; kaynağın oluşumunu sağlamakta, dikiş dayanımını artırmakta ve bir süre dayanıma etkisini kaybetmektedir. Bu sürenin sonunda ise kısa devre veya aşırı sıcaklıkların meydana gelmesi nedeniyle polimer bozunmaktadır. Yüksek gerilim (yüksek akım) uygulandığında bu süreçler kısalmışken, düşük gerilim uygulandığında süreçler uzar.

### 7.8 Sıyrarak Ayırma Deneyi (PD)

Deneyin yapılmasında ise TS ISO 13955'den yararlanılmıştır.

Deneyde üçüncü grup ( $\text{Ø}110$ , 40V) numunelerden hazırlanan test parçaları kademeli olarak sıyrılacak şekilde çekilerek ayrılacaktır. En büyük kopma yükü ve ayrılma yüzeyi incelenerek kaynak dayanımı araştırılacaktır.

Test parçaları kaynak işleminden bir gün sonra hazırlanmıştır. Numuneler Şekil 7.11'de gösterilen biçimde ve boyutlarda kesilerek test parçaları elde edilmiştir. Kesme işlemi için boru testeresi kullanılmıştır.

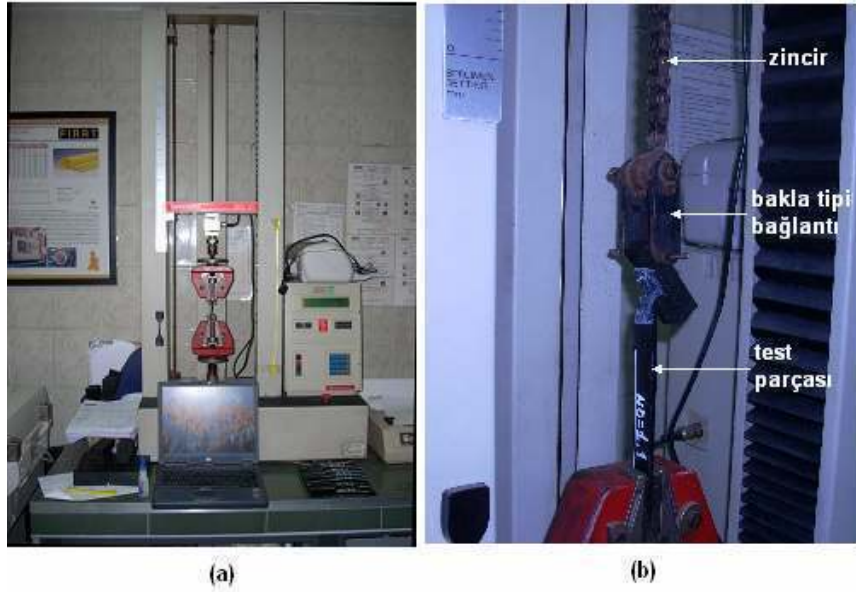


Şekil 7.16 (a)Test parçasının alınma şekli (b) hazırlanan test parçaları

Her numuneden iki adet test parçası hazırlanmıştır. Manşon ve borunun ayrılması nedeniyle 4. ve 5. numuneden test parçaları hazırlanamamıştır.

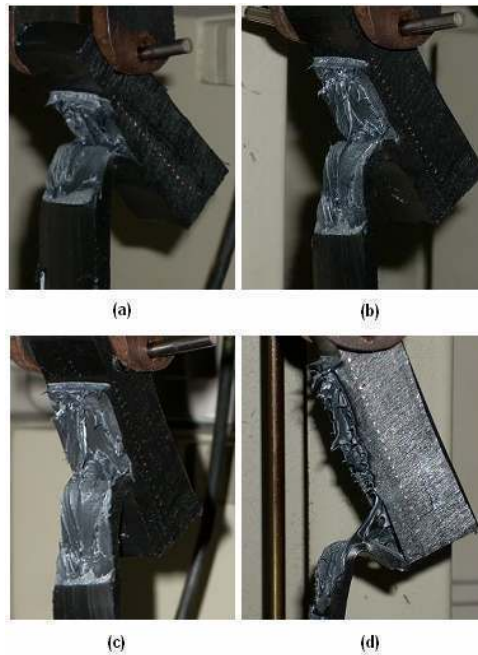
Test parçasında manşon ucunun çekme cihazının üst çenesine tutturulması için bakla tipi bağlantı kullanılmıştır. Boru ucu ise çekme cihazının alt çenesine yerleştirilmiştir (Şekil 7.17b).

Çekme cihazı olarak bilgisayar kontrollü üniversal test makinası kullanılmıştır (Şekil 7.17a). Test parçaları cihaz ile uzunluğu boyunca 25mm/d hızla çekilmiştir.



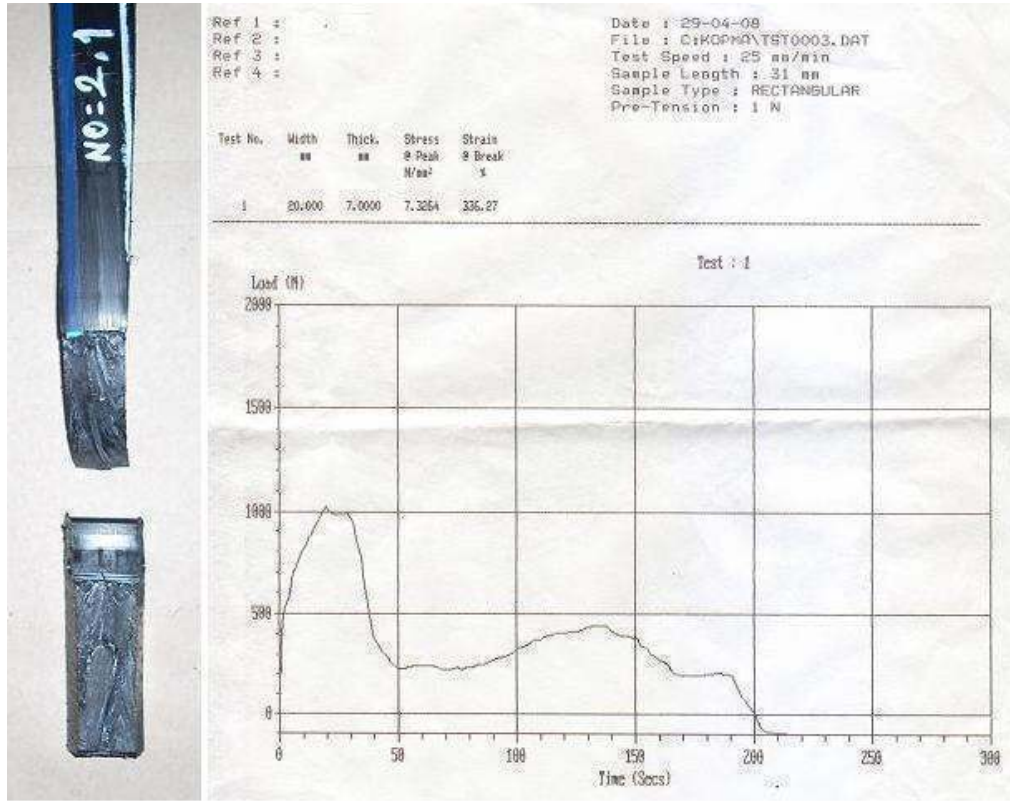
Şekil 7.17 (a) Kullanılan çekme cihazı (b) test parçasının bağlantı şekli

Çekme işlemi test parçasını kaynak dikişinden ayrılmaya zorlamaktadır. Ancak hazırlanan test parçalarının hiçbirinde kaynak dikişinden ayrılma gözlemlenmemiştir. PD311, PD312, PD321, PD322 arayüye yakın bölgede boru içinden sünek-gevrek karışık tipte ayrılırken (Şekil 7.18), PD331 ve PD332 ise sünek tipte borukesitinden ayrılmıştır. Ancak ayrılma tipi sünek ve sünek-gevrek karışık şekillerde gerçekleşmiştir.

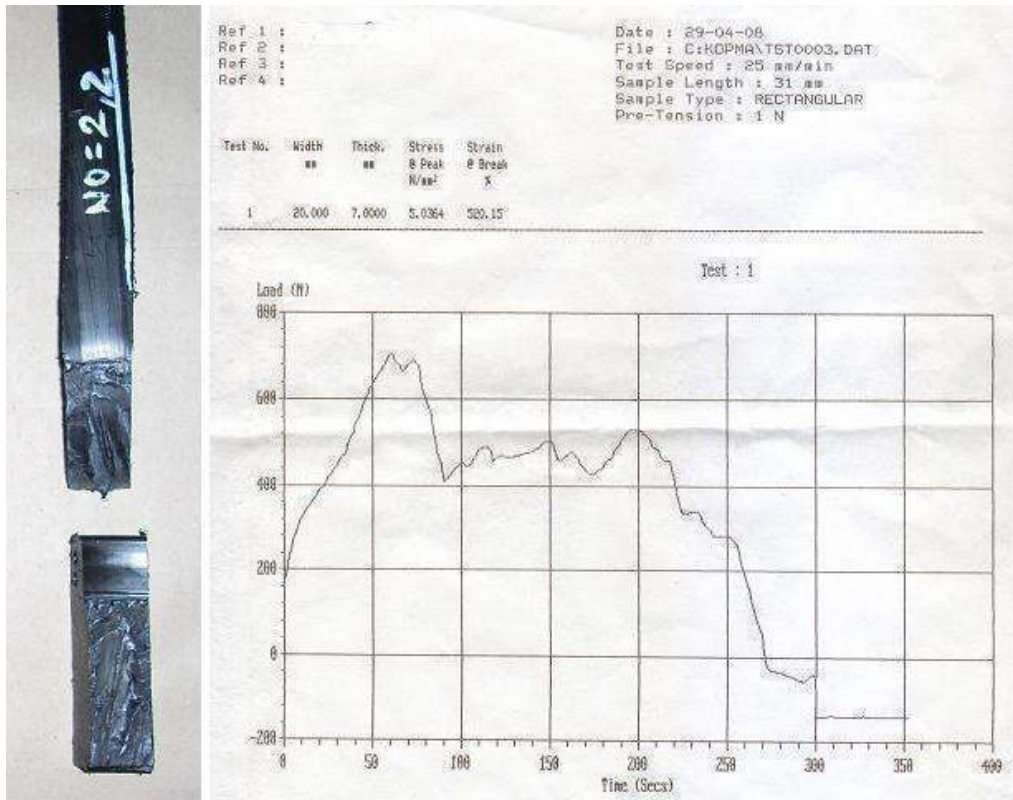


Şekil 7.18 PD311 (Ø110, 40V, Tf:411s) nolu test parçasının sabit hızla çekilmesi

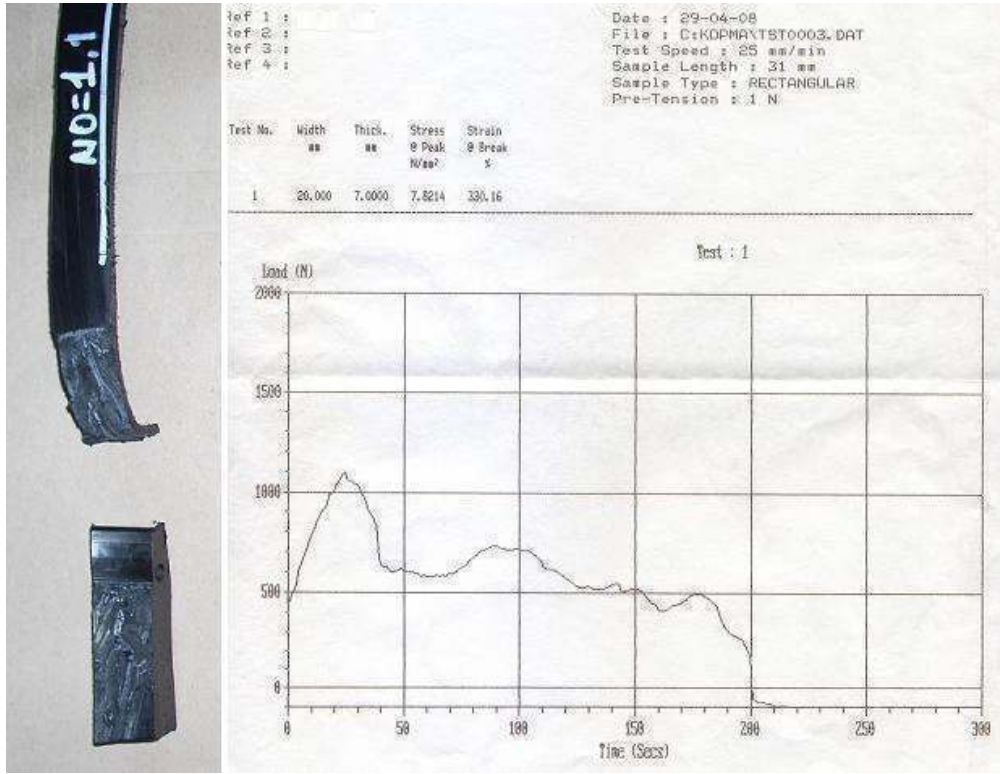
Test parçalarının test sonu resimleri ve çekme yük zaman grafikleri sırasıyla verilmiştir.



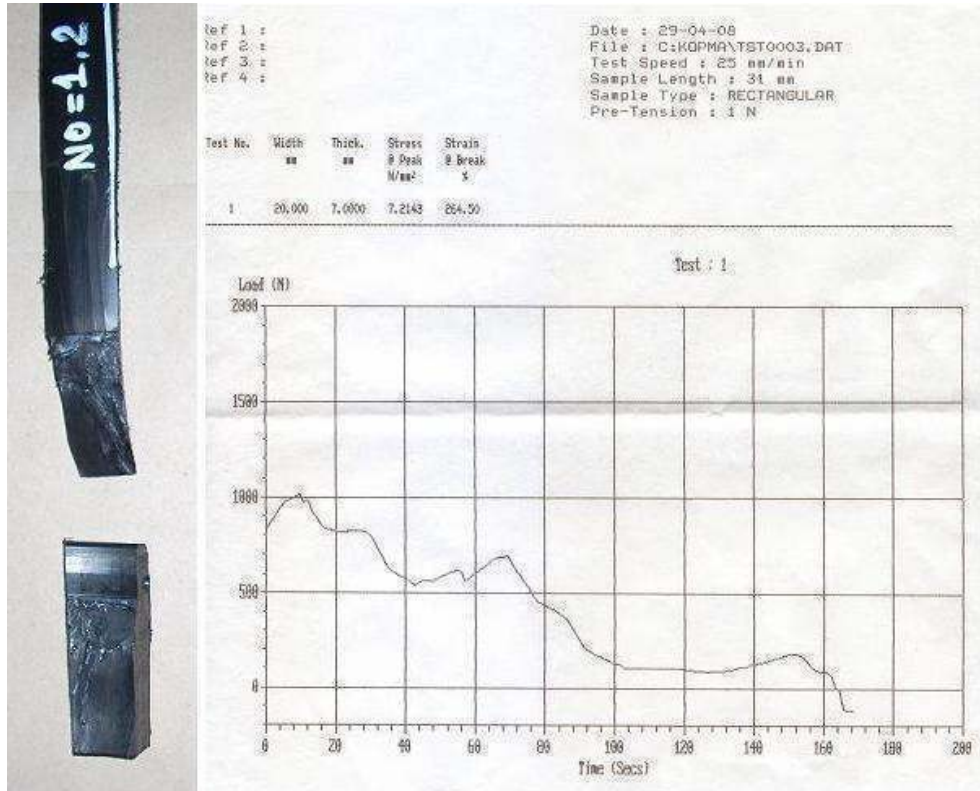
Şekil 7.19 PD321(Ø110, 40V, 250s) nolu test parçasının sıyrarak ayırma testi



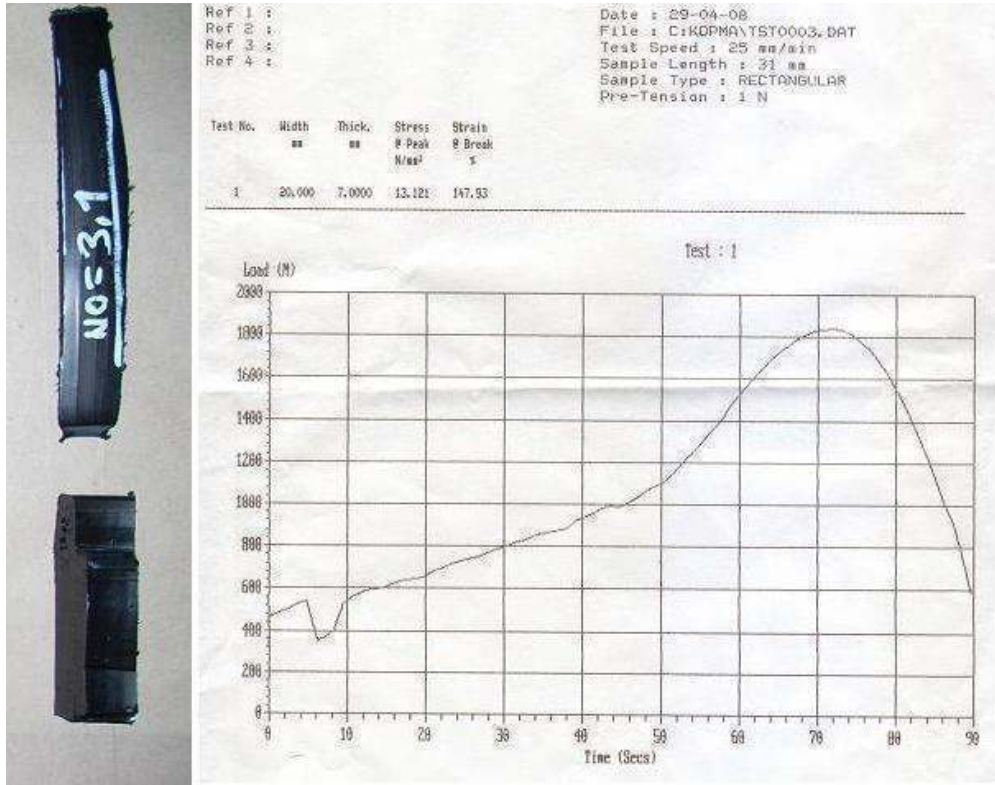
Şekil 7.20 PD322(Ø110, 40V, 250s) nolu test parçasının sıyrarak ayırma testi



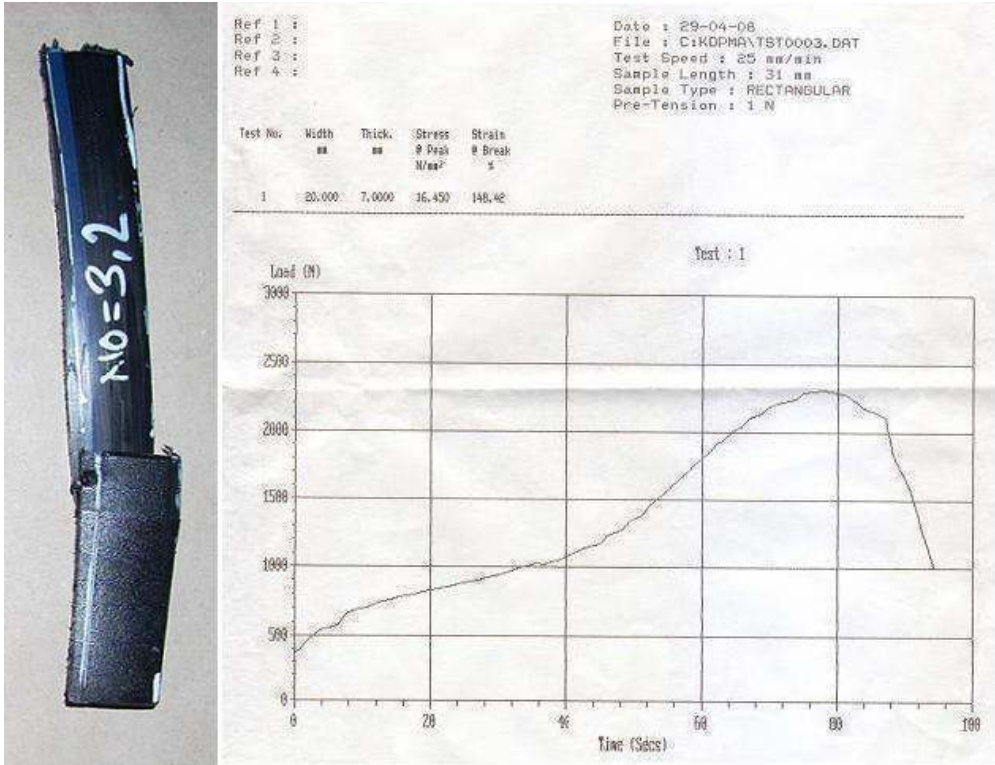
Şekil 7.21 PD311 (Ø110, 40V, 411s) nolu test parçasının sıyrarak ayırma testi



Şekil 7.22 PD312 (Ø110, 40V, 411s) nolu test parçasının sıyrarak ayırma testi



Şekil 7.23 PD331(Ø110, 40V, 510s) nolu test parçasının sıyrarak ayırma testi



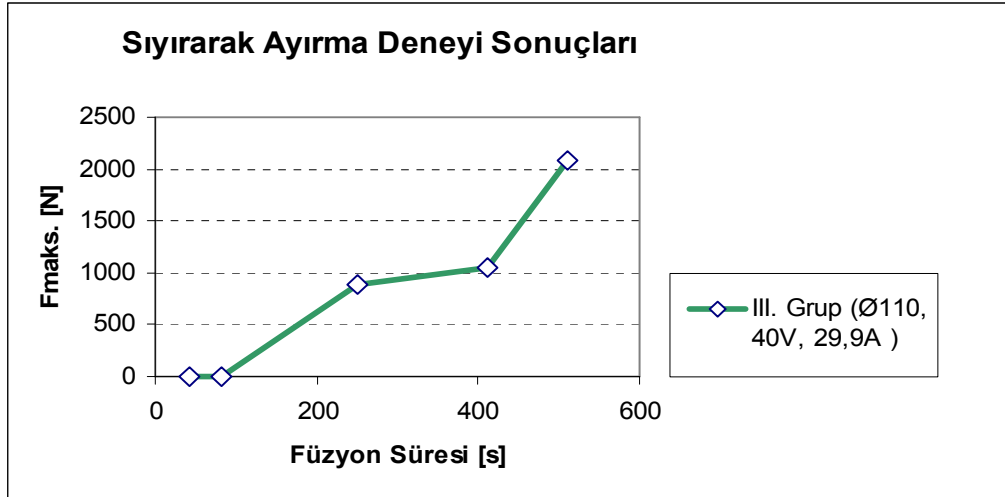
Şekil 7.24 PD332(Ø110, 40V, 510s) nolu test parçasının sıyrarak ayırma testi

Parçalara uygulanan en yüksek kuvvet değerleri ve oluşan hasar tipleri Çizelge 7.5'te verilmiştir.

Çizelge 7.6 Sıyrarak ayırma deneyi sonuçları

Test Parçası	Füzyon Süresi	Kopma Zamanı (s)	Fmax (N)	Hasar Tipleri
PD.2.2.1	250	210	1010	Sünek +Gevrek
PD.2.2.2	250	164	750	Sünek +Gevrek
PD.2.1.1	411	210	1100	Sünek +Gevrek
PD.2.1.2	411	350	1010	Sünek +Gevrek
PD.2.3.1	510	90	1850	Sünek
PD.2.3.2	510	88	2300	Sünek
PD.2.4.1	82	0	0	Tam Ayrılma
PD.2.4.2	82	0	0	Tam Ayrılma
PD.2.5.1	41	0	0	Tam Ayrılma
PD.2.5.2	41	0	0	Tam Ayrılma

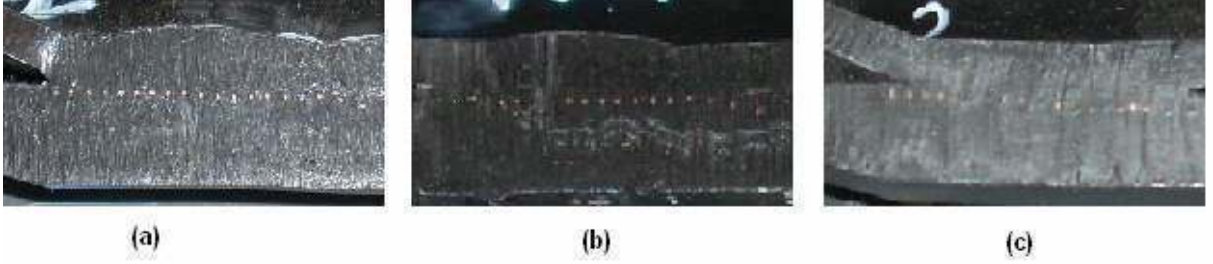
Sıyrarak ayırma deneyinin sonuçları bir önceki deneyle uyum halindedir. Burada, 80 saniyeye kadar füzyon sürelerinde herhangi bir dayanımdan söz edilemez. 250 saniyede oluşmaya başlayan kaynak dikişinin özellikleri süre ilerledikçe istenilen dayanım ve süneklığe ulaşır.



Şekil 7.25 Sıyrarak ayırma deneyi sonuçları

### 7.9 Boru İç Yüzey Deformasyonunun İrdelenmesi

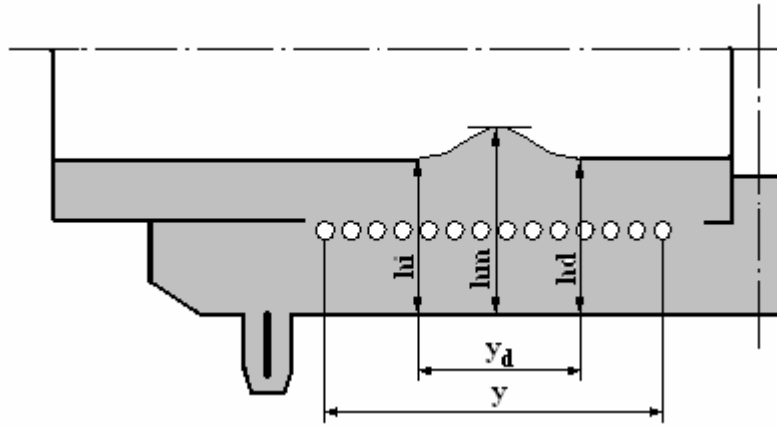
Sıkıştırarak ayırma deneyi öncesinde test parçalarının muayenesi sırasında test paçalarının iç yüzeyinde bazı deformasyonların olduğu görülmüştür. Defomasyonların birinci ve ikinci grup numunelerde çukur, üçüncü grup numunelerde ise tümsek şeklinde oldukları ve merkezlerinin ilk ve son sargı arası mesafenin orta noktası olduğu görülmektedir. (Şekil 4.1).



Şekil 7.26 İkinci grup numunede oluşan deformasyon (a) 510s, (b) 411s, (c) 250 s

Deformasyonların değerlendirilmesi için oluşumların daha kolay ölçülebildiği üçüncü grup numunelerden hazırlanan test parçaları kullanılacaktır. Oluşumların değerlendirilmesi amacıyla, deney parçasının kesitlerinde oluşum öncesi ve sonrası duvar kalınlıkları, oluşumun sınır değerdeki duvar kalınlıkları ve oluşumun doğrusal sınırına ait ölçümler yapılmıştır Şekil 4-1 b. Ölçüm sonuçları Tablo 4-2’de verilmiştir.

Meydana gelen değişimlerin boyutsal büyüklükleri Tablo 4.3’de verilmiştir.



Şekil 7.27 Deney parçaları yüzeylerinde gözlemlenen deformasyonların gösterimi

Burada  $h_i$  iç duvar kalınlığını,  $h_d$  dış duvar kalınlığını,  $h_m$  en büyük duvar kalınlığını ifade etmektedir,  $y$  ilk ve son sargı arası mesafeyi,  $y_d$  ise deformasyon uzunluğunu ifade etmektedir.

Çizelge 7.7 Üçüncü grup numunelerde görülen deformasyonlara ait ölçüler

Test Parçası	İncelenen Kesit	y (mm)	yd (mm)	h <sub>i</sub> (mm)	h <sub>d</sub> (mm)	h <sub>m</sub> (mm)
2.CD.1.1	1. kesit	39,20	33,00	20,75	21,00	24,30
2.CD.1.1	2. kesit	43,13	30,80	20,80	21,90	22,40
2.CD.1.1	3. kesit	45,77	30,00	21,10	22,20	22,30
2.CD.1.1	4. kesit		32,55	20,45	22,60	24,90
2.CD.1.2	1. kesit	43,40	32,80	20,90	22,60	24,50
2.CD.1.2	2. kesit	42,97	30,35	21,00	21,65	22,95
2.CD.1.2	3. kesit	45,93	31,50	20,95	22,05	22,55
2.CD.1.2	4. kesit	42,70	33,10	20,80	22,30	23,50
2.CD.2.1	1. kesit	46,10	19,90	20,90	21,40	22,00
2.CD.2.1	2. kesit	42,59	24,70	21,00	22,30	23,10
2.CD.2.1	3. kesit	42,80	25,20	21,30	22,00	23,00
2.CD.2.1	4. kesit	42,87	19,80	20,80	21,50	21,80
2.CD.2.2	1. kesit	45,91	22,00	20,45	21,40	22,45
2.CD.2.2	2. kesit	42,93	23,40	21,10	22,40	23,10
2.CD.2.2	3. kesit	42,61	24,50	21,10	22,10	23,20
2.CD.2.2	4. kesit	42,97	20,00	20,55	21,15	22,45
2.CD.3.1	1. kesit	43,00	0,00	21,70	22,00	0,00
2.CD.3.1	2. kesit	43,23	0,00	21,20	21,50	0,00
2.CD.3.1	3. kesit	36,64	0,00	21,80	21,80	0,00
2.CD.3.1	4. kesit	43,46	0,00	21,85	22,20	0,00
2.CD.3.2	1. kesit	43,49	0,00	22,45	22,05	0,00
2.CD.3.2	2. kesit	36,86	0,00	22,05	22,20	0,00
2.CD.3.2	3. kesit	42,95	0,00	21,45	21,60	0,00
2.CD.3.2	4. kesit	43,08	0,00	21,50	21,75	0,00

Bu değerlerden füzyon süresine bağlı olarak bir ortalama iç çap değişimi ifadesi geliştirilmiştir. Bulunan değerler Çizelge 7.7’de özetlenmiştir. Füzyon süresine bağlı olarak kısılma değerinin değişimi Şekil 7.8’de vermiştir. Burada, füzyon süresi belli bir değere gelene kadar kısılma/genişleme olmadığı, füzyon süresi bu değeri aştığında soğuyan polimerin boru iç yüzeyinde deformasyon oluşturduğu ve bu deformasyonun miktarının (yüksekliğinin ve boyunun) füzyon süresi ile beraber arttığı görülmektedir.

Eşitlik 7.6 ve Eşitlik 7.7’den, test parçasındaki herbir kaynak kesiti için ortalama deformasyon yüksekliği  $\Delta h_{ort}$  bulunmuştur. Eşitlik 7.6’daki  $h_{ort}$  ortalama duvar kalınlığını ifade etmektedir.

$$h_{ort} = \frac{h_i + h_d}{2} \quad (7.6)$$

$$\Delta h_{ort} = h_m - h_{ort} \quad (7.7)$$

Deformasyonun füzyon süresi ile bağıntısını inceleyebilmek amacıyla numune ortalama deformasyon yüksekliğini ( $\Delta H_{ort}$ ) hesaplamak gerekmektedir. Bu nedenle her numuneye ait iki test parçası, her test parçasında ise dört kesit olduğu itibarı ile  $\Delta H_{ort}$  Eşitlik 7.8'deki ifadeden hesaplanabilir.

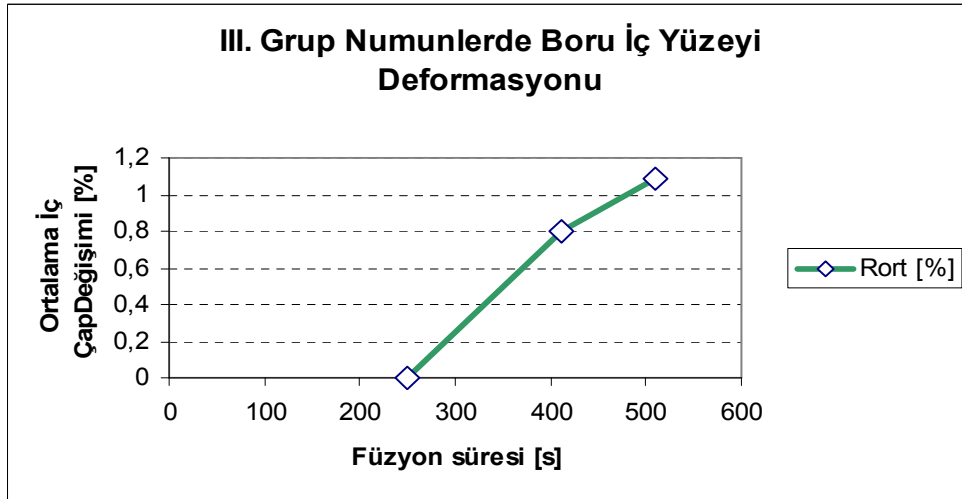
$$\Delta H_{ort} = \frac{\Sigma \Delta h_{ort}}{8} \quad (7.8)$$

Numunelerdeki deformasyon, boru iç kesitinde deformasyon uzunluğu ( $y_d$ ) boyunca bir kısılma veya genişlemeye neden olmaktadır. Bu etki ortalama iç çap değişimi  $R_{ort}$  ile incelenecektir.  $R_{ort}$  toplam deformasyon yüksekliğine ( $2.\Delta H_{ort}$ ) ve boru iç çapına (ID) bağlı olarak Eşitlik 7.9'daki ifadeden elde edilecektir.

$$R_{ort} = \frac{2.\Delta H_{ort}}{ID} .100 \quad (7.9)$$

Çizelge 7.8 Üçüncü grup numuneler için  $R_{ort}$  değerleri

Numune No	Füzyon Zamani (s)	Rort (%)
1	510	1,09
2	411	0,80
3	250	0,00



Şekil 7.28 Gözlem sonuçları

Bulgular değerlendirildiğinde önerilen sürenin altındaki füzyon sürelerinde herhangi bir deformasyon ortaya çıkmamıştır. Bunda ergimenin yeterli miktarda olmayışı etkilidir. Ancak füzyon yeterli füzyon süresi sağlandıktan sonra ısının artması uzun süre boyunca dayanımda

bir azalmaya neden olmasa da, kaynak sonrasında, boru iç yüzeyinde deformasyon ortaya çıkmasına ve zamanla bu deformasyonun artmasına neden olmaktadır.

Deformasyonun belirli toleranslar dahilinde kalması sistemin işleyişinde sorun çıkarmayacaktır. Ancak füzyon süresindeki artışa, dayanımı düşürmediği bir süre boyunca devam edilmesinin, borunun iç çapında değişikliklere neden olacağı ve işletme yönünden olumsuz sonuçlar doğurabileceği gözönünde bulundurulmalıdır.

## SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Deneysel çalışmanın ilkinde, elektrik enerjisinin ekleme parçasına uygulanma süresinin (füzyon süresi) ve gerilimin dikiş kalitesine etkisi, TS ISO 13955 esas alınarak araştırılmıştır. Burada polietilen su boruları farklı füzyon süreleri uygulanarak, elektrofüzyon manşonlarla birleştirilmek suretiyle, birinci grup numuneler hazırlanmıştır. İkinci grup numuneler aynı şekilde hazırlanırken gerilim değeri % 40 düşürülmüştür.

Deneysel çalışmaların ikincisinde ise füzyon süresinin etkisi TS ISO 13954 test yöntemi ile araştırılmıştır. Burada numuneler yine farklı füzyon süreleri uygulanarak hazırlanmış, ancak kullanılan malzemelerin çapı öncekilerden büyük tutulmuştur.

Her iki deneysel çalışma sonunda şu sonuçlara ulaşılmıştır: Füzyon süresi işlem sırasında kaynak bölgesine verilen enerjinin miktarını belirlerken, birleşme bölgesindeki etkisi doğrusal değil aşamalıdır. Yani, aynı dayanıma sahip kaynak dikişi elde etmek için sabit bir süre değil, süre aralığı bulunur. Gerilim değerinin düşürülmesi ise bu aralığın başlangıcını geciktirirken, uzunluğunu artırır.

Kaynak işlemi için sadece bir gerilim değeri ve uygun füzyon süresi önerilmesi yerine, düşük bir gerilim değeri altında ikinci bir füzyon süresi önerilmesi, işlem süresini uzatacak olmasına rağmen, bu sürenin getireceği tolerans nedeniyle avantaj sağlayabilir.

Ayrıca her üç grupta birleştirilen numunelerin iç yüzeyinde deformasyonlar görülmüştür. İlk iki grupta büzülme, üçüncü grupta ise kesiti daraltacak şekilde genleşme olarak ortaya çıkan deformasyonların boyutsal büyüklükleri füzyon süresi ile beraber artmaktadır. Büyük çaplı borularda kesiti azaltması nedeniyle, bu durum uygulama öncesi yapılacak testlerde ölçülmeli, sonuçların şartnamelere uygunluğu değerlendirilmelidir.

**KAYNAKLAR**

- 1) Özarpa C. (1998), Termoplastik Doğal Gaz Borularının Elektrofüzyon Kaynağı ve Kaynak Parametrelerinin Kaliteye Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- 2) Bowman J. (1997), “A Review of Electrofusion Joining Process for Polyethylene Pipe Systems”, Polymer Engineering and Science, 4: 674-691
- 3) Higuchia, Y., Nishimura, H., Inoue, F., Ishikawa, T. ve Miyaki, S. (2002), “Investigation of Appropriate Cooling Times for Electrofusion Jointing of PE Pipes for Gas Distribution”, Vol 42 No 2 p. 382-394
- 4) Shin H.J., Jang Y. H., Kwan J. R. ve Lee E. J. (2005), “Nondestructive Testing of Fusion Joints of Polyethylene Piping by Real Time Ultrasonic Imaging”, NDT.net
- 5) Caravaca D.S., Bird C. ve Kleiner D. (2006), Ultrasonic Phased Array Inspection of Electrofusion Joints in Polyethylene Pipes, NDT 2006: The 45th Annual British Conference on NDT, Stratford-upon-Avon, UK
- 6) Nishimura, H., Inoue, F., Nakashiba, A. ve Ishikawa, T. (1994), “Design of Electrofusion Joints and Evaluation of Fusion Strength Using Fusion Simulation Technology”, Polymer Engineering Science Vol 34 No 20 p. 1529-1534
- 7) Türk Stadarları Enstitüsü (1999), TS ISO 13955 Plastik Borular ve Ekleme Parçaları - Elektrik Eritmeli Polietilen (PE) Takımların Sıkıştırılarak Ayrılması Deneyi, Türk Stadarları Enstitüsü, Ankara
- 8) Türk Stadarları Enstitüsü (1999), TS ISO 13954 Plastik Borular ve Ekleme Parçaları - Anma Dış Çapı 90 mm veya Daha Büyük Olan Elektrik Eritmeli Polietilen (PE) Takımlar İçin Sıyrarak Ayırma Deneyi, Türk Stadarları Enstitüsü, Ankara
- 9) Van Der Vegt, A. K. (2002), From Polymers To Plastics, Delft University Press, Delft
- 10) Akkurt, S. (1991), Plastik Malzeme Bilgisi, Birsen Yayınevi, İstanbul
- 11) Woebcken, W. (1995), Intenational Plastics Handbook, Hanser, Munich
- 12) Smith, W. F. (2001), Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, Literaür, İstanbul
- 13) Yaşar, H. (2001), Plastikler Dünyası, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Ankara
- 14) Grewell, D. A., Benatar A. ve Park J. B. (2003), Plastics and Composites Welding Handbook, Munich
- 15) Chasis, D. A. (2007), The Evolution of Pipe, Plastic Pipe Line
- 16) Ellenberger J. P. (2005), Piping systems & pipeline : ASME Code Simplified, McGraw-Hill, New York

- 17) Willoughby D. A., Woodson R. D. ve Sutherland R. (2002), Plastic Piping Handbook, McGraw-Hill, New York
- 18) Nayyar, M. L.(2000) Piping Handbook, McGraw-Hill, New York
- 19) [http://www.riceeng.com/products/industrial/process\\_piping/thermo\\_pipe.html](http://www.riceeng.com/products/industrial/process_piping/thermo_pipe.html)
- 20) Georg Fisher Piping Systems (2007), Engineering Handbook for Industrial Piping Systems, Georg Fisher Piping Systems Ltd., Schaffhausen, Switzerland
- 21) Sixsmith T. ve Hanselka R. (1997), Handbook of Thermoplastic Piping System Design, Marcel Dekker Inc., New York
- 22) PPI (2005) Selecting the Proper Plastic Piping Material
- 23) Farshad, M. (2006) Plastic Pipe System Failures: Investigations And Diagnosis, Elsevier, Boston
- 24) Türk Standartları Enstitüsü (1997), TS ISO 12162: Termoplastik Malzemeler - Basınç Uygulanan Durumlarda Kullanılan Boru ve Ekleme Parçaları İçin - Sınıflandırma ve İşaretleme -: Toplam Servis (Tasarım) Katsayısı, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- 25) PPI Technical Committee (2005), Plumbing Apprentice Training Manual for Plastic Piping Systems, Plastic Pipes and Fittings Association, Illinois
- 26) Harrington Industrial Plastics, Inc., Engineering Handbook For Industrial Plastic Piping Systems, Harrington Industrial Plastics, Inc., California
- 27) Froment, I. (2003), TWI Job Knowledge 56: Hot gas welding of plastics: Part 1 - 2
- 28) Knight, A. (2004), TWI Job Knowledge 58: Butt fusion welding of plastics
- 29) Chipperfield F. (2005), TWI Knowledge Summary: Welding of Thermoplastic Pipes, The Welding Institute Ltd.
- 30) TWI Polymer Group (2003), TWI Knowledge Summary: Infra Red Welding of Plastics
- 31) Türk Standartları Enstitüsü (2006), TS ISO 12176-2: Plâstik Boru ve Ekleme Parçaları - Eritme Bağlantılı Polietilen Sistemleri İçin Donanım - Bölüm 2: Elektrik Eritme Kaynağı, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- 32) Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e.V, (2002) DVS 2207-1: Welding of Thermoplastics – Heated Tool Welding of Pipes, Pipeline Components and Sheets made of PE-HD, Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e.V
- 33) PPI (2004), Installation Guidelines For Electrofusion Couplings 14” and Larger: TN-34/2004, Plastic Pipe Institute, Washington
- 34) PPI , Handbook of Polyethylene Pipe, Plastic Pipe Institute, Washington

- 35) CSIRO (2006), Long-Term Performance Prediction for PE Pipes, AWWA Research Foundation
- 36) Troughton M., Brown C., Hessel J. ve Piovano M. (2006), Comparison of Long-Term and Short-Term Tests for Electrofusion Joints in PE Pipes, Plastics Pipes XIII Conference, Washington
- 37) NTSB (1998), Special Investigation Report: Brittle-Like Cracking In Plastic Pipe For Gas Service, National Transportation Safety Board, Washington
- 38) ASTM (1998), F 1055-98 Standart Spesification for Elecrofusion Type Fittings for Outside Diameter Controlled Polyethylene Pipe and Tubing, American Society for Testing and Materials International, Pennsylvania
- 39) Türk Stadartları Enstitüsü (2005), TS 418-3 EN 12201-3: Plastik Boru Sistemleri - İçme ve Kullanma Suyu İçin - Polietilen (PE) Bölüm 3: Ekleme Parçaları, Türk Stadartları Enstitüsü, Ankara
- 40) Türk Stadartları Enstitüsü (2003), TS EN 12814-4: Yarı Mamûl Termoplâstik Malzemeler - Kaynaklı Bağlantıların Deneyleri - Bölüm 4: Sıyırma Deneyi, Türk Stadartları Enstitüsü, Ankara

## ÖZGEÇMİŞ

Doğum yılı	1977	
Doğum yeri	Ordu	
Lise	1987–1994	Ordu Anadolu Lisesi
Lisans	1994–2000	Yıldız Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü

### Çalıştığı kurumlar

2000–2002	Cemsa Bilgisayar Danışmanlığı
2002– (sürüyor)	TMMOB Makina Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi