

T.C.  
ERZİNCAN BİNALİ YILDIRIM ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
YAPAY ZEKA VE ROBOTİK ANABİLİM DALI

ÇELİK BORU KAYNAKLARINDA NDT FİLMLEİN GÖRÜNTÜ İŞLEME  
YÖNTEMLERİ İLE KONTROLÜ

Murat MERAL

Danışman: Doç. Dr. Kamil ORMAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ERZİNCAN, 2024

Her Hakkı Saklıdır.

## Kabul ve Onay Sayfası

Doç.Dr. Kamil ORMAN danışmanlığında, Murat MERAL tarafından hazırlanan bu çalışma 08.08.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yapay Zeka ve Robotik Anabilim Dalı Yüksek Lisans olarak kabul oybirliği ile kabul edilmiştir.

Başkan: Dr.Öğr.Üyesi Kaan CAN İmza:

Üye : Dr.Öğr.Üyesi Funda AKAR İmza:

Üye : Doç.Dr. Kamil ORMAN İmza:

Yukarıdaki sonuç Enstitü Yönetim Kurulunun .... / .... / 20.... tarih ve ...../..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

**Doç. Dr. Kemal Volkan ÖZDOKUR**

Enstitü Müdür V.

**Not:** Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, şekil ve tabloların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

## ÖZET

# ÇELİK BORU KAYNAKLARINDA NDT FİLMLERİN GÖRÜNTÜ İŞLEME YÖNTEMLERİ İLE KONTROLÜ

**Murat MERAL**

Yüksek Lisans Tezi, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü  
Yapay Zeka Ve Robotik Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Kamil ORMAN

2024, 73 sayfa

Doğalgaz, su ve petrol hatları başta olmak üzere otomotiv, havacılık, tersane, savunma sanayi gibi birçok sektörde çelik malzemelerin birbirlerine birleştirilmesi işlemi kaynaklarla yapılmaktadır ve bu kaynaklarda ki hataların tespitinde tahribatsız muayene yöntemleri (NDT- Non Destructive Testing ) kullanılmaktadır. Tahribatsız Muayene yöntemleri ile kaynakların güvenilirliği ve kalitesi hızlı ve uygun maliyetli bir şekilde elde edilir. Tahribatsız muayene yöntemlerinden biri olan Radyoaktif muayene (RT - Radyografik Muayene Testi) kısa dalga boylu yüksek enerjili elektromanyetik dalgaların, muayenesi yapılacak olan parçaya zarar vermeden içine nüfuz edip içyapısının, hatalı kısımlarının, radyografik film üzerine görüntü alınmasını sağlayan en popüler tahribatsız muayene yöntemidir. Bu çalışmada RT filmlerinden alınan görüntülerde kusurları belirlemede NDT Uzmanlarına yardımcı olmak için seçilen görüntü işleme algoritmaları ile gözden kaçabilecek kusurların tespiti amaçlanmıştır. RT deneyleri ile alınan görüntüler yazılıma aktarılmış ve önerilen yöntemlerle analiz edilmiştir. Elde edilen çalışmalar, önerilen yöntemlerin operatöre hataların yorumlanmasında önemli katkılar sağlayabileceğini göstermesi amaçlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Görüntü işleme, Kaynak hataları, Radyografik muayene

## **ABSTRACT**

### **CONTROL OF NDT FILMS İN STEEL PIPE WELDS IMAGE PROCESSING METHODS**

**Murat MERAL**

**Master's Thesis, Erzincan Binali Yıldırım University, Institute of Science and  
Technology,  
Department of Graduate School of Natural and Applied Sciences**

Advisor: Doç. Dr. Kamil ORMAN

2024, 73 pages

In many sectors such as natural gas, water and oil lines, automotive, aviation, shipyards, defense industry, the process of joining steel materials to each other is done with welds and the detection of defects in these welds is used with non-destructive testing methods (NDT- Non Destructive Testing). With non-destructive testing methods, the reliability and quality of the welds are obtained quickly and cost-effectively. Radioactive testing (RT - Radiographic Inspection Test), one of the non-destructive testing methods, is the most popular non-destructive testing method that allows short-wavelength high-energy electromagnetic waves to penetrate into the part to be inspected without damaging it and to capture images of its internal structure and defective parts on radiographic film. In this study, it is aimed to detect defects that can be missed with the selected image processing algorithms to help NDT Experts in determining defects in the images taken from RT films. The images taken with RT experiments were transferred to the software and analyzed with the suggested methods. The obtained studies are intended to show that the proposed methods can provide significant contributions to the operator in interpreting errors.

**Keywords: Image processing, Welding errors, Radiographic examination**

## TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince bana destek olan, bilgi ve tecrübeleriyle yol gösteren pek çok kişi ve kuruma teşekkürü bir borç bilirim.

Öncelikle, tez danışmanım Doç. Dr. Kamil ORMAN 'a en içten teşekkürlerimi sunarım. Kendisinin engin bilgi birikimi, sabrı ve rehberliği sayesinde bu çalışmayı tamamlayabildim. Her adımda bana verdiği destek ve gösterdiği anlayış için minnettarım.

Ayrıca, eğitim hayatım boyunca bana her zaman destek olan ve yanımda bulunan aileme sonsuz teşekkür ederim. Özellikle Annem Fatma MERAL, Babam Nurettin MERAL, Kızım Zeynep MERAL ve Biricik Oğlum Ali Asaf MERAL'e gösterdikleri sevgi ve sabırla bu sürecin en büyük motivasyon kaynağı oldular.

Çalışmam sırasında bana veri sağlayan, görüş ve önerileriyle katkıda bulunan değerli arkadaşlarım Musa Türkel, Ömer İnci ve “Doğalgaz Dağıtımında Tasarım İmalat ve Yönetim” kitabının yazarı sayın Dr. Veysel Türkel'e teşekkür ederim. Onların yardımları ve sağladıkları bilgiler, tezimin bilimsel değerini artırdı.

Son olarak, çalışma süresince yanımda olan ve bana moral desteği sağlayan tüm arkadaşlarıma teşekkür ederim. Onların dostluğu ve desteği, zorlu anlarda bana güç verdi.

Bu tez, bana verilen desteğin ve güvenin bir sonucudur.

Herkese en içten teşekkürlerimle.

Murat MERAL

Ağustos 2024

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa
<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>iii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iv</b>
<b>ŞEKİLLER LİSTESİ</b> .....	<b>vii</b>
<b>KISALTMALAR</b> .....	<b>ix</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. LİTERATÜR ÖZETİ</b> .....	<b>4</b>
2.1. Tahribatsız Muayene (NDT) Yöntemleri .....	4
2.1.1. Ultrasonik test (UT) .....	5
2.1.2. Radyografik test (RT) .....	5
2.1.3. Manyetik parçacık testi (MT).....	6
2.1.4. Sıvı penetrant testi (PT) .....	7
2.2. Görüntü İşleme Teknikleri.....	7
2.2.1. Dijital görüntü işleme.....	8
2.2.2. Görüntü iyileştirme .....	8
2.2.3. Görüntü segmentasyonu.....	9
2.2.4. Özellik çıkarımı ve sınıflandırma.....	9
2.3. NDT ve Görüntü İşleme Tekniklerinin Entegrasyonu.....	9
<b>3. KAYNAK</b> .....	<b>11</b>
3.1. Kaynak Prosedürü (WPS) ve Kaynak Kalifikasyon Kaydı (PQR) .....	11
3.1.1. Kaynak prosedürü (WPS).....	12
3.1.1.1.WPS'nin içeriği .....	12
3.1.1.2. WPS 'in hazırlanması .....	14
3.1.1.3. WPS 'in önemi.....	14
3.1.2. Kaynak kalifikasyon kaydı (PQR).....	15

3.1.2.1. PQR 'in içeriği .....	15
3.1.2.2. PQR 'in hazırlanması .....	16
3.1.2.3. PQR 'in önemi .....	17
3.2. Kaynak Türleri .....	17
3.2.1. Oksiasetilen kaynağı .....	17
3.2.2. Elektrik ark kaynağı .....	18
3.2.3. MIG/MAG kaynağı .....	18
3.2.4. TIG kaynağı .....	19
3.2.5. Plazma Kaynağı .....	19
3.3. Kaynak Pasoları .....	19
3.3.1. Kaynak Pasosu Nedir? .....	19
3.3.2. Kaynak pasosu türleri .....	20
3.3.2.1. Kök pasosu (Root pass) .....	20
3.3.2.2. Dolgu pasosu (Fill pass) .....	20
3.3.2.3. Kaplama pasosu (Cap pass) .....	20
3.3.3. Kaynak pasolarının yapılmasında dikkat edilmesi gerekenler .....	21
<b>4. KAYNAK HATALARI .....</b>	<b>22</b>
4.1. İç Hatalar .....	22
4.1.1. Gözeneklilik (Porosity) .....	22
4.1.2. Cüruf kapanımları (Slag inclusions) .....	24
4.1.3. Çatlaklar (Cracks) .....	25
4.1.4. Füzyon hataları (Lack of fusion) .....	26
4.2. Dış Hatalar .....	26
4.2.1. Kökte yetersiz nüfuziyet ve dahili iç bükeylik (Root concavity): .....	27
4.2.2. Yüksek – düşüğe bağlı yetersiz penetrasyon (Linear misalignment) .....	28
4.2.3. Aşırı geçiş (Excessive reinforcement) .....	29
4.2.4. Alt kesme (Undercut) .....	29
4.2.5. Sıçrama (Spatter) .....	30
4.3. Kaynak Hatalarının Nedenleri .....	30
4.3.1. Kaynak yöntemi ve ekipman .....	31
4.3.2. Operatör becerileri .....	31

4.3.3. Malzeme özellikleri .....	31
4.4. Kaynak Hatalarının Tespiti .....	31
4.4.1. Ultrasonik test (UT) ile kaynak hatalarının tespiti .....	31
4.4.2. Radyografik test (RT) ile kaynak hatalarının tespiti.....	32
4.4.3. Manyetik parçacık testi (MT) ile kaynak hatalarının tespiti.....	32
4.4.4. Sıvı penetrant testi (PT) ile kaynak hatalarının tespiti.....	32
4.5. Kaynak Hatalarının Değerlendirilmesi.....	32
4.6. Kaynak Hatalarının Önlenmesi .....	33
<b>5. GÖRÜNTÜ İŞLEME YÖNTEMLERİ .....</b>	<b>34</b>
5.1. Görüntü İyileştirme Teknikleri.....	34
5.1.1. Kontrast artırma .....	35
5.1.2. Gürültü giderme.....	36
5.2. Görüntü Segmentasyonu .....	37
5.2.1. Eşikleme .....	37
5.2.2. Kenar belirleme .....	38
<b>6. GÖRÜNTÜ İŞLEME YÖNTEMLERİ İLE KAYNAK HATALARININ TESPİTİ.....</b>	<b>39</b>
6.1. Renk Formatı .....	41
6.2. Görüntü İyileştirme Teknikleri.....	41
6.2.1. Kontrast artırma .....	41
6.2.2. Gürültü giderme.....	41
6.3. Görüntü Segmentasyonu Teknikleri.....	42
6.3.1. Eşikleme .....	42
6.3.2. Kenar belirleme .....	42
<b>7. ARAŞTIRMA BULGULARI.....</b>	<b>43</b>
7.1. Kaynak Taşması Hatasının Tespiti.....	43
7.2. Tungsten Kalıntı Hatasının Tespiti.....	45
7.3. Füzyon Hatasının Tespiti.....	48
7.4. Gözenek Hatasının Tespiti .....	51
<b>8. SONUÇLAR .....</b>	<b>54</b>
<b>9. KAYNAKLAR .....</b>	<b>56</b>

## ŞEKİLLER LİSTESİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 1. Kaynak işleme uygulaması(metaluzmanı.com).....	11
Şekil 2. WPS'e göre kaynak pasoları .....	12
Şekil 3. a) Gözenek gösterimi, b) Toplu gözenek gösterimi.....	23
Şekil 4. Gözenek hatasının NDT filmde görünüşü .....	23
Şekil 5. Toplu gözenek hatasının NDT filmde görünüşü.....	24
Şekil 6. a) Curuf hatası gösterimi b) Curuf hatasının NDT filmde görünüşü .....	25
Şekil 7. a) Çatlak hatası gösterimi, b) Çatlak hatasının NDT filmde görünümü .....	26
Şekil 8. a) Füzyon hatasının gösterimi, b) Füzyon hatasının NDT filmde görünümü.	26
Şekil 9. a) Kökte yetersiz nüfuziyet hatası ve iç bükeylik hatasının gösterimi b) Kökte yetersiz nüfuziyet hatasının NDT filmde görünümü.....	27
Şekil 10. Dahili iç bükeylik hatasının NDT filmde görünümü.....	28
Şekil 11. a) Yanlış hizalama hatası gösterimi b) Yanlış hizalama hatasının NDT filmde görünümü. ....	28
Şekil 12. a) Kaynak taşması hatası gösterimi b) Kaynak taşması hatasının NDT filmde görünümü .....	29
Şekil 13. a) Alt kesme hatası gösterimi b) Alt kesme hatasının NDT filmde görünüşü.	30
Şekil 14. a) Sıçrama hatası gösterimi b) Sıçrama hatasının görünümü.....	30
Şekil 15. Orijinal görüntü.....	34
Şekil 16. Gri formata çevrilmiş görüntü .....	35
Şekil 17. a) Gri format görüntünün histogramı b) Kontrastı arttırılmış görüntünün histogramı.....	36
Şekil 18. Kontrast arttırılmış görüntü .....	36
Şekil 19. Gürültü giderilmiş görüntü .....	37
Şekil 20. Eşikleme uygulanmış görüntü .....	38
Şekil 21. Kenar bulma algoritması sonucu oluşan görüntü.....	38
Şekil 22. Blok diyagram.....	40
Şekil 23. Kaynak taşması orijinal resim.....	43
Şekil 24. Kaynak taşması gri resim.....	43
Şekil 25. Kaynak taşmasına ait histogram grafiği.....	44

Şekil 26. Kaynak taşmasına ait eşiklenmiş görüntü.....	45
Şekil 27. Hatanın orijinal görüntü üzerindeki görünümü.....	45
Şekil 28. Tungsten kalıntısı orijinal görüntü.....	46
Şekil 29. Tungsten kalıntısı gri resim .....	46
Şekil 30. Tungsten kalıntısı histogram grafiği .....	47
Şekil 31. Tungsten kalıntısı eşiklenmiş görüntü .....	47
Şekil 32. Hatanın orijinal görüntü üzerindeki görünümü.....	48
Şekil 33. Füzyon hatası orijinal görüntü .....	48
Şekil 34. Füzyon hatası gri resim .....	49
Şekil 35. Füzyon hatası histogram grafiği .....	49
Şekil 36. Füzyon hatası eşiklenmiş görüntü.....	50
Şekil 37. Orjinal görüntü üzerinde hatanın görünümü.....	50
Şekil 38. Gözenek orijinal resim.....	51
Şekil 39. Gözenek gri resim .....	51
Şekil 40. Gözenek eşiklenmiş görüntü.....	52
Şekil 41. Canny kenar bulma .....	52
Şekil 42. Gözenek hatasının tespiti .....	53

## KISALTMALAR

BT	Kaynak Taşması
C	Çatlak Hatası
Co-60	Kobalt
C\O	Cut Out – Kes
ESIs	Uzamış cüruf Enklüzyonları
IP	Yüksek-Düşük Olmaksızın Yetersiz Penetrasyon
Ir-192	İridyum
MT	Manyetik Test
NDT	Non Destructive Testing- Tahribatsız Muayene
OK	Kabul
PT	Penetrant Test
R	Repair -Tamir
RT	Radyografik Test
RS	Reshoot-Tekrar Film
Se-75	Selenyum
UT	Ultrasonik Test

## 1. GİRİŞ

Çelik borular, birçok endüstriyel uygulamada yaygın olarak kullanılan önemli bir yapı malzemesidir. Boru hatları, enerji, su, gaz ve petrol taşımacılığı başta olmak üzere otomotiv, havacılık, tersane, savunma sanayi gibi birçok sektörde kritik altyapıların temel bileşenleri arasında yer alır. Bu boruların güvenliği ve dayanıklılığı, taşıdıkları maddelerin güvenli bir şekilde iletilmesi için hayati öneme sahiptir. Bu nedenle, çelik boruların üretim sürecinde ve sonrasında kalite kontrolü büyük bir önem taşır. Sektörde çelik malzemelerin birbirlerine kaynatılması işlemlerinde kaynaklarda ki hataların tespiti Tahribatsız Muayene Testi (NDT: Non Destructive Testing) yöntemleri ile yapılmaktadır. NDT malzemenin bütünlüğünü ve kalitesini değerlendirmek için kullanılan bir dizi teknik ve yöntemleri kapsar. Bu yöntemler, malzemeye zarar vermeden kusurları tespit etmeyi amaçlar. Özellikle kaynaklı çelik borularda, kaynak hatalarının tespiti ve analizi için NDT yöntemleri sıklıkla kullanılır. Tahribatsız muayene yöntemleri ile kaynaklı imalatın herhangi bir hata içerip içermediği belirlenir. Bu yöntemler ile test edilen yüzey üzerinde hiçbir iz bırakılmadığından dolayı tamamlanmış kaynak üzerine uygulanarak kaynakların güvenilirliği ve kalitesi hızlı ve uygun maliyetli bir şekilde tespit edilir.

Doğalgaz ve petrol boru hatlarındaki kaynak hatalarının tespiti için tahribatsız muayene yöntemleri arasında en çok kullanılanı ise Radyografik muayene (RT: Radiographic Testing) yöntemidir. Radyografik muayene yöntemiyle elde edilen negatif filmler NDT Uzmanları tarafından uluslararası standartlara göre değerlendirilerek oluşan kaynak hata türleri tespit edilir. Tespit edilen kaynak hataları ilgili standartlara göre değerlendirilir ve ilgili kaynağın kesilmesine (C/O: Cut Out), tamir edilmesine (R: Repair) ve ya hatanın ilgili standartlarda belirtilen değerlerin altında olması durumunda başka işlem yapılmasına gerek olmayıp kabul (OK) edilmesine karar verilir. Ancak değerlendirme sırasında gözden kaçabilecek durumlar olması olası bir durumdur. Bu sebeple radyografik filmlerin değerlendirilmelerinin yapay zekâ destekli görüntü işleme algoritmaları ile desteklenmesi daha doğru kararlar verilmesini sağlayabilir ve doğalgaz / petrol boru hatları başta olmak üzere kaynak işleminin uygulandığı tüm sektörlerde daha sağlıklı ve güvenli imalatların gerçekleştirilmesi yönünde sektöre katkıda bulunulabilir.

Tahribatsız muayenede özellikle hata bulunduktan sonra bu hatanın giderilmesi için referans standartlarda sunulmaktadır. Tahribatlı muayenenin aksine, muayene parçası sınırlaması yoktur. Gerektiğinde kaynak dikişlerinin %100 muayenesi mümkündür.

Tahribatsız muayene (NDT) yöntemleri; (Shull, P.J., 2001)

- Görsel Muayene
- Radyografik muayene (RT)
- Ultrasonik muayene (UT)
- Manyetik partikül muayenesi (MT)
- Sıvı penetrant (boya) muayenesi (PT)
- Girdap akımları muayenesi
- Akustik emisyon muayenesi

Tahribatsız Muayene (NDT) yöntemiyle bulunan başlıca hatalar;

- Malzemede bulunan çatlaklar, boşluklar, gözenekler, hadde yönünde uzamış hatalar, laminasyonlar, cüruf veya tungsten gibi yabancı maddeler
- Kaynak hataları, döküm hataları, dövme hataları
- Et kalınlığı ölçümleri, kalınlık farklılıkları, iç korozyon, dış korozyon, aşınma
- Yüzey hataları, yüzey pürüzlülüğü, gözenek
- Malzeme farklılıkları, yoğunluk farklılıkları, boyut farklılıklarıdır.

Boru hatlarının kaynakların kontrolünde radyografik muayene en yaygın olarak uygulanan metottur.

Bu çalışmada RT filmlerinden alınan görüntülerde kusurları belirlemede NDT Uzmanlarına yardımcı olmak için seçilen görüntü işleme algoritmaları ile gözden kaçabilecek kusurların tespiti amaçlanmıştır.

Radyografik muayene veya diğer adıyla endüstriyel muayene kısa dalga boylu yüksek enerjili elektromanyetik dalgaların, muayenesi yapılacak olan parçaya zarar vermeden içine nüfuz edip içyapısının, hatalı kısımlarının, radyografik film üzerine görüntü alınmasını sağlayan en popüler tahribatsız muayene yöntemidir. Endüstriyel radyografik

muayene için kullanılan başlıca radyasyon kaynakları (radyoizotoplar) İridyum (Ir-192), Selenyum (Se-75), Kobalt (Co-60) 'dır. Kaynak, döküm, dövme türü parçalar başlıca muayene alanlarıdır. Radyografik muayene; hacimsel hatalar olan boşluklar, gaz boşlukları, yabancı maddeler, inklüzyonlar gibi hataların boyutlarını, uzunluk ve genişliğini tespit etmede de çok başarılıdır. Saha uygulamalarında radyasyon cihazı ile kaynak üzerine konulan filme radyasyon gönderilerek çekim işlemi yapılır.

Boru-boru, boru-bağlantı elemanı arasındaki kaynaklarının muayenesinde, gerek görülürse iç korozyon veya boruda aşınma olup olmadığının tespiti için de radyografik muayene (RT) kullanılmaktadır. Doğalgaz, petrol vs... boru hatlarında yapılan kaynakların, vana kaynaklarının, tie-in bağlantılarının, bölge istasyonları ve müşteri istasyonlarının %100 radyografik filmleri çekilir. Çekim esnasında oluşan radyasyonun çalışanlar ve yerleşim alanlarında çevrede bulunanlar üzerindeki etkilerini azaltacak önlemler standartlarda belirtilmiştir. Ayrıca tedbirlere ek olarak kaynakların radyografik filmlerinin zorunlu haller dışında gece çekilmesi sağlanır. Radyografik filmler, en az RT II belgeli mühendisler tarafından API 1104'e göre değerlendirilir ve hatalar tespit edilir. Radyografik film çekim işlemleri EN 1435 standartlarına uygun yapılır.

## 2. LİTERATÜR ÖZETİ

Literatür incelemesinde, çelik boru kaynaklarında kullanılan NDT yöntemleri ve görüntü işleme tekniklerinin, kaynak hatalarının ve malzeme kusurlarının tespiti ve analizi için büyük bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Görüntü işleme tekniklerinin NDT yöntemlerine entegrasyonu endüstriyel uygulamalarda güvenliği artırabilir ve maliyetleri azaltabilir. Bu nedenle, bu tez çalışmasında, görüntü işleme tekniklerinin NDT filmlerine uygulanabilirliği ve etkinliği detaylı olarak incelenecektir.

### 2.1.Tahribatsız Muayene (NDT) Yöntemleri

Tahribatsız muayene (NDT), malzemelerin ve yapıların yüzeyindeki ve içindeki kusurları tespit etmek için kullanılan bir dizi teknik ve yöntemler bütünüdür. Bu yöntemler, malzemenin bütünlüğünü bozmadan kalite kontrolünü sağlamayı amaçlar. Çelik boru kaynaklarında kullanılan NDT yöntemleri arasında ultrasonik test (UT), radyografik test (RT), manyetik parçacık testi (MT) ve sıvı penetrant testi (PT) yer alır. En yaygın kullanılanı radyografik testtir. Bu yöntemler, çelik borulardaki kaynak hatalarını tespit etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, bu yöntemlerin her birinin belirli avantajları ve sınırlamaları vardır. İbrahim OFLAZ ve Erdal KARADENİZ 'in "Tahribatsız Muayene Yöntemleri ile Çelik Boru Kaynak Hatalarının İncelenmesi" çalışmasında Tahribatsız Muayene Yöntemlerinin ne şekilde yapıldığı, hangi durumda hangi yöntemin kullanılması gerektiği, avantaj ve dezavantajlarının detaylı olarak çalışıldığı görülmüştür (Of laz ve ark. 2001). Peter J. Shull'un "Nondestructive Evaluation: Theory, Techniques and Applications" çalışması NDT yöntemlerinin teorisi, teknikleri ve uygulamaları hakkında kapsamlı bir çalışmadır (Shull P.J., 2002). NDT terminolojisi ve genel ilkeler hakkında uluslararası standartta sahiptir ve bu standart ASTM E1316-20: Standard Terminology for Nondestructive Examinations (ASTM E1316-20,2016) olarak belirlenmiştir. NDT personelinin nitelik ve sertifikasyonu hakkında uluslararası standart ise "ISO 9712: Non-destructive testing - Qualification and certification of NDT personnel" standartıdır. (ISO 9712:2012)

### **2.1.1. Ultrasonik test (UT)**

Ultrasonik test, yüksek frekanslı ses dalgalarını kullanarak malzemelerdeki kusurları tespit eder. Bu yöntemde, bir prob yardımıyla malzemeye gönderilen ultrasonik dalgalar, malzeme içerisindeki kusurlar tarafından yansıtılır. Yansıyan dalgalar, bir ekran üzerinde analiz edilerek kusurların boyutu ve konumu belirlenir. Ultrasonik testin avantajları arasında yüksek hassasiyet, derinlemesine inceleme yapabilme ve hızlı sonuç alma bulunur. Ancak, bu yöntemin uygulanabilmesi için operatörün deneyimli olması gereklidir. "Ultrasonic Testing of Materials" çalışması ultrasonik testin temelleri, uygulamaları ve ileri seviye konuları hakkında kapsamlı bir kaynaktır (Krautkrämer ve ark.2012). ISO 16810: Non-destructive testing - Ultrasonic testing - General principles ise Ultrasonik testin genel prensipleri hakkında uluslararası standartlar olarak adlandırılmıştır (ISO 16810:2012).

### **2.1.2. Radyografik test (RT)**

Radyografik test, X-ışınları veya gama ışınları kullanarak malzemelerin içyapısını görüntüler. Bu yöntemde, bir radyografik film veya dijital dedektör kullanılarak malzeme içerisindeki kusurların görüntüleri elde edilir. Radyografik test, özellikle kaynaklı bölgelerdeki iç kusurların tespitinde oldukça etkilidir. Ancak, bu yöntemin dezavantajları arasında radyasyon riski, uzun süren analiz süreci ve yüksek maliyet yer alır.

Adin ve ark., tarafından yapılan çalışmada Mardin ili sınırları içerisinde yer alan yaklaşık 7 km uzunluğunda, API 5L X42 kalitesinde, 8 inç ve 4,8 mm et kalınlığındaki doğalgaz borularının kaynak yerleri tahribatsız (Radyografik) muayene yöntemi ile incelenmiştir (Adin H. ve ark. 2021). Radyografik incelemelerde, kaynak dikişlerinin API 1104 standartlarına uygun olmadığı gözlemlenmiştir. Hatalı kaynak yerleri temizlenen (veya yeniden kaynak ağzı açılan) doğalgaz borularına 17 takım halinde ve 3 farklı elektrotla (Sırasıyla, E42 2C 21, T1-Saf ve T2-Saf) tekrar kaynak yapılmıştır. Daha sonra, tamiri yapılan bu takımların kaynak bölgelerinin yeniden radyografik filmleri çekilmiştir. Böylece, kaynak hataları tespit edilerek sorunlar giderilmiştir.

Baldev Raj ve arkadaşlarının yazdığı "Radiographic Testing" kitapta Radyografik testin temelleri, teknikleri ve uygulamaları hakkında kapsamlı bilgiler verilmiştir (Raj.B ve ark. 2002). Patrick O. Moore'un "Nondestructive Testing Handbook, Third Edition: Volume 4, Radiographic Testing" çalışması Radyografik test yöntemleri ve uygulamaları hakkında detaylı bilgi sunan bir rehbertir (Moore P.O. 2002). Bossi ve Iddings'in çalışmasında, endüstriyel radyografik test tekniklerinde son gelişmeler detaylı olarak incelenmiştir (Bossi & Iddings, 2011). Bryant ve Whitley çalışmalarında Dijital radyografinin tahribatsız muayenedeki uygulamaları üzerine incelemeler yapmışlardır (Bryant L. E. ve ark., 2007). ASTM International tarafından yayınlanan "STM E1032-16 standardı, kaynakların radyografik muayenesi için prosedürleri belirler (ASTM, 2016). International Organization for Standardization (ISO) tarafından yayınlanan "ISO 17636-1: Non-destructive testing of welds - Radiographic testing - Part 1: X- and gamma-ray techniques with film" standartı kaynakların radyografik testi için X ve gama ışını tekniklerini belirler (ISO 17636, 2013).

### **2.1.3. Manyetik parçacık testi (MT)**

Manyetik parçacık testi, manyetik alan yardımıyla malzeme yüzeyindeki ve yüzey altındaki kusurları tespit eder. Manyetik bir alan oluşturulduğunda, kusurların bulunduğu bölgelerde manyetik akı yoğunlaşır ve bu bölgeler manyetik parçacıklarla belirgin hale gelir. Manyetik parçacık testi, demir içeren malzemeler için uygundur ve yüzey kusurlarını tespit etmede oldukça etkilidir. Ancak, bu yöntem yalnızca ferromanyetik malzemelerde uygulanabilir. Manyetik parçacık testinin teorisi ve uygulamaları hakkında Hagemaiier'in "Magnetic Particle Testing: Theory and Practice" kitabı kapsamlı bir çalışmadır (Hagemaiier, 1990). Balog'un "Nondestructive Testing Handbook, Third Edition: Volume 8, Magnetic Particle Testing" çalışmasında manyetik parçacık test yöntemleri ve uygulamaları hakkında detaylı bilgi sunan bir rehberdir (Balog G.Y, 2008). Lee ve Kim'in çalışmasında, manyetik parçacık testinin endüstrideki uygulamaları detaylı olarak incelenmiştir (Lee & Kim, 2010). McMaster ve Moore'un "Recent Developments in Magnetic Particle Inspection" çalışması manyetik parçacık muayenesinde son gelişmeler üzerine bir çalışmadır. (R. C. McMaster ve ark. , 2009). ASTM International

tarafından yayınlanan ASTM E1444/E1444M-16 standardı, manyetik parçacık testi için prosedürleri belirler (ASTM, 2016).

International Organization for Standardization (ISO) tarafından yayınlanan ISO 9934-1: Non-destructive testing - Magnetic particle testing - Part 1: General principles Manyetik parçacık testinin genel prensipleri hakkında uluslararası standarttır ( ISO 9934-1:2016).

#### **2.1.4. Sıvı penetrant testi (PT)**

Sıvı penetrant testi, yüzey kusurlarını tespit etmek için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde, malzemenin yüzeyine uygulanan penetrant sıvı, kusurların içine nüfuz eder. Fazla sıvı temizlendikten sonra, yüzeye uygulanan geliştirici madde, kusurlardaki sıvıyı yüzeye çıkararak kusurların belirgin hale gelmesini sağlar. Sıvı penetrant testi, basit ve düşük maliyetli bir yöntemdir ancak yalnızca yüzey kusurlarını tespit edebilir. Sıvı penetrant testinin temelleri ve uygulamaları hakkında Mix'in "Liquid Penetrant Testing" kitabı alanda önemli bir kaynaktır (Mix, 1987). Moore ve Smith'in çalışmasında, sıvı penetrant testinin endüstrideki uygulamaları ve sınırlamaları detaylı olarak incelenmiştir (Moore & Smith, 2010). ASTM International tarafından yayınlanan ASTM E165/E165M-18 standardı, sıvı penetrant testi için prosedürleri belirler (ASTM, 2018). International Organization for Standardization (ISO) tarafından yayınlanan ISO 3452-1: Non-destructive testing - Penetrant testing - Part 1: General principles sıvı penetrant testinin genel prensipleri hakkında uluslararası standarttır (ISO 3452-1, 2013).

#### **2.2. Görüntü İşleme Teknikleri**

Görüntü işleme, dijital görüntülerin analiz edilmesi ve işlenmesi yoluyla bilgi elde etme sürecidir. Bilgisayarla görü olarak da bilinen bu teknoloji, çeşitli mühendislik ve endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır. 2018 yılında Perihanoğlu ve ark. tarafından yapılan çalışmada görüntünün zenginleştirilmesi, görüntü içerisindeki nesnenin görüntü arka planından ayrılması, morfolojik operatörlerin uygulanması türev tabanlı Sobel ve Prewitt kenar algılama operatörleri, Log kenar operatörü ve Canny kenar operatörü ele alınmıştır (Perihanoğlu G.M. ve ark. 2018). Orijinal görüntü ve elde edilen sonuç

görüntüsü değerlendirilmiş olup görüntümüze uygulanan kenar algılama operatörlerinin birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları belirtilmiştir. Bu çalışmada kullanılan algoritmalar kaynak hatalarının tespiti için bu tez kapsamında referans alınmış ve olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Dijital görüntü işlemenin temelleri ve ileri teknikleri hakkında Gonzalez ve Woods'un "Digital Image Processing" kitabı kapsamlı bir kaynaktır (Gonzalez & Woods, 2018). Aggarwal ve Ryoo'nun çalışmasında, görüntü ve videolarda nesne tespiti için görüntü işleme teknikleri detaylı olarak incelenmiştir (Aggarwal & Ryoo, 2011).

ISO tarafından yayınlanan ISO/IEC 15444-1:2000 standardı, JPEG 2000 görüntü kodlama sisteminin temel prensiplerini belirler (ISO 15444-1, 2000).

### **2.2.1. Dijital görüntü işleme**

Dijital görüntü işleme, görüntülerin sayısal verilere dönüştürülerek analiz edilmesini içerir. Bu teknik, görüntü iyileştirme, segmentasyon, özellik çıkarımı ve sınıflandırma gibi adımları kapsar. Dijital görüntü işleme teknikleri, NDT filmlerindeki kusurların otomatik olarak tespit edilmesi ve sınıflandırılması için kullanılabilir.

### **2.2.2. Görüntü iyileştirme**

Görüntü iyileştirme, görüntü kalitesini artırmak için kullanılan bir dizi tekniktir. Bu teknikler arasında gürültü giderme, kontrast artırma ve kenar belirleme gibi işlemler yer alır. NDT filmlerinde, görüntü iyileştirme teknikleri kullanılarak kusurların daha belirgin hale getirilmesi sağlanabilir. Pizer ve Austin Tarafından yapılan çalışmada, görüntü iyileştirme teknikleri detaylı olarak incelenmiştir (Pizer, Amburn & Austin, 1987). Petrou ve ark.'nın "Image Processing: The Fundamentals" kitabı görüntü işlemenin temelleri hakkında detaylı bir kaynaktır ve görüntü iyileştirme teknikleri üzerinde odaklanmıştır (Petrou ve ark. 2010). Alan C. Bovik'in "Handbook of Image and Video Processing" kitabı görüntü ve video işlemenin çeşitli tekniklerini kapsayan geniş kapsamlı bir kitaptır ve görüntü iyileştirme yöntemleri üzerine de bölümler içerir (A. C., Bovik, 2010).

### **2.2.3. Görüntü segmentasyonu**

Görüntü segmentasyonu, bir görüntünün farklı bölgelere ayrılması işlemidir. Bu işlem, kusurların tespit edilmesi ve analiz edilmesi için önemlidir. Segmentasyon teknikleri, NDT filmlerindeki kusurları belirlemek için kullanılabilir. Y. J. Zhang'ın "A Survey on Image Segmentation Techniques" çalışması görüntü segmentasyonu teknikleri üzerine kapsamlı bir incelemedir (Zhang, 1996). P. F. Felzenszwalb, D. P. Huttenlocher'ın "Graph-Based Image Segmentation" çalışması görüntü segmentasyonu için grafik tabanlı yöntemler üzerine bir sunulmuş bir çalışmadır (P. F. Felzenszwalb ve ark., 2004). IEEE tarafından yayınlanan IEEE Std 1857-2005 standardı, görüntü işleme ve veri sıkıştırma standartlarını belirler (IEEE 1857, 2005).

### **2.2.4. Özellik çıkarımı ve sınıflandırma**

Özellik çıkarımı, görüntüdeki belirli özelliklerin belirlenmesi ve çıkarılması işlemidir. Bu özellikler, kusurların tespiti ve sınıflandırılması için kullanılabilir. Sınıflandırma ise, çıkarılan özelliklerin analiz edilerek kusurların türüne göre sınıflandırılması işlemidir. Makine öğrenmesi ve yapay zeka teknikleri, bu aşamada büyük bir rol oynar. Görüntüde özellik çıkarımı ve sınıflandırma yöntemleri hakkında Bishop'un "Pattern Recognition and Machine Learning" kitabı alanda önemli bir referanstır (Bishop, 2006). Szeliski'nin "Computer Vision: Algorithms and Applications" kitabında bilgisayarla görme algoritmaları ve uygulamaları hakkında geniş ve kapsamlı bir kaynaktır (Szeliski, 2010). Nixon ve Aguado'nun "Feature Extraction and Image Processing for Computer Vision" kitabı bilgisayarla görme için özellik çıkarımı ve görüntü işleme teknikleri üzerine detaylı bir kitaptır (Nixon ve ark.,2019). Özellik çıkarımı ve sınıflandırma yöntemlerini içerir. Smith ve Johnson'ın çalışmasında, görüntüde özellik çıkarımı teknikleri ve uygulamaları detaylı olarak incelenmiştir (Smith & Johnson, 2009).

## **2.3. NDT ve Görüntü İşleme Tekniklerinin Entegrasyonu**

Son yıllarda, görüntü işleme teknikleri, çeşitli mühendislik ve endüstriyel uygulamalarda büyük bir gelişme göstermiştir. Görüntü işleme yöntemleri, NDT tekniklerine entegre

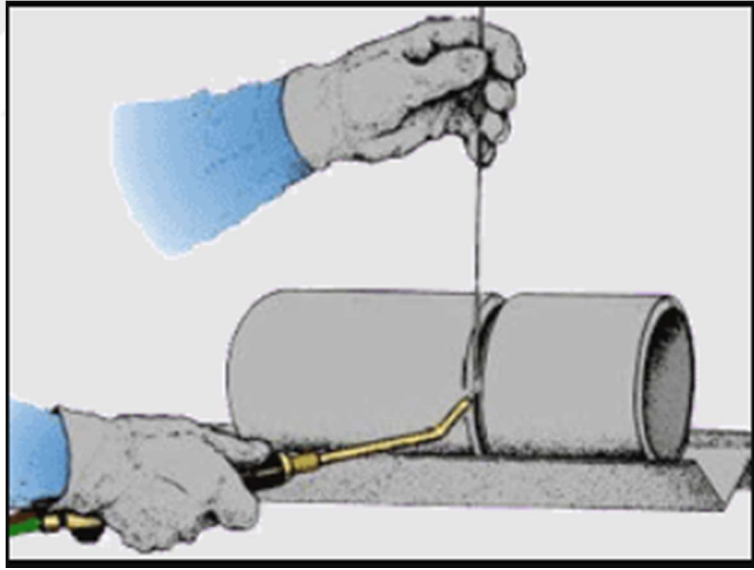
edilerek, boru kaynaklarının daha etkili bir şekilde incelenmesini sağlayabilir. Bu entegrasyon, manuel analizlerin yerini alarak hata oranlarını azaltabilir ve süreçlerin hızlanmasına katkıda bulunabilir. Ayrıca bu teknikler, radyografik filmlerin analizinde, kaynak hatalarının otomatik tespiti ve sınıflandırılması için kullanılabilir. Literatürde, görüntü işleme tekniklerinin NDT uygulamalarında kullanımı üzerine birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar, farklı görüntü işleme algoritmalarının NDT filmlerine uygulanmasını ve elde edilen sonuçların analizini içermektedir.

Kaynak hatalarının tespiti için görüntü işleme yöntemleri son yıllarda gelişen görüntüleme cihazları ve teknikleri sayesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Chen ve ark., 2021, Kafieh ve ark., 2011, Madani ve Azizi, 2015. Bu çalışmalarda kaynak hatalarını tespit etmek için farklı algoritmalar kullanılmıştır. Önerilen bir diğer çalışmada iki farklı algoritma geliştirilmiştir. İlk önce uzmanlardan, ders kitaplarından ve uluslararası standartlardan toplanan önceden tanımlanmış bir tanımlama ağacına dayanarak kusur türleri belirlenmiş ve sonra ise belirlenen kusurlar için uluslararası standartlara göre kabul kararı veren diğer bir karar destek algoritması kullanılmıştır. (Shafeek ve ark., 2004). Boaretto ve Centeno tarafından kaynaklarda oluşan gözenekleri kusurlu ve kusursuz olarak sınıflandırma işlemi yapan çok katmanlı sınıflandırma algoritmaları kullanılarak tamirat gerektiren ve gerektirmeyen kaynak hataları belirlenmiştir (Boaretto ve Centeno, 2017). Bir diğer kaynak kusuru tespiti yapılan çalışmada ise yapay bağışıklık sistemi ve derin öğrenme teknikleri kullanılarak kaynağın kusurlu yada kusursuz olarak sınıflandırılması yapılmıştır (Fioravanti ve ark., 2019). Doe ve Smith'in çalışmasında, NDT teknikleri ve görüntü işleme entegrasyonu için endüstriyel uygulamalar detaylı olarak incelenmiştir (Doe & Smith, 2015).

### 3. KAYNAK

Kaynak, iki veya daha fazla metal parçasının (boru-boru, boru-fittings, fittings – fittings) ısı, basınç veya her ikisinin bir kombinasyonu kullanılarak birleştirilmesi sürecidir. Kaynak işlemi, metal parçalarının moleküler düzeyde birleşmesini sağlayarak güçlü ve dayanıklı bağlantılar oluşturur. Kaynak işlemi boru hatları, inşaat, imalat, otomotiv, havacılık ve gemi yapımı gibi birçok endüstriyel alanda yaygın olarak kullanılır.

Kaynak, endüstriyel uygulamalarda kritik öneme sahip bir birleştirme yöntemidir. Kaynakçının eğitimi ve kaynağın ne şekilde yapılacağı ulusal ve uluslararası şartnamelere göre belirlenir. Kaynak prosedürü şartnamesi (Welding Procedure Specification-WPS) ve Kaynak Prosedürü Kalifikasyon Kaydı (Procedure Qualification Record-PQR) işin özelliğine, boru çapına, boru et kalınlığına göre ayrı ayrı belirlenir ve bu şartnamelere uyulması büyük önem arz eder. Şekil 1 'de kaynak işlemi gösterilmiştir.



Şekil 1. Kaynak işlemi uygulaması(metaluzmanı.com)

#### 3.1.Kaynak Prosedürü (WPS) ve Kaynak Kalifikasyon Kaydı (PQR)

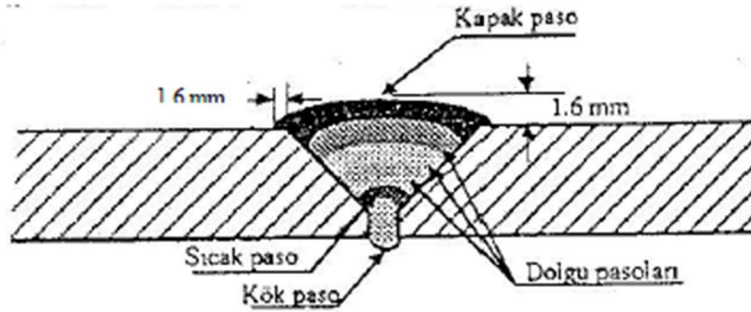
Kaynak Prosedürü Şartnamesi (WPS), kaynak işlemlerinin doğru, güvenli ve standartlara uygun bir şekilde yapılmasını sağlayan kritik bir belgedir. WPS 'in doğru hazırlanması ve uygulanması, kaynak dikişlerinin kalitesini ve dayanıklılığını artırır. R.S. Parmar

"Welding Engineering and Technology" kitabında kaynak mühendisliği ve teknolojisi üzerine kapsamlı bilgiler sunar, WPS ve PQR'ı oluşturma süreçlerini detaylandırır. (Parmar R.S. ,1997). Larry Jeffus çalışmasında kaynak prensipleri ve uygulamaları hakkında geniş bilgiler sunmuş ve detaylı bölümler içerir (Jeffus L., 2016).

Kaynak Prosedürü Kalifikasyon Kaydı (PQR), kaynak prosedürlerinin doğruluğunu ve uygunluğunu belgeleyen önemli bir kayıttır. PQR 'in doğru hazırlanması ve onaylanması, kaynak işlemlerinin yüksek kalitede ve güvenli bir şekilde yapılmasını sağlar.

### 3.1.1. Kaynak prosedürü (WPS)

Kaynak Prosedürü (WPS - Welding Procedure Specification), bir kaynak işleminin nasıl yapılacağını ayrıntılı olarak tanımlayan resmi bir belgedir. WPS, kaynak işleminin her aşamasını ve tüm teknik parametrelerini içerir. Amacı, kaynak işlemlerinin tutarlı ve yüksek kalitede yapılmasını sağlamaktır. Şekil 2 'de bir WPS 'e ait olması gereken kaynak pasoları görünmektedir.



Şekil 2. WPS'e göre kaynak pasoları

#### 3.1.1.1.WPS'nin içeriği

Bir WPS belgesi, kaynak işlemi sırasında dikkate alınması gereken tüm ayrıntıları kapsar. WPS 'in içeriği, aşağıdaki konuları içerir.

**Kaynak Yöntemi:** WPS, kullanılacak kaynak yöntemini (örneğin, MIG, TIG, SMAW) belirtir. Her yöntemin kendine özgü avantajları ve uygulama alanları vardır.

**Malzeme Türü:** Kaynak yapılacak malzemenin kimyasal ve mekanik özellikleri WPS 'de ayrıntılı olarak belirtilir. Bu, kullanılan malzemenin kalitesinin ve uyumluluğunun sağlanması için önemlidir.

**Kaynak Pozisyonu:** Kaynak işleminin yapılacağı pozisyon (örneğin, yatay, dikey, tavan) WPS 'de belirtilir. Her pozisyon, farklı teknikler ve zorluklar gerektirir.

**Isı Girdisi ve Ön Isıtma:** WPS, kaynak sırasında uygulanacak ısı girdisini ve gerekirse ön ısıtma sıcaklıklarını içerir. Bu, kaynak dikişinin kalitesini ve malzemenin bütünlüğünü korumak için önemlidir.

**Kaynak Akımı ve Voltajı:** Kullanılacak kaynak makinesinin akım ve voltaj ayarları WPS 'de belirtilir. Bu parametreler, kaynak dikişinin düzgün ve dayanıklı olmasını sağlar.

**Koruyucu Gaz Türü ve Akış Hızı:** Gaz korumalı kaynak yöntemlerinde (örneğin, MIG, TIG), kullanılacak koruyucu gazın türü ve akış hızı WPS 'de belirtilir. Bu, kaynak havuzunun oksidasyonunu önler ve kaynak kalitesini artırır.

**Elektrot Türü ve Çapı:** Kullanılacak elektrotun türü ve çapı WPS 'de ayrıntılı olarak belirtilir. Elektrot seçimi, kaynak dikişinin kalitesi ve dayanıklılığı için kritik öneme sahiptir.

**Kaynak Hızı:** Kaynak işleminin yapılacağı hız, WPS 'de belirtilir. Kaynak hızı, kaynak dikişinin homojenliğini ve penetrasyonunu etkiler.

**Pasolar ve Katmanlar:** WPS, kaynak pasolarının ve katmanlarının nasıl yapılacağını ayrıntılı olarak tanımlar. Bu, kaynak dikişinin kademeli olarak oluşturulmasını sağlar ve kusurların oluşumunu engeller.

### 3.1.1.2. WPS 'in hazırlanması

WPS 'in hazırlanması, deneyimli mühendisler ve kaynak uzmanları tarafından yapılır. Hazırlık sürecinde aşağıdaki adımlar izlenir.

**Ön İnceleme ve Malzeme Analizi:** İlk olarak, kaynak yapılacak malzemenin özellikleri analiz edilir ve ön inceleme yapılır. Malzemenin kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri belirlenir.

**Deneysel Kaynak ve Testler:** WPS 'in taslağı hazırlanırken, deneysel kaynaklar yapılır ve bu kaynaklar çeşitli testlere tabi tutulur. Bu testler, kaynak dikişinin mukavemetini, dayanıklılığını ve kalitesini değerlendirmek için yapılır.

**Parametrelerin Belirlenmesi:** Deneysel kaynak sonuçlarına dayanarak, kullanılacak tüm teknik parametreler (akım, voltaj, hız vb.) belirlenir ve WPS belgesine eklenir.

**Onay ve Sertifikasyon:** WPS belgesi, ilgili standartlara ve yönetmeliklere uygunluğunun sağlanması için yetkili kurumlar tarafından onaylanır ve sertifikalandırılır.

### 3.1.1.3. WPS 'in önemi

WPS, kaynak işlemlerinin tutarlı ve yüksek kalitede yapılmasını sağlamak için hayati öneme sahiptir. WPS 'in başlıca avantajları şunlardır:

**Kalite Kontrol:** WPS, kaynak işlemlerinin belirli bir standartta ve kalitede yapılmasını sağlar.

**Tutarlılık:** Farklı operatörler tarafından yapılan kaynak işlemlerinde tutarlılık sağlar.

**Güvenlik:** Uygun kaynak prosedürlerinin kullanılması, malzeme bütünlüğünü korur ve güvenli bir yapı oluşturur.

**Yasal Uyum:** WPS endüstri standartlarına ve yönetmeliklere uyumu sağlar.

### **3.1.2. Kaynak kalifikasyon kaydı (PQR)**

PQR (Procedure Qualification Record - Kaynak Prosedürü Kalifikasyon Kaydı), belirli bir kaynak prosedürünün doğruluğunu ve uygunluğunu belgeleyen resmi bir kayıttır. PQR, WPS (Kaynak Prosedürü Şartnamesi) belgesinde tanımlanan prosedürlerin test edilmesi ve onaylanması sürecini ayrıntılı olarak açıklar. PQR, kaynak işleminin kalite kontrolünün sağlanması için kritik bir belgedir.

#### **3.1.2.1. PQR 'in içeriği**

Bir PQR belgesi, kaynak prosedürünün doğru ve güvenilir bir şekilde uygulandığını doğrulamak için gerekli tüm testlerin sonuçlarını içerir. PQR 'in içeriği aşağıdaki başlıkları kapsar.

**Kaynak Yöntemi:** Kullanılan kaynak yönteminin (örneğin, MIG, TIG, SMAW) ayrıntılı açıklaması PQR 'de yer alır. Bu, kaynak işleminin türüne göre belirlenen parametrelerin doğruluğunu sağlar.

**Malzeme Özellikleri:** Kaynak yapılan malzemenin kimyasal ve mekanik özellikleri detaylı olarak belirtilir. Malzemenin türü, bileşimi ve sertifikaları PQR 'de yer alır.

**Test Kuponları:** Kaynak prosedürünün doğruluğunu test etmek için kullanılan test kuponlarının ayrıntıları, PQR 'de belirtilir. Test kuponları, belirli boyut ve şekillerde hazırlanmış numunelerdir.

**Test Sonuçları:** PQR, yapılan mekanik ve tahribatsız testlerin sonuçlarını içerir. Bu testler arasında çekme testi, bükme testi, sertlik testi, radyografik test ve ultrasonik test gibi yöntemler yer alır.

**Kaynak Parametreleri:** Kaynak işlemi sırasında kullanılan tüm parametreler (akım, voltaj, hız, ısı girdisi vb.) ayrıntılı olarak PQR 'de belirtilir. Bu parametreler, WPS belgesindeki değerlerle uyumlu olmalıdır.

**Gözlem ve Notlar:** Kaynak işlemi sırasında yapılan gözlemler ve ek notlar, PQR belgesine eklenir. Bu notlar, kaynak prosedürünün uygulanması sırasında karşılaşılan herhangi bir sorun veya dikkate alınması gereken özel durumları içerir.

### 3.1.2.2. PQR 'in hazırlanması

PQR 'in hazırlanması, belirli adımlar ve testler gerektirir. Bu süreçte dikkat edilmesi gereken önemli noktalar şunlardır

**Test Kuponlarının Hazırlanması:** Öncelikle, PQR 'de belirtilen malzemeler kullanılarak test kuponları hazırlanır. Bu kuponlar, belirli boyutlarda ve şekillerde kesilir ve kaynak işlemi uygulanır.

**Kaynak Uygulaması:** Hazırlanan test kuponlarına, WPS 'de belirtilen prosedürler ve parametreler kullanılarak kaynak yapılır. Bu süreç, deneyimli ve sertifikalı kaynakçılar tarafından gerçekleştirilir.

**Mekanik ve Tahribatsız Testler:** Kaynak işlemi tamamlandıktan sonra, test kuponları çeşitli mekanik ve tahribatsız testlere tabi tutulur. Bu testler, kaynak dikişinin mukavemetini, dayanıklılığını ve kalitesini değerlendirir.

**Test Sonuçlarının Değerlendirilmesi:** Yapılan testlerin sonuçları, belirlenen standartlar ve kriterler doğrultusunda değerlendirilir. Test sonuçları, PQR belgesine eklenir ve prosedürün uygunluğu onaylanır.

**Onay ve Sertifikasyon:** PQR belgesi, ilgili standartlara ve yönetmeliklere uygunluğunun sağlanması için yetkili kurumlar tarafından onaylanır ve sertifikalandırılır. Bu onay, kaynak prosedürünün güvenilirliğini ve geçerliliğini resmi olarak teyit eder.

### 3.1.2.3. PQR 'in önemi

PQR, kaynak işlemlerinin kalite kontrolünün sağlanması ve standartlara uygunluğunun doğrulanması için kritik bir belgedir. PQR 'in başlıca avantajları şunlardır.

**Kalite Güvencesi:** PQR, kaynak prosedürünün belirli bir kalite standardını karşıladığını ve güvenilir olduğunu gösterir.

**Tutarlılık:** Farklı projelerde ve operatörler tarafından uygulanan kaynak işlemlerinin tutarlı olmasını sağlar.

**Güvenlik:** PQR, kaynak dikişlerinin güvenli ve dayanıklı olmasını temin eder, yapısal bütünlüğü korur.

**Yasal Uyum:** PQR, endüstri standartlarına ve yönetmeliklere uyumu sağlar, yasal gerekliliklerin yerine getirilmesine yardımcı olur.

## 3.2. Kaynak Türleri

Kaynak işlemi, kullanılan teknik ve ekipmana bağlı olarak çeşitli türlere ayrılabilir. Başlıca kaynak türleri aşağıda verilmiştir.

### 3.2.1. Oksiasetilen kaynağı

Oksiasetilen kaynağı, oksijen ve asetilen gazlarının karışımı ile oluşturulan yüksek sıcaklıklı alev kullanılarak yapılan bir kaynak türüdür. Bu yöntem, ince metal levhaların birleştirilmesi ve onarımı için yaygın olarak kullanılır. Oksiasetilen kaynak ve kesme teknikleri hakkında Manly'nin "Oxy-Acetylene Welding and Cutting" kitabına bakılabilir (Manly, 2000). Davis ve Smith'in çalışmasında, oksiasetilen kaynak parametrelerinin kaynaklı bağlantıların mekanik özellikleri üzerindeki etkisi detaylı olarak incelenmiştir (Davis & Smith, 2012). AWS tarafından yayınlanan AWS C4.2/C4.2M:2020 standardı, oksiasetilen gaz kesme ve kaynak için önerilen uygulamaları belirler (AWS, 2020).

### **3.2.2. Elektrik ark kaynağı**

Elektrik ark kaynağı, bir elektrot ve kaynak parçası arasında oluşan elektrik arkı kullanarak yapılan bir kaynak türüdür. Elektrik ark kaynağı, yüksek akım ve voltaj kullanarak metal parçalarının eritilmesini ve birleştirilmesini sağlar. Bu yöntem, ağır sanayi ve inşaat sektörlerinde yaygın olarak kullanılır. Elektrik ark kaynağı teknikleri ve uygulamaları hakkında Jeffus'un "Welding Principles and Applications" kitabına önemli bir kaynaktır (Jeffus, 2016). Althouse ve arkadaşlarının "Modern Welding" kitabı Modern kaynak teknikleri üzerine geniş kapsamlı bir kitaptır ve Elektrik ark kaynağı hakkında detaylı bilgiler sunar (Althouse ve ark., 2012). Hoffman'ın "Welding: Theory and Practice" kitabında kaynak teorisi ve uygulamaları hakkında kapsamlı bir kitaptır. Elektrik ark kaynağı teknikleri ve uygulamaları üzerinde durur (Hoffman, 2005). Chandel ve Seow'un çalışmasında, yüksek mukavemetli çelikler için elektrik ark kaynağı teknolojisindeki gelişmeler detaylı olarak incelenmiştir (Chandel & Seow, 1999). AWS tarafından yayınlanan AWS D1.1/D1.1M:2020 standardı, çelik yapılar için elektrik ark kaynağı prosedürlerini belirler (AWS, 2020).

### **3.2.3. MIG/MAG kaynağı**

MIG (Metal Inert Gas) ve MAG (Metal Active Gas) kaynağı, bir tel elektrotun sürekli olarak beslenmesi ve inert veya aktif gaz ortamında yapılmasıdır. MIG kaynağı, alüminyum ve paslanmaz çelik gibi metallerin birleştirilmesinde kullanılırken, MAG kaynağı genellikle karbon çeliği kaynaklarında tercih edilir. Jeffus'un "Welding Principles and Applications" kitabı MIG/MAG kaynağı teknikleri ve uygulamaları konusu ele alınmıştır (Jeffus, 2016). Althouse'un "Modern Welding" kitabında Modern kaynak teknikleri üzerine geniş kapsamlı bir çalışmadır ve MIG/MAG kaynağı hakkında detaylı bilgi sunar (Althouse ve ark., 2012). Khan ve Mir'in çalışmasında, MIG kaynak proses parametrelerinin optimizasyonu detaylı olarak incelenmiştir (Khan & Mir, 2012). AWS tarafından yayınlanan AWS D1.1/D1.1M:2020 standardı, çelik yapılar için MIG/MAG kaynağı prosedürlerini belirler (AWS, 2020).

### **3.2.4. TIG kaynağı**

TIG (Tungsten Inert Gas) kaynağı, tungsten elektrot kullanılarak yapılan bir kaynak türüdür. Bu yöntem, yüksek hassasiyet gerektiren ince ve hassas metallerin birleştirilmesinde kullanılır. TIG kaynağı, temiz ve yüksek kaliteli kaynak dikişleri oluşturur. Houldcroft'un "GTAW/TIG Welding" kitabı gaz tungsten ark kaynağı (GTAW) olarak da bilinen TIG kaynağı teknikleri ve uygulamaları hakkında kapsamlı bir kaynaktır (Houldcroft, 1989). Gupta ve Singh'in çalışmasında, paslanmaz elik için TIG kaynak parametrelerinin optimizasyonu detaylı olarak incelenmiştir (Gupta & Singh, 2012). AWS tarafından yayınlanan AWS D10.11M/D10.11:2020 standardı, TIG kaynağı için boru kök geçiş kaynaklarının nasıl yapılacağını açıklar (AWS, 2020).

### **3.2.5. Plazma Kaynağı**

Plazma kaynağı, iyonize edilmiş gaz (plazma) kullanılarak yapılan bir kaynak türüdür. Bu yöntem, yüksek hız ve hassasiyet gerektiren uygulamalarda kullanılır. Plazma kaynağı, özellikle ince metallerin kesilmesi ve kaynak yapılmasında etkilidir. Cary'nin "Plasma Arc Welding" kitabı plazma kaynağı teknikleri ve uygulamaları açısından önemli bir referanstır (Cary, 1991). Khan ve Mir'in çalışmasında, plazma ark kaynak proses parametrelerinin optimizasyonu detaylı olarak incelenmiştir (Khan & Mir, 2012). AWS tarafından yayınlanan AWS C5.6/C5.6M:2017 standardı, plazma ark kaynağı için önerilen uygulamaları belirler (AWS, 2017).

## **3.3.Kaynak Pasoları**

### **3.3.1. Kaynak Pasosu Nedir?**

Kaynak pasoları, kaynak işlemi sırasında yapılan ardışık kaynak geçişleridir. Her bir paso, kaynak dikişinin belirli bir bölümünü oluşturur ve birden fazla paso, tüm kaynak dikişinin tamamlanmasını sağlar. Pasolar, kaynak dikişinin kalitesini ve mukavemetini doğrudan etkileyen kritik unsurlardır. ISO tarafından yayınlanan "ISO 15614-1: Specification and Qualification of Welding Procedures for Metallic Materials – Welding

Procedure Test – Part 1: Arc and Gas Welding of Steels and Arc Welding of Nickel and Nickel Alloys” metalik malzemeler için kaynak prosedürü testlerinin şartname ve kalifikasyonunu belirler (ISO 15614-1,2017).

Kaynak pasoları, kaynak işleminin temel bileşenleridir ve kaynak dikişinin kalitesini doğrudan etkiler. Doğru teknikler ve ekipmanlar kullanılarak yapılan pasolar, kaynaklı yapının mukavemetini ve dayanıklılığını artırır. Ayrıca, tahribatsız muayene yöntemleri ile pasoların kalitesinin kontrol edilmesi, kaynak dikişindeki hataların tespit edilmesine ve giderilmesine yardımcı olur.

### **3.3.2. Kaynak pasosu türleri**

Kaynak pasoları, kaynak dikişinin geometrisine ve yapılan kaynak işleminin türüne göre farklılık gösterebilir. Başlıca kaynak pasosu türleri aşağıda verilmiştir.

#### **3.3.2.1. Kök pasosu (Root pass)**

Kök pasosu, kaynak dikişinin ilk katmanını oluşturur ve kaynak bağlantısının temelini sağlar. Bu paso, genellikle malzemelerin birleşme noktasında başlar ve kök penetrasyonunu sağlamak için dikkatle yapılır. Kök pasonun kalitesi, tüm kaynak dikişinin dayanıklılığı için kritik öneme sahiptir.

#### **3.3.2.2. Dolgu pasosu (Fill pass)**

Dolgu pasoları, kök pasonun üzerine yapılan ardışık kaynak katmanlarıdır. Bu pasolar, kaynak dikişinin kalınlığını ve mukavemetini artırmak için yapılır. Dolgu pasoları, kaynak dikişinde oluşabilecek boşlukları doldurur ve bağlantının sağlamlığını sağlar.

#### **3.3.2.3. Kaplama pasosu (Cap pass)**

Kaplama pasosu, kaynak dikişinin son katmanıdır ve yüzeyin düzgün ve estetik görünmesini sağlar. Bu paso, kaynak dikişinin yüzeyini kaplayarak, dış etkenlere karşı

koruma sağlar ve kaynak dikişinin mukavemetini artırır. Kaplama pasosu, düzgün bir kaynak profili ve pürüzsüz bir yüzey elde etmek için özenle yapılmalıdır.

### **3.3.3. Kaynak pasolarının yapılmasında dikkat edilmesi gerekenler**

Kaynak pasolarının doğru bir şekilde yapılması, kaynak dikişinin kalitesi ve dayanıklılığı açısından büyük önem taşır. Pasoların yapılmasında dikkat edilmesi gereken bazı önemli noktalar şunlardır:

**Uygun Kaynak Tekniği ve Ekipmanı Seçimi:** Her kaynak pasosu için uygun kaynak tekniği ve ekipmanın seçilmesi, pasoların kalitesini artırır. Örneğin, kök pasosu için daha hassas ve kontrollü bir kaynak tekniği (örneğin TIG kaynağı) seçilebilirken, dolgu ve kaplama pasoları için daha hızlı ve verimli bir teknik (örneğin MIG veya elektrik ark kaynağı) kullanılabilir.

**Doğru Akım ve Voltaj Ayarları:** Kaynak işleminde kullanılan akım ve voltaj ayarlarının doğru yapılması, kaynak pasolarının kalitesini doğrudan etkiler. Uygun akım ve voltaj değerlerinin seçilmesi, metalin doğru şekilde erimesini ve birleşmesini sağlar.

**Kaynak Hızı ve Pozisyonu:** Kaynak hızı ve pozisyonu, pasoların kalitesini etkileyen diğer önemli faktörlerdir. Kaynak hızı, kaynak metalinin düzgün bir şekilde dağılmasını ve birleşmesini sağlar. Ayrıca, kaynak pozisyonu (örneğin yatay, dikey veya tavan pozisyonu), pasoların düzgün bir şekilde yapılmasını etkiler.

**Pasolar Arası Temizlik:** Her kaynak pasosu arasında, kaynak dikişinin temizlenmesi ve cürufun uzaklaştırılması önemlidir. Bu işlem, sonraki pasonun düzgün bir şekilde yapılmasını sağlar ve kaynak dikişinde yabancı madde birikimini önler.

**Kontrollü Soğuma:** Kaynak pasoları arasında malzemenin kontrollü bir şekilde soğuması, kaynak dikişinin çatlamasını önler ve metalin mukavemetini artırır. Bu nedenle, kaynak işleminde uygun soğuma sürelerine dikkat edilmelidir.

## 4. KAYNAK HATALARI

Çelik boru kaynaklarında karşılaşılan hatalar, boruların bütünlüğünü ve güvenliğini tehlikeye atabilir. Bu nedenle, kaynak hatalarının doğru bir şekilde tespit edilmesi ve analiz edilmesi önemlidir. Kaynak hataları genellikle iç hatalar (gizli hatalar) ve dış hatalar (görünür hatalar) olarak iki kategoriye ayrılır

Kaynak hataları, çelik boru kaynaklarının bütünlüğünü ve güvenliğini ciddi şekilde etkileyebilir. Bu nedenle, kaynak hatalarının doğru bir şekilde tespit edilmesi, analizi ve önlenmesi büyük önem taşır. NDT yöntemleri ve görüntü işleme tekniklerinin entegrasyonu, bu süreci daha etkin ve verimli hale getirebilir. Islam ve Mufti'nin çalışmasında, radyografik görüntülerde kaynak hatalarının sınıflandırılması ve tanımlanması detaylı olarak incelenmiştir (Islam & Mufti, 2010).

AWS tarafından yayınlanan AWS B1.11M/B1.11: 2015 standardı, kaynak hataları türlerini ve görsel olarak nasıl tespit edileceğini açıklar (AWS, 2015).

### 4.1. İç Hatalar

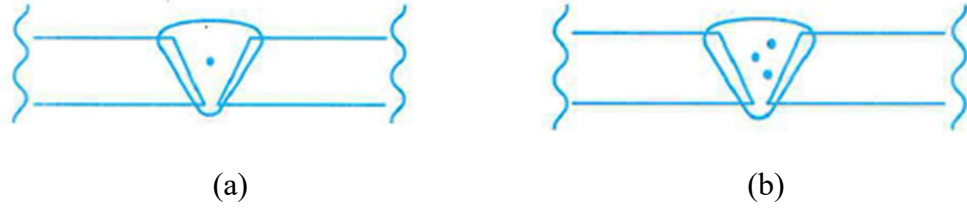
İç hatalar, kaynak dikişinin içinde yer alan ve yüzeyden görünmeyen kusurlardır. Bu tür hatalar genellikle tahribatsız muayene yöntemleri ile tespit edilir. İç hatalar şunları içerebilir:

#### 4.1.1. Gözeneklilik (Porosity)

Kaynak sırasında gaz kabarcıklarının metal içinde hapsolması sonucu oluşur. Gözeneklilik, ergimiş haldeki kaynak bölgesinden yükselerek yüzeyden dışarı çıkma şansı bulamayıp, katılaşmakta olan kaynak metali içerisine hapsolmuş gaz olarak tanımlanır. Gözenekler genellikle küreseldir fakat bazen de uzamış veya düzensiz bir şekilde de olabilirler, örneğin boru(solucan deliği) gibi olan gözenekler. Gözeneklilik, kaynak metalinin mukavemetini azaltabilir. AWS tarafından yayınlanan AWS B1.11M/B1.11: 2015 standardı, kaynak gözenek hataları türlerini ve görsel olarak nasıl tespit edileceği hakkında bilgi sağlar (AWS,2015). ISO tarafından yayınlanan ISO 6520-

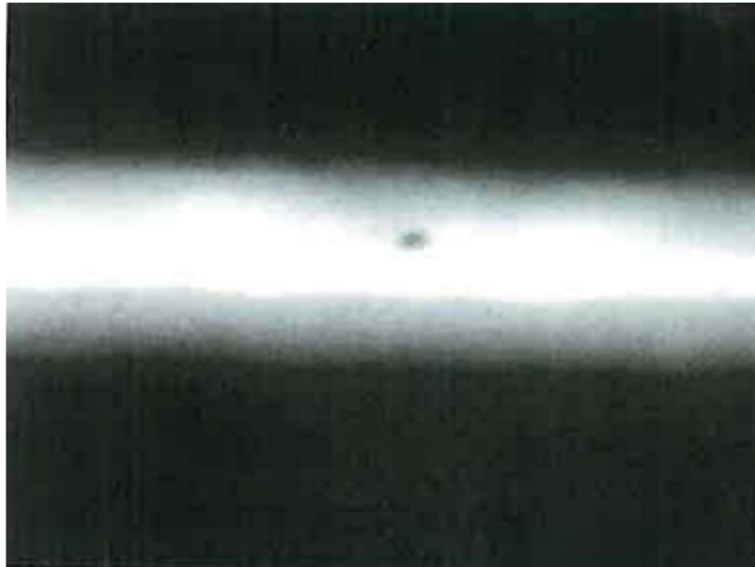
1: Welding and allied processes — Classification of geometric imperfections in metallic materials — Part 1: Fusion welding standardı, metalik malzemelerde geometrik kusurların sınıflandırılması hakkında uluslararası standarttır. Gözenek hataları hakkında detaylı bilgi sağlar (ISO6520-1,2007).

Gözenek hatası ve toplu gözenek hatasının gösterimi Şekil 3.a ve Şekil 3.b' deki gibidir.

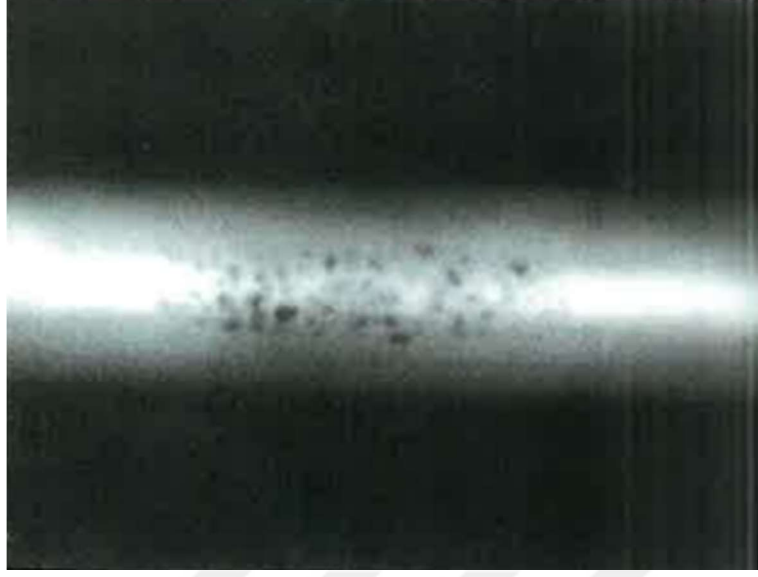


Şekil 3. a) Gözenek gösterimi, b) Toplu gözenek gösterimi (Fujifilm radiographic reference chart)

Gözenek hatası NDT filmlerinde kaynak üzerinde siyah daireler şeklinde görünmektedir. Bazen bir bazen birden fazla olabilir. Gözenegin büyüklüğü ve birden fazla olması durumunda gözeneklerin sıklığı ve birbirlerine olan uzaklıkları filmin değerlendirilmesinde ki başlıca kriterlerdendir. Gözenek ve Toplu gözenek hatalarının NDT filmlerinde görünümü Şekil 4 ve Şekil 5 'teki gibidir.



Şekil 4. Gözenek hatasının NDT filminde görünüşü (Fujifilm radiographic reference chart)



Şekil 5. Toplu gözenek hatasının NDT filminde görünüşü (Fujifilm radiographic reference chart)

#### 4.1.2. Cüruf kapanımları (Slag inclusions)

Kaynak sırasında cürufun tam olarak temizlenmemesi sonucu oluşan yabancı maddelerdir. Cüruf enklüzyonu kaynak metali veya kaynak metali ile ana metal arasında sıkışık kalan metal olamayan katı şekilde tanımlanır. Uzamış cüruf Enklüzyonları (ESIs) genellikle ergime bölgesinde bulunur.

İzole edilmiş cüruf enklüzyonları (ISIs) düzensiz şekildedirler ve kaynak içerisinde herhangi bir yerde bulunabilirler. AWS tarafından yayınlanan AWS B1.11M/B1.11:2015 standardı, kaynak curuf hataları türlerini ve görsel olarak nasıl tespit edileceğini açıklar (AWS, 2015). Curuf hatasının gösterimi Şekil 6.a'da verilmiştir. Curuf hatasının NDT filmlerinde görünümü Şekil 6.b'deki gibidir.



(a)



(b)

Şekil 6. a) Curuf hatası gösterimi b) Curuf hatasının NDT filmde görünüşü (Fujifilm radiographic reference chart)

#### 4.1.3. Çatlaklar (Cracks)

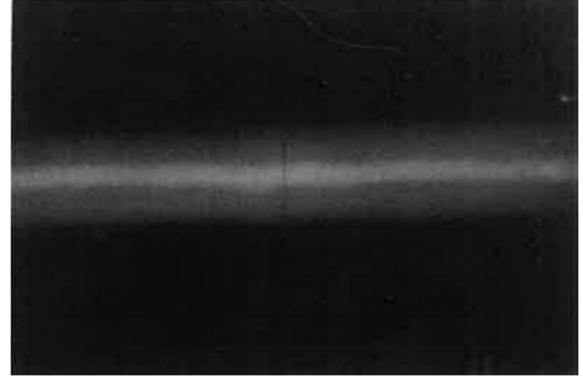
Kaynak bölgesinde termal gerilmeler veya malzeme hataları sonucu oluşan çatlaklardır. Kaynak işlemi yapılırken havanın çok soğuk olması veya kaynak işlemi bittikten sonra kaynağın dış müdahale ile soğutulmaya çalışılması vb. durumlar kaynakta çatlak hatasına sebep olabilir ve NDT filmlerde tespiti en zor hata türlerinden biridir. Çatlak hatasının gösterimi Şekil 7.a 'daki gibidir. Şekil 7.b 'de çatlak hatasının NDT filmde ne şekilde olduğu görünmektedir.

Çatlaklar kaynaklı yapıların dayanıklılığını ciddi şekilde azaltabilir. Aşağıdaki durumlardan herhangi birisi söz konusu ise çatlaklar (C) bir kusur olarak değerlendirilir.

- Herhangidir boyutta ve ya kaynağın herhangi bir yerindeki çatlak sığ krater çatlak veya yıldız çatlak değil ise
- Sığ krater çatlağı veya yıldız çatlak olup boyu 5/32 in.( 4 mm )'i geçiyorsa gerekli tamir işleminin yapılması gereklidir. (American Petroleum Institute,1980)



(a)



(b)

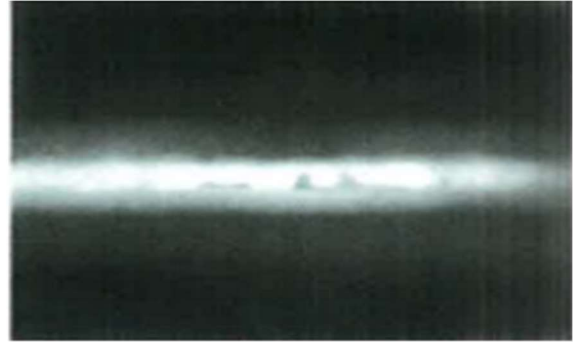
Şekil 7. a) Çatlak hatası gösterimi, b) Çatlak hatasının NDT filmde görünümü (Fujifilm radiographic reference chart)

#### 4.1.4. Füzyon hataları (Lack of fusion)

Kaynak metalinin ana metalle veya diğer kaynak geçişleriyle tam olarak kaynamaması durumudur. Şekil 8.a 'da nüfuziyetsizliğin nerede olduğu gösterilmiştir. Füzyon hatasının NDT filmlerinde ne şekilde olduğu Şekil 8.b'de görünmektedir.



(a)



(b)

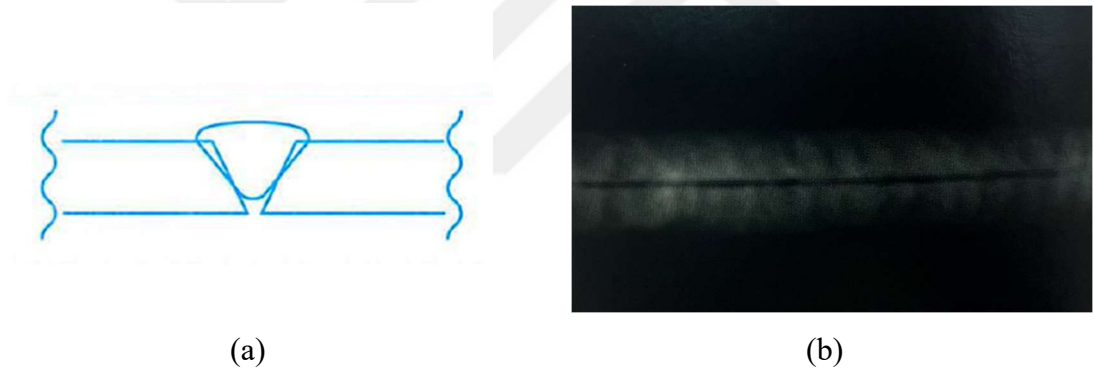
Şekil 8. a) Füzyon hatasının gösterimi, b) Füzyon hatasının NDT filmde görünümü (Fujifilm radiographic reference chart)

#### 4.2. Dış Hatalar

Dış hatalar, kaynak dikişinin yüzeyinde görülebilen kusurlardır. Bu hatalar genellikle görsel muayene veya yüzey testleri ile tespit edilir. Dış hatalar şunları içerebilir:

#### 4.2.1.Kökte yetersiz nüfuziyet ve dahili iç bükeylik (Root concavity):

Kaynak bölgesinin kök pasonun yetersiz olması durumudur. Yüksek-Düşük olmaksızın Yetersiz Penertasyon (IP) kaynak kökünün tamamlanmamış dolgusudur. Bu durum Şekil 9.a' da şematik olarak gösterilmiştir. Aşağıdaki koşullardan herhangi birisi mevcut ise IP bir kusur olarak dikkate alınmalıdır. API (American Petroleum Institute,1980)'e göre bir IP belirtisinin boyu 1 inç (25 mm)'i aşarsa ve ya Birleşik IP belirtilerinin toplam boyları, 12 inç (300mm) uzunluğundaki kaynak içerisinde 1 inç (25mm)'i aşarsa veya birleşik IP belirtilerinin toplam boyları 12 inç (300mm)'den daha kısa kaynak boylarında kaynak boyunun %8'ini geçerse kaynak hatalıdır ve ilgili kaynak kesilerek yeniden dikkatli bir şekilde yapılmalıdır. Şekil 9.b 'de Kökte yetersiz nüfuziyet hatasının NDT filmde ne şekilde görüldüğü görülmektedir. Bu görüntüye göre kök pasonun WPS 'de belirtilen şartlara göre atılmadığı görülmektedir.



Şekil 9. a) Kökte yetersiz nüfuziyet hatası ve iç bükeylik hatasının gösterimi b) Kökte yetersiz nüfuziyet hatasının NDT filmde görünümü (Fujifilm radiographic reference chart)

Düzgün bir şekilde ergimiş ve pahın her iki tarafına doğru boru cidar kalınlığı boyunca tam nüfuz etmiş fakat merkezi boru cidarının oldukça içerisinde olan pasodur.

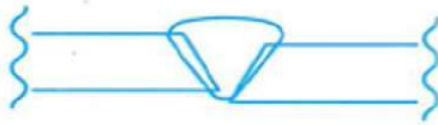
Konkavlık şiddeti boru cidar yüzeyinin aksenal uzantısı ile kaynak paso yüzeyinin en düşük noktası arasındaki dikey mesafedir. Şekil 10'de dahili iç bükeylik hatasının NDT filmlerde ne şekilde görüldüğü gösterilmiştir. Şekil 10'da görüldüğü üzere kök paso kaynağın belli bir kısmında görülmemektedir.



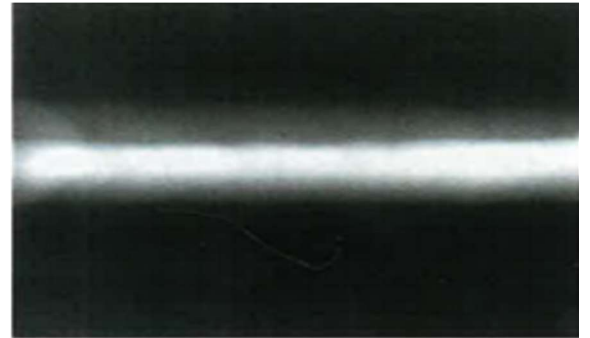
Şekil 10. Dahili iç büyüklük hatasının NDT filminde görünümü (Fujifilm radiographic reference chart)

#### 4.2.2.Yüksek – düşüğe bağlı yetersiz penetrasyon (Linear misalignment)

Yüksek düşüğe bağlı yetersiz penetrasyon (IPD) kökün bir kenarının, bitişikteki boru veya fittingsin yanlış hizalanmasından dolayı, açıkta (veya bağımsız) kaldığı durum şeklinde tanımlanır. Bu durum Şekil 11.a’da şematik olarak gösterilmiştir. Aşağıdaki koşullardan herhangi birisi mevcut ise IPD bir kusur olarak dikkate alınmalıdır. API (American Petroleum Institute,1980). Bir IPD belirtisinin boyu 2 inç (50 mm)’i ve Birleşik IPD belirtilerinin toplam boyları, 12 inç (300mm) uzunluğundaki kaynak içerisinde 3 inç (75 mm )’i aşarsa hata olarak değerlendirilir ve bunun tamiri olmayacağından ilgili kaynak kesilerek tekrar dikkatli bir şekilde kaynak işlemi yenilenmelidir. Yüksek-Düşüğe bağlı yetersiz penetrasyon hatası NDT filmlerinde Şekil 11.b’ deki gibi görünmektedir.



(a)

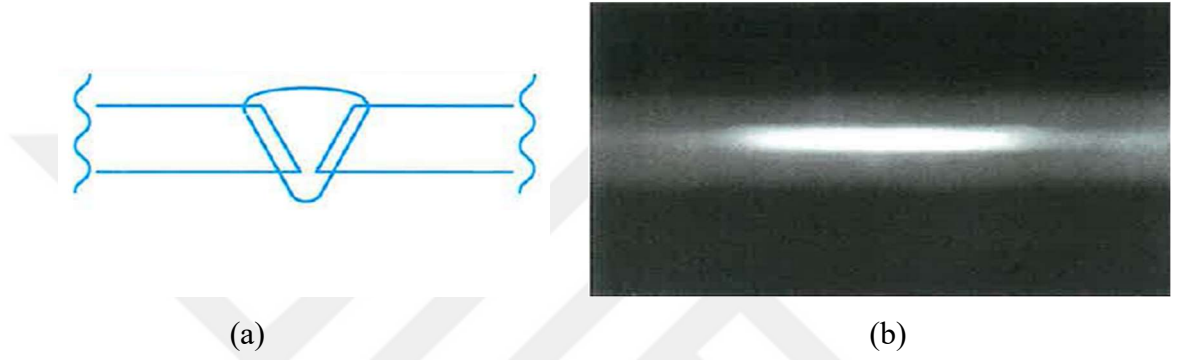


(b)

Şekil 11. a) Yanlış hizalama hatası gösterimi b) Yanlış hizalama hatasının NDT filminde görünümü (Fujifilm radiographic reference chart).

#### 4.2.3.Aşırı geçiş (Excessive reinforcement)

Kaynak Taşması denir. Kaynak metalinin, kaynak dikişinin yüzeyinde gereğinden fazla birikmesi ve kök pasonun içe doğru akmasından kaynaklanır. Bu durum Şekil 12.a'da şematik olarak gösterilmektedir. Kaynak Taşması hatasının NDT filmlerindeki görünümü şekil 12.b'deki gibidir.



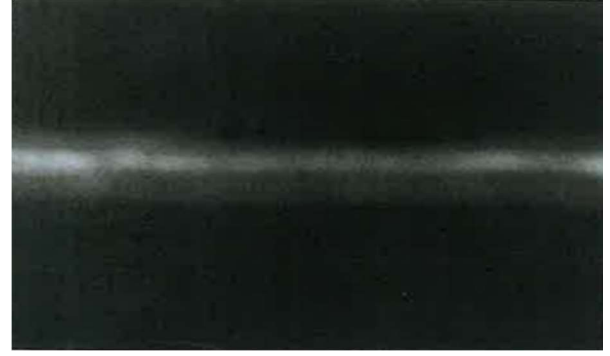
Şekil 12. a) Kaynak taşması hatası gösterimi b) Kaynak taşması hatasının NDT filmde görünümü (Fujifilm radiographic reference chart)

#### 4.2.4.Alt kesme (Undercut)

Kaynak dikişinin kenarında, ana metalde oluşan oyuklardır. Alt kesme, metalin zayıflamasına neden olabilir. Bu hata Şekil 13.a'da olarak gösterilmiştir. Alt Kesme hatasının NDT filmlerdeki görünümü Şekil 13.b'de ki gibidir.



(a)

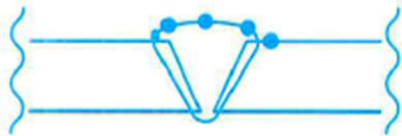


(b)

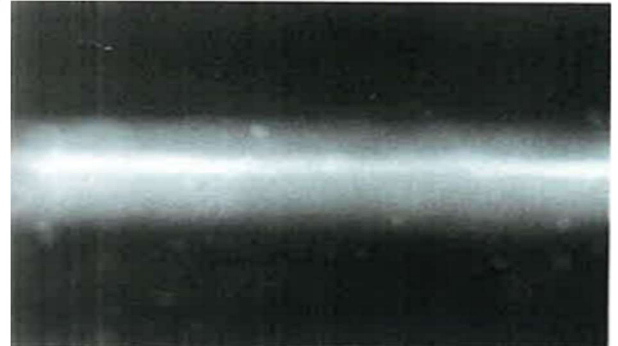
Şekil 13. a) Alt kesme hatası gösterimi b) Alt kesme hatasının NDT filmde görünüşü (Fujifilm radiographic reference chart)

#### 4.2.5.Sıçrama (Spatter)

Kaynak işlemi sırasında kaynak metalinin çevreye sıçramasıyla oluşan küçük metal parçalarıdır. Şekil 14.a'de şematik olarak gösterilmiştir. Sıçrama hatasının NDT filmlerinde görünüşü Şekil 14.b'deki gibidir.



(a)



(b)

Şekil 14. a) Sıçrama hatası gösterimi b) Sıçrama hatasının görünümü (Fujifilm radiographic reference chart)

#### 4.3. Kaynak Hatalarının Nedenleri

Kaynak hatalarının oluşumunda çeşitli faktörler rol oynar. Bu faktörler arasında kaynak yöntemi, kullanılan ekipman, operatör becerileri ve malzeme özellikleri bulunur.

#### **4.3.1. Kaynak yöntemi ve ekipman**

Yanlış seçilmiş veya ayarlanmış kaynak ekipmanları, hataların oluşumunda önemli bir rol oynar. Örneğin, uygun olmayan kaynak akımı veya voltajı, kaynak dikişinde hatalara yol açabilir. Ayrıca, kullanılan kaynak yöntemi (örneğin, MIG, TIG, SAW) ve bu yöntemlere özgü parametreler de hataların oluşumuna neden olabilir.

#### **4.3.2. Operatör becerileri**

Kaynak işlemini gerçekleştiren operatörün deneyimi ve becerileri, kaynak kalitesini doğrudan etkiler. Yetersiz eğitim veya deneyimsizlik, hatalı kaynak uygulamalarına ve dolayısıyla kaynak hatalarına yol açabilir.

#### **4.3.3. Malzeme özellikleri**

Kaynak yapılan malzemenin kimyasal ve fiziksel özellikleri, kaynak hatalarının oluşumunda önemli bir faktördür. Malzemenin safsızlıkları, uygun olmayan alaşım bileşimi veya yanlış ön ısıtma prosedürleri, hataların oluşmasına neden olabilir.

### **4.4. Kaynak Hatalarının Tespiti**

Kaynak hatalarının tespiti için çeşitli tahribatsız muayene (NDT) yöntemleri kullanılır. Bu yöntemler arasında ultrasonik test (UT), radyografik test (RT), manyetik parçacık testi (MT) ve sıvı penetrant testi (PT) yer alır. Bu yöntemlerin her biri, belirli hataların tespiti için uygun olup, avantaj ve dezavantajları ile öne çıkar.

#### **4.4.1. Ultrasonik test (UT) ile kaynak hatalarının tespiti**

Ultrasonik test, iç hataların tespiti için yaygın olarak kullanılır. Bu yöntem, yüksek frekanslı ses dalgaları kullanarak malzeme içerisindeki kusurları tespit eder. Ultrasonik testin avantajları arasında yüksek hassasiyet ve derinlemesine inceleme yapabilme kabiliyeti bulunur.

#### **4.4.2. Radyografik test (RT) ile kaynak hatalarının tespiti**

Radyografik test, X-ışınları veya gama ışınları kullanarak iç hataların görüntülenmesini sağlar. Bu yöntem, özellikle kaynak dikişindeki iç kusurların tespiti için etkilidir. Ancak, radyasyon riski ve yüksek maliyet gibi dezavantajları vardır.

#### **4.4.3. Manyetik parçacık testi (MT) ile kaynak hatalarının tespiti**

Manyetik parçacık testi, ferromanyetik malzemelerde yüzey ve yüzey altı hataların tespiti için kullanılır. Bu yöntem, manyetik alan ve manyetik parçacıklar yardımıyla hataların belirlenmesini sağlar.

#### **4.4.4. Sıvı penetrant testi (PT) ile kaynak hatalarının tespiti**

Sıvı penetrant testi, yüzey hatalarının tespiti için uygundur. Bu yöntem, penetrant sıvının yüzeydeki kusurlara nüfuz etmesi ve bu kusurların belirgin hale gelmesi prensibine dayanır.

#### **4.5. Kaynak Hatalarının Değerlendirilmesi**

Radyografik Muayene filmlerindeki hatalar Endüstriyel sektörde uluslararası bir standart olan API-1104'e (American Petroleum Institute) göre değerlendirilir. Bu standartta Radyografik filmlerin ne şekilde değerlendirileceği maddeler halinde aşağıdaki gibi belirlenmiştir. API (American Petroleum Institute)'e göre bir gözeneğin sapı 1.5mm'yi geçmemelidir. Rastgele dağılmış bulunan bir cüruf kalıntısının genişliği en fazla 3mm olabilir. Komşu kalıntının da en az 50mm uzakta olması gerekir. Kök paso taşkınlığının (şişkinliğinin) 2mm'ye kadar olanı kabul edilir. Kök pasonun içbükey olması halinde (çevre dikişinin yarısına kadar olması şartıyla) en çok cidar kalınlığının % 10'una kadar mevcut bir içbükeylik kabul edilir. Kaynak dikişindeki herhangi bir çatlak hiçbir şekilde kabul edilemez ve bu dikişlerin hemen sökülüp tamir edilmesi gerekir. Yan cidarı kaynamama ve yetersiz nüfuziyet de petrol borularının kaynağında müsaade edilmeyen hatalardır. API-1104'de (American Petroleum Institute) belirtilen ilgili hata türlerinin

boyutlarına göre ayırım yapabilmek için kenar bulma algoritmaları ile bulduğumuz hatanın alanı tespit edilir. Bu alan sınır değerlerden yüksek ise farklı bir renk ile işaretlenerek Radyografik Muayene filmlerini değerlendirecek olan NDT uzmanını uyarması amaçlanmaktadır.

#### **4.6. Kaynak Hatalarının Önlenmesi**

Kaynak hatalarını önlemek için çeşitli önlemler alınabilir. Bu önlemler arasında doğru kaynak yönteminin ve ekipmanın seçimi, operatörlerin uygun eğitimi, malzeme özelliklerinin dikkatlice analiz edilmesi ve uygun ön ısıtma ve soğutma prosedürlerinin uygulanması yer alır.

**Doğru Kaynak Yöntemi ve Ekipman Seçimi:** Kaynak yönteminin ve ekipmanın doğru seçilmesi, hataların önlenmesi için kritik öneme sahiptir. Uygun akım, voltaj ve kaynak hızı gibi parametreler, kaynak kalitesini artırır ve hataların oluşumunu engeller.

**Operatör Eğitimi:** Kaynak operatörlerinin yeterli eğitim ve deneyime sahip olması, hatalı kaynak uygulamalarının önlenmesinde önemli bir rol oynar. Operatörlerin sürekli olarak eğitim alması ve yeni teknikler konusunda bilgi sahibi olması gereklidir.

**Malzeme Özelliklerinin Analizi:** Kaynak yapılacak malzemenin kimyasal ve fiziksel özelliklerinin detaylı analizi, hataların önlenmesine yardımcı olabilir. Malzemenin safsızlıklarının ve alaşım bileşiminin uygun olması, kaliteli kaynaklar yapılmasını sağlar.

**Uygun Ön Isıtma ve Soğutma Prosedürleri:** Kaynak öncesi ve sonrası uygulanacak uygun ön ısıtma ve soğutma prosedürleri, kaynak hatalarının oluşumunu engelleyebilir. Bu prosedürler, termal gerilmelerin azaltılmasına ve malzeme yapısının korunmasına yardımcı olur.

## 5. GÖRÜNTÜ İŞLEME YÖNTEMLERİ

Çelik boru kaynaklarında kullanılan NDT (Tahribatsız Muayene) yöntemlerinin etkinliğini artırmak için dijital görüntü işleme tekniklerinin kullanılması, hata tespiti ve analizi süreçlerinde önemli avantajlar sunar. Görüntü işleme, dijital görüntülerin analiz edilmesi, işlenmesi ve yorumlanması sürecidir. Bu bölümde, çelik boru kaynaklarında NDT filmlerinde kullanılan başlıca görüntü işleme yöntemleri detaylandırılacaktır.

Görüntü işleme tekniklerinin NDT filmlerine uygulanması, çelik boru kaynaklarının daha etkin ve verimli bir şekilde incelenmesini sağlar. Bu teknikler, hata tespit süreçlerinin hızlanmasına ve doğruluk oranının artmasına katkıda bulunur. Tez çalışmasında, çeşitli görüntü işleme tekniklerinin NDT filmlerinde kullanımı detaylı olarak incelenecek ve bu tekniklerin etkinliği değerlendirilecektir.

### 5.1. Görüntü İyileştirme Teknikleri

Görüntü iyileştirme, görüntü kalitesini artırmak ve kusurların daha belirgin hale gelmesini sağlamak amacıyla kullanılan teknikleri içerir.



Şekil 15. Orijinal görüntü

NDT filmlerinde, özellikle düşük kontrastlı görüntülerde hataların tespit edilmesi zordur. Bu nedenle, görüntü iyileştirme teknikleri büyük önem taşır.

Görüntü, '*imread*' fonksiyonu ile yüklenir ve '*rgb2gray*' fonksiyonu ile gri tonlamalı hale getirilir. Şekil 15'te ki fotoğraf Gümüşhane ilinde bulunan Karaca Mağarasına ait görüntü iyileştirme yöntemleri anlatmak için kullanılacak orijinal görüntüdür.

RGB formatında olan orijinal görüntümüz '*rgb2gray*' komutu ile gri renk formatına çevrilerek Şekil 16'da ki görüntü elde edilmiştir.

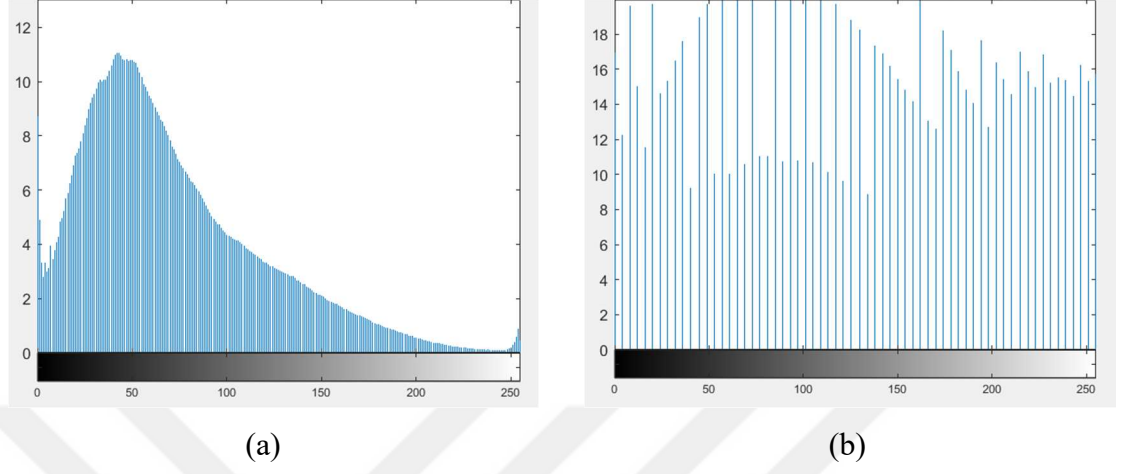


Şekil 16. Gri formata çevrilmiş görüntü

### 5.1.1. Kontrast artırma

Kontrast artırma teknikleri, görüntünün parlaklık ve karanlık bölgeleri arasındaki farkı artırarak kusurların daha belirgin hale gelmesini sağlar. Histogram eşitleme, kontrast artırma için yaygın olarak kullanılan bir tekniktir. Bu yöntem, görüntüdeki piksel yoğunluklarının daha eşit dağılımını sağlar. Şekil 17.a'da gri renk formatındaki görüntünün histogram grafiği görünmektedir. '*histeq*' fonksiyonu ile histogram eşitleme yapılarak görüntünün kontrastı artırılır. Şekil 17.b'de kontrastı arttırılmış görüntünün histogram grafiği görünmektedir. Bu grafiklerde X eksenini renk skalasını Y eksenini piksel

sayısını göstermektedir. Kontrastı artırılarak elde edilen görüntü Şekil 18’de görünmektedir.



Şekil 17. a) Gri format görüntünün histogramı b) Kontrastı artırılmış görüntünün histogramı



Şekil 18. Kontrast artırılmış görüntü

### 5.1.2. Gürültü giderme

NDT filmlerinde görüntü kalitesini düşüren en önemli faktörlerden biri görüntüdeki gürültüdür. Gürültü giderme teknikleri, görüntüdeki rastgele parazitleri azaltarak kusurların tespitini kolaylaştırır. Ortalama filtreleme, medyan filtreleme ve Gauss

filtreleme gibi yöntemler, gürültü giderme amacıyla yaygın olarak kullanılır. '*medfilt2*' fonksiyonu ile medyan filtreleme yapılarak görüntüdeki gürültü temizlenir. Şekil 19'da gürültü giderilmiş görüntü gösterilmiştir.



Şekil 19. Gürültü giderilmiş görüntü

## 5.2. Görüntü Segmentasyonu

Görüntü segmentasyonu, bir görüntünün farklı bölgelere veya nesnelere ayrılması sürecidir. NDT filmlerinde, segmentasyon teknikleri kullanılarak kaynak hatalarının belirgin hale getirilmesi sağlanabilir.

'*graythresh*' fonksiyonu, Otsu'nun yöntemi ile otomatik bir eşik değeri belirler. '*imbinarize*' fonksiyonu, bu eşik değerini kullanarak görüntüyü ikili (binary) hale getirir. Bu, segmentasyonun basit bir formudur ve görüntüdeki nesnelere arka plandan ayırır (Otsu,1979).

### 5.2.1. Eşikleme

Eşikleme, görüntüde belirli bir piksel yoğunluğu değerine göre ikiye bölme işlemidir. Bu teknik, görüntüdeki kusurların belirgin hale getirilmesi için kullanılır. İkili eşikleme, görüntüyü sadece siyah ve beyaz bölgelere ayırarak kusurların tespitini kolaylaştırır. Otsu'nun "Otsu's Method: A Histogram-Based Thresholding Technique" histogram

tabanlı eşikleme tekniklerinden Otsu yöntemi üzerine temel bir çalışması bulunmaktadır (Otsu,1979). Şekil 20’da eşikleme uygulanmış görüntü gösterilmiştir.



Şekil 20. Eşikleme uygulanmış görüntü

### 5.2.2. Kenar belirleme

Kenar belirleme, görüntüdeki nesnelerin sınırlarını tespit etmek için kullanılan bir tekniktir. ‘*Canny*’ kenar belirleme, ‘*Sobel*’ operatörü ve ‘*Laplace*’ operatörü gibi algoritmalar, NDT filmlerinde bazı kaynak hatalarının sınırlarının belirlenmesi için kullanılır. Şekil 21’de ‘*canny*’ kenar bulma algoritması kullanılarak elde edilen görüntü gösterilmiştir.



Şekil 21. Kenar bulma algoritması sonucu oluşan görüntü

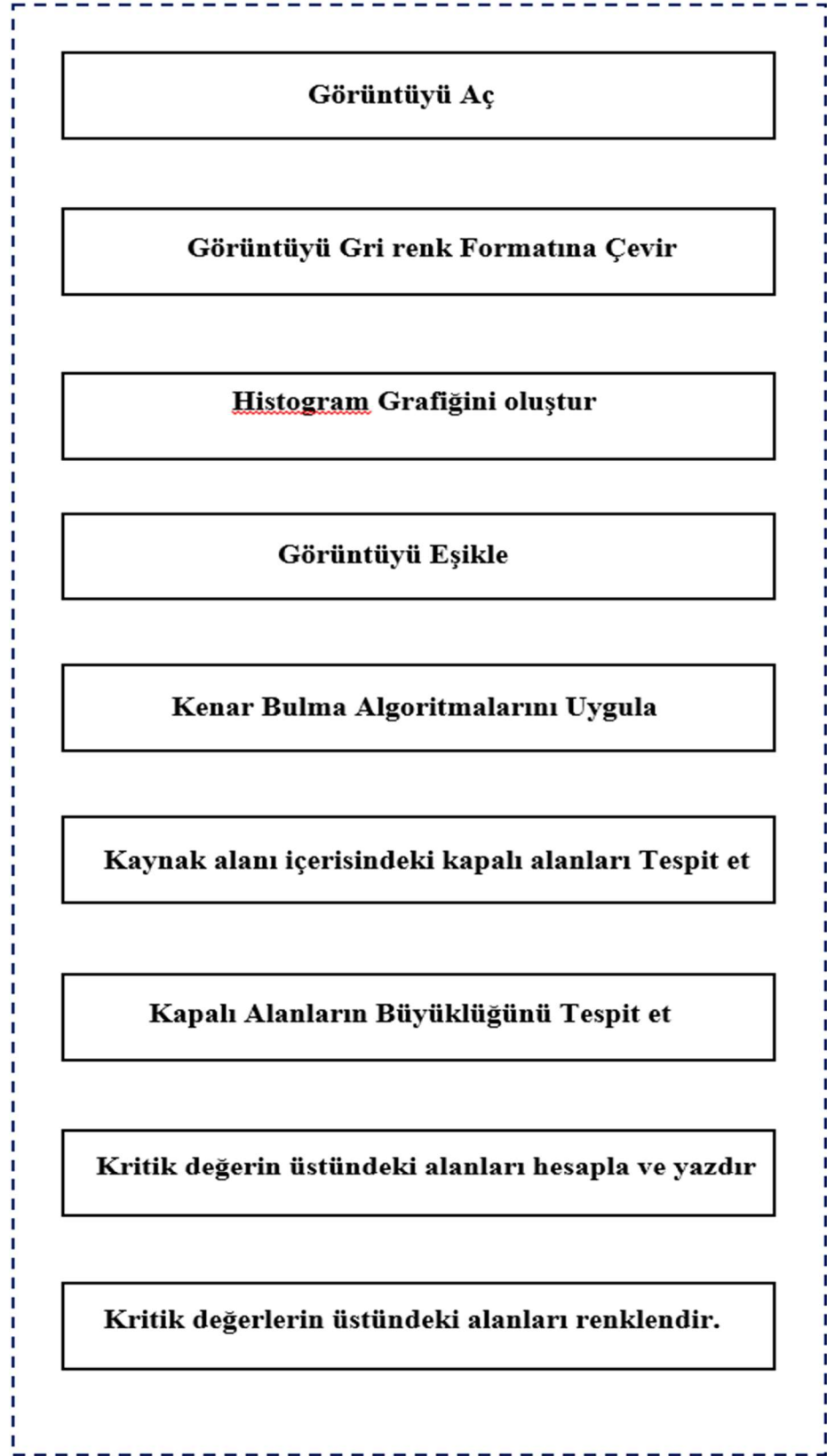
## 6. GÖRÜNTÜ İŞLEME YÖNTEMLERİ İLE KAYNAK HATALARININ TESPİTİ

Radyografik film analizinde, dijital görüntü işleme teknikleri kullanılarak kaynak hatalarının tespiti ve analizi yapılır. Bu teknikler, radyografik filmlerdeki düşük kontrastlı kusurların belirgin hale getirilmesine yardımcı olur.

Çelik boru kaynaklarında hatalar radyografik filmlerde bir süreksizlik gözlenmiştir. Kaynak sırasında oluşan gaz boşlukları, yabancı madde kalıntıları, eksik ergime ve kaymalar görüntüde süreksizlik oluşturur. Bu süreksizlikler Radyografik muayene filmlerinde ani renk değişimi olarak gözlemlenir. Bu sebeple çeşitli görüntü işleme yöntemleri kullanılarak bu süreksizlikler üzerine yoğunlaşarak çelik boru kaynak hataları tespit edilebilecektir.

NDT (Tahribatsız Muayene) filmlerinde görüntü işleme yöntemlerinin kullanılması, çelik boru kaynaklarındaki hataların daha hızlı ve doğru bir şekilde tespit edilmesine olanak tanır. Bu bölümde, NDT filmlerinden görüntü işleme teknikleri kullanılarak kaynak hatalarının tespit edilmesi süreci detaylı olarak ele alınacaktır.

Şekil 22’de NDT filmlerinde görüntü işleme yöntemleri kullanılarak tespit edilen kaynak hatalarından gözenek hatasının tespit edilmesi sürecinin blok diyagramı verilmiştir. Bu diyagram, sürecin temel adımlarını ve her adımda kullanılan teknikleri özetlemektedir.



Şekil 22. Blok diyagram

## 6.1. Renk Formatı

Saha uygulamalarında radyasyon cihazı ile kaynak üzerine konulan filme radyasyon gönderilerek çekim işlemi yapılır. Çekim işlemi yapıldıktan sonra gerekli banyo işlemleri yapılarak kaynak filmlerinin negatif görüntüleri elde edilir. Negatif görüntüler gri görünmesine rağmen bilgisayar ortamında RGB formatında algılanmaktadır. Radyografik muayene filmlerinin üzerinde işlem yapılabilmesi için öncelikle orijinal görüntüyü gri renk formatına sonrasında ise siyah-beyaz renk formatına çevrilmesi ve ya eşikleme işlemi uygulanması gerekmektedir. Orijinal NDT film görüntüsünü RGB formatından gri renk formatına çevrilmediği takdirde ilgili algoritmalar çalışmamaktadır.

## 6.2. Görüntü İyileştirme Teknikleri

### 6.2.1. Kontrast artırma

Kontrast artırma, NDT filmlerindeki kusurların daha belirgin hale gelmesi için kullanılan önemli bir tekniktir. Histogram eşitleme, kontrast artırma teknikleri arasında yaygın olarak kullanılır. Bu yöntem, görüntünün parlaklık dağılımını iyileştirerek kusurların tespitini kolaylaştırabilir.

### 6.2.2. Gürültü giderme

NDT filmlerinde görüntü kalitesini artırmak için gürültü giderme teknikleri kullanılır. Bu teknikler, görüntüdeki rastgele parazitleri azaltarak kusurların tespitini daha net hale getirir. Ortalama filtreleme, medyan filtreleme ve Gauss filtreleme gibi yöntemler, gürültü giderme amacıyla yaygın olarak kullanılır. Dabov ve arkadaşlarının çalışmasında, '*BM3D*' algoritması ile görüntü gürültü giderme detaylı olarak incelenmiştir (Dabov, Foi, Katkovnik & Egiazarian, 2007).

### 6.3. Görüntü Segmentasyonu Teknikleri

#### 6.3.1. Eşikleme

Eşikleme, NDT filmlerindeki kusurların belirgin hale getirilmesi için kullanılan bir segmentasyon yöntemidir. Bu algoritmalar, görüntülerin ikili hale getirilmesi, nesne ve arka plan ayrımı gibi işlemlerde kullanılır. İkili eşikleme tekniği, belirli bir piksel yoğunluğu değerine göre görüntüyü siyah ve beyaz bölgelere ayırarak kusurların tespit edilmesini kolaylaştırır. Sezgin ve Sankur'un çalışmasında, eşikleme teknikleri detaylı olarak incelenmiştir (Sezgin & Sankur, 2004). IEEE tarafından yayınlanan "IEEE Standard for Image Processing and Data Compression" görüntü işleme ve veri sıkıştırma standartlarını belirleyen teknik rapordur ve eşikleme teknikleri için temel standartları sağlar (IEEE Std 1857-2005).

#### 6.3.2. Kenar belirleme

Kenar belirleme teknikleri, NDT filmlerinde kaynak hatalarının sınırlarının tespit edilmesi için kullanılır. '*Canny*' kenar belirleme, '*Sobel*' operatörü ve '*Laplace*' operatörü gibi algoritmalar, kusurların net bir şekilde belirlenmesine yardımcı olur. Canny'nin çalışmasında, '*Canny*' kenar belirleme algoritması detaylı olarak incelenmiştir (Canny, 1986).

## 7. ARAŞTIRMA BULGULARI

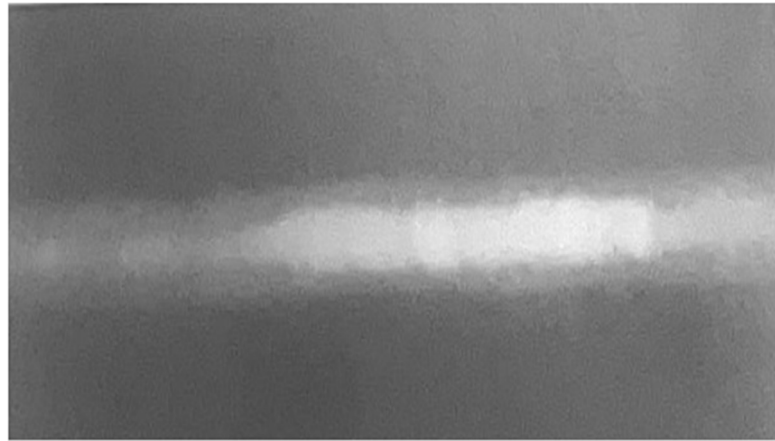
### 7.1. Kaynak Taşması Hatasının Tespiti

Kaynak taşması kaynaklarda sıkça karşılaşılan bir hata türüdür. Kaynak taşması (BT) kök pasonun bir kısmının, aşırı penetrasyon sebebiyle kaynak dolgusunun borunun içersine doğru üflenmesidir. Şekil 23'te Kaynak taşması hatasının orijinal görüntüsünü görölmektedir.



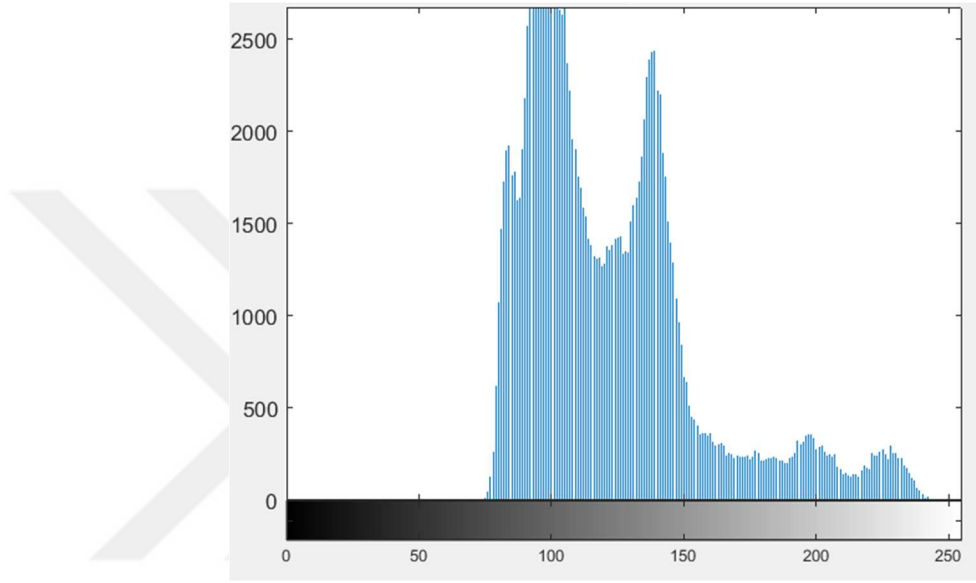
Şekil 23. Kaynak taşması orijinal resim (Fujifilm radiographic reference chart)

Öncelikle orijinal NDT filmi görüntüsünü RGB formatından gri renk formatına çevrilmesi gerekmektedir. Gri renk formatına çevrilmiş görüntü Şekil 24'te verilmiştir.



Şekil 24. Kaynak taşması gri resim

Gri renk formatındaki NDT film görüntüsünün histogram grafiğini çıkarılır. Şekil 25'te kaynak taşması hatasına ait histogram grafiği görülmektedir. Histogram grafiğinde X eksenini gri renk skalasını, Y eksenini piksel sayısını göstermektedir. Grafik incelendiğinde Kaynak bölgesindeki süreksizliğin olduğu yer net bir şekilde görülmektedir. Ancak grafikte pik yapan noktaların resimdeki yerini tespit etmek için eşiklenmiş görüntünün elde edilmesi gerekiyor.

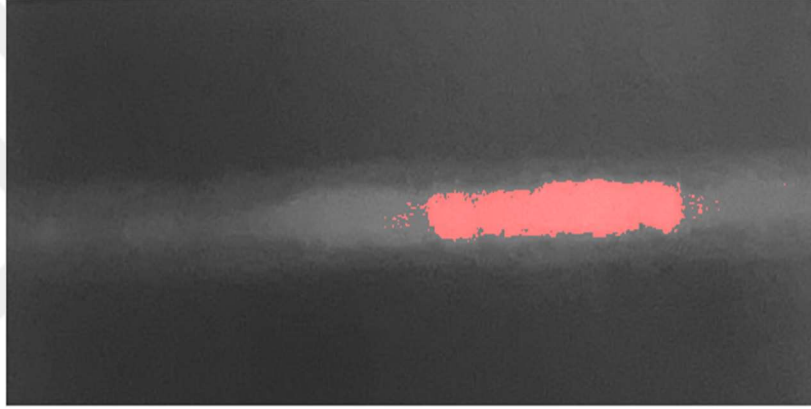


Şekil 25. Kaynak taşmasına ait histogram grafiği

Şekil 26'da Kaynak taşmasına ait eşiklenmiş görüntü bulunmaktadır. Eşiklenmiş görüntüde sadece hatanın olduğu kısım görünmektedir. Ancak orijinal görüntüde nereye denk geldiğini görebilmek için orijinal görüntü ile eşiklenmiş görüntü üst üste bindirilerek hatanın net bir şekilde görüntüsü elde edilmiş olur. Şekil 27'de kırmızı olarak görünen yer kaynak taşması hatasının olduğu bölgedir.



Şekil 26. Kaynak taşmasına ait eşiklenmiş görüntü



Şekil 27. Hatanın orijinal görüntü üzerindeki görünümü

## 7.2. Tungsten Kalıntı Hatasının Tespiti

Tungsten kalıntı hatası (tungsten inclusion) özellikle TIG (Tungsten Inert Gas) kaynağı gibi tungsten elektrot kullanılan kaynak yöntemlerinde sıkça karşılaşılan bir hata türüdür. AWS tarafından yayınlanan AWS B1.10M/B1.10:2016 standardı, tungsten kalıntı hataları türlerini ve muayene yöntemlerini açıklar (AWS, 2016). Şekil 28 tungsten kalıntı hatasının olduğu orijinal NDT film görüntüsüdür. Görüntü işleme algoritmalarının çalışabilmesi için öncelikle orijinal görüntümüzü gri renk formatına çevrilmesi gerekmektedir. Şekil 29'da tungsten kalıntı hatasının gri renk formatına çevrilmiş görüntüsü bulunmaktadır.

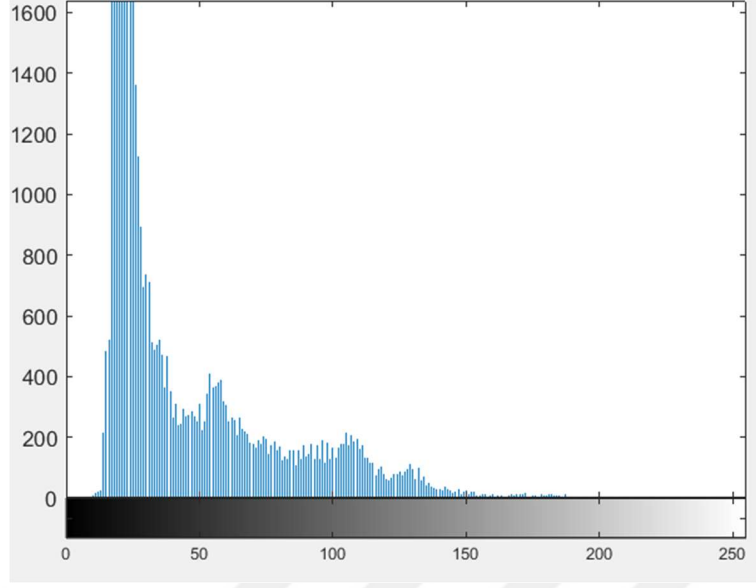


Şekil 28. Tungsten kalıntısı orijinal görüntü (Fujifilm radiographic reference chart)

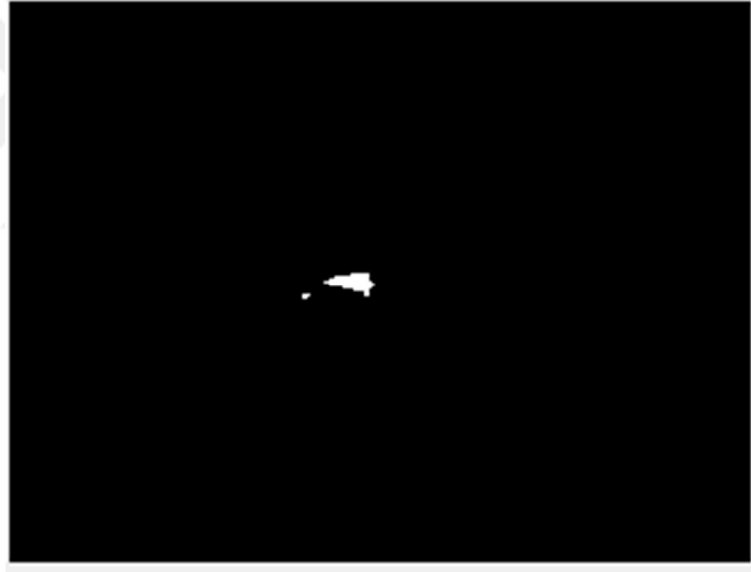


Şekil 29. Tungsten kalıntısı gri resim

Şekil 30'da gri renk formatına çevrilmiş tungsten kalıntı hatası görüntüsünün histogram grafiği bulunmaktadır. Histogram grafiğinde X eksenini gri renk skalasını Y eksenini piksel sayısını göstermektedir. Grafik incelendiğinde hatanın olduğu bölge grafikte pik yapan bölge olduğu anlaşılacaktır.

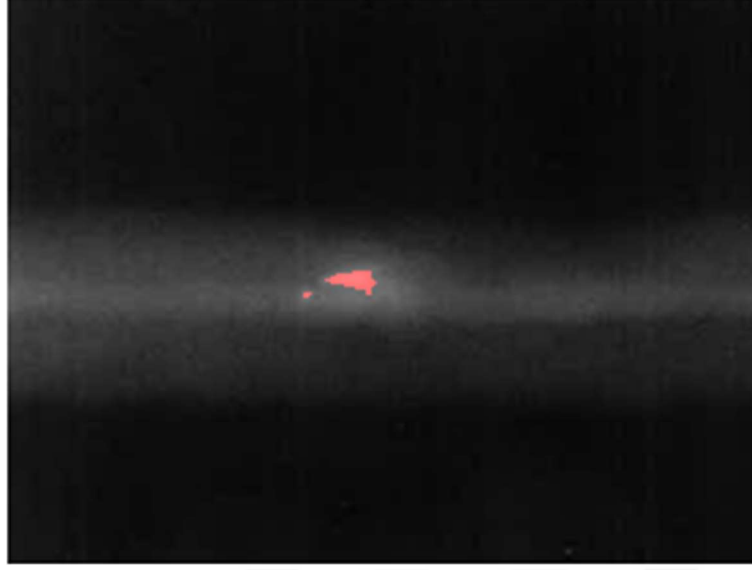


Şekil 30. Tungsten kalıntısı histogram grafiği



Şekil 31. Tungsten kalıntısı eşiklenmiş görüntü

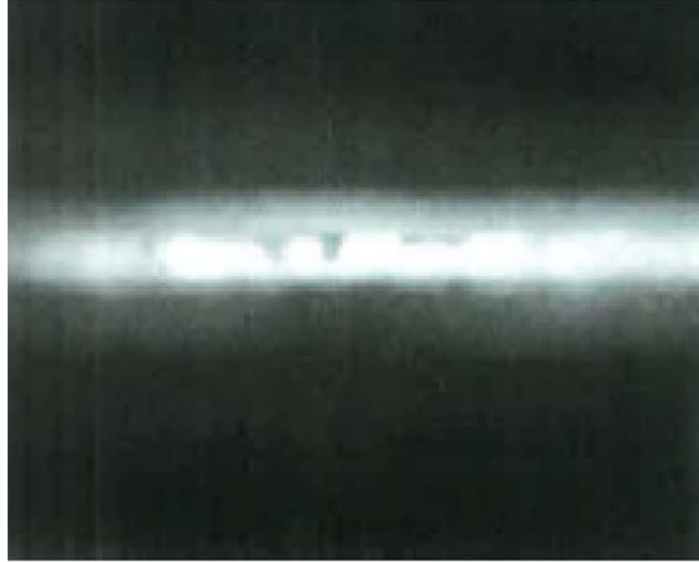
Histogram grafiğinde pik yapan bölgeyi tespit edebilmek için gri renk formatındaki görüntümüze eşikleme algoritmasını uygulanır. Şekil 31’de görüldüğü üzere karşımıza çıkan yer hatanın olduğu bölgedir. Daha sonrasında eşiklenmiş görüntü ile orijinal görüntü üst üste çakıştırarak hatanın tam görüntüsü elde edilir. Şekil 32’de ki kırmızı bölge bize tungsten kalıntı hatasını göstermektedir.



Şekil 32. Hatanın orijinal görüntü üzerindeki görünümü

### 7.3. Füzyon Hatasının Tespiti

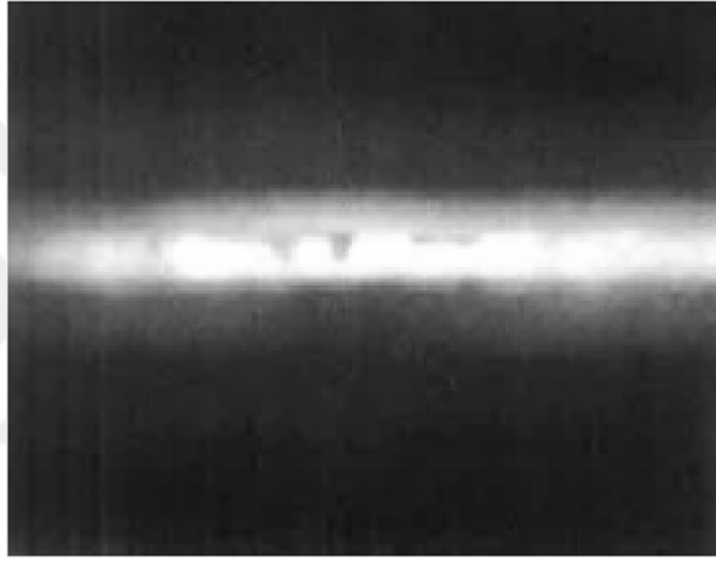
Füzyon hatası kaynak işlemi sırasında yeterli ergimenin sağlanamayarak yetersiz nüfuziyet oluşmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 33'te füzyon hatasına ait orijinal NDT film görüntüsü bulunmaktadır.



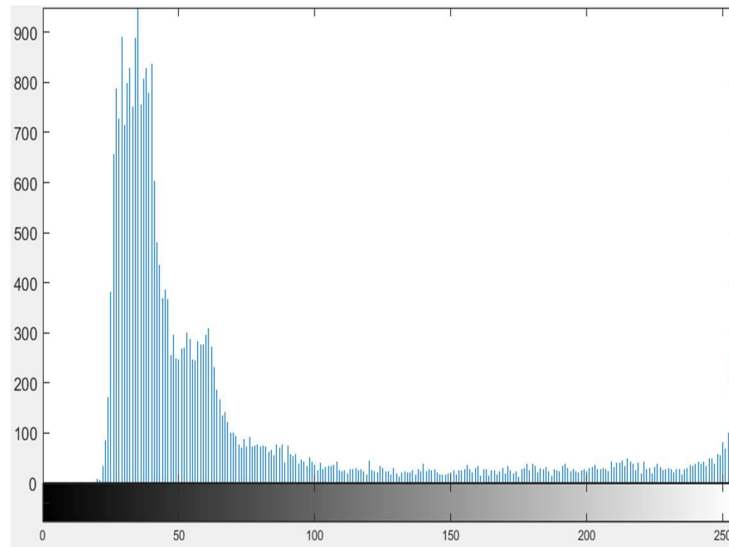
Şekil 33. Füzyon hatası orijinal görüntü (Fujifilm radiographic reference chart)

Görüntü işleme algoritmalarının çalışabilmesi için ilk yapılması gereken orijinal görüntüyü rgb formatından gri renk formatına çevirmek olmalıdır. Şekil 34'te füzyon hatasına ait orijinal resmin gri formatı bulunmaktadır.

Şekil 35'te Füzyon hatasına ait histogram grafiği görünmektedir. X eksenini gri renk skalasını, Y eksenini de piksel sayısını göstermektedir. Gri renk skalasında 0 dan 255 e doğru renk koyulaşmaktadır. Grafikte görüldüğü üzere pik yapan yer süreksizliğin olduğu yani hatanın olduğu yeri göstermektedir.



Şekil 34. Füzyon hatası gri resim

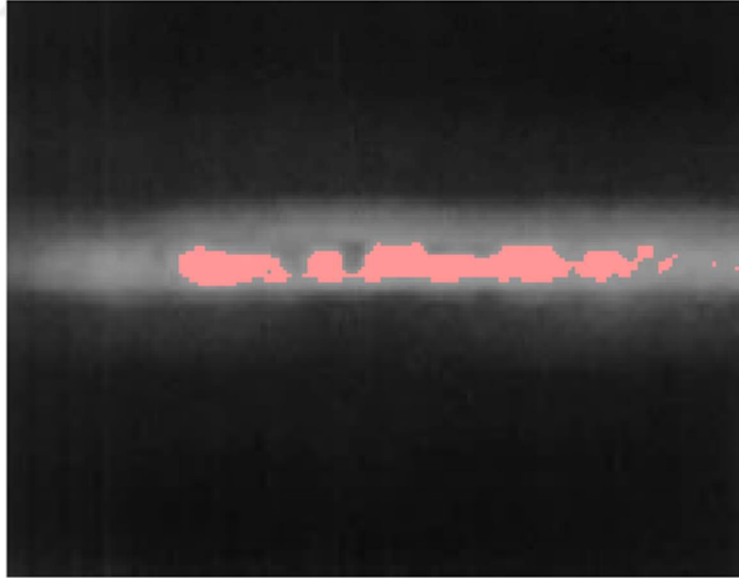


Şekil 35. Füzyon hatası histogram grafiği

Süreksizliğin olduğu yeri tespit edebilmek için gri renk formatındaki resme eşikleme algoritmalarını uyguluyoruz. Şekil 36’da eşiklenmiş görüntü bulunmaktadır. Görüntüde elde edilen beyaz bölge füzyon hatasının olduğu bölgedir.



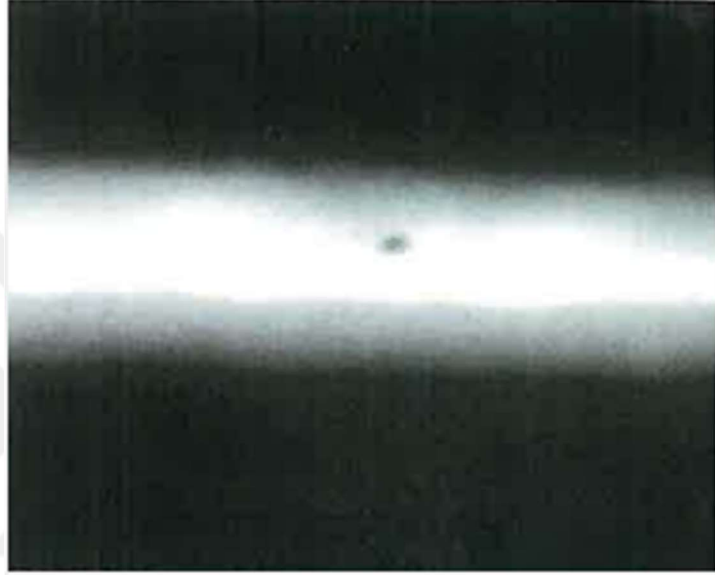
Şekil 36. Füzyon hatası eşiklenmiş görüntü



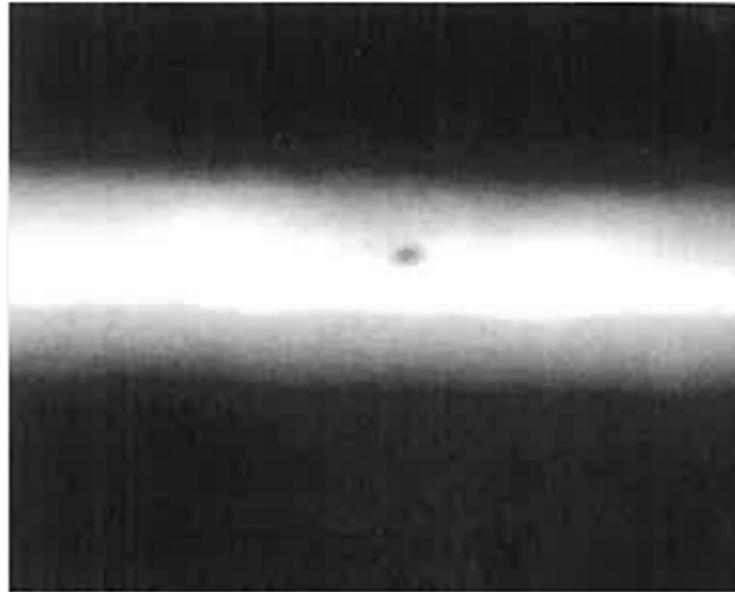
Şekil 37. Orjinal görüntü üzerinde hatanın görünümü

#### 7.4. Gözenek Hatasının Tespiti

Kaynak hatalarından gözenek hatasının tespiti için öncelikle diğer hatalardaki gibi orijinal görüntü RGB formatından gri renk formatına çevrilir. Şekil 38’de Gözenek hatasının bulunduğu orijinal görüntümüz bulunmaktadır. Orijinal görüntüyü gri renk formatına çevirerek Şekil 39’daki gri renk formatındaki görüntü elde edilir.



Şekil 38. Gözenek orijinal resim (Fujifilm radiographic reference chart)



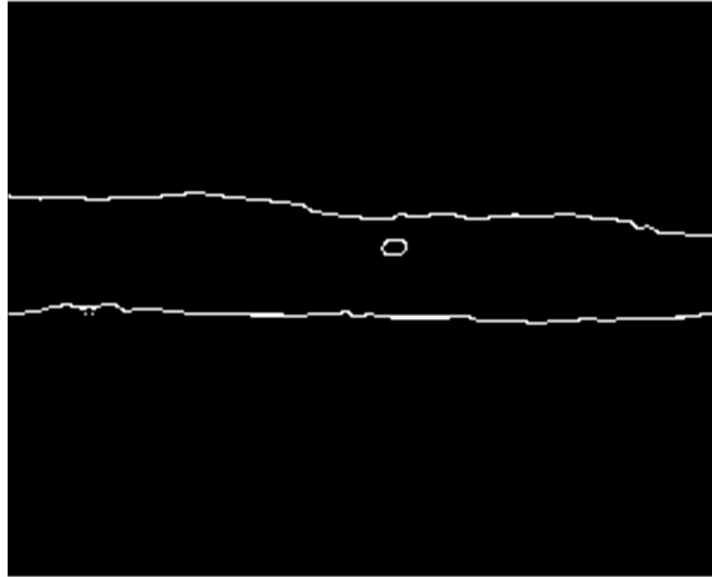
Şekil 39. Gözenek gri resim

Kenarları tespit edebilmek için gri formattaki resimden eşiklenmiş görüntüyü elde edilir. Şekil 40'ta eşiklenmiş görüntü bulunmaktadır.



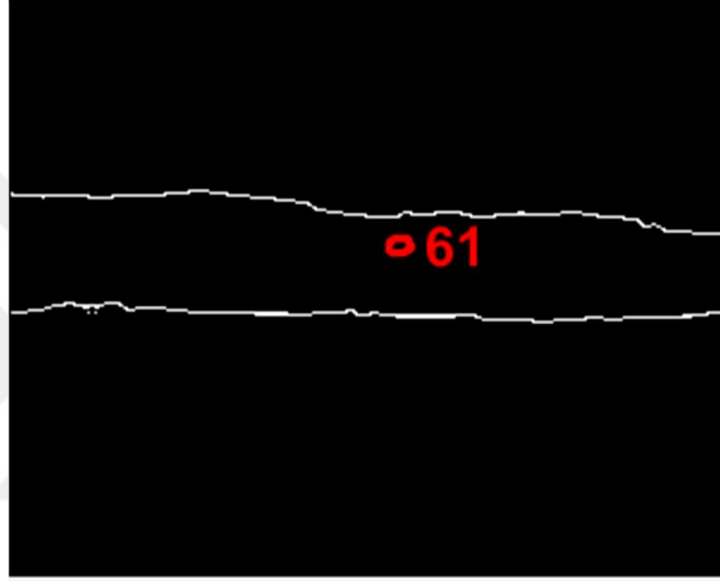
Şekil 40. Gözenek eşiklenmiş görüntü

Eşiklenmiş görüntü üzerine kenar bulma algoritmalarını uygulanır. Kenar bulma algoritmalarından *canny*, *sobel*, *prewitt* vs. herhangi biri uygulanabilir. Şekil 41'de görüntümüze *Canny* kenar bulma algoritmasının uygulanmış hali görünmektedir.



Şekil 41. Canny kenar bulma

Kenar bulma algoritmaları uygulandıktan sonra kapalı alanları tespit edilir. Hatanın tamir gerektiren bir durum olup olmadığını tespit edebilmek için bulunan hatanın alanını hesaplanır. Şekil 42’de görüldüğü üzere hatanın büyüklüğü ilgili standartlar ve şartnamelerde belirtilen sınırların üzerinde ise kırmızı ile hatanın yanına yazdırılabilir. Hatanın büyüklüğü şartnamelerde belirtilen sınırların altında ise yeşil ile yanına yazdırılabilir.



Şekil 42. Gözenek hatasının tespiti

## 8. SONUÇLAR

Doğalgaz ve petrol hatları başta olmak üzere otomotiv, havacılık, tersane, savunma sanayi gibi birçok sektörde kaynaklı işlem yapılmakta ve bu kaynakların büyük çoğunluğu radyografik muayene ile kontrol edilmektedir. NDT uzmanları radyografik filmleri kontrol ederken karanlık bir odada çok dikkatli incelemeleri gerekmektedir. Radyografik filmlerde görüntü kalitesi, film yoğunluğu ve filmleri incelemede kullanılan viewer'ın ışık şiddetine dikkat edilmesi gerekmektedir. Gözden kaçabilecek bir hatanın maliyeti çok yüksek sonuçlar doğurabileceği gibi insan hayatını etkileyecek telafisi mümkün olmayan sonuçlarda doğurabilir.

Bu tez çalışmasında, kaynak hatalarının belirlenmesi ve analizi üzerine odaklanılmıştır. Görüntü işleme yöntemleri kullanılarak kaynak hata türlerinden kaynak taşması, curuf kalıntısı, füzyon hatası ve gözenek hatalarının tespiti için bir örnek uygulamalar sunulmuştur. Bu bağlamda diğer kaynak hata türlerinin de tespitine yönelik çalışmalar yapılarak NDT uzmanlarının karar vermesine yardımcı olacak bir program geliştirilmesinin önü açılmıştır. Bu sayede kaynaklı işlem yapılan tüm sektörlerde hatalar en düşük seviyeye indirilmiş olacaktır. Yapılan işlemlerin güvenliği ve kalitesi daha da artırılmış olacaktır.

Görüntü işleme tekniklerinin NDT filmlerine uygulanması, çelik boru kaynaklarındaki hataların tespitinde büyük avantajlar sunar. Bu teknikler, hata tespit süreçlerinin hızlanmasına, doğruluk oranının artmasına ve insan hatasının azaltılmasına katkıda bulunur. Bilgisayarlı görü algoritmaları ile kaynak üzerinde görünen hataların, radyografik muayene filmlerini değerlendirmede uluslararası bir standart olan API-1104'e (American Petroleum Institute) göre ilgili kaynağın kesilmesine (C/O), tamir edilmesine (R) veya belirtilen değerlerin altında olması durumunda işlem yapılmayıp kabul (OK) edilmesine karar verebilecek ve insan hatalarını ortadan kaldıracaktır.

Doğalgaz sektöründe NDT filmleri NDT uzmanları tarafından kontrol edildikten sonra arşive kaldırılır. Denetlemeler yapılacağı zaman ve filmlere tekrar bakmak gerektiğinde arşivden çıkarılır ve tekrar kontrol edilebilir. Ancak dijitalleşmenin hızla arttığı günümüz

dünyasında görüntü işleme algoritmaları ile kaynak hatalarının tespiti üzerine hazırlanacak bir program ile ilgili sektörde çalışılan her proje için tüm NDT filmleri bilgisayar ortamında saklanabilecek, film sayıları, hata sayıları, hata türleri ve hata türlerine göre hata nedenleri istatistiklerine rahatlıkla ulaşılabilecektir. İstenilen zamanda NDT filmlerine ulaşım kolaylaşacaktır. NDT uzmanlarının gözünden kaçabilecek hatalar yapılabilsen bu programla daha hızlı ve daha güvenli bir şekilde hataları bulabilecektir. Böylelikle hem hata oranı azaltılabilecek ve hem de yapılan hatların güvenliği artacak ve denetimi kolaylaşacaktır.

İlerleyen süreçte X-ray cihazlarıyla kaynak yapılı yapılmaz kaynak filmleri bu programa aktararak hata anında tespit edilebilecek ve düzeltme işlemi anında yapılabilecektir. Bu açıdan bu programın gelişimi doğalgaz ve petrol hatları başta olmak üzere otomotiv, havacılık, tersane, savunma sanayi gibi birçok sektör açısından büyük önem arz etmektedir.

## 9. KAYNAKLAR

- Adin H,Doğan A. , Adin M.Ş. (2021) Journal Of Scientific, Technology And Engineering Research Bilim, Teknoloji ve Mühendislik Araştırmaları Dergisi, (2021) - 2(1): 46-57 ISSN : 2717-8404
- Aggarwal, J. K., & Ryoo, M. S. (2011). A Comprehensive Review on Image Processing Techniques for Object Detection in Images and Videos. Journal of Computer Vision and Image Understanding, 114, 971-991.
- Althouse, A. D., Turnquist, C. H., Bowditch, W. A., Bowditch, K. E., & Bowditch, M. A. (2012). Modern Welding. Goodheart-Willcox.
- American Welding Society (AWS). (2020). AWS C4.2/C4.2M:2020 - Recommended Practices for Oxyfuel Gas Cutting and Welding, and Oxygen Cutting of Metals.
- American Welding Society (AWS). (2017). AWS C5.6/C5.6M: Recommended Practices for Plasma Arc Welding.
- American Welding Society (AWS). (2020). AWS D1.1/D1.1M: Structural Welding Code – Steel.
- American Welding Society (AWS). (2020). AWS D10.11M/D10.11: Guide for Root Pass Welding of Pipe Without Backing.
- API-American Petroleum Institute, (1980). API Standard 1104, (1980). Fifteenth Edition.
- API-American Petroleum Institute,(1995). API Specification 5L, Specification for linepipe, s.3-7.
- ASTM International. (2016). ASTM E1032-16: Standard Practice for Radiographic Examination of Weldments.
- ASTM International. (2016). ASTM E1444/E1444M-16: Standard Practice for Magnetic Particle Testing.

- ASTM International. (2018). ASTM E165/E165M-18: Standard Practice for Liquid Penetrant Testing.
- Balog, G. Y. (Ed.). (2008). Nondestructive Testing Handbook, Third Edition: Volume 8, Magnetic Particle Testing. American Society for Nondestructive Testing (ASNT).
- Bossi, R. H., & Iddings, M. A. (2011). Advances in Industrial Radiographic Testing. *Journal of Nondestructive Evaluation*, Cilt:30, Sayfa :1-14
- Bovik, A. C. (Ed.). (2010). *Handbook of Image and Video Processing*. Academic Press.
- Bryant, L. E., & Whitley, K. R. (2007). Digital Radiography and Its Applications in Nondestructive Testing. *Materials Evaluation*, Cilt: 65, Sayfa:1336-1342)
- Bishop, C. M. (2006). *Pattern Recognition and Machine Learning*. Springer.
- Boaretto, N., & Centeno, T. M. (2017). Automated detection of welding defects in pipelines from radiographic images DWDI. *Ndt & E International*, 86, 7-13.
- Cary, H. B. (1991). *Plasma Arc Welding*. Goodheart-Willcox.
- Chandel, R. S., & Seow, H. P. (1999). Advances in Arc Welding Technology for High-Strength Steels. *Journal of Materials Processing Technology*, 89-90, 307-311.
- Chen, P., Li, R., Fu, K., & Zhao, X. (2021, August). Research and Method for In-line Inspection Technology of Girth Weld in Long-Distance Oil and Gas Pipeline. In *Journal of Physics: Conference Series* Vol. 1986, No. 1, p. 012052. IOP Publishing.
- Dabov, K., Foi, A., Katkovnik, V., & Egiazarian, K. (2007). Image Denoising by Sparse 3-D Transform-Domain Collaborative Filtering. *IEEE Transactions on Image Processing*, 16, 2080-2095.
- Davis, J. R., & Smith, S. A. (2012). The Influence of Oxy-Acetylene Welding Parameters on Mechanical Properties of Welded Joints. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 21, 123-130.

- Doe, J., & Smith, A. (2015). Integration of NDT Techniques and Image Processing for Industrial Applications. *Journal of Nondestructive Evaluation*, 34, 200-215
- Dong, S., Sun, X., Xie, S., & Wang, M. (2019). Automatic defect identification technology of digital image of pipeline weld. *Natural Gas Industry B*, 6(4), 399-403.
- Feng, Q., Li, R., Nie, B., Liu, S., Zhao, L., & Zhang, H. (2016). Literature Review: Theory And Application Of In-Line Inspection Technologies For Oil And Gas Pipeline Girth Weld Defection. *Sensors*, 17(1), 50.
- Felzenszwalb, P. F., & Huttenlocher, D. P. (2004). Graph-Based Image Segmentation. *International Journal of Computer Vision*, 59, 167-181. <https://doi.org/10.1023/B:VISI.0000022288.19776.77>
- Fioravanti, C. C. B., Centeno, T. M., & Da Silva, M. R. D. B. (2019). A Deep Artificial Immune System To Detect Weld Defects In DWDI Radiographic Images Of Petroleum Pipes. *IEEE Access*, 7, 180947-180964.
- Fujifilm radiographic reference chart, [https://uuniktech.com/onewebmedia/002% 20-%20FUJIFILM/DOCUMENTOS/Defect%20ID%20Poster%20and%20%20Chart.pdf](https://uuniktech.com/onewebmedia/002%20-%20FUJIFILM/DOCUMENTOS/Defect%20ID%20Poster%20and%20%20Chart.pdf), Son erişim: 05.04.2024.
- Gonzalez, R. C., & Woods, R. E. (2018). *Digital Image Processing*. Pearson.
- Gupta, R. K., & Singh, S. K. (2012). Optimization of TIG Welding Parameters for Stainless Steel. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 60, 301-314.
- Gürsel A. (2013). Petrol Borularının Kaynaklarında Radyografik Muayene Yönteminin Hata Tespit Kabiliyeti. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*. 2013; 2(1): 55-65
- <https://www.metaluzmani.com/oksi-gaz-kaynagin-in-tanimi-ve-onemi/>, Son erişim:01.04.2024
- Hoffman, D. J. (2005). *Welding: Theory and Practice*. Delmar Cengage Learning.

Houldcroft, P. T. (1989). GTAW/TIG Welding. Woodhead Publishing.

Hagemaiyer, D. J. (1990). Magnetic Particle Testing: Theory and Practice. American Society for Nondestructive Testing (ASNT).

IEEE. (2005). IEEE Standard for Image Processing and Data Compression. IEEE Std 1857-2005.

International Organization for Standardization (ISO). (2017). ISO 15614-1: Specification and Qualification of Welding Procedures for Metallic Materials – Welding Procedure Test – Part 1: Arc and Gas Welding of Steels and Arc Welding of Nickel and Nickel Alloys.

International Organization for Standardization (ISO) ,2012 , ISO 16810: Non-destructive testing - Ultrasonic testing - General principles

International Organization for Standardization (ISO). (2013). ISO 17636-1: Non-destructive testing of welds - Radiographic testing - Part 1: X- and gamma-ray techniques with film.

International Organization for Standardization (ISO). (2013). ISO 3452-1: Non-destructive testing - Penetrant testing - Part 1: General principles.

International Organization for Standardization (ISO). (2016). ISO 9934-1: Non-destructive testing - Magnetic particle testing - Part 1: General principles.

International Organization for Standardization (ISO). (2000). ISO/IEC 15444-1: Information technology – JPEG 2000 image coding system: Core coding system.

İgdaş (2011) “Sorularla Doğalgaz Çelik Boru Hattı Kaynağı ve Kontrolü” İGDAŞ Yayınları:26

Jeffus, L. (2016). Welding Principles and Applications. Cengage Learning.

Krautkrämer J.& Krautkrämer H., (2012) "Ultrasonic Testing of Materials" Springer ISBN: 978-3642824502

- Kafieh, R., Lotfi, T., & Amirfattahi, R. (2011). Automatic Detection Of Defects On Polyethylene Pipe Welding Using Thermal Infrared Imaging. *Infrared Physics & Technology*, 54(4), 317-325.
- Khan, S. A., & Mir, R. M. (2012). Optimization of Plasma Arc Welding Process Parameters. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 60, 321-332.
- Khan, S. A., & Mir, R. M. (2012). Optimization of MIG Welding Process Parameters to Improve Quality of Weld Bead Geometry. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 60, 321-332.
- Lee, H. S., & Kim, J. K. (2010). Applications of Magnetic Particle Testing in Industry. *Journal of Nondestructive Evaluation*, 29, 210-217.  
<https://doi.org/10.1007/s10921-010-0081-8>
- Leffus L.(2016)” Welding Principles and Applications” Cengage Learning, ISBN: 978-1305494695
- Luo, J., Tian, Z. and Yang, J., 2014. Fluorescent magnetic particle inspection device based on digital image processing. *Proceeding of the 11th World Congress on Intelligent Control and Automation, IEEE*, 5677-5681.
- McMaster, R. C., & Moore, G. E. (2009). Recent Developments in Magnetic Particle Inspection. *Materials Evaluation*, 67, 1125-1130.
- Moore P.O. (2002), *Nondestructive Testing Handbook, Third Edition: Volume 4, Radiographic Testing*, American Society for Nondestructive Testing (ASNT) ISBN: 978-1571170492
- Moore, R. L., & Smith, A. P. (2010). Applications and Limitations of Liquid Penetrant Testing in Industry. *Journal of Nondestructive Evaluation*, 29, 230-240.  
<https://doi.org/10.1007/s10921-010-0083-6>

- Madani, S., & Azizi, M. (2015). Detection of weld defects in radiography films using image processing. *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi*, 36(3), 2397-2404.
- Manly, H. P. (2000). *Oxy-Acetylene Welding and Cutting*. McGraw-Hill.
- Mix, G. H. (1987). *Liquid Penetrant Testing*. American Society for Nondestructive Testing (ASNT).
- Nixon, M., & Aguado, A. S. (2019). *Feature Extraction and Image Processing for Computer Vision*. Academic Press.
- Oflaz İ., KARADENİZ E., (2001) Tahribatsız Muayene Yöntemleri ile Çelik Boru Kaynak Hatalarının İncelenmesi , SAU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 5.Cilt, 2. Sayı
- Otsu, N. (1979). Otsu's Method: A Histogram-Based Thresholding Technique. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 9, 62-66.
- Petrou, M., & Petrou, C. (2010). *Image Processing: The Fundamentals*. Wiley.
- Pizer, S. M., Amburn, E. P., & Austin, J. D. (1987). A Survey of Image Enhancement Techniques. *Journal of Computer Vision*, 17, 99-110.
- Parmar,R.S. , (1997) *Welding Engineering and Technology*, Khanna Publishers, ISBN: 978-8174091536
- Perihanoğlu,G.M.,Özerman,U.,Şeker,D.Z.(2018) Kenar Algılama ve Morfoloji Operatörleri Kullanılarak Detay Çıkarımı Üzerine Bir Uygulama, *Geomatik Dergisi Journal of Geomatics* 2018;3(2);120-128
- Raj B., T. Jayakumar, M. Thavasimuthu,2002, *Radiographic Testing*, Narosa Publishing House, ISBN: 978-8173194160
- Shafeek, H. I., Gadelmawla, E. S., Abdel-Shafy, A. A., & Elewa, I. M. (2004). Automatic Inspection Of Gas Pipeline Welding Defects Using An Expert Vision System. *NDT & E International*, 37(4), 301-307.

Shull, P.J., 2002. Nondestructive Evaluation Theory, Techniques and Applications. CRC Press ISBN: 978-0824704394

Smith, L. I., & Johnson, M. A. (2009). Image Feature Extraction Techniques and Their Applications. *Journal of Machine Learning Research*, 10, 189-200.

Szeliski, R. (2010). *Computer Vision: Algorithms and Applications*. Springer.

Sözeri, V., Keskin, O., Harmanşah, C., Kozak, İ., & Kibar, E. N. (2023). Görüntü İşleme Algoritmalarına Dayalı Olarak Manyetik Parçacık Test Görüntülerinde Kusur Tespitinin Araştırılması. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(1), 115-122.”

Türkel, V. (2012). “Doğalgaz Dağıtımında Tasarım İmalat ve Yönetim” İGDAŞ Yayınları:27

Zhang, Y. J. (1996). A Survey on Image Segmentation Techniques. *Pattern Recognition*, 29, 1335-1346.