

**T.C.  
YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Yüksek Lisans Tezi**

**PETROL VE DOĞALGAZ İLETİM HATLARINDA  
KULLANILAN API 5L X80 KALİTE SPİRAL  
KAYNAKLI ÇELİK BORUNUN İMALAT AŞAMALARI  
VE METALURJİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**Kürşat ATEŞ**

**Tez Danışmanı  
Prof. Dr. Zakir TAŞ**

**Yozgat 2019**



**T.C.  
YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Yüksek Lisans Tezi**

**PETROL VE DOĞALGAZ İLETİM HATLARINDA  
KULLANILAN API 5L X80 KALİTE SİRİAL  
KAYNAKLI ÇELİK BORUNUN İMALAT AŞAMALARI  
VE METALURJİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**Kürşat ATEŞ**

**Tez Danışmanı  
Prof. Dr. Zakir TAŞ**

**Yozgat 2019**

**T.C.**  
**YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

Enstitümüzün Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Tezli Yüksek Lisans Programı 70110910002 numaralı öğrencisi Kürşat ATEŞ'in hazırladığı **PETROL VE DOĞALGAZ İLETİM HATLARINDA KULLANILAN API 5L X80 KALİTE SPİRAL KAYNAKLI ÇELİK BORUNUN İMALAT AŞAMALARI VE METALURJİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ** başlıklı tezi ile ilgili tez savunma sınavı, Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri gereğince 28.06.2019 Cuma günü saat 14.00'da yapılmış, tezin onayına oy birliği ile karar verilmiştir.

**Başkan**

: Doç. Dr. Eyyup... GERÇEK CİOĞLU

**Jüri Üyesi (Danışman)**

: Prof. Dr. Zekir TAŞ

**Jüri Üyesi**

: Dr. Öğrt. Ayşe... MUSTAFA SAĞMACI

**ONAY:**

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulu'nun 22.08.2019 tarih ve 37 sayılı Enstitü Yönetim Kurulu Kararı ile onaylanmıştır.

22/08/2019

  
Prof. Dr. Mustafa SAĞMACI  
Müdür

## İÇİNDEKİLER

<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iv</b>
<b>ÖZET</b> .....	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>iv</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>v</b>
<b>TABLolar LİSTESİ</b> .....	<b>vi</b>
<b>ŞEKİLLER LİSTESİ</b> .....	<b>viii</b>
<b>KISALTMALAR LİSTESİ</b> .....	<b>xiv</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK TARAMASI</b> .....	<b>3</b>
<b>3. DÜNYA DOĞAL GAZ KAYNAKLARI VE PİYASA ANALİZİ</b> .....	<b>8</b>
3.1. Yerküre Üzerinde Bulunan Doğal Gaz Kaynakları .....	8
3.2. Dünya Üzerinde Bulunan Doğal Gaz Kaynaklarının Ömrü .....	9
3.3. Türkiye'nin Enerji Potansiyeli ve Doğal Gaz Piyasası.....	10
<b>4. PETROL KAYNAKLARININ SEVKİYATINDA TÜRKİYE'NİN POZİSYONU</b> .....	<b>12</b>
4.1. Uluslararası Transit Petrol-Doğal Gaz Boru Hatları .....	12
4.1.1. Irak-Türkiye Ham Petrol Boru Hattı .....	12
4.1.2. Bakü-Tiflis-Ceyhan Ham Petrol Boru Hattı (BTC) .....	13
4.1.3. Trans Anadolu Doğal Gaz Boru Hattı Projesi (TANAP) .....	14
4.1.4. Türkiye-Bulgaristan Enterkonnektörü Projesi (ITB).....	16

4.1.5. Türkiye-Yunanistan Doğal Gaz Boru Hattı (ITG) .....	16
4.1.6. Rusya-Türkiye-Avrupa Doğal Gaz Boru Hattı Projesi (Türk Akımı).....	17
4.1.7. Trans Adriyatik Doğal Gaz Boru Hattı (TAP) Projesi .....	18
4.2. Ülkemize Doğal Gaz Arzı Sağlayan Uluslararası Hatlar.....	19
4.2.1. Rusya – Türkiye Doğal Gaz Boru Hattı (Batı Hattı).....	19
4.2.2. İran – Türkiye- Avrupa Doğal Gaz Boru Hattı (ITE).....	19
4.2.3. Rusya – Türkiye Doğal Gaz Boru Hattı (Mavi Akım) .....	20
4.2.4. Bakü-Tiflis-Erzurum Doğal Gaz Boru Hattı (BTE).....	21
<b>5. DOĞAL GAZ BORU HATLARINDA KULLANILAN API X SERİSİ ÇELİKLERİN GENEL ÖZELLİKLERİ .....</b>	<b>23</b>
5.1. Gerinme Kuvvetine Karşı Tasarlanan Boru Çelikleri .....	25
5.2. Boru Hattı Çeliklerinin Metalurjik Karakterizasyonu .....	27
5.2.1. Kimyasal Kompozisyon.....	27
5.2.2. Boru Hattı Çeliklerinin Mikroyapı Özellikleri.....	30
5.2.3. Boru Hattı çeliklerinin İşlenmesi .....	32
5.2.4. Boru Hattı Çeliklerinin Mikroyapısının Mekanik Özelliklerine Etkisi.....	36
5.3. Boru Hattı Çeliklerinde Uygulanan Kaynak Yöntemleri.....	38
5.3.1. Örtülü Elektrot Ark Kaynağı Yöntemi .....	39
5.3.2. Tozaltı Kaynağı Yöntemi .....	42
5.3.2.2. Tozaltı Kaynak Tekniğinin Dezavantajları.....	45
5.4. Kaynak Bölgesinde Oluşan Metalurjik Yapılar .....	45

5.4.1 Ana Metal .....	46
5.4.2. Ergiyen Bölge (Kaynak Metali) .....	46
5.4.2. Isı Tesiri Altında Kalan Bölge (ITAB).....	47

## **6. DOĞAL GAZ BORUSU ÜRETİM AŞAMALARI VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....**

**50**

6.1. Rulo Sacların Göz Muayenesi Ve Ölçü Kontrolü .....	51
6.2. Rulo Açma, Bağlama, Doğrultma İşlemleri .....	52
6.3. Bant Eki Kaynağı.....	53
6.4. Bant Kenar Frezeleme İşlemi .....	53
6.5. Spiral Tezgâhı Helis Açısı Ayarlanması.....	54
6.6. İç ve Dış Kaynak Yapılması .....	56
6.7. Deney Numunesinin Tozaltı Ark Kaynağı ile Birleştirilmesi .....	57
6.7.1 Tozaltı Ark Kaynağı.....	57
6.7.2. Kaynak Tozu ve Özellikleri.....	58
6.8. Kimyasal Analiz .....	60
6.9. Mikroyapı İncelemeleri.....	62
6.9.1. Numune Hazırlama İşlemi.....	62
6.9.2. Makroyapı İncelemeleri .....	62
6.9.3. Optik Mikroskop ile Mikroyapı İncelemeleri.....	63
6.10. Boru Gövdesi ve Kaynak Dikişi Muayenesi .....	66
6.10.1. Boru Gövdesinin Otomatik Ultrasonik Testi.....	66

6.10.2. Kaynak Dikiş Muayenesi .....	69
6.11. Plazma Kesim .....	72
6.12. Manuel Ultrasonik Muayene .....	73
6.13. Kaynak İle Oluşabilecek Hatalar ve Tamirleri .....	75
6.14. Hidrostatik Test .....	77
6.15. Boru Ucu İşlemleri .....	79
6.15.1. Boru Ucu Tornalama İşlemi .....	80
6.15.2. Boru Ucu Manyetik Muayene .....	81
6.16. Floroskobik Muayene .....	82
6.17. Rulo Son Göz Muayenesi Ve Ölçü Kontrolü .....	85
6.18. Taşlanmış Bölgenin Manyetik Testi .....	87
6.19. Ana Malzeme Çekme Ve Kaynaklı Çekme Testi.....	88
6.20. Sıvı Penetrant Testi.....	93
6.21. Kılavuzlu Bükme Testi .....	95
6.22. Çentik Darbe Testi .....	96
6.23. Ağırlık Düşürme Testi .....	99
6.24. Kırılma Yüzey Analiz İncelemeleri .....	102
6.24.1. Çentik Darbe Deney Numunesinin Kırılma Yüzey Analizi .....	103
6.24.2. Ağırlık Düşürme Deney Numunesinin Kırılma Yüzey Analizi .....	105
6.25. Vickers Sertlik Testi .....	107
6.26. Kaplama ve Son Kontrol .....	109



6.27. Polietilen Soyulma Testi.....	114
<b>7. TARTIŞMA SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>116</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>120</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>126</b>



**PETROL VE DOĞALGAZ İLETİM HATLARINDA  
KULLANILAN API 5L X80 KALİTE ÇELİKTEN İMAL  
EDİLMİŞ SİRİRAL KAYNAKLI ÇELİK BORUNUN İMALAT  
AŞAMALARI VE METALURJİK ÖZELLİKLERİNİN  
İNCELENMESİ**

**Kürşat ATEŞ**

**Bozok Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı  
Yüksek Lisans Tezi**

**2019; Sayfa:126**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Zakir TAŞ**

**ÖZET**

Yaptığımız çalışmada, Dünya üzerinde bulunan doğal gaz rezervleri ve bu rezervin transferinde kullanılan boru hattı çelikleri hakkında genel bilgiler yer almaktadır. Petrol doğal gaz iletim hatlarında kullanılan boruların imalatında API 5L X80 standardındaki rulo halindeki çelik sac malzemenin boru formuna getirilinceye kadar yapılan aşamalar incelenmiş ve süreçteki tüm deneyler yapılmıştır. Toz altı kaynak yöntemiyle spiral kaynaklanan sac malzemeye; gözle muayene, kimyasal analiz, mikroyapı-makroyapı inceleme, ultrasonik, floroskopik, hidrostatik, çekme, çentik darbe (charpy), sıvı penetrant, manyetik parçacık, ağırlık düşürme (DWTT), kılavuzlu bükme, vickers sertlik ölçme ve polietilen soyulma testleri uygulanarak tahribatlı ve tahribatsız muayene süreçleri tamamlanmıştır. Yapılan inceleme neticesinde boru hattı çeliğinin kaynak bölgesinde meydana gelen mikroyapıların etkileri araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: API 5L X80, Tozaltı Kaynağı, Boru Hattı, Doğal Gaz, Mikroyapı

# **PRODUCTION STAGES AND METALLURGICAL PROPERTIES EXAMINATION OF SPIRAL WELDED API X80 STEEL USED IN PETROLEUM AND GAS PIPELINE**

**Kürşat ATEŞ**

**Bozok University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Mechanical Engineering Master Thesis**

**2019; Page: 126**

**Supervisor: Prof. Dr. Zakir TAŞ**

## **ABSTRACT**

Our study includes general information about the natural gas reserves on the Earth and the pipeline steels used in the transfer of this reserve. In the production of pipes, API 5L X80 standard sheet steel sheet material was examined until the pipe form was brought to the stage and all the experiments were carried out in the process. In spiral welded sheet material by powder welding; visual inspection, chemical analysis, microstructure analysis, ultrasonic, fluoroscopic, hydrostatic, tensile, Charpy V-Notch, liquid penetrant, weight reduction, guided bending, vickers hardness measurement, magnetic particle and polyethylene peeling tests were carried out and destructive and non-destructive testing processes were completed. As a result of the investigation, the effects of microstructures in the welded area of the pipeline steel were investigated.

**Keywords:** API 5L X80, Submerged Arc Welding, Microstructure, Pipe, Naturel Gas

## TEŞEKKÜR

Tez çalıőmam sırasında bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösteren, destek olan değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Zakir TAŞ'a,

Deneysel çalıőmalarımın tamamlanmasında Emek Boru A.Ő. Kalite M¼d¼r¼ Emrehan KILIÇ Bey ve mesai arkadaşlarına,

Gazi Üniversitesi Makine M¼hendislięi Toz Metalurjisi Laboratuvarı alıőanlarına,

Yozgat Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi Makine Böl¼m¼ öğretmen ve teknisyenlerine,

Y¼ksek Lisans s¼reci boyunca beni s¼rekli teşvik eden ve yalnız bırakmayan aileme,

Sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

## TABLolar LİSTESİ

### Sayfa

<b>Tablo 5.1.</b> X Serisi Çeliklerinin Akma ve Çekme Dayanımları .....	23
<b>Tablo 5.2.</b> X Serisi Çeliklerin Genel Kimyasal İçerikleri .....	24
<b>Tablo 5.3.</b> Yüksek Mukavemetli Boru Hattı Çeliklerinde Alaşım Elementlerinin Ana Etkileri .....	30
<b>Tablo 5.4.</b> TMCP Aşamalarına Genel Bakış, Tipik Sıcaklıklar Ve Özellikleri .....	35
<b>Tablo 5.5.</b> Farklı İşleme Koşulları Kullanılarak Elde Edilen Mikro Yapılar .....	35
<b>Tablo 6.1.</b> Kullanılan Kaynak Tozunun Özellikleri .....	58
<b>Tablo 6.2.</b> Kaynak Teli Kimyasal Özellikleri .....	58
<b>Tablo 6.3.</b> Tozaltı Kaynak Teli Kimyasal Bileşimi .....	59
<b>Tablo 6.4.</b> Tozaltı Kaynağı Fiziksel Özellikleri .....	59
<b>Tablo 6.5.</b> Kullanılan Boru Çeliğinin Kimyasal Analizi .....	61
<b>Tablo 6.6.</b> Deneyde Kullanılan Otomatik Ultrasonik Test Cihazı ve Özellikleri .....	66
<b>Tablo 6.7.</b> Ultrasonik Laminasyon Muayene ve Kalibrasyon Formu .....	68
<b>Tablo 6.8.</b> Ultrasonik Boru Gövdesi Laminasyon Muayenesi ve Cihaz Özellikleri .....	70
<b>Tablo 6.9.</b> ITAB Ultrasonik Muayene Formu .....	71
<b>Tablo 6.10.</b> Manuel Ultrasonik Muayene .....	74
<b>Tablo 6.11.</b> API 5L Spesifikasyonuna Göre Hidrostatik Test Basıncı .....	78
<b>Tablo 6.12.</b> Hidrostatik Test Tezgâhı Boru Çap ve Uzunlukları .....	79

<b>Tablo 6.13.</b> Test Yapılacak Boru Özellikleri.....	79
<b>Tablo 6.14.</b> Deneyde Kullanılan Floroskopi Cihazı ve Ekipmanları .....	84
<b>Tablo 6.15.</b> Floroskobik Muayene Sertifikası .....	85
<b>Tablo 6.16.</b> Ana Malzeme Değer Aralıkları .....	89
<b>Tablo 6.17.</b> Ana Malzeme Çekme Standardı.....	89
<b>Tablo 6.18.</b> Kaynaklı Numune Çekme Testi Sonuçları.....	91
<b>Tablo 6.19.</b> Ana Metal Çekme Testi Yapılmış Numuneler.....	91
<b>Tablo 6.20.</b> Kılavuzlu Bükme Test Formu .....	95
<b>Tablo 6.21.</b> -10 °C Ana Malzeme Çentik Darbe Deneyi Değer Aralığı.....	97
<b>Tablo 6.22.</b> -15 °C Kaynak ve ITAB Bölgesi Çentik Darbe Deneyi Değer Aralığı	97
<b>Tablo 6.23.</b> Kırılma Tokluğu Testi.....	99
<b>Tablo 6.24.</b> Ağırlık Düşürme Cihaz Özellikleri .....	100
<b>Tablo 6.25.</b> Ağırlık Düşürme Deneyi Numune Değerlendirmesi.....	101
<b>Tablo 6.26.</b> Vickers Testi Uygulama Yöntemi.....	107
<b>Tablo 6.27.</b> Vickers Test Sonuçları .....	108
<b>Tablo 6.28.</b> Dış Kumlama Ünitesi Özellikleri.....	110
<b>Tablo 6.29.</b> Polietilen veya Polipropilen Kaplama Ünitesi .....	114

## ŞEKİLLER LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 1.1. 2017 Yılı Küresel Birincil Enerji Tüketim Oranları.....	1
Şekil 3.1 2017 Yılı Dünya İspatlanmış Doğal Gaz Rezervleri Dağılımı .....	8
Şekil 3.2. 2017 Yılı En Fazla Doğal Gaz Kaynağına Sahip İlk 10 Ülke .....	9
Şekil 3.3. 2017 Yılı Bölgelere Göre Doğal Gaz Rezervi ve Rezerv Ömrü . .....	10
Şekil 3.4. 2016 Yılı Türkiye Birincil Enerji Talebi . .....	11
Şekil 3.5. 2017 Yılı Türkiye'nin İthal Ettiği Doğalgazın Kaynak Ükelere Göre Dağılımı . .....	11
Şekil 4.1. TANAP Türkiye Boru Hattı Geçiş Güzergâhı .....	15
Şekil 4.2. Rusya-Türkiye-Avrupa Doğal Gaz Boru Hattı Projesi(Türk-Akım) .....	18
Şekil 4.3.TAP ve TANAP Boru Hatlarının Birleşimi .....	19
Şekil 4.4. İran – Türkiye- Avrupa Doğal Gaz Boru Hattı ve Teknik Özellikleri .....	20
Şekil 4.5. Rusya-Türkiye Doğal Gaz Boru Hattı (MaviAkım ve TürkAkım) .....	21
Şekil 4.6. Fay Kesişimlerinde Boru ve Toprak Özellikleri.....	22
Şekil 5.1. YDDA Boru Hattı Çeliklerinin Evrimi.....	25
Şekil 5.2. Geliştirilmiş Boru Çeliklerinin Gerilim-Gerinme Parametreleri Ve Gerilme-Gerilme Eğrileri .....	27
Şekil 5.3. Konvansiyonel ve Geliştirilmiş API 5L Çelik Kalitelerinin Kimyasal Bileşimlerine Genel Bakış.....	28

<b>Şekil 5.4.</b> Konvansiyonel ve Geliştirilmiş TMCP Şeması.....	34
<b>Şekil 5.5.</b> HOP Süreci Tarafından Teşvik Edilen Mikroyapısal Değişimler .....	34
<b>Şekil 5.6.</b> X70-80-100-120 Sınıfı Çeliklerin Akma Ve Çekme Mukavemeti.....	37
<b>Şekil 5.7.</b> X70-80-100-120 Sınıfı Çeliklerin %Uzama Oranları.....	37
<b>Şekil 5.8.</b> X70-80-100-120 Sınıfı Çeliklerin Akma Ve Çekme Oranları .....	38
<b>Şekil 5.9. X70-80-100-120 Sınıfı Çeliklerin Ağırlık Düşürme ve Çentik Darbe Değerleri.....</b>	<b>38</b>
Şekil 5.10. Örtülü Elektrot Ark Kaynağı .....	40
Şekil 5.11. Tozaltı Kaynak Ünitesi .....	43
Şekil 5.12. Örtülü Elektrotla Elektrik Ark Kaynağı Ve Tozaltı Kaynağında Isı Bilançosu.....	44
Şekil 5.13. X 100 Çeliğinin Kaynak Bölgesi .....	46
Şekil 5.14. Alın Ve Köşe Birleştirmelerinde Segregasyon Bölgeler .....	47
Şekil 5.15. Kaynak Metalinin Katılaşma Aşamaları.....	47
<b>Şekil 5.16.</b> Isının Tesiri Altındaki Bölgedeki (ITAB) Tane Yapısı Değişimi. ....	<b>48</b>
<b>Şekil 5.17.</b> Çeliklerin Kaynağında Sıcaklığın ITAB Mikroyapısına Etkisi.....	<b>49</b>
<b>Şekil 6.1.</b> API 5L X80 Serisi Çeliklerin Rulo Saç Halinden Petrol Doğal Gaz Borusu Formuna Getirilme Aşamalarındaki Akış Şeması.....	<b>50</b>
<b>Şekil 6.2.</b> Rulo Sacların Göz Muayenesi Ve Ölçü Kontrolü .....	<b>51</b>
<b>Şekil 6.3.</b> Rulo Açma İşlemi .....	<b>52</b>



<b>Şekil 6.4.</b> Ağız Açılmış Rulolar Vinç Yardımıyla Tezgâha Bağlama İşlemi	
<b>Şekil 6.5.</b> Tezgâha Bağlanan Rulo Silindirler Vasıtasıyla Doğrultma İşlemi .....	52
<b>Şekil 6.6.</b> Şekil Bant Eki Kaynağı .....	53
<b>Şekil 6.7.</b> Bant Kenar Frezeleme İşlemi .....	54
<b>Şekil 6.8.</b> Helis Açısı Ayarlandıktan Sonra Boruya Form Verme İşlemi .....	55
<b>Şekil 6.9.</b> İç ve Dış Kaynaklama İşlemi.....	56
<b>Şekil 6.10.</b> Spektrometre Analizi .....	61
<b>Şekil 6.11.</b> Struers LabaPol-1 Zımparalama Cihazı.....	62
<b>Şekil 6.12.</b> Büyüteçle Ön İzleme .....	63
<b>Şekil 6.13.</b> Mitutoyo Takımcı Mikroskop .....	63
<b>Şekil 6.14.</b> API X80 Deney Numunesinin Kaynak Bölgesinin Görünümü.....	64
<b>Şekil 6.15.</b> Kaynak Bölgesinin Genel Görüntüsü-1 .....	64
<b>Şekil 6.16.</b> Kaynak Bölgesinin Genel Görüntüsü-2.....	65
<b>Şekil 6.17.</b> Kaynaklı Numunenin ITAB Bölgesi .....	65
<b>Şekil 6.18.</b> Otomatik Ultrasonik Boru Gövdesi Laminasyon Muayenesi.....	67
<b>Şekil 6.19.</b> Otomatik Ultrasonik Boru Gövdesi Laminasyon Muayenesi.....	67
<b>Şekil 6.20.</b> Otomatik Ultrasonik Boru Gövdesi Laminasyon Muayenesi.....	69
<b>Şekil 6.21.</b> Floroskopik ve Ultrasonik Hata Tespiti.....	72
<b>Şekil 6.22.</b> Plazma Kesim Ünitesi .....	73
<b>Şekil 6.23.</b> Manuel Ultrasonik Muayene Uygulaması.....	74

<b>Şekil 6.24.</b> Örnek Kaynak Hataları a) Dış Kaynak Bindirmesi b) Tel Kesigi.....	77
<b>Şekil 6.25.</b> Hidrostatik Test Aşaması.....	78
<b>Şekil 6.26.</b> Deney Numunesinin Hidrostatik Test Grafiği.....	79
<b>Şekil 6.27.</b> Boru Ucuna Kaynak Ağzı Açan Torna Tezgâhı.....	80
<b>Şekil 6.28.</b> Boru Ucu Offline Muayene .....	81
<b>Şekil 6.29.</b> Boru Ucu Manyetik Test-1 .....	81
<b>Şekil 6.30.</b> Boru Ucu Manyetik Test-2 .....	82
<b>Şekil 6.31.</b> Floroskopik Muayene Ünitesi .....	83
<b>Şekil 6.32.</b> Floroskopik Muayene Cihazında Gözlemlenen Hata Görüntüleri .....	84
<b>Şekil 6.33.</b> Boru Ölçüm Aletleri .....	86
<b>Şekil 6.34.</b> Şeritmetre İle Ölçüm.....	87
<b>Şekil 6.35.</b> Taşlanmış Bölgenin Manyetik Testi.....	88
<b>Şekil 6.36.</b> Örnek Yüzeydeki Çatlaklar Görüntüleri.....	88
<b>Şekil 6.37.</b> Çekme Cihazı .....	90
<b>Şekil 6.38.</b> Çekme Numuneleri.....	90
<b>Şekil 6.39.</b> Çekme Testi Yapılmış Numuneler .....	91
<b>Şekil 6.40.</b> Ana Malzeme Çekme Testi Grafiği.....	92
<b>Şekil 6.41.</b> Kaynaklı Malzeme Çekme Testi Grafiği.....	93
<b>Şekil 6.42.</b> Sıvı Penetrant Testi.....	94

<b>Şekil 6.43.</b> Eğme Cihazı .....	95
<b>Şekil 6.44.</b> Eğme Testi Yapılmış Numuneler .....	95
<b>Şekil 6.45.</b> Çentik Açılmış Numuneler .....	98
<b>Şekil 6.46.</b> Çentik Darbe Testinden Sonra Kırılmış Numune.....	98
<b>Şekil 6.47.</b> Çentik Darbe Cihazı .....	98
<b>Şekil 6.48.</b> Ağırlık Düşürme Cihazı.....	100
<b>Şekil 6.49.</b> Sıcaklık Ölçme Cihazı .....	101
<b>Şekil 6.50.</b> Ağırlık Düşürme Testi İle Kırılmış Numuneler .....	101
<b>Şekil 6.51.</b> Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM).....	102
<b>Şekil 6.52.</b> Çentik Darbe Deney Numunesinin Kırılma Yüzeyi SEM Görüntüleri .	103
<b>Şekil 6.53.</b> ITAB Bölgesinden Seçilen Bölgelerin Mikro Analiz Spektrumu (EDS Spektrumu) ve Analizleri .....	104
<b>Şekil 6.54.</b> EDS Analizi Bölge-1 .....	104
<b>Şekil 6.55.</b> EDS Analizi Bölge-2 .....	104
<b>Şekil 6.56.</b> SEM Mikroskobuyla İncelenen Kırılma Bölgesi .....	105
<b>Şekil 6.57.</b> Ağırlık Düşürme Deney Numunesi Kırılma Analizi.....	106
<b>Şekil 6.58.</b> Sertlik Ölçme Cihazı Struers Duramin A-300.....	108
<b>Şekil 6.59.</b> Sertlik Numunesi .....	108
<b>Şekil 6.60.</b> Dış Kumlama Ünitesi .....	110
<b>Şekil 6.61.</b> Grit.....	111

<b>Şekil 6.62.</b> Yüzey Toz Testi.....	111
<b>Şekil 6.63.</b> Yüzey Pürüzlülük Testi .....	111
<b>Şekil 6.64.</b> Epoksi Toz Boya Püskürtme .....	112
<b>Şekil 6.65.</b> Yapıştırıcı Ve Polietilen Kaplama.....	112
<b>Şekil 6.66.</b> Soğutma Tüneli.....	113
<b>Şekil 6.67.</b> Holiday Cihazı.....	113
<b>Şekil 6.68.</b> Kaynak Üstü PE Kalınlık Ölçümü.....	114
<b>Şekil 6.69.</b> Polietilen Soyulma Testi.....	115

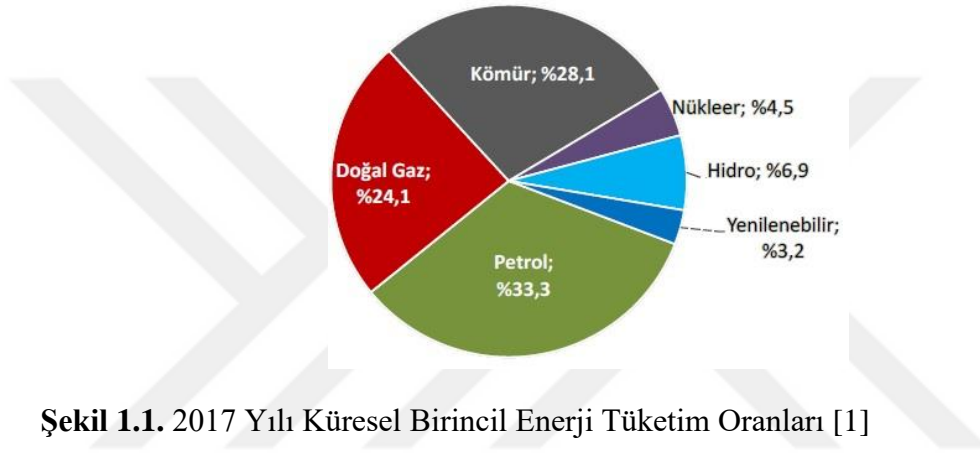
## KISALTMALAR LİSTESİ

<b>AcC</b>	Hızlandırılmış Soğutma İşlemi
<b>API</b>	Amerikan Petrol Enstitüsü
<b>ASNT</b>	Amerikan Tahribatsız Muayene Kurumu
<b>AWS</b>	Amerikan Kaynak Derneği
<b>B</b>	Beynit
<b>BIL</b>	BOTAŞ International Limited
<b>BOTAŞ</b>	Boru Hatları İle Petrol Taşıma Anonim Şirketi
<b>BTC</b>	Bakü-Tiflis-Ceyhan Ham Petrol Boru Hattı
<b>BTE</b>	Bakü-Tiflis-Erzurum Doğal Gaz Boru Hattı
<b>DP</b>	Çift Faz
<b>F</b>	Ferrit
<b>HOP</b>	Kontrollü Isıl İşlem
<b>ISO</b>	Uluslararası Standartlar Enstitüsü
<b>ITAB</b>	Isı Tesiri Altında Kalan Bölge
<b>ITB</b>	Irak-Türkiye Ham Petrol Boru Hattı
<b>İGDAŞ</b>	İstanbul Gaz Dağıtım Anonim Şirketi
<b>LB</b>	Düşük Beynit
<b>MA</b>	Martenzit-Östenit
<b>mA</b>	Mili amper
<b>MAG</b>	Metal Aktif Gaz
<b>MIG</b>	Metal Inert Gaz
<b>NDT</b>	Tahribatsız Muayene
<b>NIGC</b>	İran Ulusal Gaz Şirketi
<b>OECD</b>	Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü
<b>PC</b>	Yan kaynak
<b>QT</b>	Temperleme
<b>R</b>	Röntgen

<b>SAW</b>	Tozaltı Ark Kaynağı
<b>SBD</b>	Gerinim Temelli Tasarım
<b>SCP</b>	Güney Kafkasya Doğal Gaz Boru Hattı
<b>SCPX</b>	Güney Kafkasya Boru Hattı Genişleme Projesi
<b>SDC</b>	Şah Deniz Konsorsiyumu
<b>SEM</b>	Taramalı Elektron Mikroskobu
<b>SMAW</b>	Örtülü Metal Ark Kaynağı
<b>SOCAR</b>	State Oil Company of Azerbaijan Republic
<b>TANAP</b>	Trans Anadolu Doğalgaz Boru Hattı
<b>TLM</b>	Temperlenmiş İğne Martenzit
<b>TMCP</b>	termomekanik kontrollü işleme
<b>TPAO</b>	Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı
<b>TPE</b>	Ton Petrol Eşdeğeri
<b>TSE</b>	Türk Standartları Enstitüsü
<b>YDÇ</b>	Yüksek Dayanımlı Çelikler
<b>YDDA</b>	Yüksek Dayanımlı Düşük Alaşımlı Çelikler

## 1. GİRİŞ

Enerji, bir ülkenin sosyoekonomik gelişiminin en temel gereksinimlerindedir. Bu bakımdan enerji, toplumların yaşamlarını sürdürebilmesi için gerekli olan hemen hemen tüm süreçler için vazgeçilmez bir girdi olup; sanayi, ulaştırma, konut ve ticarethane gibi alt sektörlerinde kullanılmaktadır. Bugün dünyada tüketilen enerji, çok sayıda enerji kaynağından elde edilirken; petrol, doğal gaz ve kömür gibi fosil kaynaklar, bu kaynakların %86'sını oluşturmaktadır (Şekil 1.1.)[1].



Şekil 1.1. 2017 Yılı Küresel Birincil Enerji Tüketim Oranları [1]

Endüstri ve sağlık alanındaki teknolojik gelişmeler insan ömrünün uzamasına imkân sağlamıştır. Buna bağlı olarak dünya nüfusu sürekli artış göstermektedir. Artan nüfus beraberinde tüketim hızını artırmaktadır. Bu durumun doğurduğu sonuçlardan biri de enerji sarfiyatının artmasıdır. Dünya ihtiyaç duyduğu enerjiyi temin etmek için fosil yakıtların kullanımını sürdürmektedir. Ülkemizde ise en çok ihtiyaç duyulan yakıtlardan biri de doğalgazdır. Bu ihtiyacı karşılama noktasında maalesef ülke topraklarımızda çıkan doğalgaz hacmi yeterli olmadığından; doğalgazın kaynağından ihtiyaç duyulan bölgelere ekonomik, güvenli ve hızlı şekilde transfer edilmesi sonucunu doğurmaktadır. Doğal gaz kaynağından ihtiyaç duyulan bölgelere en az maliyetle ve hızlı bir şekilde taşınabilmesi için petrol doğal gaz boru hatları geliştirilmiştir.

20 Mart 1919 da Amerika'da kurulan Amerikan Petrol Enstitüsü (API) standardına göre imal edilen çelik borular API X sınıfı çelik olarak adlandırılırlar. Petrol ve doğal gaz taşımacılığında bu standartta çelikler kullanılarak boru imal edilmektedir. Bu tür borular için ilk olarak API X52 ve API X60 standardındaki çelikler kullanıldı. Teknolojik gelişmeler ve yüksek dayanım gereksinimleri API X65, X70 ve X80 çeliklerinin geliştirilmesini sağladı. Bu çeliklerde yüksek dayanımlı olmasının yanı sıra, yüksek tokluk ile kaynaklanabilirlik özelliğinin de olması zorunlu oldu. Günümüzde API X100 çeliği de üretilmekte ve API X120 için AR-GE çalışmaları sürmektedir. NABUCCO Projesi'nin de gündemde olduğu bu günlerde, bu çelikleri içyapıları ve mekanik özelliklerinin iyileştirme çalışmaları devam etmektedir [2].



## 2. KAYNAK TARAMASI

Gençkan, çalışmasında farklı et kalınlığına sahip üç farklı boru çapında API 5L (X65, X70, X80) çelik boruların rutil özlü kaynak telleri kullanılarak MAG Orbital kaynak yöntemi kullanarak boruları birleştirmiştir. Kaynak sarf malzemesi yurt dışından temin edilen X80 çelik boru kaynağına özel dikişli rutil özlü tel tasarımı ve üretimi AWS 5.29 standardına göre yapılmış ve X80 kalite borunun orbital kaynağında kullanılmıştır. Çalışmasında kullandığı MAG Orbital kaynak sistemine ait kaynak parametre optimizasyonu üç boru içinde saptanmıştır. Borular belirlenen parametreler kullanılarak başarılı bir şekilde kaynatılmıştır. Farklı pozisyonlardan API 1104 standardına göre değerlendirilen kaynaklı numunelere ait mekanik ve kimyasal özelliklerin aynı olduğu tespit edilmiş, borunun çap boyunca aynı kaynak kalitesine sahip olduğu belirlenmiştir. Aynı zamanda X80 çeliği için yerli üretim dikişli rutil özlü tel ile yurt dışından temin edilen dikişsiz rutil özlü tel ile MAG Orbital kaynak sistemi ile kaynatılmış ve her iki özlü telin de kaynak bölgesinde mekanik özellikleri gereksinimlerini API 1104 test standardına göre karşıladığı tespit edilmiştir.

Bal, yaptığı bu çalışmada API 5L X80 çelik borularının kaynağında kullanılan, ülkemizde üretimi olmayan ve API 1104 ve AWS standartlarına sahip, piyasada mevcut olarak kullanılmakta olan kaynak sarf malzemelerinin mekanik ve kimyasal özellikleri incelemiş ve özellikleri daha da iyileştirilerek yerli üretiminin gerçekleştirilmesi sağlanmıştır.

Kaynak deneyleri yapıldıktan sonra kaynak dikişlerinin radyografik muayeneleri yapılmıştır. Muayeneler API 1104 standardına uygun olarak yapılan deneylerde kaynak dikişlerinin genel olarak standartlara uygun olduğunu göstermiştir.

Daha sonra X80 çeliğine tahribatlı muayeneler yapılarak kaynak bölgesindeki hatalar incelenmiştir. Çentikli çekme deneyi numuneleri API 1104 standartlarına göre hazırlanmıştır. Yapılan kaynak deneylerindeki kaynak dikişlerinin mekanik özelliklerini belirlemek için çekme ve tokluk deneyleri yapılmıştır. Çekme deneyi numuneleri Çekme deneyi sonucunda kaynaklı numunelerin tamamının ana metalden kopması istenmektedir. Yapılan deneylerin bazıları ana metalden koparken bir kısmı

kaynak bölgesinden kopmuştur. Kaynaklı parçaların tokluk deneyi numuneleri Proje hedefi olarak  $-60^{\circ}\text{C}$  de 47J tokluk değerine ulaşılmak istenmiştir. Gazaltı kaynağı özlü tel sınıfından iki deney takımı bu hedefi yakalamıştır.

Kaynak bölgesinin mikroyapı incelemeleri taramalı elektron mikroskobu ile yapılarak istenmeyen martenzit mikroyapısının, kaynak mikroyapısında bulunup bulunmadığı incelenmiştir. Yeterli tokluğu sağlamak açısından mikroyapının martenzitik bir yapıda olması istenmemektir. Yapılan tüm deneylerde istenilen ferritik taneler gözlenmiştir.

Tasarlanan özlü tellerin ikisinde X80 çeliğine yapılan kaynak uygulamasında mekanik özellikler açısından rakamsal olarak istenilen hedeflere ulaştığı gözlemlenmiştir. Deneylerde kullanılan X80 çeliğin standartlardakine göre çok yüksek olması nedeniyle yapılan çekme deneylerinde numuneler kaynaktan koparak, yapılan tasarımın başarısız gibi görünmesine neden olmuştur. Standartlarda belirtilen kalitede bir X80 çelik boru kullanıldığında bu tasarım başarılı olacaktır.

Ada 2006, çalışmasında, tozaltı kaynağı yöntemi ile spiral kaynaklanan farklı malzemeleri petrol ve doğalgaz boru hatları için üretilen çeliklerin mekanik özelliklerini incelenerek kaynaklı birleştirmenin mikroyapı ve mekanik özelliklere üzerindeki etkilerini ve kullanılan malzemelerin birbiriyle kıyaslanması amaçlanmıştır. Deneysel çalışmalarda, API 5L (X65,X52,X60,X70) standardı doğalgaz boruları ve farklı ebatlarda X65 petrol borularına kaynaklanarak birleştirilmiştir. Bu birleştirmelere tahribatlı muayene (sertlik, çekme, çentik - darbe, eğme) testleri uygulanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, kullanılan malzemeler içerisinde en verimli mekanik test sonuçları X70 malzemedен imal edilen doğalgaz borusunda elde edilmiştir.

Kaba, çalışmasında, çelik doğalgaz borularının birleşme noktalarındaki kaynaklı bölgeler radyografik muayeneye tabii tutulmuştur. Bunun için X ışını ve gama ışını cihazları kullanılarak boruların çok sayıda filmleri çekilmiştir. İncelemeler sonucunda sık görülen değişik kaynak hataları tespit edilerek sebepleri araştırılmış, hatayı gidermek ve kaliteyi artırmak için yorumlar yapılarak çözümler geliştirilmeye çalışılmıştır. Aynı zamanda bu hataların API 1104 standardına göre kabul edilebilir olup olmadığı yönünde değerlendirmeler yapılmıştır.

Freelance ve Claudio Ruggieri, yaptığı çalışmada, API 5L X80 çeliğinin kırılma tokluğunu değerlendirmek için kırılma direnç eğrilerini (J-R eğrileri) inceledi. X80 çeliğinin mekanik ve metalurjik özelliklerinin konvansiyonel çekme testleri, Charpy darbe testleri ve metalografik analizleri değerlendirilerek delaminasyonların oluşumu ve deneysel direnç eğrileri J- $\Delta$ a (J-R eğrileri) üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Malzemenin kırılma direnci eğrisinin J- $\Delta$ a (J-R eğrisi) deneysel tespiti için kırılma mekaniği testleri yapılmıştır. Direnç eğrileri, malzemenin sünek yırtılma sırasındaki mekanik davranışını tanımlamak için kullanıldığından, yalnızca çatlak uzunluğu  $J_{max} = 370 \text{ kJ} / \text{m}^2$  ile sınırlandırılmış eğri değil, tüm sabit çatlak uzunluğu dikkate alınmıştır.

API 5L X80 çeliği için elde edilen J-R eğrisi, API 5L X60 çeliğiyle karşılaştırarak, X80'in çatlak yayılmasına karşı daha yüksek bir direnci olduğunu tespit etti. API 5L X60 daha düşük standarda sahip olduğundan,  $J_{max}$ , API 5L X80 ile karşılaştırıldığında çatlak yayılmasına daha hızlı olduğu tespit edilmiştir.

Rosado De Waele ve arkadaşları bu makalede, API 5L X70 ve sonraki seviyelerdeki yüksek dayanımlı boru çelik kalitelerinin son gelişmelerine genel bir bakış açısı sunmayı amaçlamışlardır. Hedef olarak, süneklik ve tokluk özelliklerini elde etmek için kimyasal bileşim, mikroyapısal tasarım, termo-mekanik kontrollü işlem (TMCP) ve hızlandırılmış soğutma işlemi (AcC) metalurjik özelliklere etkileri araştırılmıştır.

Gerilme-temelli tasarım uygulamaları için yüksek dayanımlı çelikler (YDÇ) hat boru çeliklerinin geliştirilmesinde son yıllarda önemli bir ilerleme kaydedilmiştir. Elde edilen ana sonuçlar aşağıdaki gibidir:

- Yüksek dayanımlı çelik kaliteler mekanik özelliklerde iyileşme gösterdiği ve gerinme kapasitesindeki değişimler tespit edilmiştir;
- Mukavemet artışı, artan Mo, Si ve Ni içeriğiyle ilişkilidir; alaşım elementi içeriğindeki değişikliklerden bağımsız olarak, iyi kaynaklanabilirlik için karakterizasyon parametreleri (yani CE ve Pcm) pratik olarak değişmez.

- Yüksek zorlanma sertliği ve düzgün uzama gibi yüksek zorlamalı uygulamalar için gerekli mekanik özellikleri sağlayan optimum mikro yapıların (örneğin, ferrit-beynit DP ve/veya beynit-martensit/östenit) geliştirilmesi; hem 'geleneksel' hem de geliştirilmiş TMCP işlemlerinin, düşük Akme/Çekme oranına ve daha yüksek içeriğe ve yeterli tokluğa sahip çelikler üretmek için etkili işleme yolları olduğu gösterilmiştir.

Pedrosa ve arkadaşları yaptığı çalışmada, kırılma tokluğunu arttırmak amacıyla API 5L X80 çeliğinde farklı termomekanik aşamalar sonucunda meydana gelen faz dönüşümlerinin incelediler. Soğutulmuş çelik üzerinde gerçekleştirilen genleşme testleri yaparak, ısıtma sırasında, 593-618 K sıcaklık aralığında bir faz dönüşümünün gerçekleştiğini tespit ettiler. Yapılan termomekanik işlemlerin asiküler ferritin oluşumuna sebep olduğu anlaşıldı. Faz dönüşümleri X80 çeliğinin mekanik özelliklerinin iyileştirdiği tespit edilmiştir.

Taş, yaptığı bu çalışmada, Trans Anadolu Gaz Boru Hattı (TANAP) Projesinde kullanılan, yüksek mukavemetli X70 çeliğinin mikroyapı ve mekanik özelliklerini araştırmıştır. Toz altı Kaynağıyla birleştirilen numunelere tahribatlı ve tahribatsız deneyler uygulayarak metalurjik özelliklerini araştırdı. Mekanik özellikleri belirlemek için çekme, sertlik ölçme ve kılavuzlu eğme deneyleri uyguladı. Mikro yapı incelemeleri ise taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve optik mikroskop altında incelemiştir. Ayrıca kaynak bölgesi radyografik ve ultrasonik olarak test etmiştir.

Sonuç olarak yapılan deneylerde aşağıdaki bulgulara ulaşılmıştır.

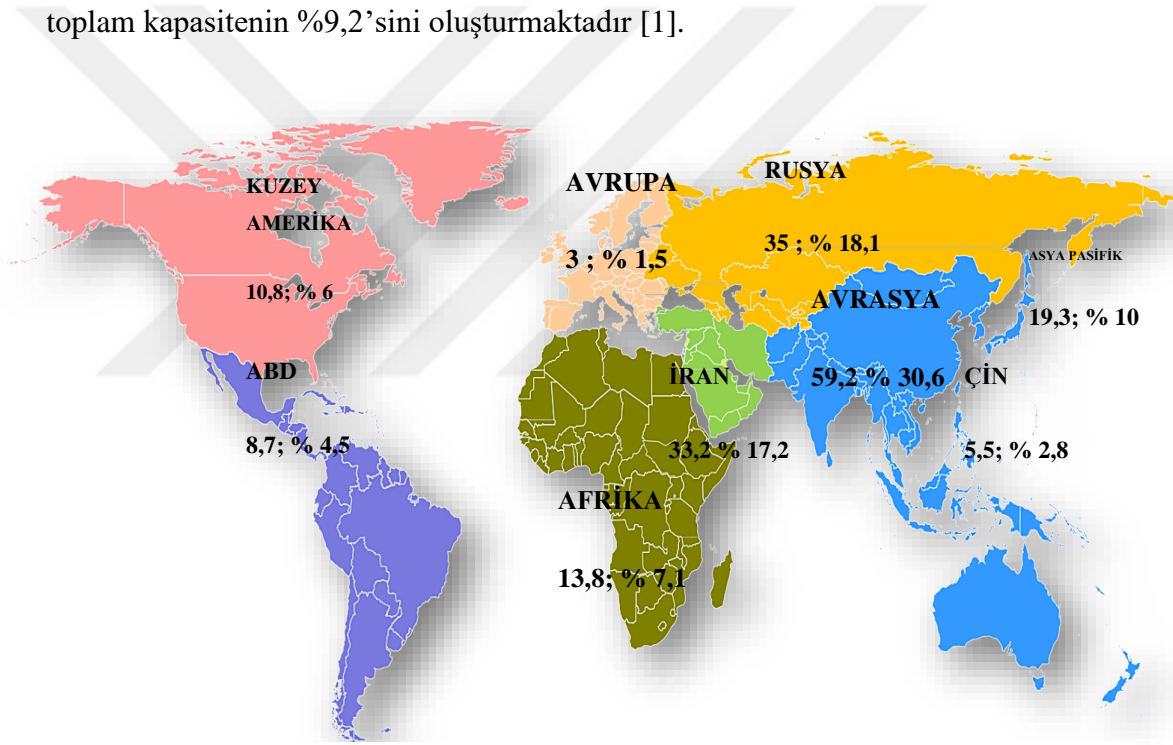
- X70 çeliği düşük karbonlu olmasına rağmen kaynaklanabilirliğinde herhangi bir dezavantaj oluşmadığı tespit edildi.
- Mikroyapı incelemelerinde;  
Ana malzeme ince taneli ferrit ve perlit adacıkları,  
Kaynaklı bölgenin tane sınırlarında asiküler, yapraksı ve çokgen ferrit tanelerinden meydana geldiği tespit etmiştir.
- En yüksek sertlik değerleri sırasıyla; kaynak dikişi, ITAB ve ana malzemede,
- En yüksek tokluk değerleri sırayla; ana malzeme, ITAB ve kaynak dikişinde tespit edildi.



### 3. DÜNYA DOĞAL GAZ KAYNAKLARI VE PİYASA ANALİZİ

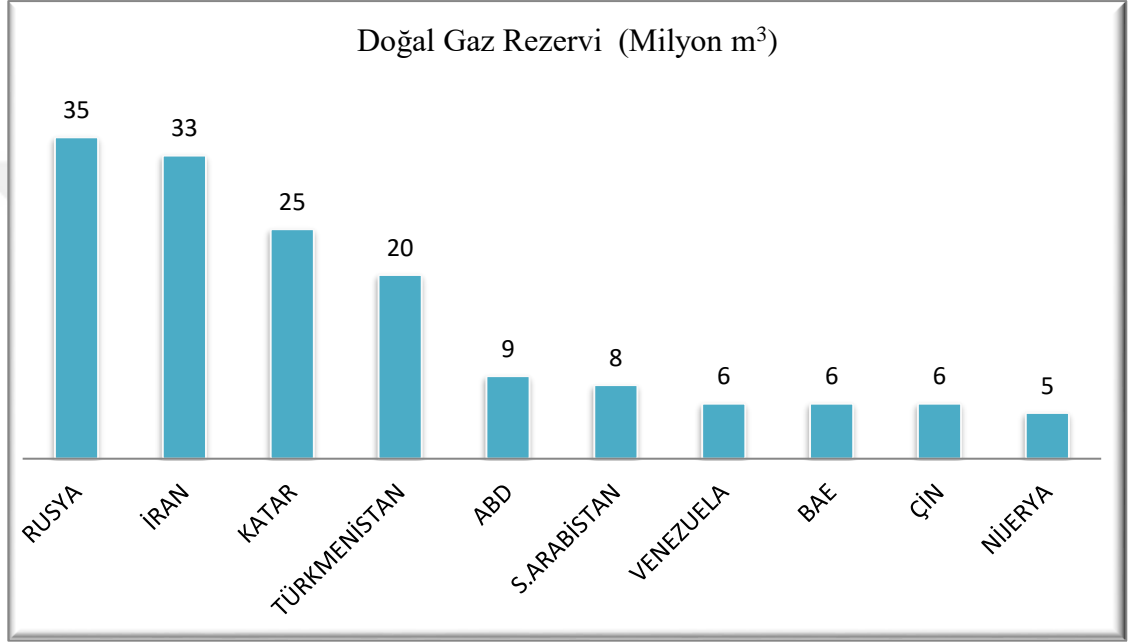
#### 3.1. Yerküre Üzerinde Bulunan Doğal Gaz Kaynakları

2016 yılı itibariyle, 193,1 trilyon m<sup>3</sup> olan dünya doğal gaz kaynakları, 2017 yılında %0,2 artarak 193,5 trilyon m<sup>3</sup> olarak kayda geçmiştir. Dünya üzerindeki doğal gaz kaynaklarının %40,9'u Orta Doğu'da, %30,6'sı Avrasya'da, %10'u Asya Pasifik'te, %7,1'i Afrika'da, %5,6'sı Kuzey Amerika'da, %4,2'si Orta ve Güney Amerika'da ve %1,5'i ise Avrupa'da bulunmaktadır (Şekil 3.1). Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü (OECD) ülkelerinin doğal gaz rezerv kapasitesi ise 17,8 trilyon m<sup>3</sup> olup, toplam kapasitenin %9,2'sini oluşturmaktadır [1].



Şekil 3.1 2017 Yılı Dünya İspatlanmış Doğal Gaz Rezervleri Dağılımı [1]

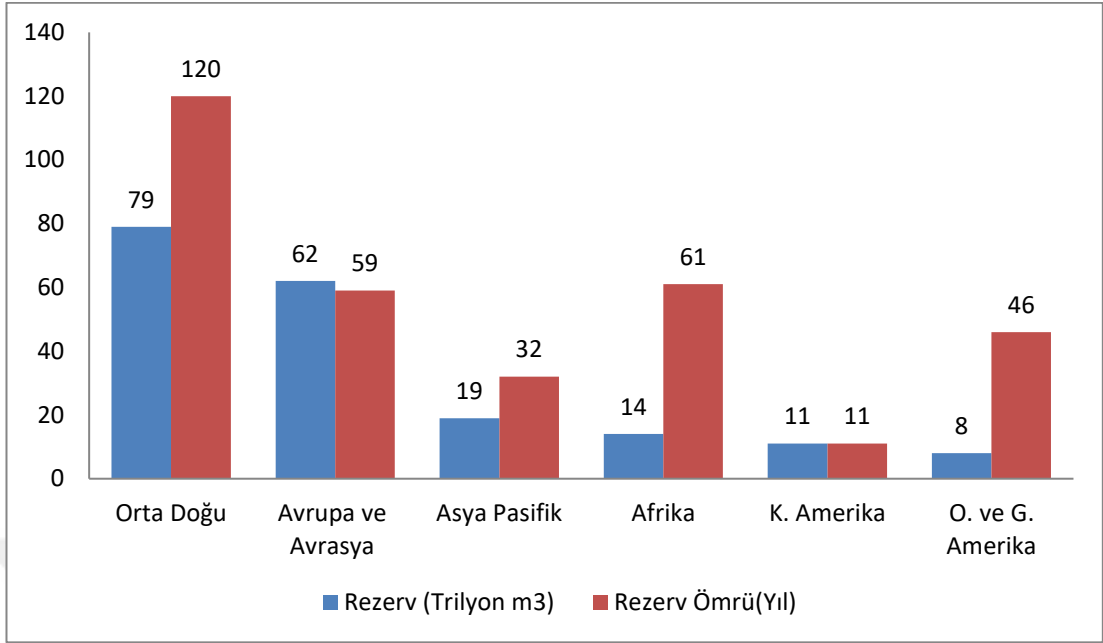
Genel olarak, doğal gaz keşif büyüklüklerinde gözle görünür bir azalma dikkat çekmektedir. PWC verilerine göre 1950’den sonra yapılan çalışmalarda tespit edilen en düşük keşif değeri 2017 yılında olmuştur. 2016 yılında olduğu gibi yine 2017 yılında da keşfedilen doğal gaz hacminin petrole kıyasla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. 2017 yılı itibariyle, en fazla kaynağa sahip olan on ülke arasındaki sıralama, yapılan keşifler neticesinde yine değişmemiştir.



Şekil 3.2. 2017 Yılı En Fazla Doğal Gaz Kaynağına Sahip İlk 10 Ülke [1].

### 3.2. Dünya Üzerinde Bulunan Doğal Gaz Kaynaklarının Ömrü

2017 yılı için, mevcut doğal gaz rezervi (193,5 trilyon m<sup>3</sup>) şu anki üretim kapasitesine (3,68 trilyon m<sup>3</sup>) bölüldüğünde, küresel rezerv ömrünün 52,6 yıl daha sürebileceği öngörülmektedir (Şekil 3.3.). Dünya rezervinin bölgelere göre dağılımı analiz edildiğinde, birinci sırada Orta Doğu yer alırken; ikinci sırada Avrupa ve Avrasya, son olarak da Asya Pasifik ülkeleri üçüncü sırada yer almaktadır.



**Şekil 3.3.** 2017 Yılı Bölgelere Göre Doğal Gaz Rezervi ve Rezerv Ömrü [1].

Genel olarak tanımlanan 52,6 yıllık “doğal gaz rezerv ömrü” ifadesinde, bahsedilen “rezerv ömrü” bugün için ispatlanmış olan kapasitenin, günümüz teknolojisinin sahip olduğu konvansiyonel tekniklerle mevcut en ekonomik yöntemlerle belirlenen bir ömürdür. Devam etmekte olan keşif çalışmalarıyla birlikte yeni rezervlerin devreye girmesi, teknolojik gelişmeler sayesinde daha verimli olarak üretilebilecek mevcut kaynakların devreye alınması ile tespit edilen bu ömrün arz talep dengesine de bağlı olarak değişebileceği düşünülmektedir.

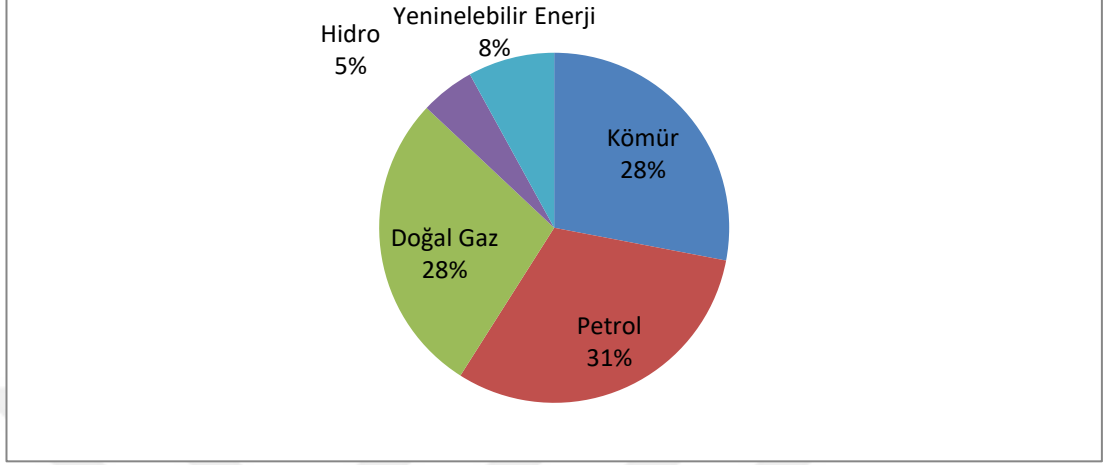
### 3.3. Türkiye’nin Enerji Potansiyeli ve Doğal Gaz Piyasası

Türkiye; Ortadoğu, Hazar Bölgesi, Rusya ve Orta Asya gibi kanıtlanmış petrol ve doğal gaz kaynakları bakımından zengin bölgeler ile başta AB ülkeleri olmak üzere, petrol ve doğal gaz ithalatı yüksek olan ülkeler arasındaki coğrafi konumuyla, enerji kaynaklarının arz ve talep edilen bölgeler arasında transferinde jeostratejik ve jeopolitik öneme sahiptir. Özellikle Azerbaycan doğal gazını Ülkemiz üzerinden Avrupa’ya taşıyacak Trans Anadolu Doğalgaz Boru Hattı (TANAP) Projesi, Türkiye’nin stratejik anlamda daha da ön plana çıkmasını sağlamıştır.

Türkiye gelişen ekonomisi ve artan nüfus potansiyeli gereği dünyanın önemli enerji tüketimi olan ülkeler arasında yer almaktadır. 2016 yılında, Türkiye’nin 136,2 milyon

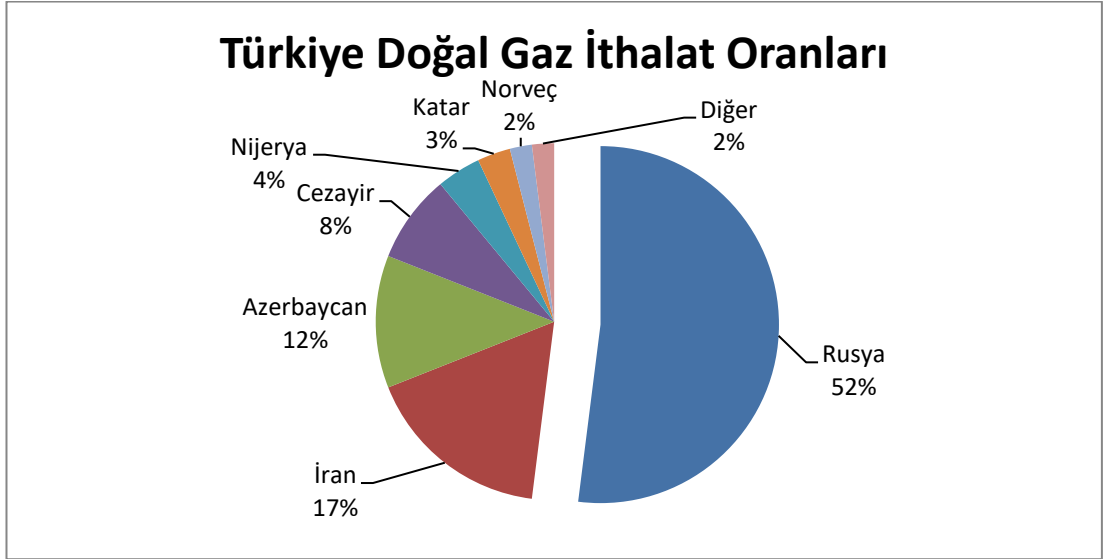


ton petrol eşdeğeri (tpe) olan birincil enerji talebinde petrol %31 ile birinci sırada yer alırken, %28 oranlar ile doğalgaz ve kömür, petrolü takip etmiştir.



**Şekil 3.4.** 2016 Yılı Türkiye Birincil Enerji Talebi [4].

Doğal gaz tüketiminde dışa bağımlılık oranı, petrole göre daha yüksek olup, Türkiye doğal gaz ihtiyacının %99,3'ü yurt dışından temin etmektedir. Ülkemizde, 2017 yılında yaklaşık 55 milyar m<sup>3</sup> doğal gaz kullanılmış ve bu rakamın %0,7'si (354 milyon m<sup>3</sup>) yerli üretim ile karşılanmıştır. 2017 yılında Türkiye doğal gaz ithalatında Rusya %52'lik oran ile ilk sırada yer almaktadır. Rusya'yı, İran (%17), Azerbaycan (%12) ve Cezayir (%8) takip etmektedir (Şekil 3.5.).



**Şekil 3.5.** 2017 Yılı Türkiye'nin İthal Ettiği Doğalgazın Kaynak Ülkelere Göre Dağılımı [5].

## **4. PETROL KAYNAKLARININ SEVKİYATINDA TÜRKİYE’NİN POZİSYONU**

Türkiye, bulunduğu jeostratejik ve jeopolitik konumu gereği, bölgesel petrol ve doğal gaz transferinde aktif rol alarak, gerek ulusal arz güvenliğinin sağlanmasında gerekse de Avrupa başta olmak üzere bölgesel doğal gaz arzında istikrarın sağlanmasına katkı sağlama noktasında büyük bir öneme sahiptir. Bu bağlamda, Ortadoğu, Hazar Bölgesi ve Orta Asya’nın zengin hidrokarbon yatakları ile Avrupa ve dünyadaki tüketici ülkeler arasında güvenli, sürdürülebilir bir enerji merkezi olma yolunda hali hazırda tamamlanmış ve planlanan olmak üzere;

- Bakü-Tiflis-Ceyhan Ham Petrol Boru Hattı (BTC)
- Irak-Türkiye Ham Petrol Boru Hattı (ITB)
- Bakü-Tiflis-Erzurum Doğal Gaz Boru Hattı (BTE)
- Samsun-Ceyhan Ham Petrol Boru Hattı
- Trans-Anadolu Doğal Gaz Boru Hattı (TANAP)
- Türkiye-Yunanistan Enterkonnektörü (ITG)
- Irak-Türkiye Doğal Gaz Boru Hattı
- Türk Akımı Doğal Gaz Boru Hattı

Projeleri bulunmaktadır [3].

### **4.1. Uluslararası Transit Petrol-Doğal Gaz Boru Hatları**

#### **4.1.1. Irak-Türkiye Ham Petrol Boru Hattı**

Irak-Türkiye Ham Petrol Boru Hattı (ITB), 27 Ağustos 1973 tarihi itibarıyla, Türkiye Cumhuriyeti ve Irak Cumhuriyeti Hükümetleri arasında Ham Petrol Boru Hattı Anlaşmasına yapılmıştır. Irak’ın Kerkük ve diğer üretim bölgelerindeki petrolün Ceyhan (Yumurtalık) Deniz Terminaline ulaştırılmasını sağlayacak 986 km uzunluğundaki ilk kurulan hat 1976 yılında tamamlanmıştır. Yapım çalışmalarına

1985 yılında başlanan ikinci boru hattı 1987 yılında tamamlanmıştır. Yıllık transfer hacmi 70,9 milyon tona yükseltilmiştir. 19 Eylül 2010 tarihinde Türkiye ile Irak arasında ITB'nin süresi dolan anlaşmalarının 15 yıl daha uzatılmasını amaçlayan Değişiklik Anlaşması imzalanmıştır. 2014 yılı Mayıs ayından itibaren günlük yaklaşık 600 bin varil petrol Ceyhan Terminaline aktarılmaktadır [3].

Yıllık transfer hacmi 70,9 milyon ton/yıl olan ITB, Irak petrolünün İskenderun körfezine ulaştırılması amacıyla tesis edilmiş olup, 40 inç ve 46 inç çapında olan boru hatlarının toplam uzunluğu 1.876 km'dir [6].

#### **4.1.2. Bakü-Tiflis-Ceyhan Ham Petrol Boru Hattı (BTC)**

Bakü-Tiflis-Ceyhan Ham Petrol Boru Hattı (BTC) ile Hazar Bölgesi'nde üretimi yapılacak petrolün güvenli, iktisatlı ve çevreci bir boru hattı sistemi aracılığıyla Azerbaycan ve Gürcistan üzerinden Ceyhan'a ulaşması ve buradan da tankerler vasıtasıyla dünya piyasasına nakli hedeflenmektedir. Toplam uzunluğu 1769 km olan BTC boru hattının 1076 km'lik Türkiye ayağında Anahtar Teslim Müteahhitliği Boru Hatları İle Petrol Taşıma Anonim Şirketi (BOTAŞ) tarafından gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda boru hattının Türkiye kısmı BOTAŞ International Limited (BIL) tarafından işletilmektedir.

Bakü (Azerbaycan), Tiflis (Gürcistan) üzerinden Ceyhan Terminaline ulaşan boru hattının yıllık taşıma hacmi 50 milyon tondur.

2016 yılı sonu itibariyle toplamda yaklaşık 2 Milyar 615 Milyon Varil petrol 3425 tanker kullanılarak dünya pazarlarına ulaştırılmıştır. Azerbaycan'daki üretimin durumuna göre BTC hattında zaman zaman Türkmen ve Kazak petroleri de transfer edilmektedir [5].

Boru hattının bazı teknik özellikleri:

- Boru hattı uzunluğu toplamda 1769 km'dir.
- Boru hattının çapı 42 inçtir.
- BTC'nin üretim kapasitesi yaklaşık günde 1,2 milyon varildir.

- BTC boru hattı tesisleri arasında sekiz pompa istasyonu (iki tanesi Azerbaycan'da, ikisi Gürcistan'da, dördü Türkiye'de), bir basınç düşürme istasyonu, iki ara pigging istasyonu, 101 blok vana bulunmaktadır
- BTC, 1.500 nehir ve 13 sismik olarak aktif fay geçişinden geçmekte ve Ceyhan'da deniz seviyesine dönmeden önce yüksek bir 2,800 metreye tırmanmaktadır.
- Kullanılan boru API 5L X 65 standardıdır [7].

#### **4.1.3. Trans Anadolu Doğal Gaz Boru Hattı Projesi (TANAP)**

İnşa edilecek bir boru hattı ile Yıllık 10 milyar m<sup>3</sup> Azeri gazının Türkiye üzerinden Avrupa'ya transit taşınması için 26 Haziran 2012 tarihinde Trans Anadolu Doğal Gaz Boru Hattı (TANAP) Projesi Azerbaycan ile Türkiye arasında bir anlaşma imzalanmıştır. Bu anlaşmalar neticesinde TANAP'ın hayata geçirilmesini imkân sağlayacak hukuki altyapısı oluşturulmuştur. Toplam yatırım bedeli 45 milyar Amerikan Doları, Şah Deniz Faz II, Güney Kafkasya Boru Hattı Genişleme Projesi (SCPX), TANAP ve Trans Adriyatik Doğal Gaz Boru Hattı(TAP)'ın nihai yatırım kararları Aralık 2013'te Bakü'de düzenlenen bir törenle alınmıştır. Ülkemiz, Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO) vasıtasıyla Şah Deniz Faz II ile SCPX Projesinde %19 ve BOTAS vasıtasıyla TANAP Projesinde %30 hisseye sahiptir. Bu sayede Ülkemiz doğal gazın üretiminden son kullanıcıya sorunsuz ve en uygun şartlarda sunulmasına kadar olan süreçlerin bütününde aktif rol almaktadır.

TANAP Projesi ile yıllık 32 milyar m<sup>3</sup> kapasiteye sahip, Gürcistan sınırımızı Yunanistan sınırımıza bağlayacak 1.850 km uzunluğunda bir boru hattı inşası planlanmaktadır. Projeye ilişkin faaliyetler BOTAS'ın % 30, State Oil Company of Azerbaijan Republic (SOCAR)'ın % 58 ve British Petrol (BP)'nin % 12 hisse ile ortak olduğu TANAP Doğal Gaz İletim A.Ş. tarafından sürdürülmektedir. TANAP Projesinde 2018 yılında Eskişehir ve Trakya'da belirlenen çıkış noktaları üzerinden Türkiye'ye ve 2020 yılında ise Avrupa'ya gaz arzının sağlanması hedeflenmektedir.

Projenin mühendislik, inşaat ve tedarik çalışmaları kapsamında Türk yüklenicilerin ve tedarikçilerinin projeye katkı sağlaması için azami gayret gösterilmiş ve hat borularının %80'inin Türk üreticilerden karşılanmıştır.

Mühendislik çalışmaları kapsamında; Boru hattına ilişkin detay mühendislik çalışmaları tamamlanarak istasyonların (kompresör ve ölçüm istasyonları) detay mühendisliği ise % 98,77 oranında kontrolleri sağlanmıştır.

2016 sonu itibarıyla 1560 km pist açımı, 1412 km boru dizgisi ve 1316 km ana hat boru kaynağı gerçekleştirilmiştir. Proje genelinde inşaatın yaklaşık % 62'lik kısmı tamamlanmış olup, halen her üç Lot'ta da pist açımı, boruların hat güzergâhı üzerine dizgi, kaynak, kaplama ve hendeğe indirme faaliyetlerine devam edilmektedir [5].

Azerbaycan'daki Şah Deniz-2 Sahası'ndan çıkarılacak doğalgazı Türkiye'ye ve Türkiye üzerinden de Avrupa'ya taşıyacak olan TANAP, lojistik şirketleri için hem taşıma büyüklüğü hem stratejik önemi, hem de kalite standartları ve güvenlik şartları ile referans niteliğinde. Lojistik operasyonlarda, emniyet ve çevrenin korunmasının en üst sıraya yerleştirildiği proje için 2015'te 440.500 tonluk taşıma gerçekleştirildi.

Avrupa ve küresel enerji jeopolitiği açısından stratejik önem taşıyan Güney Gaz Koridoru'nun önemli bir halkası olan Trans Anadolu Doğal Gaz Boru Hattı Projesi (TANAP) ile Azerbaycan'ın Hazar Denizi'ndeki Şah Deniz-2 Gaz Sahası ve Hazar Denizi'nin güneyindeki diğer sahalarda üretilen doğalgazın öncelikle Türkiye'ye, ardından Avrupa'ya taşınması amaçlanıyor. Yaklaşık bin 800 km uzunluğundaki TANAP, Türkiye'ye Ardahan ili Posof ilçesinden giriş yaparak Edirne İpsala'ya kadar uzanarak 20 il ve 67 ilçeden geçecek (Şekil 4.1.).



Şekil 4.1. TANAP Türkiye Boru Hattı Geçiş Güzergâhı [5,9]

TANAP'ta kullanılan boru hattında yaklaşık 1 milyon 280 bin ton ağırlığında toplam 160 bin adet yüksek dayançlı API 5L X70 tipi çelik boru ve bağlantı ekipmanları kullanılmaktadır. Ülkemizde şimdiye kadar inşaa edilen çap ve uzunluk olarak en büyük boru hattı projesi olma özelliğini taşımaktadır. Hem taşıma kapasitesi hem jeostratejik önemi hem de kalite standartları ve güvenlik şartları ile örnek teşkil etmektedir. [9].

#### **4.1.4. Türkiye-Bulgaristan Enterkonnektörü Projesi (ITB)**

ITB Projesi, Türkiye ve Bulgaristan doğal gaz iletim hatlarının iki yönlü akışa imkân sağlayacak şekilde bağlantısının sağlanmasıyla bütünleşmenin artırılması hedeflemektedir. ITB Projesi, Güney Gaz Koridoru projeleri arasında yer almakta ve Avrupa Komisyonu tarafından ortak menfaat projeleri (projects of common interest) kapsamında değerlendirilmektedir. Proje, AB'nin 994/2010 sayılı Direktifi kapsamında üye ülkelere getirilen düzenleme yükümlülükleri açısından (üye ülkelerin komşu ülkeler ile gaz bağlantılarının çift yönlü hayata geçirilmesi ve N-1 kuralı gibi Bulgaristan için özellikle önem arz etmektedir.

Proje kapsamında, iki ülke Bakanlıkları arasında 28 Mart 2014 tarihinde bir Mutabakat Zaptı imzalanmıştır. Söz konusu Mutabakat Zaptına istinaden bir ön fizibilite raporu ve yol haritası hazırlanması amacıyla Ortak Çalışma Grubu oluşturulmuştur. Ortak Çalışma Grubu'nun ilk toplantısı 20 Mayıs 2014 tarihinde İstanbul'da, ikinci toplantısı 21 Ağustos 2014 tarihinde Sofya'da, son toplantı ise 16-17 Ekim 2014 tarihlerinde Ankara'da gerçekleştirilmiştir [5].

Avrupa Komisyonu tarafından projenin Bulgaristan kesimi kapsamında gerçekleştirilecek olan fizibilite, temel mühendislik ve ÇED çalışmaları için 190.000 Avro tutarında finansal destek ayrılmıştır [10].

#### **4.1.5. Türkiye-Yunanistan Doğal Gaz Boru Hattı (ITG)**

Avrupa Birliği Interstate Oil and Gas Transport to Europe (INOGATE) Programı kapsamında geliştirilen Güney Avrupa Gaz Ringi'nin ilk aşaması olarak Türkiye ve Yunanistan doğal gaz şebekelerinin enterkoneksiyonunu içeren Türkiye Cumhuriyeti'nden Yunanistan Cumhuriyeti'ne doğal gaz arzına ilişkin

Hükümetlerarası Anlaşma 23 Şubat 2003 tarihinde imzalanmıştır. 18 Kasım 2007 tarihinde itibariyle Türkiye'den Yunanistan'a gaz transferi devam etmektedir [5]. Bu hattı İtalya'ya bağlayacak olan Adriyatik geçişli hattın hayata geçirilmesi için çalışmalar devam etmektedir. Bunun ötesinde benzer kapsamda geliştirilmekte olan Trans-Adriyatik projesi (TAP) ile Balkan ülkeleri güzergâhı üzerinden İtalya'ya Türkiye üzerinden gaz sevkiyatı planlanmaktadır [11].

#### **4.1.6. Rusya-Türkiye-Avrupa Doğal Gaz Boru Hattı Projesi (Türk Akımı)**

Rusya ile TürkAkım Gaz Boru Hattı Projesine yönelik görüşmeler gerçekleştirilmiş ve projeye yönelik siyasi desteği sağlamak, teknik, ekonomik ve hukuki çerçeveyi belirlemek amacıyla Türkiye Cumhuriyeti Hükümeti ile Rusya Federasyonu Hükümeti arasında TürkAkım Gaz Boru Hattı'na ilişkin Hükümetlerarası Anlaşma 10 Ekim 2016 tarihinde İstanbul'da imzalanmıştır.

Türk Akım Gaz Boru Hattı Projesi; Rusya Federasyonu'ndan başlayarak Karadeniz üzerinden Türkiye'nin Karadeniz kıyısındaki alım terminaline ve devamında Ülkemiz toprakları üzerinden komşu devletlere olan sınırlarımıza kadar uzanan her biri yıllık 15,75 milyar metreküp kapasiteye sahip iki hattın oluşan doğal gaz boru hattı sistemidir.

Türk Akımı Projesi, Rusya Federasyonu'ndan Ülkemize doğal gaz transferinin yanı sıra bu kaynağın Ülkemiz üzerinden Avrupa'ya nakli amaçlanmaktadır. Deniz ve kara bölümünden oluşan boru hattı sistemidir. Deniz tarafında kalan iki hattın yapımı ve işletmesi Rusya Federasyonu tarafından tesis edilecektir. Kara bölümünde yer alan hatlardan biri sadece Türkiye'ye doğal gaz naklinde kullanılacak olup, doğal gaz iletim sistemlerimizin bir ayağı olarak BOTAŞ tarafından inşa edilecektir (Şekil 4.2.). Kara bölümündeki diğer hat ise Avrupa'ya gaz naklinde kullanılacaktır. Yapım ve işletim iki ülkenin şirketleri tarafından kurulacak yeni bir şirket tarafından yapılacaktır. Türk Akım kapsamında inşa edilecek boru hatlarından birisinin sadece Ülkemize gaz transferinde kullanılması öngörülmektedir. Boru hattı sisteminin devreye alınması ile birlikte Batı Hattı'ndan sağlanan yıllık toplam 14 milyar m<sup>3</sup> doğal gazın, mevcut anlaşmaların koşulları değiştirilmeden Türk Akımı Projesi üzerinden Ülkemize nakli planlanmaktadır. Böylece başka bir ülkenin iletim hattını kullanma ihtiyacı olmadan

direkt Rusya'dan Ülkemize nakledilecek gazın, üçüncü taraflardan kaynaklı olumsuzluklardan etkilenmeyecek bir sistem sağlanmış olacaktır.



Şekil 4.2. Rusya-Türkiye-Avrupa Doğal Gaz Boru Hattı Projesi(Türk-Akım) [12]

Projenin hayata geçirilmesi sürecine ilişkin olarak kamu kurum/kuruluşlarının katılımları ile toplantılar düzenlenmektedir. Proje takvimine göre, hâlihazırda Ülkemizin münhasır ekonomik bölgesi ve karasularında teknik çalışmalar sürdürülmektedir. [5,12].

#### **4.1.7. Trans Adriyatik Doğal Gaz Boru Hattı (TAP) Projesi**

Şah Deniz Konsorsiyumu (SDC) 28 Haziran 2013 tarihinde TAP projesi yoluyla Avrupa'ya güzergah olarak Avrupa'nın güneyinden ulaşılacağını duyurmuştur. TAP Projesi'nin Temel Atma Töreni 17 Mayıs 2016 tarihinde Selanik'te gerçekleştirilmiştir. TAP'a ilk gaz naklinin 2019-20 yıllarında yapılması öngörülmektedir. Projenin diğer ayağı TANAP'ın doğal gazı Avrupa'ya taşıyacak 48 inç çap ve 459 km uzunluktaki Eskişehir-İpsala kısmının inşası devam etmektedir [5].

TANAP'la başarıyla birleştirilen TAP projesi sayesinde Hazar Denizi'nden çıkartılan doğal gaz Yunanistan, Arnavutluk ve Adriyatik Denizi üzerinden İtalya'ya ulaşması sağlanacaktır (Şekil 4.3.). 550 km Yunanistan'dan, 215 km Arnavutluk'tan, 105 km Adriyatik Denizi'nden ve 8 km İtalya'dan geçecek ve toplam uzunluğu 878 km olan TAP, TANAP ve Güney Kafkasya Doğal Gaz Boru Hattı (SCP) ile Güney Gaz Koridoru'nu oluşturmuş olacaktır [13].





Şekil 4.3.TAP ve TANAP Boru Hatlarının Birleşimi [13]

## 4.2. Ülkemize Doğal Gaz Arzı Sağlayan Uluslararası Hatlar

### 4.2.1. Rusya – Türkiye Doğal Gaz Boru Hattı (Batı Hattı)

18 Eylül 1984 tarihinde, Türkiye Cumhuriyeti ve Eski Sovyetler Birliği hükümetleri arasında doğal gaz sevkiyatı konusunda Hükümetlerarası Anlaşma imzalanmıştır. Ülkemize Bulgaristan sınırındaki Malkoçlar'dan giren, Hamitabat, Ambarlı, İstanbul, İzmit, Bursa, Eskişehir güzergâhını takip ederek Ankara'ya ulaşan hat 845 km uzunluğundadır.

1987 yılından itibaren, giderek artan oranlarda doğal gaz alımına başlanmış olup, 1993 yılında en yüksek miktar olan yılda 6 milyar m<sup>3</sup>'e ulaşılmıştır. Mevcut sisteme ek olarak yapılan geliştirmeler sayesinde hattın kapasitesi 14 milyar m<sup>3</sup>/yıla yükseltilmiştir. Hâlihazırda Batı Hattı vesilesiyle Ülkemize yıllık yaklaşık 4 milyar m<sup>3</sup> BOTAŞ tarafından, yıllık 10 milyar m<sup>3</sup> özel sektör tarafından olmak üzere toplamda 14 milyar m<sup>3</sup> doğal gaz ithal edilmektedir.

### 4.2.2. İran – Türkiye- Avrupa Doğal Gaz Boru Hattı (İTE)

Öncelikli İran ve sonrasında Ülkemizin doğusundaki rezervlerden sağlanacak doğal gazın İran-Türkiye-Avrupa Doğal Gaz Boru Hattı (İTE) Projesi ile Türkiye'ye nakli hedeflenmiştir. Bu bağlamda, 8 Ağustos 1996 tarihinde İran Ulusal Gaz Şirketi (NIGC) ile BOTAŞ arasında plato dönemde 9,6 milyar m<sup>3</sup> doğal gaz ithalatına ilişkin Doğal Gaz Ticaret Anlaşması imzalanmıştır. Boru hattı 1.491 km uzunluğunda ve 48 inç ila 16 inç arasında boru çaplarına sahiptir. Doğu Anadolu Doğal Gaz Ana İletim Hattı Doğubayazıt'tan başlayarak, Erzurum, Sivas ve Kayseri üzerinden Ankara'ya

uzanmaktadır. Hattın bir kolu da Kayseri, Konya üzerinden Seydişehir'e yönelir (Şekil 4.4.).

2001 yılı sonu itibarıyla tüm boru hattı gaz sevkiyatına hazır duruma gelmiş, İran Bazargan'daki ölçüm istasyonunun inşası sonrasında 10 Aralık 2001 tarihinde İran'dan gaz alımına başlanmıştır [13].



Şekil 4.4. İran – Türkiye- Avrupa Doğal Gaz Boru Hattı ve Teknik Özellikleri [13]

#### 4.2.3. Rusya – Türkiye Doğal Gaz Boru Hattı (Mavi Akım)

15 Aralık 1997 tarihinde BOTAS ve Gazexport arasında imzalanan plato dönemde 16 milyar m<sup>3</sup>/yıl doğal gaz alımına ilişkin Doğal Gaz Ticaret protokolü imzalanmıştır. Bu kapsamda, doğal gaz Rusya'dan Karadeniz üzerinden geçen hat ile Türkiye'ye ulaşmaktadır. Rusya-Karadeniz-Türkiye Doğal Gaz Boru Hattı; Rusya topraklarında, İzobilnoye-Djubga arasında 56 inç çapında 308 km ve 48 inç çapında 62 km olmak üzere toplam 370 km uzunluğundaki Boru Hattı Sistemidir. Karadeniz geçişinde, Djubga-Samsun arasında her biri yaklaşık 390 km uzunluğunda 24 inç çapında paralel 2 hat, Türkiye topraklarında Samsun-Ankara arasında 48 inç çapında ve 501 km uzunluğundaki boru hattı sistemi olmak üzere üç ana kısımdan oluşmaktadır (Şekil 4.5.).



**Şekil 4.5.** Rusya-Türkiye Doğal Gaz Boru Hattı (MaviAkım ve TürkAkım) [5]

Mavi Akım Boru Hattı, 20 Şubat 2003 tarihi itibariyle işletmeye alınmış, 17 Kasım 2005 tarihiyle birlikte resmi açılış töreni yapılarak hayata geçirilmiştir [5].

Samsun-Ankara arasında 500 km 48 inç çapında (API 5L GrX65) doğalgaz boru hattı projesinde Rus doğal gazının Karadeniz ve Türk dağıtım hatları yoluyla Akdeniz'e ulaşması sağlanmıştır [14].

#### **4.2.4. Bakü-Tiflis-Erzurum Doğal Gaz Boru Hattı (BTE)**

Bakü-Tiflis-Erzurum Doğal Gaz Boru Hattı (BTE), Azerbaycan'ın Hazar Denizi'nde bulunan Şah Deniz sahasından üretilen gazı Türkiye'ye sevkenden, 690 km uzunluğunda ve yaklaşık 20 milyar m<sup>3</sup> hacme sahip bir boru hattı sistemidir.

Azerbaycan'dan gaz tedarikine ilişkin yapılan görüşmeler neticesinde 12 Mart 2001 tarihi itibariyle, Azerbaycan doğal gazının Türkiye'ye sevkine ilişkin Türkiye ile Azerbaycan arasında bir Hükümetlerarası protokol anlaşması imzalanmıştır. BOTAŞ ile SOCAR arasında 6,6 milyar m<sup>3</sup> doğal gazın teminine yönelik doğal gaz ticaret anlaşması imzalanmıştır.

Boru hattı, 2005-2007 yılları arasında inşa edilmiş olup, 2007 yılının Temmuz ayının ortasından bu yana faaliyettir. Şah Deniz sahasının ikinci faz üretimine paralel olarak BTE'nin Azerbaycan ve Gürcistan topraklarındaki kısmının (SCP) kapasitesinin artırılarak Türkiye-Gürcistan sınırında TANAP'a entegrasyonu düşünülmektedir. Bu kapsamda 17 Aralık 2013 tarihinde boru hattının Azerbaycan ve Gürcistan topraklarındaki kesiminin (SCP) kapasitesinin artırılması kararlaştırılmasına müteakip 20 Eylül 2014 tarihinde Bakü'de temel atma töreni yapılmıştır [5,14].



Gömülü Derinlik	Boru Çapı	Boru Sınıfı	Toprak Cinsi
1.5m	52 inc	API XL Grade X65	Gevşek ve Orta
Akma Gerilmesi ( $\sigma_1$ )		490 MPa	
Çekme Gerilmesi ( $\sigma_2$ )		531 MPa	
%Uzama ( $\epsilon_2$ )		%4	
Elastik Young Modülü( $E_1$ )		210 GPa	
Akma Gerinmesi ( $\epsilon_1 = \sigma_1 / E_1$ )		0.233%	
Plastik Young Modülü ( $E_1 = (\sigma_2 - \sigma_1) / (\epsilon_2 - \epsilon_1)$ )		1.088 GPa	

Şekil 4.6. Fay Kesişimlerinde Boru ve Toprak Özellikleri [14]

## 5. DOĞAL GAZ BORU HATLARINDA KULLANILAN API X SERİSİ ÇELİKLERİN GENEL ÖZELLİLERİ

Sıvı ve gaz akışının daha hızlı ve emniyetli sağlanabilmesi için yüksek basınç altında çalışması gerektiğinden doğal gaz ve petrol boru hatlarının inşasında basınç değerine bağlı olarak API standartlarında X(52,65,70,80,100,120) çelikler kullanılmaktadır. API X çelikleri akma dayanımına göre sınıflandırılmaktadır.

Tablo 5.1.'de de görüleceği üzere X sınıfı çelikler standart değeri arttıkça mekanik değerleri (akma ve çekme dayanımları) artmaktadır. İyileşen mekanik özellikler sayesinde daha ince cidar kalınlığına sahip borular imal edilebilmiştir. İncelen boru kalınlığıyla birlikte daha az çelik ve daha az kaynak malzemesi ile aynı iş yapılmasına olanak sağlamıştır. Bu sayede kaynaklama süresi azaldığı için imalat süresi hızlanmıştır. En önemli sonuç ise et kalınlığı azaldığı için imalat maliyetleri azalmıştır. Kullanılan çeliğin standardı yükseldikçe basınç değerleri yükselecek ve daha güçlü, güvenli ve ekonomik enerji transferleri yapılmasına olanak sağlamış olacaktır [16].

**Tablo 5.1.** X Serisi Çeliklerinin Akma ve Çekme Dayanımları [16]

Sınıf	Min. Akma Dayanımı (YS)		Min. Çekme Dayanımı (TS)	
	lb/in <sup>2</sup>	MPa	lb/in <sup>2</sup>	MPa
X42	42,000	289	60,000	413
X46	46,000	317	63,000	434
X52	52,000	358	66,000	455
X56	56,000	386	71,000	489
X60	60,000	413	75,000	517
X60	65,000	448	77,000	530
X70	70,000	482	82,000	565
X80	80,000	551	90,000	620

**Tablo 5.2.** X Serisi Çeliklerin Genel Kimyasal İçerikleri [17]

Çelik Türü				
Element	X52	X65	X70	X80
C	0,2	0,05	0,083	0,072
Si	0,55	0,18	0,228	0,25
Mn	1,6	1,7	1,73	1,81
P	0,02	0,012	0,013	0,0078
S	0,02	0,0015	0,0028	0,001
Al	0,25	0,03	0,049	0,031
Cr	0	0,03	0,031	0,02
Cu	0,25	0,01	0,047	0,009
Mo	0	0	0,002	0,29
N	0,012	0,006	0,0054	0,004
Nb	0	0,057	0,051	0,035
Ni	0	0,02	0,055	0,26
Ti	0	0,002	0,005	0,012
V	0	0,035	0,082	0,003

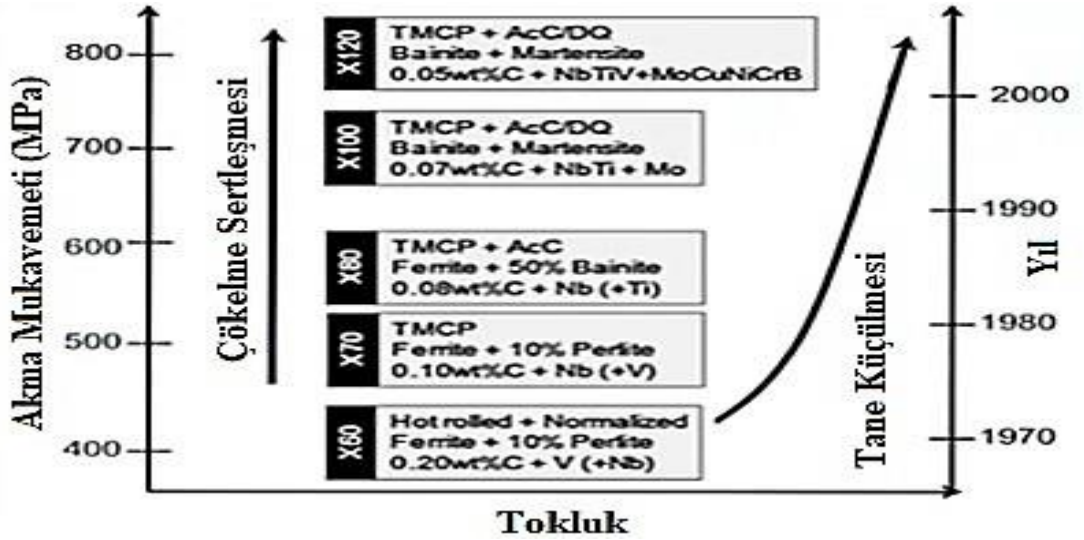
Çeliklere ilave edilen alaşım elementlerinin çeliklerin kaynaklanabilirliğine belirli bir etkisi vardır. Çeliklerin kaynak kabiliyeti Karbon Eşdeğerliği ( $CE_{Pcm}$ ,  $CE_{IIW}$ ) ile ifade edilir. Bu değer ISO 3183:2007 standardına göre yapıdaki karbonun kütle oranına göre iki farklı şekilde hesaplanır [17].

Taşımacılık kapasitesini arttırmak için büyük çaplı boru talebindeki eğilim, günümüzdeki kara enerji endüstrisi tarafından iyi bir şekilde belirlenmiştir. Yeterli tokluk ve süneklik ile birlikte daha yüksek mukavemet sağlama ihtiyacı, zorlu ortamlarda çalışacak performans ve dayanıklılığı hedefleyen yüksek dayanımlı çeliklerin (YDÇ) gelişimini zorunlu hale getirmiştir. Yüksek basınç amaçlı bu yeni çelik sınıfları (12 ila 20 MPa arası), yüksek dayanımlı düşük alaşım (YDDA) çeliklerin gelişmiş bir çeşidi olarak görülebilir. YDDA

çelikleri tipik olarak Nb, V, Ti ve Mo gibi çok düşük karbon içeriği ve az miktarda alaşım elementi (mikroalyaj) içerir. [18-21].

Amerikan Petrol Enstitüsü (API) 5L X70 ve üzeri gibi yüksek mukavemetli çelikler, yüksek oranda ince tane büyüklüğüne sahiptir. Düşük kükürt içeriği, oksitler, inklüzyonlar ve perlit gibi düşük miktarda ikinci fazlar ile karakterize edilirler. Şekil 5.1. yüksek dayanımlı hat borusu çelik kalitelerinin, son on yıllardaki mukavemet ve tokluk açısından sürekli gelişimini ve uygulanan ana alaşım elementlerinin ve işlemlerin kısa bir tanımını göstermektedir. [21-23].

Halen kullanılan yüksek dayanımlı çeliklerin mekanik özelliklerinin gelişmesinde belirleyici faktör, karmaşık termomekanik kontrollü işleme (TMCP) yollarına ve ardından hızlandırılmış soğutma (AcC) 'ya dayanmaktadır. Bu yöntemle haddehane, sadece nihai ürün şeklini elde etmekle kalmayıp, aynı zamanda, tane inceltilecek daha mukavemetli mikro alaşımlı çelikler üretmek, düşük karbon içeriği sayesinde mükemmel kaynaklanabilirlik kabiliyetine sahip metalürjik çelikler haline gelmiştir. [18-19].



Şekil 5.1 YDDA Boru Hattı Çeliklerinin Evrimi [18]

### 5.1.Gerinme Kuvvetine Karşı Tasarlanan Boru Çelikleri

Boru hattı montaj koşullarının yanı sıra olumsuz ortamlar, nakil boru hatlarını plastik deformasyonlara (gerinimlere) maruz bırakabilir. Genelleşmiş gerilime dayalı

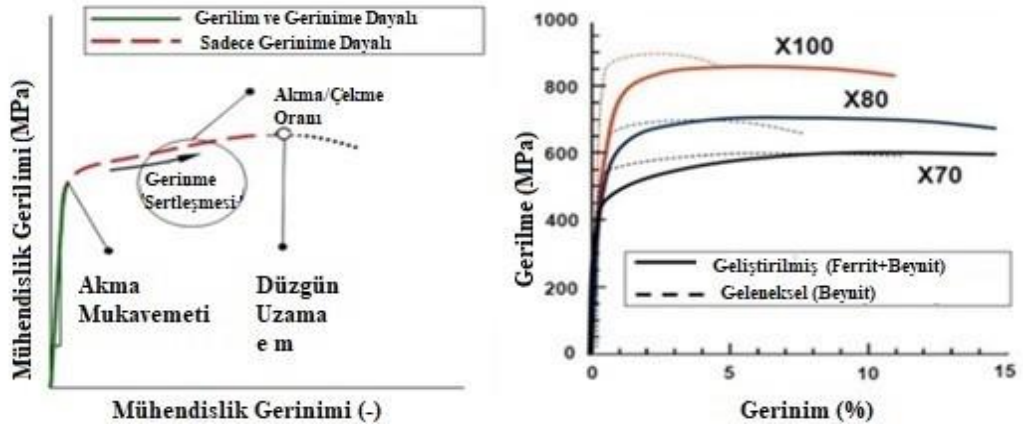
tasarımın boru hattı bütünlüğü değerlendirmesi için yetersiz bir temel olduğu durumlarda, gerinim temelli tasarım (SBD) konseptleri dikkate alınmalıdır. Yüklenen gerilme gerinimleri kapsamı, esas olarak sismik faaliyet ve permafrost (donmuş toprak) etkilerinden kaynaklanan gerilmeler olarak nicel olarak ifade edilir. [18, 20,24].

Boru hattının bütünlüğünü sağlamak için izin verilen maksimum toplam yükü tespit etmek önemlidir. Bu öngörülen gerilme kapasitesi, olumsuz ortamların sebep olduğu plastik deformasyona karşı koymak için uygulanan gerilme değerinden daha büyük olmak zorundadır [20]. Sonuç olarak, boru gerilme kapasitesinin daha iyi anlaşılması tartışılması gereken temel bir husustur. Yüksek dayanımlı boru çelikleri, iki aşamalı gerilme sertleşmesi sergileyen geniş metal kategorisine aittir ("double-n" davranışı olarak da adlandırılır) [25]. Gerilme-gerinme davranışının hat borusu çeliklerinin tokluk özelliklerinin doğru bir şekilde tanımlanması ve belirlenmesinde ve gerginlik bazlı bir değerlendirme yapılmasında kilit bir noktadır. [18, 24].

Yüksel dayanımlı boru çelikleri, plastik deformasyona karşı koyabilmek için daha iyi mekanik özellikler ve daha büyük gerilmelere dayanacak şekilde tasarlanmıştır. Aslında, daha yüksek mukavemetli hat borusu çeliklerinin daha az bir uzama eğilimleri vardır. Bu sebeple deformasyona karşı daha güçlü olma eğilimindedir. Bu açık bir şekilde, olası yüklemelere karşı koyabilecek mekanik özelliklere sahip yüksek mukavemetli boru hatları tercih edilmelidir. Bu nedenle, gerilme kapasitesini arttırmak için, gerinime dayalı tasarım uygulamaları için YDÇ hat borusu çeliklerinin yeterli tokluğa ve yüksek deforme kabiliyetine ve ayrıca yüksek gerilme sertleşmesine sahip olması gerekir, bu da gerilme akma/çekme (Y/T) oranı ve daha yüksek bir verim anlamına gelir.

Şekil 5. 2.'de sol tarafta gösterilen ilk grafikte zorlanma temelli bir değerlendirme olan ana gerilme-gerinme parametrelerini göstermektedir. Laboratuvar ortamında üretilen çift fazlı (DP) çeliklerin gerilme-gerinme eğrileri, endüstriyel ölçekte üretilen "geleneksel" çeliklerle karşılaştırılarak Şekil 5.2.'nin sağ tarafında ki grafikte gösterilmiştir. Tüm "gelişmiş" hat boru çelikleri daha düşük Akma/Çekme oranına, daha yüksek gerinme sertliğine ve daha uzun tekdüze uzamaya sahiptir [26].



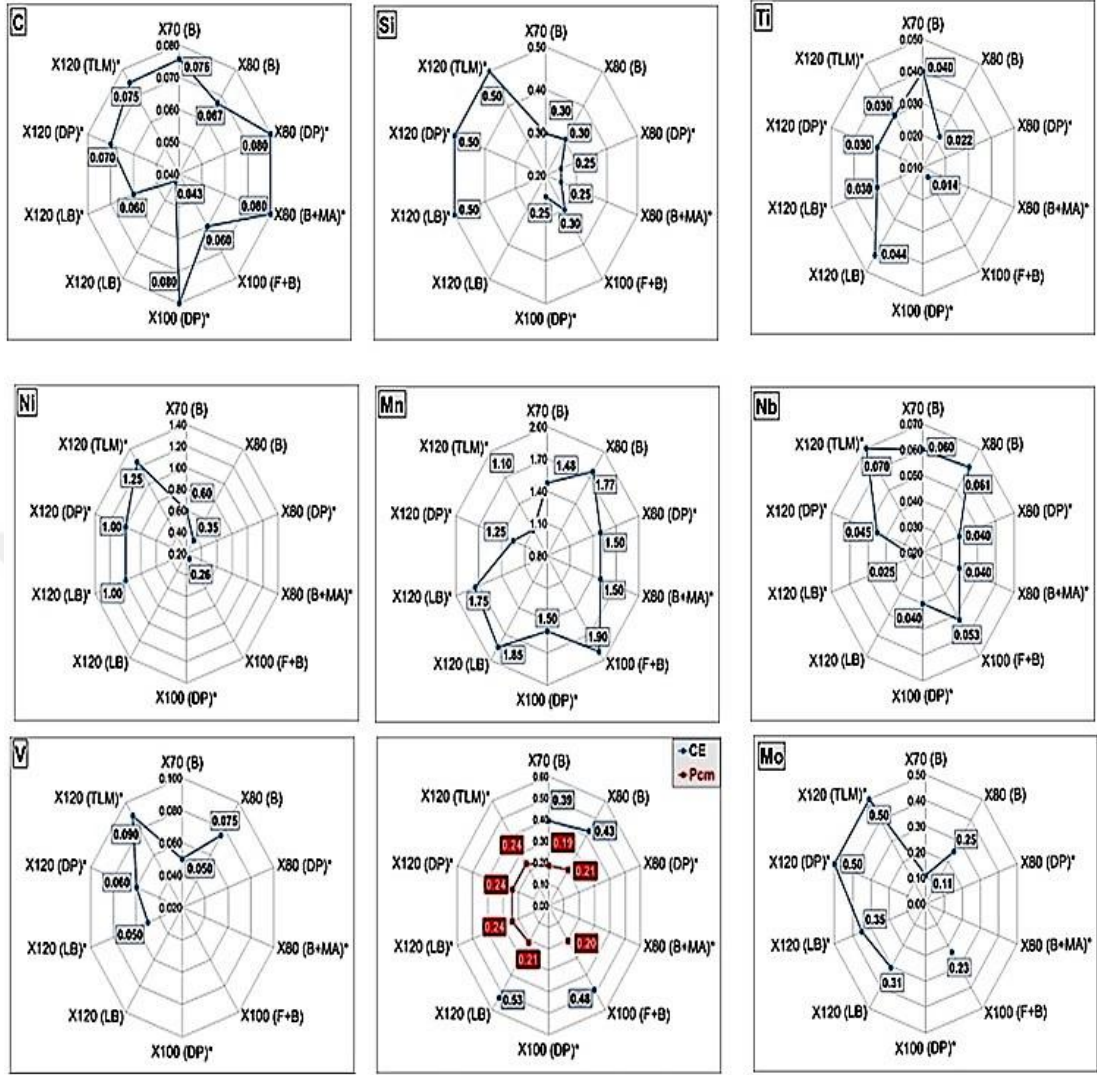


Şekil 5.2. Geliştirilmiş Boru Çeliklerinin Gerilim-Gerinme Parametreleri Ve Gerilme-Gerilme Eğrileri [18, 26].

## 5.2. Boru Hattı Çeliklerinin Metalurjik Karakterizasyonu

### 5.2.1. Kimyasal Kompozisyon

YDÇ çeliklerinin, istenilen mekanik özellik gereksinimlerini karşılamak için et kalınlıkları ve kimyasal içerikleri değişebilir. Genellikle düşük karbon içeriği (ağırlıkça% <0.10 C) ile birlikte ağırlıkça % 2,0'a kadar manganez (Mn) içeriğine ve ayrıca niyobyum (Nb), vanadyum (V), titanyum (Ti), molibden (Mo) ve bor (B) ihtiva etmektedir. Alaşım elementi ilavelerinin ana işlevi, tane küçültme, katı çözelti ve çökeltme sertleşmesi mekanizmalarıyla ferritin güçlendirilmesidir. Çökeltme sertleşmesi alaşım elementi içeriği ile yakından ilgilidir. Tane sayısı; çökeltme sertleşmesi, kimyasal bileşim ve termomekanik kontrollü proses (TMCP) işlemi arasındaki etkileşime bağlıdır. Böylece, soğutma hızı ile birleştirilmiş her bir eleman, belirli koşullar altında işlenen çelikte oluşacak fazların tipini ve hacmini belirleyecektir [21,42]. Şekil 5.3., konvansiyonel ve geliştirilen API hat borusu çeliği (X70'ten X120'ye) için kimyasal bileşimleri gösterilmektedir.[20,22,24,26,28-41]. Aynı şekilde, karbon eşdeğeri (CE) olarak bilinen iyi kaynaklanabilirliği ve kaynak çatlama için kritik metal parametresini (Pcm) tanımlayan parametreleri de gösterir.



F: Ferrit DP: Çift Faz TLM: Temperlenmiş İğne Martenzit B: Beynit LB: Düşük Beynit MA: Martenzit-Östenit

**Şekil 5.3.** Konvansiyonel ve Geliştirilmiş API 5L Çelik Kalitelerinin Kimyasal Bileşimlerine Genel Bakış

X120 (LB) = 0.0010 wt% B; X120 (LB/DP/TLM) = 0.25 wt% Cr.

Çelik dayanımındaki artış, molibden (Mo), silisyum (Si) ve nikel (Ni) gibi alaşım elementlerinin artmasıyla ilişkilidir. Diğer unsurlarla ilgili net bir eğilim yoktur. Ancak, değerleri artan çelik kalitelerinde CE ve Pcm değerleri neredeyse sabit tutulmaktadır.

Alaşım elementleri ayrıca, örneğin, östenitin soğutma sırasında daha ince taneli bir mikro yapıya neden olan ferrit veya perlite dönüşmeye başladığı sıcaklığı azaltmak

gibi, dönüşüm sıcaklıkları üzerinde de etki eder. Tablo 5.3.'te yüksek mukavemetli boru hattı çelikleri için alaşım elementleri düzeyleri gösterilmektedir [18,42,43].

Geçtiğimiz birkaç yıl içinde çelik üreticileri, kaynaklanabilirlikten ödün vermeden artan mukavemet ve tokluk beklentilerini karşılamak için bazı alaşım kombinasyonları denediler [36]:

- V+Mo+Nb: karbürler, nitritler ve karbonitritler oluşturarak ikincil sertleşme oluşturur.
- Ni+Mo: çökeltme sertleşmesi ve sertleşebilirliğin artırılması yoluyla kontrollü haddeleme sırasında östenit yeniden kristalleşmesini baskılayarak mikroyapı iyileştirir.
- Ni+B: sertleşebilirlik kabiliyetini artırır.
- Mo+Nb+Ti:
  - Nispeten et kalınlığı daha fazla X70 ve X80 çeliklerin mukavemetini artırır.
  - Belirgin derecede daha ince ferrit tane büyüklüğü sağlar.
  - Ti ilavesi Çökeltme sertleşmesini artırır.
- Nb+V: Ferritin tane boyutunun küçülmesi ve hacim oranının artmasıyla birlikte mekanik özellikler iyileşmektedir [61].

Özellikle, B'nin (ağırlıkça% < 0.002) mikro alaşımı, API 5L X120'ye bazı özel katkılara sahiptir. Soğutma sırasında daha yumuşak ferrit ve perlit bileşenlerinin oluşumunu geciktirilir. Güçlendirici bileşenlerin (örneğin beynit veya martensit) oluşturulması teşvik edildiği için sertleşebilme kabiliyetinin gelişir. Düşük CE çelik bileşimlerinin yüksek sac mukavemeti üretmesine ve tane sınır mukavemetini arttırmasını sağlar [43].

**Tablo 5.3.** Boru Hattı Çeliklerinde Alaşım Elementlerinin Ana Etkileri [21,42,43]

Alaşım Elementi (%)	Etkileri ve Sonuçları
C (0.03 - 0.10)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Matris güçlendirilmesi (çökeltmeyle).</li></ul>
Mn (1.6 - 2.0)	<ul style="list-style-type: none"><li>• AcC sırasında östenit ayrışmasını geciktirir;</li><li>• İkame güçlendirme etkisi oluşturur.</li><li>• Sünek ve kırılğan geçiş sıcaklığını azaltır.</li><li>• İnce taneli bir alt beynit mikroyapısı elde etmek için vazgeçilmezdir.</li></ul>
Si (0.6'ya kadar)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Dayanıklılık artışı (katı çözeltili).</li></ul>
Nb (0.03 - 0.06)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Haddelene arasında yeniden kristalleşmenin mümkün olduğu sıcaklık aralığını azaltır</li><li>• Yeniden kristalleşmeyi geciktirir ve östenit tane büyümesini önler (mukavemeti artırır ve tane inceltme ile tokluk).</li></ul>
Ti (0.005 - 0.03)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Östenit taneciklerinin kalınlaşmasını baskılayarak tanelerin artırır. (TiN oluşumu);</li><li>• Ferrit oluşumunu teşvik eder.</li><li>• Serbest Ni bağlar ve Ni'nin sertleşebilirlik üzerindeki zararlı etkisini önler.</li></ul>
Ni (0.2 - 1.0)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Saha kaynaklı kaynak kabiliyetini düşürmeden düşük karbonlu çeliklerin özelliklerini geliştirir ve düşük sıcaklık tokluğu sağlar;</li><li>• Mg ve Mo'nun aksine Ni, daha az sertleşmiş mikroyapı bileşenleri oluşturma eğilimindedir. Plakadaki düşük sıcaklık tokluğunu olumsuz etkiler ve kırılma tokluğunu artırır.</li></ul>
V (0.03 - 0.08)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Temperleme işlemi sırasında kuvvetlendirmeye neden olur;</li><li>• Ferrit oluşumunu teşvik eder.</li></ul>
Mo (0.2 - 0.6)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Sertleşebilirliği artırır ve böylece istenen düşük beynit mikro yapısının oluşumunu destekler.</li></ul>

### 5.2.2. Boru Hattı Çeliklerinin Mikroyapı Özellikleri

Nihai mikroyapı, malzeme özelliklerinin belirlenmesinde anahtar bir değişken olduğundan, çalışma koşullarında güvenli ve optimum performans sağlayacak şekilde özel olarak tasarlanması gerekir [20]. Modern hat borusu çeliklerinin çoğu, kimyasal bileşimlerine ve işleme yollarına (TMCP + AcC) bağlı olarak farklı ve karmaşık mikroyapı düzenlerine sahiptir. Bununla birlikte, endüstriyel “geleneksel” yassı

mamullerde karbon içeriğini azaltma yönünde genel bir eğilim hâkimdir [20, 44]. Bu durumda, mikroyapı temel olarak düşük beynit oranına sahip olmalıdır.

Öte yandan, geliştirilmekte olan yeni boru hattı çelikleri, istenilen mukavemeti, tokluğu ve sünekliği sağlamak için farklı formlardan beynit, martenzit ve ferrit kombinasyonlarından oluşan çeşitli mikroyapılara sahip olabilir. Bu çeliklerin, kimyasal analizinin değişimleri alt beynit ve levha martenzit gibi östenit faz dönüşümlerini etkiler [28].

İki fazlı çeliklerde ise; bir çeliğin iki fazlı olarak sınıflandırmasını sağlayan şeyin çoğunlukla mevcut fazlar arasındaki hacim oranı tespit etmek önemlidir. Mikroyapı yumuşak bir ferrit matrisi içinde % 10-40 oranında sert beynit ve martenzit-östenit parçacıklarından oluşur. Çift faz mikroyapısı; tane büyüklüğü, ferrit ve beynitin miktarı ve dağılımı, beynitin karbon içeriği ve ferritte tutulan östenitin hacimsel içeriği çeliğin mekanik özelliklerini etkileyen önemli özelliklerdendir. Ferritin mikroyapı üzerindeki rolü, olası çatlak yayılmalarını bastırmak için, önceki östenitik taneciklerin kenarlarında ferritin çekirdeklenmesi yoluyla sert tane sınırlarının kırılma direncini artırmaktır [46]. Ferrit fazındaki (DP çeliklerinin), yüksek gerinme kapasitesi uygulamaları için istenen elastikiyet özelliklerini sağlar [39]. Bu tür bir mikroyapı, 'konvansiyonel' yüksek mukavemetli çeliklere göre aşağıdaki avantajlı gerilime dayalı özellikleri gösterebilir:

- Sert faz bileşenlerinin miktarı ve tane büyüklüğü ve bu fazın dağılımı sünek olması durumunu değiştirir.
- Özellikle plastik deformasyonun başlangıcında, düşük akma/çekme oranına ve yüksek zorlanma sertleşme davranışına sahiptir.

Yassı alt beynit-iğnemsiz martenzitin oluşturduğu X80 mikro yapısı yüksek derecede şekil değiştirme kabiliyeti ve daha az et kalınlığı avantajı sunar. Bu mikroyapısal özellik, daha yüksek mukavemet ve tokluk özellikleri elde etmede etkilidir. Alt beynit, Charpy tokluğu üzerindeki zararlı etkileri önlemek için baskın hacimsel orana sahiptir. Ek olarak, karbonun katı çözüldüğü ince şekilde dağılmış karbürlere çökeltilmesi (ikincil güçlendirme) nedeniyle daha yüksek tokluk yeteneği kazandırır. İğnemsiz

martenzitin arayer bölgelerinde tutulan karbon, yüksek katı çözeltili kuvvetlendirmesini teşvik eder [28, 35].

### **5.2.3. Boru Hattı çeliklerinin İşlenmesi**

Daha önce belirtildiği gibi, tane inceltme, yüksek dayanımlı boru çeliklerinde hem dayanıklılığı hem de tokluğu artırabilen en etkili metalurjik mekanizmadır. 1960'larda termo-mekanik kontrollü işlemin (TMCP) geliştirilmesi, çelik üreticileri tarafından sunulan et kalınlığının azaltılmasıyla birlikte düşük maliyetli seçenek haline gelmiştir. TMCP çelikleri, oluşan mikroyapıların kontrolüyle daha yüksek sertleşme kapasitesi ve süneklik elde etmeyi sağlar [18, 21, 43]. Haddemelemeden sonra, tokluk değerlerini iyileştirerek yüksek mukavemet elde etmek için hızlandırılmış soğutma işlemi (AcC) olarak da bilinen özel bir soğutma işlemi gerçekleştirilir [18, 26, 31]. Bununla birlikte, bazı durumlarda yassı mamul ilk önce sıcak haddelenir ve hızlı soğutulur (istenilen mikro-yapısal değişiklikler meydana gelinceye kadar bir sıcaklıkta tutulur) ve daha sonra sırayla soğutma ve temperleme (QT) işlemine gönderilir. Bu QT işlemi, AcC işlemi uygulanmadan beynit-martenzit mikroyapısı üretmek için gerçekleştirilir. Temperleme yaparak martenzitin kırılma dayanımını azaltmak ve sünekliği ve tokluğu artırmak mümkündür [28, 46]. Bu işleme yolları, beynit tek faz, ferrit-beynit çift faz ve düşük beynit-ignemsi martenzit gibi farklı formda mikroyapılar üretilebilir [20, 26, 28].

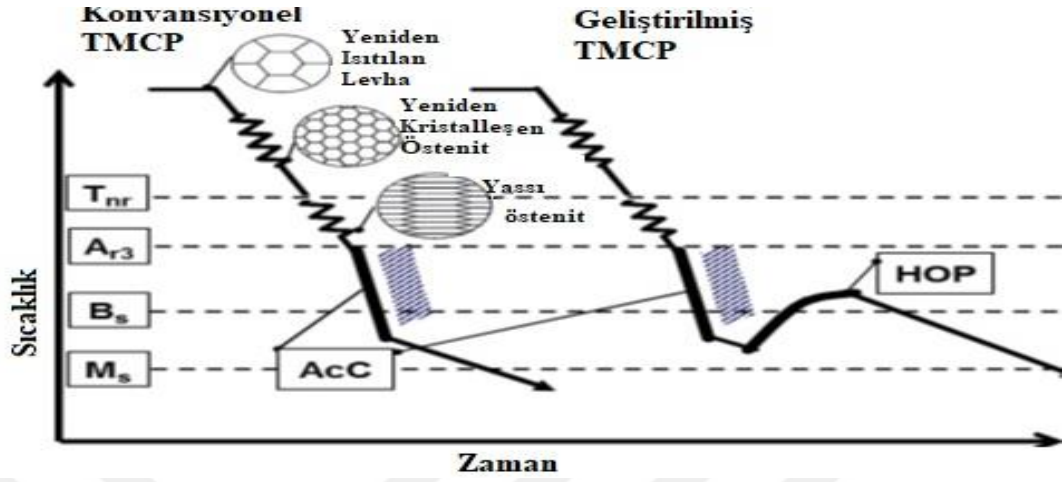
1998'de, yalnızca dönüşümün güçlendirilmesiyle yüksek mukavemet elde etmek için değil aynı zamanda, dönüştürülmüş mikro yapının inceltmesiyle yüksek tokluk elde etmek için azaltılmış alaşım elementleriyle birlikte yeni bir kavramsal TMCP süreci geliştirilmiştir. Mikroyapı beynitik bir matristen ve % 7'nin üzerinde bir hacim oranına sahip ikinci faz olarak ince bir şekilde dağılmış martenzit-östenit bileşeni (MA) içermektedir. Proses, yüksek soğutma hızlarına ulaşmak ve çevrimiçi ısıl işlem (HOP) için 40 mm'ye kadar kalın plakaları ısıtmak ve hızlandırılmış soğutma için induksiyonlu bir ısıtma cihazından oluşur [49]. Bu kombinasyon, "geleneksel" TMCP tarafından gerçekleştirilemeyen yeni bir metalurjik kontrol sürecine ulaşılmasına imkan sağlar.

HOP işleminin uygulanmasının bazı avantajları [26, 49]:

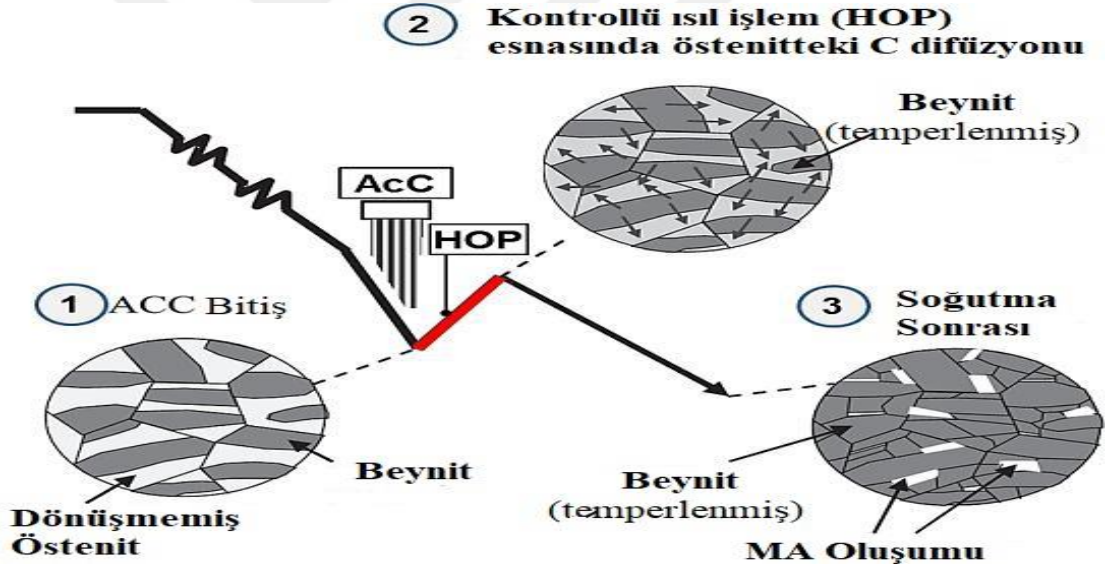
- Dağınık serbest karbon içeriğinin azaltılmasını sağlayarak ince taneli karbür ile çökeltme sertleşmesi oluşturur.
- Dislokasyon yoğunluğunun geri kazanılmasını sağlar.
- Martenzit/östenit yoğunluğunu dengeleyerek şekil değiştirme ve mukavemet özelliklerini artırır.

Şekil 5.4. (a) geleneksel ve geliştirilmiş yöntemlerle yapılan üretim süreçleri ve mikro yapıdaki bazı morfolojik değişiklikler için şematik bir TMCP diyagramını göstermektedir. "Geleneksel" TMCP işleminde, çelik sac kontrol edilir, hızlandırılmış soğutmaya tabii tutulur ve havada soğumaya bırakılır. Diğer taraftan, geliştirilmiş TMCP işleminde, plaka, hızlandırılmış soğutmadan hemen sonra indüksiyon bobinleri tarafından hızlı bir şekilde yeniden ısıtılır ve ardından havayla soğutulur. Şekil 5.4. (b), HOP işleminde istenilen mikroyapısal değişikliklerin şematik açıklamasını göstermektedir.

Her iki TMCP işleminde, çok ince taneler üretmek için tipik olarak sıkı bir şekilde kontrol edilen ve nispeten düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilir. Daha açık bir ifadeyle, son sıcak haddeleme adımları yeniden kristalleşme sıcaklığının ( $T_{nr}$ ) altında gerçekleştirilir. Sonuç olarak, ciddi şekilde ısıl dönüşümlere uğramış yassı mamulde östenit taneleri tam olarak kristalleşmez, bu da östenitin ferrit veya beynite dönüşümü için çok sayıda çekirdeklenme bölgesi sağlar. AcC koşullarının araştırılması, başlatma ve bitirme sıcaklığının her ikisinin de düşürülmesi sırasıyla ferrit ve MA bileşenlerinin oluşumunu desteklediğini gösterir [21, 26, 34, 49]



Şekil 5.4. Konvansiyonel ve Geliştirilmiş TMCP Şeması [49]



Şekil 5.5. HOP Süreci Tarafından Teşvik Edilen Mikroyapısal Değişimler [49]

Tablo 5.4, TMCP işleminin birkaç aşaması için ilgili bazı parametrelerin bir özetini ve bunlarla ilgili özellikleri göstermektedir [21, 28, 30, 34, 49, 50]. Tablo 5.5, geleneksel ve gelişmiş yüksek dayanımlı hat boru çelikleri için çeşitli işleme yöntemleri kullanılarak elde edilen farklı mikroyapılara genel bir bakış sunmaktadır.



**Tablo 5.4.** TMCP Aşamalarına Genel Bakış, Tipik Sıcaklıklar Ve Özellikleri

Haddeme Rolling	Yeniden Isıtma Sıcaklığı(°C)	1140-1180	Yeniden Kristalleşme sıcaklık aralığında bekletildiğinde; Çökeltiiler çözünmeye başlar. İnce ve çokgen yapıda östenitik taneler üretilir.
	Ergime Oranı(%)	40-75	
	Bitirme Sıcaklığı (Sıcak Haddelenme)(°C)	760-800	
AcC	Başlangıç Sıcaklığı (°C)	730-760	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ferritin Tane İnceltmesini Arttırır.</li> <li>Soğutma Ortamında Perlit Oluşumunu Önler.</li> </ul>
	Soğutma Hızı (°C/S)	20-50	
	Bitirme Sıcaklığı (°C)	150-400	
Temperleme	Temperleme Isısı (°C)	600	Aşırı Sertliği Ve Artık Gerilmeleri Azaltır.

**Tablo 5.5.** Farklı İşleme Koşulları Kullanılarak Elde Edilen Mikro Yapılar

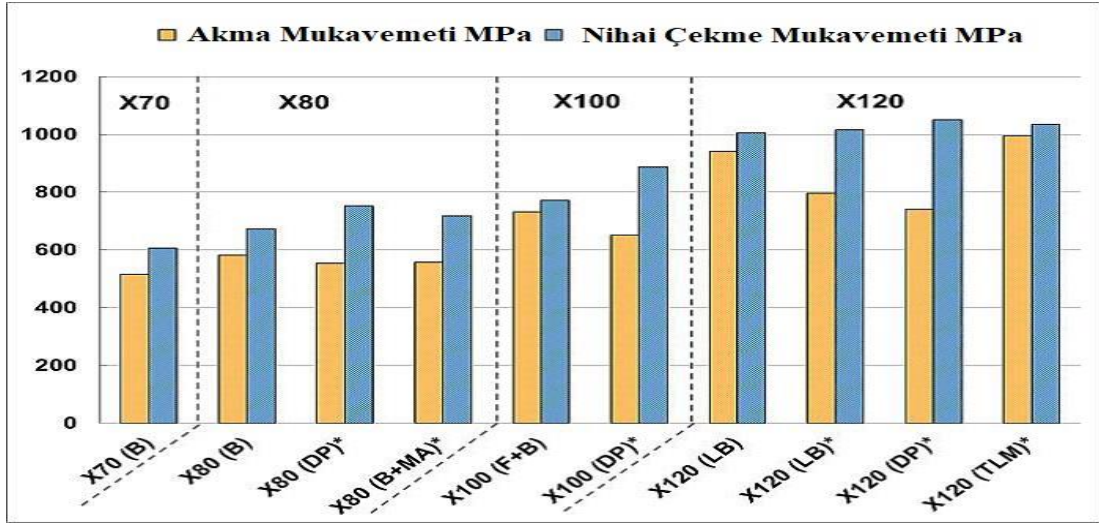
API 5L	İşlem	Mikroyapı	Kaynak
X70		Çokyüzlü Ferrit (PF) + Perlit Kuşaklanması (P)	[44]
		Beynit (B)	[20]
	TMCP + QT	Beynit (B) + Martenzit (M) + Ferrit (F)*	[47]
	TMCP + AcC + QT	İnce Taneli Beynit	[34]
X80	TMCP + AcC	Alt Beynit (LB)	[31]
		Ferrit (F) + Beynit (B) Çift Faz (DP)*	[26]
		Aşağı Beynit (B) + İğne Martenzit (M)	[35]
	TMCP + AcC + HOP	Beynit (B) + Martenzit-Östenit (MA)*	[26]
X100	TMCP	Ferrit (F) + Beynit (B)	[30, 31, 32]
	TMCP + AcC + HOP	Ferrit (F) + Beynit (B) Çift Faz (DP)*	[26]
X120	TMCP + AcC	Aşağı Beynit (LB)	[28, 30]
		Ferrit (F) + Martenzit (M) Çift Faz (DP)*	[28]
		Temperli İğnemsiz Martenzit (TLM)*	[28]

#### 5.2.4. Boru Hattı Çeliklerinin Mikroyapısının Mekanik Özelliklerine Etkisi

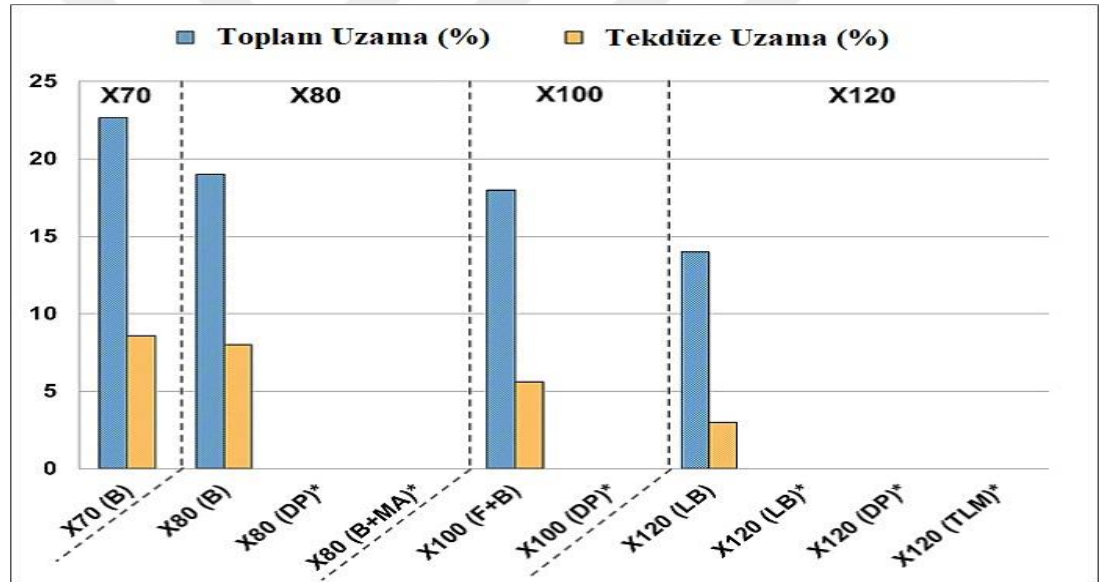
Son yıllarda çelik endüstrisi, ham üretkenliğe odaklanmak yerine, üretilen çelik levhaların saflığını (ppm olarak ölçülen safsızlıklar) artırma yönünde önemli adımlar atıldı. Teknolojik gelişmelerle birlikte elde edilen metalurjik bulgular, çelik levha üretim aşamalarına entegre edilerek boru çeliğinin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesinde önemli katkı sağladı. Çelik üretim parametreleri (örneğin kimyasal bileşim ve işleme) ile mekanik özellikler arasındaki ilişkiyi tanımlamak ve anlamak önemlidir. Akma dayanımı ( $R_{p0.2}$ ), nihai gerilme dayanımı, Akma/Çekme oranı, gerilme-gerinme eğrisi, homojen uzama ( $e_m$ ) ve Charpy V, çentik (CVN) ve Battelle damla ağırlığı yırtılma (B-DWTT) tokluk değerlerinin tespitinde kullanılan testler çeliğin istenilen kalitede üretilmesini sağlayan ölçüm parametreleridir. Şekil 5.6, literatürde bildirilen farklı çelik sınıfları için yukarıda belirtilen mekanik özelliklerin ortalama sonuçlarını göstermektedir [22, 24, 26, 28-34, 43].

Yüksek kaliteli geleneksel ve geliştirilmiş çelikler beklendiği gibi daha düşük Akma( $R_{p0.2}$  ve  $R_m$ ), üniform uzama ( $e_m$ ) ve toplam uzama eğilimi görülmektedir (Şekil 5.6, 5.7, 5.8, 5.9). Bununla birlikte, geliştirilmiş olanlar, çoğunlukla çift fazlı çeliklerde düşük  $R_{p0.2}$  ve  $R_m$  aşağıdaki veriler göz önüne alınırsa ve daha düşük bir Akma/Çekme oranı (yani daha yüksek gerilme sertliği) göstermektedir. Bu oran konvansiyonel çelik değerlerinden % 10 daha düşüktür [18, 20, 48]. Bu olumlu özellikler, yukarıda tartışıldığı gibi çift fazlı bir mikro yapının özellikleri ile yakından ilgilidir. Gerilme sertleşmesindeki artış, yumuşak matris ve sert ikinci faz arasındaki artan kuvvet farkından kaynaklanmaktadır. İkinci fazı daha sert olan çeliklerin daha yüksek gerilme sertliği ve gerilme-gerinme eğrisi sağladığı anlamına gelir [24, 26, 43, 48].

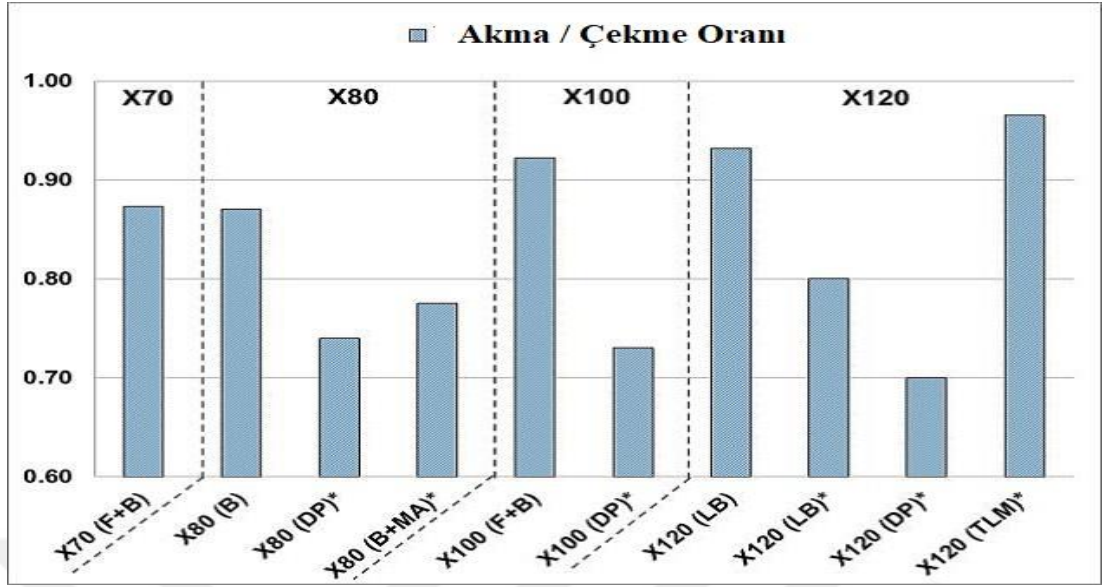
X80 (B) ve tüm X120 gibi bazı çelik sınıfları, % 68 ila % 84 arasında bir değişim göstererek, % 85 veya daha yüksek bir DWTT kayma alanının API standartlarına ulaşmamıştır. Gerilim-gerinim özellikleri ile Charpy V-çentik ve B-DWTT gibi tokluk değerleri arasında açık bir bağlantı yoktur (Şekil 5.6, 5.7, 5.8, 5.9). [39].



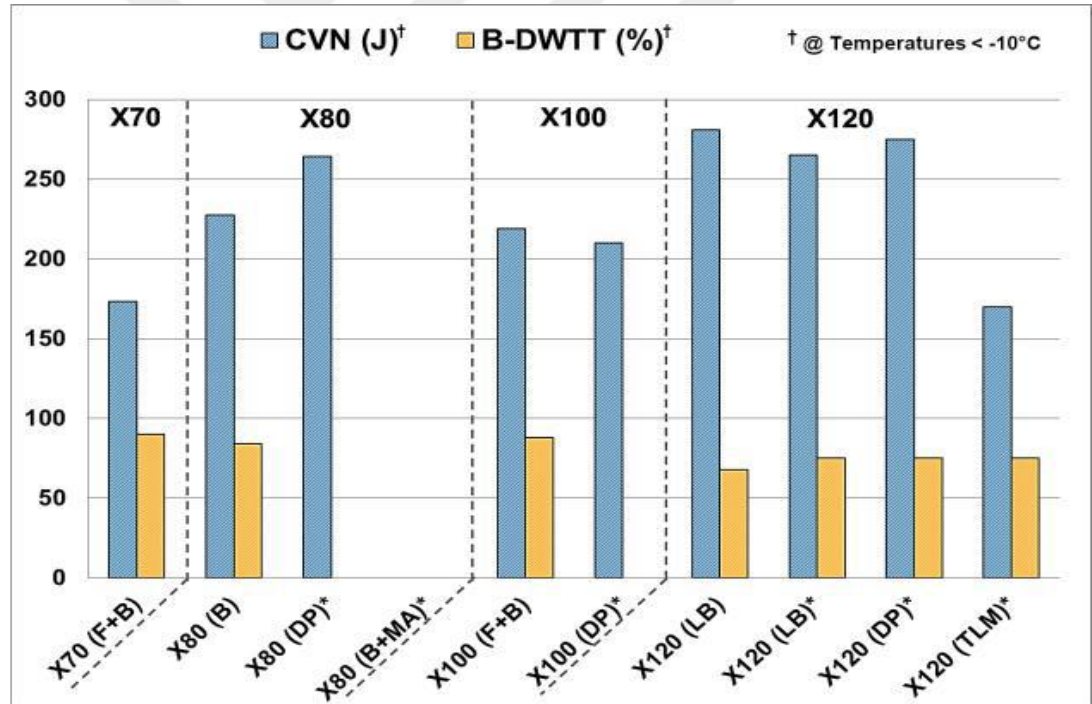
Şekil 5.6. X70-80-100-120 Sınıfı Çeliklerin Akma Ve Çekme Mukavemeti



Şekil 5.7. X70-80-100-120 Sınıfı Çeliklerin %Uzama Oranları



Şekil 5.8. X70-80-100-120 Sınıfı Çeliklerin Akma Ve Çekme Oranları



Şekil 5.9. X70-80-100-120 Sınıfı Çeliklerin Ağırlık Düşürme ve Çentik Darbe Değerleri

### 5.3. Boru Hattı Çeliklerinde Uygulanan Kaynak Yöntemleri

Dünyada daha uzun yıllar petrol ve doğalgaz yakıtlarının işletileceği, petrol ve doğalgazın da kullanım bölgelerine hızla taşımalarının yapılacağı tahmin edilmektedir.

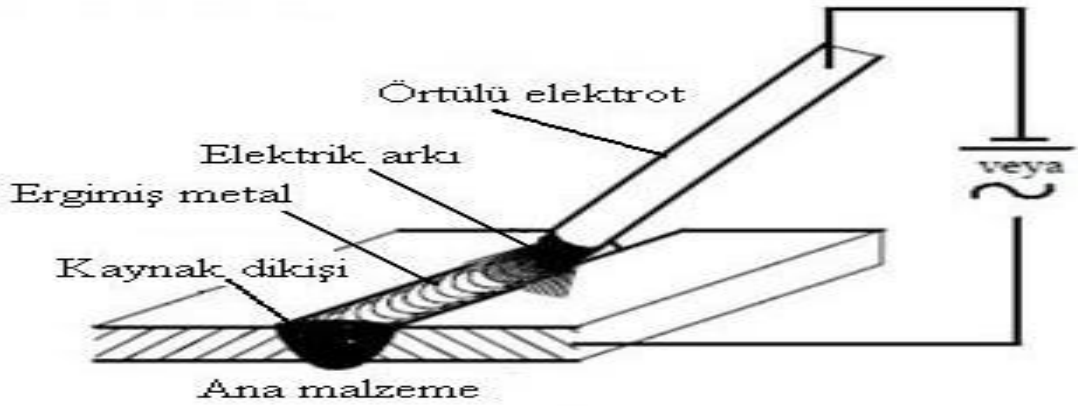
Bu nedenle de daha büyük çaplı ve daha tok çeliklerin üretimini zorunlu kılmaktadır. Bugün yaygın olarak kullanılmakta olan API 5L X70 sınıfı çeliklerden imal edilen ve karada döşenen boruların kaynağı genel olarak yukarıdan aşağı doğru kaynak pozisyonu için imal edilen selülozik örtülü elektrotlar ile yapılmaktadır. X-80-100-120 gibi daha yüksek çekme dayanımına ve mekanik özelliklere sahip borularda ya da cidar kalınlığı fazla, çekme dayanımı biraz daha düşük borularda kök pası ve sıcak pasın selülozik örtülü elektrotlarla yapılması önerilmektedir. Diğer dolgu ve kapak pasolarının da bazik ve selülozik elektrotların kombinasyonu olan elektrotlarla yapılması iyi sonuç vermektedir. Yakın gelecekte X-100 sınıfı (Çekme dayanımı =  $\sigma \geq 690$  olan) boruların manuel kaynak işleminin E11018-G elektrotları ile yapılması uygun olacaktır. Son yıllarda geliştirilen, otomatik MAG ya da orbital MAG kaynaklarında ise kök pasının ER70S-6 masif tel ile dolgu ve kapak pasolarında ise E81T1Ni1 metal özlü ya da E81T1- Ni1H4 rutil özlü tel elektrotların kullanılması uygun olacaktır. Otomatik MAG kaynak yöntemi ile dolu ve özlü kaynak telleri kullanmak için geliştirilmiş farklı sistemler piyasada bulunmaktadır. Bu tür donanımları satın alırken göz önünde bulundurulması gereken hususlar;

- Kaynak yapılacak borunun çapı ve cidar (et) kalınlığı,
- Boru hattının kaç km olduğu ve ne kadar zamanda tamamlanması gerektiği,
- Boru hattının döşenmesi esnasındaki iklim ve arazi şartları,
- Borunun çevresel kaynağa uygunluğu, Sistemin seçiminde önemli rol oynar [51].

### **5.3.1. Örtülü Elektrot Ark Kaynağı Yöntemi**

Örtülü elektrot ark kaynağı, birleştirme işlemi için gereken ısının, örtü ile sarf edilen bir elektrot ve malzeme arasında oluşan ark vesilesiyle meydana geldiği, el yordamıyla yapılan bir ark kaynağı metodudur. Örtülü elektrot ( elektrot pensesi ile tutulan ) ile ana malzeme ( kaynak edilecek malzeme ) arasında oluşturulan ark, ana malzemenin ve örtülü elektrotun ergimesini sağlayan ısıyı ortaya çıkarır. Elektrotun uç kısmı, kaynak banyosu, ark ve iş parçasının kaynağa yakın bölgeleri, atmosferin zararlı etkilerinden örtü maddesinin yanması ve ayrışması ile oluşan gazlar tarafından korunur. Ergimiş örtü maddesinin oluşturduğu cüruf kaynak banyosundaki ergimiş kaynak metali için ek bir koruma sağlar. İlave metal (dolgu metali), tükenen elektrotun

çekirdek telinden ve bazı elektrotlarda da elektrot örtüsündeki metal tozları tarafından sağlanır. Örtülü elektrot ark kaynağının metal yığıma hızı ve verimliliği pek çok ark kaynak yönteminden düşüktür. Elektrotlar belli boylarda kesik çubuklar şeklindedir, bu nedenle elektrot tükendiğinde kaynağı durdurmak gerekmektedir. Her kaynak pasosu sonrasında kaynak metali üzerinde oluşan cüruf da temizlenmelidir. Örtülü elektrot ark kaynağına ait görsel Şekil 5.10'da verilmiştir.



**Şekil 5.10.** Örtülü Elektrot Ark Kaynağı

Örtülü elektrot ark kaynağında sıklıkla bazik ve selülozik elektrotlar kullanılmaktadır. X70 ve üzeri yüksek mukavemetli çeliklerde yüksek mekanik özellikler elde edilen bazik elektrotlar kullanılmaktadır. Bu tip elektrotların örtüsünde genellikle  $\text{CaF}_2$  ve  $\text{CaCO}_3$  gibi kalsiyum bileşikleri bulundurmakla birlikte, düşük hidrojen karakterli olup özellikle yüksek mukavemetli çeliklerin kaynağı için uygundur [52].

### 5.3.1.1 Selülozik Örtülü Elektrotlar

Bu tür elektrotların örtüsünde, yandığı zaman gaz haline geçen organik maddeler bulunur. Örtü ağırlığının % 30'unu selüloz oluşturur. Genellikle, orta ve kalın örtülü olarak üretilirler. Kaynak sırasında metalin geçişi damlalar halindedir. İnce örtülü olarak üretildikleri zaman cüruf, transfer halindeki damlacıklara çok az bir koruma etkisi yapar. Bu tür elektrotlar ile yapılan kaynak dikişi üzerine oluşan cüruf çok azdır ve sıçrama kaybı yüksektir. Buna karşın, bu elektrotlar ile yapılan kaynak dikişlerinin aralık doldurma yeteneği ve nüfuziyeti oldukça iyidir. Her pozisyonda kaynak için (özellikle yukarıdan aşağıya düşey) uygundur. Kaynak işlemi sırasında yanan

selüloz gayet iyi bir koruyucu gaz atmosferi oluşturur fakat dikiş az da olsa, bir miktar hidrojen kapar; bu ise bazı tür çeliklerin kaynağı için sakıncalı olabilir. Örtüye katılmış olan titan bileşikleri arkın stabilizasyonunu sağladıkları gibi, cürufun kolaylıkla kalkmasına da yardımcı olurlar. Bazen örtüye bir miktar manganez katılarak, kaynak sırasında oksitlenerek kaybolan, manganezin tamamlanması sağlanır. Eskiden bu tür örtülere asbest de katılmaktaydı; ancak, bu maddenin sağlık koşullarını kötüleştirmesinden dolayı kullanımından vazgeçilmiştir [53].

### **5.3.1.2 Bazik Örtülü Elektrotlar**

Bu tip elektrotların örtüsünde genellikle  $\text{CaF}_2$  ve  $\text{CaCO}_3$  gibi kalsiyum bileşikleri bulunmaktadır. Bu tip elektrotlar düşük hidrojen karakterli olup özellikle yüksek mukavemetli çelikler için uygundur [54]. Üretim sırasında 400-500 sıcaklıklarda pişirilirlir. Bazik elektrotların mekanik özellikleri diğer elektrotlardan daha üstündür. Bu tip elektrotlar bütün kaynak pozisyonlarına uygundur.

Bazik tip örtülü elektrotların örtüsü rutubete karşı çok hassastır. Bu bakımdan bu tip elektrotlar kullanılmadan önce 2 veya 3 saat süreyle  $300-350^\circ\text{C}$ 'de kurutulduktan sonra yakılmalıdır. Bu değerler elektrotun cinsine ve markasına göre değişiklik göstermektedir.

### **5.3.1.3 Rutil Örtülü Elektrotlar**

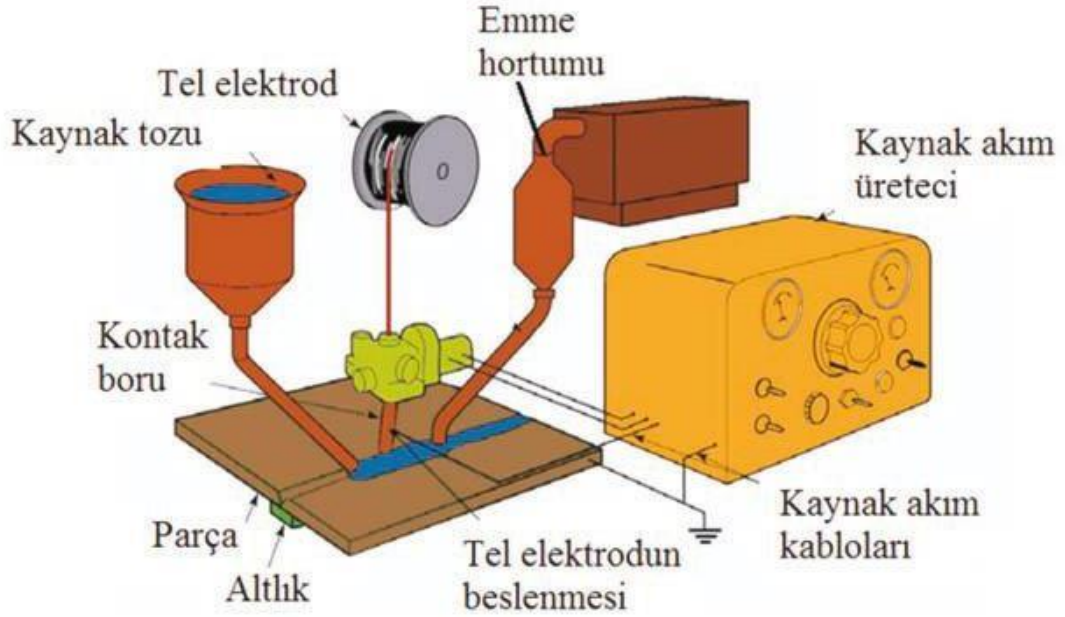
Bu tür elektrotlarda, örtü ağırlığının yaklaşık % 35'ini  $\text{TiO}_2$  oluşturur. Örtü  $\text{TiO}_2$  'nin yanı sıra feldspat, kuvarz, az miktarda selüloz, yine az miktarda ferromangan; bağlayıcı olarak da sodyum ve potasyum silikat içerir. Farklı örtü kalınlıklarında imal edilen rutil elektrotlarda eriyen kaynak metali, örtü kalınlığı arttıkça incelen damlalar halinde geçer ve aynı zamanda artan örtü kalınlığı dikişin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesinde önemli katkısı vardır. Bu tür örtüler, dikişi tamamen kaplayan, yeterince kalın, kahverengiden siyaha doğru renk veren, hızlı katılan bir cüruf ihtiva ederler. Cürufun özellikleri, örtüyü oluşturan maddelerin oranı ve çeşidine bağlı olarak değişir. Örtüye ilave edilen feldspat ve asbest gibi silis içerikli maddeler çok akıcı cüruf veren  $\text{TiO}_2$  ile birleşerek cürufun uygun bir akıcılıkta olmasını sağlar [53]. Örtülü elektrotu kullanmadan önce nem durumları gözetilerek  $250-300^\circ\text{C}$ 'de yaklaşık 60dk kurutmak gerekebilir. Bu değerler elektrotun cinsine ve markasına göre yani

üretim kalitesine göre değişiklik göstermektedir.

### **5.3.2. Tozaltı Kaynağı Yöntemi**

Örtülü elektrot kullanılarak yapılan elektrik ark kaynağı yönteminde, ergime gücü ve akım şiddetinin sınırlı olması kaynak hızını da etkilemektedir. Teknolojinin ilerlemesine paralel olarak gelişen sanayinin ihtiyaçlarını karşılamak için ar-ge çalışanları ikinci dünya savaşı esnasında ihtiyaca binaen yeni yöntemler geliştirmişlerdir. Günümüz sanayisinin kullandığı, hızlı ergime ve hızlı kaynaklanabilme kabiliyetine sahip yöntemlerinin başında tozaltı kaynağı gelmektedir. İlk defa 1933 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde kullanılmaya başlanmıştır. Tozaltı kaynak yöntemi, ABD den yaklaşık 4 yıl sonra Avrupa'da da kullanılmaya başlanmıştır. Demir ve alaşımlarının kaynağında çok ideal olan bu kaynak tekniği; profil, boru, gemi inşaatı ve basınçlı kaplar gibi çeşitli alanlarda üretim yapılabilir ve geniş kullanım alanına sahiptir. Tozaltı kaynak tekniğinde, bir bobin sargısında bulunan tel, motordan gelen güçle döndürülen makaralar arasından ve bir memeden geçerek kaynak dikişine ulaşır. Memeden gelen akımla birlikte kaynak arkı oluşur. Bu ark kaynak teli ve ana metal arasında meydana gelir. Farklı bir yoldan kaynak dikişine ulaşan silikat ve toprak alkali metal içerikli kaynak tozu ark bölgesinin üzerini örterek atmosferin olumsuz etkilerinden yalıtılmasını sağlar. Arkın oluşmaya başlamasıyla birlikte kaynak teli tamamen erir. Ana metalin ise arka yakın olan bölgesi erimeye başlar ve kaynak banyosu meydana gelir. Böylece iki farklı parça bu sayede birleştirilmiş olur. Ana metal ve kaynak teli arasında oluşan arkın ısısından kaynak teli tamamen ve ana metal kısmen eriyerek iki farklı iş parçası arasında birleşme sağlanır. Toz parçacıkları ise kısmen eriyerek kaynak dikişini bir film tabakası gibi kaplarlar. Kaynak banyosunu örten bu kaynak yöntemi, kaynağın kaynak banyosunu örten tozların altında meydana gelmesi ile tozaltı adını almıştır. Tozaltı kaynak kafası olarak adlandırılan, kaynak tozu hunisi, meme, tel ilerletme ünitesi, kumanda grubu ve ray üzerinde ilerleyen araçtan oluşur (Şekil 5.11.). Kaynak banyosu sahip olduğu homojen yapısını sürdürebilmesi için kaynak aracının hızı sabitlenmelidir. Aksi halde segregasyon, boşluk vb. hatalara sebebiyet verebilir. Çünkü akım şiddeti, ark gerilimi, toz miktarı ve kaynaklama hızı değişken olduğu için bu değerler birbirine göre ayarlanması gerekir. Böylece en optimal kaynak elde edilmiş olur [53].

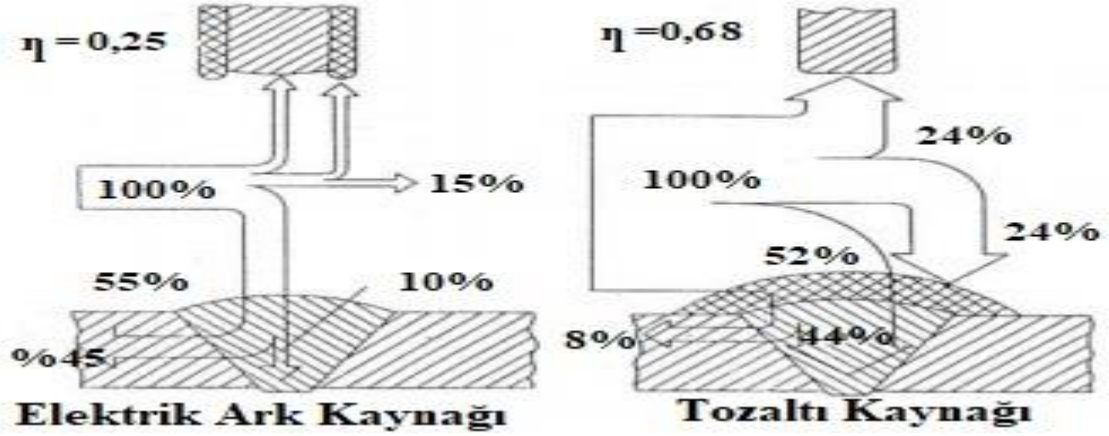




Şekil 5.11. Tozaltı Kaynak Ünitesi

#### 5.3.2.1. Tozaltı Kaynak Usulünün Avantajları:

- Yüksek kaynak hızı yüksek mekanik değerler: Tozaltı kaynağında kullanılan akım 200-2000 Amper değer aralığındadır; kaynak banyosunda daha fazla tel kullanılmak istenirse akım şiddeti 3000 Ampere kadar artırılabilir. Bu akım şiddeti hızlı ergimeye olanak sağlar. Kaynaklama hızı 10 cm/dk-500 cm/dk değer aralığına kadar ayarlanabilme imkânı bulunmaktadır. Bu verilere göre toz altı kaynağı; hızı ve ergime gücü olarak diğer tekniklere göre avantaj sağlamaktadır.
- Kaynak nüfuziyeti: Akım şiddetinin yüksek olması kaynak ağzı açmadan bir paso ile 18 mm. ve kaynak ağzı açılarak iki paso şeklinde 150 mm. et kalınlığına sahip parçaları birleştirmek diğer yöntemlere nazaran kolaydır.
- Enerji Sarfıyatı: kaynak tekniğinde enerji büyük oranda kaynaklama işlemi için kullanılır. Böylece gereksiz enerji sarfıyatı yapılmamaktadır. Şekil 5.12.'de görüldüğü gibi örtülü elektrot ark kaynağında, elektrik enerjisinin % 25'i kullanılırken tozaltı kaynağı tekniğinde ise % 68'i kullanılmaktadır [55].



**Şekil 5.12.** Örtülü Elektrotla Elektrik Ark Kaynağı Ve Tozaltı Kaynağında Isı Bilançosu [56]

- Elektrot Sarfıyatı: tel elektrot kullanılmadığı için hem gereksiz tel kaybı hem de sıçramadan kaynaklı enerji kaybı yoktur.
- Güvenli ve temiz görünen kaynak dikişi: Kaynak dikişi üzerinde kalan cüruf sayesinde atmosferin olumsuz etkilerinden uzak ideal bir katılaşmaya imkân vermektedir. Geçiş bölgelerindeki sertleşme ihtimalini en aza indirmektedir. Ergimiş viskoz cüruf, kaynak dikişinin daha düzgün ve pürüzsüz olmasını sağlamaktadır. Kenarlarda yanma oluklarının oluşmamasını sağlar. Birleşme hatası ve kalıntı cürufların taşlanmasına gerek kalmadığı için daha güvenli kaynaklı birleştirmeler elde edilir.
- İşçilik etkisinin olmaması: Kumanda ünitesinden istenilen ayarlamaların yapılması nedeniyle tam otomasyon sağlandığı için kaynak operatörü etkisi değerlendirilmez. Dolayısıyla işçilik kalitesi hesaba katılmaz. Teknoloji yoğun bir kaynak tekniğidir.
- Ark kararlılığı: Kaynak tozunun erimesiyle kaynak banyosu üzerinde oluşan cüruf buhar halinde geçer ve bir film tabakası oluşturur. Olumsuz şartlardan etkilenmemesini sağlayan bu film tabakası kaynak banyosunun daha kararlı halde olmasını sağlar. Böylece daha kararlı olan kaynak dikişine sahip olduğu için kaynak akım şiddeti ve hızı artırılabilir.

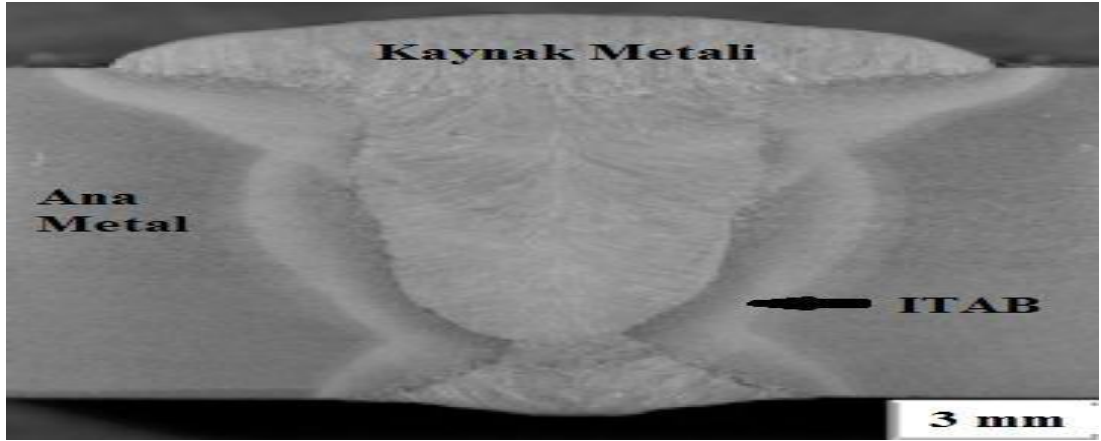
- Gz için kullanılan kişisel korucuyu donanım gerekmez: meydana gelen arkla birlikte rahatsız edici görünür ve görünmeyen ışınlar kaynak tozunun altında meydana geldiğini için bu toz ışınları perdeler. Bunun yanı sıra kaynaklama esnasında oluşan toz ve zehirli gaz oranı düşük olduğu için zorunlu havalandırmaya gerek yoktur. Bu sayede kişisel koruyucu donanıma ihtiyaç yoktur.
- Soğutma nitesine ihtiyaç yoktur: Kaynak ağzı oluşan ısıya fazla maruz kalmadığından soğutmaya gerek kalmadan uzun süre kaynak işlemine devam edilebilir [55].

### **5.3.2.2. Tozaltı Kaynak Tekniğinin Dezavantajları**

Makine ve teçhizat gerektiğinden nispeten maliyeti daha yüksektir. İnce malzemelerde kaynak tozu içine dolacak alan bulamayacağı için bu tarz malzemelerin kaynağında tercih edilmez. Değişik geometrisi olan tekdüze olmayan iş parçalarının kaynaklama işlemine yönelik çalışmalar devam etmiş olsa da henüz istenilen seviyeye ulaşılamamıştır. Tozaltı tekniği ile yatak pozisyonda iyi netice alınabilirken dik açılı pozisyonlar için özel ekipmanlar gerekmektedir. Dik pozisyonlar için tercih edilmesi gereken teknik electrocrf kaynak tekniğidir. Tozaltı kaynağı dik pozisyonların kaynağına imkân sağlamamaktadır [55].

### **5.4. Kaynak Bölgesinde Oluşan Metalurjik Yapılar**

Kaynak bölgesi genel olarak üç farklı metalurjik kısımdan oluşur. Bu kısımlar; ana metal, kaynak metali ve ısının tesiri altında kalan bölümdür.



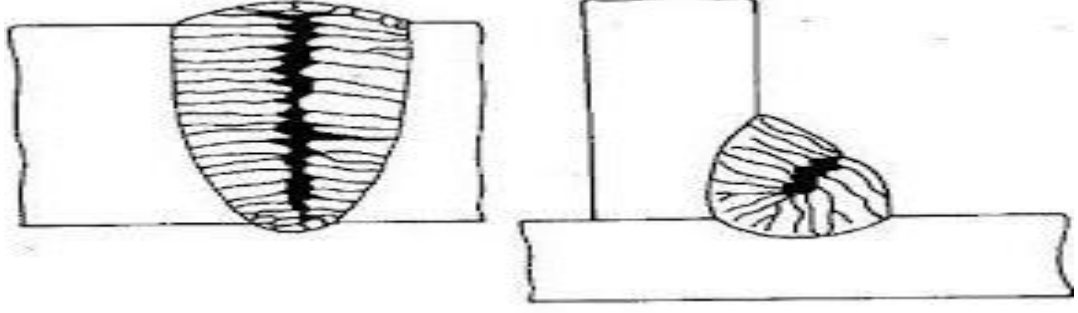
**Şekil 5.13.** X 100 Çeliğinin Kaynak Bölgesi [57]

#### **5.4.1 Ana Metal**

Ark oluşumuyla birlikte açığa çıkan ısı kaynak banyosunda yoğunlaşır. Kaynak banyosunun temas ettiği yüzeylerden ana metale doğru ısı transferi gerçekleşir. Oluşan sıcaklık nedeniyle metalin tane yapılarında değişimler söz konusu olur. Ana metal ise bu değişimlerin meydana gelmediği kısma denir.

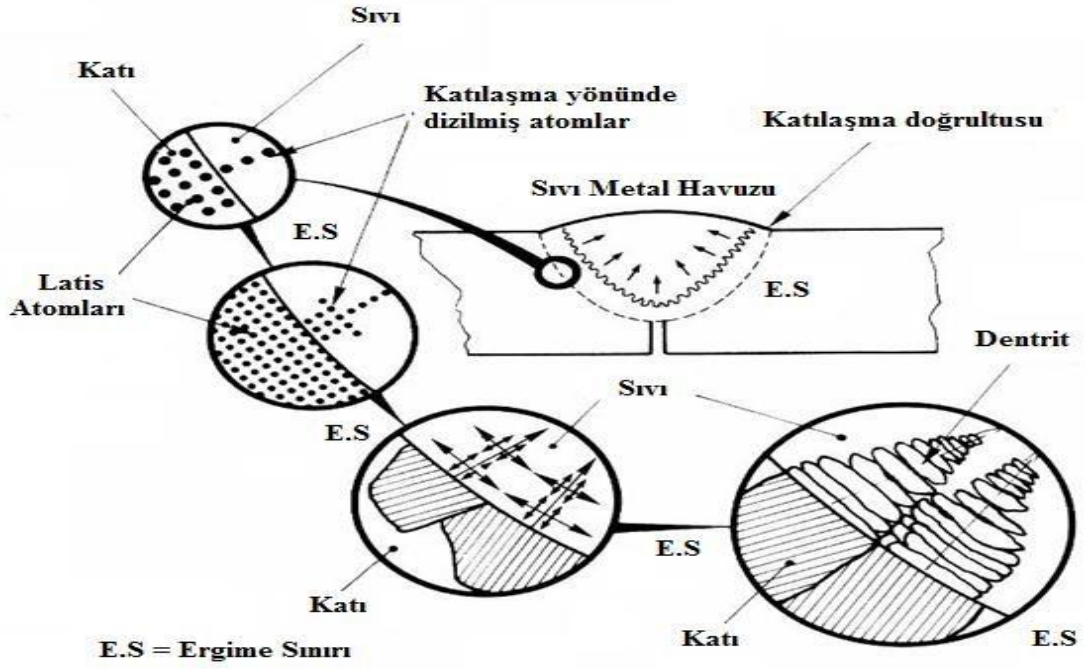
#### **5.4.2. Ergiyen Bölge (Kaynak Metali)**

Kaynak banyosunu oluşturan bölümdeki karışımdaki değişimler, katılaşmadan önce iyice birbirine geçmiş ana metal ve kaynak metalinden oluşmaktadır. Bu birleşimde ana metalin kaynak metaline oranı, kaynak yöntemi ve ağız açma biçimine bağlıdır. Kaynak öncesi yapılan kimyasal analiz, kaynak esnasında oluşan yüksek ısı neticesinde yanmakta ve buhar olarak uçmakta olduğundan, eriyen bölgenin birleşim oranları aynı değildir. Bu elementlerin yanma ısı; ısı kaynağı, kaynak banyosunu örten atmosfer ve tercih edilen kaynak yöntemine göre değişmektedir. Kaynak dikişinin katılaşması, bu bölgeyi örten ana metale ısı transferi ile mümkündür. Bu bölge iri ve uzun tane yapısına sahiptir. Özellikle et kalınlığı fazla olan parçaların derin nüfuziyetli kaynağında, eriyen bölgenin orta bölümlerinde segregasyon oluşur ve kaynakta boşluk hatası meydana gelir (Şekil 5.14).



Şekil 5.14. Alın Ve Köşe Birleştirmelerinde Segregasyon Bölgeler [55]

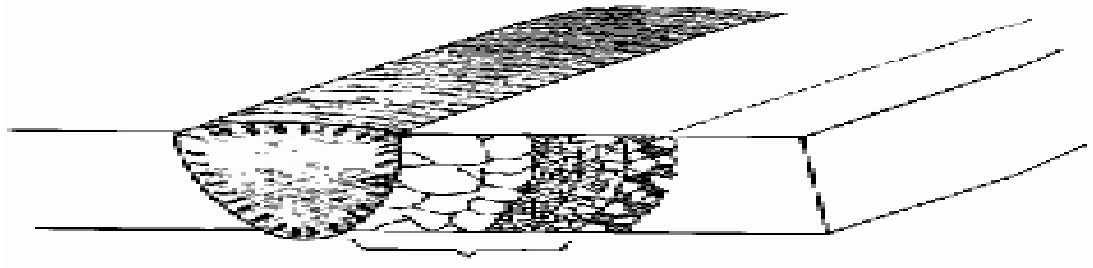
Eriyen bölgenin katılaşması temas edilen metal yüzeylere ve atmosfere doğru yapılan ısı transferiyle mümkün olur.



Şekil 5.15. Kaynak Metalinin Katılaşma Aşamaları [55]

#### 5.4.2. Isı Tesiri Altında Kalan Bölge (ITAB)

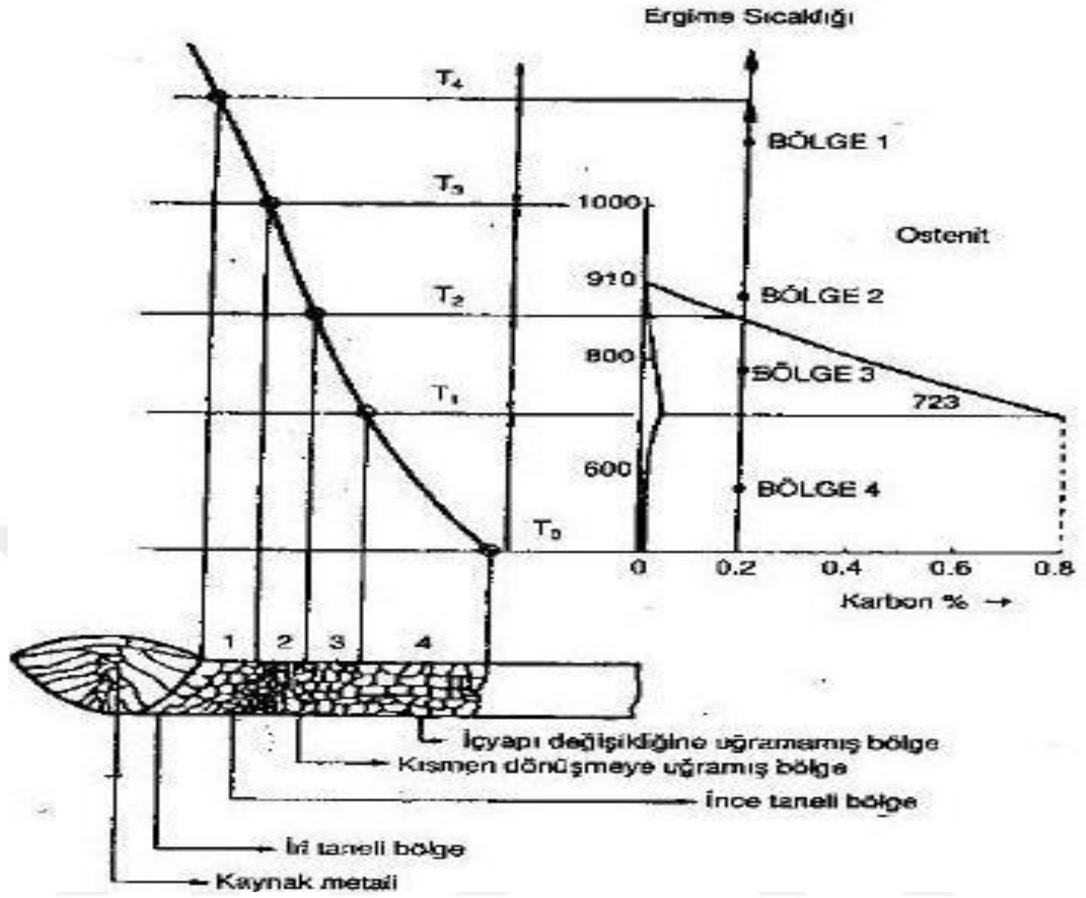
Isı tesiri altında kalan bölge, eriyen metalin ana metal ile birleştiği bölümden itibaren yaklaşık olarak 700 ilâ 1400 °C arasında bir ısıdan etkilenerek meydana gelen bölgedir. Bu bölgenin sıcaklık dağılımı, kaynak yöntemine ve kullanılan malzemelere bağlı olarak değişkenlik gösterir.



**Şekil 5.16.** Isının Tesiri Altındaki Bölgedeki (ITAB) Tane Yapısı Değişimi [55].

Bu bölgede ulaşılan en yüksek sıcaklık, kaynak dikişi merkezine olan uzaklığın, zamana bağlı olarak ısı değişimi bilirse; kaynaklama işlemi bittiğinde meydana gelecek mikroyapı ana metalin özellikleri ve bileşimi de değerlendirildiğinde bir dereceye kadar fikir yürütülebilir. Kaynak yapılırken ısı tesiri altında kalan bölge ısınması ve soğuması hızlı bir şekilde olmaktadır. Çeliğin kimyasal yapısına göre değişmekle birlikte malzeme soğurken kritik soğuma hızını aştığında genellikle 900°C'nin üstündeki bir sıcaklığa kadar ısınmış bölgelerde sert dolayısıyla kırılabilir bir yapı meydana gelir. Genellikle ITAB olarak adlandırılan bu bölüm kaynaklı birleştirmelerin en önemli bölgesidir. Kırımlar kopmalar daha çok bu bölgede meydana gelir. Çeliklerin kaynaklama işleminde ısı tesirinde kalmış bölge mikroyapısı incelendiğinde tane yapısı bakımından aşağıdaki bölümlerden oluşur:

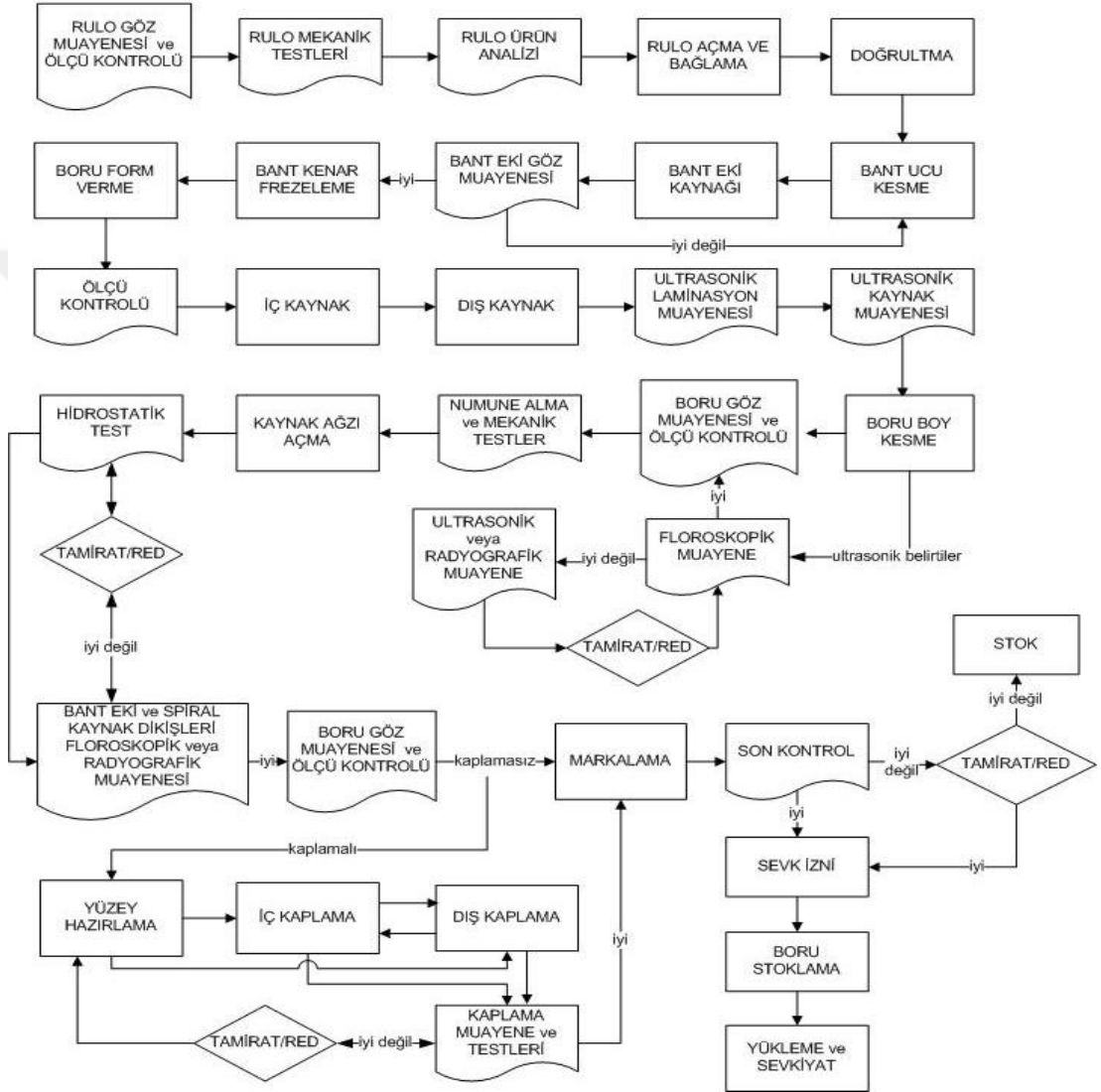
- İri taneli bölge
- İnce taneli bölge
- Kısmen dönüşmeye uğramış bölge
- İçyapı değişimine uğramamış bölge



Şekil 5.17. Çeliklerin Kaynağında Sıcaklığın ITAB Mikroyapısına Etkisi [58]

## 6. DOĞAL GAZ BORUSU ÜRETİM AŞAMALARI VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR

API 5L X80 serisi çeliklerin rulo saç halinden petrol doğal gaz borusu formuna getirilme aşamalarındaki akış şeması şekil 6.1. de gösterilmiştir.



Şekil 6.1. API 5L X80 Serisi Çeliklerin Rulo Saç Halinden Petrol Doğal Gaz Borusu Formuna Getirilme Aşamalarındaki Akış Şeması [58].



## 6.1. Rulo Sacların Göz Muayenesi Ve l Kontrolü

İlk olarak; gelen her rulo saca o yılın son iki rakamı ve rulonun geldiği sıra numarasından oluşan rulo stok numarası verilir. Bu numaralar rulo üzerine görülecek büyüklükte yağlı tebeşirle yazılmaktadır. Örneğin; 16/4021

Bundan ayrı olarak gelen rulo sacın içerisine ve dışarisına yapıştırılmış olan üretici firma etiketi bulunur. Bu etiketlerde rulo ağırlığı, sac genişliği, döküm numarası, kalite standartları gibi bilgiler bulunmaktadır. Ayrıca rulo sacların herhangi bir ısıl işleme tutulup tutulmadığı anlaşılmaktadır. “N” (normalize edilmiş veya haddelenirken normalize edilmiş) veya “M” (termomekanik haddelenmiş) Rulo sargılarının kenarlarında belirli bir yönde taşma var ise; taşma “Teleskopi” miktarı ölçülür. Teleskopinin sıcak haddelene sırasında mı yoksa elik çemberlerin belirli bir nedenden dolayı kopması ile mi oluştuğu kontrol edilir (şekil 6.2.). Eğer rulodaki teleskopi haddelene sırasında kalıcı olarak oluşmuş olduğu görülürse, teleskopi miktarı ölçülür ve 60 mm’nin üzerinde ise kayıt edilir. Eğer teleskopi elik çemberlerin kopması neticesinde oluşmuş ise dikkate alınmaz. Rulo sacın sarımları görsel olarak kontrol edilir. Sarımlarında kırıklıklar ve dalga bulunan, gözle görülen yüzeylerinde derin çukur ve oyuklar, kenar hataları, laminasyon ve yüzeye ulaşmış haddelene hataları bulunan rulo saclar kaydedilir. Daha sonra ise her gelen rulo sacdan çekme ve kimyasal analiz test numuneleri alınarak makine atölyesinde hazırlanır ve kalite kontrol laboratuvarında kontrolleri yapılır.



şekil 6.2. Rulo Sacların Göz Muayenesi Ve l Kontrolü

## 6.2. Rulo Açma, Bağlama, Doğrultma İşlemleri

İşleme alınan rulo vinç yardımıyla rulo açıcıya yerleştirilip rulo ağzı 1-2 m olacak şekilde açılır (Şekil 6.3.).



Şekil 6.3. Rulo Açma İşlemi

Rulo ağzı açma işleminden sonra vinç yardımıyla açık ucu tezgaha bağlanacak şekilde ayarlanır. Tezgahta bulunan silindirlerle doğrultma işlemi yapılarak düzgün bir yüzey elde edilir (Şekil 6.4., 6.5.).



Şekil 6.4. Ağzı Açılmış Rulolar Vinç Yardımıyla Tezgâha Bağlama İşlemi



Şekil 6.5. Tezgâha Bağlanan Rulo Silindirler Vasıtasıyla Doğrultma İşlemi

### 6.3. Bant Eki Kaynağı

Doğrultma işleminden sonra rulonun bitmesi durumunda biten sac prosedür vasıflandırma kayıtlarındaki belirtilen kaynak ağızı açısına uygun olarak kesilir. Önceden bağlanacak kısmı açılmış rulo merkezi aparatın merkezinde olacak şekilde tezgâha yerleştirilir. Rulo besleme merdanesi vasıtasıyla kenarı sabit dayama makaralarına temas edecek şekilde ileri doğru hareket ettirilir. Eklenecek yeni rulo dayama makaralarının temasıyla gönyeye getirdikten sonra belirlenen kaynak ağızı açısına göre kesilir. Oksijen ile kesilmiş yüzeyleri kaynak prosedür vasıflandırma kayıtlarında belirtilen pah yüzeyliğini elde edecek şekilde taşlanır ve düzlenir (Şekil 6.6.). Kesim işlemi bittikten sonra hareketli tabla kaynak yapılacak bölgeye getirilir. Dayama makaraları ve doğrultmalar vasıtasıyla ek yapılacak saclar ağız ağıza gelmesi sağlanır. Kaynağa başlamadan önce kaynak teli saca 1-2 mm kalacak şekilde yanaştırılır, telin saca düzgün temas edip etmediği kontrol edilir ve ona göre akım, voltaj, araba hızı ayarlanır. Kaynağa başlamadan önce başlangıç ve bitiş plakaları yerleştirilir. Kaynak yapıldıktan sonra plakalar koparılır ve bant eki kaynağının tahribatsız muayenesi için kaynağın soğuması beklenir.



Şekil 6.6. Şekil Bant Eki Kaynağı

### 6.4. Bant Kenar Frezeleme İşlemi

Rulo saclar dilme tezgâhında istenilen genişliğe ulaşıldıktan sonra spiral tezgâhına getirilir. Makineye enerji vermeden önce freze girişindeki manometrede hidrolik

basınç 90 barın üstünde olmalıdır. Makineye enerji vermek için voltaj açılır, talaş konveyörü ve frezeyi çalıştırma butonuna basılır. Makineyi ilk bant için ayarlarken kopyalama yukarı kaldırılır, klempler açılır, freze kafaları arasındaki mesafeyi kare vida vasıtasıyla istenen sac genişliğinden en az 100 mm olacak şekilde ayarlanır. Sonra, klempler sıkılır ve kopyalama sistemi üstündeki sayaç yardımıyla kaynak ağzı yüksekliği ayarlanır. Rulo sac yavaşça kopyalama sisteminin ilk makarasına getirilir, klemplerin ve kopyalama sisteminin ayarlamaları yapılarak sac ilerletilir. Sac içindeyken makineyi çalıştırmak için kafaların saca olan uzaklığı kontrol edilir, frezeler sacdan en az 10 mm uzakta olmalıdır. Talaş konveyörü ve frezeleri çalıştırma butonuna basılır ve sac ilerlerken bant kenarlarının frezeleme işlemi yapılır. Bant kenarına X kaynak ağzı açılır (Şekil 6.7.).



**Şekil 6.7.** Bant Kenar Frezeleme İşlemi

### **6.5. Spiral Tezgâhı Helis Açısı Ayarlanması**

Form verme işlemi helis açısı yardımıyla yapılır. Helis açısı, bant genişliğinin veya boru çapının değiştiği her yeni üretim yeniden hesaplanır. Tezgâh ayar talimatında belirtildiği gibi helis açısını ayarlanır ve bu konumda sabitlenir (Şekil 6.8.). Helis açısı,



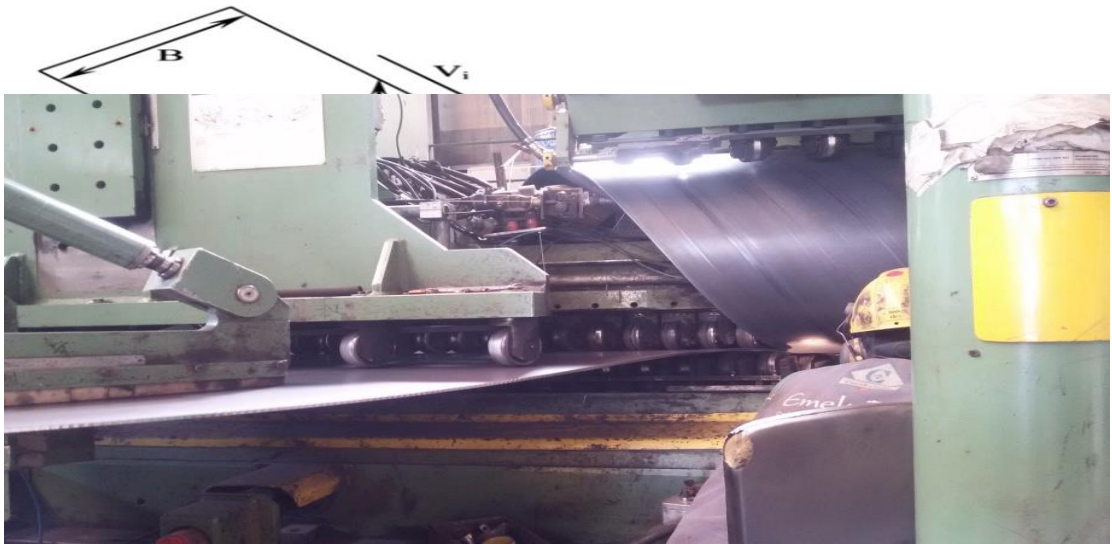
boru çapı ve kullanılan bant genişliğine göre aşağıdaki formülden hesaplanan açıdır [60].

$$\cos \alpha = B / \pi \cdot D \quad (6.1.)$$

B=Bant Genişliği (mm)

D=Boru Çapı (mm)

$\alpha$ =Helis Açısı



Şekil 6.8. Helis Açısı Ayarlandıktan Sonra Boruya Form Verme İşlemi

$$1 \text{ metre Borunun İmalat Süresi: } T=1 / (\cos \alpha \times V) \quad [60]. \quad (6.2.)$$

T: İmalat süresi (dak.)

$\alpha$  : İmalat Helis Açısı

V: Kaynak Hızı (m/dak.)

## 6.6. İç ve Dış Kaynak Yapılması

Boru form verme işleminden sonra ise sırasıyla iç kaynak ve dış kaynak yapılır. Kullanılan kaynak yöntemi toz altı ark kaynağıdır. Kullanılan sacın et kalınlığına göre tandem veya tek tel tekniği, kaynak telinin hızı, voltaj ve akım değerleri ayarlanır. İç kaynağın nüfuziyet mesafesi dış kaynağa göre daha kısa olduğundan, iç kaynak akım değeri dış kaynaktan daha düşüktür.

Kaynak 10 mm den ince olan sacların kaynağında DC kaynak ekipmanı kullanılır. 10 mm den kalın olan malzemelerde ise kaynakla daha verimli doldurulabilmesi için AC ve DC birlikte kullanılır. Hem iç hem dış kaynakta ilk kaynağı DC kaynak ekipmanı yapacak şekilde DC kaynak torcu boru yüzeyine yaklaşık 90° açıyla yerleştirilir (Şekil 6.9.) ve oluşan arkla birlikte maksimum nüfuziyet sağlanır. AC kaynak torcu ise DC nin arkasında yer alır ve ilk kaynak dikişini yeniden eriterek daha uygun bir içyapı formu oluşturur. Genel olarak söylenecek olursa; AC doldurur, DC kep atar. Böylelikle daha güçlü, daha hatasız şekilde kaynak gerçekleşir ve tezgâh hızlanır.

Amper ayarı ile kaynağın nüfuziyeti; voltaj ayarı ile ise kaynağın şekli, görüntüsü ve genişliği kontrol edilir. Amper değeri arttıkça nüfuziyet artar, voltaj değeri arttıkça kaynak dikişi daha yayık bir görüntü alır. Bu değerlerin malzeme için optimum değerleri kullanılmalıdır. AC ve DC kaynak telleri arası uzaklık yaklaşık 12-16 mm arası olmalıdır ve kaynak dikişinin daha dar olması için bu mesafe kısa, daha geniş



Şekil 6.9. İç ve Dış Kaynaklama İşlemi

olması içinse uzun tutulmalıdır. Teller ile boru arası uzaklık 2,4 mm çaplı tel için 25 mm ye; 3,2 ve 4 mm çaplı tel için 30-35 mm ye ayarlanır. Bunlarla birlikte kaynağın merkezden şaşmasını engellenmek için kaynak torcunun önüne, malzemeyle 80-100 mm, kaynak bölgesiyle 50-60 mm mesafede olacak şekilde lazer yerleştirilir. Böylece makine çalışırken kaynak eksenini izlenmesi sağlanır.

## **6.7. Deney Numunesinin Tozaltı Ark Kaynağı ile Birleştirilmesi**

### **6.7.1 Tozaltı Ark Kaynağı**

Rulo sac, spiral tezgâhında boru haline getirilirken yapılan iç ve dış kaynaklar toz altı ark kaynağı ile yapıldı. Et kalınlığına göre kaynak telinin hızı, voltaj ve akım şiddeti parametrelerinin ayarları yapıldı. Bu parametreler üretim yapılmadan önce imalat panosuna asılan verilere göre ayarlandı. İmalat sırasında, hem iç hem de dış kaynakta ilk kaynağı DC kaynak ekipmanı yapacak şekilde DC kaynak kafasını boru yüzeyine tam dik olarak, AC kaynak kafası DC kaynak kafasının arkasına ve son dolgu kaynağını yapacak şekilde yerleştirildi. AC kaynak kafası ile DC kaynak kafası arasında maksimum 12° lik bir açı olmalıdır. DC ve AC kaynak telleri arasındaki mesafe 15-20 mm olacak şekilde ayarlandı.

Kaynak dikişinin daha dar olmasını sağlamak ve kaynak nüfuziyetini artırmak için telleri birbirine yaklaştırarak bu mesafe küçültülür. Daha geniş bir kaynak dikişi elde etmek istenirse bu mesafe artırılır. Hem AC hem de DC kaynağı için, kaynak memeleri ile boru arasındaki mesafeyi 2.4 mm tel için 25 mm'ye; 3.2 ve 4.0 mm tel için 30-35 mm'ye ayarlanmalıdır. Kaynak tozunun akacağı huni, DC kaynak kafasının hemen önüne veya DC ile AC kaynak arasına gelecek şekilde yerleştirilir ve kaynak sırasında, AC kaynak arkının hiçbir zaman görülmeyeceği bir şekilde, yeterli kaynak tozu ile kapatılmalıdır. AC ve DC kaynak memeleri yalıtılmış bir tutucu ile birbirlerine bağlanır ve memelerin birbirlerine temas etmemeleri sağlanır. Her iki kaynak memesi de kaynak çizgisi ile aynı hat üzerinde olmalı ve kaynak sırasında bu yerleşim bozulmamalıdır.

İç ve dış kaynak pozisyonları, tel sürme ekipmanları, kaynak tozu emiş ve geri kazanım sistemi ayarlanır. Kaynak parametreleri her imalat başlangıcında WPS (kaynak prosedürü spesifikasyonu) e uygun olarak ayarlanmıştır.

### 6.7.2. Kaynak Tozu ve Özellikleri

Tozun görevi, genel olarak içerisinde bulunan alaşım elementleri ile kaynak dikişinin mukavemetini arttırmak ve kaynak dikişinin havayla etkileşimini kesmektir. Seçilen tozun ince taneli olması istenmektedir. Bunun sebebi ise ince taneli tozun kalın taneli toza göre daha fazla koruyucu olmasıdır. Verilen tozun bir kısmı ergiyik kaynak havuzu içerisine karışırken, diğer kısmı kaynak bölgesinde oluşan yüksek sıcaklıktan dolayı yüzeyde toplanır. Yüzeyde toplanan kaynak tozu cüruf tabakasını oluşturur. Bu tabaka kaynak yüzeyinin ani soğumasını önler ve bu sırada kaynak içerisinde oluşan gazların dışarı çıkmasını sağlayarak gözenek oluşumunu engeller. Kaynak dikişine biçim vererek kaynak yüzeyinin düzgün olmasını sağlar.

Kullanılan toz çeşidi Lincoln 761 ve Lincoln P223 dür. EN 760 standardına göre S1,S2 ve S<sub>2</sub>Mo telleri kullanılmıştır (Tablo 6.1., Tablo 6.2.).

#### 6.7.2.1. Kullanılan Kaynak Tozunun Özellikleri

**Tablo 6.1.** Kullanılan Kaynak Tozunun Özellikleri [60]

Kaynak Teli	Akma Muk.(N/mm <sup>2</sup> )	Çekme Muk. (N/mm <sup>2</sup> )	Darbe Muk. (-20°C) (J)
S1-L60	AW 410	510	40
	SR 380	490	40
S2-L61	AW 430	560	40
	SR 400	520	40
Lincoln 761	AW: Kaynaklı halde	SR: Gerilim giderilmiş	

**Tablo 6.2.** Kaynak Teli Kimyasal Özellikleri [60]

Kaynak Teli	C	Mn	Si	P	S
S1-L60	0,05	1,4	0,6	<0,025	<0,025
S2-L61	0,05	1,8	0,9	<0,025	<0,025



**Lincoln P-223**

**Standart: EN 760**

**Sınıf: A AB1 55 AC H5**

**Özellikleri: P223**, alümina – bazik karakterli aglomera tozdur. Tek ve çok pasolu kaynaklar için uygundur. Düşük sıcaklıklarda çentik darbe direncinin yüksek olması istenen boru hattı kaynaklarında kullanılır.

**Tane Büyüklüğü: 2 – 20 (0,2 – 2 mm)**

**Baziklik Derecesi: 1,7**

**Yoğunluk: 1,2 kg / dm<sup>3</sup>**

#### 6.7.2.2. Kullanılan Kaynak Telinin Özellikleri

**Tablo 6.3.** Tozaltı Kaynak Teli Kimyasal Bileşimi [60]

Malzeme	%C	%Si	%Mn	%P (max)	%S (max)	%Mo	%Ni (max)	%Cr (max)	%Cu (max)	%Al (max)
S2Mo (TS EN 756-7) EA2 (AWS A5.23)	0,07- 0,15	0,05- 0,25	0,80- 1,30	0,025	0,025	0,45- 0,56	0,15	0,15	0,30	0,30

**Tablo 6.4.** Tozaltı Kaynağı Fiziksel Özellikleri [60]

	Çekme Mukavemeti (kg/mm <sup>2</sup> )
Normal	Max. 85
Orta Sert	85 - 90.0
Sert	Min. 90

Üretim hattında borular sırasıyla şu test ve hatlardan geçer:

- Otomatik Ultrasonik Muayene
- Manuel UT-Ön Göz Ölçü
- Hidrostatik Test
- Tornalama (Kaynak ağzı açma)
- Off-line Otomatik UT
- Floroskopik Muayene (FL)
- Manuel UT
- Manyetik Parçacık Testi
- Son Göz Ölçü

Tozaltı ark kaynağından sonra; boruya ilk olarak soğutma sıvısı verilir. Daha sonra boru gövdesi otomatik ultrasonik laminasyon ile muayene edilir. En son kaynak dikişleri ve ITAB bölgesinin otomatik ultrasonik muayenesi yapılır.

### **6.8. Kimyasal Analiz**

Spektrometrede analiz anında boru örnek parça yüzeyinden sadece birkaç miligram buharlaşma ile materyallerin içerisindeki demir, karbon, silisyum, manganez, fosfor, kükürt ve diğer katkı maddelerin analizleri yapılmaktadır. Böylece dışarıdan alınan rulo sacların istenilen kimyasal özelliklere sahip olup olmadığı anlaşılmış olur. Eğer istenilen toleranslar dâhilinde ise üretime başlanır. Bu test her döküm bazı için ayrı olarak yapılır. Bunun yanı sıra ilgili üretim standartlarının hepsinde istendiği üzere boru ana malzemesinden de kimyasal analiz yapılmaktadır. Cihaz olarak, OBLF RS 1000 Optik emisyon spektrometre cihazı kullanılmaktadır.

Spektrometre analizi sırasında yaklaşık 5000 °C ısı açığa çıkmaktadır. 1 numuneden 2 kere analiz alınır. Alınan iki analiz sonrası % miktarı belirlenen elementlerin ortalama değerleri alınır.



Şekil 6.10. Spektrometre Analizi

Tablo 6.5. Kullanılan Boru Çeliğinin Kimyasal Analizi

Emek Boru Makina San. ve Tic. A.S.

Analiz Sertifikası

Analiz Neticeleri OBLF - Spectrometer

Rapor Nr.  
Tarih/Saat

Malzeme API5L X80MPSL2  
Numune No 0087

Nümunë Ad  
Dokum No  
Müsteri

OD x WT Ø 1219,2 x 16,67 mm

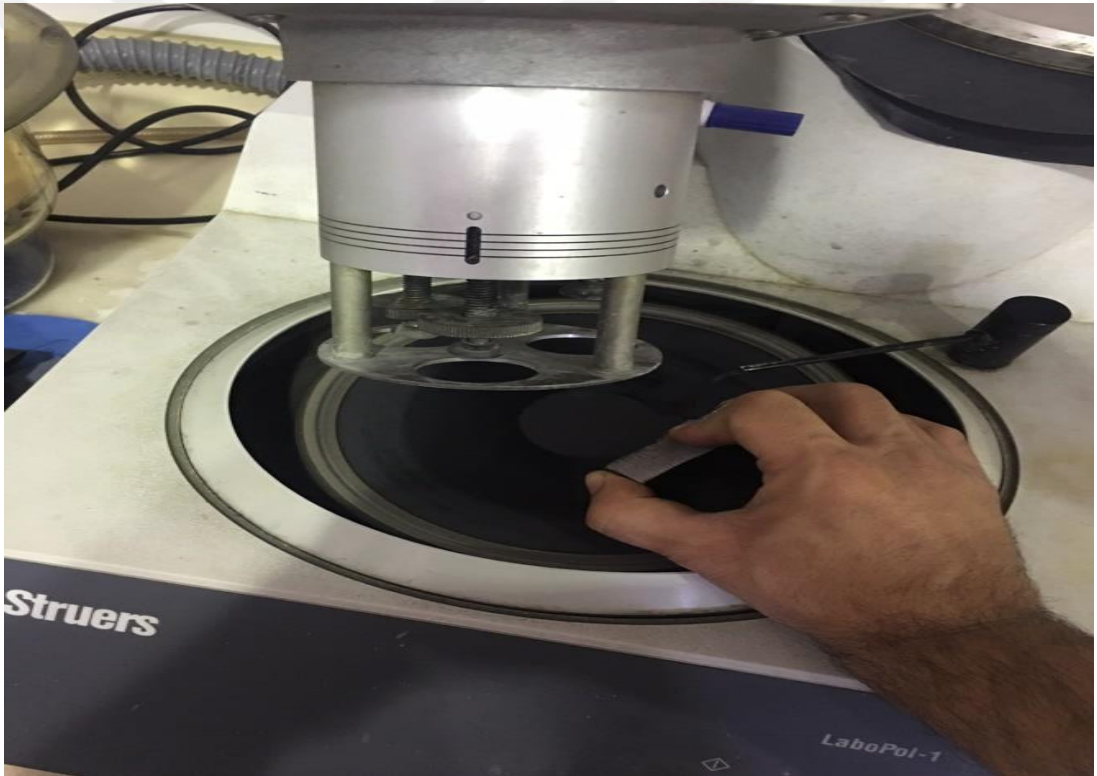
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu
0.075	0.268	1.600	0.007	< 0.0010	0.152	0.137	0.116	0.014
Al	Ti	V	Nb	W	B	As	Sb	Sn
0.034	0.0190	0.058	0.062	< 0.003	< 0.0001	< 0.0020	< 0.0010	0.0016
Pb	Ca	N	CE1	CE2				
0.003	0.0015	0.0040	0.189	0.417				

Deney numunesi Şekil 6.10.'da kullanılan spektrometre cihazı ile Tablo 6.5.'deki analiz sonuçları elde edilmiştir.

## 6.9. Mikroyapı İncelemeleri

### 6.9.1. Numune Hazırlama İşlemi

Kaynaklı bölgelerin optik mikroskopta incelemelerini yapabilmek için numuneler Struers LabaPol-1 cihazında sırasıyla 220, 600,1200 ve 2400 lük aşındırıcı zımpara ile yarı otomatik parlatma diskinde aşındırılmış ve daha sonra sırasıyla 6 µm, 3 µm ve 1 µm elmas parlatma sıvıları ile parlatma keçeleri kullanılarak parlatılmışlardır. Yüzeyleri parlatılan numuneler akabinde %3 Nital çözeltide 15 saniye bekletilerek dağlama işlemine tabi tutulmuştur (Şekil 6.11.).



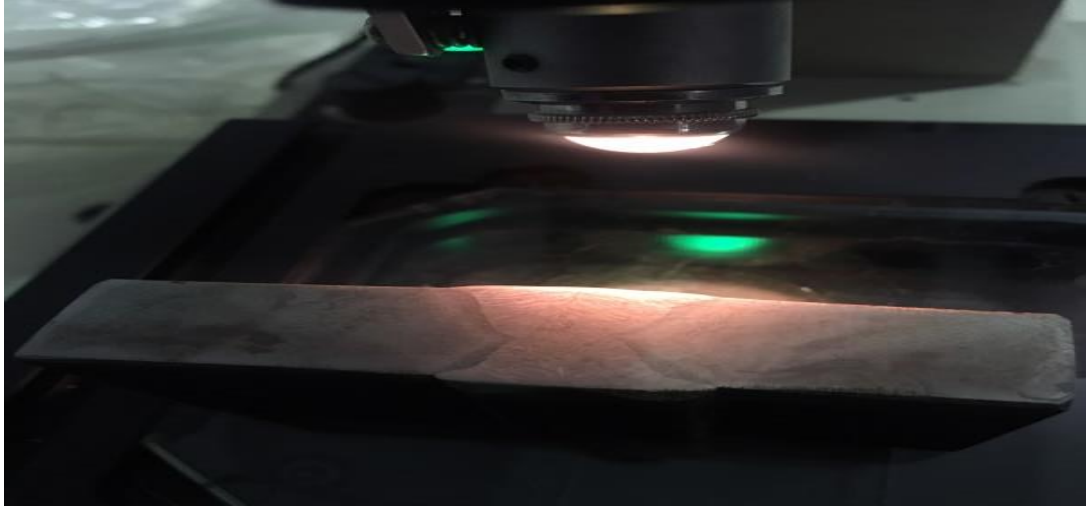
Şekil 6.11. Struers LabaPol-1 Zımparalama Cihazı

### 6.9.2. Makroyapı İncelemeleri

Optik mikroskop için hazırlanan deney numunelerinin öncelikle mercek altında yapılan ön incelemeden sonra TM Mitutoyo marka takımcı mikroskop kullanılarak makroyapı görüntülenmiştir. Birleştirme sonucu elde edilen kaynak metallerinin makro boyutta görüntüleri incelenmiştir (Şekil 6.12., Şekil 6.13.).



**Şekil 6.12.** Büyüteçle Ön İzleme



**Şekil 6.13.** Mitutoyo Takımcı Mikroskop

### **6.9.3. Optik Mikroskop ile Mikroyapı İncelemeleri**

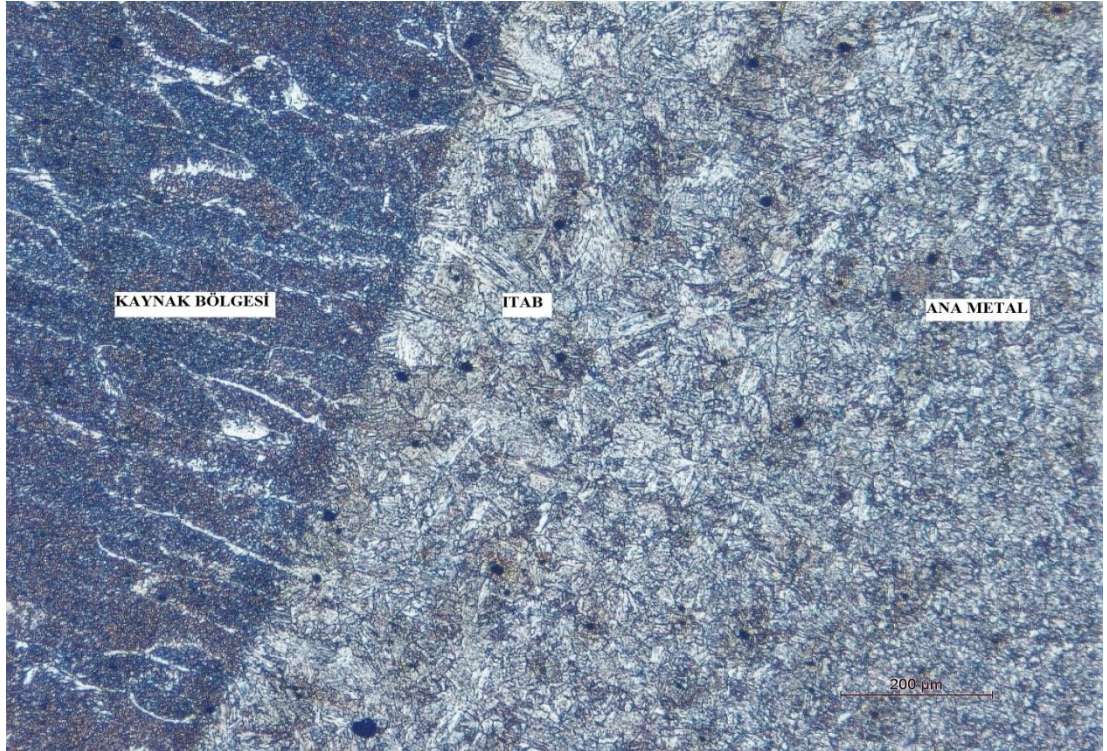
Dağlama işleminden sonra parçalar yıkanıp yüzeyleri alkol ile temizlenmiş ve sonra kurutulan numunelerin kaynak bölgesi, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB), ana malzeme,



kök ve geçiş bölgelerinin 500-1000 büyütmedeki mikroyapılar Leica DMI 5000M model optik mikroskop ile incelenmiştir (Şekil 6.14., Şekil 6.15., Şekil 6.16., Şekil 6.17.).

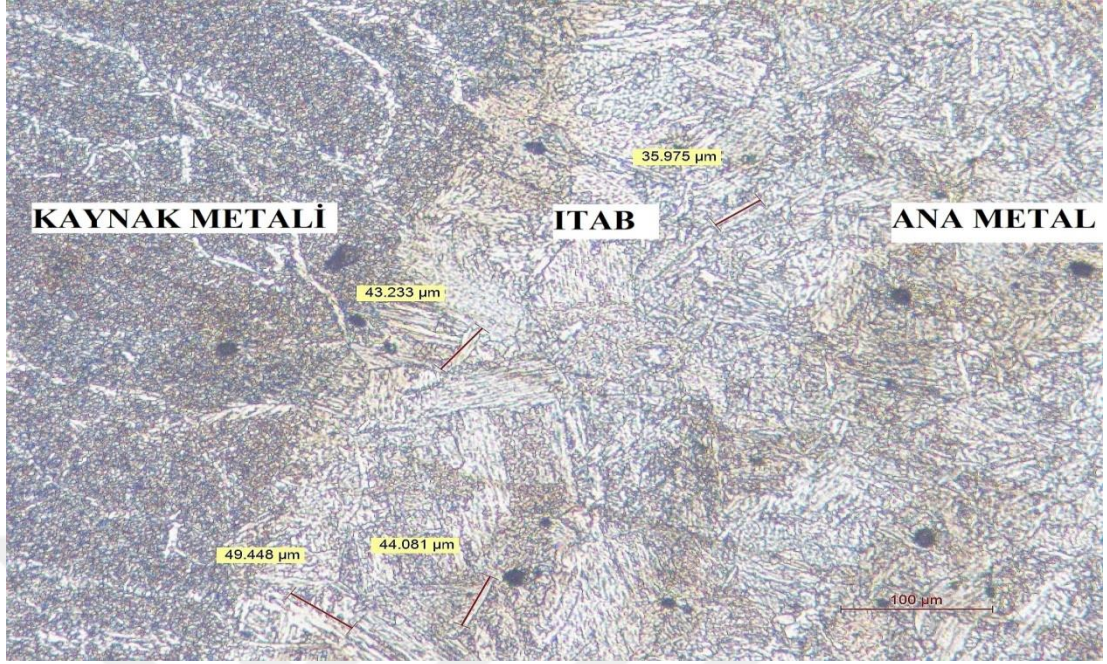


Şekil 6.14. API X80 Deney Numunesinin Kaynak Bölgesinin Görünümü

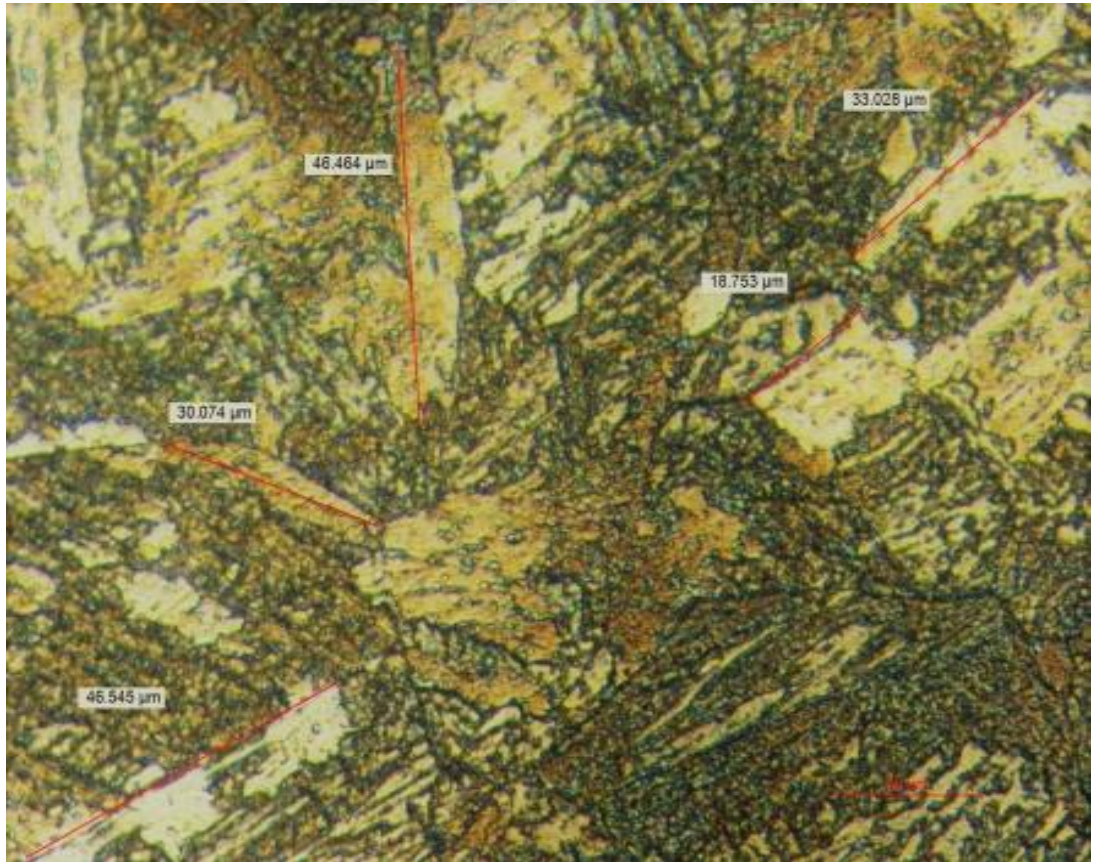


Şekil 6.15. Kaynak Bölgesinin Genel Görüntüsü-1





Şekil 6.16. Kaynak Bölgesinin Genel Görüntüsü-2



Şekil 6.17. Kaynaklı Numunenin ITAB Bölgesi

## 6.10. Boru Gövdesi ve Kaynak Dikiş Muayenesi

Boru gövdesine ve kaynak dikişine ultrasonik test uygulanarak boşluk çatlak vb. hatalar tespit edilmeye çalışılmıştır.

### 6.10.1. Boru Gövdesinin Otomatik Ultrasonik Testi

Borular spiral tezgâhında kaynak işlemi sonlandıktan sonra su yardımıyla soğutulur. Ayrıca muayene yapan problemlerin tutucularına su vanaları bağlanır. Suyun oluşturduğu ara yüzey vasıtasıyla borunun Tablo 6.6’da özellikleri belirtilen Scanmaster UPI-50 model cihazında kalibrasyonu sağlandıktan sonra (Tablo 6.7) otomatik ultrasonik muayenesi yapılır. 4 tane 0° lik boyuna dalga üreten TR problemler çelik içerisinde boyuna 5920 m/sn giderek boru gövdesindeki hataları tespit eder. Engelle karşılaşılan ses dalgaları geri döner ve burası hatanın tam koordinatını belirlediğimiz yerdir. Geri dönen ses dalgaları bir RPP yardımıyla bilgisayar sistemine aktarılmaktadır. Tespit edilen hata sonucu sistem otomatik olarak beyaz boya markalama yapar. Markalama yapılan bölgeler daha sonra Manuel UT tarafından kontrol edilerek geri işlem uygulanır (Şekil 6.18, Şekil 6.19). Kullandığımız deney numunesine yukarıdaki işlem basamakları ve kabul şartları göz önünde bulundurularak uygulandı. Test sonucunda kaynak hatasına rastlanılmamıştır.

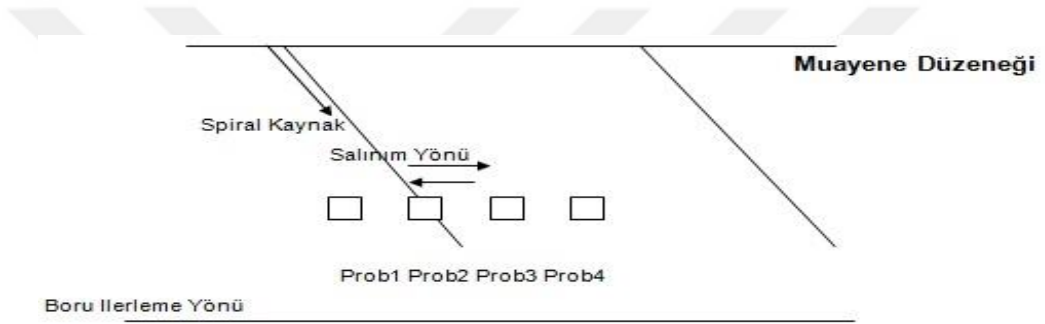
**Tablo 6.6.** Deneyde Kullanılan Otomatik Ultrasonik Test Cihazı ve Özellikleri

Üretici Firma ve Cihaz Tipi	Scanmaster UPI-50
Prob Tipi	T2DN4GP-12-M
Prob Frekansı	4 MHZ
Dalga Tipi	Basınç dalgası
Mod	T.R Problemler Muayene
Prob Sayısı	4 adet
Problemlerin Salınım Hızı	Max.500 mm/sec.
Test Tekniği	Darbe – Yankı Tekniği
Kaplin Sıvısı	Su
Belirtilerin Markalanması	Belirtiler otomatik olarak boya ile markalanır
Belirtilerin Değerlendirilmesi	Belirtiler Manuel UT muayene ile değerlendirilir.





Şekil 6.18. Otomatik Ultrasonik Boru Gövdesi Laminasyon Muayenesi



Kabul seviyesi	Minimum Tarama	ProblarArası Max Açıklık
U1	20	100
U2	10	150
U3	5	200

Şekil 6.19. Otomatik Ultrasonik Boru Gövdesi Laminasyon Muayenesi

**Tablo 6.7. Ultrasonik Laminasyon Muayene ve Kalibrasyon Formu**

Rulo No Coil No	Boru No / Pipe No	Belirti Konumu Location of Indication qxL (mm)		Sonuç Result	Rulo No Coil No	Boru No / Pipe No	Belirti Konumu Location of Indication qxL (mm)		Sonuç Result
	708910	no	Indication						
	708911	no	Indication						
	708912	3500X10							
	708913	no	Indication						
	708914	9500X10							
	708915	no	Indication						
						Operatör/Operator		Onay / Approved By	

q : Belirti veya hata uzaklığı  
Indication or Defect Distance  
L:Belirti veya Hata Boyu  
Indication or Defect Length

Form No : FR-473

Revizyon no : 00

Revizyon Tarihi :

**Emek Boru**

**ULTRASONIC LAMINATION INSPECTION AND CALIBRATION FORM**

Makina Sanayi ve Ticaret A.Ş.

**ULTRASONİK LAMİNASYON MÜAYENE VE KALİBRASYON FORMU**

Tarih/Date :

Boru Çapı Pipe Diameter	Et Kalınlığı Wall Thickness	Malzeme Material	Cihaz Equipment	Test Standartı Test Standart	Değerlendirme Standartı Evaluation Standart	Müşteri Customer	Sipariş No Order No				
Ø 1422.4mm	19,45mm	API 5L X80M PSL2	ScanMaster AS200	ISO 10893-9 UEC-PCD-PPL-PPG-606	ISO 10883-9 UEC-PCD-PPL-PPG-606		15/001-1				
Prob Tipi-No Prob Type-No	Prob Çapı ve Frekansı Prob Dimension and Frequency	Kalibrasyon Mesafesi Calibration Distance (mm)		Kalibrasyon Bloğu Calibration Block	Referans Yansıttıcı Reference Refractor	Duyarlılık Kalibrasyonu					
P3 DN 5	2(54*3)-5 MHz	d/2		Boru Duvarı	Back Wall	Ref. Seviye Ref. Level (E.Y) /Negative Gate Level	Have Kazanç Değeri Additional Gain Value	Kayıt Seviyesi Rec. Limit	Tarama Hızı Scanning Speed	TARAMA ALANI COVERACE %	
						% 80 / % 30	+6 dB	6dB(%40-%30)	1.4 m/sn	% 100	
KANAL NO CHANNEL NO	Kayıt Kazanç Değeri Recording Gain Value(dB)	Recording Gain	KANAL NO CHANNEL NO	Kayıt Kazanç Değeri Recording Gain Value(dB)	Recording Gain	KANAL NO CHANNEL NO	Kayıt Kazanç Değeri Recording Gain Value(dB)	Recording Gain	KANAL NO CHANNEL NO	Kayıt Kazanç Değeri Recording Gain Value(dB)	Recording Gain
1	33.5		14	38.8		27	38.2		40		
2	33.7		15	37.4		28	40.5		41		
3	37.8		16	39.2		29	38.7		42		
4	41.4		17	38.5		30	39.8		43		
5	38.2		18	39.7		31	37.4		44		
6	39.5		19	37.2		32	39.2		45		
7	38.4		20	39.5		33	53.2		46		
8	41.8		21	39.1		34	37.4		47		
9	49.9		22	38.8		35	43.3		48		
10	41.4		23	38.4		36	36.7		49		
11	38.2		24	38.2		37	39.8		50		
12	38.5		25	38.5		38	38.9		51		
13	37.1		26	34.1		39			52		
Kalibrasyon Tarihi ve Saati/Calibration Date and Time						Kalibrasyonu Yapan /Calibrated By					

### 6.10.2. Kaynak Dikiş Muayenesi

Bu muayene talimatı, spiral kaynaklı çelik boruların kaynak dikişleri ve ITAB bölgelerinde oluşabilecek hataların Tablo 6.8’de özellikleri belirtilen Scanmaster UPI–50 otomatik ultrasonik muayene cihazı ile tespit edilebilmesi için hazırlanmıştır (Şekil 6.20.). 2 adet TR propla ve 4 adet 70° ‘lik açılı proplarla çelik içinde boyuna ve enine dalga olarak giderek kaynak yapılmış bölgelerdeki hataları tespit eder ve hata bölgelerini beyaza boyar. Test propları, kaynak dikişinin her iki kenarı boyunca kılavuzlu bir sistem vasıtası ile kaydırılarak taşınabilir. Otomatik tetkik hattı, bilgisayar donanımlı ve lazer sistemle çalışan bir izleyici vasıtasıyla, sürekli belirlenen bir pozisyonda tutulabilir. Tablo 6.9.’da ITAB muayene formu prosedürüne uygun olarak Otomatik UT’lerden gelen belirtiler floroskopik muayene ve manuel UT muayene sonucunda değerlendirilir.



Şekil 6.20. Otomatik Ultrasonik Boru Gövdesi Laminasyon Muayenesi

**Tablo 6.8.** Ultrasonik Boru Gövdesi Laminasyon Muayenesi ve Cihaz zellikleri

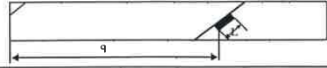
<b>Prob Tipi</b>	RSA – 70 UGP – 25 ET
<b>Prob Frekansı</b>	4,0 MHz
<b>Prob Açısı</b>	70° ( elikte )
<b>Dalga Tipi</b>	Enine Dalga
<b>Prob Sayısı</b>	4
<b>Uygulanan Ultrasonik Test Teknikleri</b>	Darbe-Yankı tekniği ve Geçirim tekniği
<b>Temas Metodu ve Ortamı</b>	Doğrudan temas tekniği ve su

#### **Kabul Sınırı**

API 5L’e göre kabul seviyesi;

- Kaynak dikişine radyal yönde açılmış Ø 1.6mm delik boyuna ve enine yönde açılmış N5 entiklerinden alınan sinyalin tamamıdır. (%100 E.Y)
- Kaynak dikişine radyal yönde açılmış Ø 3,2 mm delik veya boyuna ve enine açılmış N10 entiklerinden alınan sinyalin %33’ dr.(%33 E.Y)

**Tablo 6.9. ITAB Ultrasonik Muayene Formu**

Emek Boru		HAZ ULTRASONIC INSPECTION AND CALIBRATION FORM							
Malikna Sanayi ve Ticaret A.Ş.		ITAB ULTRASONİK MUAYENE VE KALİBRASYON FORMU							
Tarih/Date:									
Boru Çapı / Pipe Diameter	Et Kalınlığı / Wall Thickness	Malzeme / Material	Cihaz / Equipment	Test Standardı	Değerlendirme Standardı / Evaluation Standard	Müşteri / Customer	Sipariş No	Order No	
Ø1422.4mm	19.45 mm	X80 M	scan master AS200	ISO 10893-8 & UEC-PCD-PPL-PLG-607	ISO 10893-8 & UEC-PCD-PPL-PLG-607	TANAP		15/001-1	
Duyarlılık Kalibrasyonu									
Prob tipi-No / Prob type-No	Prob Çapı ve Frekansı / Prob Dimension and Frequency	Kalibrasyon Mesafesi / Calibration Distance (mm)	Kalibrasyon Bloğu / Calibration Block	Referans Çukuk/Delik / Reference Notch-Hole	Ref. Seviye Ref. Level (E.V)/Negative Gate Level	İlave Kazanç Değeri / Additional Gain Value	Kayıt Seviyesi Rec. Limit	Kayıt Kazanç Değeri / Recording Gain Value (dB)	
1. Prob (ch 1)	TR Prob / TR Prob (54*3mm-5Mhz)	d / 2	Boru Parçası	Arka Duvar Back Wall	% 80 / % 30	+6 dB	-6dB(%40-%30)	33.4	
2. Prob (ch 38)	TR Prob / TR Prob (54*3mm-5Mhz)	d / 2	Boru Parçası	Arka Duvar Back Wall	% 80 / % 30	+6 dB	-6dB(%40-%30)	38.2	
3. Prob (ch 39)	Düz Prob / Flat Prob (6mm - 4Mhz)	d / 2	Boru Parçası	Arka Duvar Back Wall	% 80 / % 30	+6 dB	-6dB(%40-%30)	65.5	
4. Prob (ch 40)	Düz Prob / Flat Prob (8mm - 4Mhz)	d / 2	Boru Parçası	Arka Duvar Back Wall	% 80 / % 30	+6 dB	-6dB(%40-%30)	39.7	
5. Prob (ch 60)	TR Prob / TR Prob (32*3mm-5Mhz)	d / 2	Boru Parçası	Arka Duvar Back Wall	% 80 / % 30	+6 dB	-6dB(%40-%30)	30.4	
6. Prob (ch 61)	TR Prob / TR Prob (32*3mm-5Mhz)	d / 2	Boru Parçası	Arka Duvar Back Wall	% 80 / % 30	+6 dB	-6dB(%40-%30)	58.2	
Kalibrasyon Tarihi ve Saati / Calibration Date and Time					Kalibrasyonu Yapan / Calibrated By				
Rulo No / Coil No	Boru No / Pipe No	WELD HAZ	Belirli Konumu / Location of Indication qL (mm)	Sonuç / Result	Rulo No / Coil No	Boru No / Pipe No	WELD HAZ	Belirli Konumu / Location of Indication qL (mm)	Sonuç / Result
	708910	HAZ	No Indication						
	708911	HAZ	No Indication						
	708912	HAZ	No Indication						
	708913	HAZ	No Indication						
	708914	HAZ	No Indication						
	708915	HAZ	No Indication						
 <p>q : Belirli veya hata uzaklığı / Indication or Defect Distance L: Belirli veya Hata Boyu / Indication or Defect Length</p>					Operatör / Operator		Onay / Approved By		
Form No : FR-127					Revizyon no : 03		Revizyon Tarihi		

Otomatik ultrasonik test cihazından ve radyografik muayenede gelen tespitler son olarak manuel ultrasonik incelemeye tabi tutularak hata seviyesi değerlendirilir (Şekil 6.21.)





**Şekil 6.21.** Floroskobik ve Ultrasonik Hata Tespiti

### **6.11. Plazma Kesim**

Otomatik ultrasonik muayenelerin ardından plazma kesim işlemi yapılır. Borular istenen boru boyuna göre plazma ünitesi ile kesilir. İmal edilecek boru çapına göre plazma nozulunun taşıyıcı şasesini altında bulunan kare vidalar vasıtasıyla boru konveyörün içine hareket ettirilir. Plazma nozulunun taşıyıcı şasesi kızak üzerinde sola doğru hareket ettirilerek kızığın sonunda bulunan dayamaya temas ettirilir. İmal edilecek boru boyuna göre, plazma nozulundan boru boyu kadar olan mesafe konveyör boyunca ölçülür ve tespit edilen noktaya limit swich in yaylı kolu gelecek şekilde swich şasesi yerleştirilir. Plazma güç ünitesi çalıştırılır ve ünitenin arkasındaki basınç regülatöründen giriş basıncı 90 psi olarak ayarlanır, plazma kızığının sağ tarafında bulunan limit düğme ayarları yapılır. Üretilen borunun et kalınlığına göre plazma güç ünitesinin gücü ayarlanır. Boru konveyör üzerindeki limit swichi yaylı koluna temas ettiği zaman taşıyıcı şase üzerindeki kare vida kullanılarak plazma nozulu, borunun yüzeyine 6 mm kalacak şekilde yaklaştığı sırada kesme işlemi başlatılır. Kesme işlemi bittiği zaman limit düğme kullanarak plazma nozulu geri çekilir ve boru ile teması kesilir. API 5L standardına göre yapılan imalatlarda boru numarası ve sipariş numarası imalat bitinceye kadar boru ağzı içine ve dışına boru ağzından 50 mm içeride olacak şekilde tebeşirle yazılır.



**Şekil 6.22.** Plazma Kesim Ünitesi

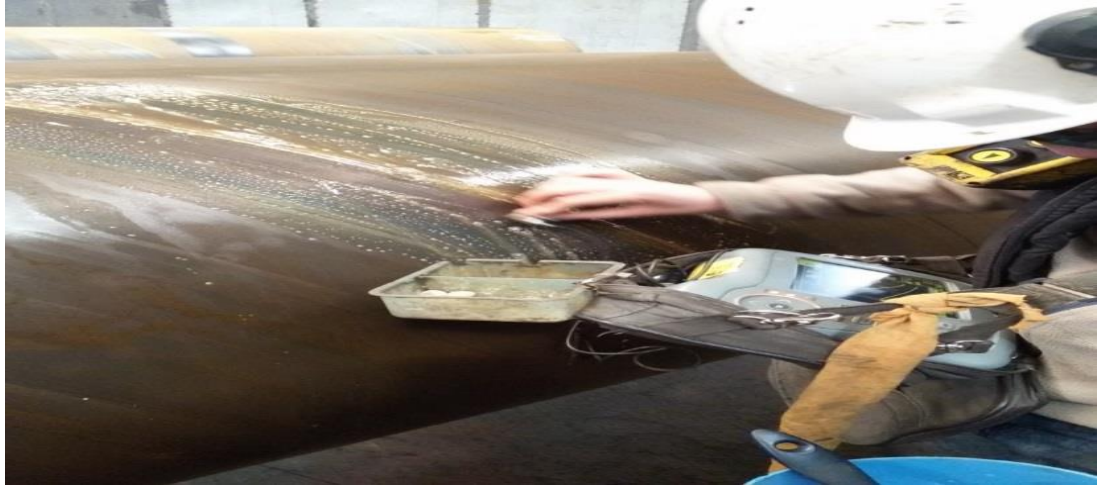
Otomatik ultrasonik muayenelerde belirti yoksa boru kesildikten sonra hidrostatik teste gönderilir ancak belirti varsa manuel ultrasonik muayene yapılır. Manuel ultrasonik muayeneden sonra borudaki belirtiler muayene standardının kabul değerleri içinde ise, boru hidrostatik teste gönderilir, eğer kabul değilse tamirat yapılır ve sonra yeniden manuel ultrasonik muayenesi yapılır. Deneyde kullanılan borular kabul değerlerini sağladığı için devamında hidrostatik teste geçilmiştir.

### **6.12. Manuel Ultrasonik Muayene**

Bu muayene talimatı spiral kaynaklı çelik boruların kaynak dikişlerinin, ITAB bölgelerinin, tamirat kaynaklarının ve bant eki kaynaklarının manuel ultrasonik muayene kurallarının ve kabul kriterlerinin belirlenmesi için Tablo 6.10'da belirtilen cihaz özelliklerine uygun hazırlanmıştır. Boru tezgâhtan ayrıldıktan sonra otomatik UT nin boyadığı hata bölgelerine ve boru uçlarının üzerine sıvı sabun sürülerek ara yüzey oluşturulur ve bu bölgeler muayene edilir. Düşük alaşımlı, ince taneli, yüksek mukavemetli yapı çelikleri olan petrol boru çeliklerinin imalat aşamasında, tamirat öncesinde ve su testinden sonraki değerlendirme aşamalarında muayeneleri gerçekleştirilmektedir. Hatanın derinliğini iç kaynağa mı yoksa dış kaynağa mı daha yakın olduğunu tespit eder. İç yarma, dış yarma veya tam yarma yapılıp yapılmayacağı belirlenir. Bu muayene API 5L / ISO 10893-11 standartlarına göre yapılmaktadır.

**Tablo 6.10.** Manuel Ultrasonik Muayene

Cihaz	Krautkramer USM35, Sonatest Sitiescan 140
Frekans Aralığı	0,5 – 15 MHz
Mesafe Aralığı	0 – 5 metre
Prob Açılı	Kaynak dikişleri için 45°,60°,70° açılı prob. Ana malzeme muayenesi için TR problemler.
Muayene Şekli	Manuel
Test Tekniği	Darbe – Yankı metodu
Muayene Sıcaklığı	Max 25° C
Tarama Yönleri	Şekil 6.23'e göre TY-1, TY-2 ve yaklaşık 10° açılardır. Çift taraftan enine tarama yapılır.
Temas Ortamı	Sıvı sabun.
Kaynak Prosesleri	Toz altı ark kaynağı (SAW) ve elektrik ark kaynağı (SMAW)
Muayene Zamanı	İmalat aşamasında, tamirat öncesinde ve hidrostatik testten sonra gelen değerlendirme aşamalarında



**Şekil 6.23.** Manuel Ultrasonik Muayene Uygulaması



### 6.13. Kaynak İle Oluşabilecek Hatalar ve Tamirleri

1) **Gözenek:** Gazların katılaştıran metal içinde sıkışıp kalması sonucu meydana gelir. Oluşturan süreksizlik genellikle düzgün kenarlı ve küresel şekildedir. Ancak kanal veya kurtçuk yuvası şeklinde de olabilir. Gözenek çeşitleri; homojen dağılmış, toplu gözenek, sıralı gözenek, gaz kanalı, kurtçuk oyukları.

2) **Yetersiz Nüfuziyet:** Kaynak metalinin hatalı kaynak ağzı, hatalı açısı ve hatalı kaynak yapma şekli sebebi ile kaynak banyosunun bölümlerine yeterli nüfuziyet sağlayamadığı durumları tanımlamaktadır.

3) **Yanma Oluşu:** Yanma olukları ana metal kaynak dikişi geçiş bölgesinde, yüzeyde görülen süreksizliklerdir. Ana metalin ergitilip uzaklaştırıldığı, ancak o bölgeyi doldurabilecek miktarda yeterli dolgu malzemesinin beslenmediği durumları tanımlar.

4) **Çatlaklar:** Kaynak dikişi veya ana metaldeki gerilmelerin malzemenin çekme dayanımının üzerine çıkması sonucu oluşur.

5) **Ark Yanığı:** Oluşturma nedeni kaynak arkının kazara veya bilerek kaynak ağzı dışında (ana metal üzerinde) yakılmasıdır. Bu yapıldığında ana metal üzerinde aniden eritilmiş ve aşırı hızlı soğutulmuş bir bölge oluşturulur. Bu da çatlamalara sebep olabilir.

6) **Yetersiz ergime:** Kaynak metalini ile ana metal arasında ergimenin olmadığı bölgeleri tanımlamaktadır.

7) **Kalıntılar:** Kaynak metalini içinde veya kaynak metalini ile malzeme arasında sıkışmış metalik olmayan katı maddeler. Cüruf kalıntıları, görevi ergimiş kaynak metalini korumak olan örtünün katılaştıran kaynak dikişi içerisinde tutulmuş olmasıdır.

8) **Aşırı Yüksek Kaynak Dikişi:** Kaynak ağzını doldurmak için gerekli olandan çok daha fazla miktarda bulunan kaynak metalini şeklinde ifade edilir. Kaynaklı birleştirmenin her iki tarafında oluşan yüksekliği belirtmek için 'kepte aşırı yükseklik' veya 'kökte aşırı nüfuziyet' ifadeleri kullanılır.

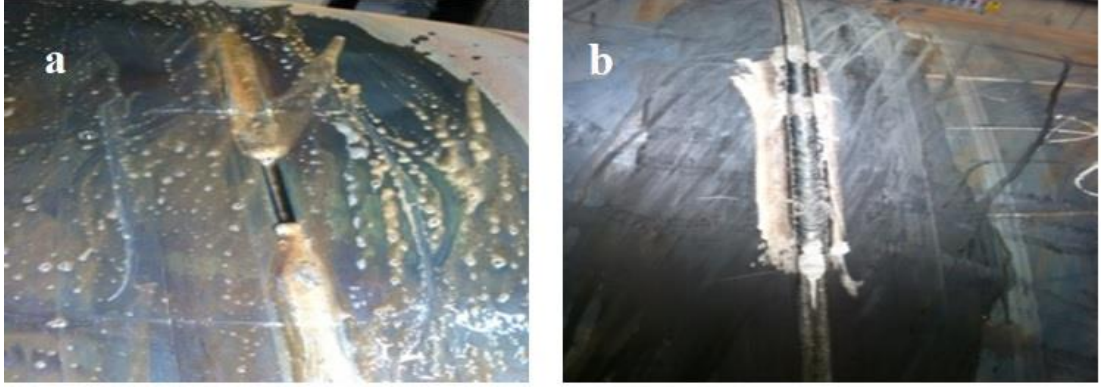
Manuel UT ile derinlikleri belirlenen bu hatalar iç yarma, dış yarma veya tam yarma yöntemi ile V kaynak ağzı açılıp elektrik ark kaynağı uygulanarak tamir edilir.

## **Kaynak İle Hataların Tamirata**

Kaynak teknisyeninin işaretlediği hatalı bölge yazılmış olan hatanın cinsi, yeri ve ebatlarına göre hata giderilmeye başlar. İşaretlenen bölgenin büyüklüğüne ve hatanın boyutlarına göre 0,4 mm ile 0,8 mm arasında bir karbon kesme elektrotu seçilir ve hatalı bölge derinliğini 1-2 mm geçecek şekilde oluk açılır ve bu bölge taşıyarak temizlenir, daha sonra tel fırça kullanılarak taşlama artıkları, metal kalıntıları temizlenir. Hata, yüzeye açılan gözenek, krater çatlak, mikro çatlak gibi küçük hatalar ise karbon kesme elektrotu kullanmaksızın sadece taşıyarak hata giderilir.

Hatanın cinsi ve derinliğine bağlı olarak çift taraflı kaynak yapmak gerekiyorsa oluk açma işleminden sonra dış taraftan taşıyarak 'V kaynak ağzı açılır. Kaynak ağzının düzgün açılıp açılmadığı, hatanın tamamen giderilip giderilmediği kontrol edilir. Yapılan tahribatsız muayenelerin sonucu olumlu olursa tamirata başlanır. Şekil 6.24'de tel kesimi ve kaynak bindirme hataları gösterilmektedir.

Tamir kaynağı için elle ark kaynak yöntemi uygulanır ve kaynak dolgu malzemesi olarak düşük hidrojen içeren bazik elektrotlar kullanılır. Bu elektrotlar 300-350°C lik fırınlarda muhafaza edilir. Şase bağlantısı kontrol edilir, bağlantı kelepçesi üzerindeki yağ, pas temizlenir ve şase ana malzeme üzerinden alınır. Ark yanıklarını önlemek amacıyla, ilk arkı bir alıştırma parçası üzerinde alınır ve amper, voltaj değerleri ayarlanır. Tamirata başlamadan önce kaynak yapılacak bölge su, nem, yağ, pastan arındırılır ve minimum 100°C ye getirilir. Tamirat bittikten sonra kaynak cürufunu çekiç, fırça vb. ile temizlenir ve kaynak görsel olarak kontrol edilmelidir.



**Şekil 6.24.** Örnek Kaynak Hataları a) Dış Kaynak Bindirmesi b) Tel Kesigi

#### 6.14. Hidrostatik Test

Plazma kesimden gelen boru hidrostatik teste tabi tutulur. Bu test borunun içine basınçlı su verilerek yapılan bir test olup boru ana malzemesinin uygulanan basınç altında sağlamlığını, kaynak dikişinin sızdırmazlığını ve basınca karşı dayancını ölçer. Tezgâhtan çıkan boru hidrostatik test ünitesine getirilir ve ilk olarak sabit sonra hareketli aynaya yerleştirilerek, borunun hidrostatik test tezgâhına oturtulması sağlanır. Yerleştirilen boruya su veren küresel vanalar açılarak su pompaları çalıştırılır. Ve boru su ile doldurulur. Bu işleme borunun içinde kalan hava tahliye vanasından tamamen çıkıncaya kadar devam edilir (Şekil 6.25).

Tahliye vanasından hava yerine tamamen su gelince, hava tahliye vanası kapatılır. Bu işlemden sonra basınç pompası çalıştırılarak manometreden boru içerisindeki su basıncının yükselişi izlenir. İstenilen basınç elde edildiğinde bu basınçta üretim standardına göre 10 saniye ( varsa şartnamesinde belirtilen süre kadar ) bekletilir. Hidrostatik test esnasında, basınçta bir azalma, borunun şeklinde herhangi bir plastik deformasyon yoksa test süresi dolduktan sonra basınç azaltılır ve su boşaltılır. Tablo 6.13'da özellikleri belirtilen deney numunesinin Tablo 6.12'deki 4 no'lu tezgâha yerleştirilmiştir. API 5L spesifikasyonuna göre (Tablo 6.11) uygulanan deney sonuçları Şekil 6.26'te verilmiştir.



**Şekil 6.25.** Hidrostatik Test Aşaması

Hidrostatik test basıncı şu formüle göre hesaplanır;

$$P \text{ (bar)} = 20 \times S \times t/D \text{ [60]} \quad (6.3.)$$

t = Borunun Et Kalınlığı

D = Borunun çapı

API 5L spesifikasyonuna göre hidrostatik test basıncı

**Tablo 6.11.** API 5L Spesifikasyonuna Göre Hidrostatik Test Basıncı [59]

Malzeme kalitesi	Boru Dış Çapı (OD) (mm)	'S' Değerinin Belirlenebilmesi için Minimum Akma Mukavemeti ile Çarpılacak Yüzdeler	
		Standart Test Basıncı	Alternatif Test Basıncı
Gr B	Tüm Çaplar	60 <sup>a</sup>	75 <sup>a</sup>
X42 – X120	219,1 < OD < 508	85 <sup>b</sup>	85 <sup>c</sup>
X42 – X120	OD ≥ 508 mm	90 <sup>b</sup>	90 <sup>c</sup>

**a:** Dış Çapı OD > 88,9 mm den büyük borular için test basıncının 19 MPa değerini aşması gerekmez.

**b:** Test basıncının 20,5 MPa değerini aşması gerekmez.

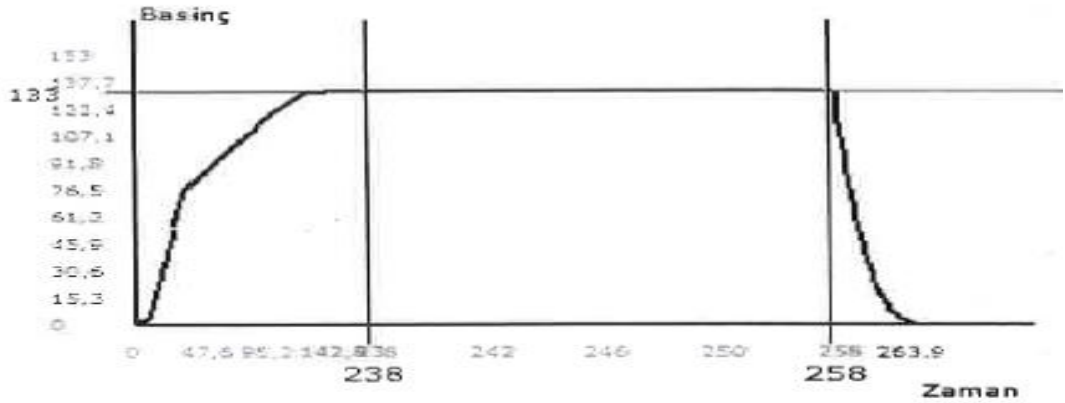
c: Test basıncının  $OD \leq 406,4$  mm için 50 MPa ;  $OD > 406,4$  mm için 25 MPa değerini aşmaması gerekir.

**Tablo 6.12.** Hidrostatik Test Tezgâhı Boru Çap ve Uzunlukları

Hidrostatik Test Tezgâhı	Boru Çapı	Boru Boyu	Test Tezgâhı
1	219.1-508 mm	6-12 m	200 Ton
2 ve 3	273-1219.2 mm	6-12 m	1000 Ton
4	508- 1828.8 mm	6-16 m	2000 Ton

**Tablo 6.13.** Deney Borusunun Özellikleri

Boru Uzunluğu(mm)	13700
Dış Çap(mm)	1422.4
Et Kalınlığı(mm)	19.45
Standart	API 5L
Malzeme	X80
Test Basıncı (bar)	133
Test Süresi (sn)	20
Kök Paso(%)	20
Test Tipi	Dış Keçe



**Şekil 6.26.** Deney Numunesinin Hidrostatik Test Grafiği

### 6.15. Boru Ucu İşlemleri

Üretilen boruların sahada birleştirilmesini kolaylaştırmak ve kaynak güvenliğini artırmak amacıyla uçları belli bir açıyla tornalanarak kaynak ağzı açılır. Bu işlemden

belirli bir yüzey kaldırılacağı için sızıntıya mahal verebilecek herhangi bir hata olup olmadığı boru ucu manyetik muayene yöntemiyle tespit edilir.

### 6.15.1. Boru Ucu Tornalama İşlemi

Hidrostatik testten gelen borular kaynak ağzı açmak için torna tezgâhına gider (Şekil 6.27). Burada çelik boruların ağızlarına standartlara ve müşteri isteklerine göre kaynak ağzı açılarak, boru hatlarının montaj sırasındaki ek kaynaklarının emniyeti sağlanır. Bu işleme geçilmeden önce imalatı yapılacak boru çapına göre torna aynası ve torna ayakları takılır. Boru boyuna göre ve borunun yatay ekseninde dengesini sağlayacak şekilde torna tekerleri ayarlanır. Kaynak ağızlarında talaş artığı, çapak, kalem izi gibi hataların olup olmadığı kontrol edilir. Boru ağızları torna işlemi sırasında tel fırça veya eğe ile temizlenir.



Şekil 6.27. Boru Ucuna Kaynak Ağzı Açan Torna Tezgâhı

Tornada kaynak ağzı açılan borular offline bölümüne gelir (Şekil 6.28). Offline bölümünde borudaki kaynaklar ve boru uçarının muayenesi yapılır. Online benzer şekilde burada da problemlerden iletilen ses dalgaları sayesinde hataların tespiti yapılır. Ses dalgasındaki süreksizlik kaynakta hata olduğu belirterek hatalı bölgelere boya atar. Hatalı kısımlar manuel UT cihazı ile tekrar kontrol edilerek Boruya ret veya onay verilir. Offline sisteminde 4 saat de bir kalibrasyon yapılır.





**Şekil 6.28.** Boru Ucu Offline Muayene

### **6.15.2. Boru Ucu Manyetik Muayene**

TANAP projesinde uygulanmış testtir. Borunun iki ucuna da karanlık odada manyetik test yapılır (Şekil 6.29, Şekil 6.30.). Sistem boru ucuna otomatik olarak demir tozlu püskürtme yapmaktadır. 3 adet mıknatısla manyetik alan oluşturularak boru ucundaki herhangi bir yüzeysel çatlak olup olmadığı tespit edilmektedir.



**Şekil 6.29.** Boru Ucu Manyetik Test-1



**Şekil 6.30.** Boru Ucu Manyetik Test-2

### **6.16. Floroskopik Muayene**

Boru kaynak bölgesinde X-ışını yardımıyla sağlanan bir sürekli görüntüleme yöntemidir. Bu muayene;

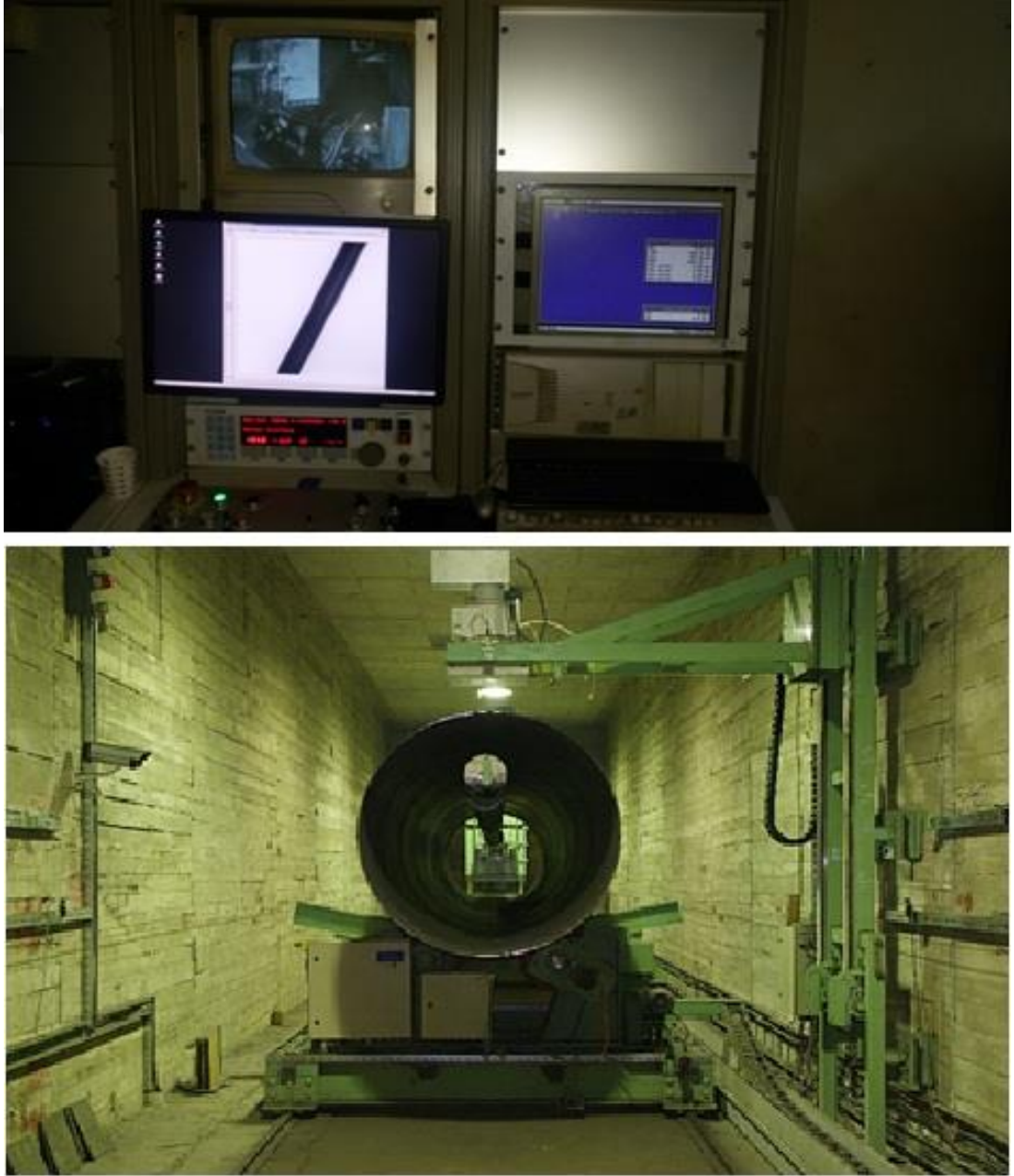
- Yetersiz nüfuziyet,
- Kök hataları ve sıcak yırtılmalar,
- Çatlak karakterlerindeki belirtiler,
- Tek başına ve sıralı cüruf inklüzyonları,
- Borunun içinde ve dışında oluşabilen yanma olukları
- Gaz boşlukları

gibi belirtiler tespit edilebilmektedir (Şekil 6.31).

Radyografik muayene filmlerinde kaynak dikişi açık renkte, ana malzeme ve hatalar koyu renkte görünür. Bunun sebebi, kaynak dikişinin ana malzemeden daha yoğun olması ile kaynak dikişinden geçen ışınların filmi daha az yakması, ana malzemenin kaynak dikişinden daha az ışını absorbe ederek daha fazla ışını filme göndermesidir. Floroskopik muayenede görüntü sistemi filmlerin tam tersidir. Sistem 160 kV ve 4 mA çalışıyor. X ışını üretimi tüp içerisindeki anotta elektronlar üretilip yüksek voltaj



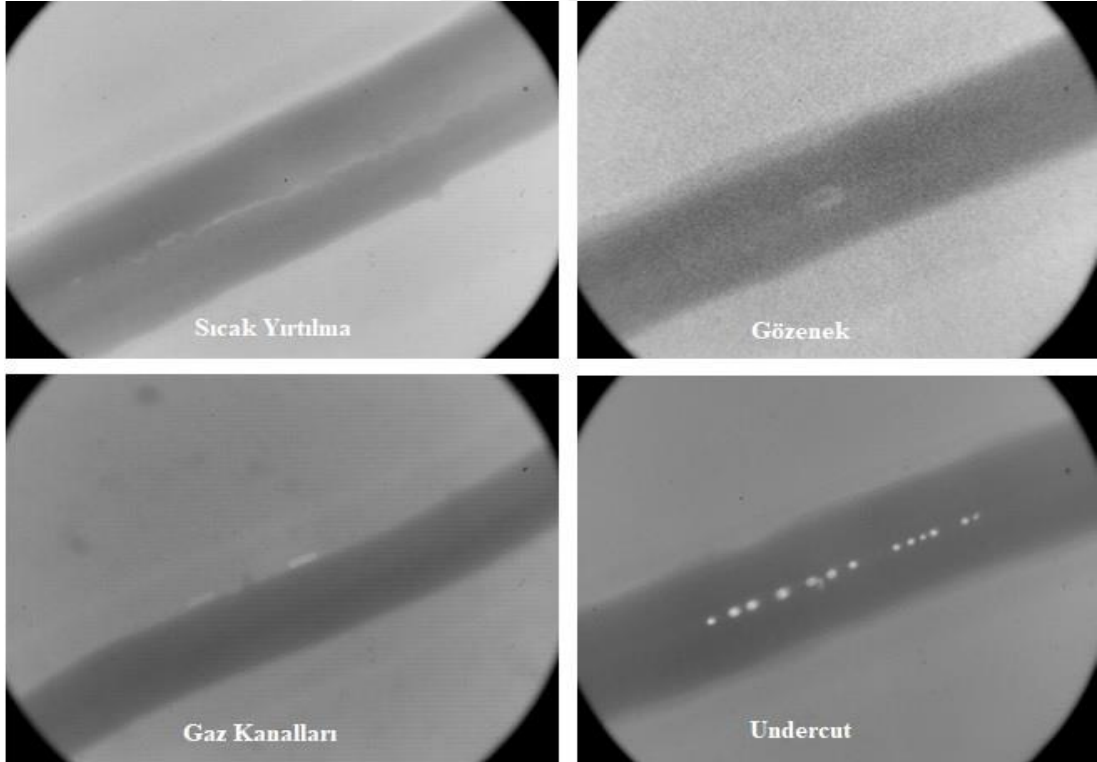
altında gerilim sağlanarak elektronlar anottan katoda çarptırılır ve bunun sonucu olarak da %1 X ışını %99 ısı açığa çıkar. Tablo 6.13'te daha önce hidrostatik testte özelliklerini belirttiğimiz deney numunesine Tablo 6.14'te özellikleri belirtilen floroskopik deney cihazıyla test edilmiştir. Sonuç olarak kaynak dikişinde herhangi bir hataya rastlanılmamıştır (Şekil 6.31). Daha önce farklı numunelerde tespit edilen kaynak hataları ise Şekil 6.32.'de gösterilmiştir. Deney numunesinde kaynak hatası tespit edilmediği için Tablo 6.15'teki uygunluk sertifikası hazırlanmıştır.



**Şekil 6.31.** Floroskopik Muayene Ünitesi

**Tablo 6.14.** Deneyde Kullanılan Floroskopi Cihazı ve Ekipmanları

Tüp Tipi (Metal – Seramik Tüp)	M X R – 160 / 0,4 – 0,4
Tüp Voltajı	160 kV
İzolasyon Malzemesi	Seramik
Nüfuz Edilebilen max. Kalınlık	Çelik - 35 mm.
Soğutma Sıvısı ve Akış Hızı	Su, 4 litre/dak.
Odaktan 1 m. Uzaktan max. Doz Hızı	< 250 mR/h
Target Malzemesi Konum Açısı	Wolfram / 20°
Doğal Filtreleme	0,8 mm Be
Tüp Akımı (160 kV de)	4,0 mA
Sürekli Kapasite	640 W.
Odak Boyutu	Çift odaklı 0,4 mm



**Şekil 6.32.** Floroskopik Muayene Cihazında Gözlemlenen Hata Görüntüleri

**Tablo 6.15. Floroskopik Muayene Sertifikası**

Emek Boru		FLUOROSKOPIC INSPECTION CERTIFICATE						FLORSKOPIK MUAYENE SERTİFİKASI													
Maden Sanayi ve Ticaret A.Ş.																					
Order No Sipariş No		Material Malzeme	API 5L X80M PSL 2	Customer Müşteri		Date Tarih															
Pipe Diameter Boru Çapı	Ø1422.4 mm	Wall Thickness Et Kalınlığı	19.45 mm	Acceptance Criteria Kabul Kriteri	10893-7	Report No Rapor No	1908														
KALİBRASYON BİLGİLERİ / CALIBRATION INFORMATION																					
Reference Standart Test Standartı	Equipment Cihaz	Tube Current Tüp Akımı	Tube Voltage Tüp Voltajı	Focal Spot Size Odak Boyutu	SNRNORM	Inspection Speed Muayene Hızı															
EN 17636-2	MGC 41	9.30 mA	190 kV	1 mm																	
Material-Defektör Arasındaki Mesafe OOD	Source-Material Arasındaki Mesafe SOD	Magnification Ratio Büyütme Oranı	Image Quality Indicator Görüntü Kalite Belirteci	Essential Wire Number Görülmesi Gereken Tel Numarası	Image Quality Number Görüntü Kalite Numarası	Calibration Time Kalibrasyon Zamanı	Calibrated by Kalibrasyon Yapanı														
215 mm	290 mm	2.52mm	W FE 10	W 11	W13																
Inspector Muayene Yapan	Pipe No Boru No	Pipe End Boru Ucu	Welding Processes Kaynak Yöntemi	Location of Indication Belirti Konumu	Out-of-Line Weld Kay Kaçıklığı	Evaluations Of Indications Belirtilerin Değerlendirilmesi										Result/Sonuç			Remarks/Açıklama		
						Aa	Ab	Ad	Ba	Bb	C	D	E	DE	F	Repair Tamir	Cut Kesim	Kabul Okey		Red	
SY	708910	A	SMAW SMAW	4610 7140														X	X		
SY	708861	A	SAW																X		
Aa:Porosity/Gözenek		Bb:Slag/Curuf		D:Lack of Penetration/Kök Hatası		inspector						Approval by									
Ab:Elongated Cavity/Gaz Kanalı		Bc:Slag Lines/Sıralı Curuf		E:Crack/Çatlak		Muayene Yapan						Onay									
Ad:Clustered Porosity/Toplu Gözenek		C:Lack of Fusion/Yetersiz Erime		F:Undercut/Yanma Oluğu		DE: Hot Tear/Sıcak Yrılma															
Form No: 122		Revizyon No: 03		Tarih:						ONAY											
HAZIRLAYAN																					

### 6.17. Rulo Son Göz Muayenesi Ve Ölçü Kontrolü

Göz muayenesi ve ölçü kontrolünde; boruların görsel ve boyutsal kontrolleri yapılır. Boruların çapı, boyu, kaynak ağız açısı, ovalliği, et kalınlığı, kaynak dikiş yüksekliği ve doğrusalıktan sapması ölçülüp standart toleranslar içinde olup olmadığı kontrol edilir. Göz ölçü muayenesi için EN 970 standardında ortam aydınlatmasının en az 350 lüx ışık şiddetinde olması gerekmektedir.

### Kullanılan Cihaz ve Ekipmanlar

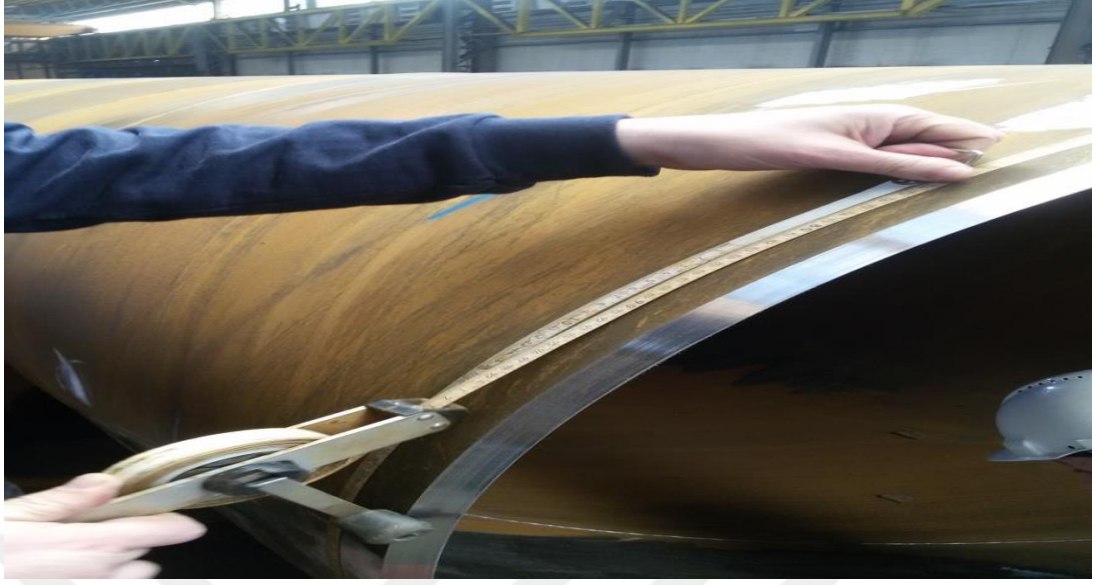
- Lüksmetre, Işık Kaynağı, Şerit metre, 1/20 Kumpas
- Lazer metre, Kaynak Mastarı, Ultrasonik Kalınlık Ölçme Cihazı, Gage



**Şekil 6.33.** Boru Ölçüm Aletleri

Gage yardımıyla kaynak ağızı açısı ve radyal kaçıklık değerleri ölçülür Borunun serbest uç ve kesim ucu çapları 4 eksenden şerit metre ile ölçülür. En büyük ve en küçük çap ölçüleri forma kaydedilir (Şekil 6.33).





**Şekil 6.34.** Şeritmetre İle Ölçüm

Konveyör sistemlere bağlanmış kantarlar vasıtasıyla boruların ağırlık ölçümleri yapılır. Boruların 2 uçlarına bağlanan aperlara doğrusal olarak çelik ip bağlanır. Bu iplerin boru gövdesine olan mesafeleri ölçülerek borunun doğrusallığı tespit edilir. Lazer metre kullanılarak boru ucu ovallık tespit edilir (Şekil 6.34). Boru çapına bağlı olarak boru ucunun farklı bölgelerinden 3 ila 7 adet ölçüm yapılır. Çıkan değerlerden en büyük değerden en küçük değer çıkartılarak ovallık sonucu elde edilir.

### **6.18. Taşlanmış Bölgenin Manyetik Testi**

Son göz ölçü yapılırken hata tespitinden sonra yağlı tebeşirle işaretlenmiş bölgeler taşlamayla düzeltilir. Taşlanmış bölgelere önce MR 72 kontrast oluşturucu beyaz boya sıkılır. Yaklaşık 10 dakika kuruması beklenildikten sonra MR 76S siyah demir tozu sıkılır (Şekil 6.38). Manyetik alan oluşturucu cihaz taşlanmış bölgeye tutularak manyetik alan oluşturulur ve varsa yüzeyde oluşan çatlakların içine demir tozları birikerek hatayı görmemizi sağlar (Şekil 6.39).



**Şekil 6.35.** Taşlanmış Bölgenin Manyetik Testi



**Şekil 6.36.** Örnek Yüzeydeki Çatlaklar Görüntüleri

### **6.19. Ana Malzeme Çekme Ve Kaynaklı Çekme Testi**

Çekme deneyi boru gövdesinin akma, çekme mukavemetine ve yüzde uzamasına bakmak için yapılır. Kaynaklı çekme deneyi ise deney standartlarına uygun olarak metalik malzemelerin herhangi bir eritme kaynağı işlemi ile yapılmış alın kaynak bileşimlerinin çekme dayanımını ve kırılma yerini tespit etmek için yapılır. Her iki test de aynı işlemlerle yapılır.

Numune üzerinde bir yük uygulanarak çekme gerilmesi oluşturulur. Cihaz, test esnasında numuneyi sıkı bir şekilde kavrayabilen bir çene mekanizmasına sahiptir. Cihaz otomatik olarak yükleme hızları değiştirilebilir ve grafik oluşan elektronik sisteme sahiptir. Testi yapılan numunenin kabul edilebilmesi için kaynağın çekme mukavemeti boru malzemesinin minimum çekme mukavemetinden fazla olması gerekmektedir. Elde edilen çekme mukavemeti en az, sınıfı bilinen çeliğin minimum çekme mukavemetine eşit olmalıdır. 5 adet kaynaklı 5 adet ana metal çekme numunesi (Şekil 6.41, Şekil 6.42) Tablo 6.17’de belirtilen ASTM A370 standardına göre Şekil 6.40’ta gösterilen INSTRON 600 kN Çekme Testi Cihazı Kullanma Talimatına göre oda sıcaklığında test edildi. Bu test numuneleri enine veya boyuna alınabilir. Deneyde kullanılan malzemelerin olması gereken standart değer aralıkları Tablo 6.16’da gösterilmiştir ve enine çıkartılan numuneler kullanılmıştır.

**Tablo 6.16.** Ana Malzeme Değer Aralıkları

Ana Malzeme (Enine)		
Akma min 485 MPa	Max 635 MPa	Y/T Max 0.90
Çekme min 570 MPa	Max 760 MPa	Uzama min %20

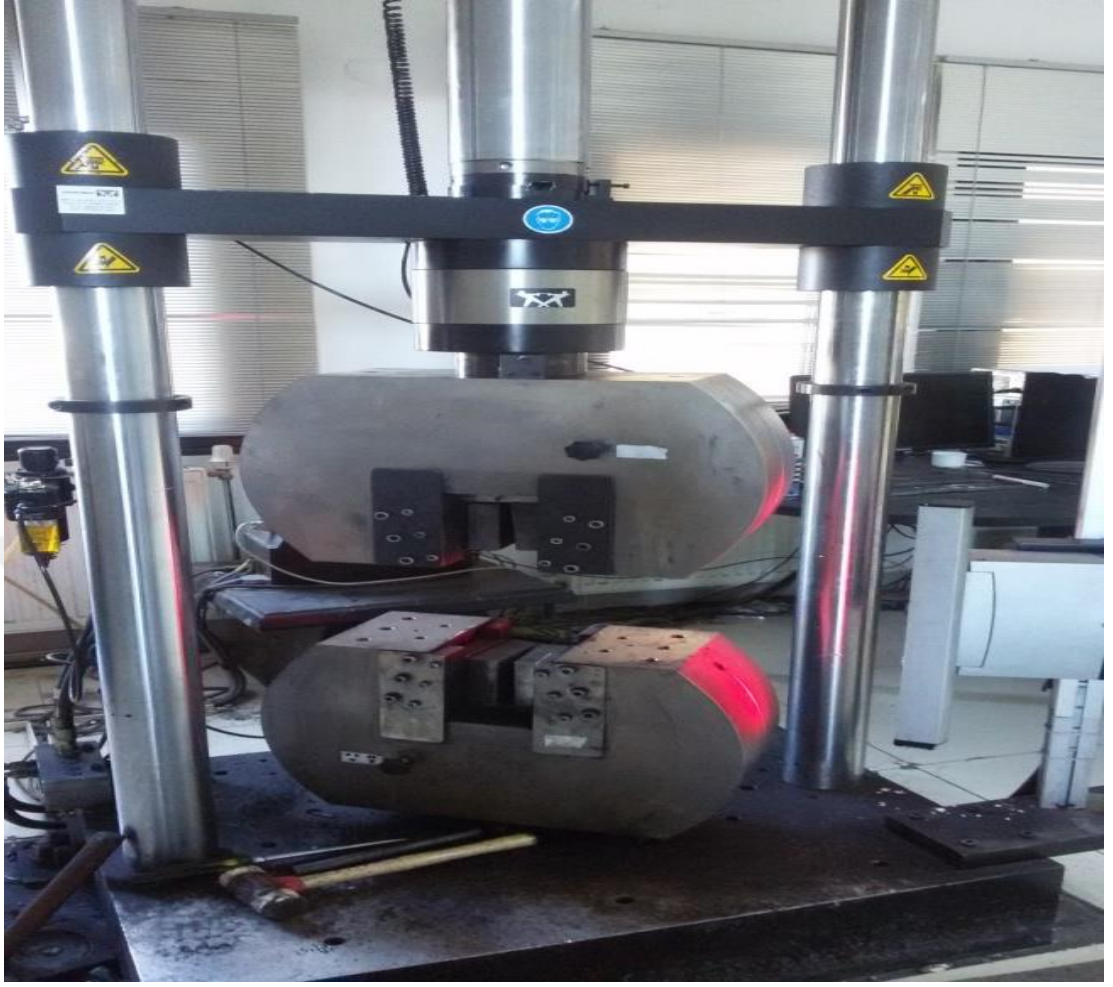
Numune ana malzemeden koparsa:

Numune çekme mukavemeti, gereken min çekme mukavemetine eşit ya da büyük olmalıdır. Kaynaktan koparsa:

Kaynak çekme mukavemeti, ana malzeme çekme mukavemetine eşit ya da büyük olmalıdır. Tablo 6.18’de kaynaklı çekme numunelerinin Tablo 6.19’da ana metal çekme test sonuçları yer almaktadır. Kaynaklı numuneler ana metalden kopmuştur. Şekil 6.43’te ana metalin Şekil 6.44’te kaynaklı numunenin çekme grafikleri yer almaktadır.

**Tablo 6.17.** Ana Malzeme Çekme Standardı

Doğalgaz ve Petrol Boruları	
Kaynaklı çekme	ASTM A370
Ana malzeme çekme	ASTM A370



Şekil 6.37. Çekme Cihazı



Şekil 6.38. Çekme Numuneleri





**Şekil 6.39.** Çekme Testi Yapılmış Numuneler

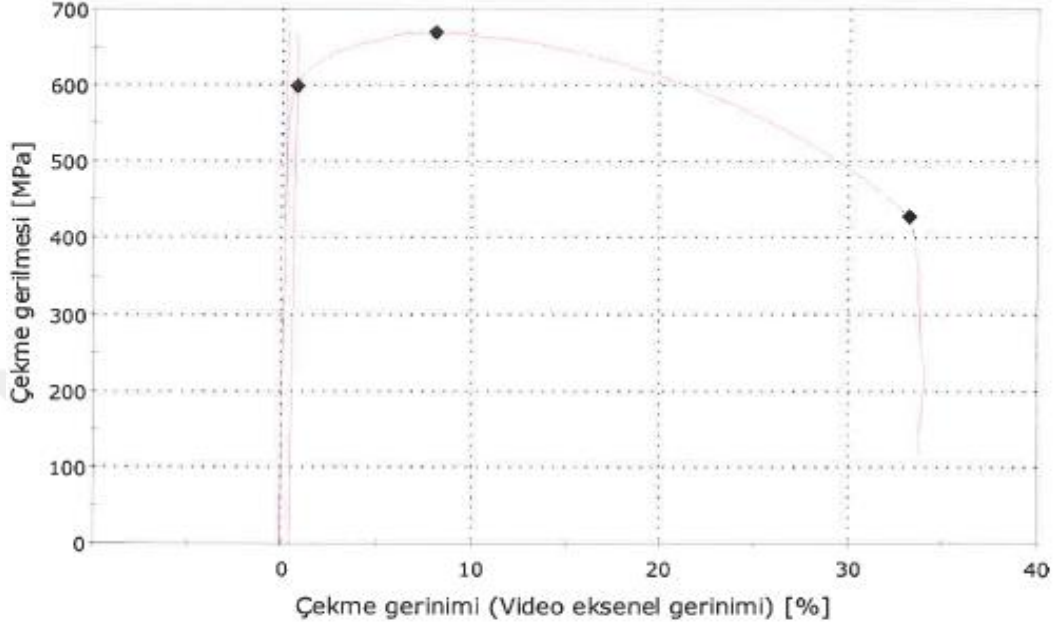
**Tablo 6.18.** Kaynaklı Numune Çekme Testi Sonuçları

Numune No	Numune Genişliği (mm)	Et Kalınlığı (mm)	Kesit Alanı (mm <sup>2</sup> )	Akma Yüğü (kN)	Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Yüğü (kN)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Kırılma Yeri
1	38.10	16.90	643.89	434.06	674.11	471.68	732.55	Ana Metal
2	37.50	16.90	633.75	417.87	659.35	454.40	716.99	Ana Metal
3	38.15	16.90	644.74	436.36	676.80	467.73	725.46	Ana Metal
4	38.10	16.95	645.80	434.88	673.40	466.87	722.94	Ana Metal
5	38.20	16.95	647.49	443.65	685.18	468.16	723.06	Ana Metal

**Tablo 6.19.** Ana Metal Çekme Testi Yapılmış Numuneler

Num. No	Numune Genişliği mm	Et Kalınlığı mm	Kesit Alanı mm <sup>2</sup>	Akma Yüğü kN	Akma Muk. MPa	Çekme Yüğü kN	Çekme Muk. MPa	Akma/Çekme	Uzama %
1	38.15	16.90	644.74	386.59	599.60	431.86	669.82	0.90	33.19
2	38.10	16.90	643.89	381.88	593.08	431.79	670.59	0.88	34.35
3	38.20	16.95	647.49	382.96	591.46	433.48	669.15	0.88	33.82
4	38.10	16.90	645.58	370.51	573.92	427.47	662.15	0.87	34.71
5	38.10	16.95	645.80	381.70	591.06	429.86	665.63	0.89	32.65

## TENSILE TEST - ÇEKME TESTİ



	Thickness/Et Kalınlığı [mm]	Width/Genişlik [mm]	Area/Kesit Alanı [mm <sup>2</sup> ]
1	16,90	38,15	644,73

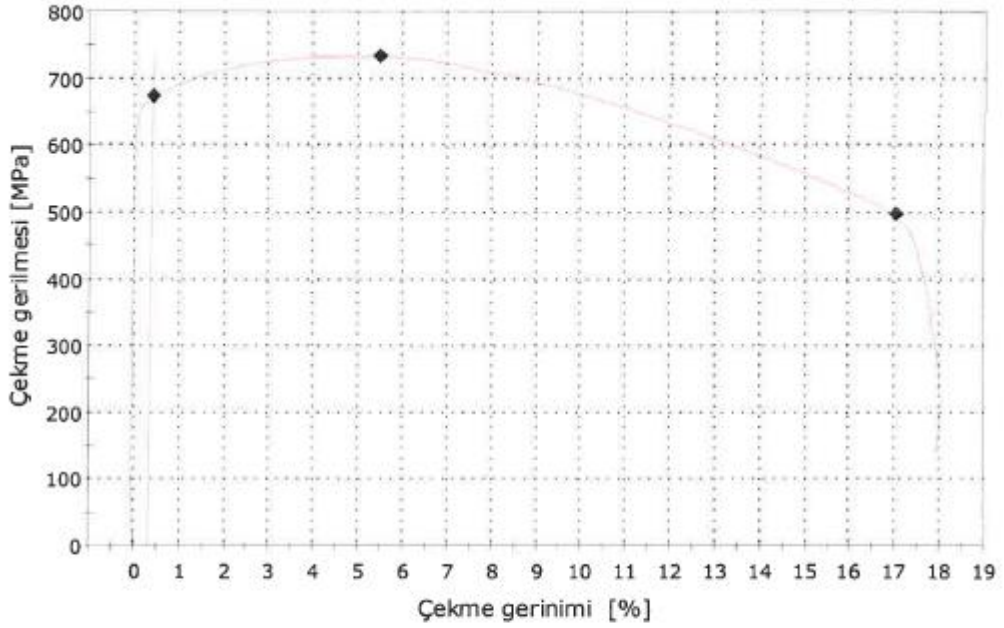
	Load at Yield (Offset 0.5 %)/Akma Yüğü [kN]	Yield Str. (Offset 0.5 %)/Akma Muk. [MPa]	Max. Load/Max. Yüğü [kN]
1	386,59	599,60	431,86

	Tensile Str./Çekme Muk. [MPa]	Elongation/Uzama [%]	Yield Str./Tensile Str. - Akma/Çekme
1	669,82	33,19	0,90

Şekil 6.40. Ana Malzeme Çekme Testi Grafiği

## WELD TENSILE TEST - KAYNAKLI ÇEKME TESTİ



	Thickness / Et Kalınlığı [mm]	Width / Genişlik [mm]	Area / Kesit Alanı [mm <sup>2</sup> ]
1	16,90	38,10	643,89

	Load at Yield (Offset 0.5 %)/Akma Yüğü [kN]	Yield str (Offset 0.5 %) Akma Muk. [MPa]	Max.Load / Maksimum Yük [kN]
1	434,06	674,11	471,68

	Tensile str / Çekme Muk. [MPa]	Fracture Location / Kırılma Yeri ANA MALZEME
1	732,55	ANA MALZEME

Şekil 6.41. Kaynaklı Malzeme Çekme Testi Grafiği

### 6.20. Sıvı Penetrant Testi

Penetrant muayene yöntemi kaynaklı bölge üzerinde çatlak, gözenek, yetersiz nüfuziyet v.b. yüzeye açılan süreksizliklerin saptanması amacıyla yapılır (Şekil 6.45).

**Ön Temizlik:** Test edilecek malzeme üzerindeki yağ, kir, pas, boya v.b. mutlaka temizlenir. Temizlik mekanik veya kimyasal olabilir. Test bölgesi üzerindeki yağ yakılarak veya yağ sökücü solüsyon kullanılarak giderilir. Çapak, pas, tufal, boya v.b. leri taşlanarak veya fırçalanarak giderilir. Son olarak test bölgesi hava tutularak temizlik artıklarından arındırılır.

**Penetrant Uygulamas:** Kırmızı renkli penetrant sıvısı sprey ile malzemeye püskürtülür ve yaklaşık 20 dakika beklenir.



**Şekil 6.42.** Sıvı Penetrant Testi

**Fazla Penetrantın Temizlenmesi:** Önce malzeme temiz, kuru ve lifsiz bir bezle silinerek fazla penetrantın büyük kısmı giderilir. Daha sonra temiz bir bezle solvent kaldırıcı püskürtülür ve bu bezle test bölgesi silinir ve kalan penetrant giderilir.

**Kurutma:** Temizlenen bölge hava tutularak veya kendi haline bırakılarak kurutulur.

**Geliştirici Uygulaması:** Su bazlı olmayan developer yüzeye sprey ile püskürtülür.

**İnceleme:** İnceleme geliştiricinin uygulanmasıyla birlikte başlar. Aydınlanma şiddetinin 500 Lux den az olduğu durumlarda operatör fener, ışıldak v.b. kullanır.

**Değerlendirme ve Test Sonucu Kaydetme:** Test sonuçları yazılarak veya çizim üzerinde kaydedilir.

**Test Tekrarı:** Muayene sırasının doğru takip edilmediği veya II. seviye uzmanın kararında emin olmadığı durumlarda test tekrar edilir ve aynı prosedür tekrar uygulanır.

**Son temizlik:** Muayene sonrası artık penetrant ve geliştirici suyla temizlenir ve muayene tamamlanır.

### 6.21. Kılavuzlu Bükme Testi

Bu test, çekme testi cihazına eğme testi aparatı monte edilerek yapılır. EN ISO 5173 ve ASTM A370 standartlarına göre hazırlanan numune monte edilen eğme testi aparatına yerleştirilir ve test başlatılır (Şekil 6.46) . Test iç kaynaktan dışa doğru ve dış kaynaktan içe doğru olmak üzere iki set şeklinde yapılır ve numune 180° bükülünceye kadar devam edilir. Test sonunda bükülen kaynak bölgesinde herhangi bir çatlak olup olmadığı incelenir. API 5L standardı kılavuzlu bükme testi için parça kenarlarında 6,4 mm'e kadar oluşan çatlaklara, kaynak bölgesinde oluşan 3,2 mm'e kadar çatlaklara izin verir [59]. Test sonunda; parçanın tamamen kırılması ya da bu çatlak değerlerinden uzun çatlak olması durumunda test ret olarak değerlendirilir.

ASTM A370'e göre hazırlanmış Şekil 6.47'deki 8 adet numune sonuçları Tablo 6.20.'de gösterilmiştir. API 5L standardını aşan bir çatlak gözlenmemiştir.



Şekil 6.43. Eğme Cihazı



Şekil 6.44. Eğme Testi Yapılmış Numuneler





içerisinde kalmasını sağlayacak şekilde 5 sn süre içerisinde kırılma işleminin gerçekleşmesi sağlanır. Cihaza ait soldaki emniyet kolu saat yönünün tersine, sağdaki kolu ise saat yönünde hareket ettirilerek çekice serbest düşme yaptırılır ve skaladan numunenin absorbe ettiği enerji kaydedilir. Bir numuneden alınan üç deney parçasının ortalama absorbe ettiği enerji değer standartta belirtilen değer üzerinde ise bu numune kabul edilir. Ana metal ve diğer bölgeler için istenilen değer aralıkları Tablo 6.21 ve Tablo 6.22’de gösterilmektedir.

**Tablo 6.21.** -10 °C Ana Malzeme Çentik Darbe Deneyi Değer Aralığı

Boyut	Min Av. Enerji	Min Ind Enerji
56’’ 1422 x 19,45 mm X80M	206 J	154,5 J
48’’ 1219 x 16,67 mm X80M	185 J	138,75 J

-15°C ‘de kaynak, ITAB bölgesi, ITAB bölgesinden 2 mm ve 5 mm mesafeye çentik açılarak yapılır.

**Tablo 6.22.** -15 °C Kaynak ve ITAB Bölgesi Çentik Darbe Deneyi Değer Aralığı

Boyut	Min Av. Enerji	Min Ind Enerji
56’’ 1422 x 19,45 mm X80	60 J	50 J
48’’ 1219 x 16,67 mm X80	60 J	50 J

Ortalama kırılma kesme alanı min %85 olmalı ve tek bir numunenin kesme alanı %75 in altına düşmemelidir. Deneyde kullanılan numunelerin en düşük değeri %96 olarak belirlendi.



Şekil 6.45. Çentik Açılmış Numuneler



Şekil 6.46. Çentik Darbe Testinden Sonra Kırılmış Numune



Şekil 6.47. Çentik Darbe Cihazı



**Tablo 6.23.** Kırılma Tokluğu Testi

	Numune Çentik Yeri	Numune Ebatları (mmxmm)	Deney Sıcaklığı (-°C)	Absorbe Edilen Enerji			Ortalama Kesme Alanı Yüzdesi
1. Grup	Kaynak	10x10x55	15,90	139,72	130,04	92,34	
	ITAB	10x10x55	15,90	154,39	162,40	167,03	
	ITAB +2	10x10x55	15,90	241,33	192,62	239,68	
	ITAB +5	10x10x55	15,90	261,91	253,45	288,56	
	Gövde	7,5x10x55	10,80	358,45	345,47	389,12	98
2. Grup	Kaynak	10x10x55	15,70	165,38	192,47	185,56	
	ITAB	10x10x55	15,70	152,91	193,98	177,67	
	ITAB +2	10x10x55	15,70	224,44	229,73	247,93	
	ITAB +5	10x10x55	15,70	307,97	234,26	297,64	
	Gövde	7,5x10x55	10,60	370,91	333,16	353,74	97
3. Grup	Kaynak	10x10x55	16,10	136,68	164,19	149,08	
	ITAB	10x10x55	16,10	172,27	186,72	173,02	
	ITAB +2	10x10x55	16,10	205,34	301,71	254,54	
	ITAB +5	10x10x55	16,10	363,95	311,82	316,99	
	Gövde	7,5x10x55	10,70	366,84	372,84	360,80	98
4. Grup	Kaynak	10x10x55	16,00	165,83	171,07	136,24	
	ITAB	10x10x55	16,00	190,20	225,65	239,83	
	ITAB +2	10x10x55	16,00	289,56	283,10	285,26	
	ITAB +5	10x10x55	16,00	330,05	354,85	355,57	
	Gövde	7,5x10x55	11,00	393,28	374,77	393,36	98

### 6.23. Ağırlık Düşürme Testi

Bu test API RP 5L 3 spesifikasyonlarında belirtilen, Ø 508 mm ve daha büyük çaplı olan boruların kırılma tokluğunu tayin etmek için kullanılmaktadır. Tablo 6.24'te belirtilen özelliklere sahip test cihazında (Şekil 6.51) 15000 joule şiddetindeki potansiyel enerji darbeye dönüştürülerek numune tabanında oluşturulan çok eksenli gerilimlerin etkisiyle numunelerin kırılması gerçekleşti (Şekil 6.53.). Numuneler darbe öncesi -10 °C sıcaklığa (şekil 6.52) getirilerek test uygulandı. Ağırlık düşürme testinde kırılan yüzeye makro muayene ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile inceleme yapıldı.

**Tablo 6.24.** Ağırlık Düşürme Cihaz Özellikleri

Ağırlık Düşürme Testi Cihazı	EMEK DWTT 15000
Maximum Darbe	15000 joule (1500 kgf.m)
Serbest Düşme Yüksekliği	3,5 m
Maximum Çekiç Ağırlığı	324 kg
Çekiç Darbe Hızı	5 - 9 m/sn



**Şekil 6.48.** Ağırlık Düşürme Cihazı



Şekil 6.49. Sıcaklık Ölçme Cihazı



Şekil 6.50. Ağırlık Düşürme Testi İle Kırılmış Numuneler

Tablo 6.25. Ağırlık Düşürme Deneyi Numune Değerlendirmesi

Numune No	Deney Sıcaklığı	Numune Ebatları(mm)	Kesme Alanı Yüzdesi		
			Numune Değeri		Ortalama
1	-10 °C	16,90x76.1x311	98.10	99.20	98.65
2	-10 °C	16,95x76.0x310	97.60	97.90	97.75
3	-10 °C	16,95x76.2x311	98.90	98.90	98.55
4	-10 °C	16,95x76.2x312	99.10	99.10	99.85

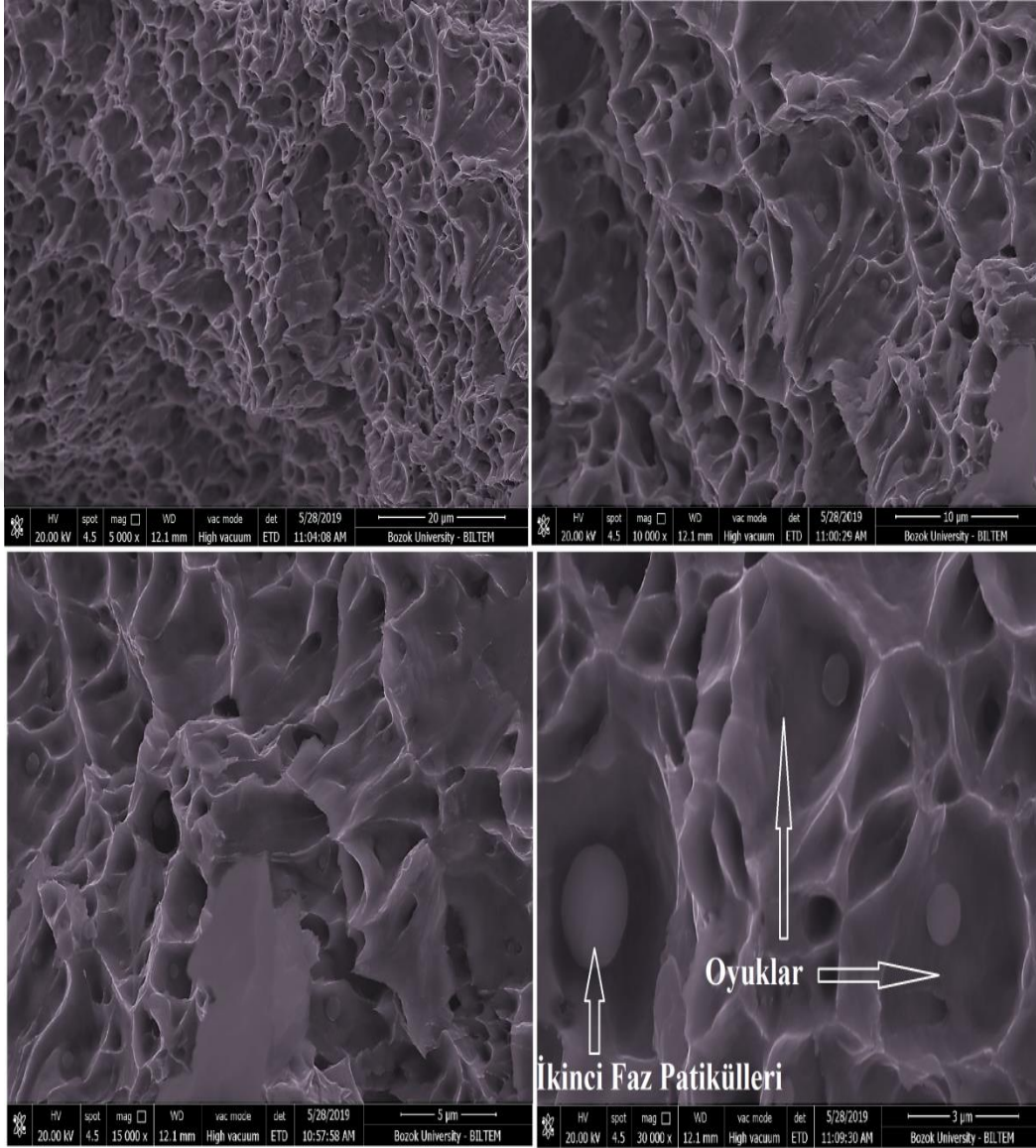
#### 6.24. Kırılma Yüzey Analiz İncelemeleri

Charpy Çentik darbe ve ağırlık düşürme testinde kullanılan numunelerin kırılma yüzey analizleri, Yozgat Bozok Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezinde QUANTA FEG 450 marka taramalı elektron mikroskopuyla (SEM) incelenmiştir (Şekil 6.50).



Şekil 6.51. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

### 6.24.1. Çentik Darbe Deney Numunesinin Kırılma Yüzey Analizi

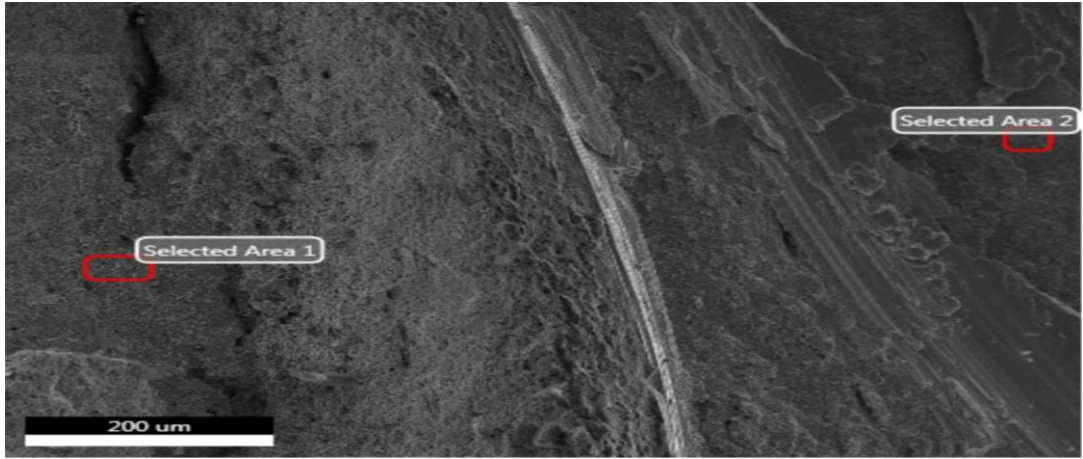


**Şekil 6.52.** Çentik Darbe Deney Numunesinin Kırılma Yüzeyi SEM Görüntüleri

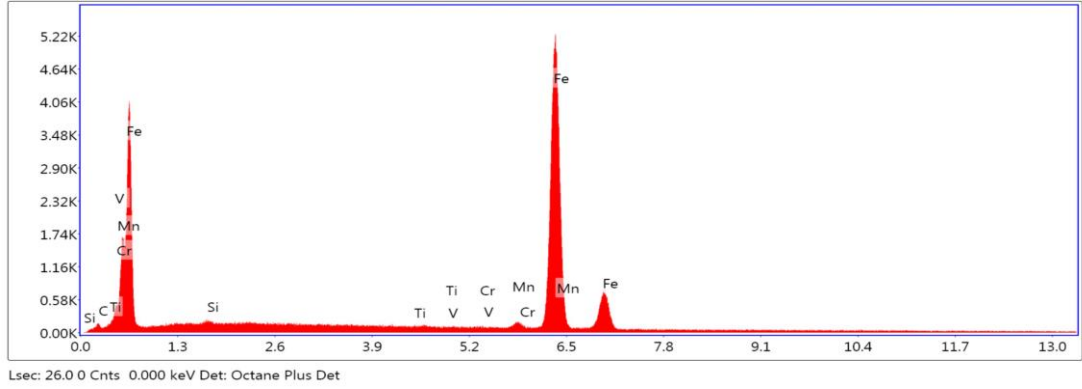
Şekil 6.51’de ITAB bölgesinde yapılan incelemede sünek kırılma sonucu oluşan oyuklar (dimple) görüntülenmektedir. Gerilmenin etkisiyle mikro boşluklar birleşir ve oyukları oluştururlar. Gerilmenin artması ile ikinci faz partiküllerinin etrafında oluşan oyukların birleşerek kırılmayı meydana getirdiği gözlemlenmiştir.

Şekil 6.52’de ITAB bölgesine ait iki bölge seçilerek mikro analiz spektrumu (EDS Spektrumu) yapılarak elementel oranlar tespit edilmiştir. Bu oranlar Şekil 6.53. ve Şekil 6.54’te yer almaktadır.

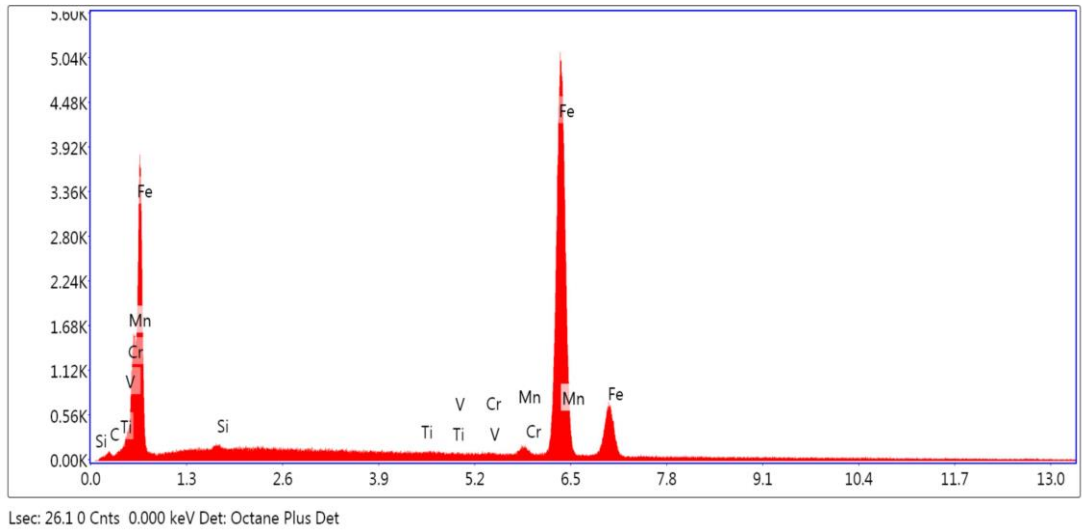




**Şekil 6.53.** ITAB Bölgesinden Seçilen Bölgelerin Mikro Analiz Spektrumu (EDS Spektrumu) ve Analizleri



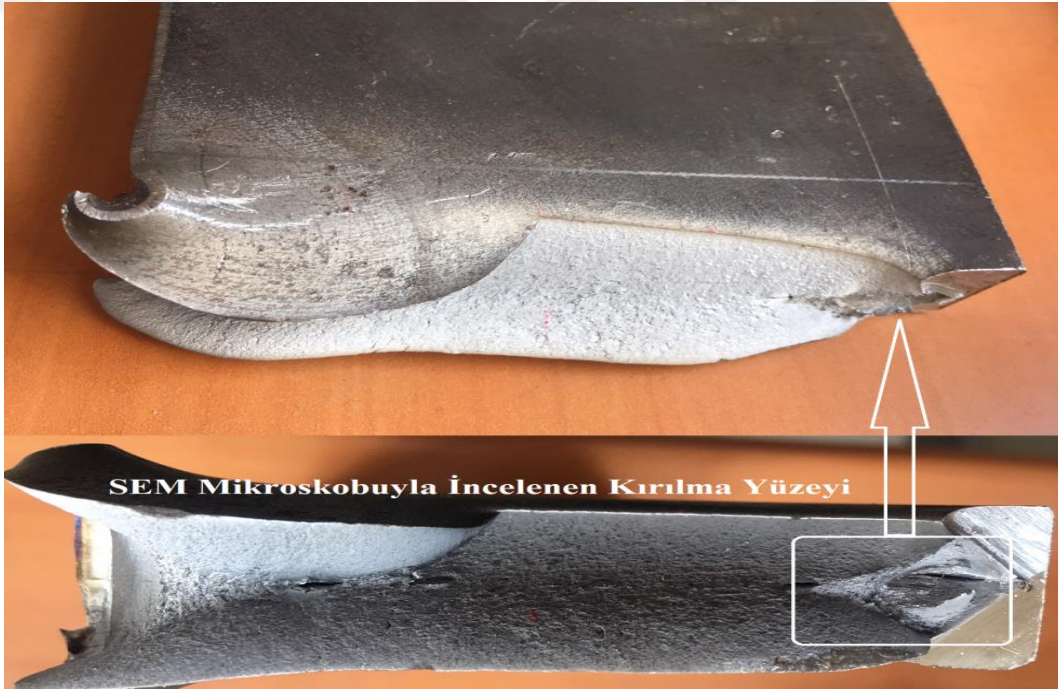
**Şekil 6.54.** EDS Analizi Bölge-1



**Şekil 6.55.** EDS Analizi Bölge-2

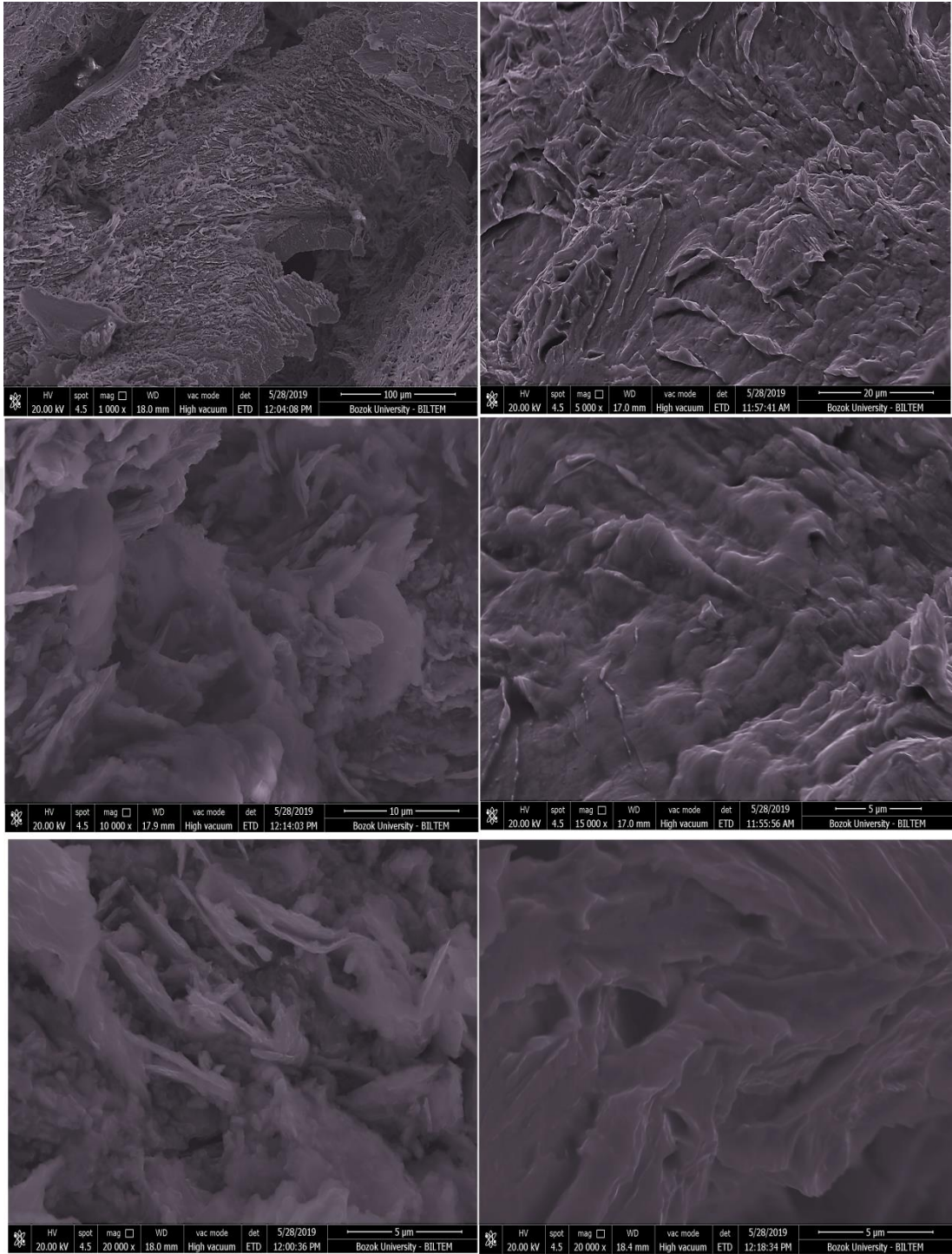
### 6.24.2. Ağırlık Düşürme Deney Numunesinin Kırılma Yüzey Analizi

Ağırlık düşürme deney numunesi  $-10^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta 15000 j darbe sonucu kırılma gerçekleşmiştir. Kırılmanın ilk olarak başladığı bölge (Şekil 6.55) taramalı elektron mikroskopuyla (SEM) incelenmiştir. Numune açılan çentik bölgesinden kırılmaya başlamıştır. Şekil 6.56'da gösterilen SEM görüntüleri incelendiğinde ITAB bölgesindeki yapıdan daha farklı kırılma yüzeyleri gözlemlenmiştir. Şekil 6.56'da incelenen elektron mikroskopu görüntülerinde elde edilen kristalografik yapılar incelendiğinde klivaj ve kayma kırılması birlikte gözlemlenmiştir.



Şekil 6.56. SEM Mikroskopuyla İncelenen Kırılma Bölgesi





Şekil 6.57. Ağırlık Düşürme Deneş Numunesi Kırılma Analizi

## 6.25.Vickers Sertlik Testi

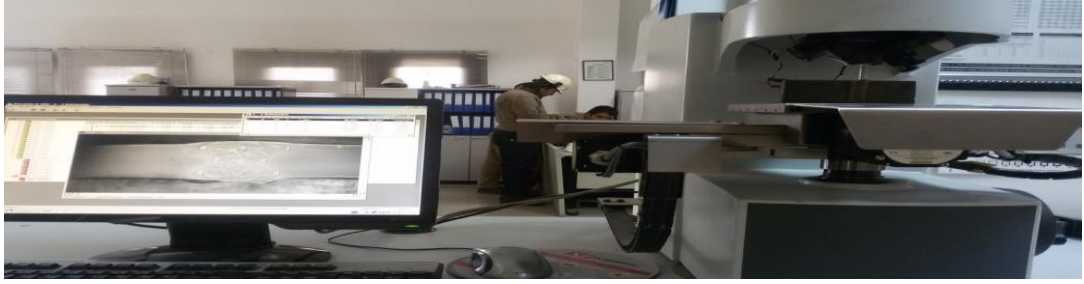
Sertlik; malzemenin plastik şekil değiştirmeye karşı gösterdiği dirençtir. Vickers sertlik ölçme yöntemi, sertliği ölçülecek malzeme parçasının yüzeyine, tabanı kare olan piramit şeklindeki bir ucun belirli bir yüke maruz kalması ve yük kaldırıldıktan sonra meydana gelen izin köşegenlerinin ölçülmesinden ibarettir. Bu deney için Tablo 6.26’da belirtilen ASTM A-384 standardına uygun olarak Struers Duramin A-300 vickers sertlik ölçme cihazı kullanılarak uygulanmıştır. (Şekil 6.54).

Vickers sertlik değeri, piramit şeklindeki dalıcı ucun belirli bir yük altında ve belirli bir süre uygulanması ile malzeme yüzeyinde meydana getirdiği izin büyüklüğü ile ilgili bir değerdir. Meydana gelen iz taban köşegeni (d) olan kare bir piramittir ve tepe açısı dalıcı ucun tepe açısının aynısıdır =  $(136^\circ)$ . Vickers sertlik değeri, kg olarak ifade edilen deney yükünün ( $\text{mm}^2$ ) olarak ifade edilen iz alanına bölümüdür.

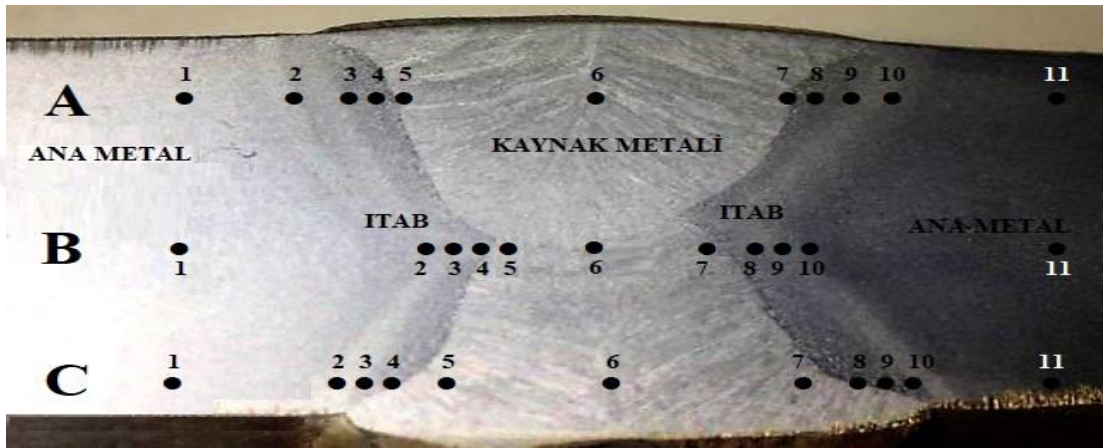
Deney numunesi olarak malzemedен 6, kaynaktan 9, ITAB bölgesinden 18 adet olmak üzere 33 adetlik 3 hat ile yapılmıştır. En yüksek değer kaynak metalinde 242 HV10 olarak ölçülmüştür..

**Tablo 6.26.** Vickers Testi Uygulama Yöntemi

Test Metodu	Vickers
Standart	ASTM E-384



Şekil 6.58. Sertlik Ölçme Cihazı Struers Duramin A-300

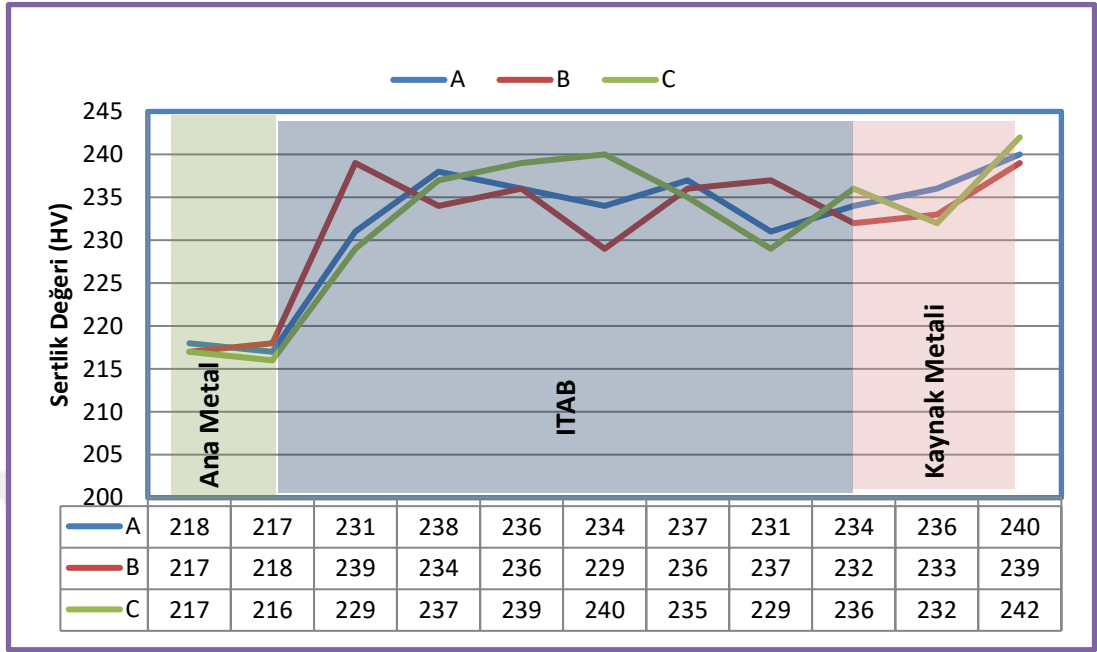


Şekil 6.59. Sertlik Numunesi

Tablo 6.27. Vickers Test Sonuçları

SERİ	Ana Metal HV10		ITAB HV10						Kaynak Metali HV10		
	A1	A11	A2	A3	A4	A8	A9	A10	A5	A6	A7
A	218	217	231	238	236	234	237	231	234	236	240
	B1	B11	B2	B3	B4	B8	B9	B10	B5	B6	B7
B	217	218	239	234	236	229	236	237	232	233	239
	C1	C11	C2	C3	C4	C8	C9	C10	C5	C6	C7
C	217	216	229	237	239	240	235	229	236	232	242

**Tablo 6.28.** Sertlik Bölgelerinin Grafikselsel Gösterimi



### 6.26. Kaplama ve Son Kontrol

İmalatı biten borular tablo 6.28'de özellikleri belirtilen kaplama ünitesine getirilir (Şekil 6.56.). Kumlama öncesi eğer borular ıslaksa ilk olarak kurutulur aksi takdirde ıslak borulara kumlama yapılmaz.

Islak olan boru kurutulduktan sonra dış kumlama işlemi gerçekleştirilir. Kumlamanın amacı borunun yüzeyini kirden, pisten ve yağdan arındırmak ve belirli bir yüzey pürüzlülüğü oluşturarak boyanın daha iyi tutunmasını sağlamaktır.



**Şekil 6.60.** Dış Kumlama Ünitesi

**Tablo 6.29.** Dış Kumlama Ünitesi Özellikleri

Kumlama Tipi	Çelik Granül ve Grit
Boru Çapı	219.1-3048.0 mm
Boru Boyu	6-16 m
Kumlama Kapasitesi	200 m <sup>2</sup> / saat

Kumlama işlemi; Şekil 6.57.'de gösterilen çelik granül veya grit kullanılarak DIN veya ISO standartlarına uygun olarak minimum Sa 2 1/2 derecesinde yüzey temizliği ilgili standarda uygun olacak aralıkta yüzey pürüzlülüğü elde edilecek şekilde uygulanır.





**Şekil 6.61.** Grit

Kumlama öncesi ve sonrası boruların pas sınıflandırılmasına, yüzey temizliğine ve ortam şartlarına bakılır ve kayıt edilir. Kumlanmış boruların toz miktarının ve yüzey pürüzlülüğünün belirlenmesi için testler yapılır (Şekil 6.56, Şekil 6.57.).



**Şekil 6.63.** Yüzey Toz Testi



**Şekil 6.62.** Yüzey Pürüzlülük Testi

Kumlamanın ardından deney numunesi olarak kullanılan boru Tablo 6.29'da özellikleri belirtilen dış kaplama ünitesine gelir. Üç kat polietilen veya polipropilen kaplama yönteminde borular endüksiyon metodu ile 180-220° C derece arasında (kaplanacak borunun çapı ve et kalınlığına bağlı olarak) sabit bir sıcaklıkta ısıtılır. İlk olarak toz boya püskürtülür (Şekil 6.60). Borunun ısısından ötürü sıvılaşarak boruyu kaplar. Toz boyanın ardından ekstrüzyon metodu ile yapıştırıcı ile kaplandıktan sonra son olarak polietilen ya da polipropilen kaplama yapılır (Şekil 6.61). Toz boyanın amacı, borunun paslanmasını önlemektir. Yapıştırıcının amacı ise; son kat polietilen

veya polipropilen ile epoksi astar arasında kimyasal bağ oluşmasını sağlayarak polietilenin veya polipropilenin boru yüzeyini tutmasını sağlamaktır. Bu üç kat polietilen veya polipropilen kaplama yöntemi isteğe bağlı yapılır ya da yapılmaz.



**Şekil 6.64.** Epoksi Toz Boya Püskürtme



**Şekil 6.65.** Yapıştırıcı Ve Polietilen Kaplama

Kaplama işlemi sonrasında kaplamanın zarar görmemesi için hemen soğutma tüneline sokulur (Şekil 6.62). Soğutma tüneline soğutucu olarak su kullanılır. Dış kaplaması biten boru holiday cihazından geçer (Şekil 6.63). Holiday cihazının çalışma mantığı ise; polietilen kaplamanın elektrik iletmeyen özelliği sebebi ile boruya metal bir fırça tarafından gönderilen elektrik akımının çelik yüzeye oluşan polietilen kaplama hatası nedeniyle boruya ulaşmasıdır. Eğer elektrik akımı boruya ulaşır ise, holiday detektörü hatanın olduğu yere boya atar ve sesli ikaz verir.





**Şekil 6.66.** Soğutma Tüneli



**Şekil 6.67.** Holiday Cihazı

Kaplama uygulaması bitince kaynak üstü kaplamasını, kalınlık ölçme cihazıyla ölçerek müşterinin istediği toleranslar içinde olup olmadığına bakılır (Şekil 6.64).



**Şekil 6.68.** Kaynak Üstü PE Kalınlık Ölçümü

**Tablo 6.30.** Polietilen veya Polipropilen Kaplama Ünitesi

Kaplama Tipi	3 kat polietilen veya polipropilen kaplama (Sıcak uygulama)
Boru Çapı	219.1-3048 mm
Boru Boyu	6-16 m
Kaplama Kapasitesi	150 /saat
Isıtma Sistemi	Endüksiyon Bobini ile ısıtma
Kaplama Standardı	DIN 30670, DIN 30678, AWWA C 215, TS 5139

### 6.27. Polietilen Soyulma Testi

İlk olarak borunun yatay ekseninden  $45^\circ$  açı oluşturacak bir şekilde 20 mm genişliğinde bir şeridi, bıçak yardımıyla borunun alt kısmına kadar kesilir. Şeridin serbest olan ucuna 7 kg bir ağırlık asılır, ağırlığı astıktan sonra boruyu hareket ettirerek şerit ile boru çapının yatay eksenini arasındaki açığı  $45^\circ$  olacak şekilde ayarlanır ve şeridin dip kısmı boru yüzeyinin üzerine çizilir (Şekil 6.65). Soyulma testi  $0,4 \times D$  dakika süresince uygulanır. (D, cm. cinsinden boru dış çapıdır) Test süresi sonunda şeridin dip kısmının, ağırlığın etkisiyle açılma miktarı boru yüzeyine tekrar çizilir ve iki çizgi arasındaki soyulma mesafesi mm. cinsinden ölçülür. Ölçülen soyulma miktarı, dakika cinsinden test süresine bölünür.

Çıkan miktar standart soyulma hızı olan 10 mm/dk ile karşılaştırılır. Soyulma hızı 10 mm/dk' nın üzerinde ise test edilen boruya izolasyon tamir kartı yapıştırılarak hatalı olarak işaretlenir ve test sonucu olumsuz olarak değerlendirilir. Bunun üzerine aynı partiden 2 adet boruya daha soyulma testi uygulanır. Testlerden ikisinin de başarılı olması halinde partiye ait test sonucu olumlu olarak kabul edilir, birinin başarısız olması halinde, test sonucu başarısız olarak değerlendirilir ve partiye ait boruları reddedilir. Deney numunesi olarak kullanılan boru 6 mm/dk olarak ölçüldüğü için test sonucu başarılıdır.



**Şekil 6.69.** Polietilen Soyulma Testi

## 7. TARTIŞMA SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan tez çalışmasının değerlendirmesi aşağıda maddeler halinde yapılmıştır.

1. Teknolojinin gelişmesi ve üretim süreçlerine daha çok hâkim olunmasıyla birlikte API standardındaki çelikler termomekanik kontrollü haddelenerek mekanik özellikleri geliştirildi.
  - Homojen biçimli östenit taneleri oluşturmak için önce östenit sıcaklığına çıkartılır
  - Östenitin yeniden kristalize olduğu sıcaklıkta bir paso haddeleme yapılır. Birbirini takip eden yeniden kristalleşen östenit taneleri inceler.
  - Östenit tanelerinin tamamen yeniden kristalleşmesinin sağlanması amacıyla rekristalizasyon sıcaklığının altına düşülerek bu sıcakta bekletilir.
  - Östenitin yeniden kristallenmediği östenit-ferrit çift faz bölgesi sıcaklık aralığında düşük sıcaklık deformasyonu yapılır.
  - Deforme olmuş östenitler son aşamada kontrollü soğutularak çok ince ferrit tanelerine dönüştürülür.

Kontrollü termomekanik işlemlerin sayesinde, östenitler çok ince taneli üniform ferrit tanelerine dönüşmüştür. Bu ince taneli yapı kullanılan malzemeye yüksek dayanım ve tokluk özelliği kazandırmıştır. Yapıdaki mikroalaşım elementleri (Ti, Nb, Mo, Cr, V) ise tane sınırlarında çökelerek dislokasyon hareketlerini engeller ve yeniden kristalleşmeyi yavaşlatır. İnce tane oluşumunu teşvik eder.

Böylece; deneyde kullandığımız API X80 çeliğinin iyileştirilmiş mekanik özellikleri sayesinde doğal gaz iletim hatlarında öncesinde kullanılan API X52,60,65 standardındaki çeliklerle kıyaslandığında daha yüksek mekanik özelliklere sahip olduğundan dolayı daha düşük et kalınlığında yassı mamul kullanmayı mümkün kılmıştır. Bu da ekonomik açıdan değerlendirildiğinde oldukça avantajlı bir seçenek olduğu deneylerle kanıtlanmıştır. Üretim maliyetlerinin düşürülmesi ile API X100, 120 standardı çelikler daha yüksek mekanik özellikleri ve daha ince et kalınlığına sahip olduğundan fayda/maliyet oranı esasına göre tercih edilebilir.

2. Petrol ve doğal gaz hatları sürekli olarak toprak altında kalacağı için devamlı olarak neme maruz kalması olasıdır. Dolayısıyla çelik yapıların bütünlüğünü bozucu en

büyük tehdit unsurlarından birisi de korozyondur. Deneyde API standardındaki spiral kaynaklı çelik boruya uygulanan polietilen (PE) kaplama, toprak altına döşenecek çelik malzemenin korozyona karşı korunması için yapılması gerekli olan kaplama cinslerinin ideali olduğu ve uzun yıllar kullanım ömrünün olduğu yapılan testlerle ortaya konulmuştur. Ancak darbe direnci düşük olduğu için sahada yapılacak birleştirme çalışmalarında dikkatli olunmalıdır.

3. Ağırlık düşürme testinde (DWTT-Drop Weight Tear Test), -10 °C sıcaklığında yapılan test sonucunda kırılma yüzeyleri incelenmiştir. Deneyde kullanılan 4 numunenin yüzey analizlerinde %85 ve daha yüksek oranlarda sünek yapı gözlemlenmiştir.
4. Vickers sertlik ölçme testinde, en yüksek değer sırasıyla; kaynak metal, ITAB ve ana metalde tespit edilmiştir.
5. Kılavuzlu bükme testinde, numuneler 180° kılavuz marifetiyle eğilmiştir. İç kaynak ve dış kaynağın mukavemeti ölçmek için içten dışa ve dıştan içe iki set şeklinde yapılmıştır. API 5L standardına göre parça kenarlarında 6,4 mm'e kadar oluşan çatlaklara, kaynak bölgesinde oluşan 3,2 mm'e kadar izin verilmiş olup, numunelerde kırılma ve bu değer aralığından büyük çatlamalara rastlanmamıştır. Yer kabuğu hareketleri değerlendirildiğinde şekil değiştirme kabiliyetinin olması önemli bir özellik olduğu ve deneyde kullanılan çelik malzemenin bu kabiliyette olduğu düşünülmektedir.
6. Kaynaklı ve ana malzeme çekme testinde, kaynaklı numunelerin hepsinde de istenildiği gibi kopma ana metalde gerçekleşmiştir. Kaynak bölgesi daha sert bir yapıya sahip olduğu için kaynak hatası bulunmadığı takdirde kopma, boyun verme bu alanda gerçekleşmesi beklenmez. En yüksek akma 685 MPa ve çekme mukavemeti 732 MPa değerleriyle kaynaklı numuneden alınmıştır.
7. Mikroyapı, kaynak metal, ITAB bölgesi ve ana metal optik mikroskop altında incelenmiştir. Mikroyapı görüntülerinde kaynak metalinde katılma doğrultusunda yönelen ince tane yapısının, ısı tesiri altında kalan bölgede iri taneli simetrik olmaya şekilsiz tane yapısı, ana metalde ise nispeten ince taneli büyüklükleri birbirine yakın homojen dağılımlı tane yapısının hâkim olduğu gözlemlenmiştir.

8. Taramalı elektron mikroskobunda (SEM) çentik (Charpy) darbe testinde kullanılan ITAB bölgesine ait numune ve ağırlık düşürme testinde kullanılan ana metale ait numuneler incelendi.
- ITAB bölgesine ait görüntüleme; meydana gelen kırılma tipinin sünek kırılma olduğu tespit edilmiştir. Kırılmaya sebep olan oyuklar ve ikinci faz partikülleri görüntülendi.
  - Ağırlık düşürme testinde kullanılan ana metale ait görüntüleme; plastik deformasyon sonucu sünek kırılma meydana gelmiş, kristolografik yapı incelendiğinde kayma kırılması ve bazı bölgelerde klivaj kırılmanın olduğu tespit edilmiştir.
  - Her iki kırılma yüzeyinde de lifli yapı söz konusudur.
9. Çentik (Charpy) darbe testinde, -15°C de kaynak metali, ITAB, ITAB +2mm, ITAB +5mm ve -10°C de boru gövdesinden alınan (10x10x55 ve 7,5x10x55) mm ölçülerinde hazırlanan numunelere çentik darbe deneyi yapılmıştır. Çıkan sonuçlara göre en az enerji kaynak bölgesinden alınan numuneler tarafından absorbe edilirken en büyük değer ana metalde tespit edilmiştir. Bunun sebebi ise ana metalin daha ince tane yapısına ve daha sünek bir yapıya sahip olmasından kaynaklıdır. Kaynaklı bölgeden ITAB bölgesi ve ana metala doğru gevreklik azalırken süneklik artar. Deney sonucuna göre darbe enerjisini absorbe etme kabiliyeti de aynı oranda attığı gözlemlenmiştir.
10. Penetrant muayene yöntemiyle kaynaklı bölge üzerinde çatlak, gözenek, yetersiz nüfuziyet v.b. yüzeye açılan süreksizliklerin saptanması amacıyla penetrant sıvısı kaynaklı yüzeye püskürtülerek 20 dk beklenmiştir. Kaynak bölgesinde yeterli nüfuziyet sağlandığı için kaynak bölgesinde süreksizlik, boşluk vb. hatalara rastlanmamıştır.
11. Otomatik Floreskobik ve ultrasonik ve manuel ultrasonik test sonucunda, otomatik tozaltı kaynağında nüfuziyetin tam olarak sağlandığı gözlemlenmiştir. Herhangi bir kaynak hatası olduğunda otomatik UT tespiti sonucunda floreskobik olarak da kontrolü yapılması gerekmektedir. Her iki cihazın vermiş olduğu kaynak hatasının yeri manuel UT cihazıyla tam olarak saptanmalıdır. Böylece daha güvenli bir imalat yapılmış olacaktır.

12. Manyetik parçacık testinde, taşlanan yüzeye beyaz boya sıkılarak zeminin kurumasıyla birlikte beyaz zeminli manyetik alan oluşturuldu. Akabinde yüzeye gönderilen siyah demir tozlarının davranışları izlendi. Yüzeyde bulunan herhangi bir boşluk çatlak gibi hatanın varlığı tespit edilmeye çalışıldı. Ancak süreksizlik olmadığı için demir tozları bir alanda yoğunlaşmadılar.
13. Hidrostatik test aşamasında 13700 mm uzunluğunda 1422,4 mm çapında boru kullanılmıştır. İstenilen işletme basıncının üzerine olan 133 bar seviyesinde 20 sn boyunca altında bekletilmiştir. Herhangi bir sızma, şekil değişikliği ya da plastik deformasyon gözlenmemiştir.





## KAYNAKLAR

1. BP, (2018), Statistical Review of World Energy, June 2018, (<http://www.bp.com>).
2. Tekin, Erdoğan. "API Standardı Petrol Ve Doğalgaz Boruları Çeliklerine Genel Bir Bakış."
3. Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı(TPAO) 2017 Yılı Ham Petrol Ve Doğal Gaz Sektör Raporu, 2017
4. ETKB,(2016) Dünya Ve Türkiye Enerji Ve Tabii Kaynaklar Görünümü, Sayı 13 Temmuz 2016, (<http://www.enerji.gov.tr>)
5. ETKB,(2017) Dünya Ve Türkiye Enerji Ve Tabii Kaynaklar Görünümü, Sayı 15 Ocak 2017, (<http://www.enerji.gov.tr>)
6. EPDK, Doğalgaz Piyasası 2017 Yılı Sektör Raporu <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-107/yillik-sektor-raporu>
7. BOTAŞ-Boru Hatları Taşımacılığı A.Ş. 2012 Yılı Sektör Raporu, ([https://www.botas.gov.tr/docs/raporlar/tur/sectorap\\_2012.pdf](https://www.botas.gov.tr/docs/raporlar/tur/sectorap_2012.pdf))
8. [https://www.bp.com/en\\_az/caspian/operationsprojects/pipelines/BTC.html](https://www.bp.com/en_az/caspian/operationsprojects/pipelines/BTC.html)
9. <https://www.tanap.com/referans-dokumanlar/> tanap bilgi notu
10. T.C.Sofya Büyükelçiliği, Ticaret Müşavirliği, (2017-2018) *Bulgaristan'ın Genel Ekonomik Durumu Ve Türkiye İle Ekonomik-Ticari İlişkileri*, Ağustos 2018
11. BOTAŞ-Boru Hatları Taşımacılığı A.Ş. 2011 Yılı Sektör Raporu, [https://www.botas.gov.tr/docs/raporlar/tur/sectorap\\_2011.pdf](https://www.botas.gov.tr/docs/raporlar/tur/sectorap_2011.pdf)
12. Furuncu, Enerji Güvenliği ve Karşılıklı Bağımlılık Perspektifinden TürkAkım Projesi, Seta Perspektik, Sayı 216,Kasım 2018.
13. Turang Transit Taşımacılık A.Ş. İran - Türkiye - Avrupa Doğal Gaz Boru HattıProjesi,2013.

<http://turangtransit.com.tr/resim/sayfa/dokumanlar/2016 ITE Katalog TR.pdf>

14. <http://www.oztas.com.tr/proje/mavi-akim-samsun-ankara-dogalgaz-boru-hatti-insaati/41>
15. Giardini D., Harmonized approach to stress tests for critical infrastructures against natural hazards, 86, May 2016.
16. Komizo, Y., Overview of recent welding technology relating to pipeline construction, *Transactions of JWRI*, Cilt 37, No. 1, Sf. 5-7, 2008.
17. UNI, Petroleum and natural gas industries - Steel pipe for pipeline transportation systems, *Second Revision of ISO 3183:2007*, Sf. 22-30, 2010.
18. Hertelé, S., Coupled Experimental-Numerical Framework for the Assessment of Strain Capacity of Flawed Girth Welds in Pipelines, PhD Thesis, Ghent University, 2012.
19. Mouriño, N. S., Crystallographically controlled mechanical anisotropy of pipeline steel, PhD Thesis, Ghent University, 2010.
20. Stalheim, D. G., Muralidharan, G., The Role of Continuous Cooling Transformation Diagrams in Material Design for High Strength Oil And Gas Transmission Pipeline Steels, Proceedings of IPC 2006, IPC2006-10251, 2006.
21. Vervynckt, S., Control of the Non-recrystallization Temperature in High Strength Low Alloy (HSLA) Steels, PhD Thesis, Ghent University, 2010.
22. Asahi, H., Development of Ultra-high-strength Pipeline, X120, (90), 82–87, Nippon Steel Technical Report, 2004.
23. Liessem, A., Kalwa, C., Stallybrass, C., Mannesmann, S., & GmbH, Technological Solutions for High Strength, Europipe Technical Publications, 2008.
24. Spinelli, C. M., Demofonti, G., Fonzo, A., Lucci, A., et al. Full Scale

- Investigation on Strain Capacity of High Grade Large Diameter Pipes, Europipe Technical Publications, 14–26, 2011.
25. Hertelé, S., DeWaele, W., Denys, R., A Generic Stress–strain Model for Metallic Materials with Two- stage Strain Hardening Behaviour, *International Journal of Non-Linear Mechanics*, 46, 519-531, 2011.
  26. Ishikawa, N., Okatsu, M., Endo, S., Kondo, J., Design Concept and Production of High Deformability Pipeline, *Proceedings of IPC 2006*, IPC2006-10240, 1–8, 2006.
  27. Shinohara, Y., Hara, T., Tsuru, E., Asahi, H., Development of a High Strength Steel Line Pipe for Strain-based Design Applications, *Proceedings ISOPE - 2007*.
  28. Koo, J. Y., Luton, M. J., Bangaru, N. V, Petkovic, R. A., et al. Metallurgical Design of Ultra-High Strength Steels for Gas Pipelines, *Proceedings of IPC 2003* (5), 10–18, 2003.
  29. Mannucci, G., Demofonti, G., Harris, D. Hillenbrand, H. G., et al. Fracture Properties of API X100 Gas Pipeline Steels, *Europipe Technical Publications*, 2002.
  30. Meimeth, S., Muelheim M., Ruhr M., Liessem, A., GmbH E. Development, Production and Application of Heavy Plates in Grades Up to X120, 1st International Conference Super-High Strength Steels, 1–10, 2005.
  31. Grimpe, F., Meuser, H., Gerdemann, F., Muthmann, E., Mannesmann, S., & GmbH, G. (2010). Improvement of Mechanical Properties of Heavy Plates for High Strength Pipeline Application i.e. in Arctic Regions, 2nd International Conference on Super-High Strength Steels, 17–20, 2010.
  32. Nonn, A., Kalwa, C., Modelling of Damage Behaviour of High Strength Pipeline, 18th European Conference on Fracture, 1–8, 2010.
  33. Hillenbrand, H. G., Kalwa, C., Schröder, J., Kassel, C., Challenges to a Pipe

Manufacturer Driven by Worldwide Pipe Projects, 18th Joint Technical Meeting on Pipeline Research, Paper 13, 1–12, 2011.

34. Muthmann, E., Gjedrem, T., Stallybrass, C., Manufacturing of Large Steel Components for Nord Stream Project, 3R international Special-Edition, 26–31, 2010.
35. Konrad, J., Stallybrass, C., Schneider, A., Meuser, H., et al. Characterization of the Microstructure of X80 Heavy Plate for Pipeline Applications using the EBSD Method, 3rd International Conference on Thermomechanical Processing of Steels, 10–12, 2008.
36. Williams, J. G., Advances in Steels for High Strength ERW Pipeline Application in Australia, Materials Forum Volume 31, 1–10, 2007.
37. Asahi, H., Hara, T., Tsuru, E., Morimoto, H., et al. X120 UOE Pipeline with Improved Properties and Varied Sizes, Proceedings of IPC 2006, IPC2006-10087, 1–5, 2006.
38. Terada, Y., Tamehiro, H., Morimoto, H., Hara, T., et al. X100 Pipeline with Excellent HAZ Toughness and Deformability, Proceedings of OMAE 2003, 22nd Edition, OMAE2003-37392, 2003.
39. Okaguchi, S., Makino, H., Hamada, M., Yamamoto, A., et al., 2003, Development and Mechanical Properties of X120 Pipeline, Proceedings of the ISOPE 2003, 36 – 42, 2003.
40. Asahi, H., Hara, T., Sugiyama, M., Maruyama, N., et al. Development of Plate and Seam Welding Technology for X120 Pipeline, Proceedings of the ISOPE 2003, 19 – 25, 2003.
41. Ishikawa, N., Endo, S., Muraoka, R., Kondo, J., Design Concept and Mass Production of High Strength UOE Line Pipes, Proceedings of OMAE 2001, 20th Edition, MAT-3100, 2001.
42. Tamehiro, H., Asahi, H., Hara, T., Terada, Y., Ultra-high Strength, Weldable

- Steels with Excellent Ultra- low Temperature Toughness, EXXON Production Research Company and NIPPON Steel, United States Patent 6264760, 1999.
43. Liessem, A., Knauf, G., Zimmermann, S., Strain Based Design - What the Contribution of a Pipe Manufacturer Can Be, ISOPE 2007-SBD14, 1–8, 2007.
  44. Zheng, L., Gao, S., Production and Application of High Strength and High Toughness Pipeline Steelwith Acicular Ferrite, BAO Steel Corporate Publications, 2005.
  45. Liu, G., Liu, S., Zhong, Y., Zhang, Y., Feng, S., Microstructure and Properties of Non- Quenched/Tempered Seamless Tubes Made of Medium Carbon V-microalloyed Steel, Iron and Steel, Vol. 40, Supplement, p. 535-541, 2005.
  46. Murao, N., Hisamune, N., Osako, H., Kondo, K., High Strength Seamless Steel Pipe Excellent in Hydrogen-Induced Cracking Resistance and its Production Method, Sumitomo Metal Industries LTD., European Patent Specification 1546417B1, 1-15, 2012.
  47. Hukle, M. W., Hoyt, D. S., Dwyer, J. P., Horn, A. M., et al. Qualification of Welding Procedures for ExxonMobil High Strain Pipelines, Proceedings of OMAE 2006, 25th Edition , OMAE2006-92503, 1–9, 2006.
  48. Kuziak, R., Kawalla, R., Waengler, S., Advanced High Strength Steels for Automotive Industry, Archives of Civil and Mechanical Engineering. Vol.VIII, No. 2, 2008.
  49. Okatsu, M., Shikanai, N., Kondo, J., Development of a High-Deformability Linepipe with Resistance to Strain-aged Hardening by HOP® (Heat-treatment On-line Process), JFE Technical Report, No.12, 2008.
  50. Koo, J., Bangaru, N. V., Luton, M. J., Petersen, C. W., et al. High-Tensile-Strength Steel and Method of Manufacturing the Same, ,ExxonMobil Upstream Research, United States Patent 6245290B1, 2001.

51. Ertürk, İ., Selamoğlu A., X. Kaynak Teknolojisi Ulusal Kongre Ve Sergisi Bildiriler Kitabı 1 Çelik Boruların Çevresel Kaynağı
52. Bal, Emre. *Doğal Gaz Boru Hatları İçin Yüksek Gerilimli Kaynak Ana Malzemesi Teknolojisinin Geliştirilmesi (borkay)*. Diss. Fen Bilimleri Enstitüsü, 2012.
53. Anık, P. S., Tülbentçi, M. K., & Kaluç, Y. D. D. M. E. Örtülü Elektrod İle Elektrik Ark Kaynağı, İstanbul 1991.
54. Norrish, J., *Advanced Welding Processes*, (Sf 46-52). England, T J International Limited 2006.
55. [http://www.gedikegitimvakfi.org.tr/wp-content/uploads/2013/12/library\\_9.pdf](http://www.gedikegitimvakfi.org.tr/wp-content/uploads/2013/12/library_9.pdf)
56. Anık, S., Anık, E.S. ve Vural, M. 1000 Soruda Kaynak Teknolojisi El Kitabı, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2000.
57. Komizo, Y. Overview of recent welding technology relating to pipeline construction, Transactions of JWRI, Cilt 37, No. 1, Sf. 5-7, 2008.
58. [http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya\\_ekler/e2613b3e8fe26e7\\_ek.pdf](http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/e2613b3e8fe26e7_ek.pdf)
59. API Specifications 5L. "*Specifications For LinePipe*", 45th Edition. American Petroleum Institute, USA, (2012).
60. <http://emekboru.com.tr/katalog/Emekboru-Katalog-TR.pdf>
61. Zakir, TAŞ. "Nb-V-Alaşımli Boru Çeliklerinde Mikroyapı-Mekanik Özellikler İlişkisi." *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi* 22.1: 152-160.

## ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında Yozgat ili Yerköy ilçesinde dünyaya gelmiştir. İlköğretim Yozgat İmam-Hatip Ortaokulu, orta öğrenimini Yozgat Lisesinde, lisans eğitimini Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümünde tamamlamıştır. 2008 yılı itibariyle Ak Döküm Sanayi A.Ş.'de kalite mühendisi olarak çalışmıştır. 2012 yılında Türkiye İş Kurumuna İş ve Meslek Danışmanı mesleğinde atanarak bu kurumda çalışmaya başlamıştır. Halen Türkiye İş Kurumunda iş ve meslek danışmanı ve iş güvenliği uzmanı olarak görev yapmaktadır.

### İletişim Bilgileri

Adres: Çalışma ve İş Kurumu Ankara İl Müdürlüğü

Uçarlı Sokak No:29 Çankaya/ANKARA

Telefon : (312) 235 15 35

E-posta : kursates06@gmail.com