



**T.C.**

**BATMAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Mardin İli Şehir içi doğalgaz borularındaki kaynak hatalarının tahribatlı ve tahribatsız muayene yöntemleri ile incelenmesi**

**Adnan DOĞAN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Mekanik Bilim Dalını**

**Mayıs-2019  
BATMAN  
Her Hakkı Saklıdır**

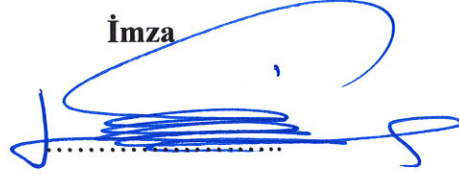
## TEZ KABUL VE ONAYI

Adnan DOĞAN tarafından hazırlanan "Mardin İli Şehir içi doğalgaz borularındaki kaynak hatalarının tahribatlı ve tahribatsız muayene yöntemleri ile incelenmesi" adlı tez çalışması 06/05/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

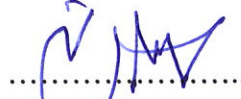
#### Başkan

Doç. Dr. Hamit Adin

İmza  


#### Üye

Dr. Öğr. Üyesi İsmail SARAÇ



#### Üye

Dr. Öğr. Üyesi Tolga TOPKAYA



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Doç. Dr. Bahattin İŞCAN  
FBE Müdürü



## **TEZ BİLDİRİMİ**

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## **DECLARATION PAGE**

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Adnan DOĞAN

Tarih: 06 / 05 / 2019

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Mardin İli Şehir içi doğalgaz borularındaki kaynak hatalarının tahribatlı ve tahribatsız muayene yöntemleri ile incelenmesi.**

**Adnan DOĞAN**

**Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine mühendisliği Anabilim Dalı-Mekanik Bilim Dalı**

**Danışman: Doç. Dr. Hamit ADİN**

**2019, 91 Sayfa**

**Jüri**

**Doç. Dr. Hamit ADİN**

**Dr. Öğr. Üyesi İsmail SARAÇ**

**Dr. Öğr. Üyesi Tolga TOPKAYA**

Doğalgaz boru hatlarının imalat ve montaj aşamasında yapılan kontroller kalite, insan, çevre güvenliği ve teknik emniyet bakımından çok önemlidir. Teknik dışı yapılacak bir uygulama veya en küçük bir hatalı değerlendirilmenin emniyet faktörüne yapacağı olumsuz etki bilinmektedir. Bu nedenle bu çalışmada çelik doğal gaz borularının ark kaynağı ile birleştirme, kaynak dikişlerinin radyografik muayeneye tabii tutulmuştur. Bunun için X ışını ve gama ışını cihazları kullanılarak boruların çok sayıda filmleri çekilmiştir. Deneyler sonucunda sık görülen değişik kaynak hataları tespit edilerek sebepleri araştırılmış, hatayı gidermek ve kaliteyi artırmak için değerlendirmeler yapılarak çözümler geliştirilmeye çalışılmıştır. Aynı zamanda bu hataların teknik uzman tarafından API 1104 standardına göre kabul edilebilir olup olmadığı yönünde değerlendirmeler yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** API 1104, Doğalgaz Boruları, Kaynak, Radyografik, X ve Gama Işımları

## **ABSTRACT**

### **MS THESIS**

Examination of the weld errors in the inner city natural gas pipes of Mardin Province with destructive and non-destructive testing methods

**Adnan DOĞAN**

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF  
BATMAN UNIVERSITY  
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE  
IN MECHANICAL ENGINEERING**

**Advisor: Assoc. Prof. Dr. Hamit ADİN**

**2019,91 Pages**

#### **Jury**

**Assoc. Prof. Dr. Hamit ADİN**

**Asst. Prof. Dr. İsmail SARAÇ**

**Asst. Prof. Dr. Tolga TOPKAYA**

## **ABSTRACT**

The controls made during the manufacturing and assembly stages of natural gas pipelines are very important in terms of quality, human, environmental safety and technical safety. A non-technical application or the smallest impact of a mis-assessment on the safety factor is known. For this reason, in this study, welding of steel natural gas pipes with arc welding, welding gaskets were subjected to radiographic examination. For this purpose, a large number of films were drawn using X-ray and gamma-ray devices. As a result of the experiments, the most common source errors were determined and their reasons were investigated. At the same time, it has been evaluated whether these errors are acceptable to the API 1104 standard by the technical expert.

**Keywords:** API-1104, Naturel Gas Pipe, Radiography, Pipe, Weld, X and Gama Ray

## ÖNSÖZ

Öncelikle yüksek lisans hayatına başladığım andan beri bana her türlü desteği sağlayan, beni yönlendiren Pr. Dr. Şemsettin TEMİZ hocama, arkadaşım Arş. Gör. Dr. Serkan BATI ve özellikle danışman Doç. Dr. Hamit ADİN 'e teşekkürleri borç bilirim

Adnan DOĞAN  
BATMAN-2019

# İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>v</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>vi</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>vii</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR</b> .....	<b>ix</b>
<b>TABLolar</b> .....	<b>x</b>
<b>ŞEKİLLER</b> .....	<b>xi</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1.Elektrik Ark Kaynağı Nedir? .....	1
1.2.Kaynak Türüne Göre Sınıflandırılması.....	2
1.2.1. Kaynaklanan malzemeye göre gruplandırılması.....	2
1.2.2. Kaynak Amacına Göre gruplandırılması .....	3
1.2.3.Kaynak Yapılış yöntemine Göre Gruplandırılması .....	3
1.3.Bir Kaynak Havuzunun Oluşumu .....	3
1.3.1.Eriyen bölge:.....	3
1.3.2.Kaynak Dolgu Malzemesinin Katılma .....	4
1.3.3.İsı Tesiri Altında Kalan Bölge (ITAB) .....	5
<b>2.KAYNAK ARAŞTIRMASI</b> .....	<b>6</b>
2.1.Doğalgaz Boruları ve Kaynak Yöntemleri .....	6
2.1.1.Hat borularının imal usulleri .....	9
2.1.2.Kimyasal ve Mekanik Özellikleri .....	11
2.2.Hat Borularında Uygulanan Kaynak Metotları.....	12
2.2.1. Örtülü Elektrotla Elektrik Ark Kaynağı Yöntemi.....	13
2.2.1.1.Avantajlar.....	13
2.2.1.2.Dezavantajlar .....	14
2.2.2.Örtülü Elektrot ile Elektrik Ark Kaynağı .....	14
2.2.3.Çelik Boruların Kaynağında Kullanılan Örtülü Elektrotlar.....	14
2.2.4.Elektrik Ark Kaynağı ile Yukarıdan Aşağı Kaynak Tekniği .....	16
2.3.Boru Hatlarının Kaynağı.....	16
2.3.1.Kaynak işlemine hazırlık .....	17
2.3.2.İsil işlem aşamaları .....	17
2.3.3.Çevre Şartları .....	18
2.3.4.Boruların kaynaklanmasında kaynak ağızı açılması .....	19
2.4.Boru Kaynağında Kullanılan Kaynak Pasoları.....	20
2.4.1.Kök.....	21
2.4.2.Sıcak.....	22
2.4.3.Dolgu .....	22
2.4.5.Kaynak sonrası yapılan işlemler .....	24

2.4.6. Kaynak işlemi sırasında oluşan şekil değişiklikleri ve buna karşı alınacak tedbirler .....	24
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>26</b>
3.1. Tahribatsız Muayene Yöntemleri .....	26
3.1.1.Kaynakta süreksizlikler.....	26
3.1.1.2.Kaynak hatalarının tespit edilmesinde uygulanan muayene yöntemleri .....	27
3.1.1.3.Süreksizliklerin sınıflandırılması .....	28
3.1.2.Kaynak Hataları .....	29
3.1.2.1.Nüfuziyet az olması .....	29
3.1.2.1.1.Nüfuziyetin Oluşma nedenleri .....	29
3.1.2.2.Yeterince erimeme .....	30
3.1.2.3.Yanma çukurları ve çentikler.....	30
3.1.2.3.1.Yanma oluk ve çentiklerin oluşma sebepleri: .....	31
3.1.2.4.Gözenek .....	32
3.1.2.5 Kaynak dikişinin kaynak bölgesinin dışına taşması .....	33
3.1.2.6.Çapak kalıntıları.....	34
3.1.2.7.Kaynakta çatlak oluşumu.....	36
3.1.3.Tahribatsız muayene metotları.....	38
3.1.3.1.Gözle muayene test yöntemi:.....	38
3.1.3.2.Penetrant sıvı muayenesi yöntemi .....	39
3.1.3.2.1.Penetrant muayene metodun uygulanma sıralaması: .....	39
3.1.3.2.2.Penetrant muayenesi işlem kademeleri:.....	40
3.2. Çekme Testi .....	41
<b>4. DENEYLERİN TARTIŞILMASI .....</b>	<b>45</b>
4.1. Kaynak Dikişinin Radyografik İncelenmesi .....	45
4.2.Mekanik Deney Sonuçları .....	51
4.2.1.Kaynak numunesinin çekme deneyi .....	52
4.2.2.Yeni Bir (T1-Saf) Elektrotun Denenmesi .....	54
4.2.3. Yeni Denenen (T1-Saf) Elektrotun Deney Sonuçları .....	55
4.2.4.İkinci Bir (T2-Saf) Elektrotun Denenmesi .....	57
4.2.4.1. T2-Saf örtülü elektrotun çekme deneyi ve sonuçları .....	58
4.2.4.2.T2-saf elektrotun çekme test sonuçları .....	59
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>64</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>68</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>71</b>
EK-1 Radyografik Muayene Raporları .....	71
EK-2 Çelik boru ve test cihazı akreditasyon sertifikası.....	76
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>79</b>

## SİMGELER VE KISALTMALAR

- API: Amerikan Petrol Enstitüsü  
ASNT: Amerikan Tahribatsız Muayene Kurumu  
C: Radyoizotopun Aktivite Değeri  
DGBH: Doğal Gaz Boru Hattı  
E: Elastik Modül  
E.S: Ergime Sınırı  
EN: Avrupa Birliği Standartları  
F: Kuvvet  
GTAW: Gaz Tungsten Ark Kaynağı  
I: Uzama  
ITAP: Isı Tesir Altındaki Bölge  
Ir: İridyum  
ISO: Uluslararası Standart Organizasyonu  
İSG: İş Sağlığı Güvenliği  
LP: Yetersizlik  
Mo: Molibden  
Ni: Nikel  
NDT: Tahribatsız Muayene Testi  
PF: Aşağıdan yukarıya  
PG: Yukarıdan aşağıya  
Se: Selenyum  
SAW: Toz altı Ark Kaynağı  
SMAW: Örtülü Metal Ark Kaynağı  
 $\sigma$  :Gerilme  
E: Birim Şekil Değiştirme

## TABLolar

Tablo.1.1 Kaynak tablosu.....	2
Tablo 2.1 Çelik Sınıflarına Göre Boru İmalat Metotları.....	11
Tablo 2.2 API-5L'ye göre boruların mekanik özellikleri tablosu.....	11
Tablo2.3 Dikişle ve dikişsiz boruların kimyasal birleşimi.....	12
Tablo 2.4 Kaynak paso tablosu.....	20
Tablo 2.5 Boru çapları ve et kalınlıklarına uygun elektrot çapları.....	21
Tablo 4.1 1. Takım akma-çekme değerleri.....	52
Tablo 4.2 1. Takımın ve X42 çeliğın akma ve çekme değerleri.....	53
Tablo 4.3 E 42 2 C 21 ve T1 elektrotun kimyasal içerik tablosu.....	55
Tablo 4.4 T1-Saf, 3 ve 5. takım kaynak metalinin akma ve çekme tablosu.....	56
Tablo 4.5 T2 Saf takımındaki örtülü elektrotun kimyasal içeriğı.....	58
Tablo 4.6 T2 saf kaynak metalinin akma ve çekme dayanımı.....	58
Tablo 4.7 T2-Saf deney sonuçları.....	60

## ŞEKİLLER

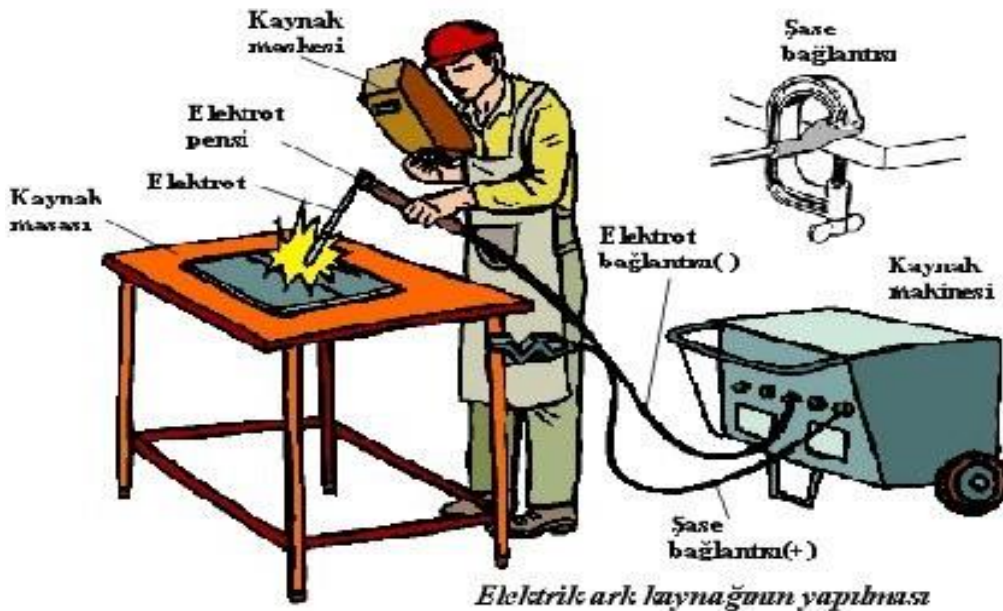
Şekil 1.1 Kaynak şematik görünümü.....	1
Şekil 1.2: Ana malzeme ve kaynak görüntüsü.....	4
Şekil 1.3 Kaynak katılaşma görüntüsü.....	4
Şekil 1.4 Kaynakta ısıdan etkilenen bölge.....	5
Şekil 2.1 Doğalgaz boru üretim fabrikası.....	10
Şekil 2.2 Doğalgaz boru hattının görünüşü.....	13
Şekil 2. 3 İç ve dış ağız kaçıklığı.....	17
Şekil 2.4 Ön ısıtmaya tabi tutulacak kaynak bölgesinin gösterimi.....	18
Şekil 2.5 Kaynak ağız şekli ve kaynak ağız açma aparatı .....	19
Şekil 2.6 Kaynak dikişinin merkezlenme tertibatı.....	20
Şekil 2.7 Kök pasoda sarkma .....	21
Şekil 2.8 Sıcak paso .....	22
Şekil 2.9 Dolgu paso konumu.....	23
Şekil 2.10 Tamamlanmış kaynak kesiti.....	23
Şekil 3.1 Oluk ve çentik görüntüsü.....	29
Şekil 3.2 Yetersiz nüfusizyetin film görüntüsü.....	30
Şekil 3.3 Yanma şematik görünümü.....	31
Şekil 3.4 Yanma film görüntüsü.....	31
Şekil 3.5 Gözeneklerin şematik görünümü.....	32
Şekil 3.6 Film görüntüsü.....	32
Şekil 3.7 Kaynak hatalarının şematik görüntüsü.....	34
Şekil 3.8 Cüruf kalıntıları şematik görünümü.....	34
Şekil 3.9 Cüruf kalıntıları film görüntüsü.....	35
Şekil 3.10 Kaynakta çatlak görüntüsü.....	36
Şekil 3.11 Çatlakların film görüntüsü.....	37
Şekil 3.12 Penetran sıvı ve floresant.....	39
Şekil 3.13 Penetrant Uygulama Şeması.....	40
Şekil 3.14 Testi numuneleri : (a) Çekme ölçüleri ve (b) örnek numune.....	41
Şekil 3.15 Laryee test cihazı.....	42
Şekil 3.16 Hasarlı numune görüntüsü.....	43
Şekil 4.1 1. Takım radyografi filmi.....	45
Şekil 4.2 1. Takım tamir filmi.....	46

Şekil 4.3 3.Takım radyografi filmi.....	46
Şekil 4.4 3.Takım tamir filmi.....	47
Şekil 4.5 5. Takım radyografi filmi.....	47
Şekil 4.6 5. Takım radyografi tamir filmi.....	48
Şekil 4.7 7. Takım Radyografi Filmi.....	48
Şekil 4.8 7. takım tamir filmi.....	48
Şekil 4.9 11. Takım radyografi filmi.....	49
Şekil 4.10 11.Takım tamir filmi.....	49
Şekil 4.11 15. Takım filmi.....	50
Şekil 4.12 15. Takım tamir filmi.....	50
Şekil 4.13 17. Takım filmi.....	51
Şekil 4.14 17.Takım tamir filmi.....	51
Şekil 4.15 Deney numuneleri .....	52
Şekil 4.16 1.Takım hasarlı numune.....	53
Şekil 4.17 X42 çeliği ve 1. takım diyagramı.....	54
Şekil 4.18 T1,3.Takım ve 5. Takım akma çekem diyagramı.....	56
Şekil 4.19 T1 saf kaynak metalinin hasarlı numunesi.....	57
Şekil 4.20 T2 Saf ve X42 çelik diyagramı.....	59
Şekil 4.21 T2-saf hasarlı numune.....	59
Şekil 4.22 9.,11.,13.,15. ve 17. Takım çekme uzama değerleri.....	61
Şekil 4.23 Hasarlı numuneler.....	63
Şekil 5.1 Mardin ili 8 inç doğalgaz boru hattı uydu görüntüsünden.....	64

## 1. GİRİŞ

### 1.1. Elektrik Ark Kaynağı Nedir?

Elektrik ark kaynağı; metalik veya termoplastik malzemelerin ısı, basınç ya da her ikisinin etkisi altında bir kaynak elektrotu kullanıp veya kullanmadan gerçekleştirilen birleştirme işlemidir. Birleştirilmek istenen iki ana malzeme, kaynak bölgeleri plastik veya akışkan duruma getirilmekte, benzer iki ana malzemenin birleştirilmesiyle oluşan kaynak dikişinin özellikleri de ana malzemeninkine benzer özellikte olmalıdır. Elektrik ark kaynağında, kaynak İşlemin yapılmasında birleştirilecek ana malzemelerin özellikleri, kaynak olayındaki oluşumlar ve konstrüksiyonun türü gibi etkenler göre bazı tedbirler alınması gerekebilmektedir. Erime bazlı kaynak uygulamalarında kaynak havuzu genellikle yardımcı elemanlarla korunması gerekmektedir. Seçilen kaynak dolgu malzemesi ise, mümkün olduğu kadar ana malzeme ile aynı erime sınırlarına sahip olması gerekir, işlem güvenliği bakımından ihtiyaç duyulmaktadır. Burada belirtilen benzer malzeme tanımı, metalurjik olarak tam olarak benzerlik değil, ana metallerin birbiri içerisinde karışıp eriyebilmesi anlamını taşımaktadır (Detayquality, 2018).



Şekil 1.1 Kaynak şematik görünümü (Detayquality, 2018)

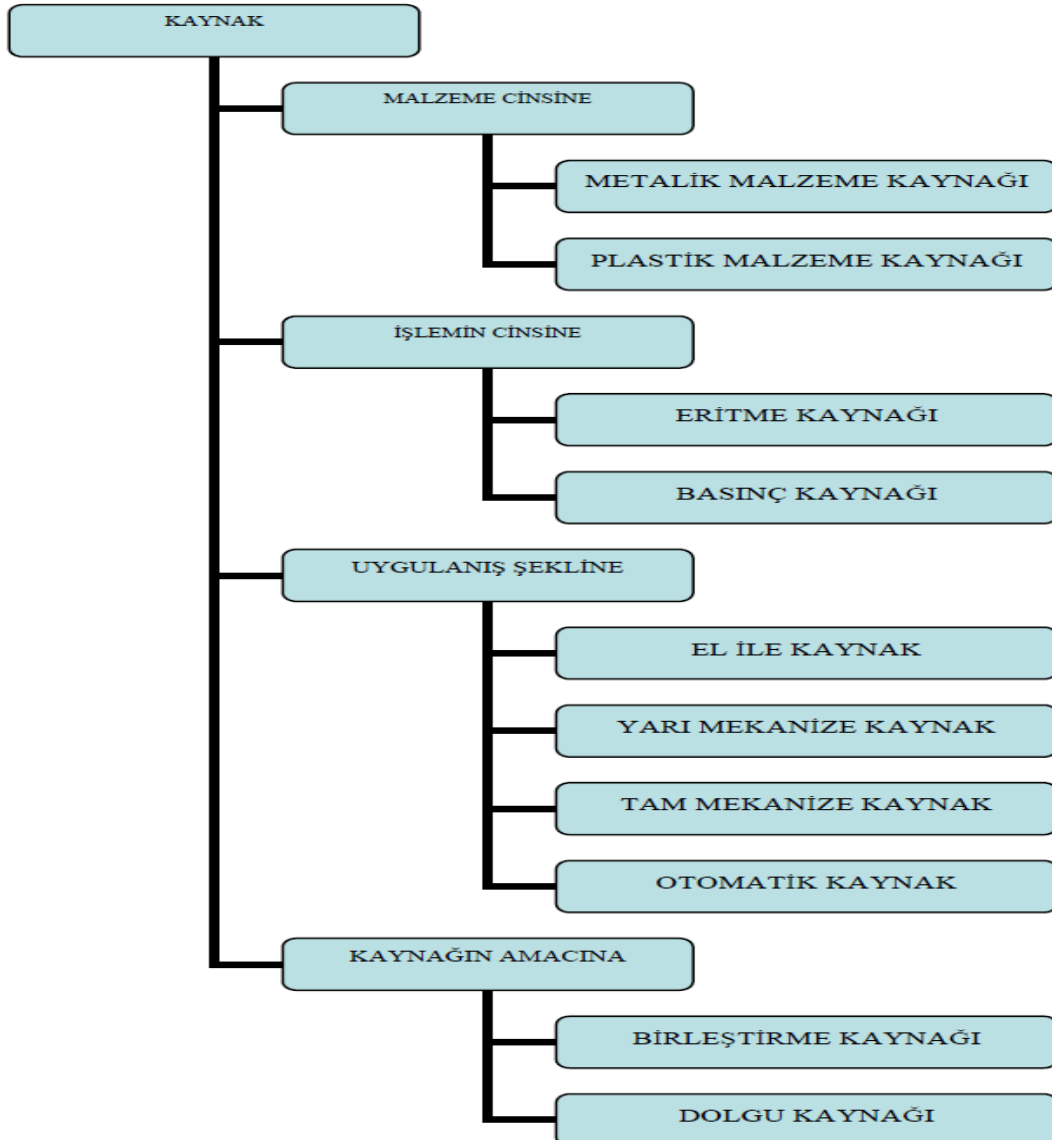
## 1.2.Kaynak Türüne Göre Sınıflandırılması

Temel olarak kaynak edilecek ana malzeme türüne göre, kaynak esnasında oluşan işlemlere ve kaynak işleminin amacına göre gruplandırılma yapılmıştır.

### 1.2.1. Kaynaklanan malzemeye göre gruplandırılması

Kaynak malzemesine göre dört ana başlık altında sınıflandırılabilir. Sınıflandırılma Tablo 1.1’de verilmiştir.

**Tablo.1.1** Kaynak tablosu (Bal, 2012)



### 1.2.2. Kaynak Amacına Göre gruplandırılması

**Kaynakla ana metallerin birleştirilmesi:** En az iki ya da daha çok sayıdaki ana malzemeyi kaynakla birleştirilerek çözülmez bir bütün haline getirme olayıdır.

**Dolgu kaynağı:** Bir iş malzemesinin veya ana malzemenin hacmindeki bir noksanlığı doldurma veya hacmini genişletmek suretiyle yapılır. Bunun yanında malzeme yüzeyini korozyon ve aşındırıcı etkilere karşı korumak amacıyla da dolgu kaynağı işlemi yapılmıştır.

### 1.2.3.Kaynak Yapılış yöntemine Göre Gruplandırılması

- x **El kaynağı**
- x **Yarı mekanize ark kaynağı:** Kaynak işlem, kaynak teknisyenin yerine kısmen mekanize edilmiş bir cihazla ile yapılır.
- x **Tam mekanize ark kaynağı:** Kaynak işlemi kaynak teknisyeni yerine tamamen mekanize edilmiş bir cihazla ile yapılır.
- x **Otomatik ark kaynağı:** Hem kaynak aşamaları ve kaynak edilen ana malzeme değiştirilmesi tamamen mekanizma tarafından yapılan yöntemidir.

### 1.3.Bir Kaynak Havuzunun Oluşumu

#### 1.3.1.Eriyen bölge:

Kaynak işlemi esnasında ana malzeme bir kısım erir, bunun yanında kaynak elektrotu da erir. Her iki ergimiş malzemenin karışması sonucunda ortaya çıkan katı sıvı tersinir dönüşüme uğramış bölgeye denir.

**Şekil 1.2** Ana malzeme ve kaynak görüntüsü (Bal,2012)

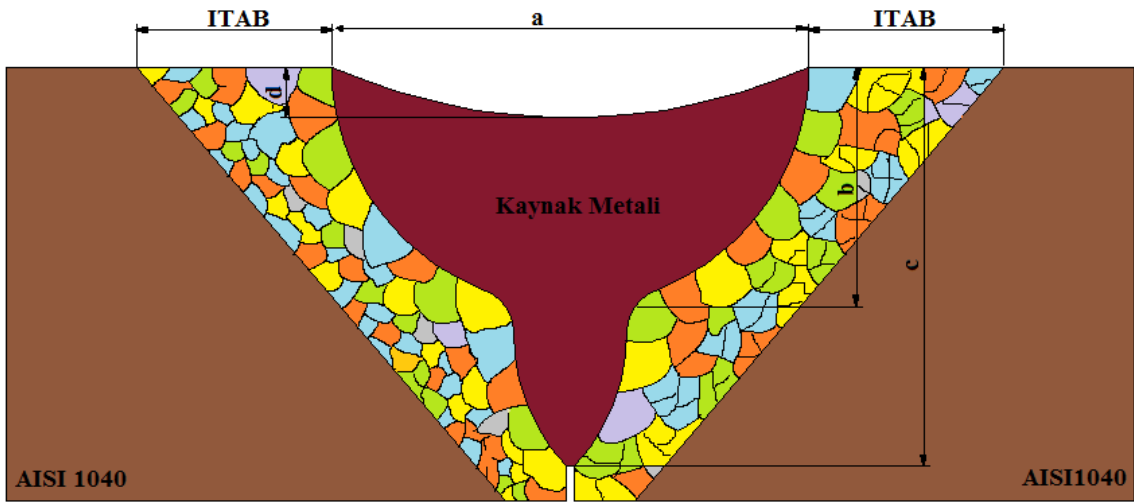
### **1.3.2.Kaynak Dolgu Malzemesinin Katılma**

Eriyen kısmın katılması kendini çevreleyen metalin ısı alış veriş ile sağlanır.  
Eriyen bölgenin tanecik yapısı kolon şekline benzeyen iri tanelerden oluşur.

**Şekil 1.3** Kaynak katılma görüntüsü (Bal, 2012)

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

Ergiyen alanın sınırından başlayarak içeriye doğru uzanan ve ısının etki alanında kalan mikro ve makro yapısında önemli değişikliklerin oluşturduğu bölge olarak tanımlanmaktadır. Metal malzemelerde bu bölgedeki sıcaklık 650-1400°C aralığında değişmektedir.



Şekil 1.4 Kaynakta ısıdan etkilenen bölge (Teker, 2012)

## 2.KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1.Doğalgaz Boruları ve Kaynak Yöntemleri

Türkiye'de ilk defa 1955 yılında Mann'san-Sümerbank ile başlayan doğalgaz çelik boruların üretiminin en hızlı büyümesini Ortadoğu pazarlarıyla başlayan dış ülkelere satma hamlesi nedeniyle 1975-1986 yılları arasında gerçekleştirmiş ve bu dönemde birçok yeni fabrika üretime geçmiştir. Ancak bu ticaretlerde meydana gelen daralma nedeniyle sektörde talep fazlası mal ortaya çıkmıştır. Türkiye, bu yıllarda 1,9 milyon tondan fazla üretimle İtalya, Almanya, İngiltere ve Fransa'dan sonra Avrupa'nın en çok çelik boru üreten ülkelerden birisidir. Genel olarak Batı ve Marmara Bölgesi'nde üretimi olan, çeşitli kapasitelerde üretim yapabilen 35 tane fabrika faaliyet göstermektedir. Bunların 25 tanesi faaldir, diğerleri ihtiyaca ve talebe göre üretim yapmaktadır. Çelik Boru üretimi, şimdiki kapasitesi ile yurtiçinin ihtiyacının çok üzerinde bir üretim kapasitesine sahiptir. Sektörün genel potansiyel kullanımı, ihtiyaç fazlası sebebiyle yüksek ihracat kapasitesine rağmen % 50-60 oranında seyretmektedir. Doğalgaz çelik boru ihtiyacı bütün ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de ülke ekonomisinin genel durumuna, yapılan altyapı yatırımlarının durumuna göre, nüfus artışına paralel konut talebine ve genel olarak inşaat sektörünün ekonomik durumuna bağlı olarak değişiklik gösterir. Genellikle yurtiçi doğal gaz çelik boru tüketimi öncelikle doğalgaz altyapı sektöründe gerçekleşmektedir. Son yıllardaki görünürdeki doğal gaz çelik boru tüketiminde değişkenlik göstermekle birlikte üretimde düzenli bir artış görülmektedir.

Ülkemizde (Türkiye'de) doğal gaz dikişli çelik boru üretim teknolojisi çok ileri seviyelerdir. Çelik boru sektöründe büyük üretici firmaların tümü Avrupa ülkelerinde kullanılan imalat teknolojilerinin imkânlarının tümüne sahiptir. Çelik boru sektörümüzde kendi teknolojisini kendisi üretecek seviyelere gelmiştir. Türkiye'nin dikişli çelik boru sektöründeki talebi karşılayacak yeterli üretim gücünün sahip olmasına rağmen, sektörde yerli dikişsiz boru üretici firmanın az olması sebebiyle, dikişsiz borular önemli oranda ithalat yoluyla tedarik edilmektedir. Sektörün ihracat performansı da üretimle doğru orantılı olarak artmıştır. 2004 yılında Türk Çelik Boru imalatçılarının en çok ihracat yaptığı ülkeler arasında %18 ile ABD, %16 ile İngiltere ve %8 ile Belçika ilk sıralarda yer almışlardır. Enerji yatırımlarında kendini geliştiren Türkiye'de yeni yapılacak doğalgaz, petrol taşıma hatları, önümüzdeki yıllarda yaklaşık 1,1-1.5

milyon tonluk boru ihtiyacı olacaktır. Önümüzdeki 10-15 yıl içinde enerji geçiş güzergâhı haline gelecek olan ülkemizdeki (Türkiye) potansiyel pazar, tüm yatırımcıların ve boru üreticilerinin cazibe merkezi durumundadır. Ülkemizde yaşanan Marmara Depremi ve arkasından yaşanan ekonomik kriz nedeniyle birçok sektör gibi sıkıntılı yıllar geçiren çelik boru sanayiinde, bu sorunların 2005 yılının gelmesi ile birlikte arkada kalmaya başladığı gözlenmektedir. İç piyasada doğalgaz yatırımlarının oluşturduğu yeni pazarlar, altyapı çalışmalarının hızlanması, sanayideki yeni gelişmeler çelik boru pazarında 3-4 yıl sürecek bir canlılık olacağı işaretlerini vermektedir. Sektördeki canlanma 2004 yılında başlamış olmasına rağmen, bu büyüme kriz öncesi rakamların altında kalmaktadır. Ancak, genel tablo, 2005 yılından daha umutlu. Bu yıl hükümetin başlattığı toplu konut projesi, düşen faiz oranları, özel sektör yatırımları, mortgage uygulamaları, öngörülen doğalgaz yatırımlarıyla sektördeki canlılığın artması beklenmektedir. Buna bağlı olarak inşaat sektöründe yaşanacak büyümenin de boru sektörü üzerinde olumlu etkide bulunması beklenmektedir.

Uzun bir süredir çelik boru üreticileri için önemli bir pazar olan büyük boru hatları yatırımlarının dörtte üçlük bölümü tamamlanmış olsa da, kalan yatırımlar ve doğalgazın 81 il ve ilçeye ulaştırılması çalışmaları, doğalgaz yatırımlarının hala sektör için cazip bir pazar olduğunu göstermektedir. Ayrıca, doğalgaz dağıtım projesini kazanan şirketin 18 ay içinde altyapıyı kurma zorunluluğu bulunmaktadır. İç piyasanın bu ekstra talep sayesinde %5 büyümesi beklenmektedir. Bundan sonraki aşamada doğalgazın ana hatlardan tahliye hatlarıyla şehir içine ve binalara kadar ulaştırılma çalışmaları, önümüzdeki yıllarda pazarın büyümesi üzerinde etkili olacaktır.

2005 yılının ortalarından faaliyete geçen BTC (Bakü-Tiflis-Ceyhan) boru hattı projesinin ardından Azerbaycan doğal gazını Türkiye ve Avrupa'ya aktaracak olan Şah Deniz Doğalgaz Boru Hattı (DGBH) Projesi ve Türkmen doğalgazını Türkiye ve Avrupa pazarlarına ulaştıran Hazar Geçişli Türkmenistan-Türkiye-Avrupa Doğal Gaz Boru Hattı Projelerine üzerinde durulacak ve çelik boru sektörü için önemli bir Pazar fırsatı oluşturmuştur. Bu hatların Türkiye-Yunanistan Doğalgaz Boru Hattı ve bu hattın uzantısı olacak olan Türkiye-Yunanistan-İtalya DGBH ve Türkiye-Bulgaristan-Romanya-Macaristan-Avusturya DGBH projelerine bağlandığında koridorun tamamlanacağı ifade edilmektedir. Ayrıca, Irak Doğalgaz Projesi'nin öncelikli bir proje olduğunu kaydeden Enerji Bakanlığı yetkilileri, Irak'ta durumun normale dönmesine paralel olarak, bu projenin de hayata geçirileceğini ifade etmektedirler.

İGDAŞ yetkilileri de 2015 yılında yatırım çalışmalarına hızla devam edeceklerini belirtmektedirler. Birkaç yıl içinde yatırım yoğunluğunu yüzde 95'e çıkarmayı planlayan kurum, 800 kilometrelik çelik ve polietilen boru hattı kurmayı hedeflemektedir. Buna ek olarak, 2014 yılında 75 km uzunluğunda çelik boru hattı döşeyen İSKİ 2015 yılında 100 km uzunluğunda çelik boru hattı döşemesi yapmıştır. Pazardaki değişimden nasibini alan çelik boru, kaybettiği pazarların yerine yeni pazar arayışlarını sürdürüyor.

Yetmişli yılların başlarında arazi sulama boruları başta olmak üzere dönüşüme başlanılan ve de 1990'lı yıllılardan itibaren yaşam alanı tesisatlarında kullanılan çelik boruların yavaş yavaş plastik boruya dönüşmesiyle birlikte çelik boru firmaları bu iki sektörü tamamen plastik üreten firmalara bırakmış durumda. Buna karşın, doğalgaz çelik borular, doğalgaz tesisatı ve inşaatın yanı sıra otomotiv, bisiklet sanayii, mobilya, aydınlatma, trafik lambası ve çocuk parkına kadar çok farklı alanlarda kullanılmaktadır. Tablonun bundan sonraki süreçte pek fazla değişmeyeceğini söyleyen sektör temsilcileri, demir-çelik borunun artık sanayide kullanım alanını genişlettiğini belirtmektedirler. Çelik boruların sanayideki kullanım oranı yüzde 15'lere ulaşırken, özellikle otomotiv sanayiindeki gelişmeler sektör üzerinde olumlu etkiye bulunmaktadır. Şu anda, yılda 50 bin ton çelik boru tüketen otomotiv üreticilerinin, üretimlerinin 1,5 milyon âdete ulaşması halinde ise 150 bin ton civarında çelik boru tüketmesi beklenmektedir. Dünyanın pek çok ülkesindeki konutlarda doğalgaz hatlarının büyük çoğunluğu bakır borulardan oluşmasına rağmen, Türkiye bu alanda çelik boru kullanımından vazgeçmeyeceğe benziyor.

Çelik boru sektörünün önündeki en büyük engellerin başında kayıt dışı üretim bulunmaktadır. Haksız rekabete yol açan kayıt dışı çalışma, üretim verimliliğini düşürmektedir. Çok düşük fiyatlardan kalitesiz ürün sunan çeşitli üreticiler, kaliteye önem veren çelik boru üreticilerini zora sokmaktadır. Sektörün önde gelen üreticileri, kapasite kullanım oranının %50-60 seviyelerini aşmadığını, kapasite fazlasının olduğunu ve bu durumda sektöre yeni girişlerin teşvik edilmemesi gerektiğini ifade etmektedirler. Ayrıca, Sanayi Bakanlığı'nın konuyu kontrol etmesi gerektiği ve TSE'nin de sadece standart verirken değil sonrasında da sıkı denetimler yapması gerektiği üreticiler tarafından belirtilmektedir. Çelik boru üreticileri için sorun teşkil eden bir diğer konu ise doların aşırı değer kaybının firmaları sürekli fiyat listesi değiştirmeye zorlamasıdır. Bu durum ihracat yapan çelik boru üreticilerinin rekabet gücünü

zayıflatmaktadır. Avrupa ve ABD’li Firmaların Uyguladığı Damping Uygulamaları da sorun teşkil etmeye devam etmektedir. Boru üreticileri, sorunun çözümü için Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu gibi çalışacak “Devlet Yardımları Denetim Kurulu’nun kurulması gerektiğini ifade etmişlerdir.

### **2.1.1.Hat borularının imal usulleri**

Günümüzde üretilen hat borularının imalatında kullanılan temel standartlar API 5L’dir. Bu standartın kapsama alanı dikişsiz ve boyuna dikişli çelik borulardır. API 5L; X,A ve B kalite gruplarını içermektedir.

Bütün API hat boruları minimum akma mukavemetleri Psi olarak gösterilir. Akma mukavemeti çelik çekme testinde deney numunesinde oluşan az miktardaki kalıcı hasarı oluşturan çekme gerilmeleri olarak tanımlanır. A kalite malzeme sınıfı 30.00 Psi’lik minimum akma mukavemetine değerini gösterir. B kalite malzeme sınıfı 35.000 Psi’lik minimum akma mukavemetine değerine gösterir. API standardına tanımlana X42, X46, X52 gibi sembollerin gösterimi, Psi olarak minimum akma dayanım değerlerini verir. X42 gösterim bize şunu ifade eder; malzemenin akma dayanımı değerinin 42.000 Psi olduğunu gösterir. API standartları baz alınarak üretilen doğalgaz hat borusu çelikleri elektrik ark kaynaklarında ve bazık oksijen yöntemlerinde üretilebilmektedir. Doğalgaz hat boruları, üretiminde uygulanan metoda göre dikişsiz ve dikişli olmak kaydıyla iki farklı şekilde üretilebilir. Dikişsiz hat boruları tek şekilde üretilir. Dikişli borular kaynak dikişinin yapılış şekline göre sınıflandırılır; boyuna dikişli boru, spiral dikişli boru olmak üzere iki türe ayrılır. Boyuna dikişli boruları şöyle sınıflandırırız; uygulanan kaynak dikişi şekline göre, elektrik kaynak ile üretilen doğalgaz dikişli borular, toz altı kaynak yöntemi ile üretilen doğalgaz dikişli borular (SAW), gaz metal ark kaynak yöntemi ile üretilen doğalgaz dikişli borular, gaz metal ark kaynağı yöntemi ile üretilen ve toz altı ark kaynağının aynı anda uygulanması ile üretilen dikişli borular, alın kaynağı yöntemi ile üretilen dikişli doğalgaz borular çift kaynak dikişli doğalgaz borular olmak üzere altı sınıfa ayrılır. Spiral dikişli borular uygulanan kaynak dikişi yöntemine göre sınıflandırıldığında, toz altı kaynak yöntem ile üretilen dikişli doğalgaz boru olmak üzere yalnızca bir tiptir. Bunlara ek olarak, borular üretiminde soğuk genişletme işlemi metodu uygulanmadığına göre, genişletilmiş ve

geniştirilmemiş olmak üzere iki sınıfa ayrabiliriz. Dikişsiz doğalgaz boruları şekil verilebilir çeliklerden kaynak işlemi yapılmadan üretilebilen borudur. Dikişsiz doğalgaz boruları ana metale sıcak işlem uygulanarak üretilebilir. İhtiyaç duyulursa sıcak işlenmiş boruya; istenilen şekil, boyut ve özellikleri elde etmek için, daha sonra soğuk veya sıcak haddeme boruya uygulanabilir. Sınıfı X 42'den daha üst kaliteli çelikten üretilen boruların, elektrik direnç ve indüksiyon kaynaklı boruların kaynak dikişleri, kaynak işleminden sonra alt sınır 430 C° sıcaklıkta ısıl işleme uygulanmalıdır. Sınıfı X 42 ve daha alt kaliteli çelikten üretilmiş boruların kaynak dikişi aynı şekilde ısıl işlem uygulanmalı ya da kaynaklı alanda martenzit fazı olmayacak şekilde ısıl işleme tabi tutulmalıdır.



Şekil 2.1 Doğalgaz boru üretim fabrikası

Toz altı kaynaklı doğalgaz boruları, otomatik toz altı ark kaynağı tezgâhı ile imal edilen boyuna dikişli borudur. Spiral kaynaklı boru üreten makinelerde ana prensip, rulo sac halinde gelen haddelenmiş yassı çelik form verilerek spiral hareket yapması sağlanarak boru üretilir. Kaynak, içte ve dışta en az bir paso olmalıdır. Gaz metal ark kaynak dikişli boru, daima gaz metal ark kaynağı ile üretilen boyuna dikişli doğalgaz borusudur. Kaynağın iç ve dışı en az birer pasodan ibaret olmalıdır. Gaz metal ark kaynağı ve toz altı ark kaynağının birlikte kullanılmasıyla üretilen boru, bu iki metodun sırayla kullanılmasıyla üretilir. Bu yöntemle ilk önce gaz metal ark kaynağı daha sonra toz altı

ark kaynağı uygulanır. Çift kaynaklı dikişli doğalgaz borusu, toz altı ark kaynak yöntemi veya gaz metal ark metodu ya da bu iki metotla birlikte uygulanmasıyla üretilen borudur. Spiral kaynaklı dikişli doğalgaz boruları; toz altı ark kaynağı metodu üretimi yapılan helis (spiral) dikişli borudur. Alın kaynaklı dikişli doğalgaz boruları; kenarlarının kaynak sıcaklığına ulaşınca kadar ocakta ısıtılmasından sonra, kaynağı yapmak için mekanik basınç uygulanmasıyla üretilen boyuna dikişli doğalgaz borusudur. Tablo 2. 1' de çelik sınıflarına göre üretim yöntemleri verilmiştir (Ada, 2006).

**Tablo 2.1** Çelik sınıflarına göre boru imalat metotları (Ada, 2006)

Kullanılacak kaynak tekniklerine göre boru imalat metodu	Çelik sınıfı (standart gösterimi)		
	A-25	A ve B	X42-X80
Dikişsiz			
Dikişli			
Alın kaynaklı	X		
Örtülü elektrotlu ark kaynaklı	X	X	X
Toz altı ark kaynaklı		X	X
Gaz metal ark ve toz altı ark kaynaklı			X
Çift dikişli		X	X
Spiral dikişli			
Spiral toz altı ark kaynaklı		X	X

### 2.1.2. Kimyasal ve Mekanik Özellikleri

Boru hattı tesislerinde en çok kullanılan boruların kimyasal ve mekanik özellikleri standartlarda belirlenmiştir. API 5L'ye göre boru tesislerinde en çok kullanılan boruların kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri Tablo 2. 2. ve Tablo 2. 3 de verilmiştir.

**Tablo 2. 2** API-5L'ye göre boruların mekanik özellikleri tablosu (Ada, 2006)

Çelik Sınıfı	Minimum akma mukavemeti		Minimum çekme mukavemeti	
	Psi	MPa	Psi	MPa
A25	25000	172	45000	310
A	30000	207	48000	331
B	35000	241	60000	413
X42	42000	259	60000	413
X46	46000	317	63000	434
X52	52000	358	66000	455
X56	56000	386	71000	489

**Tablo2.3** Dikişle ve dikişsiz boruların kimyasal birleşimi (Ada, 2006)

Boru imalat şekli	Çelik sınıfı	%C max	%mm		%P		%S max
			min	max	min	max	
Dikişsiz Boru							
Genişletilmemiş veya soğuk genişletilmiş	A25 –I	0,21	0,3	0,6	-	0,03	0,06
Genişletilmemiş veya soğuk genişletilmiş	A25-II	0,21	0,3	0,6	0,045	0,08	0,06
Genişletilmemiş veya soğuk genişletilmiş	A	0,22	-	0,9	-	0,03	0,05
Genişletilmemiş veya soğuk genişletilmiş	B	0,27	-	1,15	-	0,03	0,05
Genişletilmemiş	X42	0,29	-	1,25	-	0,03	0,05
Genişletilmemiş	X40,X52	0,31	-	1,35	-	0,03	0,05
Soğuk genişletilmiş	X42,X46,X52	0,29	-	1,25	-	0,03	0,05
Dikişli Boru							
Yalnız elektrik veya alın kaynaklı	A25 –I	0,21	0,3	0,6	-	0,045	0,06
Yalnız elektrik veya alın kaynaklı	A25-II	0,21	0,3	0,6	0,045	0,08	0,06
Genişletilmemiş veya soğuk genişletilmiş	A	0,21	-	0,9	-	0,04	0,05
Genişletilmemiş veya soğuk genişletilmiş	B	0,26	-	1,1 5	-	0,04	0,05
Genişletilmemiş veya soğuk genişletilmiş	X42	0,28	-	1,2 5	-	0,04	0,05
Genişletilmemiş	X42,X52	0,31	-	1,3 5	-	0,03	0,05
Soğuk genişletilmiş	X46,X52	0,28	-	1,2 5	-	0,04	0,05

## 2.2.Hat Borularında Uygulanan Kaynak Metotları

Uzun mesafeli boru hatlarının oluşturulmasında doğalgaz boruların kaynağı, günümüzde güncel ve önemli bir uygulamadır. Doğalgaz ve ham petrol nakil hatlarının

artan önemi, bu hatlarda kullanılan çelik boruların kaynağı için yeni teknikler ve ilave malzemeler geliştirilmesine aynı zamanda işlemlerin daha hızlı ve daha güvenilir olması için yeni çalışmalar yapılmıştır.



Şekil 2.2 Doğalgaz boru hattının görünüşü (BOTAŞ, 2018)

Doğalgaz boruların kaynağı, pek çok disiplinin bir arada düşünülmesi ve uygulanması gereken bir konudur. Öncelikle boruların üretiminde başlar ve bu boruların uç uca eklenerek kaynak edilmesi ile devam edilir. Doğalgaz boruların kaynağında çalışacak kaynakçıların ve yapılan kaynak işlemlerinin kalifikasyonu, kaynakların yapılması ve dikişlerin tahribatsız muayenesi ile son bulur.

Ülkemizde boru hatları kaynak işlemende iki yöntem kullanılır; biri gaz metal ark kaynak (GMAW) ve diğeri de örtülü elektrotla ark kaynak (SMAW) metodu. Toz altı ark kaynak (SAW) ve gaz tungsten ark kaynak yöntemleri arazi şartlarında başarısızlıklar gösterir. Oksijen-asetilen kaynak yöntemi ise boru çapı büyüdükçe y e t e r s i z erimeye neden olduğundan kullanılamaz ve toz altı ark kaynak yöntemi ve gaz tungsten ark kaynak yöntemi, doğalgaz boru hatlarından kullanılmayan borular ve atölyede yapılan ön onarım işlemlerinde kullanılabilir. Kullanılan bu metotlarını avantaj ve dezavantajları aşağıda verilmiştir (Odabaş, 2011).

## 2.2.1. Örtülü Elektrotla Elektrik Ark Kaynağı Yöntemi

### 2.2.1.1. Avantajlar

- a. Malzemelerin maliyeti az ve temini kolaydır.

- b. Kaynak ağız hataları kolayca giderilebilir.
- c. Kaynak teknisyeni temini kolay ve ucuzdur.
- d. Elle yapıldığından ayar deneme çalışması olmaz.
- e. Bakım ve onarım çok azdır.

#### **2.2.1.2.Dezavantajlar**

- a. Seri olmayan bir yöntemdir.
- b. Kaynakçı teknisyen hata yapma ihtimali fazladır.
- c. İş kaynak teknisyenine bağlıdır (hız-kalite).

#### **2.2.2.Örtülü Elektrot ile Elektrik Ark Kaynağı**

Örtülü elektrot ile elektrik ark kaynağı uygulaması bir ergitme kaynak yöntemidir ve bu yöntemde ark örtülü elektrot ile iş parçası arasında yanar. Bu şekilde örtülü elektrotun, örtüsü ve iş parçası ergiyerek kaynak metalini oluşturur. Bu durumda açığa çıkan gaz kaynak bölgesini yapancılardan korur ve oluşan cürufatta kaynak dikişini kaplayarak kaynak alanın dış etkenlerden korunmasını sağlar. Kaynağın daha düzgün soğumasını sağlar. Bu yöntem 3 mm'den kalın demir veya demir dışı malzemelerin tüm kaynak pozisyonlarında uygulanabilmektedir. Bunun yanında, kaynak dolgu malzemesinin örtüsüne eklenen alaşım elementleri yardımı ile kaynak dolgu malzemesini alaşımlandırarak istenen özelliklerde kaynak bağlantısı oluşturulmasını sağlar (ODTÜ, 2009).

#### **2.2.3.Çelik Boruların Kaynağında Kullanılan Örtülü Elektrotlar**

Örtülü elektrotlar arkın oluşturulmasında, sürekliliğini sağlamada ve gerekse kaynak metalinin sağlanmasında kullanılan bir kaynak sarf malzemesidir. Ark kararlılığı, nüfuziyet derinliği, dolgu oranı ve pozisyonda kullanılabilme yeteneği elektrot örtüsünün kimyasal bileşiminden büyük ölçüde etkilenir. Günümüz teknolojisinde birleştirme kaynağında kullanılan örtülü elektrotlar, genel olarak örtülerinin karakteristiğine göre beş ayrı türe ayrılırlar.

- x Rutil örtülü elektrotlar.

- x Asit bazlı örtülü kaynak elektrotlar.
- x Bazik bazlı örtülü kaynak elektrotlar.
- x Oksit bazlı örtülü kaynak elektrotlar.
- x Selülozik bazlı örtülü kaynak elektrotlar.

Radyografik kalitesinde kaynak istenildiğinde bazik karakterli ve selülozik karakterli elektrot olmak kaydı ile iki farklı seçenek bulunmaktadır. Selülozik elektrotların temel özelliği daha hızlı ve daha iyi erdiklerinden; nüfuziyet daha iyi sağladığı için tercih edilir. Cüruf tabakası ince olduğundan yukarıdan aşağıya düşen pozisyonda kaynak yapma olanağını sağlar. Doğalgaz boru hatlarında örtülü elektrot kaynak uygulama teknikleri; doğalgaz boru hatlarında borular yere paralel olarak döşenir. Bu uygulamada boru daima sabittir. Kaynakçı borunun çevresini dolanarak kaynak yapar. Doğal olarak yere paralel deymi ile borunun tamamen yatay pozisyonda döşendiği şekilde bir yanlış anlama olmamalıdır. Boru hatlarının örtülü elektrot ile elektrik ark kaynağı kullanarak döşenmelerinde genel olarak iki farklı pozisyonda kaynak uygulanır; birincisi aşağıdan yukarıya doğru ve ikincisi de yukarıdan aşağıya doğru olmak üzere kaynak işlemi yapılır. Yukarıdan aşağı tekniği genel olarak alaşimsız çeliklerden yapılmış ve et kalınlığı 12,5 mm'den (1/2 inç) daha ince borulara ancak selülozik elektrotlar kullanılarak uygulanmalıdır. Alaşımli çeliklerden yapılmış kalın cidarlı borularda ise bazik elektrotlar kullanarak uygulanan aşağıdan yukarı kaynak tekniği tercih edilmiştir. Bazı hallerde ise iki yöntemin karışımı da uygulanmaktadır. Kaynaklar sertifikalı kaynakçılar tarafından yapılmıştır. Kaynaklar küçük çaplı ( 4"–12" dâhil olmak üzere) borularda bir kaynakçı teknisyeni tarafından yapılmıştır. Büyük çaplı (16"–30") doğalgaz borularının kaynaklanması sırasında oluşabilecek gerilme ve genleşmeler homojen olarak kaynak ağzına dağıtılmalıdır. Bu sebeple iki kaynakçı aynı anda karşılıklı pozisyonlarda çalışmıştır. Kaynakçı ekibinde, iki kaynakçı, bir borucu, iki kaynakçı yardımcısı, bir veya iki amper ayarı yapan kişi bulunmalıdır. 8" ve daha büyük çaplı orijinal kaynak ağzılı boruların montajında tüm çevrede 1,6mm ağız açıklığı ve 1,6 mm kaynak ağzı yüksekliği olduğundan kök paso yukarıdan aşağı (PG) pozisyonunda yapılabilir. Lokal kaynak tamirlerinde çevrede farklı gaz boşlukları olması sebebiyle kök pasosunda aşağıdan yukarı doğru kaynak yapılmalıdır. Diğer kaynak pasolarında ise yukarıdan aşağıya doğru kaynak işlemi yapılmalıdır. Kaynak işlemlerinde dikkat edilecek en önemli konu her bir pasonun başlangıç noktası ile bir önceki pasonun bitiş noktası arası 5 cm mesafe olmalıdır (Salma, 2011).

#### **2.2.4.Elektrik Ark Kaynağı ile Yukarıdan Aşağı Kaynak Tekniğı**

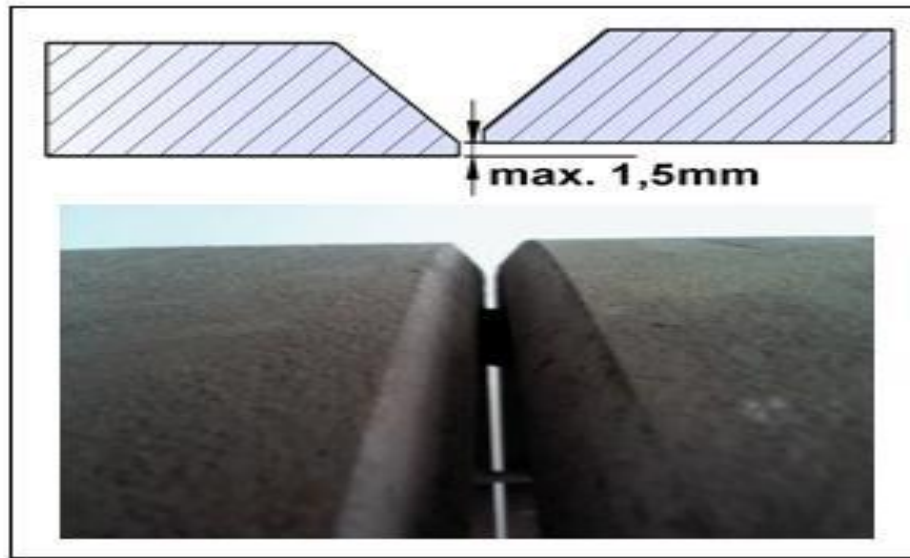
Yukarıdan aşağıya kaynak uygulaması aşağıdan yukarı doğru yapılan alışılmış uygulamadan büyük farklılık gösterir. Sıvı haldeki kaynak banyosu kaynak sırasında yukarıdan aşağıya doğru kaynak arkının hareketi yönünde akma eğilimindedir. Doğal olarak banyo üzerindeki cürufta aynı doğrultuda akma eğiliminde olmasına karşın bu kolaylıkla kaynakçı tarafından önlenebilmektedir. Buna dikkat edilmez ise, kaynak dikişinde, bağlantı mukavemetini azaltan cüruf kalıntılarına rastlanır. Sağlıklı bir kaynak dikişi elde edebilmek için bu tür uygulamalarda, kaynak arkı daima, aşağıya akan sıvı kaynak metalinin önünde tutulmalıdır. Bu ise yüksek akım şiddeti ve yüksek bir kaynak hızı ile elde edilebilir. Kaynak akım şiddeti düşük seçildiğinde yüksek olan kaynak hızı nedeniyle esas metal ergimez ve nüfuziyet azalır. Bu pozisyonda uygun bir çalışma tekniğı sonucunda aşağıdan yukarı kaynak pozisyonu ile karşılaştırıldığında oldukça ince görülen fakat sağlıklı kaynak dikişleri elde edilir. İşlem süresi daha kısalmış ve elektrot tasarrufu sağlanmış olur. Yukarıdan aşağıya kaynakta selülozik elektrotlar öncelikle kullanılır. Ancak bazı özel bazik elektrotlar da kullanılmaktadır. Minimum akma dayanımı 415 N/mm<sup>2</sup> veya daha büyük olan borulara yumuşak kaynak metali oluşturan bir elektrot kullanmak en uygun çözüm olarak tespit edilmiştir. Verilen bir akı için selülozik kaynak dolgu malzemesinden oluşturduğu nüfuziyet derinliği diğer elektrolara oranla % 70 daha fazladır. Selülozik elektrotun cürufu ince ve çabuk kalkar. Bunlardan dolayı selülozik elektrotlar, doğalgaz boru hattı kaynağının en önemli özelliğı olan yukarıdan aşağıya kaynak yapma pozisyonuna uygundur (Detayquality 2018).

#### **2.3.Boru Hatlarının Kaynağı**

Doğalgaz çelik boru kaynağı işletmenin genel çalışma kuralları doğrultusunda, araç, alet, edevat doğru bir şekilde kullanılarak, ilk önce işçinin sağlığı, iş güvenliği tedbirleri ve çevreye zarar vermeyecek şekilde, mesleğinin verimlilik ve kaliteyi artıracak şekilde yapılır.

### 2.3.1.Kaynak işleme hazırlık

Borular toz, yağ ve paslardan arındırılmalıdır. Kaynak işleminden önce borunun iç ve dış bölgeleri temizlenmelidir. Boru iç çapı en az iki bölgeden ölçülmeli ve ovalite olup olmadığı tespit edilmelidir. İki boru arasındaki dış yüzeydeki kaçıklık, maksimum 1,6 mm' den fazla olmamalıdır. Eğer kaynak ağızları arasındaki mesafe 1,6 mm' yi geçerse kaynak işlemi yapılmamalıdır. Saha mühendisinin onayı ile 1,6 mm'den daha büyük lokal kaçıklık bronz kaplı çekiçle dövülerek düzeltilmelidir. İki kaynak parçası arasındaki iç ağız mesafesi 2,4 mm' den daha az olmalıdır. Doğalgaz boru ve bağlantı malzemelerinin kaynak ağızı orijinal şekilde çalışma sahasına gelmektedir. Kaynaktan önce borunu bütün çevresinden kaynak ağızı mesafesi 1,5 mm olup olmadığı incelenmelidir. Gerekirse taşlanıp eşitlenmelidir (Madazalıoğlu, 2009).



Şekil 2. 3 İç ve dış ağız kaçıklığı (Gençkan, 2014)

### 2.3.2.Isıl işlem aşamaları

Gerek tamirat işleminde gerekse ilk montaj anında kaynak sırasında ana metalin soğuk çatlmasına engel olmak için, kaynak bölgesini ön ısıtmaya tabi tutmak yararlıdır. Ön ısıtma soğuma hızını yavaşlatmak için yapılır. Özellikle  $Ces d > 0,45$  olan, alaşımli ve kalın malzemelerde önemlidir. Hızlı soğuma;

a)Metalürjik yapıyı etkiler ve malzemeyi daha sert yapar.

b) Hidrojenin ve diğer gazların kaynağı terk etmesini engeller. Kaim malzemelerde ise deformasyon imkânı düşük olduğundan soğuma olduğunda çekme sebebiyle çatlaklara yol açabilir. Dolayısıyla ön ısıtmaya her malzemede aynı şekilde yapılmamalı. Ön ısıtma kaynak yapılacak malzemenin kimyasal yapısına ve kalınlığa göre karar verilir. Genel şart olarak  $Ces d > 0,45$  ise 150- 200 °C;  $Ces d > 0,60$  ise 200- 400 °C sıcaklık değerlerinde ön ısıtma yapılır.

Kaynağın ön ısıtma işlemi aşağıdaki aşamaların tümünü içeren bir genel deyimdir.

- x Parçanın kaynak öncesi ısıtılması
- x Pasolar arasının sıcak tutulması
- x Gerilme giderme

Gerilme giderme; kaynak esnasında meydana gelen iç gerilmeleri en aza indirmeyi hedeflenmektedir. Fakat bu da kopma mukavemetinde azalmasına sebep olabilir. Bu sebeple mukavemet iç gerilme durumu önemsenmelidir. Boru hatların da gerilmeyi azaltma işlemi çok pahalı bir giderdir. Bu nedenle dizaynda dikkat edilir ve gerilme giderme tavlamasını gerekli kılacak gerilmelere yol açmamaya çalışılır. Bir kaynak işleminde bütün bu ısıtma işlemlerinin uygulanması gerekmez. Şartlar bu aşamalardan bazılarının veya tümünün uygulanmasını gerekebilir veya aksine hiçbirinin uygulanmasını gerektirmeyebilir.

### 2.3.3.Çevre Şartları

Çevre sıcaklığı 5°C'nin altında ise borunun veya bağlantı elemanlarının kaynak yapılacak uçlarında uygun bir ısıtıcı ile kaynak ağzından en az 25 mm uzaklığa kadar olan bölgeler ön ısıtma yapılmalıdır (İGDAŞ, 2003).



Şekil 2.4 Ön ısıtmaya tabi tutulacak kaynak bölgesinin gösterimi

Ön ısıtma sıcaklığı boru et kalınlığı 0,275 inçten (7mm) az ise 95°C olmalıdır. Boru et kalınlığı 0,275 inçten (7mm) büyük ise 150 5°C olmalıdır. Çevre sıcaklığı +5°C `nin üstünde olsa dahi yağışlı günlerde sabah saatlerinde nemi alınması için doğalgaz borusu 20–30°C ` ye kadar ısıtılmalıdır. Hava şartları düzelene kadar ya da hava şartları üstesinden gelmeyi mümkün kılabilecek önlemler alınana kadar kaynak yapılmasına izin verilmemelidir (İGDAŞ, 2013).

### 2.3.4. Boruların kaynaklanmasında kaynak ağız açılması

Doğalgaz boru hatlarında tamirsiz ve kaliteli bir kaynak işlemi yapmanın ön şartı kaynak ağzının uygun bir şekilde hazırlanmasıdır. Boruların ağız ağıza gelebilmesi için çevre geometrilerinin birbirleriyle uyumlu olması gerekir. Zira spiral kaynaklı yöntemi ile üretim tüm doğalgaz borularında bir ovallik mevcuttur. Boyuna kaynaklı doğalgaz borularda kaynak dikişinin başladığı kısımda bir düzlük görülebilir. Doğalgaz boru hatlarında boruların birbirlerini ağızlayıp ve puntalamanın yapılabilmesi için özel tutturma tertibatları olan iç ve dış kelepçe kullanılır. Kaynak ağız açılmış borular bu tutturma ve merkezlenme tertibatı içinde birbirlerini ağızlar iken kaynak ağzının kök aralığı da standardın öngördüğü ölçüde olmalı ve bu aralık bütün çevre boyunca korunmalıdır.



Şekil 2.5 Kaynak ağız şekli ve kaynak ağız açma aparatı (NTD Resource, 2018)

Kök kaynağını iyi işlenmesi açısından kök pasosunun yüksekliği ve aralığı çok önemlidir. Kök yükseklik ne az ne de çok olmalıdır. Çok olursa içeriye akma yapar, az

olursa nüfuziyet sağlanamaz. Açı dar olduğunda yanlarda erime eksikliği, kaynağın içinde cüruf kalabilir. Kök aralığı fazla olduğunda yanlardaki kısımlarda yanma çentiği ve kaynakta akma oluşur, az olursa kaynak metale işlemez. Doğalgaz borularında kaynak ağzı mekanik işleme açılmalıdır. Kaynakçı, kaynağın durumunu göz önünde bulundurularak ark boyu, hız ve elektrot yönlendirmesi ile nüfuziyeti ayarlamalıdır.



Şekil 2.6 Kaynak dikişinin merkezlenme tertibatı (Planteknik, 2019)

#### 2.4.Boru Kaynağında Kullanılan Kaynak Pasoları

Boru kaynağında uygulanan paso sıraları, malzeme et kalınlığı 3 mm ile 4 mm aralığında olan borular üç ya da dört pasoda kök, sıcak ve kapak şeklinde, et kalınlığı 4 mm' den daha büyük olan borularda kaynak pasoları en az; kök, sıcak, dolgu, kapak olarak 4 aşama halinde yapılmalıdır. Et kalınlığı daha fazla olan borularda 5 ve üzeri pasoda kaynak yapılır. Tablo 2.4'te kaynak pasoları verilmiştir.

Tablo 2. 4 Kaynak paso tablosu

Deney Takımı	Paso	Paso Sayısı	Çapı (mm)	Amper	Volt
Kaynak Pasosu	Kök	1	2,5	110	25
	Sıcak	2	2,5	290	30
	Dolgu	3	2,5	290	30
	Dolgu	4	2,5	290	30
	Kapak	5	2,5	290	30

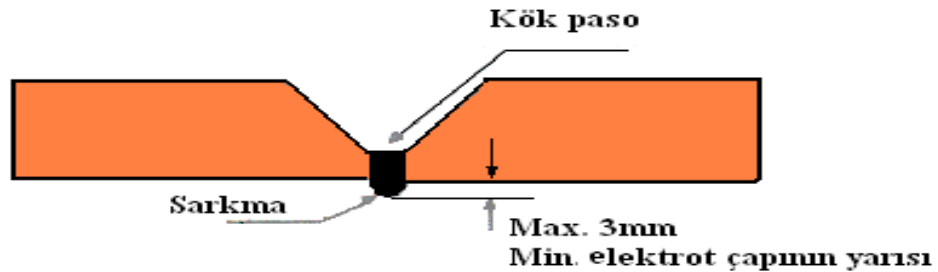
### 2.4.1.Kök

Kök pasoda nüfuziyet ve süreklilik çok önemlidir. Boru et kalınlığına uygun çapta elektrot seçilir. Çapı 4"ten 12" e kadar olan borularda 2,5 mm'lik elektrot kullanılır. Tablo 2.5' de boru çapı ve et kalınlığına bağlı olarak kullanılan elektrot çapları verilmiştir.

**Tablo 2. 5** Boru çapları ve et kalınlıklarına uygun elektrot çapları (Akmercan, 2014)

Boru çapı (inç)	Boru et kalınlığı(mm)	Kök paso	Sıcak paso	Dolgu 1 paso	Dolgu-2 paso	Kapak paso
4	4,37	2,5	2,5	3,25	-	3,25
6	4,37	2,5	2,5	3,25	-	3,25
8	4,78	2,5	3,25	3,25	-	4
12	5,56	2,5-3,25	3,25	3,25	-	4
16	6,35	3,25	3,25	4	-	4
20	7,14	3,25	3,25	4	-	4
24	7,92	3,25	3,25	4	-	4-5
28	9,52	3,25	3,25	4	4	5

Kaynak ağızı, fabrikasyon olarak hazırlanmış boru kaynağında kök paso yukarıdan aşağıya (4" ve 6" hariç) doğru yapılması durumunda elektroda kesinlikle salınım hareketi verilmemelidir. Elektrotun arkı tamamen borunun iç tarafında oluşmalıdır. Kök paso tamamlandıktan sonra cüruf tüm kaynak boyunca metal parlaklığı görülüne kadar titizlikle temizlenmelidir. Kök paso cürufunun işlenmesi fazladır.

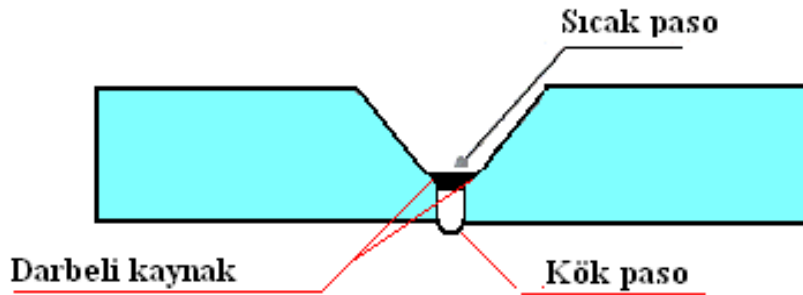


**Şekil 2.7** Kök pasoda sarkma(MEB, 2014)

Bu yüzden temizlik sırasında kaynak metali ile ana metalin birleşme noktalarına dikkat edilmeli, taş kaçırmadan ve pasoyu fazla inceltmeden cüruflar temizlenmelidir. Kök pasoda elektrot eksi kutulanabilir. Boru bağlantısı kök pasonun bitmesinden sonra yapılacak paso tamamlanana kadar kesinlikle hareket ettirilmemelidir. Çapı 12 " den büyük olan borularda kök kaynağı yapılırken kelepçe takılı durumda olmalıdır. Kök pasoda müsaade edilebilecek sarkma en fazla 3 mm olmalıdır (İGDAŞ, 2003).

#### 2.4.2.Sıcak

Sıcak pasoda doğru akım elektrotu (+) kutupta kullanılır. Paso yukarıdan aşağı yöntemiyle yapılır. Kök pasonun taşla en kısa sürede temizlendikten sonraki 5 dakika içinde sıcak pasonun atılması gerekir. Aksi takdirde soğumanın etkisiyle kılcal çatlaklar meydana gelebilir.



Şekil 2. 8 Sıcak paso (MEB, 2014)

Sıcak paso yüksek akımla çekilir ve özellikle kenar kısımlarda (ana metal ile kök pasonun birleşme bölgeleri) darbeli uygulanır. Böylece yüksek amperle çalışıldığında kök paso tamamen temizlenmiş ve aynı zamanda temperlenmiş olur. Bu durumda kök pasonun delinme riskine karşı dikkatli olunmalıdır. Sıcak paso düşük akımla çekildiği zaman kök ve ana metal arasında sıralı cüruf hataları kalabilir.

#### 2.4.3.Dolgu

Dolgu pasosu et kalınlığına bağlı olarak birden fazla olabilir. Pasoların başlangıç yerleri bir önceki pasonun bittiği yerde minimum 5 cm daha illerden başlamalıdır.

Dolgu pasoları, elektrot çapına uygun akımla kaynak yapılmalıdır. Dolgu pasoları doğru el salınımı verilmesi gerekir. Her paso tamamlandıktan sonra cüruf kalmayacak şekilde tel fırça veya uygun aletlerle temizlenmelidir. Dolgu pasoları tamamlandıktan sonra kaynak metali boru yüzeyi ile aynı seviyede olmalıdır. Düşük olan bölgelerde kısa ek pasolar takviye yapılmalı ve boru yüzeyiyle aynı hizaya getirilmelidir.

**Şekil 2.9** Dolgu paso konumu(MEB, 2014)

#### **2.4.4.Kapak**

Kapak pasosunun düzgün olması için elektroda çok düzgün bir salınım verilmesi gerekir. Kapak yüksekliği ve kenar bindirmeleri 1,6mm civarında olmalıdır. Bitmiş kaynak dikişinin yüzeyi, yani kapak pasosunun genişliği açılan kayna ağzı genişliğinden 2–3 mm daha büyük olmalıdır.

**Şekil 2.10** Tamamlanmış kaynak kesiti(MEB, 2014)

#### **2.4.5. Kaynak sonrası yapılan işlemler**

Sıcak, dolgu ve kapak pasoları atıldıktan sonra cürufklar tel fırça ile titizlikle temizlenmelidir. Kaynak sırasında oluşan sıçrattılar boruya hasar vermeden bir keski ile temizlenmelidir. Taşlamalar sırasında kaynak ağız bölgesi dışında taş kaçırmalarına müsaade edilmemelidir. Sıcak, dolgu ve kapak pasoda ortaya çıkan hataların tamirinde dikkat edilmesi gereken konular aşağıda belirtilmektedir; Hatanın bulunduğu yer taşlanarak yok edilir, taşlama derinliği ve genişliği hata içeren kaynak pasosunun tümünü kapsayacak boyutta olmalı ve boyu da 100 mm' den az olmalıdır. Tamir yapılacak bölgeye ön tav uygulanır. Ön tavlama ile kaynak edilen borular tamir edilecek ise tamir ön tavlama sıcaklığı, birincil ön tavlama sıcaklığının altında olmalıdır. Tamir işleminde esas metalin özellikleriyle uyum gösteren rutil veya selülozik örtülü elektrotlar kullanılabilir. Rutil elektrot kullanılması halinde, elektrot çapı 3,25mm seçilmeli ve aşağıdan pozisyonda bir kaynak tekniği uygulanmalıdır.

#### **2.4.6. Kaynak işlemi sırasında oluşan şekil değişiklikleri ve buna karşı alınacak tedbirler**

Kaynak yapılırken oluşan sorunlardan bir tanesi de; çekme ve çarpılmadır. Kaynak yapılırken meydana çıkan ısıdan etkilenen alan olarak bilinen bölge kaynak metal ve ITAB kaynak ısısının etkisiyle metal ilk önce genişmeye daha sonrada büzülme çalışacaktır. Kaynağın ısınan bölümünde metal genişmesi ve soğuması esnasında büzülme meydana gelecektir. Bu etki kaynağın ısıdan etkilenen bölümlerini oluşturur. Ana malzemenin ısınmayan bölümlerinde ısınan kısımların şekil değiştirmelerini engel olmaya çalışır. Bu etkileşimler kaynak bölgesinde gerilmeler meydana getirir. Meydana gelen gerilmenin büyüklüğüne bağlı olarak kaynak bölgesinde elastik deformasyon, plastik şekil değişimi ve hatta lokal kırılmalar (çatlamlar) oluşur. Meydana gelen bu fiziksel değişimler bir bakıma birer fizik kuralıdır. Genel itibarıyla kaynaklı işlemlerde karşılaşılan şekil değiştirmeler;

- Metalin enine çekme,
- Metalin boyuna çekme,
- Metalin açısal çarpılma,
- Metalin kalınlık çekmesi olarak görülür.

Kaynak işlemi sırasında malzemede oluşan şekil değişikliklerine karşı alınacak tedbirler, malzemenin tasarlanması ve kaynak işleminin yapılması, olarak iki ana sınıfta ele alınır. Malzemenin tasarlanması esnasında alınacak tedbirler:

- 1) Kaynak yapılışına uygun bir tasarım hazırlanmalı.
- 2) Özellikle ince saclarda, imkânlar dâhilinde, iç köşe dikişleri mesafe olacak şekilde düzenlenmelidir.
- 3) İmkânlar dâhilinde kaynakta alın birleştirmeleri tercih edilmelidir.
- 4) Kaynak dikişleri arasında belli bir mesafe olmalıdır.
- 5) İş malzemesinin yapısı, kaynak işlemi sırasında kendini çekebilmelidir.

Kaynağın işlemi esnasında alınacak tedbirler;

- 1) Kaynak paso sırası atlama yapılmadan kaynak yapılmalı.
- 2) Elektrot çapı ve akım ana malzemenin et kanlığına uygun olarak belirlenmelidir.
- 3) Kaynak ağızları uygun dikişler ile doldurulmalıdır.
- 4) Kısa dikişler çekilerek kaynak hatalarını azaltılmalı.
- 5) Puntalama yapılmadan kaynağa başlanmamalı.
- 6) Yanma olukların oluşumunu engelleyen tedbirler alınmalıdır.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Tahribatsız Muayene Yöntemleri

Endüstriyel radyografi denildiğinde akla iyonlaştırıcı radyasyonların nüfuziyet özelliğinden yararlanarak, malzemelerin görüntülerinin film üzerine aktarılması tekniği olup tahribatsız muayene alanında yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Günümüzde endüstriyel radyografi uygulamaları çoğunlukla Ir-192 veya Se-75 gibi gama ışını yayan iyonlaştırıcı radyasyon kaynaklarını bulunduran cihazlarla veya x ışını üreten cihazlarla yapılmaktadır.

##### 3.1.1.Kaynakta süreksizlikler

Tahribatsız muayene yöntemleri (NDT), muayene edilecek malzemenin hiçbir fiziksel değişime uğramadan kalite kontrolünün yapılmasıdır. Tahribatsız muayene teknikleri uygulamaları ile kaynak ön hazırlığı ve kalite kontrolü, endüstriyel tesis ve ekipmanların imalatı ve montajı aşamasında çok önemli bir yer tutar.

Endüstriyel gelişim süreci içinde kalite, mamul garantisi, insan ve çevre güvenliği gibi kavramların da gelişmesi nedeni ile günümüzde tahribatsız muayeneye duyulan ihtiyaç endüstrimizin gelişmeye başladığı önceki konumuyla kıyaslanamayacak boyutlara ulaşmıştır. Gerek endüstriyel iş kollarında kullanılan malzeme veya imalatı tamamlanmış ürünlerin farklılığı ve gerekse klasik kalite kontrol tekniklerinin kendi yetersizlikleri birden fazla NDT uygulamasının gelişmesine neden olmuştur. Bu yöntemler çeşitli fiziksel kurallara göredir. Malzemelerin kullanıldığı kaynak metalinin, üretimi veya işletilmesinin herhangi bir safhasında, tahribatsız muayene yöntemleri ile bu parçanın sağlamlığını, güvenilir bir şekilde kullanımını ve kalitesini test etmek mümkündür. Tahribatsız muayene ile test edilen malzemeye veya aranan hatanın çeşidine göre kullanılacak teknik belirlenebilir. Bu test yöntemlerinin birbirine göre üstün yönleri bulunmaktadır. Bazı aşamalarda ise birbirlerinin tamamlayıcısı konumunda olup birlikte kullanılmaktadır.

NDT uygulamasında, endüstrimizin ihtiyaç duyduğu muayene teknikleri; radyografik muayene ( x-ışını, gama ışını (Ir 192, Se 75) ), ultrasonik muayene, manyetik parçacık muayene, sıvı penetran muayene ve girdap akımları muayenesidir.

Bu çeşitlilik nedeniyle makine, gemi, uçak, otomotiv endüstrisi, termik santraller, nükleer reaktörler, silindirik - küresel tanklar ve petrol-doğalgaz boru hatları gibi endüstriyel tesislerde, NDT'nin nerede, nasıl ve niçin kullanılacağına seçimi ve uygulaması, bu alanda bir uzmanlık konusu oluşturmuştur. Endüstrimizin günümüzdeki gelişmişlik seviyesi içinde yetersiz kalan klasik kalite kontrol metotları ile istenen seviyede kalite kontrol sağlanamayacağı bir gerçektir. NDT konusunda teknik dışı yapılacak bir işlemin veya en küçük bir yanlış değerlendirmenin emniyet faktörüne yapacağı olumsuz etki nedeniyle ileride büyük kayıplara yol açacağını hiçbir zaman göz ardı etmeden, tahribatsız muayene tekniklerinin seçimi ve uygulaması yapılmalıdır. Boru hattı kaynakları, tamamlanmış kaynağın ilgili kaynak prosedürüne uygun olarak üretilip üretilmediği ve ilgili standarda göre kabul edilip edilmeyeceğini tayin etmek için tahribatsız olarak muayene edilmektedir. Uygulamalarda kaynak dikişinin muayenesi için kullanılan en yaygın yöntem radyografik muayenedir. Radyografide, nüfuz edici radyasyonla ışınlanan malzemenin film üzerine negatif görüntüsü aktarılır. Bu görüntü, aslında radyasyonun malzemeden geçerken oluşturduğu zayıflama görüntüsüdür. Kaynak dikişlerindeki hatalardan farklı oranda radyasyon geçeceğinden, radyasyonun şiddet farkı ve film üzerindeki kararma farkı, kontrast olarak gözükür. Bu da, hataların tanınmasını ve yorumlanmasını sağlar. Bu yöntemle metalik veya metalik olmayan tüm malzemelerde oluşabilecek hacimsel ve yüzey hatalarının belirlenmesi için kullanılabilir. Gerek endüstriyel iş kollarında kullanılan malzeme veya imalatı tamamlanmış ürünlerin farklılığı ve gerekse, klasik kalite kontrol tekniklerinin kendi yetersizlikleri birden fazla NDT uygulamasının gelişmesine neden olmuştur. Bu metotla çeşitli fiziksel yöntemlere dayanmaktadır. Muayene tabii tutulan malzemeye veya oluşan hatanın çeşidine göre kullanılacak teknik seçilir. Bu metotların her birinin diğerine göre avantajlı yanları mevcuttur (ODTÜ, 2009).

### **3.1.1.2. Kaynak hatalarının tespit edilmesinde uygulanan muayene yöntemleri**

Kaynak işlemlerinde kendilerinden beklenen işlevleri yerine getirebilmeleri için kaynak hataları oluşmamalı ve önceden belirlenmiş mekanik özellikleri yerine getirmelidir. Daha önceden de belirtildiği gibi, hataların çoğu kaynağın içinde bulunduğu, kaynak hatalarının varlığı ancak özel muayene metotları ile tespit edilmektedir. Kaynak dikişlerinin değerlendirilmesinde uygulanan muayene metodu iki ana

sınıfa ayrılır; tahribatı ve tahribatsız muayene yöntemleri. İlk grupta değerlendirilen muayene metodu genellikle deney parçası ve çok seyrek olarak da deney parçasına uygulanır ve deney parçası tahrip olduğundan da kullanılmaz hale gelir.

Kaynak ana metalin ve kaynak metalinin çekme mukavemet testleri,% uzamasının belirlenmesinde kullanılan çekme deneyi bu metotların en klasik örneğidir. Bunun yanında, kaynak bölgesinin (ITAB ve kaynak metali) tokluğunun belirlenmesinde tercih edilen çentik-vurma deneyi, sertliğinin belirlenmesinde kullanılan çeşitli sertlik deneysel metotlar, kaynak bölgesinin çatlak oluşmadan şekil değiştirme özelliğinin belirlenmesi için uygulanan eğme ve katlama deneyi metotları da bu gruba giren tahribatlı muayenelerdir. Bu muayene yöntemlerinin temel özelliği deney sonucu bir sayısal değer elde edilmesidir. Bu sayısal veriler, özellikle tasarımcıya kaynaklı yapıların projelendirilmesinde en önemli kılavuzdur. Bu grupta değerlendirilen fakat deney sonucunda sayısal değer vermeyen ve genellikle atölyelerde işlem yapmadan önce tercih edilen çok sayıda teknolojik muayene yöntemleri bulunmaktadır. Bunlar içinden bir parça üzerine kaynak işlemi yapılmış kaynağın keski ile kaldırılması, kaynak dikişinin kırılarak kırık yüzeyin muayenesi bu tür deney grubuna girmektedir (Olgun, 1999).

### 3.1.1.3.Süreksizliklerin sınıflandırılması

Tahribatsız muayene yöntemleri kullanılarak doğalgaz boru hattındaki dikişlerde meydana gelmesi olası hatalar ve süreksizlikler tespit edilmeye çalışılmıştır. Kaynak süreksizlikleri;

1. Mekanik olarak: Ayarsızlık.
2. Yetersizlik olarak: LP, LF.
3. Metalürjik olarak: Gözen eklilik, Çatlaklar.
4. Hacimsel olarak: Cüruf.

**Süreksizlikler:** Süreksizlikler bir malzemenin tipik yapısının kesintiye uğradığı yerlerdir. Bu yerler, ana metalde, kaynak malzemesinde veya "ısıdan etkilenen" bölgelerde olabilir.

**Hatalar:** Bir muayenenin yürütülmesinde ve kontrol edilmesinde kullanılan standartların veya şartnamelerin koşullarını karşılamayan süreksizlikler, hata olarak adlandırılır.

**Ofset veya Ayarsızlık:** Birbirine kaynaklanan iki parçanın uygun şekilde hizalanmadığı durumlara verilen adlardır. Radyografik görüntüsü, iki parçanın yoğunlukları arasında belirgin bir farktır. Bu yoğunluk farkı, malzeme kalınlığındaki farklılıktan dolayı meydana gelmektedir. Koyu düz çizgi kaynak metalinin kök bölgesiyle birleşmediği yeri göstermektedir (Anık, 1991).

### 3.1.2.Kaynak Hataları

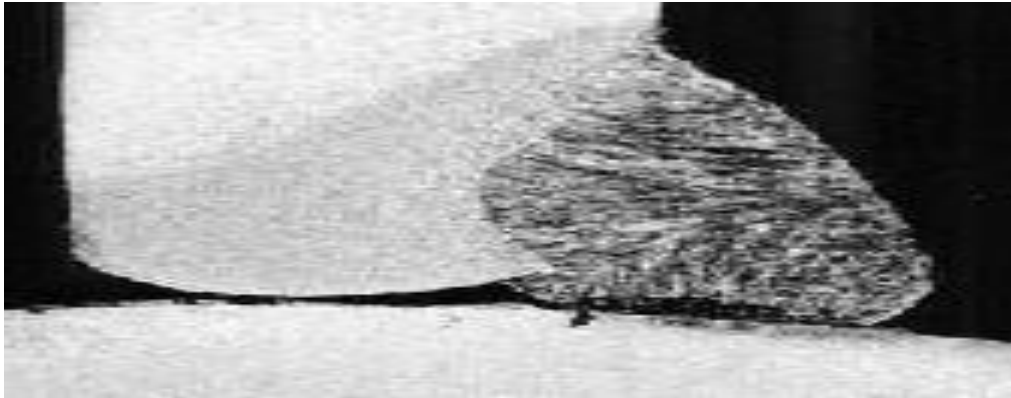
#### 3.1.2.1.Nüfuziyet az olması

Nüfuziyetin az olması kaynak dolgu malzemesinin ana metalin kalınlığı boyunca işlememesi neticesinde oluşur.

##### 3.1.2.1.1.Nüfuziyetin Oluşma nedenleri

- x Elektrot çapının ana metalin kaynağına uygun olmaması,
- x Akım şiddetinin uygun olmaması,
- x Kaynak ağzının düzgün açılmaması,
- x Kaynak işleminin hızlı yapılması,
- x Elektrotun çok fazla hareket ettirilmesi elektrotun zikzak çizmesi,

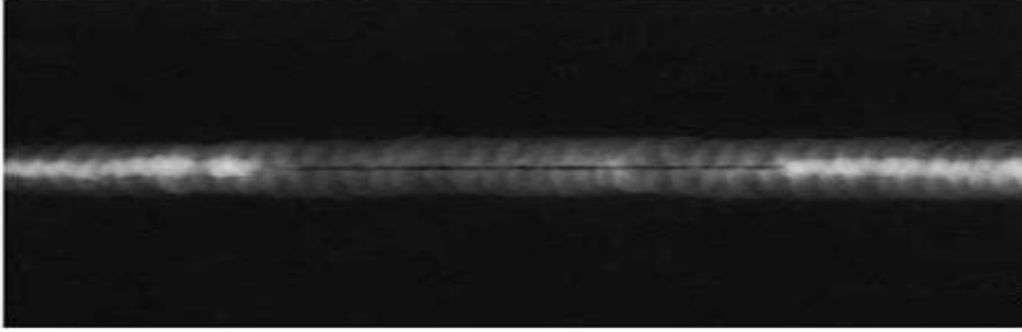
Nüfuziyet az olması dikişin özellikle yorulma mukavemetini önemli ölçüde azalmasına neden olur. Kaynağın eğmeye zorlanması durumunda da en alt taraftaki oluk ve çentikler kırılmasına sebep olur.



Şekil 3.1 Oluk ve çentik görüntüsü (Bal, 2012)

### 3.1.2.2.Yeterince erimeme

Yeterince erimeme özellikle cüruf, oksit, kav ya da diğer metal olmayan yabancı maddelerin varlığı neden olur. Bu maddeler, esas veya kaynak dolgu metalin tamamen erimemesine neden olduğundan yetersiz bir birleşme oluşur. Kaynak dikişinin birleşmenin yetersizliğinden doğan hatalar, genel itibarıyla çekilen kaynakların dikkatlice temizlenmesiyle engellenebilir. Birden çok pasonun olduğu elektrik ark kaynağında, bir sonraki pasolar çekilmeden önce, cüruf dikkatlice temizlenmelidir.

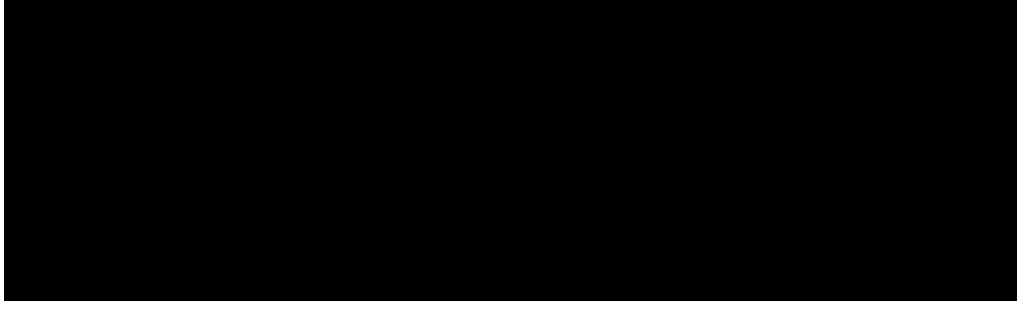


Şekil 3.2 Yetersiz nüfusizyetin film görüntüsü (ODTÜ, 2009)

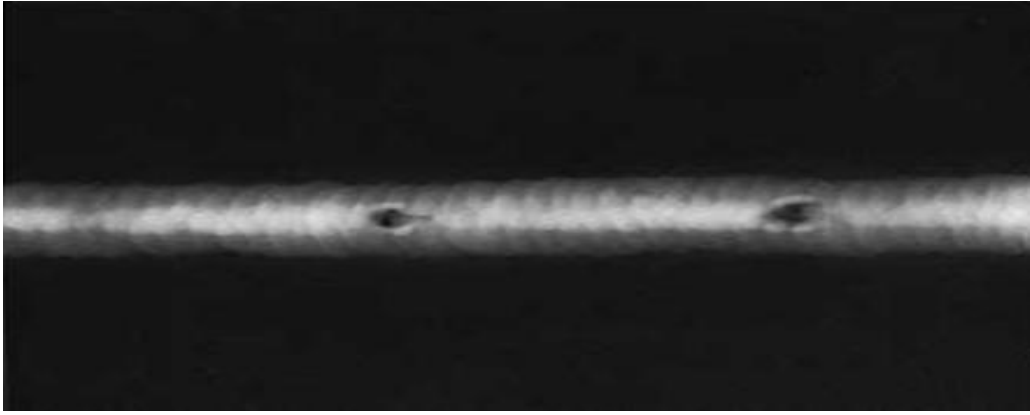
Ana metal ile kaynak dolgu metalinin tam olarak birleşebilmesi için, akım şiddeti uygun olmalı ve kısa ark boyu ile kaynak yapılmalıdır. Akım şiddetinin az olması da yetersiz bir birleşmeye sebep olacaktır.

### 3.1.2.3.Yanma çukurları ve çentikler

Kaynaktan sonra ana malzemede ve kaynak dikişinin kenarlarında çukurlar veya çentik biçimden oluşurlar. Oluşan çentik veya oluklar kaynaklı bağlantının mukavemetinin azalmasına neden olur.



Şekil 3.3 Yanma şematik görünümü (ODTÜ, 2009)



Şekil 3.4 Yanma film görüntüsü (ODTÜ, 2009)

### 3.1.2.3.1. Yanma oluk ve çentiklerin oluşma sebepleri:

1. Akım şiddetinin gerekenden fazla olması
2. Kaynak hızının olması gerekenden fazla olması
3. Elektrotun fazla zikzak çizmesi

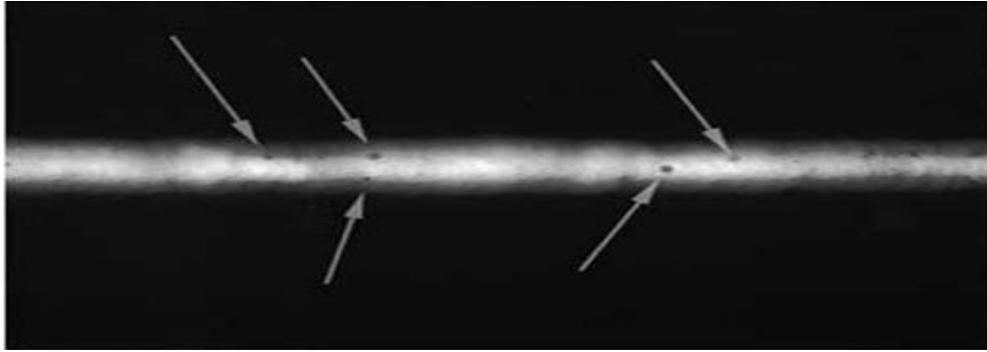
Yanmadan dolayı oluşan çentik veya kaynak çukurları, kaynak pasosuyla doldurularak tamir edilmelidir. Bu ek pasonun çekilmesinde tam birleşmeye engelleyecek cüruf ve diğer yabancı malzemelerden iyice temizlenmeli. Yeni çekilen tamir pasosunun, mümkün oldukça kaynak dikişinin şekline uymasına özen göstermeli. Özellikle mukavemetli yüksek yapı ana metallerde, bu hata giderirken tercih edilen çalışma şekli, ana çeliğin kaynak yapılmasında önerilen tekniğe uyulması gerekir.

### 3.1.2.4.Gözenek

Gözenekler, kaynak işlemi sırasında kaynak dikişinin içerisinde; eriyen kaynak metalinin içine sıkışan gazların oluşturduğu hava boşluklarıdır. Gaz kabarcıkları denilen tek başına olan gözenekler ya da gaz kanalı olarak tanımlanan boyuna boşluklardır.



Şekil 3.5 Gözeneklerin şematik görünümü (ODTÜ, 2009)



Şekil 3.6 Film görüntüsü (ODTÜ, 2009)

Bir kaynak dikişinde gaz boşluklarının oluşmasına etki eden birçok neden bulunmaktadır. Bunların en önemlileri aşağıda sıralanmıştır:

- x Ana metalin kimyasal yapısı,
- x Kaynak dolgu metalinin kimyasal bileşim,
- x Ana metalin ve kaynak metalinin etki ettiği kükürt oranı,

- x Akım şiddetinin olması gerekenden az olması,
- x Ark boyunun standartlardan uymaması,
- x Erimiş kaynak havuzunun birden soğuması,
- x Kaynak ağızlarının temizlenmemesi.

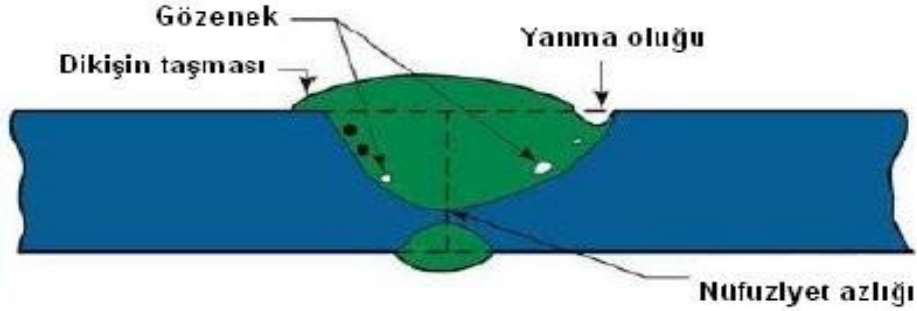
Kaynak dikişinde gözenekli bir yapı oluşmuşsa yeniden kaynak yapılabilir. Kaynak ağızı ve kaynak işlemi standartlara uygun olması gerekir, elektrotun çalışma alanı uygun olmalıdır. Kaynak işlemine başlamadan önce kaynak ağızları tel fırça ile iyice temizlenmelidir. Kaynak dikişinin içerisinde oluşan gözenekler, kaynak dikişinin taşıyıcı özelliğini azalttığından mukavemetini de azalır. Bu da kaynakta lokal gerilme oluşmasına sebep olur. Böylece kaynak bağlantısını mekanik özelliklerini istenilen standartların altına düşmesine neden olur. Gözenekli yapılar en çok yorulma mukavemetini azaltır. Eğer gözenekli yapı aynı yerde toplanmamışsa statik mukavemetine fazla etki etmez.

### **3.1.2.5 Kaynak dikişinin kaynak bölgesinin dışına taşması**

Kaynak dolgu malzemesinin ana metal üzerine bir bütünlük oluşturmadan taşmasıdır. Bu taşma, ya da lokal noktalarda ya da bütün kaynak dikişi boyunca oluşabilir. Genellikle köşe dikişlerinde oluşan taşma olayı dikişin gereğinden fazla taşması şeklinde meydana gelir. Elektrik ark kaynağında taşma oluşmasının genel sebebi kaynak teknisyenin bir el hareketidir. Özellikle yatay ve dikey yüzeylerde yatay (armic) kaynaklarında elektrotun hareket açısına ve elektrotun kaynak teknisyeninin tutuluş açısına özen göstermek gerekir. Yoksa dikişte taşmalar oluşur. Elektrotun çapı ana metalin et kalınlığına uygun seçilmediği durumlarda da taşma oluşur. Taşmanın önlenmesine bir diğer yolu standartlara uygun akım şiddetinin seçilmesi ve kısa ark boyu ile çalışmanın da önemli etkisi vardır. Akım şiddeti yükselince veya ark boyu uzayınca taşma olayı meydana gelir.

Taşmanın oluşmasında, kaynak hızının da önemli bir etkisi var. Kaynak hızının yüksek olması, genellikle yeterli bir birleşmenin oluşmasını engeller. Kaynağın, erimiş kaynak havuzunun dışına taşmasına neden olacak bir hızla çalışmamak gerekir. İster oksit-asetilen isterse elektrik ark kaynağında standartlarda belirtilen hızla çalışılmalı. Taşmalar genellikle hareketli kuvvet yükleme şartlarında tehlike oluşturur. Bu tür noktalarda bir gerilme yoğunluğu meydana gelir. Kaynak dikişinde bir azalma olmadığı

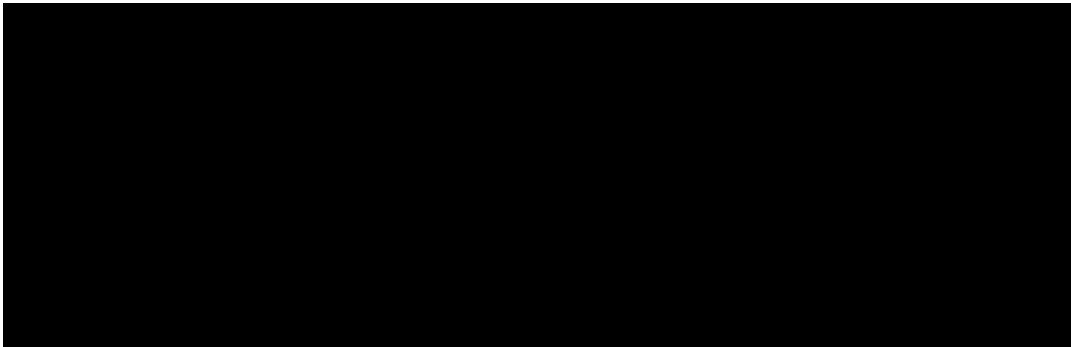
sürece taşmalar statik yüklemde önemli bir sorun teşkil etmez. Taşmadan dolayı oluşan kaynak hatalar, kaynak dikişine zarar vermeden bir çekiç ya da taşla temizlenebilir. (Salma, 2011).



Şekil 3.7 Kaynak hatalarının şematik görüntüsü (Detayquality, 2018)

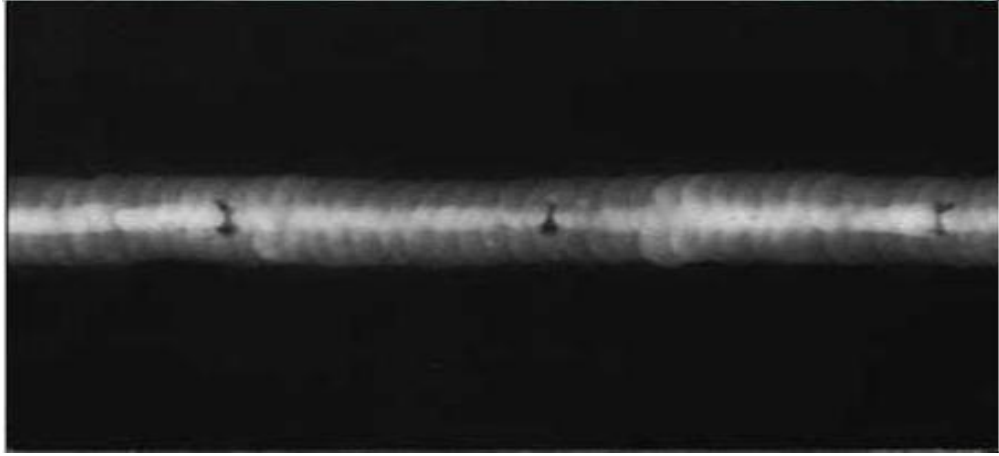
### 3.1.2.6.Çapak kalıntıları

Bu tür kaynak hatalar elektrik ark kaynağında görülür. Çapak kalıntısı söylemi, kaynak dikişinin içerisinde kalan herhangi metalik olmayan bir madde ve kaynak dikişinin bütünlüğünün bozulmasıdır. Elektrik ark kaynağındaki bu cüruf elektrot örtüsünden de gelebilir. Çapak, kaynak işlemi boyunca ark tarafından erimiş havuzun içerisinde dağılabilir. Bu durumda radyografik filmde dikiş boyunca yayılmış ince bir çapak görülebilir. Düzgün çekilmeyen kök pasoları oluşturduğu yanmadan kaynaklı oluklarda da çapak toplanabilir. Bu tür cüruf kalıntısı, radyografik filmde devamlı veya kesik çizgiler şeklinde görülebilir.



Şekil 3.8 Cüruf kalıntıları şematik görünümü (Madazalioğlu, 2009)

Birden fazla pasolu kaynak dikişlerinde, pasolar arası geçişlerde kaynak teknisyeni tarafında cüruf tamamen temizlenmezse, iki paso arasında cüruf sıkışır. Kaynak teknisyeni, bir sonraki pasoyu başlamadan önce dikişteki cürufu çekiç, keski tel fırça veya taşla iyice temizlediği takdirde bu hata meydana gelmez. Bu hatanın başlıca nedeni elektrot örtüsü olmasına rağmen doğalgaz borularının ağızları iyice temiz değilse, kaynak dikişinde farklı kalıntılar da görülebilir. Kaynak ağızları hazırlanırken, çapağa kalıntısına neden olacak boşluk ya da uygun olmayan şekillerden kaçınılmalıdır ( Madazaloğlu, 2009).



Şekil 3.9 Cüruf kalıntıları film görüntüsü (Madazaloğlu, 2009)

Birden fazla cüruf kalıntısı ile nüfuziyetsizlik birbirini etkiler. Bu açıdan, nüfuziyetsizliğe neden olacak aşağıdaki etkiler dikkat etmek gerekir.

- x Kalın çaplı elektrot kullanmaktan kaçınılmalıdır.
- x Kaynak ağızı açısı düzgün açılmalı ve orijinal olmalıdır.
- x Kaynak esnasında elektrotun hareketine dikkat edilmeli.
- x Elektrot doğru açı ile tutulmalı.
- x Kök pasosu çekilmesine çok büyük özen gösterilmeli.

Kaynak dikişlerinin içerisinde sıkışmış büyük ve uygun dağılmamış veya sıralar halinde çapak kalıntıları kaynağın bütünlüğünü bozduğu gibi mukavemetini de azaltır. Bu cüruf kalıntılar, bazen kıl çatlakların oluşmasına neden olur. Çok küçük olan ve bir yerde toplanmamış çapak kalıntıları ve yuvarlak cüruf kalıntıları, birleştirmenin sabit

mukavemetine etki etmediğinden dikkate alınmayabilir. Cüruf kalıntısını oluşturduğu bölümler yarılarak yeniden kaynak yapmak kaydı ile ortadan kaldırabilir. Kaynak hatasının olduğu bölümünün çıkartılmasıyla oluşan boşluğun, kaynak pozisyonuna müsait olması ve kaynağın ana metale iyice işlenmesi gerekir. Kaynak yapılacak yüzeyler iyice temizlenmelidir.

### 3.1.2.7.Kaynakta çatlak oluşumu

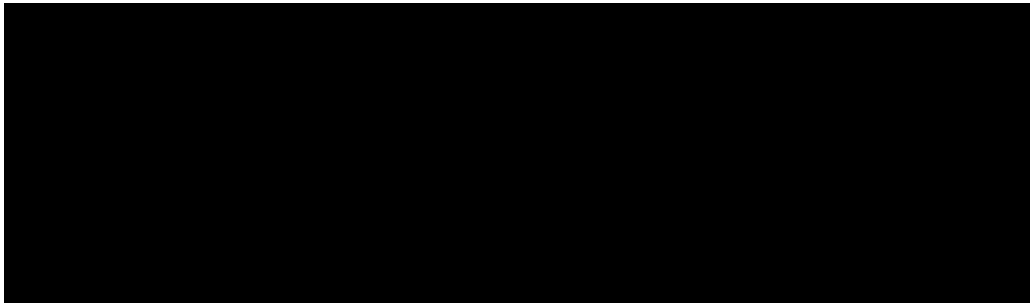
Kaynak çatlakları, kaynak hatalarının en tehlikeli olanıdır. Erime kaynağında çatlama ana metalde ya da kaynak dolgu metalinde ya ısının etkisi altında kalan alanın ya da birleşme noktalarında görülebilir. Kaynak alanında oluşan çatlakların bazıları aşağıda sıralanmıştır:

Boylamasına çatlaklar

- x Kaynağın enlemesine boyunca oluşan çatlaklar.
- x Yıldız şeklindeki benzeyen çatlaklar.
- x Krater şeklinde olan çatlaklar.
- x Kaynağa içerisine dağılmış çatlaklar.
- x Çok küçük çatlaklar.

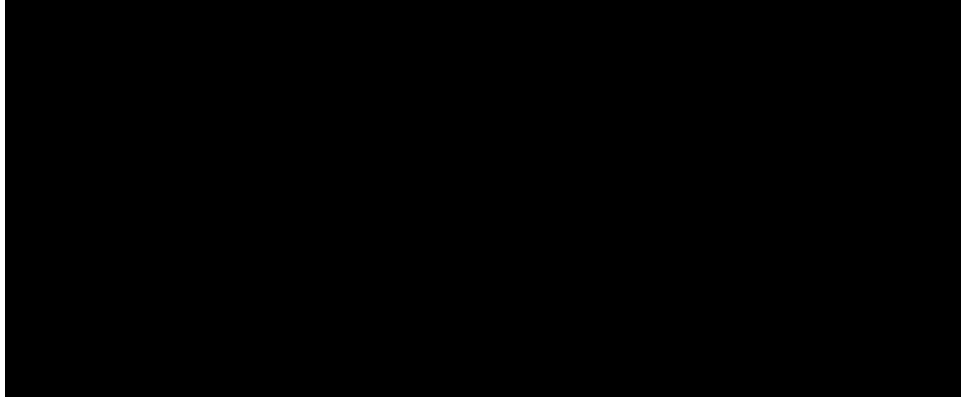
Çatlak nerede oluşur?

- ‡ Kaynak dolgu malzemesinde.
- ‡ Isın tesir ettiği bölgede.
- ‡ Ana metalde.



Şekil 3.10 Kaynakta çatlak görüntüsü (ODTÜ, 2009)

Birbirine tam benzemeyen iki parçanın veya düzgün açılmamış kaynak ağzlarında, nüfuziyet az olduğu, kötü birleşme ya da çapak kalıntıları olduğu kaynak hataları görülür. Bu hatalar zaman içerisinde dikişte kıl çatlakların oluşmasına neden olabilir.



**Şekil 3.11** Çatlakların film görüntüsü (ODTÜ, 2009)

Boyuna çatlakları özellikle kök pasosunda görülür. Boyuna çatlaklar kök pasosu tamamen temizlenip yeniden kaynak yapılmazsa, çatlak bir sonraki pasolarda devam eder. Boylamasına çatlak, kaynak dikişinde bir krater çatlağının devamı olarak da oluşabilir. Enine çatlaklar, kaynak işleminde en az hareket kabiliyetine sahip dikişlerde oluşur. Ana metaldeki çatlaklar rastgele alaşımsız çelik saçlarda oluşmasına karşın, genellikle yüksek mukavemetli ve yüksek karbonlu çeliklerde oluşur. Buna da kaynak işlemi sırasında, ısının etkisi altında kalan alanın aniden soğumamasıyla sertleşmeye neden olur. Ana metalin kimyasal yapısı, kaynağı devamında soğuma hızı ve çekme gerilmeleri bu çatlamanın temel nedenleridir. Kaynak Soğuma hızı; saç kalınlığı, kaynak işlemi sırasında ana malzemeye verilen ısı miktarı ve havanın sıcaklığı gibi faktörlerin etkisi altındadır. Her çeliğin sertleşme kabiliyetleri kimyasal yapısına göre değişir. Bu konuda 1. derecede hafif alaşımlı kalın yapı çelikleriyle alaşımsız çeliklerde önemlidir. Isının etkisi altında kalan alan, kaynağı bir sonraki parçayı hızlı soğutmanın etkisiyle sertleşir. Kalın saçlarda da ısı hızlı yayılmasından dolayı, kaynak dikiş hızlı soğur. Bu nedenle çatlama tehlikesi metalin soğuma şartlarına ve kalınlığına bağlı olarak artar. Isı geçiş bölgesinde sert bir bölgenin oluşmasını engellemek için soğuma hızını mümkün oldukça azaltılmalıdır (ODTÜ, 2009).

### 3.1.3.Tahribatsız muayene metotları

Kaynaklı yapıya kalıcı zararlar vermeyen ve şekil bozukluğunu oluşturmayan muayene çeşididir. Kaynak dikişlerinde hataların yapılıp yapılmadığına yöneliktir. Tahribatsız muayene metotları çeşitli fiziksel kurallar çerçevesinden, farklı yöntemlerle uygulanır. Seçilecek tahribatsız muayene yöntemi, incelenen malzemenin türene, yapısına ve aranan hata çeşidine göre seçilir. Her bir yöntemin bir diğerine göre avantaj ve dezavantaj tarafları olup, genellikle birbirlerinin tamamlayıcısı konumdadırlar. Tahribatsız muayenede uygulanan yöntemler aşağıdaki gibi verilebilir:

- x Gözle muayene.
- x Penetran sıvı muayenesi.
- x Manyetik toz muayenesi.
- x Ultrasonik muayene.
- x Radyografik muayene.

#### 3.1.3.1.Gözle muayene test yöntemi:

Bir kaynak dikişinin yüzeyindeki süreksizlikler, yapısal bozukluklar, yüzey durumu gibi kaliteyi etkileyen parametrelerin optik bir büyüteç kullanarak veya kullanmaksızın muayene edilme şeklidir. Gözle muayene çok basit bir yöntem olarak bilinse de en önemli muayene test metodudur. Başka bir tahribatsız muayene yöntemine geçmeden önce yapılması gereken ilk çalışmadır. Genellikle diğer tahribatsız muayene metotları için bir ön hazırlık ve standartlarının çoğunda da öncelikle gözle muayene yapılması istenilir ve bu çalışmalarda elde edilen bulguların kaydedilmesi istenir. Bu metot, metalik veya metalik olmayan bütün kaynak dikişlerine uygulanabilir. Muayene edilecek yüzeyleri uygunluğuna göre gerektiğinde endoskoplar gibi yardımcı aletlerde kullanılarak yapılabilir. Birçok durumda muayene yüzeyi hazırlığı olarak yüzey temizliği yapılması istenmez çünkü yüzeyin, oluşan hataların en iyi görüneceği durumda olması gerekir. Muayene yapılacak ortamda; yeterli aydınlanmanın olduğu şartlarda ve uygun bakma açılarında test yapılmalıdır.

### 3.1.3.2. Penetran sıvı muayenesi yöntemi

Bu yöntem, kaynak yapıldıktan sonra kaynak dikişine uygun olup olmadığı, nüfuziyetin yeterli olup olmadığının kontrol edildiği muayene çeşididir. Saptanmak istenilen hataların muayene yapılacak kaynak yüzeyine açık olmalıdır, bu yöntemle gözle görülmeyen, kaynağı içinde kalan veya herhangi bir sebeple yüzeye bağlantısı bulunmayan hatalar bu metotla bulunamaz. Metalik veya metalik olmayan bütün malzemelerde gözenekli yapıda olmayan yüzey hatalarının tespiti için tercih edilir. Penetran sıvı muayenesi yönteminin uygulanacağı test parçasının yüzeyi düzgün ve temiz olmalıdır dikkat edilmelidir aksi takdirde yanlış değerlendirmeler yapılabilir. Muayene sonrasında test yüzeyi son bir temizlik işlemi gerekebilir. Kimyasal maddelerin kullanımı gerekli önlemler alınmadan kullanılmamalıdır.



Şekil 3.12 Penetran sıvı ve floresant (Enkon, 2018)

Şekil 3.12'de penetran sıvı muayenesi uygulanmış bir yüzey görülmektedir. Bir penetrant sıvısını; viskozitesi, uygulanan yüzeyin gerilimi ve yoğunluğu ile belirtilip, görünürlüğü ise boya veya floresant ile tedarik edilmesidir. Penetrant sıvı muayene testte kullanılan diğer malzemeler ise temizleyici ve developerdir.

#### 3.1.3.2.1. Penetrant muayene metodun uygulanma sıralaması:

- x Muayene edilecek yüzeyinde ön-temizlik yapılacak

- x Penetrantın uygulanma aşaması
- x Penetrasyon için bekleme süresi
- x Ara-temizlik yapılacak
- x Geliştirme
- x Yüzeyin alet ya da aletsiz İncelenmesi
- x Varsa kaynak hatasının değerlendirme ve rapor tutma
- x Son olarak yüzey temizliği yapılacak

### 3.1.3.2.2. Penetrant muayenesi işlem kademeleri:

Penetrant muayenede ilk önce çatlak olabilecek kaynak yüzeyi temizlenir, daha sonra temizlenen yüzeye penetrant sıvısı püskürtülür.



Şekil 3.13 Penetrant Uygulama Şeması (Enkon, 2018)

Püskürtülen yüzeyden sıvı temizlenir eğer; kaynakta herhangi bir çatlak varsa boya çatlağın içine sızmış olur ve böylece hata tespit edilir.

### 3.2. Çekme Testi

Çekme deneylerinde, borunun kaynaklı kısmından numune alınması ve alınan numuneler çekme tabii tutulmuştur. API 1104 standartlarına uygun olarak deney numuneleri hazırlanmıştır (Şekil 3.14). Hazırlanan numunelerin ölçüleri: 4,8x25x500 mm olacak şekilde hazırlanmıştır. Hazırlanan deney numuneleri çekme makinesindeki çeneler arasına yerleştirilmiştir. Numuneye çekme kuvveti uygulanmış ve kopa gerçekleşinceye kadar çekmeye devam edilmiştir.

a)



b)

Şekil 3.14 Testi numuneleri : (a) Çekme ölçüleri ve (b) Örnek numune

Çekme deneylerinde; kaynağın özellikleri inceleneceğinden kaynağa dik yönde olacak şekilde uygulanmıştır. Tüm kaynaklı borulardan belirlenen yerlerden 3'şer adet olmak üzere toplamda 51 adet çekme numunesi üretilmiştir. Bu numuneler API 1104 standardında belirtilen ölçüler göre hazırlanmıştır. Deneylerde ana metalin ve kaynak dikişin çekme mukavemeti ve % uzama verileri incelenmiştir. Numunelerde kaynak

çıkıntıları temizlenmemelidir. Çekme deneyleri 60 ton kapasiteli Laryee 600 LX isimli çekme cihazında yapılmıştır. Bütün deney numuneleri 5mm/dk çekme hızında gerçekleştirilmiştir. Çekme test cihazı Şekil 3.15'te verilmiştir.



Şekil 3.15 Laryee test cihazı



Şekil 3.16 Hasarlı numune

Bu deneyler yapıldıktan sonra, kuvvet (F)-uzama (l) eğrisi çizilir. Fakat bu eğri ile birlikte kullanılan numunenin ölçüleri verilmesi lazım. Bu sebeple, bu eğri yerine daha çok tercih edilen gerilme-birim uzama eğrisi kullanılabilir. Çekme deneyinde numuneye kuvvet uygulanmaya başlandıktan sonra numunede uzama iki şekilde görülür; Elastik uzama: deney numunesine kuvvet uygulandığında akma sınırına gelene kadar bir miktar şekil değişikliği yani uzama gözlenir. Kuvvet kaldırıldığında bu uzama ortadan kalkar ve numune eski şeklini alır (Aktaş, 2017).

**Plastik uzama:** Kuvvet akma sınırını aştıktan sonra kuvvet uygulanmaya devam edildiğinde numunede kalıcı deformasyon meydana gelir. Yani yük kaldırıldığında numune eski haline dönemez. Çekme deneyi sonucunda, gerilme–birim şekil değiştirme diyagramından malzemeye ait, Elastisite modülü, Elastiklik sınırı, akma dayanımı, çekme değeri, kesit daralması ve yüzde uzama, rezilyans, tokluk v.b. özellikler bulunur.

**Elastisite modülü(E);** çekme diyagramının elastik kısmını oluşturan doğrunun eğimine eşittir. Belirgin akma göstermeyen ahşap, kauçuk, deri benzeri malzemelerin çekme diyagramında böyle bir eğri bulunmadığından sabit bir E değeri yerine, belirli bir noktadaki teğetin eğimi alınır. Bu durumda Elastisite Modülü  $E = \sigma/\epsilon$  olan oranıdır (Aktaş, 2017).

Elastiklik sınırı ( $\sigma_e$ ), malzemeye uygulanan yük kaldırıldığında plastik uzamanın gerçekleşmediği veya yalnız elastik şekil değiştirmenin olduğu en yüksek gerilme değerine tekabül eder.<sup>ae</sup>

Akma değerinin ( $\sigma_a$ ), uygulanan çekme yüküne yaklaşık olarak sabit kalmasına rağmen, plastik birim uzama önemli ölçüde arttığı ve çekme değerlerinin düzgün olmadığı kısma karşı gelen gerilme ölçüsüdür. Belirgin akma göstermeyen numunelerin akma sınırı % 0,2'lik plastik uzamaya denk gelir. Çekme değeri ( $\sigma_c$ ) bir malzemenin kopuncaya veya kırılıncaya kadar karşı koya bildiği en yüksek noktadaki çekme gerilme değeri olarak bilinir. Kesit daralması numunenin kesit yüzeyinde oluşan en büyük yüzde daralma veya büzülme miktarıdır, uzama yüzdesi ise çekme numunesinin boyunda oluşan en yüksek yüzde plastik şekil değiştirme oranı olarak tanımlanır. Tokluk, numunenin kırılıncaya kadar absorbe ettiği enerjiye denir. Çoğunlukla gerilme-birim uzama eğrisinin altında kalan alanın hesaplanması ile bulunur.

Rezilyans, numunenin yalnızca elastik şekil değişimi için harcanan enerji veya elastik şekil değişimi esnasında numunenin depolandığı enerji anlamına gelir. Bu enerji, gerilme-birim şekil değiştirme eğrisinin elastik kısmının altında kalan alanına eşittir ve malzeme koptuğunda bu enerji geri verilir (Aktaş, 2017).

#### 4. DENEYLERİN TARTIŞILMASI

Kaynaklar, kaynak teknisyeni tarafından yapıldığı için kaynak işlemleri esnasında hatalar yaparak kaynak bölgesinde standartlara uygun olmayan çapak ve gözenek gibi hataların oluşmasına neden olmuşlardır. Genellikle geliştirilmek istenen ve deneylerde kullanılan kaynak dolgu malzemeleri AWS ve API gibi standartlardan geçmiş ve günümüzde kaynakta kullanılmakta olan kaynak dolgu metalidir. Bundan dolayı radyografi filmindeki hataları kaynak personeli hatası nedeniyle standarda uymayan hiçbir bir deney numunesi tamamen iptal edilip yeniden yapılmamıştır. Çünkü kaynakların yapılmasındaki gaye kaynak dolgu metalinin içindeki değişik element bileşimlerinin kaynak dolgu metali üzerindeki etkilerini araştırıp ve çekme akma diyagramlarını inceleyip, bu değerlere göre yeni tasarımı yapmaya kara verilmiştir. Tasarlanacak kaynak dolgu metali kullanılarak doğalgaz X42 çelik boruda kaynağı yapıldıktan sonra genel standartlara uyup uymadığı tez kapsamında değerlendirilecektir. API 1104 standartlarına göre yapılan kaynak işlemlerinde mümkün olduğunca kaynak hatası olmayan kısımlardan deney numuneleri çıkartılmıştır (API 1104, 1999).

##### 4.1. Kaynak Dikişinin Radyografik İncelenmesi

1. takım radyografik film Şekil 4.1’de incelendiğinde 1. Takım radyografi filminde görülen 1 adet 4 cm uzunluğunda cüruf hatası ve 3 cm uzunluğunda kapak kaynağında düşüklük olduğu yani kapak pasosunun tamamlanmadığı gözlenmiştir.



Şekil 4.1 1. Takım radyografi filmi

Radyografik filmde tespit edilen kaynak hatasını yeri metre ile işaretlenir. Daha sonra işaretlenen bölge mekanik olarak yarılarak tekrardan kaynak edilir. Tamiri yapılan



Şekil 4.2 1. Takım tamir filmi

Kaynak aralığının tekrar filmi çekilecektir. Şekil 4.2’te 1.Takım radyografik tamir filmi verilmektedir. Bu takımda bulunan cüruf ve kapakta düşüklük giderilmiştir. Kaynak mekanik olarak temizlendiği için kaynaktaki bütünlük sağlanmıştır. Bu işlemlerden sonra kaynak API 1104 standartlarına uygun hale getirilmiştir.

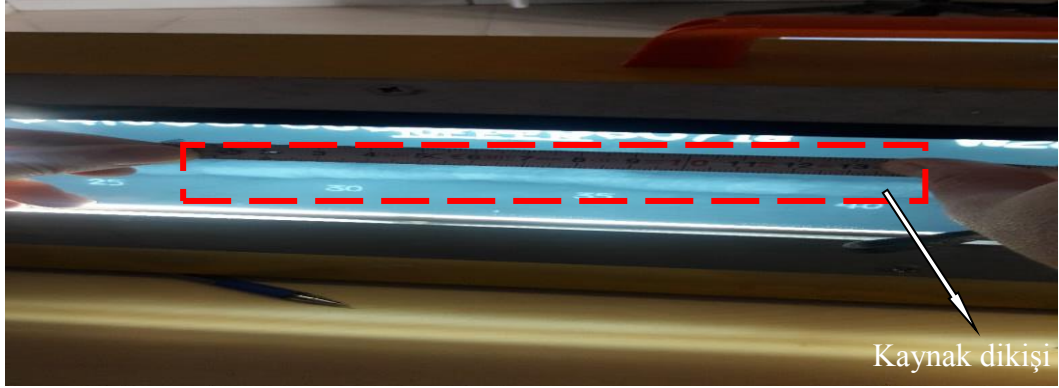
Şekil 4.3’ teki 3. Takım radyografi filmi incelendiğinde kaynak dikişinde 29-35 cm boyunca yanma oluğu görülmektedir. Kaynak yapılırken, kaynak operatörünün amperi yüksek tutması sebebiyle kaynaktaki yanma oluştuğu anlaşılmıştır.



Şekil 4.3 3. Takım radyografi filmi

Şekil 4.4 incelendiğinde 3. Takım radyografik filmi verilmiştir. Şekil 4.4’te yanma oluğu gözenmiş, kaynak tamiri yapılarak kaynak hatası giderilmiştir. Kaynak

mekanik olarak temizlendiği için herhangi bir problem teşkil etmemiştir. Böylece kaynak API 1104 standartlarına uygun hale getirilmiştir.



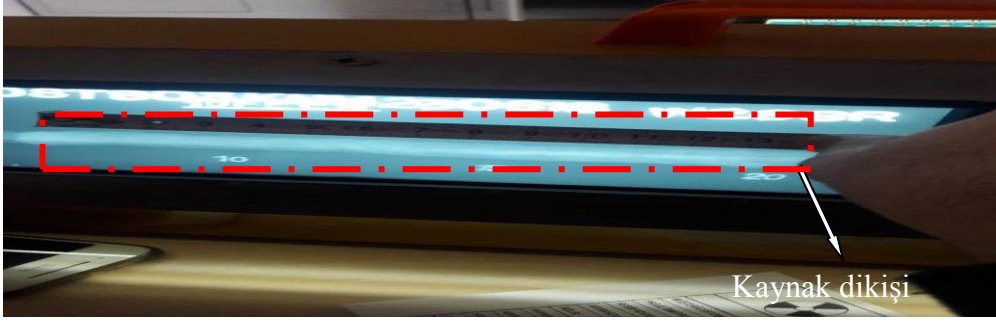
**Şekil 4.4** 3. Takım tamir filmi.

Şekil 4.5'te verilen 5. Takım radyografik olarak incelendiğinde 10-20 cm aralığında 3 tane küçük gaz boşluğu ve kapakta yanma olduğu görülmektedir. Bu kaynağı API 1104 standartlarına göre uygun hale getirmek için 10-20 cm aralığında tamir işlemi yapılmıştır. Kaynakta hatalı olan kısım mekanik olarak temizlenmiştir.



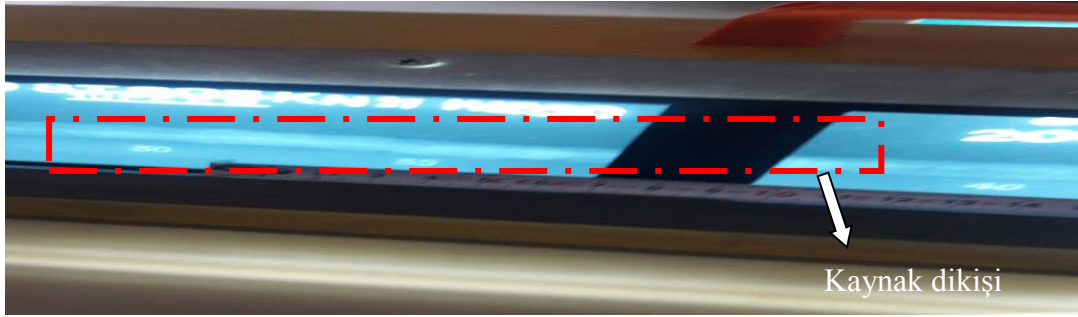
**Şekil 4.5** 5. Takım radyografi filmi

Şekil 4.6'te tamir edilmiş kaynak dikişinin 5. Takım radyografik filmi verilmiştir. Bu takımda gözlenen gözenekler ve yanma hataları, kaynak tamiri yapılarak giderilmiştir. Kaynak mekanik olarak temizlendiği için hiç bir problem teşkil etmemektedir. Yapılan çalışma neticesinde kaynak dikişi API 1104 standartlarına uygun hale getirilmiştir.



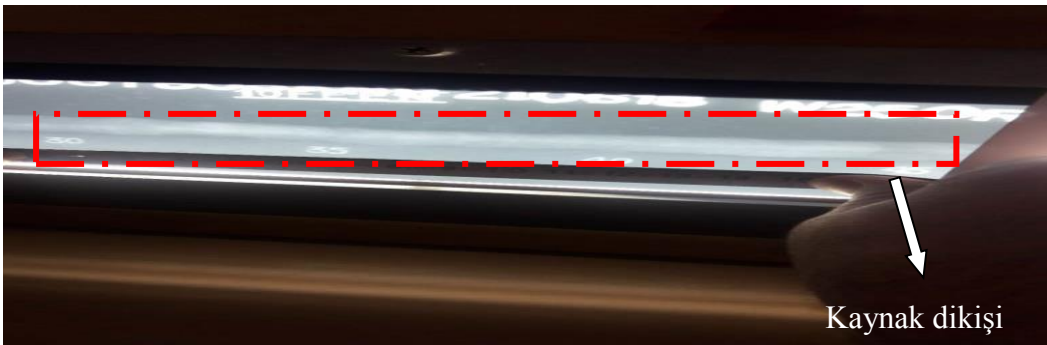
Şekil 4.6 5. Takım radyografi tamir filmi

Şekil 4.7'deki 7. takımın radyografi filmi incelendiğinde 30-35 cm'lerde cüruf sıkışması olduğu ve 35-40 cm'ler arasından da kapakta düşüklük olduğu gözlenmiştir. Kaynaklar mekanik olarak tamir edilerek API 1104 standartlarına uygun hale getirilecektir.



Şekil 4.7 7. Takım Radyografi Filmi

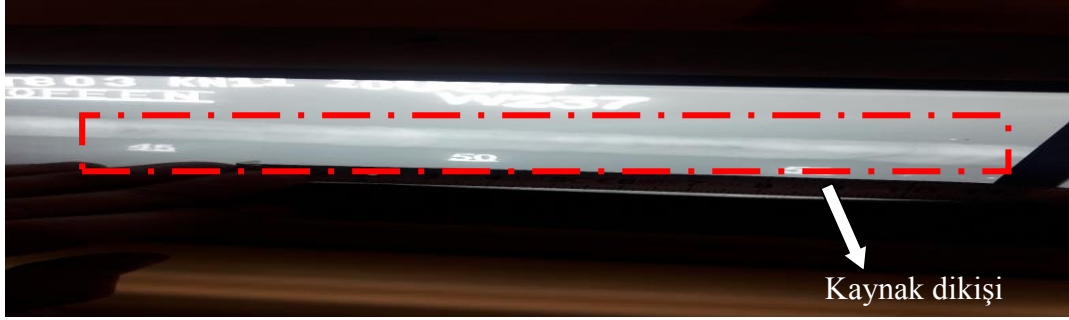
Şekil 4.8'deki 7. takım tamir filmi incelendiğinde kaynaktaki cürufun temizlendiği ve kapaktaki düşüklüğün tamir edildiği gözlenmiştir. Yapılan kaynağın API 1104 standartlarına uygun olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 4.8 7. Takım tamir filmi

Şekil 4.9'daki 11. takımın radyografi filmi incelendiğinde 52-53 cm aralığında küçük gaz boşluklarının olduğu ve kök pasoda; boru ağzında yığılmanın olduğu

gözlenmiştir. Ayrıca kapak pasosunun mekanik olarak fırçalanmadığında kapak hatasına neden olduğu gözlenmiştir. Bu hatalar mekanik olarak temizlenip standartlara uygun hale getirilecektir.



Şekil 4.9 11. Takım radyografi filmi

Şekil 4.10'daki 11. takım tamir radyografi filminde herhangi bir kaynak hatası olmadığı gözlenmiştir. Daha önce var olan kaynak hataları, kaynak kesilerek temizlenmiştir



Şekil 4.10 11. Takım tamir filmi

Şekil 4.11'deki 15. takım radyografi filminde de görüldüğü gibi küçük bir cüruf kalıntısı tespit edilmiştir. Bu kalıntı standartlara uygun olmayan bir durum oluşturmaktadır. Bunun nedeni kök kaynağında elektrot birleşme noksanlığı, yani elektrotun yeterince ergimemesidir. Bu durum malzemede bütünlüğün bozulmasına neden olmaktadır. 9-12 cm'ler boyunca kaynak mekanik olarak temizlenip standartlara uygun hale getirilmiştir.



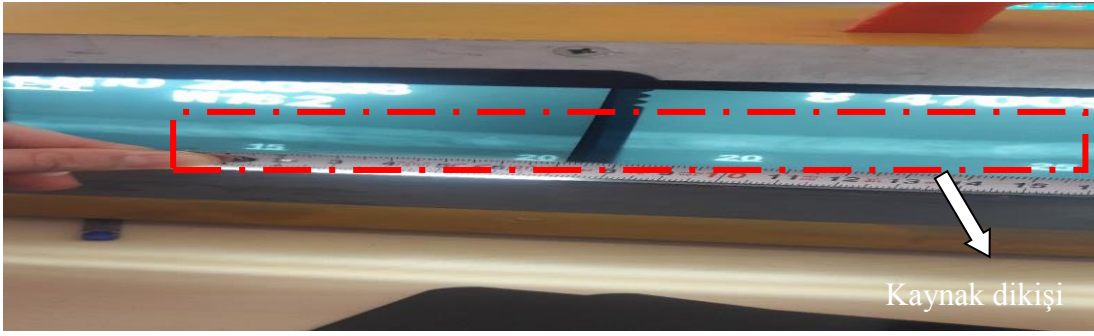
Şekil 4.11 15. Takım filmi

Şekil 4.12’te 15. takım radyografik tamir filmi verilmektedir. Bu deney takında gözlenen kök hatası, kaynak tamiri yapılarak giderilmiştir. Kaynak mekanik olarak temizlendiği için herhangi bir sorun teşkil etmemektedir. Sonuç olarak yapılan bu kaynak API 1104 standartlarına uygun hale getirilmiştir.



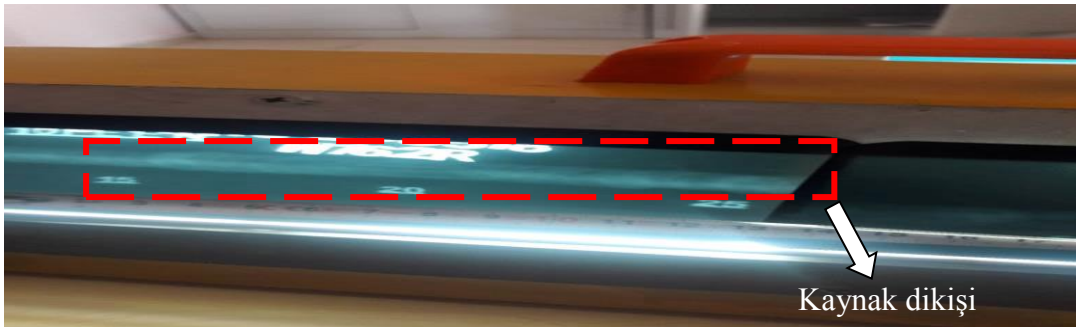
Şekil 4.12 15. Takım tamir filmi

Şekil 4.13’te gösterilen 17. takım radyografi filmi incelendiğinde kök pasosunun 12-25 cm’leri aralığında kökte yanma ve cüruf kalıntıları gözlenmiştir. Bu kaynağı API 1104 standartlarına göre uygun hale getirmek için 12-25 cm aralığında mekanik olarak yarılarak tamir edilip tekrardan radyografi filmi çekilerek incelenmiştir.



Şekil 4.13 17. Takım filmi

Şekil 4.14'te gösterilen 17. takım tamir filminin kaynak hatalarının giderildiği ve standartlara uygun hale getirildiği tespit edilmiştir. Yapılan tüm kaynak hataları radyografik olarak incelendi. Daha sonra bu kaynaklar mekanik olarak kesilerek tamir edildi. Tamiri yapılan bütün kaynakların filmleri çekilerek API 1104 standartlarına uygun hale getirildi.



Şekil 4.14 17.Takım tamir filmi

## 4.2.Mekanik Deney Sonuçları

Doğalgaz boru imalatında kullanılan X42 doğalgaz çelik borularına kaynak işlemine tabi tutulmuştur. Kaynak işlemi yapılan doğalgaz borularından numuneler alınarak mekanik testler yapılmıştır. Deneylelerden elde edilen sonuçlar aşağıda ayrı ayrı ele alınmış ve tartışılmıştır. Deneylede kullanılan örnek çekme numuneleri örneği şekil 4.15'te verilmiştir.



Şekil 4.15 Deney numuneleri

#### 4.2.1.Kaynak numunesinin çekme deneyi

Radyografik olarak incelenen deney takımlarında kaynak hatalarının olduğu gözlemlenmişti. Kaynaklarda oluşan hataların, borunun bütünlüğünü bozduğunda boruların basınç altında patlamasına sebep olacaktır. Kaynak ile bileştirilen doğalgaz borularına çekme deneyleri uygulanmıştır. Doğalgaz borularından numuneler alınarak çekme testleri yapılmıştır ve hasarın oluşacağı yerler tespit edilmiştir. API standartlarına göre hazırlanan; 4,8x25x500 mm ebatlarındaki deney numunelerine çekme testi uygulanmıştır. API 5L standartlarına göre hazırlanan 17 deney takımından 3' er numune alınarak toplamda 51 adet numune hazırlanmıştır. 1.takımdan alınan numuneye ait akma ve çekme değerleri tablo 4.1 de verilmiştir.

Tablo 4.1 1.Takım akma-çekme değerleri

Deney Takımı	Numune	Akma (MPa)	Çekme (MPa)	Hasar Bölgesi
1.Takım	1	362,6	452,5	Kaynak
	2	363,8	455,9	Kaynak
	3	361	449,4	Kaynak
	<b>Ortalama</b>	<b>362,46</b>	<b>452,6</b>	<b>Kaynak</b>

Ana malzemenin akma dayanımının 372,7 N/mm<sup>2</sup>, kopma dayanımının 499 N/mm<sup>2</sup> olduğu tespit edilmiştir. Tablo 4.1 incelendiğinde kaynakla birleştirilmiş parçanın akma dayanımının 362,46 N/mm<sup>2</sup>, kopma dayanımının 452,6 N/mm<sup>2</sup> olduğu

tespit edilmiştir. Yapılan çekme deneylerinde hasarın kaynakta olduğu tespit edilmiştir. Bu da kaynak dolgu malzemesi olarak kullanılan elektrotun X42 çelik kaynağında kullanılmasını uygun olmadığına karar verilmiştir.



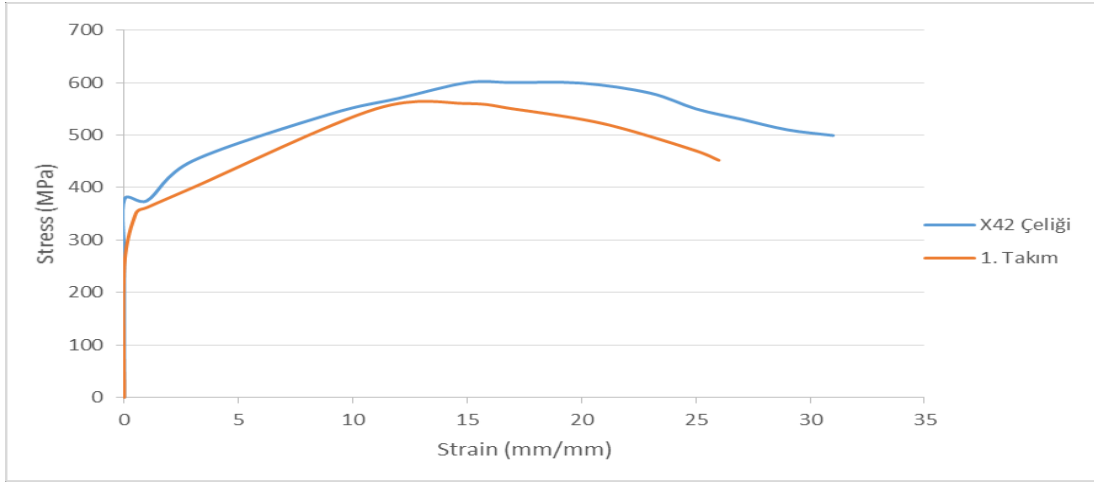
**Şekil 4.16** 1. Takım hasarlı numune

Şekil 4.16'da 1. deney takımında alınan numuneye çekme testi uygulandığında, kaynak noktasında hasarın olduğu gözlenmiştir. Tablo 4.2 incelendiğinde X42 çelik kaynağından (E 42 2 C 21) elektrotun kullanılmasının uygun olmadığı tespit edilmiştir. Deneyde kullanılan X42 çeliği ana malzemesinin ve (E 42 2 C 21) elektrotun akma ve çekme dayanımları Tablo 4.2'de verilmiştir.

**Tablo 4.2** 1. Takımın ve X42 çeliğin akma ve çekme değerleri

Numune	Akma (MPa)	Çekme (MPa)	Hasar Bölgesi
<b>X42 ÇELİĞİ</b>	372,70	499,2	Ana malzeme
<b>1.takım</b>	362,46	452,6	Kaynak

Şekil 4.17 incelendiğinde ana metalin çekme mukavemetinin 499 N/mm<sup>2</sup>, kaynakla dolgu metalin çekme mukavemetinin ise 452 N/mm<sup>2</sup> olduğu % uzama değerlerinin ise ana malzemede % 33, kaynaklı malzemede de % 24 olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.17 X42 çeliği ve 1. takım diyagramı

Çekme deneyleri yapılan X42 çeliği ile dolgu malzemesi olarak kullanılan elektrotun çekme dayanımlarının bir birine benzerlik göstermesine rağmen, elektrotun çekme dayanımının istenilen mukavemeti göstermemiştir. Kaynak dikişi ile ana malzemenin bir bütünlük göstermesi için ana malzeme ile dikişin göstermesi gerekir. Bundan dolayı ana malzemeye benzer yeni bir elektrot denenmeye karar verilmiştir.

#### 4.2.2.Yeni Bir (T1-Saf) Elektrotun Denenmesi

Radyografik fillimler de görüldüğü gibi yapılan kaynaklarda sürekli kaynak hataları oluşmaktadır. Bu sebeple kaynak hatalarının oluşumunu engellemek için yapısı daha uygun olan yeni bir elektrot kullanılarak kaynak dikişi mekanik olarak güçlendirilecektir. Piyasada kullanılan elektrot, çekme deneylerinde X42 çeliğine göre daha düşük mukavemete sahip olduğu görülmüştür. Bu da elektrot ile ana metal arasında bir uyumsuzluk olduğunu göstermektedir.

Daha önce mekanik özellikleri geliştirilmesine karar verilen “E 42 2 C 21“ isimli örtülü elektrotun içerisinde %0,08 karbon, % 0,6 Mn ve % 0,2 Si bulunmaktadır. T1-Saf olarak adlandırılan ve yeni denenilen elektrotun; tokluk ve dayanımda etkili olan molibden elementi %0,002 olacak şekilde elementler kullanılmıştır. Bunun yanında tokluğa katkıda bulunmasının yanında az miktarda da çekme mukavemetine bir katkıda bulunan elektrotun nikel miktarı %0,035 olacak şekilde elektrotun içeriği belirlenmiştir. T1-Saf örtülü elektrotun çapı değiştirmeden, çapı 2,5 mm olacak şekilde üretilmiştir.

Yeni denenen T1-Saf elektrotun ve daha önce X42 çeliğinde kullanılan E 42 2 C 21 isimli elektrotun kimyasal içeriği tablo 4.3’de verilmektedir.

**Tablo 4.3** E 42 2 C 21 ve T1 elektrotun kimyasal içerik tablosu

<b>Deney Takımı</b>	<b>%C</b>	<b>%Si</b>	<b>%Mn</b>	<b>%Mo</b>	<b>%Ni</b>
<b>(E 42 2 C 21)</b>	0,08	0,2	0,6	X	X
<b>T1 elektrotu</b>	0,08	0,2	0,6	0,002	0,035

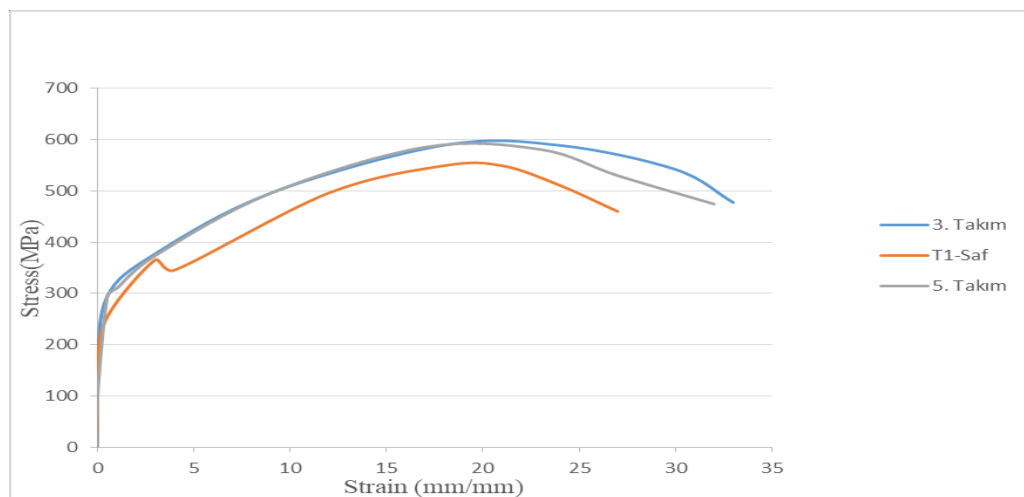
Yeni denenen T1-Saf elektrotu ile X42 çeliği kaynak edilmiş ve kaynak yapılan doğalgaz borularda numuneler alınarak çekme testleri uygulanmıştır.

#### **4.2.3. Yeni Denenen (T1-Saf) Elektrotun Deney Sonuçları**

Yeni denenen T1-Saf elektrotu, düşük karbonlu çeliğe kaynak yapılarak saf kaynak metalinin mekanik özellikleri tespit edilmiştir. Bu deneylerde 3'er numune alınarak çekme akma deneyi yapılmıştır. Standartlarda verilen X42 çeliklerinin akma dayanımı en az 372,7 MPa ve çekme dayanımı en az 499,2 MPa olduğu, tablo 4.4 incelediğinde T1 saf akma ve çekme mukavemetlerinin ana metalde daha düşük olduğu görülmüştür. Daha sonra X42 çeliğinden üretilmiş doğal gaz boruları T1-saf elektrot ile kaynak yapılmış ve bunlardan çekme numuneleri alınarak tahribatlı testler uygulanmıştır. Uygulanan testler 3. ve 5. Takım olarak adlandırılan deney takımlarından çekme akma değeri X42 çeliğinden düşük olmasından dolayı hasar kaynaktan oluşmuştur. Bu sebepten dolayı T1-Saf elektrotun X42 çelik kaynak işleminde kullanılması uygun olmadığı görülmüştür. Test sonuçlarına bakılarak yeni bir elektrot deneneceğine karar verilmiştir. Akma ve çekme dayanımı sonuçları Tablo 4.4’de verilmiş ve bu sonuçlar Şekil 4.18 grafik olarak karşılaştırılmıştır.

**Tablo 4.4** T1-Saf, 3 ve 5. takım kaynak metalinin akma ve çekme tablosu

Deney Takımı	Numune	Akma (MPa)	Çekme (MPa)	Hasar Bölgesi
<b>T1-Saf</b>	<b>1</b>	369,3	467,9	<b>Kaynak</b>
	<b>2</b>	370,6	469,4	<b>Kaynak</b>
	<b>3</b>	377,8	470,1	<b>Kaynak</b>
	<b>Ortalama</b>	<b>372,56</b>	<b>469,13</b>	<b>Kaynak</b>
Deney Takımı	Numune	Akma (MPa)	Çekme (MPa)	Hasar Bölgesi
<b>3.takım</b>	<b>1</b>	374,4	468,2	<b>Kaynak</b>
	<b>2</b>	370,7	473,4	<b>Kaynak</b>
	<b>3</b>	373,2	471,9	<b>Kaynak</b>
	<b>Ortalama</b>	372,7	471,16	<b>Kaynak</b>
Deney takımı	Numune	Akma (MPa)	Çekme (MPa)	Hasar Bölgesi
<b>5.takım</b>	<b>1</b>	371,8	465,1	<b>Kaynak</b>
	<b>2</b>	376,3	466,9	<b>Kaynak</b>
	<b>3</b>	373,9	473,5	<b>Kaynak</b>
	<b>Ortalama</b>	<b>374</b>	<b>468,5</b>	<b>Kaynak</b>

**Şekil 4.18** T1,3.Takım ve 5. Takım akma çekme diyagramı

Yeni denenen (T1-Saf) elektrotuyla yapılan kaynakta, kaynağın standartlara uygun olmasına rağmen akma ve çekme gerilme değerleri istenilen standartlarda değildir. Şekil 4.19 incelendiğinde T1-saf elektrotun uzama miktarları da yeterli olmadığı tespit edilmiştir. Deneyde kullanılan hasarlı numunelerin bir örneği şekil 4.19'de verilmiştir.



**Şekil 4.19** T1 saf kaynak metalinin hasarlı numunesi

Hasarlı numune incelediğinde hasarın kaynak noktasından olduğu tespit edilmiştir. Yeni denenen elektrotun çekme, akma ve uzama değerlerinin düşük çıkmasında dolayı yeni bir elektrot denemesine karar verilmiştir.

#### **4.2.4.İkinci Bir (T2-Saf) Elektrotun Denenmesi**

Akma ve çekme mukavemeti düşük çıkan T1-Saf elektrot mekanik özellikleri gelişmiş ve kimyasal içeriği geliştirilmiş ikinci (T2-saf) yeni bir örtülü elektrot denenmiştir. Çekme dayanımını daha da arttırmak için T1-Saf örtülü elektrotun % 0,6 olan Mn elementi miktarı T2-Saf örtülü elektrotta % 1,1 olacak şekilde arttırılmış ve Mn alaşım elementinin ilavesi ile tokluk değerlerinden taviz vermemek için hem tokluk özelliklerini hem de çekme dayanımını geliştiren mikro alaşım elementi olan Mo, T1'de %0,002 iken T2'de %0,008 olacak şekilde, Ni elementi de %0,048 olarak denenmiştir. T2-saf ismi verilen örtül elektrotun kimyasal içeriği tablo 4.5'te verilmiştir.

**Tablo 4.5** T2 Saf takımındaki örtülü elektrotun kimyasal içeriği

Deney takımı	%C	%Si	%Mn	%Mo	%Ni
<b>T2-Saf</b>	0,08	0,2	1,1	0,008	0,048

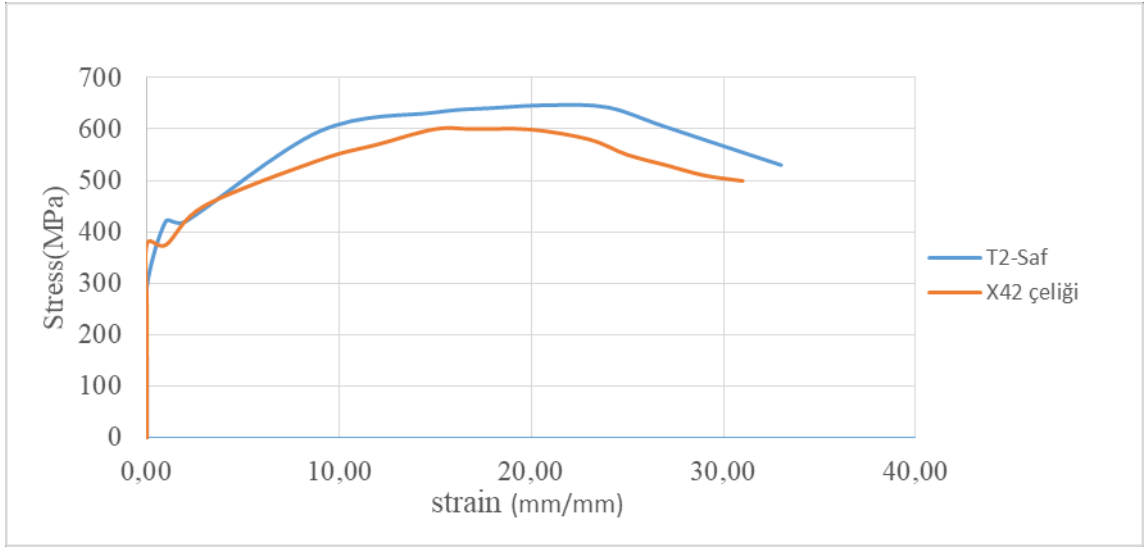
#### 4.2.4.1. T2-Saf örtülü elektrotun çekme deneyi ve sonuçları

Yeni denenen T2-Saf örtülü elektrotun düşük karbonlu çeliğe kaynak edildikten sonra elde edilen saf kaynak dikişinin mekanik özellikleri belirlenmiştir. Tablo 4.6'da verilen T2-saf kaynak dikişinin akma ve çekme değerleri X42 çeliğinin kaynağına uygun görülmektedir. Mekanik özellikleri beklenen sonucu veren T2 örtülü elektrotun, bu aşamadan sonra X42 çelik boru parçalarına uygulanmasına karar verilmiştir. Şekil 4.20 incelediğinde kaynakla birleştirilmiş parçanın çekme mukavemetinin 530 MPa olduğu tespit edilmiştir. Çekme deneyinde hasarın kaynak dikişinde değil, ana metalde olması, T2 örtülü elektrotla yapılan kaynakta istenilen sonuçların elde edildiğini göstermiştir.

**Tablo 4.6** T2 saf elektrotu akma ve çekme dayanımı

Deney Takımı	Numune	Akma (MPa)	Çekme (MPa)	Hasar Bölgesi
<b>T2-Saf</b>	<b>1</b>	420,50	530,10	Ana Metal
	<b>2</b>	416,90	528,50	Ana Metal
	<b>3</b>	426,20	533,7	Ana Metal
	<b>Ortalama</b>	<b>421,2</b>	<b>530,83</b>	<b>Ana Metal</b>

Tablo 4.6 incelendiğinde ana malzemenin çekme mukavemetinin 499 MPa, kaynakla birleştirilmiş parçanın çekme mukavemetinin ise 530 MPa olurken % uzama değerlerinin ise ana malzemede % 33, kaynaklı malzemede de % 34 olduğu tespit edilmiştir. Çekme akma ve uzama değerleri şekil 4.20'de verilmiştir.



Şekil 4.20 T2 Saf ve X42 çelik diyagramı

Çekme deney sonuçları incelendiğinde hasarın ana malzemede olduğu, kaynaklı bölgede hasar olmadığı tespit edilmiştir. Şekil 4.21'den de görüldüğü gibi hasar ana malzemede gerçekleşmiştir.



Şekil 4.21 T2-saf hasarlı numune

#### 4.2.4.2.T2-saf elektrotun çekme test sonuçları

Daha önce çelik boru kaynağında kullanılan (E 42 2 C 21) elektrotun akma ve çekme dayanımının, X42 çelik kaynağında kullanılmasının uygun olmadığı Şekil 4.17 de görülmektedir. Piyasada kullanılan elektrotun ana malzeme ile uyumlu olmamasından dolayı yeni bir elektrot denenmeye karar verildi. İlk kez denenilen T1 örtülü elektrotun

da yeterli mukavemete sahip olmadığı Şekil 4.18 incelendiğinde T1-saf elektrotun çekme test değerlerinin düşük olduğu görülmektedir. T1 örtülü elektrotunda uygun olmaması üzerine yeni bir örtülü elektrot denenmeye (T2-saf) karar verildi. Denenen T2-saf elektrotun istenilen çekme değerleri elde edilmiştir. T2-Saf kaynak metali ile kaynağı yapılan X42 çeliğinin akma ve çekme dayanımları tablo 4.7’de verilmiştir

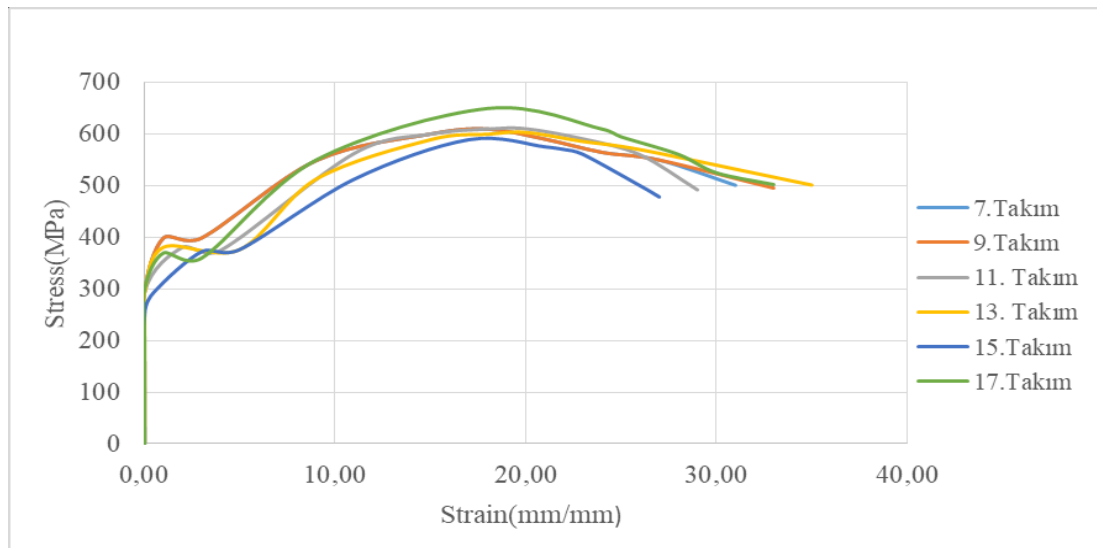
**Tablo 4.7** T2-Saf deney sonuçları

Deney Takım	Numune	Akma(MPa)	Çekme(MPa)	Hasar Bölgesi
7.Takım	1	379,60	497,70	Ana Metal
	2	382,50	501,30	Ana Metal
	3	376,20	505,10	Ana Metal
	<b>Ortalama</b>	<b>381,53</b>	<b>501,36</b>	<b>Ana metal</b>
9. Takım	1	402,7	493,00	Ana Metal
	2	395,34	499,10	Ana Metal
	3	399,67	495,20	Ana Metal
	<b>Ortalama</b>	<b>399,20</b>	<b>495,76</b>	<b>Ana Metal</b>
11. Takım	1	377,10	490,90	Ana Metal
	2	382,80	496,30	Ana Metal
	3	389,50	492,50	Ana Metal
	<b>Ortalama</b>	<b>383,13</b>	<b>493,23</b>	<b>Ana Metal</b>
13. Takım	1	370,8	509,66	Ana Metal
	2	383,00	496,00	Ana Metal
	3	376,00	499,33	Ana Metal
	<b>Ortalama</b>	<b>376,6</b>	<b>501,66</b>	<b>Ana Metal</b>
15. Takım	1	377,00	489,1	Kaynak
	2	369,90	472,6	Kaynak
	3	370,60	473,9	Kaynak
	<b>Ortalama</b>	<b>372,5</b>	<b>478,53</b>	<b>Kaynak</b>
17. Takım	1	379,30	503,00	Ana Metal
	2	380,90	507,2	Ana Metal
	3	375,60	497,50	Ana Metal
	<b>Ortalama</b>	<b>378,6</b>	<b>502,56</b>	<b>Ana Metal</b>

X42 kaynaklı borunun farklı pozisyonlardan numunelere alınarak çekme testi uygulandı. Her deney takımı için 3'şer adet numune alınarak çekme testleri uygulanmıştır. Bunun sonucunda hasar ana metalde gerçekleşmiştir. API 1104 standardına göre hazırlanan deney takımlarına oda sıcaklığında test edilmesi ile kaynak metali çekme mukavemeti ortalama 501MPa olduğu gözlenmiştir. Kaynak sonrası elde edilen çekme mukavemeti ana malzeme çekme mukavemetinden büyük bulunmuş ve bu kaynak metalinin, X42 çelik kaynağı için uyumlu olduğunu göstermektedir.

Tablo 4.7'de görüldüğü gibi yeni denenen T2-Saf örtülü elektrotu istenilen standartlarda olmasıyla; hedeflenen kalitede kaynak yapılmıştır. İstenilen standartlarda elektrotun tespit edilmesiyle, deneylerde de istenilen sonuç elde edilmiştir. 7,9,11,13 ve 17. deney takımları benzer çekme dayanımına sahiptir. 15. deney takımında ise hasarın kaynak dikişinde olduğu gözlenmiştir. 15. deney takımında hasarın kaynak dikişinde görülmesinin sebebi, kaynağın API 1104 standartların uygun olmamasıdır.

Çekme deney sonuçları incelendiğinde; bütün deneylerde hasarın ana malzemedan olduğu, kaynaklı bölgeden hasarın olmadığı tespit edilmiştir. Bu da kaynaklı numunenin çekme dayanımının; ana malzemenin çekme dayanımından yüksek olduğunu göstermektedir. Deney sonuçları Şekil 4.22'de verilmiştir.



Şekil 4.22: 9.,11.,13.,15. ve 17. Takım çekme uzama değerleri

Ark kaynağın temel özelliği; kaynak elektrotunun çekme dayanım değerleri ana malzeme değerlerinden yüksek olması istenmektedir. Yaptığımız deneyler sonucunda; kaynak dikişinin çekme dayanım değerlerin, ana metalin çekme değerlerinden yüksek değerler elde edilmiştir.

Şekil 4.22 incelendiğinde 7. Takımın akma 381 MPa dayanımının, çekme dayanımının 501 MPa, % uzama değerinin ise 32 olması sonuçları olumlu olarak görülmüştür. 9. Takımın incelendiğinde akma 383,9 MPa dayanımının, çekme dayanımının 495,78 MPa, % uzama değerinin ise 33 olması hedeflene değerlerin elde edildiğini göstermiştir. 11. Takımın akma 383,13 MPa dayanımının, çekme dayanımının 493 MPa, % uzama değerinin ise 29 olduğu görülmektedir. 11. Takımda çekme ana malzemedenden olmasına rağmen, kaynaklı numunenin % uzama değerlerinin düşük çıkmasının sebebi ise kaynaklı bölgenin çekme testi sırasında deformasyona uğramamasına bağlanmıştır. 13. Takımın incelendiğinde akma 376,6 MPa dayanımının, çekme dayanımının 501,66 MPa, % uzama değerinin ise 35 olduğu ve bu değerler kaynak metalinin ana metal ile uyumlu olduğunu gösterir. 15. Takımın akma 372 MPa dayanımının, çekme dayanımının 488 MPa, % uzama değerinin ise 27 olduğu görülmüştür. Değerlerin düşük olması ve hasarın kaynak dikişinde olmasının kaynağın API 1104 standartlarına uymamasına bağlanmıştır. 17. Takımın akma 338,6 MPa dayanımının, çekme dayanımı 502,56MPa, % uzama değerinin ise 33 olması ve hasarın ana metalde olması deney takımının ana metalle uyumlu olduğunu gösterir. Tüm sonuçlara bakıldığında; hasarların ana metalde olmasından dolayı sonuçların başarılı olduğunu göstermiştir.

Çekme numuneleri standarda (API 5L) uygun hazırlandığından, kaynaklı numunelerdeki kaynak bölgesinin sert olması nedeniyle deformasyon bu bölgelerin dışında olmuştur. Deformasyonun dar bir alanda meydana gelmesi; dayanımın yüksek değerlerde olmasına neden olmuştur. Hasarın ana malzemedenden olmasına rağmen, kaynaklı numunenin % uzama değerlerinin düşük çıkmasının sebebi ise kaynaklı bölgenin çekme testi sırasında deformasyona uğramış olmasına bağlanmıştır. Kaynaklı bölgenin deformasyona karşı göstermiş olduğu direnç çekme mukavemetinin artmasına ve % uzama değerinin azalmasına neden olmaktadır. Deneyde kullanılan hasarlı numuneler şekil 4.23'te verilmiştir.



7.takım



9.takım



11. takım



13. takım



15.takım



17. Takım

**Şekil 4.23:** Hasarlı numuneler

Çekme test sonuçlarında hem ana malzemenin hem de kaynak dikişinde en yüksek çekme değerine T2-Saf kaynak elektrotunda olduğu görülmektedir. T2-saf kaynak elektrotunda ölçülen çekme değerleri 530MPa, X42 çelik malzemesinde çekme mukavemeti değerleri ise 499 MPa olduğu görülmektedir. T2-Saf kaynak elektrotunun X42 doğalgaz çelik borusunun kaynak işleminde kullanılması uygundur.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu Yüksek Lisans Tez kapsamında, radyografik çekimi yapılan doğal gaz çelik boruların kaynak dikişlerinin, Mardin ili 2018 yılından itibaren doğal gaz ihtiyacını karşılamak üzere Mardin Doğalgaz Çelik Boru Hattı Projesinde kullanılan çelik borulardır. Bu projeye, Mardin ili sınırları içerisinde yer alan yaklaşık 7 km'lik 8 inç iletim hattı ile Mardin il merkezi doğalgaz besleme planı yapılmıştır. Bu hattın imalatı sırasında 683 kaynak dikişi incelenmiştir. Bu proje güzergâhında yer alan, 8 inç 584 adet X42 çeliğinden üretilmiş doğal gaz borusu birbirine kaynak edilerek yer altına döşenmiştir. Mardin ilinde Kaynak yapılan 8 inç boruların uydu görüntüsü Şekil 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.1 Mardin ili 8 inç doğalgaz boru hattı uydu görüntüsünden

Orta basınçlarda (yaklaşık 19 bar) ürün taşıyan doğal gaz boru hatlarının kalite, mamul garantisi, insan ve çevre güvenliği açısından son derece güvenilir olmalıdır. Bunu başarabilmenin yolu, tamamlanmış kaynağın ilgili kaynak prosedürüne uygun olarak kaynak edilip edilmediği ve ilgili standarda (API 1104) göre kabul edilip edilmeyeceğini tayin etmek için tahribatsız ve tahribatlı olarak muayene edilmiştir.

Tahribatsız test yöntemlerinden biri olarak, gama ışınlarının kullanıldığı gama radyografi yöntemi (gama grafi) ile sahada anında hatanın giderilmesi sağlanmıştır. Böylece, çalışılan radyografi yöntemi ile zaman kaybını en aza indirerek, sahada uygun

değerlerde çalışma düzeninin sağlanması mümkün olmuştur. Bu amaçla yapılan radyografik çekimlerde, IRD- 192 radyoizotopu kullanılmış ve güzergâh boyunca muhtelif yerlerde döşenmiş olan çelik boruların kaynak dikişlerinin standartlara uygun nitelikte olan hata tespiti yapılmıştır. Bu bağlamda, ileriki zamanlarda doğalgaz dağıtımında oluşabilecek sorunların giderilmesi ve sürekliliğinin sağlanması amaçlanmıştır. Yapılan bu çalışmada X42 çelik doğalgaz borularının kaynağında kullanılan, üretimi ülkemizde yapılan ve API 5L ile EN ISO 3183-2012 PSL2 L245N/BN uluslararası standarda sahip, piyasada var olan kaynak dolgu metalin mekanik özellikleri incelenmiştir. API 1104 standartlarında önerilen ve API 1104 standartlarına sahip kaynak dolgu metali seçilerek deney planı oluşturulmuştur. Oluşturulan deney planlaması göre kaynak deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Deneylerde elde edilen sonuçlar:

- x Enine çatlakların önlenmesi için, kaynak metali ile ana metalin yapısı uyumlu olmalıdır.
- x Esas metal ve ilâve metalin, karbon ve diğer element oranları uyumlu olmalıdır.
- x Elektrot örtüsünün rutubet almayacak kuru yerlerde saklanmalıdır.
- x Uygun akım şiddeti ile kaynak yapılmalıdır.
- x Kaynak ağızları temizlenmelidir.
- x Parçalar birbirlerine iyi şekilde uydurulmalı ve kaynak ağızları arasında kaçıklık olmamalıdır.
- x Kök pasosunda meydana gelen çatlaklar giderdikten sonra, diğer pasoya öyle geçilmelidir.

Kaynak dikişinde oluşan gözenekler; kaynak dikişi kesitini azaltmanın yanında, gerilme yığılmalarına ve çentik hasarına neden olurlar. Bu sebeple kaynak dikişinin mukavemetini azaltırlar. Gaz veya gözenekli yapı meydana geldiği takdirde kaynak bağlantı noktasını kolayca terk etmesi sağlanmalıdır. Elektrik kaynağında örtülü elektrot veya kaynak koruyucu tozundan teşekkül eden çapak kalıntılarının, devamlı veya kesikli hatlar oluşturur ve kaynak dikişinin içerisinde sıkışabilir. Birden çok pasolu kaynakta; pasolar arası geçişlerde cürufaların tam olarak temizlenmemesi durumunda kalıntılara neden olur. Çapak kalıntıları, mukavemetin azalmasına ve çatlakların meydana getirilmesine neden olurlar. Kalıntıların önlenmesi için; erimiş banyo havuzunun

hareketlerinin kontrolü, pasolar arasında geçişlerde cürufların tam olarak temizlenmesi icap eder.

Doğalgaz boru hatlarının kaynaklarının güvenilirliği açısından istenen API standartlarında belirtilen tüm şartlara uymak gerekir. Muayene ve kontrol personelinin konu ile ilgili eğitim almış olması ve belgeli olmaları aranmalıdır. Kaynakçı eğitim testleri mutlaka yapılmalı ve uzun süre kaynak işlemine ara veren teknik personeller mutlaka tekrar eğitimden geçirilmelidir.

Yapılan kaynaklı birleşme deneylerindeki kaynak dikişlerinin mekanik özelliklerini tespit etmek için çekme testler yapıldı. Çekme deneyi numuneleri API 1104 Standardında belirtildiği şekilde hazırlanmış ve deneyleri gerçekleştirilmiştir. Çekme deneyleri neticesinde kaynaklı numunelerin tamamının esaslı metalden hasar oluşması hedeflenmektedir. Yapılan deneylerin bir kısmında hasar ana metalden oluşurken, bazı deneylerde de kaynak dikişinde hasar olmuştur. Ana metalden hasar oluncaya kadar deneylere devam edilmiştir. Bu hedefe 17 deney takımı ile ulaşılmıştır. Deneylerde elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- x Kaynaklı numunelere ait çekme deneyinde hasarın sadece ana metalden olmadığını, hasarın bir kısmının kaynak metalinde olduğunu ve bunun nedeninin kaynak metalinin yeterli mukavemete sahip olmadığı gözlenmiştir.
- x Hasarın ana metal olabilmesi için X42 çeliği ile uyumlu T1 Saf adlı yeni elektrot denenerek yeni deneyler yapılmıştır. Yapılan deneylerde hasar yine de kaynak dikişinde olmuştur.
- x Yeni denenen T1-Saf elektrotun, kimyasal bileşim değerleri karbon, mangan, molibden ve nikel arası gerekli kombinasyon kurulamamış ve deneyde kullanılan X42 çelik boru malzemesinin mekanik özellikleri karşılanamamıştır.
- x T1-Saf'a ait çekme mukavemeti 469,13 MPa iken, akma mukavemeti 372,2 MPa olarak bulunmuştur. Bu değerler X42 kalite çelik boru için yeterli bulunmamıştır.
- x T1-Saf elektrotunun yeterli mukavemete sahip olmamasından dolayı yeni bir elektrot (T2-Saf) denenmiştir. Yeni denenen elektrotun içinde Ni ve Mo metallerinin oranı artırmıştır.
- x T2-Saf kaynak metaliyle kaynak edilen doğalgaz borularına çekme testi uygulanmıştır.

- x Kaynaklı numunelere ait çekme deneyi sonucunda; hasar ana metalden olduğu gözlenmiştir.
- x Kaynak dikişinin çekme dayanım değerlerinin ana malzeme çekme dayanımından büyük olduğu bulunmuştur. Bu da denenen T2-Saf kaynak elektrotunun ana malzemenin kaynağı için uyumlu olduğunu doğrular bir niteliktir.
- x Farklı pozisyonlarda alınan çekme numunelerinde de hasar ana malzemedan olmuştur. Farklı pozisyonlara ait çekme mukavemeti değerleri aynı olduğu tespit edilmiştir.
- x T2-Saf ile yapılan kaynakta ise, yüksek mangan, karbon ve nikel içeriği nedeni ile X42 çelik doğalgaz borularına göre daha yüksek çekme mukavemeti elde edilmiştir.
- x T2-Saf'a ait çekme mukavemeti 530 MPa iken, akma mukavemeti 421,2 MPa olarak bulunmuştur. Bu değerler X42 kalite çelik boru için yeterli bulunmuştur.
- x Yapılan bu çalışmalar ile T2-saf elektrotu ile X42 çelik boru kaynağında kullanılabilir özellikte olduğu tespit edilmiştir.
- x Yapılan deneyler sonucunda denenen T2-Saf elektrotu başarılı bulunmuş ve X42 çelik malzemenin akma ve çekme dayanım değerlerini karşılayan kaynak dikişleri elde edilmiştir. Denenen kaynak elektrotunun doğalgaz çelik boru kaynağında kullanılmasının uygun olduğuna karar verilmiştir.

## KAYNAKLAR

- Bal E., 2012, Doğal gaz boru hatları için yüksek gerilimli kaynak ana malzemesi teknolojisinin geliştirilmesi (Borkay), (Yüksek lisans tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, İstanbul.
- Teker T., 2012, Adıyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Malzeme Mühendisliği Bölümü, Adıyaman
- MMO, 2018, [http:// mmo.org.tr-sitesi/default/files/P2](http://mmo.org.tr-sitesi/default/files/P2) (online) - [Ziyaret tarihi: 02 Şubat 2018].
- Ada H, 2006, petrol ve doğalgaz boru hatları için üretilen boruların tozaltı ve spiral kaynak yöntemiyle kaynaklanabilirliği ve mekanik özelliklerinin İncelenmesi, (Yüksek Lisans Tezi) Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- BOTAŞ, 2018, Botaş boru Hattı kaynak kontrol Firmaları Meg Enerji (online) - Meg Enerji Gaz. [Ziyaret tarihi: 02 Şubat 2018].
- Odabaş D., 2011, Tahribatsız Muayene Yöntemleri ders notları, Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Kayseri.
- ODTÜ, 2009, “ Tahribatsız Muayene Birimi [online]-”[http:// www.ndted.org/ Education Resources/ CommunityCollege/Radiography/TechCalibrations /RadiographInterp.htm](http://www.ndted.org/EducationResources/CommunityCollege/Radiography/TechCalibrations/RadiographInterp.htm), Ankara [Ziyaret tarihi: 02 Şubat 2018].
- Salma, A., 2011, “tahribatsız muayene metotları ve doğalgaz boru hatlarındaki kaynaklı bağlantıların radyografik araştırılması” , Erciyes Üniversitesi-Fen Bilimleri Enstitüsü-Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Kayseri.
- Detayquality, 2018, Kaynak ve kaynak teknikleri [online]- [http:// /detayquality.com / teknik/46](http://detayquality.com/teknik/46). [Ziyaret tarihi: 10 Haziran 2018].

Gençkan H, 2014, doğal gaz boru hatlarında orbital kaynak teknolojisi kullanılarak yapılan kaynakların mekanik ve mikro yapı özelliklerinin incelenmesi, (Doktora Tezi) ,İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

İGDAŞ, 2003, “İstanbul Doğalgaz Dağıtım Projesi Yapım İşleri”, Teknik Şartnamesi, İstanbul.

NTD Resource, 2018, ndt resource center <http://www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/PenetrantTest/Principles/liquidpi.php> [Ziyaret tarihi: 13 Mart 2018].

Planteknik, 2019, <http://www.planteknik.com/boru-ic-hizalama-kelepçesi/pnomatik-ic-hizalama-kelepçesi> [Ziyaret tarihi: 12 Aralık 2018].

Akmercan, 2014, Akmercan Mardin Doğalgaz Dağıtım san. ve tic. A.Ş çelik boru teknik şartnamesi, Mardin.

Olgun S., (1998), “Doğal gaz ve petrol taşıyan boruların kaynağında kaynak hatalarının tespiti ve alınması gereken tedbirler”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Anık, S., 1991, “Örtülü Elektrot ile Elektrik Ark Kaynağı” Gedik Eğitim Vakfı, İstanbul.

Madazalıoğlu, A., (2009), “Boru hattı inşaatında kaynağın yeri ve önemi” [online]. [http://www.oerlikon.com.tr/pls/oerlikon/Tec\\_Pkg.download?filename=F26722/4\\_İnternet-boru hattı \\_pipe-line\\_ inşaatında kaynağın yeri ve önemi.pdf](http://www.oerlikon.com.tr/pls/oerlikon/Tec_Pkg.download?filename=F26722/4_İnternet-boru%20hattı_pipe-line_inşaatında_kaynağın_yeri_ve_önemi.pdf).

Enkon, 2018, <https://www.google.com/search?q=penetrant+testi&source> [online]-enkon [Ziyaret tarihi: 22 Kasım 2018].

Asarkaya, M., 2006, “Gemi inşasında kullanılan kaynak yöntemlerinin mekanik özelliklere etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

API 1104, (1999) “Standard for welding pipelines and related facilities, 19. Edition”, American Petroleum Enstitü.

Aktaş, O, 2017, ”Petrol ve doğalgaz boru hatlarında kullanılan boruların mekanik özelliklerinin incelenmesi “ (Yüksek Lisans Tezi), İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay.


MEB, 2014 tesisat teknolojisi ve iklimlendirme elektrik ark boru kaynağı [online], Ankara [Ziyaret tarihi: 10 Aralık 2018].









		Cuđi Mah. TPAO Bulv. Onat Apt. No : 4101 Merkez/BATMAN		<b>RADYOGRAFİK MUAYENE RAPORU</b> RADIOGRAPHIC INSPECTION REPORT										
		Tel 0543 481 46 12	Web teknikndtmhendislik.com			RAPOR NO / Report No :	TARİH / Date : 31.07.2018	SAYFA/Page						
ANA FIRMA Main Customer		AKMERCAN MARDİN DOĞALGAZ A.Ş		MALZEME ET KALINLIĞI Material Thickness (mm)										
MÜŞTERİ Customer		S.G.S TURİZM TAŞ.İNS.PET.ÜRÜN.TEM. VE GIDA SAN.ĐİŞ TİC.LTD.ŞTİ	AKSA İNŞAT TAAH.TURZ.GIDA SAN.VE.TİC.LTD.ŞTİ	ODAK BOYUTU Focus Size										
PROJE ADI Project Name		8" 4700 ST8 02		AKTİVİTE Activity ( Ci )										
TEST EDİLEN PARÇA Item Tested		" V " ALIN KAYNAĞI		İZOTOP TİPİ Type of Source										
MALZEME STANDARDI Material Standart		API 5L GRB		PENETREMETRE YERİ/TİPİ Penetrometer Place / Type										
KAYNAK YÖNTEMİ Welding Process		GMAW <input checked="" type="checkbox"/> Ark Kay	GTAW <input type="checkbox"/> Tig Kay	SMAW <input checked="" type="checkbox"/> Örtülü Elek. Kay.	İŞİNLAMA SÜRESİ Exposure Time (sn)									
KAYNAK BİRLEŞTİRMESİ Weld Preparation		<input checked="" type="checkbox"/> V	<input type="checkbox"/> X	<input type="checkbox"/> K	KOŞE	FİLM TİPİ Film Type								
TEST KAPSAMI Scope Of Test		%100		GÖRÜNTÜ KAL TEL SAYISI Quality Image Wide Piece										
TEST STANDARDI Examination Standart		TS EN ISO 17636-1		FİLM EKRAMI TİPİ Type of Screen										
DEĞERL. STANDARDI Evaluation of Examination		TS EN ISO 10675 SEVİYE II		KODAK T200										
<b>HATA TİPLERİ VE KISALTMALARI / TYPE OF DEFECT AND ABBREVIATIONS</b>														
Aa/2011: GÖZENEK Porosity		Ba/3012: CÜRUF KALINTISI Slag Inclusion		Db/4013: TEK TARAFLI KÖK HATASI / Single Side Root Defect										
Ab/2016: GÖZENEK KANALLARI Porosity Line		Bb/3011: CÜRUF HATTI Linear Slag Line		Dc/402: NUFİSEY NOKSANLIĞI Incomplate Penetration										
Ac/2014: GÖZENEK ZİNCİRİ Porosity Line		C/401: BİRLEŞME NOKSANLIĞI Fusion Lack Of		E /100: CATLAK Crack										
Ad/2013: GÖZENEK GRUPLARI Porosity Group		Da/515: KÖKTE KONKAVLİK Root Concavity		Fa/504: KÖKTE AŞIRI NUFİSYET Excessive Root Penetration										
				Fb/502: KÖTÜ KAYNAK YÜZEYİ Bad Surface										
				Fc/501: YANMA OLUĞU Undercut										
				H/304: METALİK KALINTI Metalic Inclusion										
				Ff / Rr : FİLM HATASI Film Failure / Re Shut										
				K/202: ÇEKME BOŞLUĞU Shrinkage Cavity										
				A : KABUL Accept										
				R : TAMİR Repair										
				Ff / Rr : FİLM HATASI Film Failure / Re Shut										
				K/202: ÇEKME BOŞLUĞU Shrinkage Cavity										
<b>FİLM TANIMI / Film Identification</b>														
S/N	KAYNAK NO Weld No		İNCELEME BÖLGESİ EXAM. LINE	KAYNAKÇI NO Welder No	ÇAP Diameter	YOĞUNLUK Density	C/Q	FİLM EBADI Film Size			DEĞERLENDİRME / Evaluation			
	10X12	10X16						10X24	10X36	NOTLAR Notes	HATA CİNSİ Defect Type		HATA YERİ Defect Location	
1	W 230	0-69	11	8"	10 FEEN	4					OK			
2	W 231	0-69	11	8"	10 FEEN	4					OK			
3	W 232	0-69	11	8"	10 FEEN	4					OK			
4	W 233	0-69	11	8"	10 FEEN	4					OK			
5														
6														
7														
8														
9														
10														
11														
12														
13														
14														
15														
16														
17														
18														
19														
20														
21														
22														
23														
24														
25														
26														
27														
28														
29														
30														
FİLM ANI		10X12	10X16	10X24	10X36	NOTLAR Notes								
TESTİ YAPAN Operator		SALİM DEMİR LEVEL II		KONTROL EDEN Controlled By		ONAY Approved		Ölcay ÖZARİK NOT-RO LEVEL II CERT No: 13374						

**EK-2 elik boru ve test cihazı akreditasyon sertifikası**



ERDEMLİ DEMİR VE ÇELİK FABRİKALARI T.A.Ş.

**TEST SERTİFİKASI**

ÇIKARILMIŞ SERMAYE : 3.500.000.000 TL

EN 10204 : 2004 TYPE 2.2 TARİH : 14.04.2018

ÜRETİM YERİ : ERDEMİR

SERTİFİKA NO : 8059373Y

SAYFA NO : 1

MÜŞTERİ ADI : TOŞÇELİK PROFİL VE SAÇ END. A.Ş.

SİPARİŞ NO : 88110853802

EBAT, mm : 4.4 x 1568 x R

STANDART ve KALİTESİ : API 5L/EN ISO 3183-2012 PSL2 L245N/BN (ERDEMİR 9036)

ÜRÜN TİPİ ve AÇIKLAMASI : RKK:KENARLARI KESİLMEMİŞ RULO

ÜRÜN BİLGİLERİ				MEKANİK ÖZELLİKLER										KİMYASAL BİLEŞİM, POTA ANALİZİ %														
ETİKET NO	AĞIRLIK (kg)	DÖKÜM NO	BORİN veya LEVHA NO	DİLİM veya LEVHA ADET	ÇEKME TESTİ				KAT LAMA	Ag veya BH DEG.	r	A/C veya n DEG.	DARBE TESTİ, joule				YÜK. SIC. °C	C %	Mn %	P %	S %	SI %	AL %	CU %	CR %	NI %	MO %	CEQ %
					NUM. YER.	AKMA N/MM2	ÇEKME N/MM2	% UZ. DSO					1	2	3	ORT.												
0358923359	15770	18111871	1185262472000		BE	372.7	499.2	45			74.6						0.150	0.568	0.014	0.003	0.227	0.053	0.050	0.031	0.047	0.002	0.258	


ERDEMLİ DEMİR VE ÇELİK FABRİKALARI T.A.Ş. BU MALZEMENİN BAZI OKSİJEN METODU İLE YAPILMIŞ OLDUĞUNU VE API 5L/EN ISO 3183-2012 PSL2 L245N/BN (ERDEMİR 9036) KATİDELERİNE UYGUN OLARAK TEST EDİLDİĞİNİ YUKARIDAKİ DEĞERLERİ İLE TEVSİK EDER.

KAAN TANIRÖVER  
METALURJİ LABORATUVARI  
YÖNETİCİSİ

KAMBER AYGÖREN  
SOĞUK ÜRÜN  
KALİTE METALURJİ MÜDÜRÜ

NOT : B : Baştan O : Ortadan S : Sondan E : Enine L : Boyuna  
Bu test raporu, DIN EN 10204 bölüm 5'e göre, uygun bir veri işleme sistemi tarafından hazırlanmış ve imza olmadan geçerlidir.

MERSİS No (İstanbul Merkez): 0352-0006-4260-0020 Ticaret Sicil No (İstanbul Şube): 90659 Ticaret Sicil No (Ereğli Şube): 1574/272  
Merkez: İstanbul, Barbaros Mah. Ardeş Sok. No:6 PK:34746 Ataşehir-İstanbul  
www.erdemir.com.tr



## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Adnan DOĞAN  
**Uyruğu** : T.C  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : BATMAN -1986  
**Telefon** : 546 503 97 22  
**Faks** :  
**e-mail** : Adnan—dogan@hotmail.com

### EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Batman Anadolu Lisesi	2006
Üniversite	: Gaziantep Üniversitesi	2012
Yüksek Lisans	: Batman Üniversitesi	
Doktora	:	

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2012	Özcan Mühendislik	Saha Mühendisi
2013	Aksa Doğalgaz	Kontrol Mühendisi
2014	Setyol Makina	Şantiye Şefi
2015	Arz Mühendislik	Proje Müdürü

### UZMANLIK ALANI

C Sınıfı İsg Uzman

### YABANCI DİLLER

İngilizce

### BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

### YAYINLAR

