



**T. C.
SİVAS CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ENDÜSTRİYEL TESİSLERDE DOĞAL GAZ ÇELİK BORU
KAYNAK UYGULAMALARI VE KAYNAKLI BAĞLANTILARIN
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Bahadır Furkan KINACI
(20179215008)**

**Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Tez Danışmanı: Dr. Öğretim Üyesi Ahmet AKKUŞ
2. Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Cevat ÖZARPA**

**SİVAS
TEMMUZ 2019**

Bahadır Furkan KINACI'nın hazırladığı ve "ENDÜSTRİYEL TESİSLERDE DOĞAL GAZ ÇELİK BORU KAYNAK UYGULAMALARI VE KAYNAKLI BAĞLANTILARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ" adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı Dr. Öğr. Üyesi Ahmet AKKUŞ
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi

2. Danışman Dr. Öğr. Üyesi Cevat ÖZARPA
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyesi Dr. Öğr. Üyesi Aydın Demir
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi

Jüri Üyesi Doç. Dr. Ceyhun Köse
Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi

Jüri Üyesi Dr. Öğr. Üyesi Ahmet YÜCEL
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi



Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. İsmail ÇELİK

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Senatosu'nun 20.08.2014 tarihli ve 7 sayılı kararı ile kabul edilen Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Tez Yazım Kılavuzu'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırlanmıştır.



Bütün hakları saklıdır.

Kaynak göstermek koşuluyla alıntı yapılabilir.

© Bahadır Furkan KINACI, 2019



Hayatımın her vaktinde bana destek olan kıymetli babam Mehmet KINACI, değerli annem ve canım kardeşime.

ETİK

Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tez Yazım Kılavuzu'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- ✓ Bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- ✓ Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- ✓ Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere, bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu ve atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- ✓ Bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ✓ Tezin herhangi bir bölümünü, Cumhuriyet Üniversitesi veya bir başka üniversitede, bir başka tez çalışması olarak sunmadığımı; beyan ederim.

12.07.2019

Bahadır Furkan KINACI

KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR

Tecrübesi, deneyimleri, iyi niyeti ve insani yönüyle örnek bir insan olan tez aşaması ve ders döneminde her an desteklerini esirgemeyen değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Ahmet AKKUŞ'a çok teşekkür ederim.

Doğal gaz sektöründe ülkemizin değerlerinden olan, insanlığı, yardım severliği ve deneyimleri ile tez aşamasında ve hayatımın birçok anında yardımlarını esirgemeyip iyi ve doğru yetişmemiz için çabalayan 2. danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Cevat ÖZARPA'ya çok teşekkür ederim.

Testlerin yapılması ve teknik aşamalarda destek olan UGETAM A.Ş. firmasına ve UGETAM A.Ş. firmasının kaynak mühendisi Tarık MENTEŞ'e çok teşekkür ederim.

ÖZET

ENDÜSTRİYEL TESİSLERDE DOĞAL GAZ ÇELİK BORU KAYNAK UYGULAMALARI VE KAYNAKLI BAĞLANTILARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Bahadır Furkan KINACI

Yüksek Lisans Tezi

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Ahmet AKKUŞ

2.Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Cevat ÖZARPA

2019, 99+xix sayfa

Doğal gaz endüstriyel tesislerde üretim, ısınma ve mutfak hatlarında birincil enerji kaynağı olarak kullanılmaya devam etmektedir. Farklı doğal afetlerin görüldüğü ülkemizde, endüstriyel tesislerde gazın kullanıldığı noktalara taşıyan çelik boru hatlarının dayanımı ve en uygun mekanik özelliklere sahip olması için farklı birleştirme yöntemleri kullanılmaktadır. Dişli birleştirme ve flanşlı birleştirmenin yanında, en yoğun şekilde kullanılan çelik boruların birleştirme tekniği kaynaklı birleştirme yöntemidir.

Bu çalışmada doğal gaz hatlarında kullanılan TS EN ISO 3183 standardında tanımlanan 3 farklı, X42N, Kalite A ve Kalite B çelik boruların, oksî-gaz, elektrik ark ve tig kaynak yöntemleri ile birleştirilmiştir. Farklı kalite borularda farklı kaynak yöntemlerinin mekanik özelliklere olan etkisi araştırılmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Doğal Gaz Tesisatı, Çelik Boru, Oksî-Gaz Kaynağı, Elektrik Ark Kaynağı, TIG Kaynağı

ABSTRACT

NATURAL GAS STEEL PIPE WELDING APPLICATIONS AND INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF WELDED JOINTS IN INDUSTRIAL FACILITIES

Bahadır Furkan KINACI

Master of Science Thesis

Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Ahmet AKKUŞ

2. Supervisor: Asst. Prof. Dr. Cevat ÖZARPA

2019, 99+xix pages

Natural Gas continue to be used as primary energy source for manufacturing, warming and kitchen lines in the industrial facilities. In our country where are seen various natural disasters, various combine techniques for strength and optimum mechanical properties of steel pipe lines delivering the gas into areas which is used in the industrial facilities is to be employed. The most commonly used combine technique of steel pipes is welded joint technique as well as threaded joint and flanged joint.

In this study, 3 different types of steel pipes consisting of X42N, Quality A and Quality B defined in TS EN ISO 3183 standard used in natural gas lines joined welded with oxy-gas, electric arc and tig welding. The effect on mechanical peoperties of different welding methods in different quality pipes was investigated and the results were compared.

Key Words: Natural Gas İnstallation, Steel Pipe, Oxy-Gas Welding, Electric Arc Welding, TIG welding

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR.....	vii
ÖZET	viii
ABSTRACT.....	ix
İÇİNDEKİLER	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xvii
SİMGELER DİZİNİ.....	xviii
KISALTMALAR DİZİNİ	xix
1. GİRİŞ.....	1
2. DOĞAL GAZ.....	3
2.1. İnsan Yaşamı Ve Çevre Açısından Doğal Gaz Enerjisi.....	4
2.2. Kullanılan Taşıma Yöntemleri	4
2.2.1. Türkiye’de doğal gaz taşınması.....	6
2.3. Doğal Gaz Tesisatları	9
2.3.1. Doğal gaz dış tesisat	9
2.3.1.1. Endüstriyel ve büyük tüketimli tesisler için dış tesisat.....	9
2.3.1.2. Evsel ve düşük tüketimli hatlar için dış tesisat.....	10
2.3.2. Doğal gaz iç tesisat	10
2.3.2.1. Endüstriyel ve büyük tüketimli tesisler için iç tesisat	11
2.3.2.2. Evsel ve düşük tüketimli hatlar için iç tesisat.....	12
2.3.3. Tesisatın ve tüketimin temel ekipmanları.....	12
2.3.3.1. Vanalar.....	13
2.3.3.2. Çelik borular	13
2.3.3.3. Polietilen borular	14
2.3.3.4. Regülatörler	14
2.3.3.5. Filtre.....	15
2.3.3.6. Manometre.....	15
2.3.3.7. Servis kutusu.....	16
2.3.3.8. Mekanik sayaçlar	16
2.3.3.9. Doğal gaz elektronik gaz hacim düzeltici (korrektör)	18
2.3.3.10. Bağlantı ekipmanları.....	18
2.3.3.11. Mutfak cihazları.....	19
2.3.3.12. Kat Kaloriferleri;	19

2.3.3.13.	Kombi	20
2.3.3.14.	Şofben	21
2.3.3.15.	Doğal Gaz Sobaları	21
2.3.3.16.	Merkezi Sistem Kazanları	21
2.3.3.17.	Endüstriyel tesislerde yüksek tüketim cihazları	22
2.3.4.	Saha uygulamalarında kullanılan borular	24
2.3.5.	Çelik boruların korunma yöntemleri	25
2.4.	Çelik Doğalgaz Borularının Birleştirme Yöntemleri	28
2.4.1.	Flanşlı birleştirme	28
2.4.2.	Dişli birleştirme	29
2.4.3.	Kaynaklı birleştirme	29
3.	MATERYAL VE METOD	30
3.1.	İncelenecek Boru Tipleri	31
3.1.1.	X42N çelik boru	34
3.1.2.	Kalite A çelik boru	35
3.1.3.	Kalite B çelik boru	35
3.2.	Uygulanan Kaynak Yöntemleri	36
3.2.1.	TIG kaynak yöntemi (GTAW)	38
3.2.2.	Elektrik ark kaynak yöntemi (SMAW)	40
3.2.3.	Oksi-Gaz kaynak yöntemi (OAW)	43
3.3.	Deney Numuneleri Hazırlanması	45
3.3.1.	Testler öncesi numune görüntüleri	48
3.3.2.	Test uygulama yöntemleri	52
4.	BULGULAR	54
4.1.	Kaynaklı Boruların Radyografik Muayene Bulguları	54
4.1.1.	TIG kaynak yöntemi radyografik muayene bulguları	54
4.1.2.	Elektrik ark kaynak yöntemi radyografik muayene bulguları	55
4.1.3.	Oksi-Gaz kaynak yöntemi radyografik muayene bulguları	56
4.2.	TIG Kaynak Yöntemi Bulguları	59
4.2.1.	Kalite B boru bulguları	59
4.2.2.	X42N boru bulguları	61
4.2.3.	Kalite A boru bulguları	62
4.3.	Elektrik Ark Kaynak Yöntemi Bulguları	64
4.3.1.	Kalite B boru bulguları	64
4.3.2.	X42N boru bulguları	65
4.3.3.	Kalite A boru bulguları	67
4.4.	Oksi-Gaz Kaynak Yöntemi Bulguları	68
4.4.1.	Kalite B boru bulguları	68
4.4.2.	X42N boru bulguları	70
4.4.3.	Kalite A boru bulguları	72
4.5.	Test Sonuçları Karşılaştırılması	74

4.5.1. Kök eğme testi sonuçları	74
4.5.2. Çentikli kırma testi sonuçları.....	75
4.5.3. Makro yapı incelemesi sonuçları.....	76
4.5.4. Sertlik testi sonuçları	77
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	81
KAYNAKLAR	83
EKLER	87
EK-1 Kaynak İşlem Raporu Örneği	88
EK-2 Radyografik Test Raporları	89
EK-3 Kök Eğme Test Raporu Örneği	91
EK-4 Çentikli Kırma Test Raporu Örneği	93
EK-5 Makro Yapı Test Raporu Örneği	95
EK-6 Sertlik Test Raporu Örneği.....	97
ÖZGEÇMİŞ	99

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1 BP Verilerinde 2017 Yılında Dünya Üzerindeki Birincil Enerji Tüketim Oranları	1
Şekil 1.2 BP Verilerinde 2017 Yılında Türkiye’de Kullanılan Birincil Enerji Tüketim Oranları	2
Şekil 2.1 Metan Gazı Yanma Tepkimesinin Giren ve Çıkan Bileşenleri (5)	3
Şekil 2.2 Doğal Gaz Kokulandırma İstasyonu	4
Şekil 2.3 Boru Hattı Taşımacılığı	5
Şekil 2.4 LNG Taşımacılığında Kullanılan Yük Gemisi.....	6
Şekil 2.5 Türkiye’de Mevcut Boru Hatları ve Projeleri 2018 (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı).....	8
Şekil 2.6 Endüstriyel ve Büyük Tüketimli Hatların Doğal Gaz Ana Şebekeden Beslenmesi	9
Şekil 2.7 RMS – A ve RMS – C İstasyonu	10
Şekil 2.8 Evsel ve Düşük Tüketimli Hatların Doğal Gaz Ana Şebekeden Beslenmesi .	10
Şekil 2.9 Büyük Tüketimli Hatlar İçin İç Tesisat Diyagramı.....	11
Şekil 2.10 Evsel Hatlar İçin İç Tesisat Diyagramı	12
Şekil 2.11 Doğal Gaz Hatlarında Kullanılan Vana Örnekleri	13
Şekil 2.12 Doğal Gaz Yüksek Taşıma Kapasiteli Yer Üstü Çelik Boru	13
Şekil 2.13 Polietilen Doğal Gaz Borusu	14
Şekil 2.14 Basınç Regülatörü	14
Şekil 2.15 İstasyonlarda Kullanılan Filtre ve Filtre Kartuşu	15
Şekil 2.16 Manometre.....	15
Şekil 2.17 Farklı Tip Doğal Gaz Servis Kutuları (İGDAŞ)	16
Şekil 2.18 Rotary Metre Gaz Sayacı ve Körüklü Gaz Sayacı	16
Şekil 2.19 Doğal gaz Ölçümü Yapılan Türbinmetre Sayaç ve Elektronik Gaz Hacim Düzeltici (VHS Elektronik VİCOR).....	18
Şekil 2.20 Dişli ve Flanşlı Birleştirme Ekipmanları ve Kaynaklı Birleştirme	19
Şekil 2.21 Doğal Gaz Kullanılan Mutfak Ocağı.....	19
Şekil 2.22 Katı Yakıtlı (1), Sıvı ve Gaz Yakıtlı (2), Elektrikli (3) Kat Kaloriferi.....	20
Şekil 2.23 Sıcak Su ve Isınma Amaçlı Kullanılan Kombi	20
Şekil 2.24 Sıcak Su Amaçlı Kullanılan Şofben	21
Şekil 2.25 Doğalgaz Sobası	21
Şekil 2.26 Merkezi Sistem Kazanı ve Kazan Dairesi	22
Şekil 2.27 Kojenerasyon Santrali Temel Çalışma Yapısı.....	23
Şekil 2.28 Trijenerasyon Santrali Temel Çalışma Yapısı.....	23
Şekil 2.29 İç Tesisat Boru Hat Detayları	25
Şekil 2.30 Çelik Boru Üzerine Polietilen Kaplama Adımları	26
Şekil 2.31 (a) Dış Akım Kaynaklı (b) Galvanik Anot Yataklı Katodik Sistem	27
Şekil 2.32 Mekanik Deprem Vanası.....	27
Şekil 2.33 Sismik Sınırlayıcı Örneği	28
Şekil 2.34 Flanşlı Birleştirme Yöntemi	28
Şekil 2.35 Dişli Birleştirme Ekipmanları	29
Şekil 2.36 Boru Birleşiminde Kaynak Uygulaması.....	29

Şekil 3.1 Yöntem Akış Şeması	30
Şekil 3.2 TS EN ISO 3183 L290 X42N Numune Resmi	34
Şekil 3.3 TS EN ISO 3183 L210 Kalite A Numune Resmi	35
Şekil 3.4 TS EN ISO 3183 L245 Kalite B Numune Resmi.....	36
Şekil 3.5 Boruların Otomatik Testere İle Kesimi	36
Şekil 3.6 Taşlama İşlemi ve Kaynak Ağzı Açılması	37
Şekil 3.7 Boruların Kaynaklı Birleştirme Detayları	37
Şekil 3.8 Borular Arası Mesafenin 3 mm'ye Sabitlenmesi	37
Şekil 3.9 TIG Kaynak Ekipmanları	38
Şekil 3.10 (a) X42N (b) Kalite A (c) Kalite B Boruların TIG Kaynak Yöntemi ile Kaynak Edilmesi.....	39
Şekil 3.11 (a) X42N (b) Kalite A (c) Kalite B Boruların TIG Kaynak Yöntemi Sonrası Görüntüleri.....	40
Şekil 3.12 Elektrik Ark Kaynak Ekipmanları.....	40
Şekil 3.13 (a) X42N (b) Kalite A (c) Kalite B Boruların Elektrik Ark Kaynak Yöntemi ile Kaynak Edilmesi.....	42
Şekil 3.14 (a) X42N (b) Kalite A (c) Kalite B Boruların Elektrik Ark Kaynak Yöntemi Sonrası Görüntüleri.....	42
Şekil 3.15 Oksi-Gaz Kaynağı Ekipmanları	43
Şekil 3.16 (a) X42N (b) Kalite A (c) Kalite B Boruların Oksi-Gaz Kaynak Yöntemi ile Kaynak Edilmesi.....	44
Şekil 3.17 (a) X42N (b) Kalite A (c) Kalite B Boruların Oksi-Gaz Kaynak Yöntemi Sonrası Görüntüleri.....	45
Şekil 3.18 API 1104 Standardı Numune Çıkarım Detayı.....	46
Şekil 3.19 Kök Eğme Testi Numune Şematığı.....	46
Şekil 3.20 Çentik Darbe Testi Numune Şematığı.....	46
Şekil 3.21 Makro Yapı ve Sertlik Testi Numune Şematığı	47
Şekil 3.22 Testler Öncesi TIG Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmiş Kalite B Borunun Numune Resimleri (Parça kodu: 10)	48
Şekil 3.23 Testler Öncesi TIG Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmiş X42N Borunun Numune Resimleri (Parça kodu: 11)	49
Şekil 3.24 Testler Öncesi TIG Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmiş Kalite A Borunun Numune Resimleri (Parça kodu: 12)	49
Şekil 3.25 Testler Öncesi Elektrik Ark Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmiş Kalite A Borunun Numune Resimleri (Parça kodu: 7)	49
Şekil 3.26 Testler Öncesi Elektrik Ark Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmiş Kalite B Borunun Numune Resimleri (Parça kodu: 8)	50
Şekil 3.27 Testler Öncesi Elektrik Ark Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmiş X42N Borunun Numune Resimleri (Parça kodu: 9)	50
Şekil 3.28 Testler Öncesi Oksi-Gaz Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmiş X42N Borunun Numune Resimleri (a) Parça kodu: 1 (b) Parça kodu: 6.....	51
Şekil 3.29 Testler Öncesi Oksi-Gaz Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmiş Kalite A Borunun Numune Resimleri (a) Parça kodu: 2 (b) Parça kodu: 4.....	51
Şekil 3.30 Testler Öncesi Oksi-Gaz Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmiş Kalite B Borunun Numune Resimleri (a) Parça kodu: 3 (b) Parça kodu: 5.....	52
Şekil 4.1 TIG Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmiş Kalite B Boru (Parça Kodu: 10).....	54
Şekil 4.2 TIG Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmiş X42N Boru (Parça Kodu: 11)	55

Şekil 4.3 TIG Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmiş Kalite A Boru (Parça Kodu: 12).....	55
Şekil 4.4 Elektrik Ark Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmiş Kalite A Boru (Parça Kodu: 7)	55
Şekil 4.5 Elektrik Ark Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmiş Kalite B Boru (Parça Kodu: 8)	56
Şekil 4.6 Elektrik Ark Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmiş X42N Boru (Parça Kodu: 9)	56
Şekil 4.7 Oksi – Gaz Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmiş X42N Boru (Parça Kodu: 1)	56
Şekil 4.8 Oksi – Gaz Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmiş X42N Boru (Parça Kodu: 6)	57
Şekil 4.9 Oksi – Gaz Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmiş Kalite A Boru (Parça Kodu: 2)	57
Şekil 4.10 Oksi – Gaz Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmiş Kalite A Boru (Parça Kodu: 4)	58
Şekil 4.11 Oksi – Gaz Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmiş Kalite B Boru (Parça Kodu: 3)	58
Şekil 4.12 Oksi – Gaz Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmiş Kalite B Boru (Parça Kodu: 5)	58
Şekil 4.13 Kök Eğme Testi Sonrası Numune Görünümü (Parça Kodu: 10)	59
Şekil 4.14 Çentikli Kıрма Testi Sonrası Numune Görünümü (Parça Kodu: 10)	60
Şekil 4.15 Numunenin Makro Yapısı (Parça Kodu: 10)	60
Şekil 4.16 Numunenin Sertlik İncelemesi (Parça Kodu: 10)	60
Şekil 4.17 Kök Eğme Testi Sonrası Numune Görünümü (Parça Kodu: 11)	61
Şekil 4.18 Çentikli Kıрма Testi Sonrası Numune Görünümü (Parça Kodu: 11)	61
Şekil 4.19 Numunenin Makro Yapısı (Parça Kodu: 11)	61
Şekil 4.20 Numunenin Sertlik İncelemesi (Parça Kodu: 11)	62
Şekil 4.21 Kök Eğme Testi Sonrası Numune Görünümü (Parça Kodu: 12)	62
Şekil 4.22 Çentikli Kıрма Testi Sonrası Numune Görünümü (Parça Kodu: 12)	63
Şekil 4.23 Numunenin Makro Yapısı (Parça Kodu: 12)	63
Şekil 4.24 Numunenin Sertlik İncelemesi (Parça Kodu: 12)	63
Şekil 4.25 Kök Eğme Testi Sonrası Numune Görünümü (Parça Kodu: 8)	64
Şekil 4.26 Çentikli Kıрма Testi Sonrası Numune Görünümü (Parça Kodu: 8)	64
Şekil 4.27 Numunenin Makro Yapısı (Parça Kodu: 8)	65
Şekil 4.28 Numunenin Sertlik İncelemesi (Parça Kodu: 8)	65
Şekil 4.29 Kök Eğme Testi Sonrası Numune Görünümü (Parça Kodu: 9)	66
Şekil 4.30 Çentikli Kıрма Testi Sonrası Numune Görünümü (Parça Kodu: 9)	66
Şekil 4.31 Numunenin Makro Yapısı (Parça Kodu: 9)	66
Şekil 4.32 Numunenin Sertlik İncelemesi (Parça Kodu: 9)	67
Şekil 4.33 Kök Eğme Testi Sonrası Numune Görünümü (Parça Kodu: 7)	67
Şekil 4.34 Çentikli Kıрма Testi Sonrası Numune Görünümü (Parça Kodu: 7)	67
Şekil 4.35 Numunenin Makro Yapısı (Parça Kodu: 7)	68
Şekil 4.36 Numunenin Sertlik İncelemesi (Parça Kodu: 7)	68
Şekil 4.37 Kök Eğme Testi Sonrası Numune Görünümü (Parça Kodu: 3 ve 5)	69
Şekil 4.38 Çentikli Kıрма Testi Sonrası Numune Görünümü (Parça Kodu: 3 ve 5)	69
Şekil 4.39 Numunenin Makro Yapısı (Parça Kodu: 3 ve 5)	69
Şekil 4.40 Numunenin Sertlik İncelemesi (Parça Kodu: 3 ve 5)	70
Şekil 4.41 Kök Eğme Testi Sonrası Numune Görünümü (Parça Kodu: 1 ve 6)	70
Şekil 4.42 Çentikli Kıрма Testi Sonrası Numune Görünümü (Parça Kodu: 1 ve 6)	71
Şekil 4.43 Numunenin Makro Yapısı (Parça Kodu: 1 ve 6)	71

Şekil 4.44 Numunenin Sertlik İncelemesi (Parça Kodu: 1 ve 6).....	72
Şekil 4.45 Kök Eğme Testi Sonrası Numune Görünümü (Parça Kodu: 2 ve 4)	72
Şekil 4.46 Çentikli Kırma Testi Sonrası Numune Görünümü (Parça Kodu: 2 ve 4)	73
Şekil 4.47 Numunenin Makro Yapısı (Parça Kodu: 2 ve 4).....	73
Şekil 4.48 Numunenin Sertlik İncelemesi (Parça Kodu: 2 ve 4).....	74
Şekil 4.49 TIG Kaynağı Sertlik Sonuçları.....	78
Şekil 4.50 Elektrik Ark Kaynağı Sertlik Sonuçları	78
Şekil 4.51 Oksi-Gaz Kaynağı Sertlik Sonuçları	79



ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 1.1 EPDK'nın 2017 Yılı Doğal Gaz Verileri (3).....	2
Çizelge 2.1 Doğal Gazın Yanma Tepkimesi Verileri.....	3
Çizelge 2.2 LNG Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	5
Çizelge 2.3 Farklı Tip Sayaçların Maksimum Çalışma Basıncı Aralığı	17
Çizelge 3.1 TS EN ISO 3183 ve API 5L Standartlarına Göre Farklı Kalite ve Şartname Seviyeleri	31
Çizelge 3.2 TS EN ISO 3183 ve API 5L Standartlarına Göre Et Kalınlığı 25 mm'den Küçük Olan PSL 1 Kalitesindeki Boruların Yüzdelik Kimyasal Bileşimleri.....	32
Çizelge 3.3 TS EN ISO 3183 ve API 5L Standartlarına Göre Et Kalınlığı 25 mm'den Küçük Olan PSL 2 Kalitesindeki Boruların Yüzdelik Kimyasal Bileşimleri.....	32
Çizelge 3.4 (a) PSL 1 Şartname Seviyesi Boru Çekme Deneyi Minimum Değerler (b) PSL 2 Şartname Seviyesi Boru Çekme Deneyi Minimum Değerler	33
Çizelge 3.5 TS EN ISO 3183 L290N X42N Kalite Boru Numune Detayları	34
Çizelge 3.6 TS EN ISO 3183 PSL1 L210 Kalite A Boru Numune Detayları	35
Çizelge 3.7 TS EN ISO 3183 PSL1 L245 Kalite B Boru Numune Detayları	35
Çizelge 3.8 Kaynak Uygulama Parametreleri	38
Çizelge 3.9 Geka SG2 Kaynak Teli Özellikleri	39
Çizelge 3.10 Kaynak Uygulama Parametreleri	41
Çizelge 3.11 AS S-6010 Selülozik Elektrot Özellikleri	41
Çizelge 3.12 Kaynak Uygulama Parametreleri	43
Çizelge 3.13 Geka SG2 Kaynak Teli Özellikleri	44
Çizelge 3.14 API 1104 Standardı Kaynaklı Parçada Çıkarılabilecek Numune Adedi ...	47
Çizelge 3.15 Test Çalışması Markalama Çizelgesi	48
Çizelge 4.1 Radyografik Muayene sonuçları	59
Çizelge 4.2 Kök Eğme Testi Sonuçları	75
Çizelge 4.3 Çentikli Kırma Testi Sonuçları.....	76
Çizelge 4.4 Makro Yapı İnceleme Sonuçları.....	77
Çizelge 4.5 X42N, Kalite B ve Kalite A Boruların Sertlik Ortalamaları	79
Çizelge 4.6 TIG, Elektrik Ark ve Oksi-Gaz Kaynağın Sertlik Ortalamaları.....	80

SİMGELER DİZİNİ

m³	Metreküp,
Sm³	Standart metreküp, Standart şartlardaki gazın metreküp cinsinden karşılığı
bar birim	Gaz ve sıvı basınçlarının ifadesinde kullanılan 1 birimi 1*10 ⁵ Pa (Pascal)'a eşit
mbar	Milibar, Bar biriminin 1000'de 1' büyüklüğü
mm	Milimetre
MPa	Mega Pascal (1*10 ⁶ Pas) 1 Mpa 0,1 Bar'a eşit birim
m³/h	Metreküp / saat, birim saatte geçen maddenin metreküp cinsinden miktarı
kcal/h	Kilo kalori / saat, birim saate geçen maddenin kilo kalori cinsinden miktarı
kcal/m³	Kilo kalori / metreküp, birim hacimde geçen maddenin kilo kalori cinsinden miktarı
kg/m³	Kilogram / metreküp, birim hacimde geçen maddenin kilogram cinsinden miktarı
mg/m³	Mili gram/ metreküp
m/s	Metre / saniye, birim saniyede geçen maddenin metre cinsinden hızı
C	Karbon
Si	Silisyum
Mn	Mangan
P	Fosfor
S	Kükürt
Cr	Krom
Ni	Nikel
Mo	Molibden
Cu	Bakır
Al	Alüminyum
V	Vanadyum
Ti	Titanyum
Nb	Niobyum
HV	Vickers Sertlik Skalası
kN	1000 Newton
HNO₃	Nitrik Asit
CH₃OH	Metanol
C₂H₅OH	Etanol

KISALTMALAR DİZİNİ

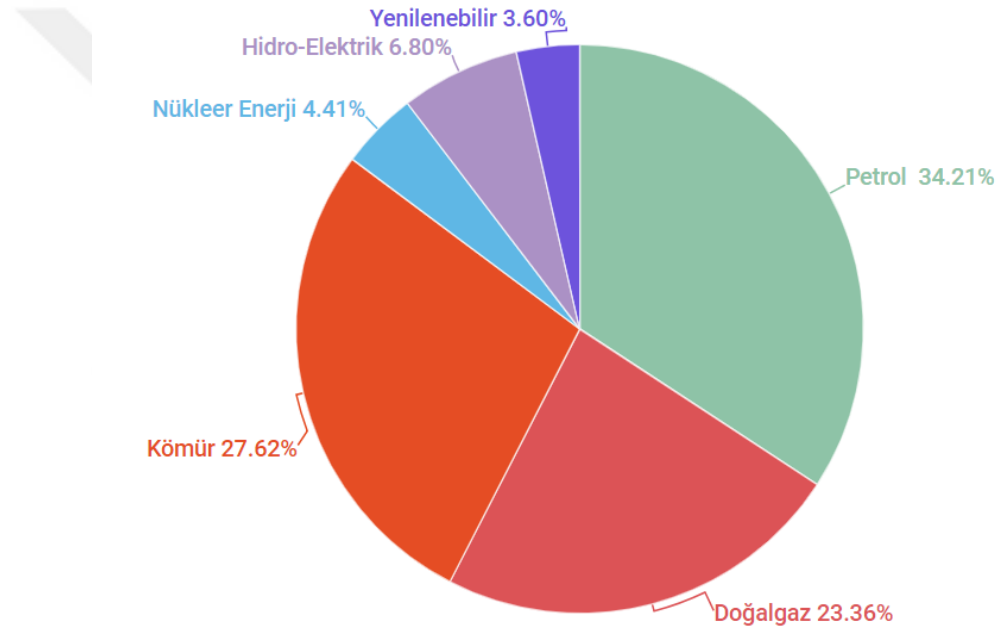
CÜ	: Cumhuriyet Üniversitesi
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
LNG	: Liquid Natural Gas
BP	: British Petroleum
BR	: Bölge Regülatörü
ITAB	: Isı Tesiri Altında Kalan Bölge
İGDAŞ	: İstanbul Gaz Dağıtım Sanayi ve Ticaret A.Ş.
UGETAM	: Uygulamalı Gaz ve Enerji Teknolojileri Araştırma Mühendislik Sanayi Ticaret A.Ş.
RMS	: Reducing and Metering Station
THT	: Tetra Hidro Tiyofen
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
ISO	: International Organization for Standardization
API	: American Petroleum Institute
EN	: Europeane Norm
BOTAŞ	: Boru Hatları İle Petrol Taşıma Anonim Şirketi
GTAW	: Gas Tungsten Arc Welding
SMAW	: Shielded Metal Arc Welding
OAW	: Oxy Acetylene Welding

1. GİRİŞ

Birincil enerji kaynakları insan yaşamında önemli bir yere sahiptir. Petrol, doğal gaz, kömür, nükleer enerji, hidro-elektrik ve yenilenebilir enerjinin oluşturduğu bu alan ulaşım, elektrik üretimi, endüstri ve evsel ısınma gibi farklı noktalarda kullanılıp dünya enerji ihtiyacının önemli bir kısmını karşılamaktadır (1).

Enerji kaynaklarının önemi neticesinde, sürdürülebilir kullanım sağlanması için doğru tarif edilmeli, planlanmalı ve kullanılmalıdır.

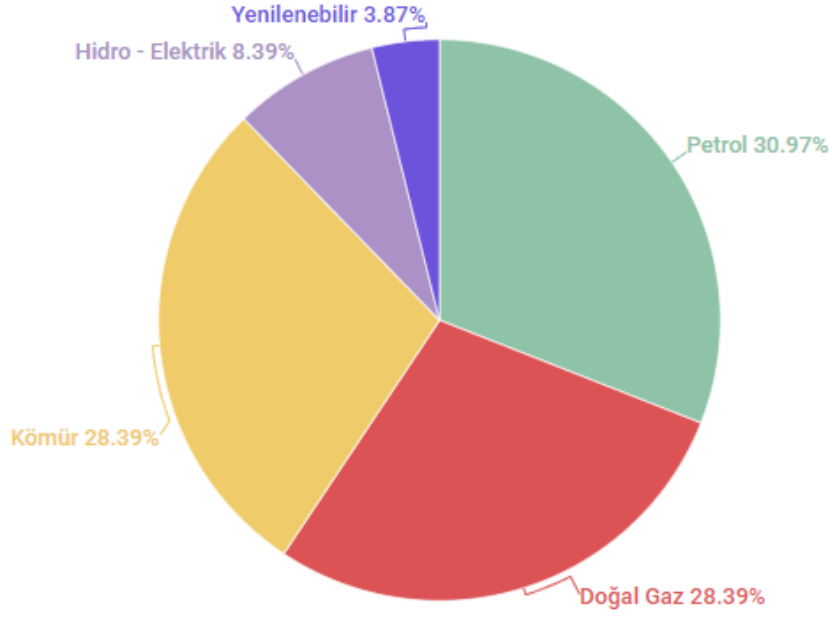
Şekil 1.1’de gösterilen grafikte dünya üzerinde kullanılan birincil enerji kaynaklarının, British Petroleum (BP)’un 2018 yılında hazırladığı 2017 yılının istatistiksel verilerine göre, en çok kullanılan enerji %34,21’lik oranla petrol olarak aktarılmıştır. Petrolü %27,62’lik oranla kömür ve %23,36’lik oranla doğal gaz takip etmektedir (2).



Şekil 1.1 BP Verilerinde 2017 Yılında Dünya Üzerindeki Birincil Enerji Tüketim Oranları

Türkiye enerji üretimi noktasında kayda değer petrol ve doğal gaz rezervlerine sahip bir ülke olmamak ile birlikte son yıllardaki artan nüfus ve endüstri alanındaki gelişmeler sonucu ciddi bir enerji kullanımına sahip ülke konumuna gelmiştir. Bu çalışmada incelemekte olduğumuz doğal gazın, çok büyük bir kısmı dış ülkelere satın alınarak enerji ihtiyacımız için kullanılmaktadır.

Şekil 1.2’de verilen grafikte BP’nin 2018 yılında hazırladığı 2017 yılı verilerine göre Türkiye’de kullanılan birincil enerji kaynaklarının oranları verilmiştir.



Şekil 1.2 BP Verilerinde 2017 Yılında Türkiye’de Kullanılan Birincil Enerji Tüketim Oranları

Veriler incelendiğinde Türkiye’de kullanılan birincil enerji sıralaması, Dünya üzerinde kullanılan enerji sıralamasına benzer olarak en fazla %30,97’lik oranla petrol, %28,39’luk oranlarla doğalgaz ve kömür enerjisi olarak oluşmuştur (2).

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumunun 2017 yılı doğal gaz sektör raporu verilerine göre kullanılan doğal gazın tamamına yakını ithal olarak sağlanmaktadır. Çizelge 1.1’de 2017 yılı sektör raporunun detayları verilmiştir (3).

Çizelge 1.1 EPDK’nın 2017 Yılı Doğal Gaz Verileri (3)

	Miktar Milyon Sm ³	Üretilen, İthal Edilen ve İhraç Edilen Yerler
Toplam Üretim	354,14	Tekirdağ, İstanbul, Kırklareli, Düzce, Adana Çanakkale, Adıyaman
İthalat	55.249,95	Rusya, İran, Azerbaycan, Cezayir, Nijerya, Spot LNG
Yurt İçi Satış (Tüketim)	53.857,14	
İhracat	630,67	Yunanistan

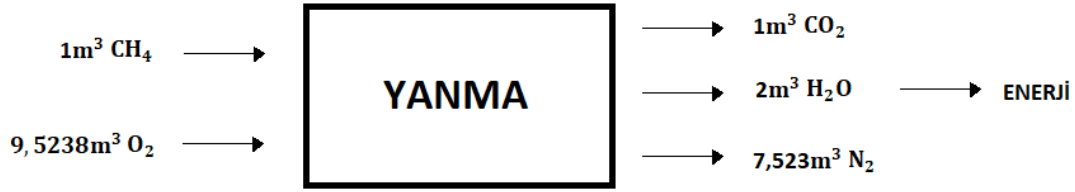
2. DOĞAL GAZ

Doğal gaz, fosil kaynaklı petrol türevi bir yanıcı gaz karışımıdır, ham petrol ve kömür dışında kullanılan en önemli enerji kaynaklarından biridir.

Doğal gaz içerik olarak;

%70-90 oranında metan gazı (CH_4) içerir, geriye kalanı etan (C_2H_6), propan (C_3H_8), bütan (C_4H_{10}) gazları ile düşük oranlarda, karbondioksit (CO_2), azot (N_2), helyum (He) ve hidrojen sülfür (H_2S) gazları bulundurmaktadır (4).

Doğal gazın yanması için oksijene (O_2) ihtiyaç vardır. 1m^3 metan (CH_4) gazı yaklaşık olarak $9,5238\text{m}^3$ oksijenle (O_2) tam olarak yanma gerçekleştirir. Şekil 2.1’de metan gazı yanma tepkimesi gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Metan Gazı Yanma Tepkimesinin Giren ve Çıkan Bileşenleri (5)

Çizelge 2.1’de 1m^3 doğal gazın yanması sonucu ısıl değerleri, özgül ağırlığı, tutuşma sıcaklığı ve alev hızı verilmiştir.

Çizelge 2.1 Doğal Gazın Yanma Tepkimesi Verileri

	Alt Isıl Değer kcal	Üst Isıl Değer kcal	Özgül Ağırlığı kg/m^3	Tutuşma Sıcaklığı $^\circ\text{C}$	Alev Hızı m/s
Doğalgaz (1m^3 Gazın Yanması)	8250	8750-9360	0.55	650	0,36

Gazlar genellikle kendilerine özgü bir koku içermektedirler, ancak metan (CH_4), karbon monoksit (CO), hidrojen (H_2) gazlarının bulunduğu gaz karışımları renksiz ve kokusuzdur. Doğal gaz belli oranlarda metan (CH_4) içermesi nedeniyle kokusuz bir gazdır. Taşıma esnasında oluşabilecek tehlike durumlarında fark edilebilir olması için içerisine kokulandırıcı gaz ilaveleri yapılmaktadır. İlave edilen bu gazlar, kükürtlü organik bileşiklerden oluşur ve yapısı en uygun olması sebebiyle genellikle THT gazı kullanılmaktadır. THT gazı TSE / TS 8038 standardının ön görmüş olduğu $7,5\text{ mg/m}^3$ olarak taşınan doğal gaz bileşeninin içerisine eklenmektedir. Şekil 2.2’de kokulandırma yapılan istasyon gösterilmiştir (6).



Şekil 2.2 Doğal Gaz Kokulandırma İstasyonu

Kullanıma başlaması dünya üzerinde 1790'lı yıllara kadar dayanan doğal gaz ülkemizde 1970'li yıllarda ilk çalışmalar ile başlayıp, evsel ve ticari olarak 1988 yılında Ankara'da, 1992'de İstanbul ve Bursa'da, 1996 yılında Eskişehir ve Kocaeli'nde kullanılmaya başlamıştır (7).

2.1. İnsan Yaşamı Ve Çevre Açısından Doğal Gaz Enerjisi

Enerji; insan yaşamının her evresinde ihtiyaç duyduğu aydınlanma, ısınma, ulaşım, üretim gibi noktalarda kullanılmaktadır.

Enerji kaynağı olarak kullanılan fosil yakıtların taşınması esnasında ve kullanımı sonucu ortaya çıkan çevre tahribatı ile muhtemel riskler çeşitli çalışmaların yapılmasını bununla birlikte önlemlerin doğru anlaşılıp uygulanmasını zorunlu hale getirmiştir. Fosil yakıtlar çeşitli reaksiyonlar sonucu içerisinde bulundukları enerjiyi dışarı verir, ortaya çıkan bu enerji üretim, ısınma, taşıma gibi işlemler için ciddi bir fayda sağlamakla birlikte kontrol edilememesi durumunda ciddi zararlara sebebiyet verebilir (8).

Artmakta olan enerji tüketimi; katı, sıvı, gaz ve radyoaktif atık bunlarla birlikte havadaki titreşim sonucu oluşan gürültü gibi haller ile çevreyi kirletmektedir. Gerçekleşen enerji kullanımları son 150 yılda atmosferdeki karbondioksit (CO_2) oranını %116 artırarak küresel ısınmaya sebep olmuştur (9).

2.2. Kullanılan Taşıma Yöntemleri

Doğal gazı taşımada en sık kullanılan yöntem boru hattı ile taşımadır. Boru hattı ile taşıma dışında basınçlı tanklarda sıvılaştırılmış gaz (LNG) olarak taşınabilir, ancak bu yöntem yüksek basınç ve düşük sıcaklıkta taşınma zorunluluğundan dolayı boru hattı ile taşımayı tercih edilir hale getirir (4).

Boru hattı taşımacılığı, ham petrol, doğal gaz ve su gibi ürünlerin taşınmasında kullanılmaktadır. İlk yatırım maliyeti çok olmasına rağmen, güvenilir ve yüksek taşıma kapasitesine sahip taşımacılık yöntemidir. Kurulduğu yerde sabit olması esnek bir taşıma yöntemi olmamasını ve geçiş yolları sebebiyle uluslararası iş birliğine ihtiyaç duyması

gibi farklı parametrelere sahiptir. Şekil 2.3'te doğal gaz taşınmasında kullanılan boru hattı gösterilmiştir (10).



Şekil 2.3 Boru Hattı Taşımacılığı

Bir diğer taşıma yöntemi olan LNG, üretimi ve taşımacılığı 1960'lı yıllara kadar gelişim göstermemiş ve günümüzde planlandığı noktaya henüz ulaşamamıştır. Yeni teknolojiler sayesinde, doğal gaz sıvılaştırma tesisleri, yeniden gazlaştırma tesisleri ve özel taşıma ekipmanlarında yaşanan gelişmeler LNG üretimlerini artırmaktadır (11).

Doğal gazın boru hatları ile taşınmasının mümkün olmadığı durumlarda, doğal gaz -159°C ile -162°C aralığında soğutularak sıvı hale getirilir. Çizelge 2.2'de LNG'nin fiziksel ve kimyasal özellikleri gösterilmiştir (12).

Çizelge 2.2 LNG Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Kimyasal İçeriği	Metan, Etan, Propan ve diğer hidrokarbonlar
Molekül Ağırlığı (kg/mol)	16,04
Kaynama Noktası ($^{\circ}\text{C}$)	-162
Likit Yoğunluk (kg/lt)	0,46
Gaz Yoğunluk (kg/m^3)	0,76
Kendiliğinden Tutuşma Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	580
Maksimum Alev Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	1954
Parlama Limitleri (Hava ile karışım oranı)	%5 - %15
Üst Isıl Değer (kcal/kg)	12930
Üst Isıl Değer (kcal/Sm^3)	9825
Sıvı/Gaz Genleşme Oranı	600
Buharlaştırma Basıncı (15°C 'de) bar	230

Şekil 2.4'te LNG taşımacılığı yapılan yük gemisi gösterilmiştir.



Şekil 2.4 LNG Taşımacılığında Kullanılan Yük Gemisi

2.2.1. Türkiye’de doğal gaz taşıması

Türkiye’nin enerji merkezlerine yakınlığı yanı sıra kara, deniz ve hava taşımacılığında geçiş yolları üzerinde bulunması enerji için transit ülke konumunda olmasını sağlamıştır. Doğal gaz transferinde kullanılan boru hattının, Türkiye’nin jeopolitik konumu ile hattın güvenli oluşu sayesinde bu alanda öneme sahip bir ülke olmasını sağlamıştır. Türkiye’de iç ihtiyaç için kurulan boru hatları haricinde enerji üretim kaynaklarından enerji talep kaynaklarına taşınmasını sağlayan boru hatları bulunmakta, buda Türkiye’ye ticari olarak farklı bir alan sunmaktadır (13).

Türkiye’de mevcut ve planlanan doğal gaz boru hatları aşağıdaki gibidir;

Rusya – Türkiye Doğal Gaz boru hattı (Batı Hattı)

Ülkemize Bulgaristan sınırından giren ve 845 km uzunluğa sahip boru hattıdır. Bu hat ile taşınan doğal gaz konut ve ticari sektörlerle ile doğal gaz çevrim istasyonlarında elektrik üretimi için kullanılmaktadır. Taşıma kapasitesi 14 Milyar m³/yıldır.

Mavi Akım Gaz Boru Hattı

3 ayrı bölümden oluşan hat, Rusya topraklarında 370 km, Karadeniz geçişinde 390 km uzunlukta paralel 2 hat ve Türkiye topraklarında 501 km uzunluktaki parçalardan oluşur. Taşıma kapasitesi 16 Milyar m³/yıldır.

Doğu Anadolu Doğal Gaz Ana İletim Hattı (İran – Türkiye)

Toplamda 1491 km uzunlukta bulunan, Türkiye’nin doğal gaz arzını karşılamak için İran’dan ulaşan hattır. Taşıma kapasitesi 10 Milyar m³/yıldır.

Bakü – Tiflis – Erzurum Doğal Gaz Boru Hattı (BTE)

Bakü – Tiflis – Ceyhan ham petrol hattı ile aynı koridoru kullanan 980 km uzunluktaki Türkiye'nin doğal gaz arzını karşılamak için Azerbaycan'dan ulaşan hattır. Taşıma kapasitesi 6,6 Milyar m³/yıldır.

Türkiye – Yunanistan Doğal Gaz Enterkonneksiyonu (ITG)

Türkiye'den veya Türkiye üzerinde Avrupa'ya Yunanistan üzerinden gaz transferini gerçekleştirilmek amaçlı kurulan hattır.

Trans – Anadolu Doğal Gaz Boru Hattı Projesi (TANAP)

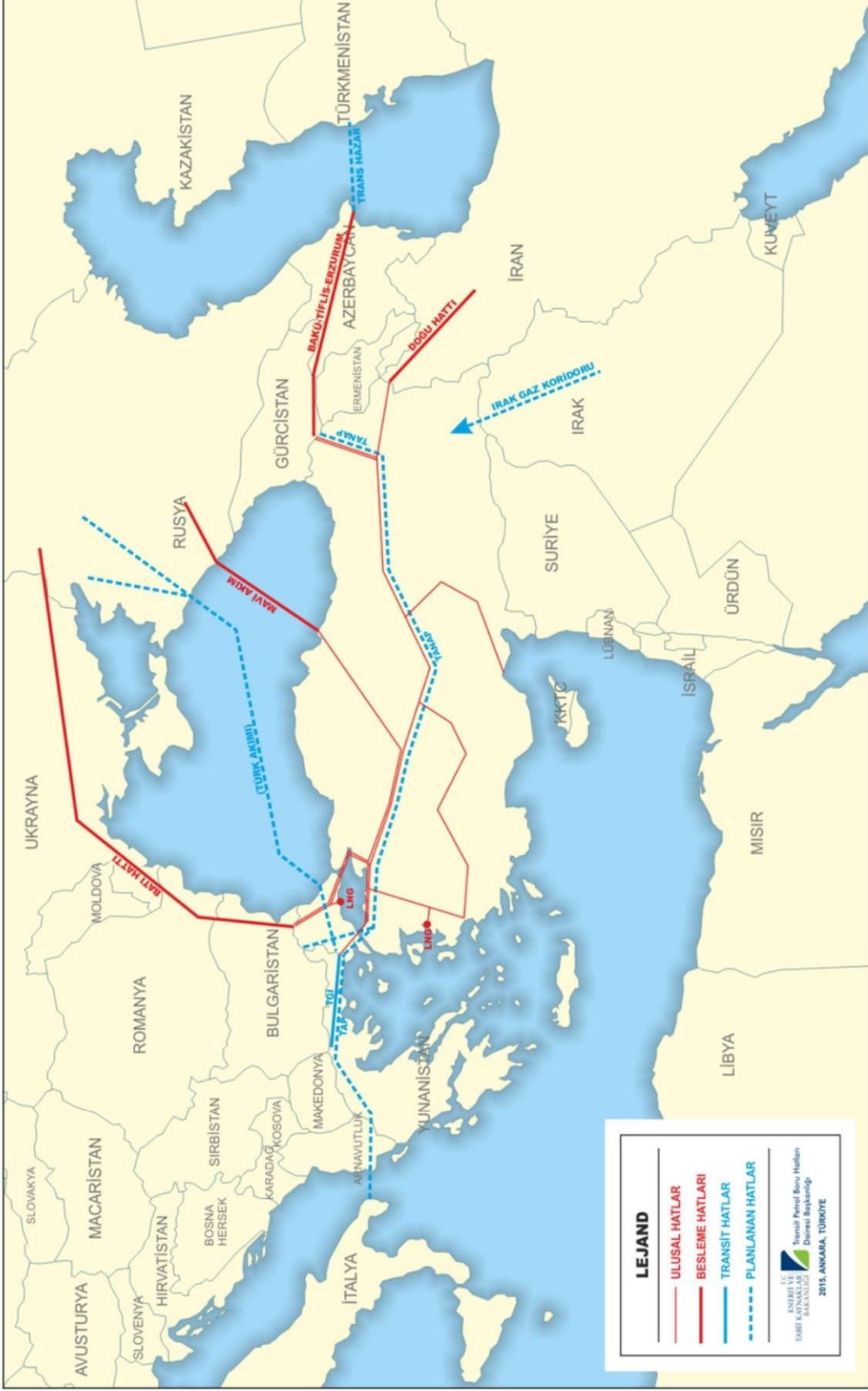
Toplam uzunluğu yaklaşık 1850 km olan, Türkiye'nin artan gaz arzını karşılamak ve Türkiye üzerinden Avrupa'ya gaz satışının sağlanacağı hattır. Türkiye'nin Gürcistan sınırından Yunanistan sınırına kadar uzanacak olan hat 2020 yılında gaz transferine başlanması planlanmaktadır. Planlan taşıma kapasitesi 32 Milyar m³/yıldır.

Türk Akım Gaz Boru Hattı Projesi

Rusya'dan başlayıp Karadeniz üzerinden Türkiye'ye girecek olan, Türkiye topraklarında Türkiye'nin komşu ülkelerine kadar ulaşması planlanan, taşıma kapasitesi her biri 15,75 Milyar m³/yıl olan 2 hattan oluşan boru hattı projesidir.

Proje Türkiye'nin doğal gaz arzı ile Türkiye üzerinden Avrupa'ya gaz ulaşmasını sağlayacaktır. Oluşan hatlardan 1'i sadece Türkiye'nin doğal gaz arzını karşılamak amaçlı, diğeri gazın Avrupa'ya ulaşmasını sağlayacaktır (14).

Şekil 2.5'te verilen haritada, Türkiye'de bulunan mevcut hatlar ile planlanan hatlar gösterilmektedir. Haritada gösterildiği üzere Türkiye mevcut enerji ihtiyacını karşılamak için kurulan ve planlanan boru hatları yanı sıra transit enerji taşımacılığına koridor görevi gören boru hatlarına da sahiptir.



Şekil 2.5 Türkiye’de Mevcut Boru Hatları ve Projeleri 2018 (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı)

2.3.Doğal Gaz Tesisatları

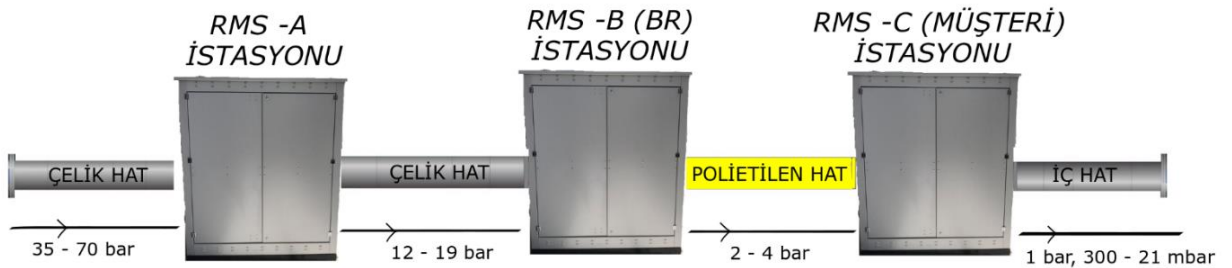
Doğal gaz tesisatları, doğal gazın üretim noktasından başlayıp baca gazı olarak atıldığı noktaya kadar olan kısmı kaplayan ekipmanların tamamıdır. Dış tesisat ve iç tesisat olarak 2 grupta incelenir.

2.3.1. Doğal gaz dış tesisat

Doğal gazın üretim hattından başlayıp, ana besleme hattı boyunca devam eden ve gaz teslim noktasına (servis kutusu, müşteri istasyonu) kadar ulaşan tesisatlar dış tesisat olarak isimlendirilir. Dış tesisatlar tüm üretim noktaları, taşıma boruları ve gerekli ölçüm, filtreleme, basınç düzenleme, kokulandırma istasyonları gibi yapıları içermektedir.

2.3.1.1.Endüstriyel ve büyük tüketimli tesisler için dış tesisat

Endüstriyel ve büyük tüketime sahip işletmeler için, ana doğal gaz şebekesinden çelik hat ile 35 – 70 bar aralığında taşınan gaz, RMS-A istasyonuna gelerek burada 12 – 19 bar aralığına düşürülür. RMS-A istasyonundan çıkan gaz RMS-B istasyonuna girip buradan 2-4 bar aralığında çıkar ve polietilen hat vasıtasıyla RMS-C istasyonuna girer. RMS-C istasyonundan işletme ihtiyaçlarına göre genel olarak 1 bar, 300 ve 21 mbar aralığında işletmeye ulaştırılmış olur. Bu istasyonlar genel olarak filtreleme ve istenilen basınca düşürme şartlarını sağlamak dışında ticari ve hukuki teslim noktası olma özelliği taşımaktadır. Şekil 2.6'da yüksek tüketimli hatlar için ana şebekeden doğal gazın çelik hat, polietilen hat ve istasyon bazlı detaylı ilerlemesi gösterilmiştir.



Şekil 2.6 Endüstriyel ve Büyük Tüketimli Hatların Doğal Gaz Ana Şebekeden Beslenmesi

Şekil 2.7'de gösterilen RMS – A ve RMS – C istasyonlarında, istasyon içerisinde bulunan filtreler, vana grupları, basıncı takip için manometreler, sıcaklığı takip için termometreler, sayacılar ve elektronik gaz hacim düzeltici (korrektör) cihazları gösterilmiştir.



Şekil 2.7 RMS – A ve RMS – C İstasyonu

2.3.1.2. Evsel ve düşük tüketimli hatlar için dış tesisat

Evsel ve düşük tüketimli hatlarda, büyük tüketimli hatlara benzer olarak ana doğal gaz şebekesinden çelik hat vasıtasıyla doğal gaz 35-70 bar aralığında RMS-A istasyonuna gelir ve buradan 12-19 bar aralığında çıkarılır. Çelik hat ile RMS-B istasyonuna gelen gaz buradan 1-4 bar aralığında polietilen borular ile servis kutularına taşınır ve buradan 300-21 mbar olarak bina içine verilir (15). Şekil 2.8’de düşük tüketimli hatlar için ana şebekeden doğal gazın çelik hat, polietilen hat, istasyon ve servis kutusu bazlı detaylı ilerlemesi gösterilmiştir.



Şekil 2.8 Evsel ve Düşük Tüketimli Hatların Doğal Gaz Ana Şebekeden Beslenmesi

2.3.2. Doğal gaz iç tesisat

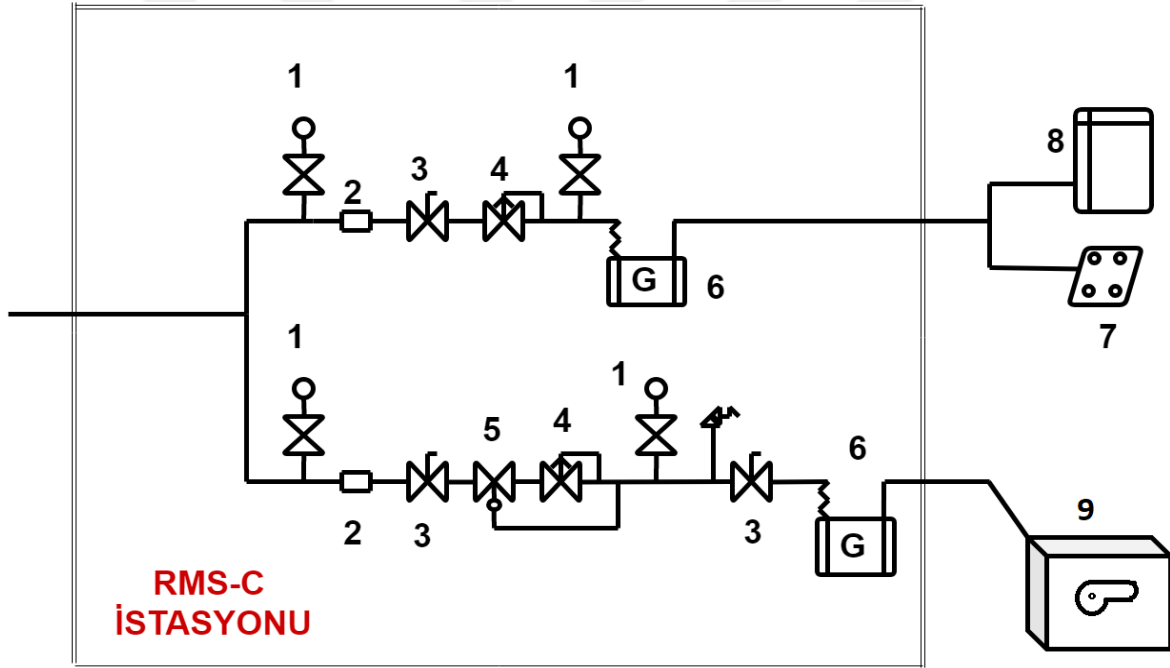
Doğal gazın ana besleme hattından itibaren gaz teslim noktası (servis kutusu, müşteri istasyonu) ile başlayıp atık gazın atmosfere atılmış olduğu bacalara kadar olan kısım iç tesisat olarak isimlendirilir. Gerekli basınç düşürme, bina bağlantı hattı, kolon hattı ve sayaç tesisatlarından sonra kurulan yapıların tamamı iç tesisata dahildir (16).

2.3.2.1. Endüstriyel ve büyük tüketimli tesisler için iç tesisat

Büyük tüketime sahip tesisler için genellikle işletme içerisi ve çevresinde ihtiyaç özelliklerini sağlayan, üst istasyondan doğal gazı alarak istenilen özelliklere revize eden RMS – C istasyonları kurulur.

Bu istasyonlar iç ihtiyaca uygun basınç, filtreleme ve farklı parametreleri sağladığı gibi gaz ölçümünün sağlandığı bu sayede tüketime esas parametrelerin oluştuğu yapılardır. İç istasyondan sonra kurulan sistem içerisinde farklı kolon ve bağlantı hatları kullanılarak istenen lokasyona taşınır, istasyon sonrası basınç değişikliğine ihtiyaç duyulması durumunda filtre ve regülatör ilaveleri hatta yapılarak tüketim cihazına ulaştırılmış olur.

Genellikle üst istasyondan 1-4 bar aralığında alınan gaz bu istasyonlardan sonra 1- 0,3 - 0,021 bar çıkış sağlamaktadır. Şekil 2.9’da büyük tüketime sahip tesislerin, üst istasyon hattından doğal gazı alıp iç istasyonda gerekli ölçüm, filtreleme ve basınç düzenleme işlemlerinin yapılması ve tüketim cihazına ulaşması diyagram olarak gösterilmiştir. Gösterilmekte olan istasyon tek hat girişli (2-4 bar), 2 hat çıkışlı (üretim ve yüksek tüketim hattı 1 – 0,3 bar, mutfak ve düşük tüketim hattı 0,3 – 0,021 bar) RMS-C istasyonudur. İstasyon sonrası taşıma hattı yüksek tüketimli iç tesisata dahildir.



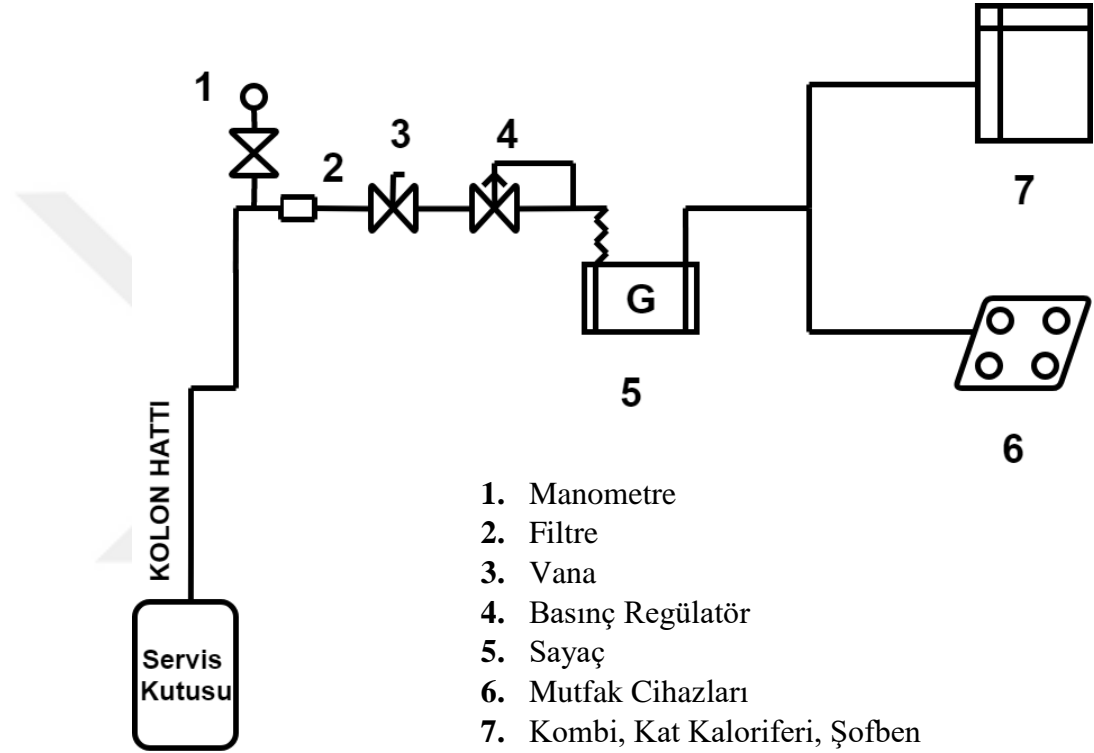
Şekil 2.9 Büyük Tüketimli Hatlar İçin İç Tesisat Diyagramı
(1 Giriş, 2 Çıkışlı RMS – C İstasyonu)

1. Manometre
2. Filtre
3. Vana
4. Basınç Regülatörü
5. Ani Kapatma Vanası
6. Sayaç
7. Mutfak Cihazları
8. Kombi, Kat Kaloriferi, Şofben
9. Yüksek Tüketimli Doğal gaz Cihazı (Üretim, Çevrim vb.)

2.3.2.2.Evsel ve düşük tüketimli hatlar için iç tesisat

Düşük tüketime sahip hatlar için, RMS – B istasyonlarından sonra servis kutularına ulaşan bu hatlar, kolon hattı, sayaç bağlantı hattı ve tüketim hattından geçerek tüketim yapan cihaza ulaşmaktadır. Bu hat üzerinde kurulan sayaç yapısı tüketime esas parametreleri oluşturan yapılardır.

Servis kutusunun barındırmış olduğu regülatör yapısı sonrası basınç değişikliğine ihtiyaç duyulması halinde iç tesisat hattı üzerinde genellikle sayaç öncesi farklı basınç aralığında çalışan regülatör ve filtreleme ekipmanları kullanılır. Şekil 2.10'da düşük tüketimli hatların servis kutusu sonrası filtreleme, basınç düzenleme, ölçüm işlemlerinin yapıldığı tüketim cihazlarına ulaşması diyagramı olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.10 Evsel Hatlar İçin İç Tesisat Diyagramı

2.3.3. Tesisatın ve tüketimin temel ekipmanları

Doğal gaz taşınma ve tüketim noktalarında çeşitli ekipmanlara ihtiyaç duyar. Taşınmanın temel ekipmanı borulardır, boruların dışında filtreleme, ölçüm, basınç düzenleme gibi ekipmanlar kullanılır. Tüketim noktalarında farklı yapı ve özellikte tüketim cihazları kullanılır.

2.3.3.1. Vanalar

Doğal gaz dağıtım sisteminin en önemli parçalarından biridir. Gaz akışını kontrol etmek ve güvenliği sağlamak amacıyla kullanılır. TS EN 331 standartına uygun olarak kullanılmaktadır. Şekil 2.11’de farklı tipte vanalara örnekler gösterilmiştir.



Şekil 2.11 Doğal Gaz Hatlarında Kullanılan Vana Örnekleri

2.3.3.2. Çelik borular

Yüksek basınca sahip hatlar ile bazı toprak altında bulunan polietilen hatlardan sonra kullanılan boru ekipmanlarıdır. Dağıtım şebekelerinde ihtiyaç ölçüsünde farklı boyutlarda kullanılmaktadır. Toprak altına veya üstüne serilen bu ekipmanlar korozyon ve farklı durumlar göz önüne alınarak katodik koruma sistemine ve yeterli izolasyona sahip olacak şekilde tasarlanır. Şekil 2.12’de ana hat taşımacılığında kullanılan boru hattı gösterilmiştir.



Şekil 2.12 Doğal Gaz Yüksek Taşıma Kapasiteli Yer Üstü Çelik Boru

2.3.3.3. Polietilen borular

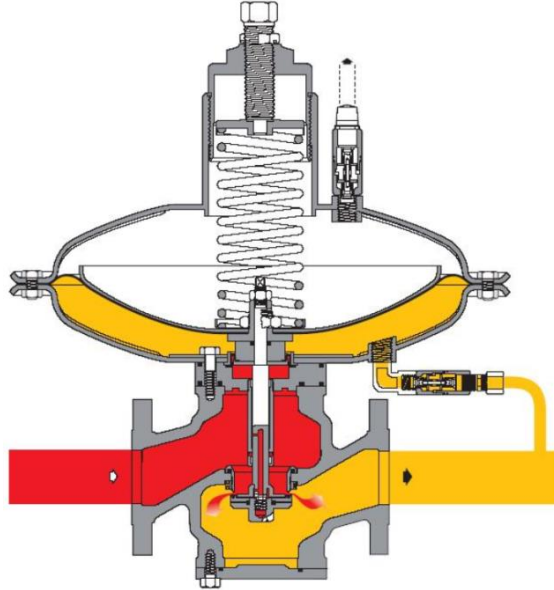
RMS-B İstasyonlarından sonra 4 bar veya daha düşük basınçlara düşen şebekelerde kullanılan borulardır. Genellikle 20 mm ile 125 mm aralığında kullanılır. Düşük basınçlı hatlarda 125 mm'den büyük çaplı olanları da kullanılabilir (15). Etilen monomerinin polarizasyonu sonucu polietilen malzeme üretilmiş olur. Taşıma hatlarında toprak altında kullanılan bu ekipmanlar elektrofüzyon, soket füzyon ve alın füzyon olarak 3 farklı kaynak yöntemi ile birleştirilebilirler (17). Şekil 2.13'te polietilen boru örneği gösterilmiştir.



Şekil 2.13 Polietilen Doğal Gaz Borusu

2.3.3.4. Regülatörler

İstasyon, servis kutusu ve kolon hattı gibi noktalarda kullanılan giriş basıncı ve debisini sınırlandırarak kullanılmak istenen çıkış gaz basıncına dönüştüren elemandır. TS 10624 standardına uygun olarak kullanılmaktadır. Şekil 2.14'te basınç regülatörü teknik çizimi gösterilmiştir.



Şekil 2.14 Basınç Regülatörü

2.3.3.5. Filtre

Basınç düşürme ve ölçüm noktalarından önce doğal gaz ile gelebilecek sıvı, istenmeyen toz ve parçacıkları tutma görevi olan ekipmandır. TS 10276 standardına uygun olarak kullanılmaktadır. Şekil 2.15'te istasyon içerisinde montajlı olan filtre ve filtre kartuşu gösterilmiştir.



Şekil 2.15 İstasyonlarda Kullanılan Filtre ve Filtre Kartuşu

2.3.3.6. Manometre

Tesisatın farklı kademelerinde gaz basıncını göstererek takip edilmesini sağlayan ekipmandır (18). TSE EN 837-1 standardına uygun olarak kullanılmaktadır. Şekil 2.16'da doğalgaz RMS istasyonlarında kullanılan manometre örneği gösterilmiştir.



Şekil 2.16 Manometre

2.3.3.7. Servis kutusu

Bağlantı hattının bitimine konulan içerisinde ihtiyaç doğrultusunda regülatör, vana ve filtre konulabilen genellikle 300 ve 21 mbar çıkış sağlayan ekipmanlardır. Şekil 2.17’de farklı tip servis kutusu örnekleri gösterilmiştir.



Şekil 2.17 Farklı Tip Doğal Gaz Servis Kutuları (İGDAŞ)

2.3.3.8. Mekanik sayaçlar

Doğal gaz tüketim belirleme amaçlı kullanılan geçen gazın m^3 cinsinden hesaplanmasını sağlayan ekipmanlardır. Doğal gazın düşük basınçlarında genellikle körüklü sayaçlar kullanılır. Körüklü sayaçların yetersiz kaldığı bölgelerde rotary, türbin ve orifis sayaçlar kullanılır. Kullanılan sayaçlardan diyaframlı (körüklü) sayaçlar TS EN 1359 diğer mekanik sayaçlar TS 10876 standartına uygun olarak kullanılmaktadır (19). Şekil 2.18’de farklı tip mekanik sayaç örnekleri gösterilmiştir.



Şekil 2.18 Rotary Metre Gaz Sayacı ve Körüklü Gaz Sayacı

Sayaç seçimi yapılırken gaz yakıcı cihazların tüketeceği maksimum debi ve minimum gaz basıncı belirleyici olur.

$$Q = \frac{TG}{H_u \cdot P_{mut} \cdot \eta}$$

- Q = Sayaç göstergesinde okunan debi, m^3/h
 TG = Tesis edilen ısı güç, kcal/h
 H_u = Gazın alt ısı değeri, kcal/ m^3
 P_{mut} = Mutlak gaz basıncı
 η = Yakıcı cihaz verimi (19)

Belirlenen gaz basıncı farklı tip sayaçların kullanılmasını sağlar. Bu sayaçların özelliklerine göre farklı hassasiyet aralıkları vardır. Çizelge 2.3'te gaz sayaçları için seçim yapılırken sayaç tipi ve sınıfı belirleme çizelgesi verilmiştir. Körüklü sayaçlar G_4 - G_{25} sınıfı aralığında, Rotary sayaçlar G_{10} - G_{6500} sınıfı aralığında ve türbin sayaçlar G_{40} - G_{6500} aralığında kullanılmaktadır (20).

Çizelge 2.3 Farklı Tip Sayaçların Maksimum Çalışma Basıncı Aralığı

		İşletme Basıncı Q_{max} (m^3/h)			
		SAYAÇ SINIFI	21 mbar	300 mbar	1 bar
Rotary Sayaç	Körüklü Sayaç	G_4	6	7,8	12
		G_6	10	13,0	20
		G_{10}	16	20,8	32
		G_{16}	25	32,5	50
		G_{25}	40	52,0	80
	Türbin Sayaç	G_{40}	65	84,5	130
		G_{65}	100	130	200
		G_{100}	160	208	320
		G_{160}	250	325	500
		G_{250}	400	520	800
		G_{400}	650	845	1300
		G_{650}	1000	1300	2000
		G_{1000}	1600	2080	3200
		G_{1600}	2500	3250	5000
		G_{2500}	4000	5200	8000
		G_{4000}	6500	8450	13000
		G_{6500}	10000	13000	20000

2.3.3.9. Doğal gaz elektronik gaz hacim düzeltici (korrektör)

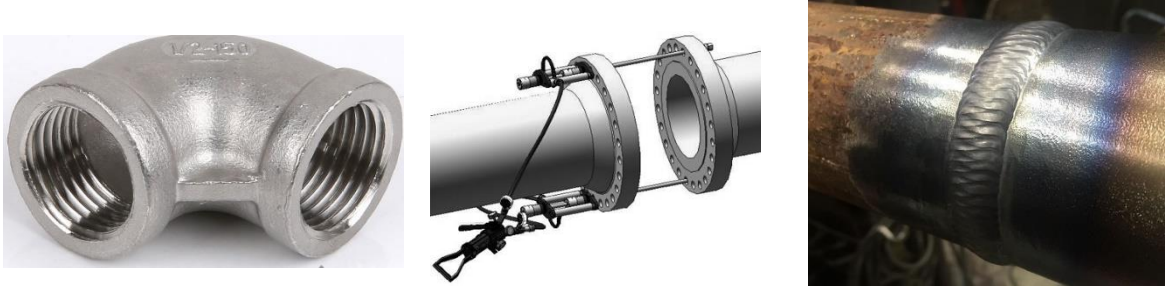
Doğalgaz ölçümü ve bu ölçüm ile faturalandırılma yapılması çeşitli ölçüm ekipmanları ile yapılır. Mekanik sayaçlar m³ cinsinden geçen gazın miktarını ölçer, ancak doğal gazın sıkıştırılabilir olması farklı sıcaklık, basınç ve komponent değerleri altında birim miktardaki hacminden farklı kütleli miktarda gaz geçişi sağlayabilmesi nedeniyle Sm³(Standart metre küp) olarak kütleli ölçüm yapan elektronik cihazlar kullanılmasını gerektirmektedir. Elektronik gaz hacim düzenleyici (Korrektör) cihazları miktar olarak gaz verisini hesaplamanın yanında kullanılan cihazın özelliklerine göre hafızasına periyodik ve anlık veri kaydını, oluşan alarm durumlarını (aralık dışı sıcaklık, basınç uyarıları vb.) kaydeder. Bu cihazlar özellik yapılarına göre akıllı şebekeler için veriyi işleyip uzaktan haberleşmeye imkân sağlayabilmektedir. TSE EN 12405-1 standartına uygun olarak kullanılmaktadır. Şekil 2.19’da ölçüm yapan elektronik gaz hacim düzeltici cihaz gösterilmektedir (21).



Şekil 2.19 Doğal gaz Ölçümü Yapılan Türbinmetre Sayaç ve Elektronik Gaz Hacim Düzeltici (VHS Elektronik VİCOR)

2.3.3.10. Bağlantı ekipmanları

Doğal gaz boru hatlarında birleştirmeler, kaynaklı flanşlı ve dişli birleştirmeler ile gerçekleştirilir. Hat boyunca en yaygın olarak kullanılan yöntem kaynaklı birleştirmedir. Özellikle iç tesisatlarda sık boru yön değişimleri, hat ayrılmaları gibi sebepler nedeniyle birçok bağlantı noktası oluşmuştur. Birleştirme ekipmanları TS 2649 standartına uygun olarak kullanılmaktadır (22). Şekil 2.20’de farklı birleştirme ekipmanları ve kaynaklı birleştirme gösterilmiştir.



Şekil 2.20 Dişli ve Flanşlı Birleştirme Ekipmanları ve Kaynaklı Birleştirme

2.3.3.11. Mutfak cihazları

Mutfak ihtiyaçları için doğal gazın yanması sonucu enerji ortaya çıkmasını sağlayan cihazlardır. Mutfak cihazları yanma için gerekli havayı buldukları ortamdan alır ve herhangi bir baca sistemine ihtiyaç duymaz. TS EN 203-1 standartına uygun olarak kullanılmaktadır. Şekil 2.21’de doğal gaz kullanan mutfak ocağı gösterilmiştir.

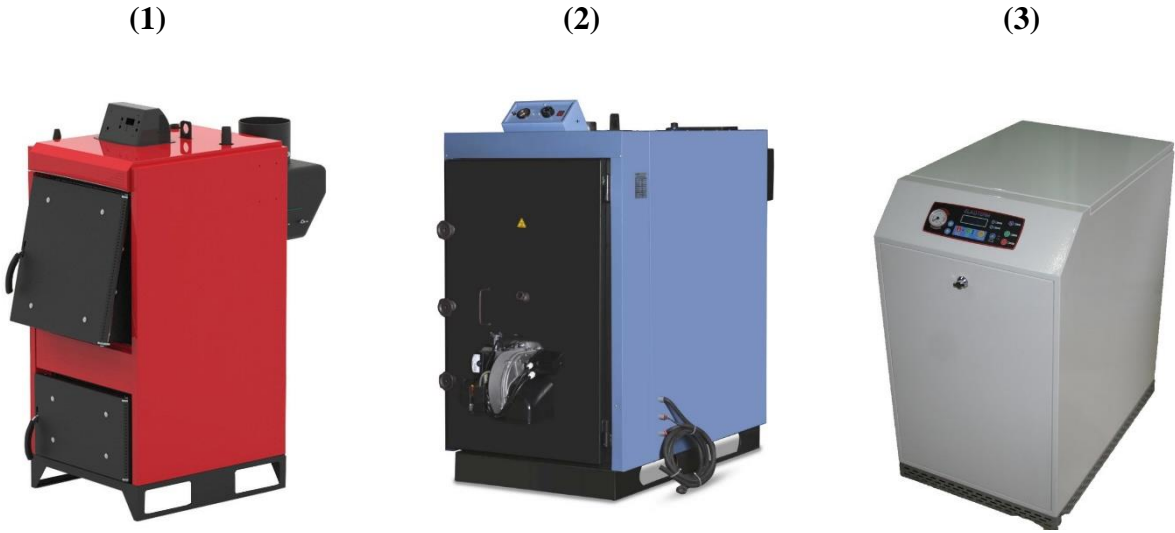


Şekil 2.21 Doğal Gaz Kullanılan Mutfak Ocağı

2.3.3.12. Kat Kaloriferleri;

Isıtma cihazları tüp gazı, hava gazı, sıvı veya katı yakıtlar ile elektrik gibi farklı yakıtlar ile kullanıldığı gibi doğalgaz ile de kullanılmaktadır. Isıtma cihazları, sıcak su sağlayan cihazlar, kombiler, kat kaloriferleri, şofbenler ve merkezi sistem kazanları gibi farklı cihazlardan oluşmaktadır (23).

Kat kaloriferleri katı, sıvı, gaz yakıtlı ve elektrikli olarak kullanılabilen her dairenin bağımsız ısıtılmasını sağlayan cihazlardır. TS EN 15502-2-1+A1 ve TS EN 15502-2-2 standartlarına uygun olarak kullanılmaktadır. Şekil 2.22’de farklı tipte kat kaloriferleri gösterilmiştir.



Şekil 2.22 Katı Yakıtlı (1), Sıvı ve Gaz Yakıtlı (2), Elektrikli (3) Kat Kaloriferi

2.3.3.13. Kombi

Kombi sıcak su ve ısınma amaçlı kullanılan duvara asılabilir, küçük boyutlu ve sessiz çalışma özelliklerine sahip olduğu için kat kaloriferi ve benzeri cihazlardan daha fazla tercih edilen ısıtma cihazıdır. TS EN 15502-2-2 standartına uygun olarak kullanılmaktadır. Şekil 2.23'te kombi örneği gösterilmiştir.



Şekil 2.23 Sıcak Su ve Isınma Amaçlı Kullanılan Kombi

2.3.3.14.Şofben

Kombi benzeri olan sadece sıcak su amaçlı kullanılan ısıtma cihazıdır. TS EN 25 standartına uygun olarak kullanılmaktadır. Şekil 2.24'te şofben örneği gösterilmiştir.



Şekil 2.24 Sıcak Su Amaçlı Kullanılan Şofben

2.3.3.15.Doğal Gaz Sobaları

Yakıt olarak doğal gaz kullanan ucuz ve yüksek verimli ısınma cihazlarıdır. Şekil 2.25'te doğal gaz sobası örneği gösterilmiştir.



Şekil 2.25 Doğalgaz Sobası

2.3.3.16.Merkezi Sistem Kazanları

Konutlarda veya farklı tesislerde büyük ölçekli ısınma ve sıcak su ihtiyacını sağlayan ısıtma cihazıdır. TS EN 15502-1+A1 standartına uygun olarak kullanılmaktadır. Şekil 2.26'da merkezi sistem kazanı örneği gösterilmiştir.



Şekil 2.26 Merkezi Sistem Kazanı ve Kazan Dairesi

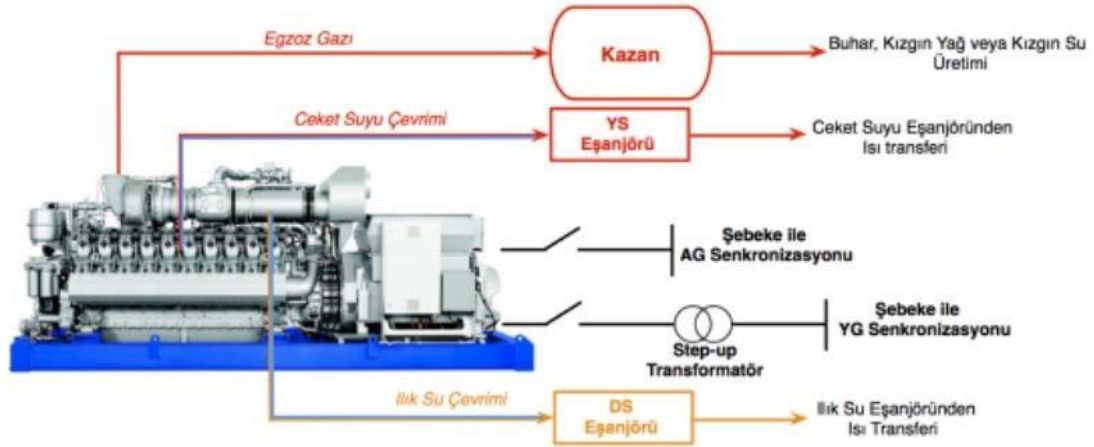
2.3.3.17. Endüstriyel tesislerde yüksek tüketim cihazları

Doğal gaz, endüstriyel ve yüksek tüketimli tesislerin atölye ve fırınlarında enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Tekstil, demir-çelik, kimya, çimento, cam ve kiremit üretimlerinde doğal gaz önemli bir yere sahiptir (24).

Endüstriyel ve yüksek tüketimli tesislerde doğal gaz; düşük baca gazı emisyonu, boru hatları ile taşıma nedeniyle kesintisiz enerji temini, yüksek verim ve buhar, sıcak su, elektrik gibi farklı enerji formlarının ihtiyaca göre üretim sağlanabilmesi gibi nedenler dolayısıyla tercih edilmektedir. Doğal gaz, endüstriyel tesislerde kullanılan eritme ve buhar kazanlarının yakıtlardan, endüstride özellikle cam, alüminyum benzeri metal ve metal dışı malzemelerin eritilmesinde kullanılmasını sağlamaktadır (25).

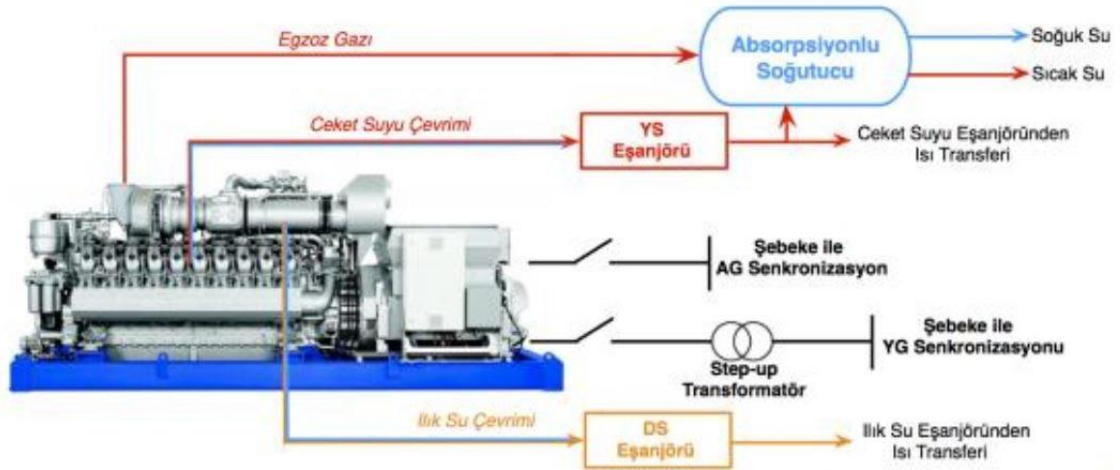
Elektrik üretiminde doğal gaz yakıtlı kombine çevrim (kojenerasyon, trijenerasyon) santralleri, diğer üretim yöntemleri olan termik, hidro-elektrik ve nükleer santrallere nazaran ilk kurulum maliyetinin düşük olması ve kısa sürede işletmeye alınabilmesi gibi sebepler sonucunda tercih edilen yöntem durumuna ulaşmıştır. Doğal gaz ülkemizde üretimi olmaması nedeniyle neredeyse tamamı ülke dışından sağlanmakta, bu durum sanayi kullanımını olumsuz etkilemektedir (26) (27).

Kojenerasyon; doğal gaz veya farklı yakıtların türbin veya motor üzerinde yakılması sonucu elektrik ve ısıtma enerjisinin ortaya çıkmasının sağlandığı sistemlerdir. Tek yakıt girdisini eş zamanlı olarak 2 ayrı enerji yapısına çevirir. Şekil 2.27’de kojenerasyon sistemi ile ilgili çalışma yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2.27 Kojenerasyon Santrali Temel Çalışma Yapısı

Trijenerasyon; kojenerasyon sistemlerine benzer olarak doğal gaz veya farklı yakıtların türbin veya motor üzerinde yakılması sonucu elektrik, ısıtma ve soğutma enerjilerinin aynı anda üretilebildiği sistemlerdir. Trijenerasyon sistemleri gelişmiş kojenerasyon sistemleri olarak görülebilir. Tek yakıt girdisini eş zamanlı olarak 3 ayrı enerji yapısına çevirir. Şekil 2.28’de trijenerasyon sistemi ile ilgili çalışma yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2.28 Trijenerasyon Santrali Temel Çalışma Yapısı

Kojenerasyon ve trijenerasyon sistemleri elektrik, ısıtma ve soğutma gibi enerji çıktılarını aynı anda sağladıkları için bu enerji çıktılarının ayrı ayrı üretilmesinden daha verimli sonuç sağlayan sistemlerdir (28).

Elektrik enerjisi üretimi açısından bakıldığında, sadece elektrik üreten termik santrallerin verimleri %30-40 oranlarında iken kojenerasyon ve trijenerasyon tesislerinde verim oranı %80-90 oranlarında bulunmaktadır (29).

2.3.4. Saha uygulamalarında kullanılan borular

Doğal gaz iletimi amaçlı yer altı ve yer üstü borular kullanılmaktadır. Bu borular kullanıldığı yerlerde, çevre şartları ve etkilerine yeterli dayanımı sağlaması gerektiği gibi kullanım ihtiyacına en uygun ve optimum maliyet şartlarını yerine getirmelidir.

Uygun şartların belirlenmesi çeşitli tecrübe ve birikimler sonucu, farklı standartları ortaya çıkarmıştır. Ülkemizde doğal gaz sektöründe kullanılan çeşitli borular belirli standartlara uygun olarak kullanılır.

Yer altı ve yer üstü olarak kullanılan çelik borular, TS EN ISO 3183 ve eşdeğeri API 5L ile ASTM A53 ve ASTM A106 gibi standartlara uygun olarak kullanılmaktadır.

Dikişsiz bakır borular TS EN 1057+A1 standardına göre kullanılmaktadır.

Polietilen borular, TS EN 1555-1, TS EN 1555-2, TS EN 1555-3+A1 standartlarına uygun olarak kullanılmaktadır.

Bükülebilir hortum tipi borular TS EN 15266 ve TS 10670 standartına uygun olarak kullanılmaktadır. Çalışmamızda incelemekte olduğumuz doğalgaz sektöründe kullanılmakta olan TS EN ISO 3183 standartlı çelik borular standart içeriği olarak API 5L standardı ile eşdeğerdir. Bu eşdeğer standartlara uygun borular farklı kalite ve şartname seviyelerini sağlamaktadır. Çelik boruların içeriğindeki malzeme farklılıkları, üretim yöntemlerindeki farklılıklar, çeşitli kalite seviyelerine ulaşmasını sağlar (30) (31).

Tesisat Boruları

Doğal gaz tesisat boruları farklı sınıflandırmalar içermektedir. Tesisat içerisinde kullanılan hatların istasyon veya servis kutusu sonrası ve öncesi konumları ve gereklilikleri farklı şekilde sınıflandırmalarına neden olmuştur. Temel olarak tesisat içerisinde kullanılan boruların sınıflandırılması aşağıda verilmiştir.

- Ana Hat Borusu

Doğal gazın ana besleme hattı ile çeşitli basınç düzenleme ve ölçüm istasyonları öncesi, sonrası kullanılan boru hatlarıdır. Yüksek basınç ve gerekli durumlarda çelik boru olarak, 4 bar basınçtan düşük yer altı borularında polietilen boru olarak kullanılmaktadır.

- Dağıtım Borusu

Ana emniyet vanası ve regülatörlerden sonra yatay ve düşey olarak montaj yapılan boru hatlarıdır.

- Kolon Borusu

Düşey olarak çekilen boru hatlarıdır.

- Sayaç Bağlantı Hattı

Kolon hattı ile sayaç arası montajı yapılan hatlardır.

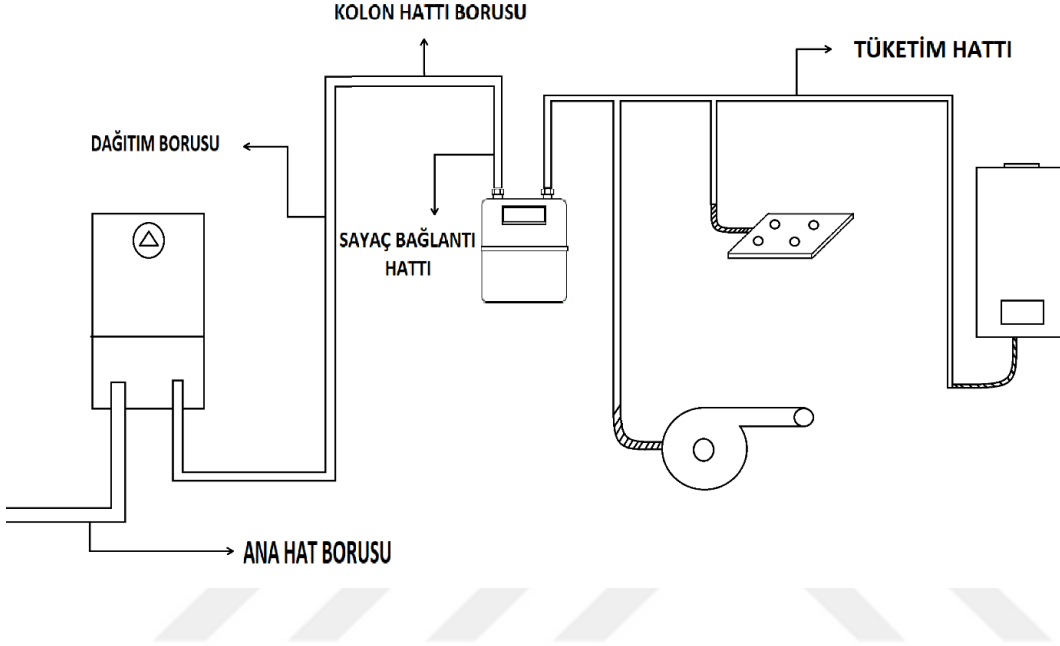
- Tüketim Hattı

Sayaç bölümünden tüketim yapan ekipmana kadar ulaşan borulardır.

- Cihaz Bağlantı Hattı (Esnek Bağlantı Elemanı)

Cihaz bağlantı vanasından cihazı birleştiren hattır. TS 10670 standartlarına uygun olarak kullanılmaktadır. İlgili standart ölçüsünde 1,6 Mpa (16 Bar) basınca kadar kullanılmaktadır (16).

Şekil 2.29’da iç tesisat boru hatları ile ilgili detaylar verilmiştir. Tüketim hatları kullanılan tüketim cihazlarının özelliklerine göre farklılıklar gösterebilir.



Şekil 2.29 İç Tesisat Boru Hat Detayları

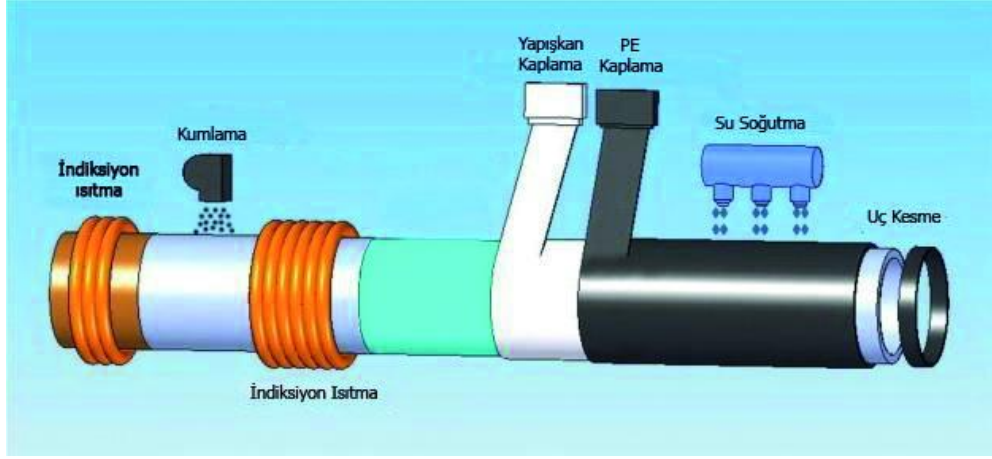
2.3.5. Çelik boruların korunma yöntemleri

Kullanılan çelik boruların çeşitli çevre şartlarına karşı korunmaları gerekmektedir. Saha uygulamalarında karşılaşılan problemlerin başında korozyon gelir. Korozyon dışında bir başka öneme sahip alan ise darbe ve yıkıma karşı korunmadır.

Korozyon, metallerin su ve hava ile temas etmesi sonucu oluşan aşınma durumudur. Boruların korozyona uğramalarını engellemek bu sayede kullanım ömrünü uzatmak amaçlı genellikle polietilen kaplama yapılır veya katodik koruma uygulanır.

2.3.5.1. Polietilen kaplama

Sahada kullanılan boruların korozyondan korunması amaçlı uygulanacak en kolay yöntem polietilen kaplamadır. Polietilen kaplama çelik boruya belirli bir ısıtma işlemi uygulandıktan sonra, yapıştırıcı görevi görmesi amaçlı epoksi ile kaplanıp üzerine polietilen malzeme kaplanması adımları ile gerçekleştirilmektedir. Şekil 2.30’da polietilen kaplama ile ilgili süreç gösterilmiştir.



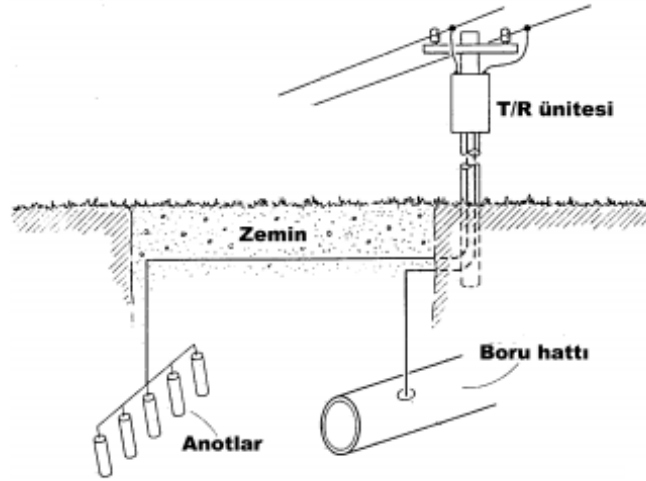
Şekil 2.30 Çelik Boru Üzerine Polietilen Kaplama Adımları

2.3.5.2. Katodik koruma

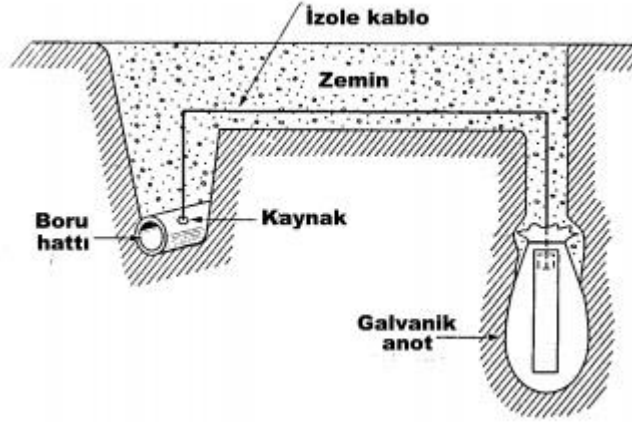
Sahada kullanılan boruların korozyondan korunması amaçlı kullanılan bir diğer yöntem katodik korumadır. Katodik koruma yöntemi, belirli bir kaplamaya sahip veya çıplak olan borulara uygulanabilmektedir. Metale gönderilen elektronlar sayesinde hattın çözünmesi engellenip katod hale getirilir. Boru hattının katod hale gelmesi korozyona uğramasını engeller. Doğal gaz taşımacılığında katodik koruma genellikle toprak altı çelik boruların korunması için kullanılan yöntemdir.

Katodik koruma sistemleri dış akım kaynaklı veya galvanik anot yataklı olarak 2 ayrı grupta incelenebilir. Dış akım kaynaklı sistemlere redresörlü sistemler denilir ve bu sistemler şebeke enerjisi ile çalışır. Galvanik anot yataklı sistemeler ise çuval sistemleri olarak isimlendirilir ve galvanik anot çuvalar toprak altına gömülür.

Şekil 2.31(a)'da dış akım kaynaklı sistemler şekil 2.31(b)'de galvanik anot yataklı sistemler gösterilmiştir (6).



(a)



(b)

Şekil 2.31 (a) Dış Akım Kaynaklı (b) Galvanik Anot Yataklı Katodik Sistem

2.3.5.3.Yıkıma karşı koruma

Doğal gaz taşımacılığında kullanılan toprak altı ve toprak üstü borular çevresel yıkımlara karşı gerekli emniyeti sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır. Ülkemiz deprem ve heyelan benzeri çevresel afetlere karşı risk bölgesi sayılan yapıya sahiptir.

Toprak altında veya bina iç tesisatı benzeri noktalarda öncelik oluşabilecek bir sarsıntı veya yıkım esnasında çelik borunun kırılmadan kalabilmesini sağlamaktır. Oluşabilecek yıkımlara karşı tesisatların yıkılmadan kalabilmesini sağlamak için yapılan çalışmalara sismik (depremsel) koruma ismi verilmektedir. Kırılması önlenemeyecek durumlarda gaz akışının acil olarak kesilmesini sağlamak gerekmektedir. Gaz akışının kesilmesini sağlamak amacı ile hat üzerinde otomatik olarak sarsıntı sonucu gazı kesebilen mekanik veya elektriksel vanalar kullanılabilir. Şekil 2.32’de mekanik deprem vanası gösterilmiştir.

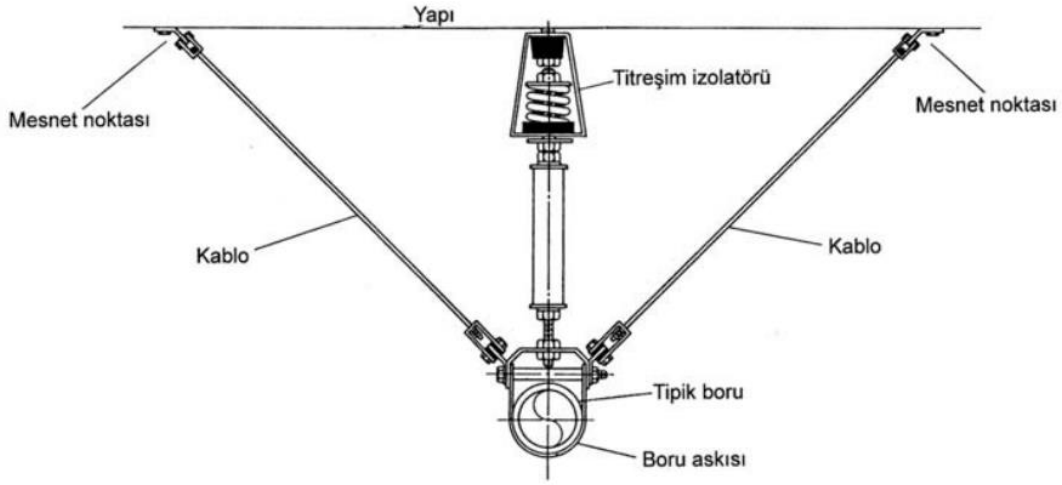


Şekil 2.32 Mekanik Deprem Vanası

Alınabilecek önlemlerden biride kombi, mutfak fırını ve ocak benzeri cihazların bağlantı boruları kaliteli esnek borulardan seçilmesi gerekmektedir.

Boru hatlarında, boru yüzeyi ve kaynak bölgelerinde alınacak önlemlerin başında uygun mekanik özelliklere sahip boru ve kaynak uygulamalarının yapılmasıdır. Uygun boru ve kaynak uygulamaları yapılan tesisatlarda kullanılan sismik sınırlayıcılar aktif ve pasif olarak 2 grupta incelenebilir. Aktif sınırlayıcılar sensörler ile deprem esnasında uyarılıp boru yüzeyinde katı bir kilitleme mekanizması oluşturur. Bakım gerekliliği duyar ve

maliyeti yüksektir. Pasif sınırlayıcılar ise sabit şekilde bağlı durumda bulunurlar fiyatlarının aktiflere göre uygun olması ve bakım gerektirmemesi daha fazla tercih edilmelerini sağlar. Şekil 2.33'te sismik sınırlayıcı örneği gösterilmiştir (32) (33).



Şekil 2.33 Sismik Sınırlayıcı Örneği

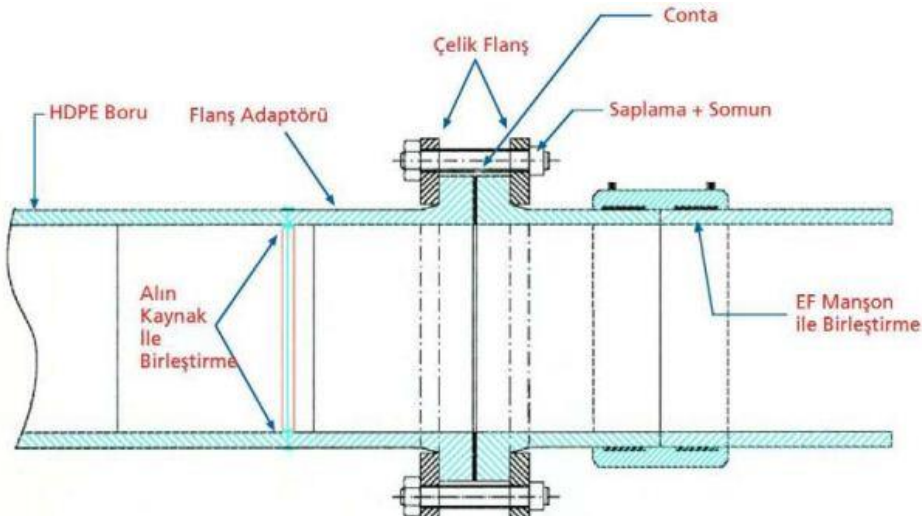
2.4.Çelik Doğalgaz Borularının Birleştirme Yöntemleri

Doğal gaz taşınmasında kullanılan borular farklı birleştirme yöntemlerine sahiptir. Uygulama yapılan hatta, hattın özelliklerine göre flanşlı, dişli veya kaynaklı birleştirmeye başvurulur (34).

2.4.1. Flanşlı birleştirme

Birleştirme yöntemlerinden biri olan flanşlı birleştirme, doğal gaz için genellikle polietilen boruların çelik borular ile birleştirilmesi veya istenildiği durumda boru hattının kolay olarak demonte edilmesi için kullanılan bir yöntemdir.

2 ayrı yöndeki flanş ekipmanı, boru üzerlerine kaynak edildikten sonra aralarına conta koyularak, saplama ve somunlar ile boruları birleştirilir. Flanşlı birleştirme doğalgaz hatlarında sıva altında kullanılamaz ve bağlantıların sızdırmazlık problemlerinden dolayı kaynaklı birleştirmeye nazaran daha az tercih edilir. Şekil 2.34'te flanşlı birleştirmenin detayı verilmiştir.



Şekil 2.34 Flanşlı Birleştirme Yöntemi

2.4.2. Dişli birleştirme

Birleştirme yöntemlerinden biri olan dişli birleştirme yöntemi, boru gövdesine dış açılması bu sayede birleştirilmesi sonucu uygulanır. Borularda birine dış diş açılırken diğerine iç diş açılıp birleştirilir. Dişli veya vidalı birleştirme olarak isimlendirilen bu yöntem, sızdırmazlık konusunda flanşlı ve kaynaklı birleşimden daha düşük yeterlilik sağladığından daha az tercih edilir. Şekil 2.35’te dişli birleştirme örnekleri verilmiştir.



Şekil 2.35 Dişli Birleştirme Ekipmanları

2.4.3. Kaynaklı birleştirme

Kaynaklı birleştirme yöntemi aynı veya birbirine yakın malzemelerin ısı etkisi veya ısı ile birleştirilmesidir. İçerisinde farklı bir çök özel yöntemi barındıran kaynaklı birleştirme yöntemi uzun yıllardır endüstrinin birçok bölümünde kullanılmaya devam eden verimli bir birleştirme yöntemidir. Temelde, basınç kaynağı, ergitme kaynağı ve özel kaynak yöntemleri olarak sınıflandırılırlar.

Basınç kaynağı sınıfı, elektrik direnç kaynağı, patlama basınç kaynağı ve sürtünme kaynağını içerir. Ergitme kaynağı sınıfı, örtülü elektrot ark kaynağı, toz altı kaynağı, MIG-MAG kaynağı, TIG kaynağını içerir. Özel kaynak yöntemleri sınıfı, ultrasonik kaynak, lazer kaynağı, plazma kaynağı, elektron ışın kaynağını içerir.

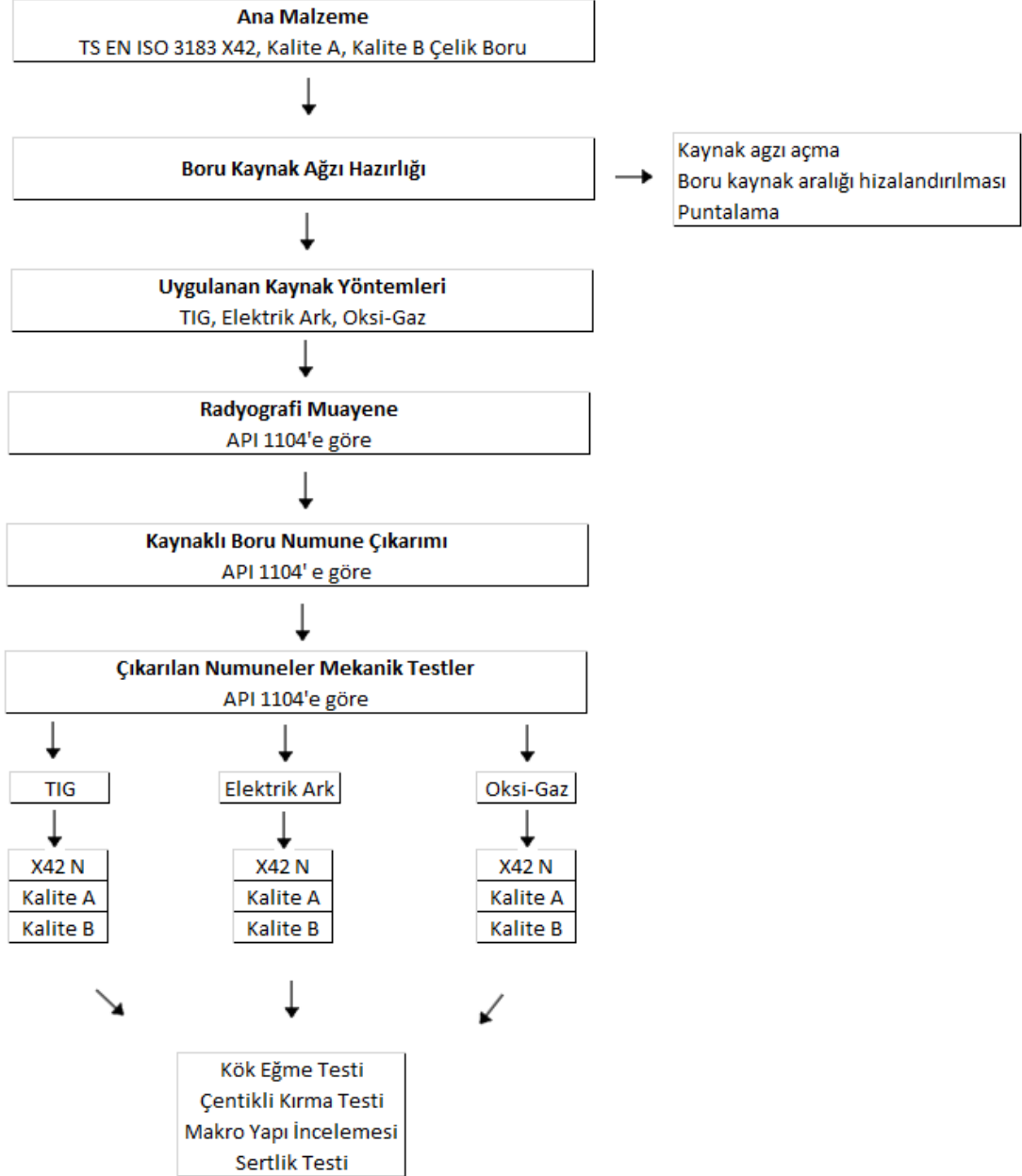
Kaynaklı birleştirme yöntemi doğal gaz taşıma hatlarında kullanılan polietilen ve çelik boruların birleştirilmesi amacıyla kullanılan yöntemlerden biridir. Kaynaklı bölgelerin sızdırmazlığı flanşlı ve dişli birleştirmeye göre çok iyi sonuçlar verdiği için doğal gaz taşımacılığında en çok kullanılan yöntemdir. Şekil 2.36’da boru birleşiminde kaynak uygulaması gösterilmiştir (35) (36).



Şekil 2.36 Boru Birleşiminde Kaynak Uygulaması

3. MATERYAL VE METOD

Çalışmamızda farklı tip borulara farklı kaynak yöntemleri uygulanması sonucu mekanik olarak oluşabilecek farklılıklar incelenmiştir. TS EN ISO 3183 standart X42N, kalite A ve kalite B borular TIG, elektrik ark, oksî-gaz kaynak yöntemleri uygulanıp, kaynakların API 1104 standardına göre radyografik muayene, kök eğme testi, çentikli kırma testi, makro yapı incelemesi ve sertlik testlerine tabi tutulmuştur. Şekil 3.1'de yöntem detayı gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Yöntem Akış Şeması

3.1.İncelenecek Boru Tipleri

Çalışmamızda doğal gaz sektöründe kullanılan çeşitli borular içerisinde, BOTAS'ın ana besleme hatlarında ve istasyonlarda kullanılan TS EN ISO 3183 X42N boru ile istasyon ve iç tesisat hatlarında kullanılmakta olan TS EN ISO 3183 Kalite A ve Kalite B borular incelenmiştir. Boru çapları yeterli mekanik özellikleri inceleyebilmek için 2 inch (60,3 mm) olarak seçilmiştir. Uygulanan kaynak yöntemleri doğal gaz sektöründe yoğun olarak kullanılan kaynak yöntemleri içerisinde seçilip, çalışmamızda belirlenen kaynak yöntemlerinin farklı mekanik ve kimyasal özelliklere sahip borular üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Çalışmamızda incelediğimiz TS EN ISO 3183 standart borular PSL1 ve PSL2 olmak üzere farklı şartname seviyelerine sahiptirler. PSL 1 şartname seviyesi, temel standart kalitesini kapsamaktadır. PSL 2 şartname seviyesi ilave kimyasal özellikler ile, çentik tokluğu, dayanım, tahribatsız muayene şartlarını gerektirmektedir. Çizelge 3.1'de üretim yöntemleri ile farklı boru kalite durumları gösterilmiştir (30) (31) (37).

Çizelge 3.1 TS EN ISO 3183 ve API 5L Standartlarına Göre Farklı Kalite ve Şartname Seviyeleri

TS EN ISO 3183		Boru Kalitesindeki Sınıflar
PSL 1	A25	
	Grade A	
	Grade B	
	X42	
	X46	
	X52	
	X56	
	X60	
	X65	
	X70	
PSL 2	Grade B	R,N,Q,M
	X42	R,N,Q,M
	X46	N,Q,M
	X52	N,Q,M
	X56	N,Q,M
	X60	N,Q,M
	X65	Q,M
	X70	Q,M
	X80	Q,M
	X90	Q,M
	X100	Q,M
	X120	M

R: Haddelendiği şekilde

N: Haddelenip normalize edilmiş

Q: Su verilip temperlenmiş

M: Termo mekanik olarak haddelenmiş,
şekil verilmiş

TS EN ISO 3183 standardına göre PSL 1 kalitesindeki boruların kimyasal bileşimlerinin yüzdeler olarak detayları çizelge 3.2’de belirtilmiştir.

Çizelge 3.2 TS EN ISO 3183 ve API 5L Standartlarına Göre Et Kalınlığı 25 mm’den Küçük Olan PSL 1 Kalitesindeki Boruların Yüzdeler Kimyasal Bileşimleri

ÇELİK KALİTESİ	PSL 1 Boru Kimyasal Bileşimleri (%)							
	C	Mn	P		S	V	Nb	Ti
	max	max	min	max	max	max	max	max
DİKİŞSİZ BORU								
A25	0,21	0,6	-	0,03	0,03	-	-	-
A25 P	0,21	0,6	0,045	0,03	0,03	-	-	-
Kalite A	0,22	0,9	-	0,03	0,03	-	-	-
Kalite B	0,28	1,2	-	0,03	0,03	a	a	a
X42	0,28	1,3	-	0,03	0,03	a	a	a
X46	0,28	1,4	-	0,03	0,03	a	a	a
X52	0,28	1,4	-	0,03	0,03	a	a	a
X56	0,28	1,4	-	0,03	0,03	a	a	a
X60	0,28	1,4	-	0,03	0,03	a	a	a
X65	0,28	1,4	-	0,03	0,03	a	a	a
X70	0,28	1,4	-	0,03	0,03	a	a	a

$$a = Nb + V + Ti \leq 0,15 \%$$

TS EN ISO 3183 standardına göre PSL 2 kalitesindeki boruların kimyasal bileşimlerinin yüzdeler olarak detayları çizelge 3.3’te belirtilmiştir.

Çizelge 3.3 TS EN ISO 3183 ve API 5L Standartlarına Göre Et Kalınlığı 25 mm’den Küçük Olan PSL 2 Kalitesindeki Boruların Yüzdeler Kimyasal Bileşimleri

ÇELİK KALİTESİ	PSL 2 Boru Kimyasal Bileşimleri (%)							
	C	Si	Mn	P	S	V	Nb	Ti
	max	max	max	min	max	max	max	max
DİKİŞSİZ VE KAYNAKLI BORU								
BR	0,24	0,40	1,20	0,025	0,015	c	c	0,04
X42R	0,24	0,40	1,20	0,025	0,015	0,06	0,05	0,04
BN	0,24	0,40	1,20	0,025	0,015	c	c	0,04
X42N	0,24	0,40	1,20	0,025	0,015	0,06	0,05	0,04
X46N	0,24	0,40	1,40	0,025	0,015	0,07	0,05	0,04
X52N	0,24	0,45	1,40	0,025	0,015	0,10	0,05	0,04
X56N	0,24	0,45	1,40	0,025	0,015	0,10	0,05	0,04
X60N	0,24	0,45	1,40	0,025	0,015	0,10	0,05	0,04
BQ	0,18	0,45	1,40	0,025	0,015	0,05	0,05	0,04
X42Q	0,18	0,45	1,40	0,025	0,015	0,05	0,05	0,04
X46Q	0,18	0,45	1,40	0,025	0,015	0,05	0,05	0,04
X52Q	0,18	0,45	1,50	0,025	0,015	0,05	0,05	0,04
X56Q	0,18	0,45	1,50	0,025	0,015	0,07	0,05	0,04
X60Q	0,18	0,45	1,70	0,025	0,015	g	g	g
X65Q	0,18	0,45	1,70	0,025	0,015	g	g	g
X70Q	0,18	0,45	1,80	0,025	0,015	g	g	g
X80Q	0,18	0,45	1,90	0,025	0,015	g	g	g
X90Q	0,16	0,45	1,90	0,020	0,010	g	g	g
X100Q	0,16	0,45	1,90	0,020	0,010	g	g	g

$$g = Nb + V + Ti \leq 0,15 \%$$

$$c = Nb + V \leq 0,06 \%$$

Üretimi tamamlanan borulara belirli standartlar aralığında çekme deneyleri yapılır. Bu deneyler minimum ve maksimum akma, çekme dayanımları ile uzama miktarlarını standartlar ölçüsünde sağlaması gerekmektedir. Belirlenmiş olan temel standartlar yanı sıra, üretici ve müşterinin özel istekleri sonucu farklı kalite ve dayanımlarda boru üretimleri sağlanabilir. Standartlar dışı farklı kalite şartları minimum standart seviyesini sağlamak zorundadır. Üretimi tamamlanmış olan TS EN ISO 3183 standardındaki borular için minimum dayanım şartları çizelge 3.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.4 (a) PSL 1 Şartname Seviyesi Boru Çekme Deneyi Minimum Değerler
(b) PSL 2 Şartname Seviyesi Boru Çekme Deneyi Minimum Değerler

PSL 1				
Boru Kalitesi	Dikişsiz ve Kaynaklı Boru Gövdesi			Kaynak Dikişi
	Akma Dayanımı Rt0,5 Mpa min.	Çekme Dayanımı Rm Mpa min.	Uzama Af %	Çekme Dayanımı Rm Mpa min.
Kalite A	210	335	Af	335
Kalite B	245	415	Af	415
X42	290	415	Af	415
X46	320	435	Af	435
X52	360	460	Af	460
X56	390	490	Af	490
X60	415	520	Af	520
X65	450	535	Af	535
X70	485	570	Af	570

(a)

PSL 2						
Boru Kalitesi	Dikişsiz ve Kaynaklı Boru Gövdesi				Kaynak Dikişi	
	Akma Dayanımı Rt0,5 Mpa min.		Çekme Dayanımı Rm Mpa min.		Uzama Af %	Çekme Dayanımı Rm Mpa min.
	min.	max.	min.	max.	min.	min.
Kalite B(R,N,Q,M)	245	450	415	655	Af	415
X42(R,N,Q,M)	290	495	415	655	Af	415
X46(N,Q,M)	320	525	435	655	Af	435
X52(N,Q,M)	360	530	460	760	Af	460
X56(N,Q,M)	390	545	490	760	Af	490
X60(N,Q,M)	415	565	520	760	Af	520
X65(Q,M)	450	600	535	760	Af	535
X70(Q,M)	485	635	570	760	Af	570
X80(Q,M)	555	705	625	825	Af	652
X90(M)	625	775	695	915	Af	695
X90(Q)	625	775	695	915	Af	----
X100(M)	690	840	760	990	Af	760
X100(Q)	690	840	760	990	Af	----
X120(M)	830	1050	915	1145	Af	915

(b)

$$A_f = C \frac{A_{xc}^{0,2}}{U^{0,9}} \leq \%22$$

- Af = Yüzde olarak kırılma uzaması
 C = Sabittir (SI birim sistemi için 1940)
 A_{xc} = mm² çekme deney kesit alanı
 U = MPa olarak asgari çekme dayanımı
 Rt = MPa olarak asgari akma dayanımı
 Rm = MPa olarak asgari gerilme dayanımı (30)

3.1.1. X42N çelik boru

TS EN ISO 3183 PSL2 L290 X42 standart boru API 5L PSL2 L290 X42 standart borusunun eşdeğeridir. Çalışmada kullanacağımız TS EN ISO 3183 L290N X42N boru, “N” şartname seviyesine sahip boru çeşididir. N şartname seviyesi; çeliğin haddelendikten sonra normalize edilmesini kapsar.

Normalize edilme işlemi, hadde işlemi bitirildikten sonra çeliğin yüksek sıcaklığa ısıtılıp yüksek sıcaklıkta belirli bir süre tutulması işlemidir. Bu işlem çelik içerisindeki homojensizliklerin giderilmesini daha ince taneli yapıya ulaşmasını sağlamak ile birlikte çeliğin işleme özelliklerini ve mekanik özelliklerini iyileştirir (38).

Çizelge 3.5’te numunenin mekanik özellikleri ve şekil 3.2’de numune resmi gösterilmiştir.

Çizelge 3.5 TS EN ISO 3183 L290N X42N Kalite Boru Numune Detayları

Boru	Dış Çap (mm)	Et Kalınlığı (mm)	Ağırlık (kg/m)	Akma Dayanımı		Çekme Dayanımı	
				R _{t0,5} Mpa min.	R _m Mpa min.	min.	max.
PSL2				min.	max.	min.	max.
X42N (2 inch)	60,3	3,9	5,42	290	495	415	655



Şekil 3.2 TS EN ISO 3183 L290 X42N Numune Resmi

3.1.2. Kalite A çelik boru

TS EN ISO 3183 PSL1 L210 Kalite A standart boru API 5L PSL1 L210 Kalite A borunun eşdeğeri. Çalışmada kullandığımız boru TS EN ISO 3183 PSL1 L210 boru PSL1 temel standart kalitesini kapsamakta ve DIN 30670 standardına göre polietilen kaplı olarak üretilmiştir. DIN 30670 standardına göre polietilen kaplama korozyon ve çevresel şartlardan borunun korunması için uygulanmaktadır (39).

Çizelge 3.6'da numunenin mekanik özellikleri ve şekil 3.3'te numune resmi gösterilmiştir.

Çizelge 3.6 TS EN ISO 3183 PSL1 L210 Kalite A Boru Numune Detayları

Boru	Dış Çap (mm)	Et Kalınlığı (mm)	Ağırlık (kg/m)	Akma Dayanımı R _{t0,5} Mpa min.		Çekme Dayanımı R _m Mpa min.
				min.	max.	min.
PSL1						
Kalite A (2 inch)	60,3	3,9	5,42	210	335	335



Şekil 3.3 TS EN ISO 3183 L210 Kalite A Numune Resmi

3.1.3. Kalite B çelik boru

TS EN ISO 3183 PSL1 L245 Kalite B standart boru API 5L PSL1 L245 Kalite B borunun eşdeğeri. Çalışmada kullandığımız boru TS EN ISO 3183 PSL1 L245 boru PSL1 temel standart kalitesini kapsamaktadır. Çizelge 3.7'de numunenin mekanik özellikleri ve şekil 3.4'te numune resmi gösterilmiştir.

Çizelge 3.7 TS EN ISO 3183 PSL1 L245 Kalite B Boru Numune Detayları

Boru	Dış Çap (mm)	Et Kalınlığı (mm)	Ağırlık (kg/m)	Akma Dayanımı R _{t0,5} Mpa min.		Çekme Dayanımı R _m Mpa min.
				min.	max.	min.
PSL1						
Kalite B (2 inch)	60,3	3,9	5,42	245	415	415



Şekil 3.4 TS EN ISO 3183 L245 Kalite B Numune Resmi

3.2.Uygulanan Kaynak Yöntemleri

Tüm kaynak işlemlerinden önce boru kesimleri ve kaynak ağzı temizleme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Tüm kaynak yöntemleri alanının uzman kişileri tarafından yapılarak kaynakların iç yapıları tahribatsız muayene yöntemi ile incelenmiştir.

Borular birleştirilmeden önce otomatik testere ile kesilmiştir. Şekil 3.5'te boruların otomatik testere ile kesim işlemi gösterilmiştir.



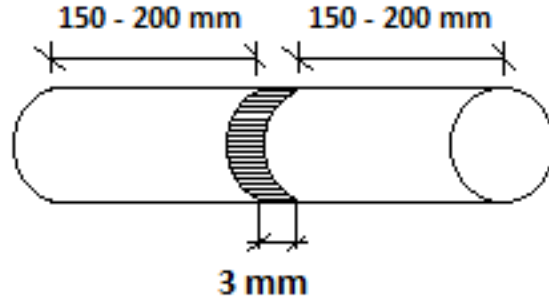
Şekil 3.5 Boruların Otomatik Testere İle Kesimi

Kesimi tamamlanan borular kaynak ağzı temizlenip, borunun kaynaklanacak bölgesinin içi ve dışı taşlanarak kaynak esnasında cüruf ve gözenek oluşumu engellenir. Şekil 3.6'da kaynak ağzı temizleme işleminin yapılışı gösterilmiştir.



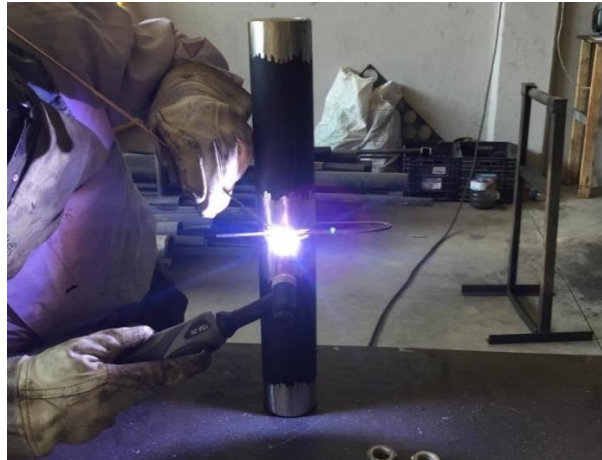
Şekil 3.6 Taşlama İşlemi ve Kaynak Ağzı Açılması

Kaynak ağzı oluşturulup taşlama yapılan borular TIG ve elektrik ark kaynak işlemleri için şekil 3.7'deki parametrelere göre aralık bırakılıp sabitlenecek birkaç nokta puntalanmıştır. Borular arası mesafe sabitlendikten sonra kaynak işlemine geçilmiştir. Malzemeler kaynak işlemine tabi olmadan önce, 3mm aralık bırakılarak kök, dolgu ve kapak olmak üzere 3 pasoda iyi nüfuziyetli kaynak bölgeleri elde edilmesi amaçlanmıştır.



Şekil 3.7 Boruların Kaynaklı Birleştirme Detayları

Şekil 3.8'de borular arası sabitleme işleminin yapıлып 2 boru arası mesafenin sabitlenmesi gösterilmiştir.

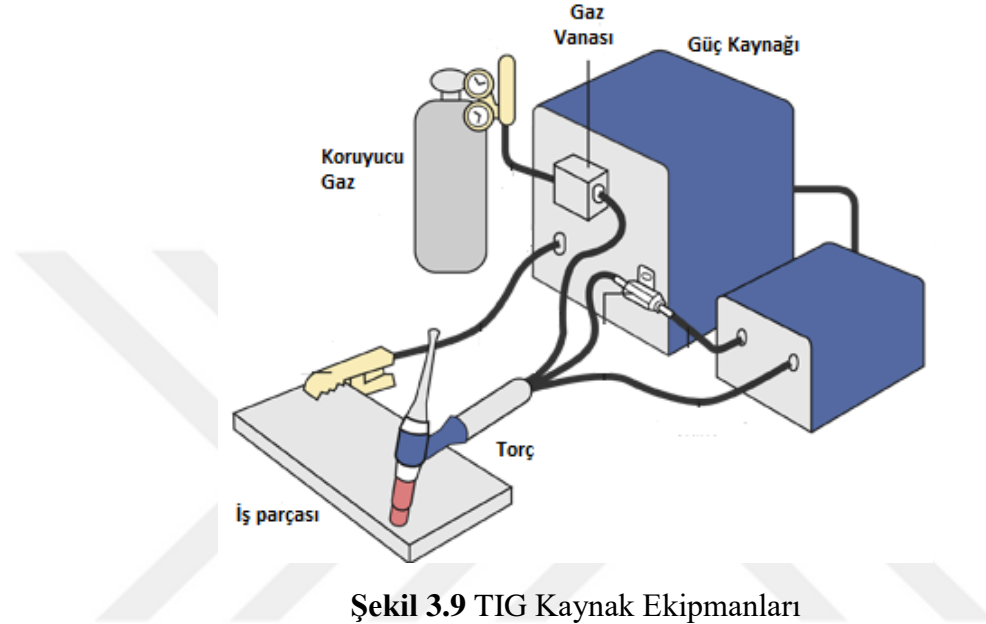


Şekil 3.8 Borular Arası Mesafenin 3 mm'ye Sabitlenmesi

3.2.1. TIG kaynak yöntemi (GTAW)

TIG kaynak yöntemi, gerekli ısıyı tungsten elektrot ve iş parçası arasında oluşturulan ark ile karşılayan ve kaynak bölgesine elektrotu çevreleyen nozul içerisinden asal gaz gönderilerek kaynak bölgesinin korunduğu gaz altı kaynak yöntemidir.

TIG kaynak yöntemi çelik, bakır, alüminyum ve demir dışı metaller gibi kaynak işlemi zor olan metallerin kaynak edilmesinde kullanılmaktadır. TIG kaynak yöntemi kaynak bölgesine gönderilen asal gaz ile kaynak bölgesinde havanın olumsuz etkilerini önleyip kaynak kalitesini artırmaktadır. Şekil 3.9'da TIG kaynak ekipmanları gösterilmiştir (40).



Şekil 3.9 TIG Kaynak Ekipmanları

3.2.1.1. TIG kaynak yöntemi uygulaması

TIG kaynak yöntemi uygulaması doğal gaz RMS istasyonları üretimi yapan, doğal gaz sektörü ve TIG kaynak yönteminde tecrübeli Kayamak Mühendislik firmasında yapılmıştır. TIG kaynak yöntemi uygulanırken koruyucu gaz olarak argon gazı kullanılmıştır. Kaynak teli olarak Geka SG2 kaynak teli kullanılmıştır. Kaynak kök, dolgu ve kapak olarak 3 pasoda gerçekleştirilmiş ve kaynak parametrelerindeki detaylar çizelge 3.8'de verilmiştir.

Çizelge 3.8 Kaynak Uygulama Parametreleri

		İlave Malzeme Çapı	Akım Şiddeti	Gerilim	Akım Türü
Kaynak Paso Düzeni	1. Paso - Kök Paso	2,4 mm	115 A	21,5 V	DC (+)
	2. Paso - Dolgu Paso	2,4 mm	100 A	21,5 V	DC (+)
	3. Paso - Kapak Paso	2,4 mm	90 A	21,5 V	DC (+)
Kaynak Yöntemi	TIG				
Kaynak Ağzı Hazırlığı	Taşlama yapılarak hazırlandı				
Kaynak Pozisyonu	Düşey				
Koruyucu Gaz	Argon				
Gaz Akış Debisi	16 Litre / Dakika				
İlave Tel	Geka SG2				

Kaynak'ta kullanılan telin detayları çizelge 3.9'da verilmiştir.

Çizelge 3.9 Geka SG2 Kaynak Teli Özellikleri

Geka SG2 Kaynak Teli						
Kaynak Telinin Kimyasal Bileşimi %			Mekanik Değerler			
			Akma Dayanımı (N/mm ² = Mpa)	Çekme Dayanımı (N/mm ² = Mpa)	Çentik Dayanımı	Uzama %
C	Si	Mn				
0,08	0,85	1,45	min. 420	500-640	min. 47 Joule	min. 22

Boru kesimleri kaynak ağzı açılması ve kaynak aralığı sabitlemeleri yapılmış borular kaynak edilmiştir. Şekil 3.10'da TIG kaynak yöntemi uygulaması gösterilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.10 (a) X42N (b) Kalite A (c) Kalite B Boruların TIG Kaynak Yöntemi ile Kaynak Edilmesi

Şekil 3.11'de kaynak işlemleri tamamlanmış boruların kaynak sonrası durumları gösterilmiştir.



(a)



(b)



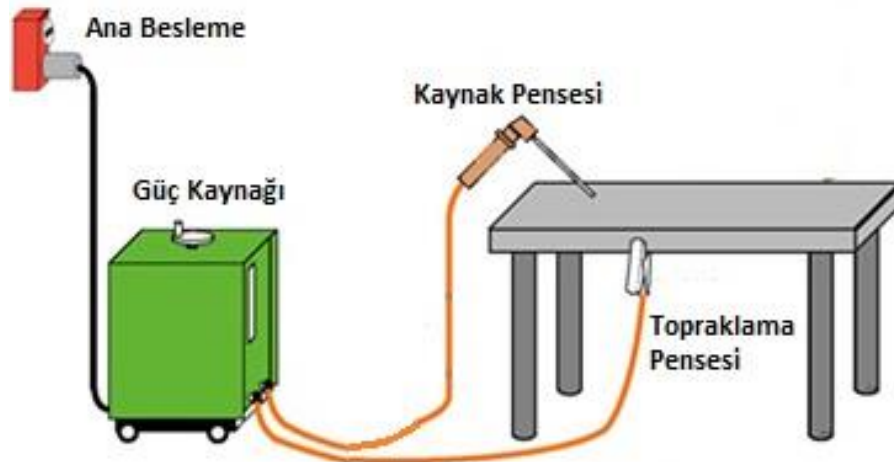
(c)

Şekil 3.11 (a) X42N (b) Kalite A (c) Kalite B Boruların TIG Kaynak Yöntemi Sonrası Görüntüleri

3.2.2. Elektrik ark kaynak yöntemi (SMAW)

Elektrik ark kaynağı, elektrot ile iş parçası arasında oluşan ark sonucu örtülü elektrotun ergimesi ve bu sayede kaynak metali oluşması ile kaynak işlemi gerçekleştiren bir yöntemdir. Ergime esnasında elektrot üzerindeki örtü gaz halini alarak kaynak bölgesini atmosferden korur, kaynak esnasında atmosferden korunan kaynak bölgesi mekanik olarak başarılı sonuçlar vermektedir. Elektrik ark kaynak yöntemi kaynak yapılışının ve ekipman temininin kolay olması bununla beraber başarılı kaynak sonuçları ortaya çıkarması nedeni ile tercih edilen bir yöntemdir.

Elektrik ark kaynak yönteminde birçok elektrot çeşidi kullanılmaktadır. Elektrotlar, örtü tipi, kaynak pozisyonu, akım ve kutup durumuna göre sınıflandırılırlar. Örtü tipine göre, selülozik, asidik, bazik, rutil elektrotlar olarak farklılık gösterirler. Şekil 3.12’de elektrik ark kaynak yöntemi ekipmanları gösterilmiştir (40) (41).



Şekil 3.12 Elektrik Ark Kaynak Ekipmanları

3.2.2.1. Elektrik ark kaynak yöntemi uygulaması

Elektrik ark kaynak yöntemi uygulaması doğal gaz sektörünün her konuda ülkemizdeki öncü kuruluşu İGDAŞ firmasında yapılmıştır. Elektrik ark kaynak yöntemi uygulanırken elektrot olarak AS S-6010 selülozik örtülü elektrot kullanılmıştır. Kaynak kök, dolgu ve kapak olarak 3 pasoda gerçekleştirilmiş ve kaynak parametrelerindeki detaylar çizelge 3.10'da verilmiştir.

Çizelge 3.10 Kaynak Uygulama Parametreleri

		Elektrot Çapı	Akım Şiddeti	Gerilim	Akım Türü
Kaynak Paso Düzeni	1. Paso - Kök Paso	2,5 mm	80 A	30 V	DC (+)
	2. Paso - Dolgu Paso	2,5 mm	75 A	30 V	DC (+)
	3. Paso - Kapak Paso	2,5 mm	70 A	30 V	DC (+)
Kaynak Yöntemi	Elektrik Ark				
Kaynak Ağızı Hazırlığı	Taşlama yapılarak hazırlandı				
Kaynak Pozisyonu	Düşey				
Kullanılan Elektrot	AS S-6010				

Kaynak'ta kullanılan telin detayları çizelge 3.11'de verilmiştir.

Çizelge 3.11 AS S-6010 Selülozik Elektrot Özellikleri

AS S-6010 Selülozik Elektrot						
Kaynak Elektrotunun Kimyasal Bileşimi %			Mekanik Değerler			
			Akma Dayanımı	Çekme Dayanımı	Çentik Dayanımı	Uzama
C	Si	Mn	(N/mm ² = Mpa)	(N/mm ² = Mpa)		%
0,08	0,2	0,6	min. 420	min.530	45 Joule	25

Boru kesimleri kaynak ağızı açılması ve kaynak aralığı sabitlemeleri yapılmış borular kaynak edilmiştir. Şekil 3.13'te elektrik ark kaynak yönteminin uygulandığı gösterilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.13 (a) X42N (b) Kalite A (c) Kalite B Boruların Elektrik Ark Kaynak Yöntemi ile Kaynak Edilmesi

Şekil 3.14'te kaynak işlemleri tamamlanmış boruların kaynak sonrası durumları gösterilmiştir.



(a)



(b)



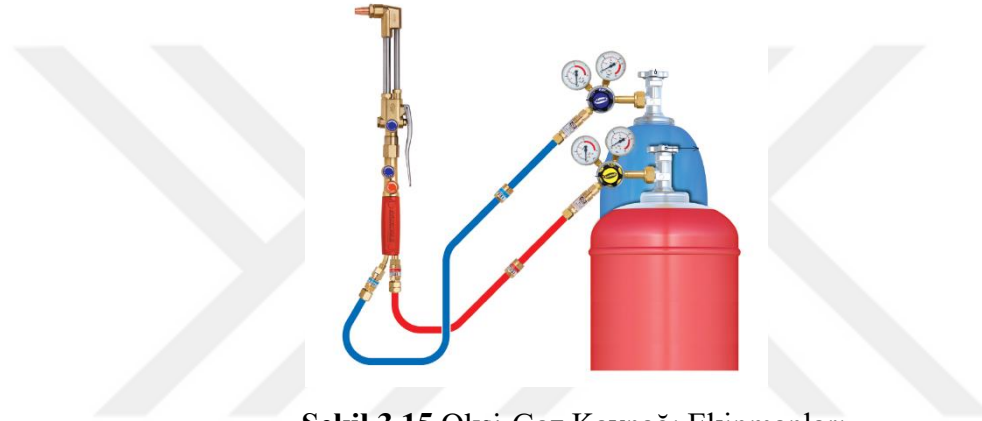
(c)

Şekil 3.14 (a) X42N (b) Kalite A (c) Kalite B Boruların Elektrik Ark Kaynak Yöntemi Sonrası Görüntüleri

3.2.3. Oksi-Gaz kaynak yöntemi (OAW)

Oksi-gaz kaynak yöntemi ergime için gerekli ısının yanıcı gaz veya gaz karışımları ile yakıcı gazın yanması sonucu ortaya çıkan alevden faydalanılarak yapılan kaynak yöntemidir. Oksigaz yöntemi ergitme işlemi gerçekleştirdiği için, malzemelerin kaynaklı birleştirme işlemini ve kesme işlemini yapmaktadır.

Yakıcı gaz olarak; oksijen gazı, yanıcı gaz olarak; Asetilen (C_2H_2), Hidrojen (H_2), Metan (CH_4), Propan (C_3H_8), Bütan (C_4H_{10}), Propan- Bütan karışımı, Havagazı, Benzin ve Benzol buharı kullanılır. Genellikle Asetilen (C_2H_2) gazı yanıcı gaz olarak kullanılmaktadır. Uygulanması ve ekipman temini kolay olması nedeniyle tercih edilebilen bir yöntem olan oksigaz kaynak yöntemi, oluşturduğu ITAB bölgesi ve bu nedenle kaynak esnasında malzemenin iç yapısında meydana gelen değişiklikler sonucu her alanda tercih edilmemektedir. Şekil 3.15'te oksigaz kaynağı ekipmanları gösterilmiştir (40) (42).



Şekil 3.15 Oksi-Gaz Kaynağı Ekipmanları

3.2.3.1.Oksi-Gaz kaynak yöntemi uygulaması

Oksi-gaz kaynak yöntemi uygulaması yangın ve pislik tutucu ekipmanları üretimi yapan, alanında tecrübeli Mevtes Mühendislik firmasında yapılmıştır. Oksi-gaz kaynak yöntemi uygulanırken yakıcı gaz olarak oksijen gazı ve yanıcı gaz olarak asetilen gazı kullanılmıştır. Kaynak teli olarak TIG kaynağı yapımı için kullandığımız Geka SG2 kaynak teli kullanılmıştır. Kaynak kök, dolgu ve kapak olarak 3 pasoda gerçekleştirilmiş ve kaynak parametrelerindeki detaylar çizelge 3.12'de verilmiştir.

Çizelge 3.12 Kaynak Uygulama Parametreleri

		İlave Tel Çapı
Kaynak Paso Düzeni	1. Paso - Kök Paso	2,4 mm
	2. Paso - Dolgu Paso	2,4 mm
	3. Paso - Kapak Paso	2,4 mm
Kaynak Yöntemi	Oksi-Gaz Kaynak Yöntemi	
Kaynak Ağız Hazırlığı	Taşlama yapılarak hazırlandı	
Kaynak Pozisyonu	Düşey	
İlave Tel	Geka SG2	
Yakıcı Gaz	Oksijen	
Yanıcı Gaz	Asetilen	

Kaynak'ta kullanılan telin detayları çizelge 3.13'te verilmiştir.

Çizelge 3.13 Geka SG2 Kaynak Teli Özellikleri

Geka SG2 Kaynak Teli						
Kaynak Telinin Kimyasal Bileşimi %			Mekanik Değerler			
			Akma Dayanımı (N/mm ² = Mpa)	Çekme Dayanımı (N/mm ² = Mpa)	Çentik Dayanımı	Uzama %
C	Si	Mn	min. 420	500-640	min. 47 Joule	min. 22
0,08	0,85	1,45				

Boru kesimleri kaynak ağzı açılması ve kaynak aralığı sabitlemeleri yapılmış borular kaynak edilmiştir. Şekil 3.16'da Oksi-gaz kaynak yönteminin uygulanışı gösterilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.16 (a) X42N (b) Kalite A (c) Kalite B Boruların Oksi-Gaz Kaynak Yöntemi ile Kaynak Edilmesi

Şekil 3.17'de kaynak işlemleri tamamlanmış boruların kaynak sonrası durumları gösterilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.17 (a) X42N (b) Kalite A (c) Kalite B Boruların Oksi-Gaz Kaynak Yöntemi Sonrası Görüntüleri

Kaynak işlemleri yapılan tüm borular için “Kaynak işlem raporu” düzenlenmiş olup örnek kaynak işlem raporu EK-1’de verilmiştir.

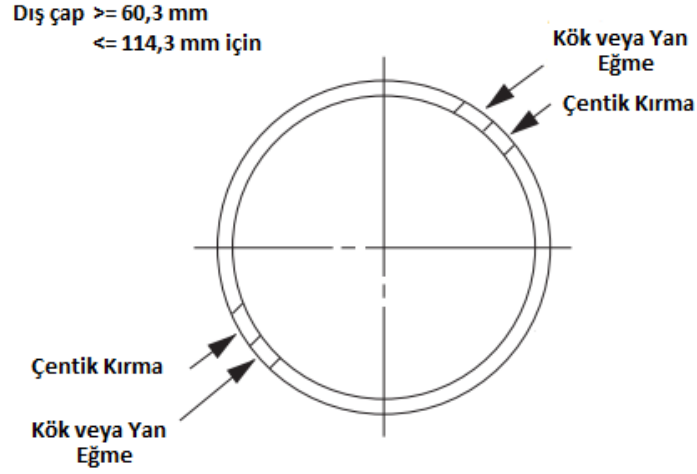
3.3.Deney Numuneleri Hazırlanması

Yapmış olduğumuz çalışmada, TS EN ISO 3183 standart X42N, Kalite A, Kalite B boruların, TIG, oksi-gaz , elektrik ark kaynak yöntemleri ile birleştirilmeleri sonucu elde edilen numuneler API 1104 standardına göre muayenelere tabi tutulmuştur (43). Tahribatlı ve tahribatsız testlerin tamamı İGDAŞ’ın iştiraki olan UGETAM firması ve UGETAM firmasına danışmanlık yapmakta olan Fokus Kalite Kontrol Ltd. Şti. şirketinde yapılmıştır.

Kaynaklanmış olan tüm numuneler API 1104 standardına göre kaynak bölgelerinden radyografik olarak incelenmiştir. TIG ve elektrik ark kaynak yöntemleri radyografik incelemede başarılı sonuçlar vermiş ve oksi-gaz kaynak yöntemi ile birleştirilen borular oksi-gaz kaynak yönteminin oluşturduğu ITAB bölgesi ve yöntemin handikaplarından dolayı kaynak bölgesinin bazı noktalarında başarılı sonuç vermemiştir.

API 1104 standardının numune testleri ile ilgili belirtmiş olduğu detaylar dikkate alınıp, kaynak filmi sonuçları başarılı olan TIG ve elektrik ark kaynak yöntemleri uygulanan numuneler, 1 adet çentikli kırma, 1 adet kök eğme, 1 adet sertlik ve 1 adet makro yapı incelenmesi işlemleri uygulanıp test edilmiştir. Kaynak filmi sonuçları başarısız olmayan oksi-gaz kaynak yöntemli numuneler, 2 adet çentikli kırma, 2 adet kök eğme, 2 adet sertlik ve 2 adet makro yapı incelenmesi işlemleri uygulanıp test edilmiştir.

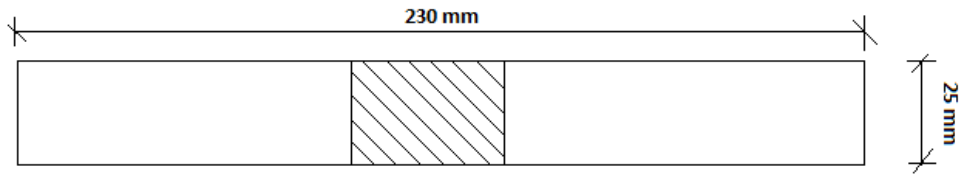
Test numunelere hazırlanırken başvuru standart olan API 1104’ün numune çıkarımı ile ilgili belirtmiş olduğu detay şekil 3.18’deki gibidir (43).



Şekil 3.18 API 1104 Standardı Numune Çıkarım Detayı

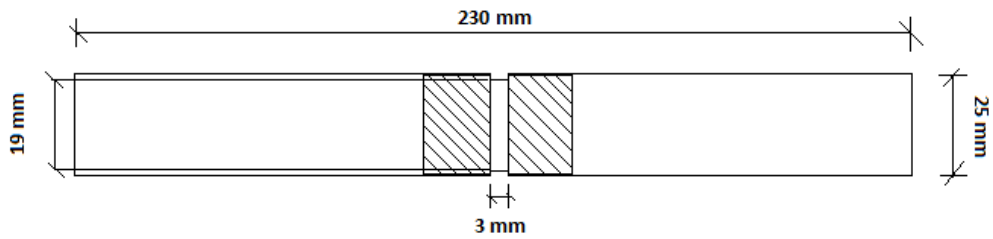
Test numuneleri çıkarımı için cnc freze tezgâhı kullanılmıştır. Cnc freze tezgahında kesilen numuneler kesim yüzeyinde çentik etkisi oluşmaması amaçlı yüzeyleri zımparalanmıştır.

Kök eğme testi yapılan numunelerin boyutları ile ilgili detaylar şekil 3.19'daki gibidir.



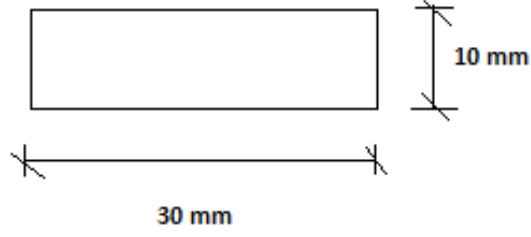
Şekil 3.19 Kök Eğme Testi Numune Şematığı

Çentikli kırma testi yapılan numunelerin boyutları ile ilgili detaylar şekil 3.20'deki gibidir.



Şekil 3.20 Çentikli Kırma Testi Numune Şematığı

Makro yapı incelemesi ve sertlik testi aynı numune üzerinden incelenmiştir. Numunelerin makro yapısı incelendikten sonra numune sertlik testine tabi tutulmuştur. Numunelerin boyutları ile ilgili detaylar şekil 3.21'deki gibidir.



Şekil 3.21 Makro Yapı ve Sertlik Testi Numune Şematığı

Hazırlanan numuneler, çentikli kırma testi için numune üzerine çentik açılmış ve kök eğme testi için kaynak kepi ve kökü taşlanmıştır.

API 1104 standardının belirtmiş olduğu bir boruda alınabilecek çekme testi, çentik darbe testi ve kök eğme testi numune adetleri çizelge 3.14’te verilmiştir. Çizelgede belirtildiği üzere, 60.3 mm boyuta ve 3.9 mm et kalınlığına sahip olan numunelerimiz, her numunedan 2 adet çentikli kırma ve 2 adet kök eğme numunesi alınabilmektedir.

Çizelge 3.14 API 1104 Standardı Kaynaklı Parçada Çıkarılabilecek Numune Adedi

Boru Boyutu (mm)	Çekme Testi	Çentikli Kırma	Kök Eğme
Boru Et Kalınlığı ≤ 12.7 mm			
< 60.3	0	2	2
60.3 - 114.3	0	2	2
114.3 - 323.9	2	2	2
> 323.9	4	4	4
Boru Et Kalınlığı > 12.7 mm			
≤ 114.3	0	2	0
114.3 - 323.9	2	2	0
> 323.9	4	4	0

Testlerin uygulanması esnasında numunelerin takibi amaçlı numuneler üzerinde markalama işlemleri yapılmıştır. Parçalara verilen kodlar ile ilgili detaylar çizelge 3.15’te verilmiştir.

Çizelge 3.15 Test Çalışması Markalama Çizelgesi

Parça Kodu	Malzeme	Kaynak Yöntemi	Yapılan Testler			
1	X42N	Oksi-Gaz	Çentikli Kırma	Kök Eğme	Makro Yapı	Sertlik
2	Kalite A	Oksi-Gaz	Çentikli Kırma	Kök Eğme	Makro Yapı	Sertlik
3	Kalite B	Oksi-Gaz	Çentikli Kırma	Kök Eğme	Makro Yapı	Sertlik
4	Kalite A	Oksi-Gaz	Çentikli Kırma	Kök Eğme	Makro Yapı	Sertlik
5	Kalite B	Oksi-Gaz	Çentikli Kırma	Kök Eğme	Makro Yapı	Sertlik
6	X42N	Oksi-Gaz	Çentikli Kırma	Kök Eğme	Makro Yapı	Sertlik
7	Kalite A	Elektrik Ark	Çentikli Kırma	Kök Eğme	Makro Yapı	Sertlik
8	Kalite B	Elektrik Ark	Çentikli Kırma	Kök Eğme	Makro Yapı	Sertlik
9	X42N	Elektrik Ark	Çentikli Kırma	Kök Eğme	Makro Yapı	Sertlik
10	Kalite B	TIG	Çentikli Kırma	Kök Eğme	Makro Yapı	Sertlik
11	X42N	TIG	Çentikli Kırma	Kök Eğme	Makro Yapı	Sertlik
12	Kalite A	TIG	Çentikli Kırma	Kök Eğme	Makro Yapı	Sertlik

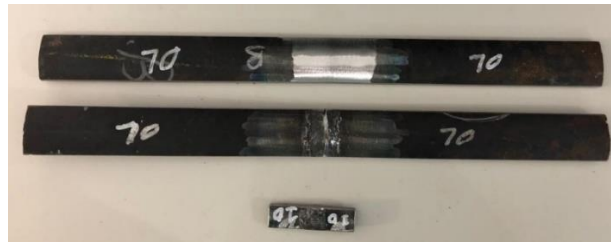
Verilen kodlar bir kaynaklı yöntem ile birleştirilen (TIG, Elektrik ark ve Oksi-Gaz), belirli kalitedeki (X42N, Kalite A ve Kalite B) kaynaklı boruyu ifade etmektedir.

3.3.1. Testler öncesi numune görüntüleri

Yapmış olduğumuz çalışmada, çentikli kırma, kök eğme, makro yapı ve sertlik testleri öncesi kaynaklı borulardan cnc freze yardımı ile API 1104 standardına uygun olarak alınan numunelerin detayları alt başlıklarda verilmiştir.

3.3.1.1.TIG kaynak yöntemi uygulanan numunelerin testler öncesi görüntüleri

Şekil 3.22’de TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmiş olan kalite B boruların API 1104 standardına göre hazırlanmış olan yukarıdan aşağı olarak sırayla kök eğme, çentikli kırma, makro yapı ve sertlik numuneleri gösterilmiştir.



Şekil 3.22 Testler Öncesi TIG Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmiş Kalite B Borunun Numune Resimleri (Parça kodu: 10)

Şekil 3.23'te TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmiş olan X42N boruların API 1104 standardına göre hazırlanmış olan yukarıdan aşağı olarak sırayla kök eğme, çentikli kırma, makro yapı ve sertlik numuneleri gösterilmiştir.



Şekil 3.23 Testler Öncesi TIG Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmiş X42N Borunun Numune Resimleri (Parça kodu: 11)

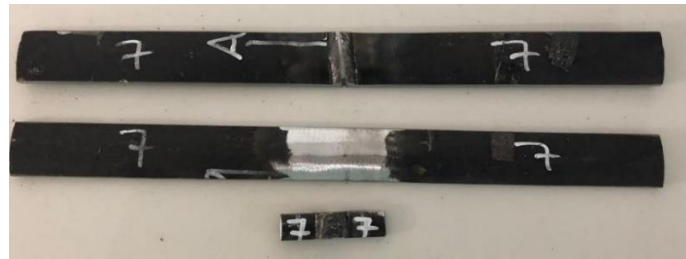
Şekil 3.24'te TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmiş olan kalite A boruların API 1104 standardına göre hazırlanmış olan yukarıdan aşağı olarak sırayla kök eğme, çentikli kırma, makro yapı ve sertlik numuneleri gösterilmiştir.



Şekil 3.24 Testler Öncesi TIG Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmiş Kalite A Borunun Numune Resimleri (Parça kodu: 12)

3.3.1.2. Elektrik ark kaynak yöntemi uygulanan numunelerin testler öncesi görüntüleri

Şekil 3.25'te elektrik ark kaynak yöntemi ile birleştirilmiş olan kalite A boruların API 1104 standardına göre hazırlanmış olan yukarıdan aşağı olarak sırayla çentikli kırma, kök eğme, makro yapı ve sertlik numuneleri gösterilmiştir.



Şekil 3.25 Testler Öncesi Elektrik Ark Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmiş Kalite A Borunun Numune Resimleri (Parça kodu: 7)

Şekil 3.26’da elektrik ark kaynak yöntemi ile birleştirilmiş olan kalite B boruların API 1104 standardına göre hazırlanmış olan yukarıdan aşağı olarak sırayla çentikli kırma, kök eğme, makro yapı ve sertlik numuneleri gösterilmiştir.



Şekil 3.26 Testler Öncesi Elektrik Ark Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmiş Kalite B Borunun Numune Resimleri (Parça kodu: 8)

Şekil 3.27’de elektrik ark kaynak yöntemi ile birleştirilmiş olan X42N boruların API 1104 standardına göre hazırlanmış olan yukarıdan aşağı olarak sırayla çentikli kırma, kök eğme, makro yapı ve sertlik numuneleri gösterilmiştir.



Şekil 3.27 Testler Öncesi Elektrik Ark Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmiş X42N Borunun Numune Resimleri (Parça kodu: 9)

3.3.1.3.Oksi-Gaz kaynak yöntemi uygulanan numunelerin testler öncesi görüntüleri

Şekil 3.28’de oksi-gaz kaynak yöntemi ile birleştirilmiş olan X42N boruların API 1104 standardına göre hazırlanmış olan yukarıdan aşağı olarak sırayla çentikli kırma, kök eğme, makro yapı ve sertlik numuneleri gösterilmiştir.



(a)



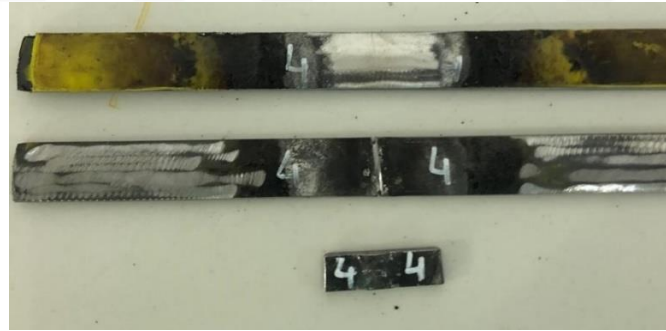
(b)

Şekil 3.28 Testler Öncesi Oksi-Gaz Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmiş X42N Borunun Numune Resimleri (a) Parça kodu: 1 (b) Parça kodu: 6

Şekil 3.29’da oksi-gaz kaynak yöntemi ile birleştirilmiş olan kalite A boruların API 1104 standardına göre hazırlanmış olan yukarıdan aşağı olarak sırayla kök eğme, çentikli kırma, makro yapı ve sertlik numuneleri gösterilmiştir



(a)



(b)

Şekil 3.29 Testler Öncesi Oksi-Gaz Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmiş Kalite A Borunun Numune Resimleri (a) Parça kodu: 2 (b) Parça kodu: 4

Şekil 3.30’da oksi-gaz kaynak yöntemi ile birleştirilmiş olan kalite B boruların API 1104 standardına göre hazırlanmış olan yukarıdan aşağı olarak sırayla kök eğme, çentikli kırma, makro yapı ve sertlik numuneleri gösterilmiştir.



(a)



(b) (Parça Kodu:3 ve 5)

Şekil 3.30 Testler Öncesi Oksi-Gaz Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmiş Kalite B Borunun Numune Resimleri (a) Parça kodu: 3 (b) Parça kodu: 5

3.3.2. Test uygulama yöntemleri

Çalışmamızda TS EN ISO 3183 standart X42N, kalite A ve kalite B borular TIG, elektrik ark ve oksji-gaz kaynak yöntemleri ile birleştirilmeleri ve API 1104 standardına göre numune hazırlanması sonucu testlere tabi tutulmuştur. Yapılan bu testler kök eğme, çentikli kırma, makro yapı ve sertlik incelemesini içermektedir.

Yapılan testlerde API 1104'ün belirtmiş olduğu tahribatlı ve tahribatsız muayene yöntemlerine göre radyografik muayene durumu, kök eğme testi sonrası kaynak bölgesinin ayrılıp ayrılmama durumu, çentikli kırma testi sonrası kırılmanın gerçekleştiği yüzeyin incelenmesi işlemleri gerçekleştirilmiştir. Malzemenin kaynak nüfuziyeti, kaynaklı bölgenin detaylı iç yapısı incelenmesi amaçlı makro yapı incelenmesine tabi tutulmuştur. Numunelerin kaynak metali bölgesi, esas metal yüzeyi ve ITAB bölgesinde sertlik değişimleri test edilmiş kaynağın sertliğe etkileri incelenmiştir (43) (44).

Radyografik muayene, Sential Delta 880 cihazında yapılmıştır. Kaynaklı boruların kaynak bölgeleri incelenmiştir.

Kök eğme testi, Alşa laboratuvar cihazları ltd. şti. firmasının KTM400 modeli hidrolik universal test cihazında yapılmıştır. Cihaz 400 kN (40 ton) yükleme kapasitesine sahiptir. Numuneler 3 noktadan 180° eğmeye maruz bırakılmıştır. Numunelerin sabitlendiği mesnetler arası mesafe 33 mm ve mandrel çapı 20 mm dir. 180° eğme sonucu numunelerin eğme testinde vermiş olduğu sonuçlar incelenmiştir.

Çentikli kırma testi, hazırlanan numuneler 450 Joule darbe gücüne sahip cihaz tarafından gerçekleştirilmiştir. API 1104 standardına göre numune kesimi yapılan numuneler, standardın belirttiği şekilde kaynak bölgesinde çentik yüzeyi açılmıştır. Numunelerin kırılma bölgeleri incelenmiştir.

Makro yapı incelemesi, XJM 400 serisi ters metal mikroskobu ile incelenmiştir. Hazırlanmış olan numuneler 1200 tane numarasına sahip zımpara ile yüzey hazırlığına tabi tutulmuştur. Numuneler mikroskop ile incelenmeden önce son olarak 20° sıcaklığa sahip Nital (1-10 ml HNO₃ + 90-99 ml CH₃OH veya C₂H₅OH) dağlama çözeltisinde 1 dakika süre ile bekletilmiş ve sonrasında mikroskop ile incelenmiştir. Makro yapı incelemesi kaynak metali bölgesi ve esas metalde olan çatlak, boşluk, ITAB bölgesi, birleştirme şekli, nüfuziyet ve kaynak pasoları detaylarının incelenmesini sağlamıştır.

Sertlik incelemesi, SHIMADZU marka HMV model cihazda yapılmıştır. Makro yapı incelemesi için kullanılan numuneler mikroskop incelemesi sonrası sertlik testine tabi tutulmuştur. Vickers sertlik yöntemi kullanılan çalışmamızda HV10 Harness Vickers (Vickers Sertlik) metodu kullanılmış ve numuneler 10 kg yük altında bırakılmıştır. Esas metal, ITAB bölgesi ve kaynak metali bölgesinde sertlikte gerçekleşen değişimler incelenmiştir. Her noktadan 3'er adet sertlik ölçümü alınmıştır.

4. BULGULAR

TS EN ISO 3183 standardına sahip X42N, Kalite A ve Kalite B borular TIG, oksî-gaz ve elektrik ark kaynak yöntemi ile birleştirildikten sonra API 1104 standardına göre radyografik olarak incelenmiştir. Radyografik inceleme sonrası API 1104 standardına göre hazırlanmış olan test numuneleri çentikli kırma testi, kök eğme testi, sertlik testi ve makro yapı incelemesi testleri uygulanmıştır.

4.1. Kaynaklı Boruların Radyografik Muayene Bulguları

Radyografik muayene malzemeler üzerinde uygulanan tahribatsız muayene yöntemlerinden biridir. Çalışmamızda kaynaklı borular radyografik muayeneye tabi tutularak, kaynak metali bölgesinde ve kaynak yapımı esnasında ITAB bölgesinde oluşabilecek süreksizlik, çatlak, cüruf kalıntısı ve cidar kayması benzeri detaylar incelenmiştir (45).

4.1.1. TIG kaynak yöntemi radyografik muayene bulguları

Şekil 4.1’de TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmiş olan kalite B standart borunun kaynak bölgesi radyografik olarak incelenmiştir. İncelenen malzemenin kaynak bölgesinde cüruf kalıntısı, çatlak, boşluk bulunmaması ve kaynak dikişinin düzgün görüntüye sahip olması nedeni ile incelemede başarılı sonuç vermiştir. Radyografik incelemede kaynak bölgesi, ITAB bölgesi ve esas metal yüzeyi görülmektedir.



Şekil 4.1 TIG Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmiş Kalite B Boru (Parça Kodu: 10)

Şekil 4.2’de TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmiş olan X42N standart borunun kaynak bölgesi radyografik olarak incelenmiştir. İncelenen malzemenin kaynak bölgesinde cüruf kalıntısı, çatlak, boşluk bulunmaması ve kaynak dikişinin düzgün görüntüye sahip olması nedeni ile incelemede başarılı sonuç vermiştir. Radyografik incelemede kaynak bölgesi, ITAB bölgesi ve esas metal yüzeyi görülmektedir.



Şekil 4.2 TIG Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmiş X42N Boru (Parça Kodu: 11)

Şekil 4.3'te TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmiş olan kalite A standart borunun kaynak bölgesi radyografik olarak incelemiştir. İncelenen malzemenin kaynak bölgesinde cüruf kalıntısı, çatlak, boşluk bulunmaması ve kaynak dikişinin düzgün görüntüye sahip olması nedeni ile incelemede başarılı sonuç vermiştir. Radyografik incelemede kaynak bölgesi, ITAB bölgesi ve esas metal yüzeyi görülmektedir.



Şekil 4.3 TIG Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmiş Kalite A Boru (Parça Kodu: 12)

4.1.2. Elektrik ark kaynak yöntemi radyografik muayene bulguları

Şekil 4.4'te elektrik ark kaynak yöntemi ile birleştirilmiş olan kalite A standart borunun kaynak bölgesi radyografik olarak incelemiştir. İncelenen malzemenin kaynak bölgesinde cüruf kalıntısı, çatlak, boşluk bulunmaması ve kaynak dikişinin düzgün görüntüye sahip olması nedeni ile incelemede başarılı sonuç vermiştir. Radyografik incelemede kaynak bölgesi, ITAB bölgesi ve esas metal yüzeyi görülmektedir.



Şekil 4.4 Elektrik Ark Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmiş Kalite A Boru (Parça Kodu: 7)

Şekil 4.5'te elektrik ark kaynak yöntemi ile birleştirilmiş olan kalite B standart borunun kaynak bölgesi radyografik olarak incelemiştir. İncelenen malzemenin kaynak bölgesinde cüruf kalıntısı, çatlak, boşluk bulunmaması ve kaynak dikişinin düzgün görüntüye sahip olması nedeni ile incelemede başarılı sonuç vermiştir. Radyografik incelemede kaynak bölgesi, ITAB bölgesi ve esas metal yüzeyi görülmektedir.



Şekil 4.5 Elektrik Ark Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmiş Kalite B Boru (Parça Kodu: 8)

Şekil 4.6’da elektrik ark kaynak yöntemi ile birleştirilmiş olan X42N standart borunun kaynak bölgesi radyografik olarak incelemiştir. İncelenen malzemenin kaynak bölgesinde cüruf kalıntısı, çatlak, boşluk bulunmaması ve kaynak dikişinin düzgün görüntüye sahip olması nedeni ile incelemede başarılı sonuç vermiştir. Radyografik incelemede kaynak bölgesi, ITAB bölgesi ve esas metal yüzeyi görülmektedir.



Şekil 4.6 Elektrik Ark Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmiş X42N Boru (Parça Kodu: 9)

4.1.3. Oksi-Gaz kaynak yöntemi radyografik muayene bulguları

Şekil 4.7’de oksi – gaz kaynak yöntemi ile birleştirilmiş olan X42N (Parça Kodu:1) standart borunun kaynak bölgesi radyografik olarak incelemiştir. İncelenen malzemenin kaynak bölgesinde cüruf kalıntısı, boşluk bulunması ve kaynak dikişinin süreksizliğe sahip olması nedeni ile incelemede başarısız sonuç vermiştir. Radyografik incelemede kaynak bölgesi, ITAB bölgesi ve esas metal yüzeyi görülmektedir.



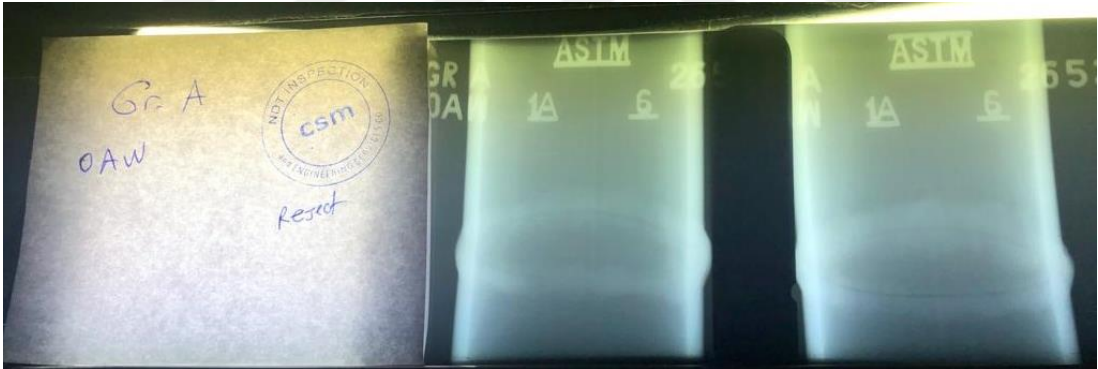
Şekil 4.7 Oksi – Gaz Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmiş X42N Boru (Parça Kodu: 1)

Şekil 4.8’de oksî – gaz kaynak yöntemi ile birleştirilmiş olan X42N (Parça Kodu:6) standart borunun kaynak bölgesi radyografik olarak incelemiştir. İncelenen malzemenin kaynak bölgesinde cüruf kalıntısı, boşluk bulunması ve kaynak dikişinin süreksizliğe sahip olması nedeni ile incelemede başarısız sonuç vermiştir. Radyografik incelemede kaynak bölgesi, ITAB bölgesi ve esas metal yüzeyi görülmektedir.



Şekil 4.8 Oksî – Gaz Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmiş X42N Boru (Parça Kodu: 6)

Şekil 4.9’da oksî – gaz kaynak yöntemi ile birleştirilmiş olan kalite A (Parça Kodu:2) standart borunun kaynak bölgesi radyografik olarak incelemiştir. İncelenen malzemenin kaynak bölgesinde cüruf kalıntısı, boşluk bulunması ve kaynak dikişinin süreksizliğe sahip olması nedeni ile incelemede başarısız sonuç vermiştir. Radyografik incelemede kaynak bölgesi, ITAB bölgesi ve esas metal yüzeyi görülmektedir.



Şekil 4.9 Oksî – Gaz Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmiş Kalite A Boru (Parça Kodu: 2)

Şekil 4.10’da oksî – gaz kaynak yöntemi ile birleştirilmiş olan kalite A (Parça Kodu:4) standart borunun kaynak bölgesi radyografik olarak incelemiştir. İncelenen malzemenin kaynak bölgesinde cüruf kalıntısı, boşluk bulunması ve kaynak dikişinin süreksizliğe sahip olması nedeni ile incelemede başarısız sonuç vermiştir. Radyografik incelemede kaynak bölgesi, ITAB bölgesi ve esas metal yüzeyi görülmektedir.



Şekil 4.10 Oksi – Gaz Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmiş Kalite A Boru (Parça Kodu: 4)

Şekil 4.11’de oksi – gaz kaynak yöntemi ile birleştirilmiş olan kalite B (Parça Kodu:3) standart borunun kaynak bölgesi radyografik olarak incelemiştir. İncelenen malzemenin kaynak bölgesinde cüruf kalıntısı, boşluk bulunması ve kaynak dikişinin süreksizliğe sahip olması nedeni ile incelemede başarısız sonuç vermiştir. Radyografik incelemede kaynak bölgesi, ITAB bölgesi ve esas metal yüzeyi görülmektedir.



Şekil 4.11 Oksi – Gaz Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmiş Kalite B Boru (Parça Kodu: 3)

Şekil 4.12’de oksi – gaz kaynak yöntemi ile birleştirilmiş olan kalite B (Parça Kodu:5) standart borunun kaynak bölgesi radyografik olarak incelemiştir. İncelenen malzemenin kaynak bölgesinde cüruf kalıntısı, boşluk bulunması ve kaynak dikişinin süreksizliğe sahip olması nedeni ile incelemede başarısız sonuç vermiştir. Radyografik incelemede kaynak bölgesi, ITAB bölgesi ve esas metal yüzeyi görülmektedir.



Şekil 4.12 Oksi – Gaz Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmiş Kalite B Boru (Parça Kodu: 5)

Yapılan radyografik muayene sonuçları çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Radyografik Muayene sonuçları

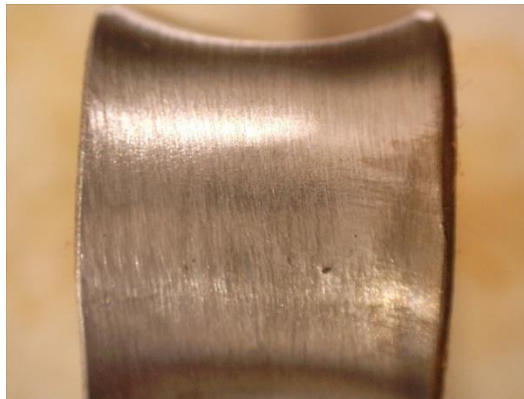
Parça Kodu	Malzeme	Kaynak Yöntemi	Radyografik Muayene Sonuçları	
1	TS EN ISO 3183	X42N	Başarısız	
2		Kalite A	Oksi-Gaz	Başarısız
3		Kalite B	Oksi-Gaz	Başarısız
4		Kalite A	Oksi-Gaz	Başarısız
5		Kalite B	Oksi-Gaz	Başarısız
6		X42N	Oksi-Gaz	Başarısız
7		Kalite A	Elektrik Ark	Başarılı
8		Kalite B	Elektrik Ark	Başarılı
9		X42N	Elektrik Ark	Başarılı
10		Kalite B	TIG	Başarılı
11		X42N	TIG	Başarılı
12		Kalite A	TIG	Başarılı

4.2.TIG Kaynak Yöntemi Bulguları

TIG kaynak yöntemi uyguladığımız TS EN ISO 3183 standart X42N, kalite A ve kalite B boruların API 1104 standardına göre hazırlanmış olan test numuneleri kök eğme, çentikli kırma, sertlik ve makro yapı incelemesi testlerine tabi tutulmuştur. Yapılan testlerin sonuçları bu bölümde incelenmektedir.

4.2.1. Kalite B boru bulguları

TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmiş olan, TS EN ISO 3183 standart kalite B boru 180° kök eğme testine tabi tutulmuştur. Yapılan test sonrası boru yüzeyi ve kaynak bölgesinde kırılma gerçekleşmemiş, testten başarılı sonuç vermiştir. Şekil 4.13’te test sonrası kırılma gerçekleşmemiş numune gösterilmiştir.



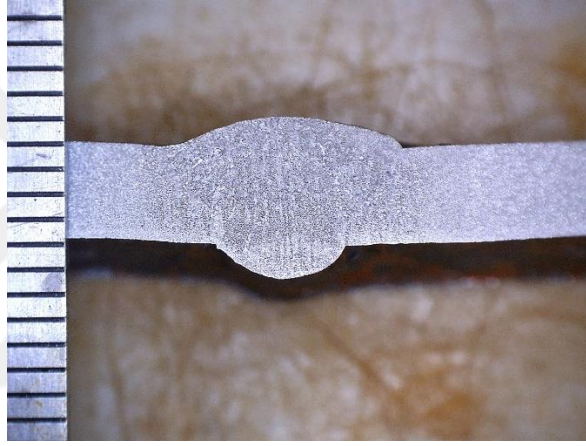
Şekil 4.13 Kök Eğme Testi Sonrası Numune Görünümü (Parça Kodu: 10)

Hazırlanan numunede yapılan çentikli kırma testi sonrası malzeme kaynak bölgesinden kırılmamıştır. Esas metal yüzeyinde kırılma gerçekleşmiştir. Kırılma sünek kırılma olarak gerçekleşmiştir. Şekil 4.14’te çentikli kırma sonrası numune gösterilmiştir.



Şekil 4.14 Çentikli Kırma Testi Sonrası Numune Görünümü (Parça Kodu: 10)

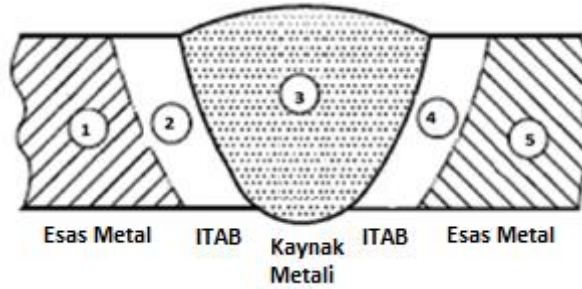
Hazırlanan numuneler gerekli yüzey hazırlama işlemleri sonrası yapılan incelemede, birleştirme şeklinin düzgün olduğu, kaynak nüfuziyetinin iyi olduğu, kaynak yüzeyi ve esas metalde herhangi bir çatlak veya boşluk bulunmadığı tespit edilmiştir. Şekil 4.15'te numunenin makro yapısı gösterilmiştir. Makro yapıda esas metal, ITAB bölgesi ve kaynak metali bölgesi görülmektedir.



Şekil 4.15 Numunenin Makro Yapısı (Parça Kodu: 10)

Hazırlanan numunede yapılan sertlik incelemesi sonucu şekil 4.16'daki gibidir. Yapılan sertlik incelemesinde sertliğin en yüksek olduğu bölge kaynak bölgesi olduğu tespit edilmiştir.

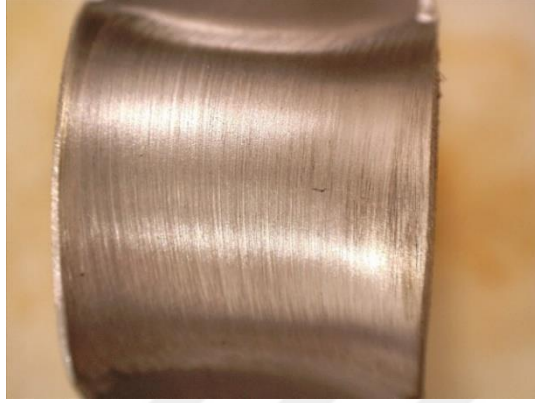
Parça Kodu	1			2			3			4		5			
10	127	125	131	154	150	152	175	177	180	151	156	153	128	123	124
Sertlik Birimi : HV															
Test Sıcaklığı 20 °C															



Şekil 4.16 Numunenin Sertlik İncelemesi (Parça Kodu: 10)

4.2.2. X42N boru bulguları

TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmiş olan, TS EN ISO 3183 standart X42N boru 180° kök eğme testine tabi tutulmuştur. Yapılan test sonrası boru yüzeyi ve kaynak bölgesinde kırılma gerçekleşmemiş, testten başarılı sonuç vermiştir. Şekil 4.17’de test sonrası kırılma gerçekleşmemiş numune gösterilmiştir.



Şekil 4.17 Kök Eğme Testi Sonrası Numune Görünümü (Parça Kodu: 11)

Hazırlanan numunede yapılan çentikli kırma testi sonrası malzeme kaynak bölgesinden kırılmamıştır. Esas metal yüzeyinde kırılma gerçekleşmiştir. Kırılma sünek kırılma olarak gerçekleşmiştir. Şekil 4.18’de çentikli kırma sonrası numune gösterilmiştir.



Şekil 4.18 Çentikli Kırma Testi Sonrası Numune Görünümü (Parça Kodu: 11)

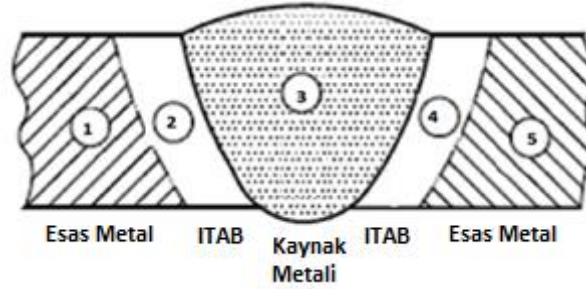
Hazırlanan numuneler gerekli yüzey hazırlama işlemleri sonrası yapılan incelemede, birleştirme şeklinin düzgün olduğu, kaynak nüfuziyetinin iyi olduğu, kaynak yüzeyi ve esas metalde herhangi bir çatlak veya boşluk bulunmadığı tespit edilmiştir. Şekil 4.19’da numunenin makro yapısı gösterilmiştir. Makro yapıda esas metal, ITAB bölgesi ve kaynak metali bölgesi görülmektedir.



Şekil 4.19 Numunenin Makro Yapısı (Parça Kodu: 11)

Hazırlanan numunede yapılan sertlik incelemesi sonucu şekil 4.20'deki gibidir. Yapılan sertlik incelemesinde sertliğin en yüksek olduğu bölge kaynak bölgesi olduğu tespit edilmiştir.

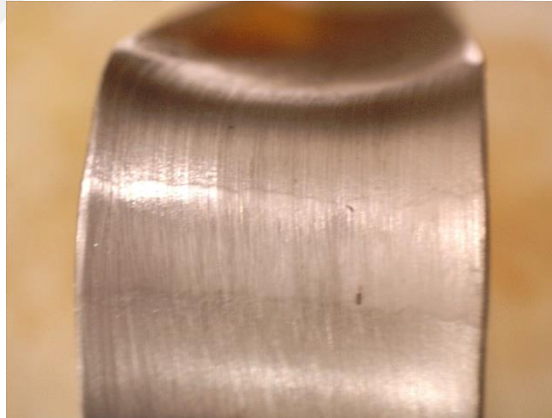
Parça Kodu	1			2			3			4			5		
11	155	157	151	168	165	164	183	183	185	164	164	166	157	158	155
												Sertlik Birimi : HV			
												Test Sıcaklığı 20 °C			



Şekil 4.20 Numunenin Sertlik İncelemesi (Parça Kodu: 11)

4.2.3. Kalite A boru bulguları

TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmiş olan, TS EN ISO 3183 standart kalite A boru 180° kök eğme testine tabi tutulmuştur. Yapılan test sonrası boru yüzeyi ve kaynak bölgesinde kırılma gerçekleşmemiş, testten başarılı sonuç vermiştir. Şekil 4.21'de test sonrası kırılma gerçekleşmemiş numune gösterilmiştir.



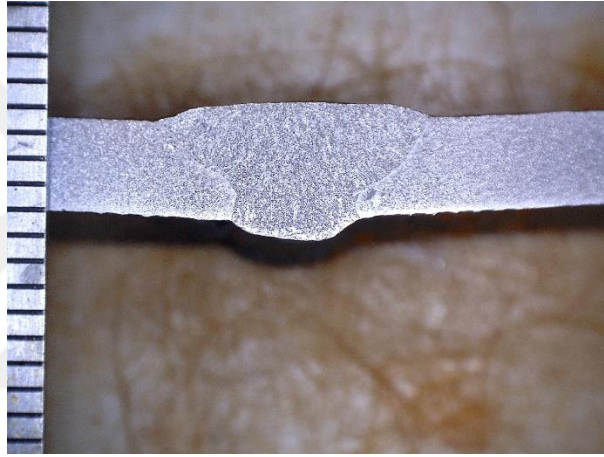
Şekil 4.21 Kök Eğme Testi Sonrası Numune Görünümü (Parça Kodu: 12)

Hazırlanan numunede yapılan çentikli kırma testi sonrası malzeme kaynak bölgesinden kırılmamıştır. Esas metal yüzeyinde kırılma gerçekleşmiştir. Kırılma sünek kırılma olarak gerçekleşmiştir. Şekil 4.22'de çentikli kırma sonrası numune gösterilmiştir.



Şekil 4.22 Çentikli Kırma Testi Sonrası Numune Görünümü (Parça Kodu: 12)

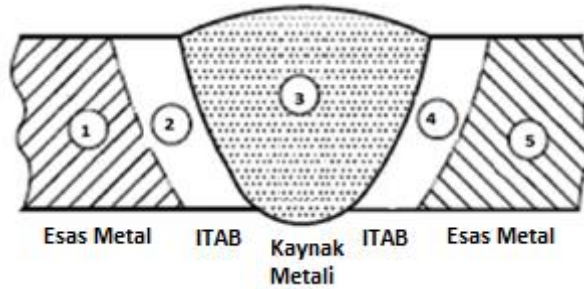
Hazırlanan numuneler gerekli yüzey hazırlama işlemleri sonrası yapılan incelemede, birleştirme şeklinin düzgün olduğu, kaynak nüfuziyetinin iyi olduğu, kaynak yüzeyi ve esas metalde herhangi bir çatlak veya boşluk bulunmadığı tespit edilmiştir. Şekil 4.23'te numunenin makro yapısı gösterilmiştir. Makro yapıda esas metal, ITAB bölgesi ve kaynak metali bölgesi görülmektedir.



Şekil 4.23 Numunenin Makro Yapısı (Parça Kodu: 12)

Hazırlanan numunede yapılan sertlik incelemesi sonucu şekil 4.24'teki gibidir. Yapılan sertlik incelemesinde sertliğin en yüksek olduğu bölge kaynak bölgesi olduğu tespit edilmiştir.

Parça Kodu	1			2			3			4		5			
12	106	109	107	148	152	153	168	166	167	159	155	157	109	113	111
												Sertlik Birimi : HV			
												Test Sıcaklığı 20 °C			



Şekil 4.24 Numunenin Sertlik İncelemesi (Parça Kodu: 12)

4.3.Elektrik Ark Kaynak Yöntemi Bulguları

Elektrik ark kaynak yöntemi uyguladığımız TS EN ISO 3183 standart X42N, kalite A ve kalite B boruların API 1104 standardına göre hazırlanmış olan test numuneleri kök eğme, çentikli kırma, sertlik ve makro yapı incelemesi testlerine tabi tutulmuştur. Yapılan testlerin sonuçları bu bölümde incelenmektedir.

4.3.1. Kalite B boru bulguları

Elektrik ark kaynak yöntemi ile birleştirilmiş olan, TS EN ISO 3183 standart kalite B boru 180° kök eğme testine tabi tutulmuştur. Yapılan test sonrası boru yüzeyi ve kaynak bölgesinde kırılma gerçekleşmemiş, testten başarılı sonuç vermiştir. Şekil 4.25'te test sonrası kırılma gerçekleşmemiş numune gösterilmiştir.



Şekil 4.25 Kök Eğme Testi Sonrası Numune Görünümü (Parça Kodu: 8)

Hazırlanan numunede yapılan çentikli kırma testi sonrası malzeme kaynak bölgesinden kırılmamıştır. Esas metal yüzeyinde kırılma gerçekleşmiştir. Kırılma sünek kırılma olarak gerçekleşmiştir. Şekil 4.26'da çentikli kırma sonrası numune gösterilmiştir.



Şekil 4.26 Çentikli Kırma Testi Sonrası Numune Görünümü (Parça Kodu: 8)

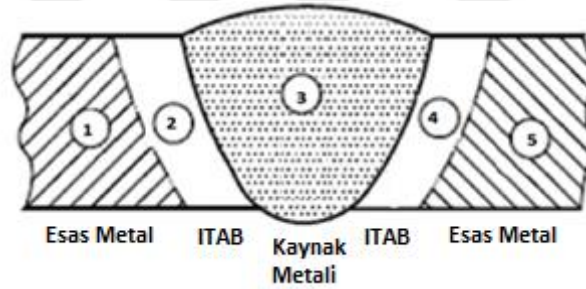
Hazırlanan numuneler gerekli yüzey hazırlama işlemleri sonrası yapılan incelemede, birleştirme şeklinin düzgün olduğu, kaynak nüfuziyetinin iyi olduğu, kaynak yüzeyi ve esas metalde herhangi bir çatlak veya boşluk bulunmadığı tespit edilmiştir. Şekil 4.23'te numunenin makro yapısı gösterilmiştir. Makro yapıda esas metal, ITAB bölgesi ve kaynak metali bölgesi görülmektedir.



Şekil 4.27 Numunenin Makro Yapısı (Parça Kodu: 8)

Hazırlanan numunede yapılan sertlik incelemesi sonucu şekil 4.28'deki gibidir. Yapılan sertlik incelemesinde sertliğin en yüksek olduğu bölge kaynak bölgesi olduğu tespit edilmiştir.

Parça Kodu	1			2			3			4		5			
8	130	131	130	132	134	138	187	189	188	116	118	120	99	101	100
													Sertlik Birimi : HV		
													Test Sıcaklığı 20 °C		



Şekil 4.28 Numunenin Sertlik İncelemesi (Parça Kodu: 8)

4.3.2. X42N boru bulguları

Elektrik ark kaynak yöntemi ile birleştirilmiş olan, TS EN ISO 3183 standart X42N boru 180° kök eğme testine tabi tutulmuştur. Yapılan test sonrası boru yüzeyi ve kaynak bölgesinde kırılma gerçekleşmemiş, testten başarılı sonuç vermiştir. Şekil 4.29'da test sonrası kırılma gerçekleşmemiş numune gösterilmiştir.



Şekil 4.29 Kök Eğme Testi Sonrası Numune Görünümü (Parça Kodu: 9)

Hazırlanan numunede yapılan çentikli kırma testi sonrası malzeme kaynak bölgesinden kırılmıştır. Esas metal yüzeyinde kırılma gerçekleşmemiştir. Kırılma bölgesinde Şekil 4.30'da çentikli kırma sonrası numune gösterilmiştir.



Şekil 4.30 Çentikli Kırma Testi Sonrası Numune Görünümü (Parça Kodu: 9)

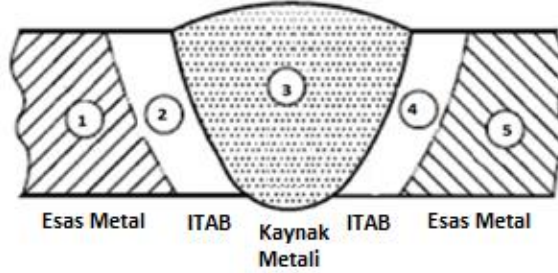
Hazırlanan numuneler gerekli yüzey hazırlama işlemleri sonrası yapılan incelemede, birleştirme şeklinin düzgün olduğu, kaynak nüfuziyetinin iyi olduğu, kaynak yüzeyi ve esas metalde herhangi bir çatlak veya boşluk bulunmadığı tespit edilmiştir. Şekil 4.31'de numunenin makro yapısı gösterilmiştir. Makro yapıda esas metal, ITAB bölgesi ve kaynak metali bölgesi görülmektedir.



Şekil 4.31 Numunenin Makro Yapısı (Parça Kodu: 9)

Hazırlanan numunede yapılan sertlik incelemesi sonucu şekil 4.32'deki gibidir. Yapılan sertlik incelemesinde sertliğin en yüksek olduğu bölge kaynak bölgesi olduğu tespit edilmiştir.

Parça Kodu	1			2			3			4		5			
9	154	157	155	158	155	157	164	169	167	149	152	151	162	158	155
												Sertlik Birimi : HV			
												Test Sıcaklığı 20 °C			



Şekil 4.32 Numunenin Sertlik İncelemesi (Parça Kodu: 9)

4.3.3. Kalite A boru bulguları

Elektrik ark kaynak yöntemi ile birleştirilmiş olan, TS EN ISO 3183 standart kalite A boru 180° kök eğme testine tabi tutulmuştur. Yapılan test sonrası boru yüzeyi ve kaynak bölgesinde kırılma gerçekleşmemiş, testten başarılı sonuç vermiştir. Şekil 4.33'te test sonrası kırılma gerçekleşmemiş numune gösterilmiştir.



Şekil 4.33 Kök Eğme Testi Sonrası Numune Görünümü (Parça Kodu: 7)

Hazırlanan numunede yapılan çentikli kırma testi sonrası malzeme kaynak bölgesinden kırılmamıştır. Esas metal yüzeyinde kırılma gerçekleşmiştir. Kırılma sünek kırılma olarak gerçekleşmiştir. Şekil 4.34'te çentikli kırma sonrası numune gösterilmiştir.



Şekil 4.34 Çentikli Kırma Testi Sonrası Numune Görünümü (Parça Kodu: 7)

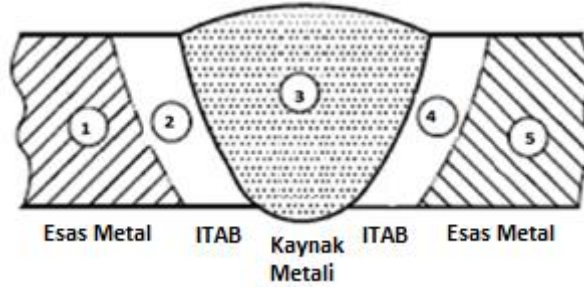
Hazırlanan numuneler gerekli yüzey hazırlama işlemleri sonrası yapılan incelemede, birleştirme şeklinin düzgün olduğu, kaynak nüfuziyetinin iyi olduğu, kaynak yüzeyi ve esas metalde herhangi bir çatlak veya boşluk bulunmadığı tespit edilmiştir. Şekil 4.35’te numunenin makro yapısı gösterilmiştir. Makro yapıda esas metal, ITAB bölgesi ve kaynak metali bölgesi görülmektedir.



Şekil 4.35 Numunenin Makro Yapısı (Parça Kodu: 7)

Hazırlanan numunede yapılan sertlik incelemesi sonucu şekil 4.36’daki gibidir. Yapılan sertlik incelemesinde sertliğin en yüksek olduğu bölge kaynak bölgesi olduğu tespit edilmiştir.

Parça Kodu	1			2			3			4		5			
7	125	124	118	120	128	121	161	148	163	119	120	118	121	125	120
												Sertlik Birimi : HV			
												Test Sıcaklığı 20 °C			



Şekil 4.36 Numunenin Sertlik İncelemesi (Parça Kodu: 7)

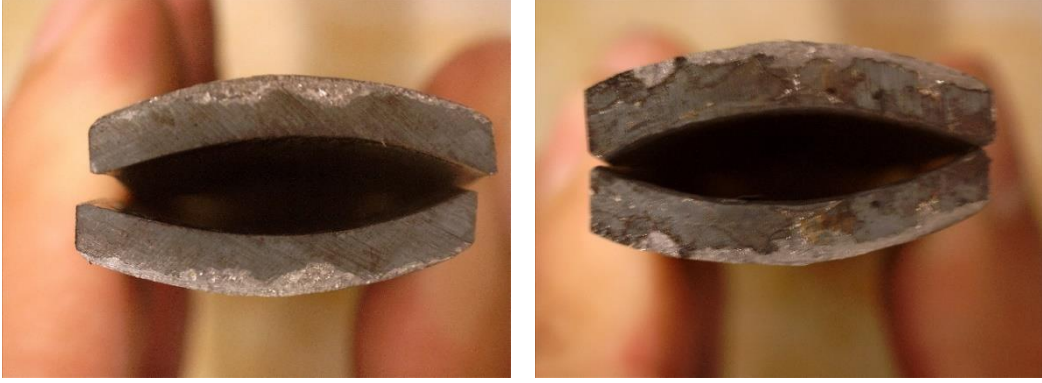
4.4.Oksi-Gaz Kaynak Yöntemi Bulguları

Oksi-gaz kaynak yöntemi uyguladığımız TS EN ISO 3183 standart X42N, kalite A ve kalite B boruların API 1104 standardına göre hazırlanmış olan test numuneleri kök eğme, çentikli kırma, sertlik ve makro yapı incelemesi testlerine tabi tutulmuştur. Yapılan testlerin sonuçları bu bölümde incelenmektedir.

4.4.1. Kalite B boru bulguları

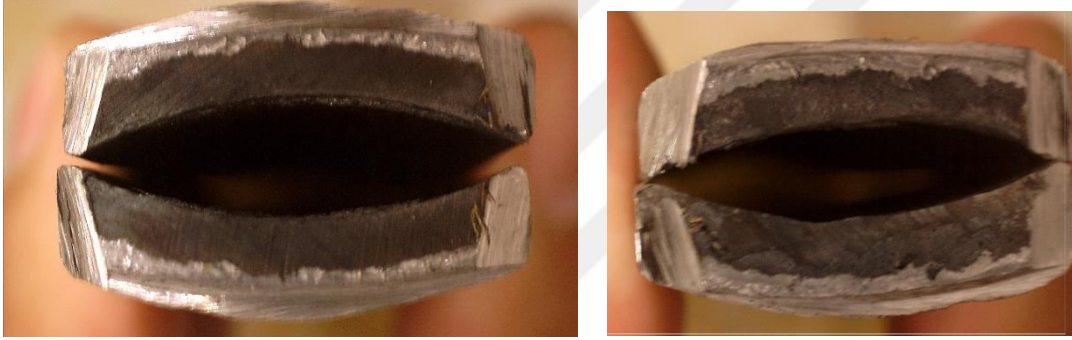
Oksi-gaz kaynak yöntemi ile birleştirilmiş olan, TS EN ISO 3183 standart kalite B boru 2 numune hazırlanarak 180° kök eğme testine tabi tutulmuştur. Yapılan test sonrası 2 numunede kaynak metali bölgesinden kırılmış, testten başarısız sonuç vermiştir. Kırılan

bölgede kaynak nüfuziyetinin yetersiz olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 4.37’de test sonrası kırılma gerçekleşmiş numune gösterilmiştir.



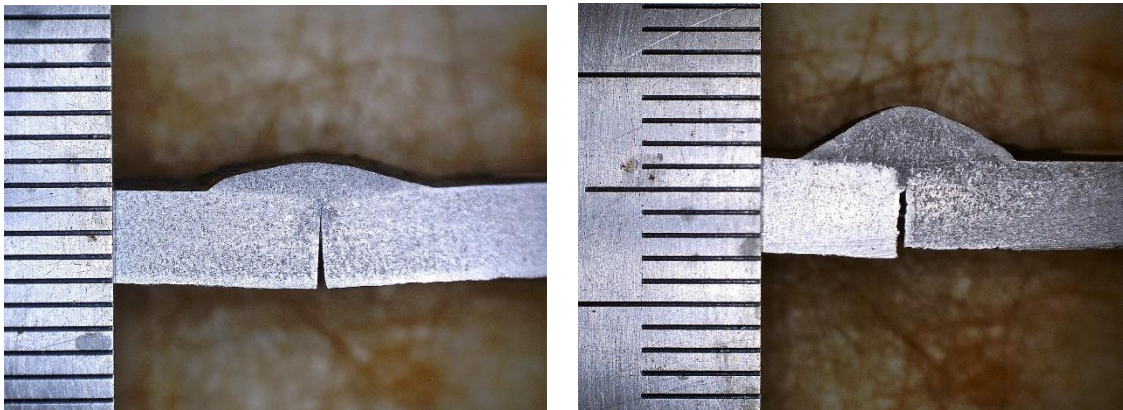
Şekil 4.37 Kök Eğme Testi Sonrası Numune Görünümü (Parça Kodu: 3 ve 5)

Hazırlanan numunelerde yapılan çentikli kırma testleri sonrası malzemeler kaynak metal bölgesinden kırılmıştır. Şekil 4.38’de çentikli kırma sonrası numune gösterilmiştir.



Şekil 4.38 Çentikli Kırma Testi Sonrası Numune Görünümü (Parça Kodu: 3 ve 5)

Hazırlanan numuneler gerekli yüzey hazırlama işlemleri sonrası yapılan incelemede, birleştirme şeklinin 3 parça koduna sahip numunede düzgün olduğu 5 parça koduna sahip numunede düzgün olmadığı, kaynak nüfuziyetinin 2 numunede de düzgün olmadığı ve kaynak metal bölgesinde boşluklar olduğu tespit edilmiştir. Şekil 4.39’da numunelerin makro yapısı gösterilmiştir. Makro yapıda esas metal, ITAB bölgesi ve kaynak metal bölgesi görülmektedir.

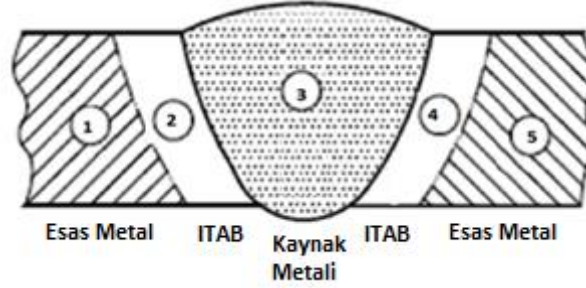


Şekil 4.39 Numunenin Makro Yapısı (Parça Kodu: 3 ve 5)

Hazırlanan numunelerde yapılan sertlik incelemeleri sonucu şekil 4.40'taki gibidir. Yapılan sertlik incelemelerinde sertliğin en yüksek olduğu bölgelerin kaynak bölgesi olduğu tespit edilmiştir.

Parça Kodu	1			2			3			4			5		
3	170	168	163	179	181	180	221	220	223	183	185	188	178	181	183
5	110	117	115	128	133	130	227	229	231	187	186	187	171	168	169

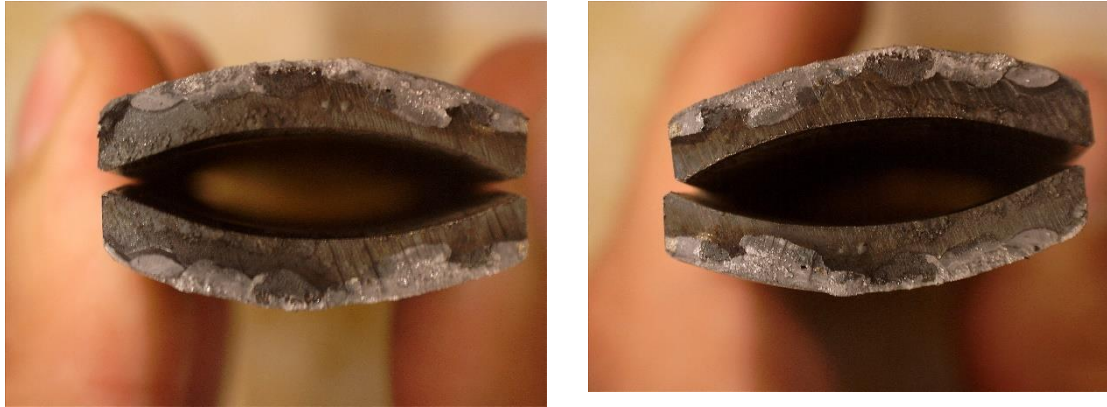
Sertlik Birimi : HV
Test Sıcaklığı 20 °C



Şekil 4.40 Numunenin Sertlik İncelemesi (Parça Kodu: 3 ve 5)

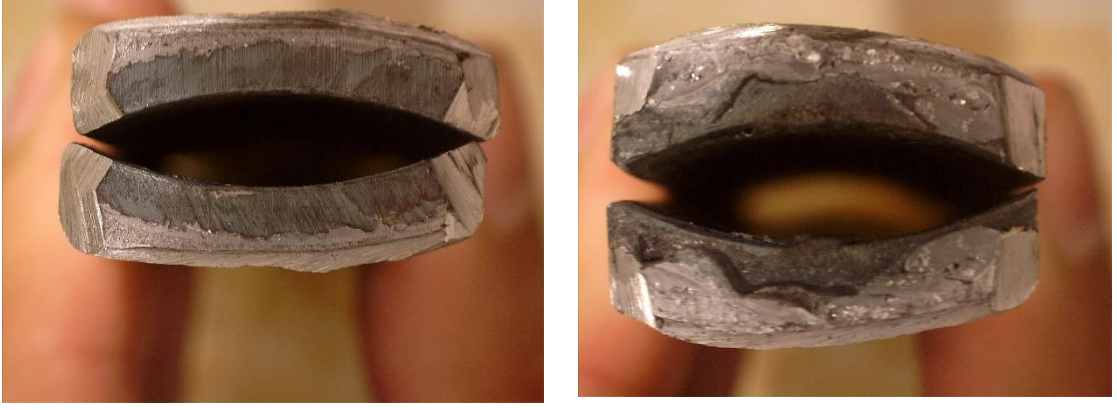
4.4.2. X42N boru bulguları

Oksi-gaz kaynak yöntemi ile birleştirilmiş olan, TS EN ISO 3183 standart X42N boru 2 numune hazırlanarak 180° kök eğme testine tabi tutulmuştur. Yapılan test sonrası 2 numunede kaynak metali bölgesinden kırılmış, testten başarısız sonuç vermiştir. Kırılan bölgede kaynak nüfuziyetinin yetersiz olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 4.41'de test sonrası kırılma gerçekleşmiş numune gösterilmiştir.



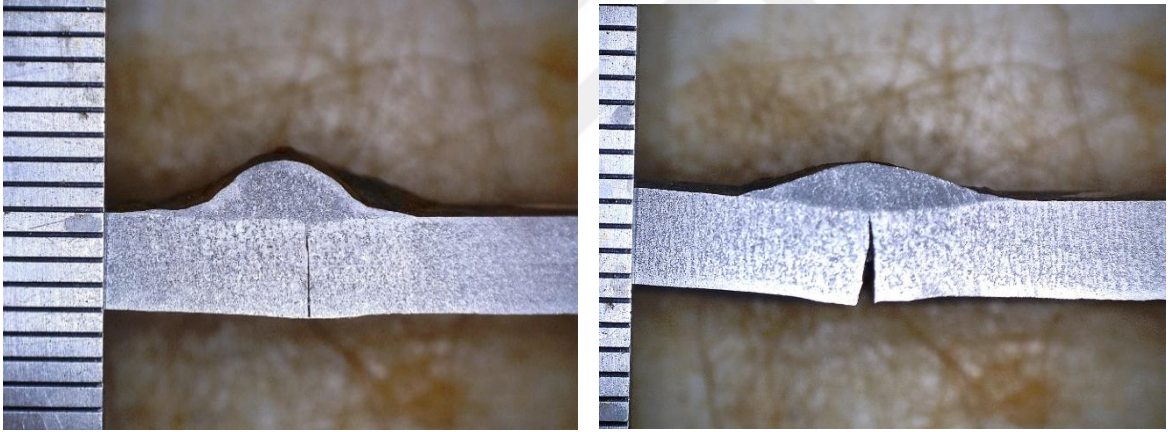
Şekil 4.41 Kök Eğme Testi Sonrası Numune Görünümü (Parça Kodu: 1 ve 6)

Hazırlanan numunelerde yapılan çentikli kırma testleri sonrası malzemeler kaynak metali bölgesinden kırılmıştır. Şekil 4.42'de çentikli kırma sonrası numune gösterilmiştir.



Şekil 4.42 Çentikli Kıırma Testi Sonrası Numune Görünümü (Parça Kodu: 1 ve 6)

Hazırlanan numuneler gerekli yüzey hazırlama işlemleri sonrası yapılan incelemede, birleştirme şeklinin 1 parça koduna sahip numunede düzgün olduğu 6 parça koduna sahip numunede düzgün olmadığı, kaynak nüfuziyetinin 2 numunede de düzgün olmadığı ve 1 parça koduna sahip numunede kaynak metali bölgesinde boşluklar olmadığı 6 parça koduna sahip numunede kaynak metali bölgesinde boşluklar olduğu tespit edilmiştir. Şekil 4.43'te numunenin makro yapısı gösterilmiştir. Makro yapıda esas metal, ITAB bölgesi ve kaynak metali bölgesi görülmektedir.

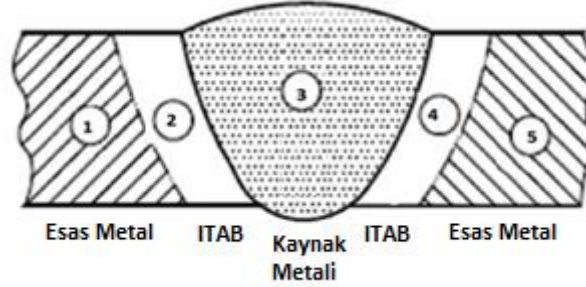


Şekil 4.43 Numunenin Makro Yapısı (Parça Kodu: 1 ve 6)

Hazırlanan numunelerde yapılan sertlik incelemeleri sonucu şekil 4.44'teki gibidir. Yapılan sertlik incelemelerinde sertliğin en yüksek olduğu bölgelerin kaynak metali bölgesi olduğu tespit edilmiştir.

Parça Kodu	1			2			3			4			5		
1	158	163	160	188	185	187	219	226	220	183	178	170	164	161	159
6	168	169	165	175	177	174	228	228	227	197	195	190	188	180	177

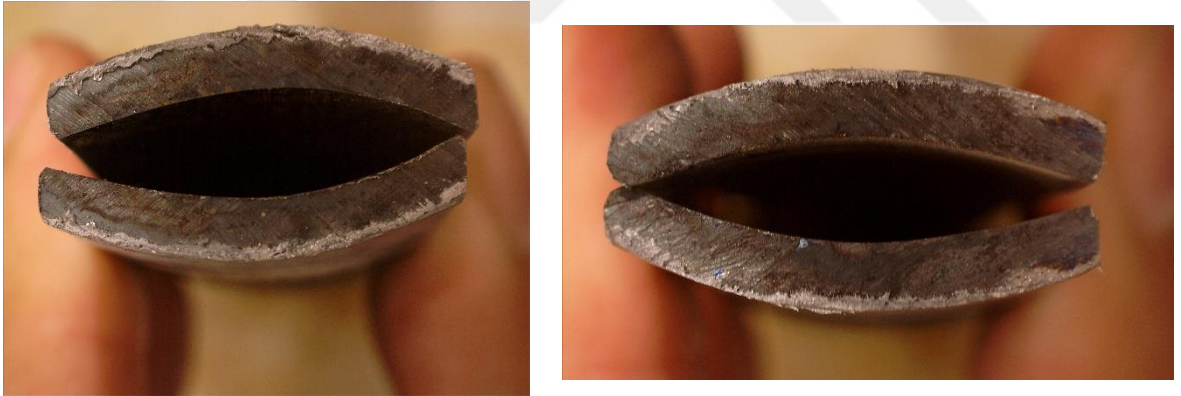
Sertlik Birimi : HV
Test Sıcaklığı 20 °C



Şekil 4.44 Numunenin Sertlik İncelemesi (Parça Kodu: 1 ve 6)

4.4.3. Kalite A boru bulguları

Oksi-gaz kaynak yöntemi ile birleştirilmiş olan, TS EN ISO 3183 standart kalite A boru 2 numune hazırlanarak 180° kök eğme testine tabi tutulmuştur. Yapılan test sonrası 2 numunede kaynak metali bölgesinden kırılmış, testten başarısız sonuç vermiştir. Kırılan bölgede kaynak nüfuziyetinin yetersiz olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 4.45'te test sonrası kırılma gerçekleşmiş numune gösterilmiştir.



Şekil 4.45 Kök Eğme Testi Sonrası Numune Görünümü (Parça Kodu: 2 ve 4)

Hazırlanan numunelerde yapılan çentikli kırma testleri sonrası malzemeler kaynak metali bölgesinden kırılmıştır. Şekil 4.46'da çentikli kırma sonrası numune gösterilmiştir.



Şekil 4.46 Çentikli Kırma Testi Sonrası Numune Görünümü (Parça Kodu: 2 ve 4)

Hazırlanan numuneler gerekli yüzey hazırlama işlemleri sonrası yapılan incelemede, birleştirme şeklinin 4 parça koduna sahip numunede düzgün olduğu 2 parça koduna sahip numunede düzgün olmadığı, kaynak nüfuziyetinin 2 numunede de düzgün olmadığı ve 2 numunede de kaynak metali bölgesinde boşluklar olduğu tespit edilmiştir. Şekil 4.47’de numunenin makro yapısı gösterilmiştir. Makro yapıda esas metal, ITAB bölgesi ve kaynak metali bölgesi görülmektedir.

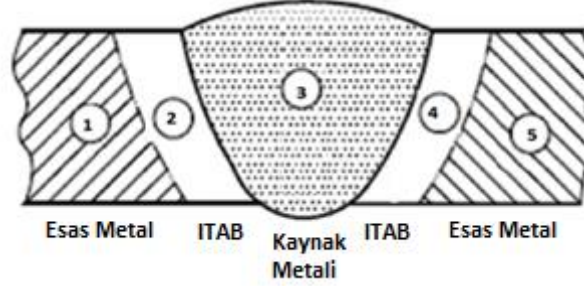


Şekil 4.47 Numunenin Makro Yapısı (Parça Kodu: 2 ve 4)

Hazırlanan numunelerde yapılan sertlik incelemeleri sonucu şekil 4.48’teki gibidir. Yapılan sertlik incelemelerinde sertliğin en yüksek olduğu bölgelerin kaynak metali bölgesi olduğu tespit edilmiştir.

Parça Kodu	1			2			3			4			5		
2	108	110	113	189	193	190	233	235	230	201	198	200	141	145	147
4	118	121	115	148	147	145	220	218	221	158	159	161	117	118	115

Sertlik Birimi : HV
Test Sıcaklığı 20 °C



Şekil 4.48 Numunenin Sertlik İncelemesi (Parça Kodu: 2 ve 4)

4.5. Test Sonuçları Karşılaştırılması

Numunelere uygulanan testlerin sonuçları bu bölümde özetlenmiştir.

4.5.1. Kök eğme testi sonuçları

Yapılan 3 noktadan 180° kök eğme testleri sonucunda, TIG ve elektrik ark kaynak yöntemi ile birleştirilmiş olan numuneler başarılı sonuçlar vermiştir. Oksi-gaz kaynak yöntemi ile birleştirilen numuneler kaynak metali bölgesinden kırılmıştır.

TS EN ISO 3183 standart X42N, kalite A ve kalite B borular, TIG ve oksi-gaz kaynak yöntemleri ile birleştirilirken ilave metal olarak Geka SG2 kullanılmıştır. Aynı ilave metal kullanılmış olmasına rağmen testler sonucunda TIG kaynak yöntemi ile birleştirilen numunelerin hiçbiri kırılmamış, oksi-gaz kaynak yöntemi ile birleştirilmiş numunelerin tamamı kaynak metali bölgesinden kırılmıştır. Aynı borular elektrik ark kaynağı ile birleştirilirken AS S-6010 selülozik elektrot kullanılmış ve numunelerin hiçbiri kırılmamıştır. Kök eğme testi uygulaması sonucu seçilen ilave tellerin esas metaller ile uyduğu tespit edilmiştir.

Oksi-gaz kaynağı incelenen kaynak yöntemleri içerisinde mekanik özellikleri en düşük yöntem olduğu tespit edilmiştir. Yapılmış farklı çalışmalarda oksi-gaz kaynak yöntemi ile ilgili benzer sonuçlar elde edildiği görülmektedir. Çizelge 4.2'de kök eğme testi sonuçları gösterilmiştir (46).

Çizelge 4.2 Kök Eğme Testi Sonuçları

Parça Kodu	Malzeme	Kaynak Yöntemi	Kök Eğme
1	X42N	Oksi-Gaz	Kaynak Metali Bölgesinden Kırıldı
2	Kalite A	Oksi-Gaz	Kaynak Metali Bölgesinden Kırıldı
3	Kalite B	Oksi-Gaz	Kaynak Metali Bölgesinden Kırıldı
4	Kalite A	Oksi-Gaz	Kaynak Metali Bölgesinden Kırıldı
5	Kalite B	Oksi-Gaz	Kaynak Metali Bölgesinden Kırıldı
6	X42N	Oksi-Gaz	Kaynak Metali Bölgesinden Kırıldı
7	Kalite A	Elektrik Ark	Başarılı
8	Kalite B	Elektrik Ark	Başarılı
9	X42N	Elektrik Ark	Başarılı
10	Kalite B	TIG	Başarılı
11	X42N	TIG	Başarılı
12	Kalite A	TIG	Başarılı

4.5.2. Çentikli kırma testi sonuçları

Uygulanan çentikli kırma testlerinde, TIG kaynak yöntemi uygulanan numunelerin hiçbiri kaynak bölgesinden kırılmamış ve esas metal yüzeyinde kırılmalar gerçekleşmiştir. Elektrik ark kaynak yöntemi uygulanan numunelerden X42N standart boruda kaynak yüzeyinde kırılma gerçekleşmiş diğer numunelerde ise esas metal yüzeyinde kırılmalar gerçekleşmiştir. Oksi-gaz kaynak yöntemi ile birleştirilmiş olan numunelerin tamamı kaynak metali bölgesinden kırılmıştır.

Esas metal üzerinde yaşanmış olan kırılmalar, kaynak işleminin başarılı uygulandığını göstermektedir. Bu durum kaynak metali ve ITAB bölgesinin esas metalden kaynak işlemi sırasında yaşanan yüksek ısı girdileri ve ilave metal özellikleri sonucu tane yapısı değiştiği ve bu sayede mekanik özelliklerin olumlu etkilendiğini göstermektedir. Yapılmış farklı çalışmalarda da benzer durumlar gözlemlenmiştir (47).

TIG ve oksi-gaz kaynak yöntemleri uygulanırken Geka SG2 ilave metal kullanılmıştır. Aynı ilave metal kullanılmış olmasına rağmen TIG kaynak yöntemi uygulanan hiçbir numune kaynak bölgesinden kırılmamış, oksi-gaz kaynak yöntemi uygulanan tüm numuneler kaynak metali bölgesinden kırılmıştır. Yapılan test sonucu TIG kaynak yöntemi uygulamasında kaynak metali bölgesinin dayanımı esas metalden daha iyi sonuç vermesi ilave metalin esas metal ile uyduğunu göstermektedir.

Elektrik ark kaynak yönteminde AS S-6010 selülozik elektrot kullanılmıştır. İncelenen numunelerden, kalite A ve kalite B boruların esas metal bölgesinden kırılmış olması kaynak metalinin bu kalite borularda esas metalden daha iyi dayanıma sahip olduğunu göstermektedir. Bu kalite borularda kaynak bölgesinde kırılma yaşanmaması doğru elektrot seçimi yapıldığını göstermektedir.

Elektrik ark kaynak yöntemi ile birleştirilmiş olan, X42N borunun kaynak metali bölgesinden kırılmış olması sonucu X42N kalite borunun esas metal yüzeyi kaynak metalinden daha iyi olduğunu göstermektedir..

Yapılan test sonrası gözlemlenen durumlar endüstriyel tesislerin çelik hat uygulamalarında, TIG kaynak yönteminin hiçbir numunede kaynak bölgesinden kırılmayarak elektrik ark ve oksî-gaz yönteminden üstün olduğunu, elektrik ark kaynak yönteminin sadece bir numunede kaynak metali bölgesinde kırılarak oksî-gaz kaynak yönteminden üstün olduğunu ortaya koymuştur. Yapılan inceleme sonrası elektrik ark kaynak yönteminde, X42N kalite borunun esas metal yüzeyinde kırılmayarak kaynak bölgesinden kırılmış olması bu borunun kalite A ve kalite B borulardan üstün olduğunu göstermiştir. Çizelge 4.3'te çentikli kırma testi sonuçları verilmiştir (48) (49).

Çizelge 4.3 Çentikli Kırma Testi Sonuçları

Parça Kodu	Malzeme	Kaynak Yöntemi	Çentikli Kırma
1	X42N	Oksî-Gaz	Kaynak Metali Bölgesinden Kırıldı
2	Kalite A	Oksî-Gaz	Kaynak Metali Bölgesinden Kırıldı
3	Kalite B	Oksî-Gaz	Kaynak Metali Bölgesinden Kırıldı
4	Kalite A	Oksî-Gaz	Kaynak Metali Bölgesinden Kırıldı
5	Kalite B	Oksî-Gaz	Kaynak Metali Bölgesinden Kırıldı
6	X42N	Oksî-Gaz	Kaynak Metali Bölgesinden Kırıldı
7	Kalite A	Elektrik Ark	Esas Metal Yüzeyinden Kırıldı
8	Kalite B	Elektrik Ark	Esas Metal Yüzeyinden Kırıldı
9	X42N	Elektrik Ark	Kaynak Metali Bölgesinden Kırıldı
10	Kalite B	TIG	Esas Metal Yüzeyinden Kırıldı
11	X42N	TIG	Esas Metal Yüzeyinden Kırıldı
12	Kalite A	TIG	Esas Metal Yüzeyinden Kırıldı

4.5.3. Makro yapı incelemesi sonuçları

Yapılan makro yapı incelemelerinde, TIG ve elektrik ark kaynağı uygulanmış olan numunelerin birleşim şeklinin düzgün olduğu, kaynak nüfuziyetinin iyi olduğu, kaynak bölgesi ve esas metalde herhangi bir çatlak, boşluk bulunmadığı tespit edilmiştir. Oksî-gaz kaynak yöntemi uygulanan numunelerin birleşim şekillerinin bir kısmında düzgün olmadığı, kaynak nüfuziyetlerinin başarısız olduğu, kaynak bölgesi ve esas metal bölgesinde herhangi bir çatlak olmadığı ancak büyük çoğunluğunda boşluk olduğu tespit edilmiştir. Gözlemlenen kaynak metali bölgelerinde kök, dolgu ve kapak pasoların TIG ve elektrik ark kaynak yöntemlerinde düzgün olduğu gözlemlenmiştir. Çizelge 4.4'te makro yapı inceleme sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.4 Makro Yapı İnceleme Sonuçları

Parça Kodu	Malzeme	Kaynak Yöntemi	Makro Yapı İncelemesi			
			Birleştirme Şekli	Kaynak Nüfuziyeti	Çatlak	Boşluk
1	X42N	Oksi-Gaz	Başarılı	Başarısız	Bulunmuyor	Yok
2	Kalite A	Oksi-Gaz	Başarısız	Başarısız	Bulunmuyor	Var
3	Kalite B	Oksi-Gaz	Başarılı	Başarısız	Bulunmuyor	Var
4	Kalite A	Oksi-Gaz	Başarılı	Başarısız	Bulunmuyor	Var
5	Kalite B	Oksi-Gaz	Başarısız	Başarısız	Bulunmuyor	Var
6	X42N	Oksi-Gaz	Başarısız	Başarısız	Bulunmuyor	Var
7	Kalite A	Elektrik Ark	Başarılı	Başarılı	Bulunmuyor	Yok
8	Kalite B	Elektrik Ark	Başarılı	Başarılı	Bulunmuyor	Yok
9	X42N	Elektrik Ark	Başarılı	Başarılı	Bulunmuyor	Yok
10	Kalite B	TIG	Başarılı	Başarılı	Bulunmuyor	Yok
11	X42N	TIG	Başarılı	Başarılı	Bulunmuyor	Yok
12	Kalite A	TIG	Başarılı	Başarılı	Bulunmuyor	Yok

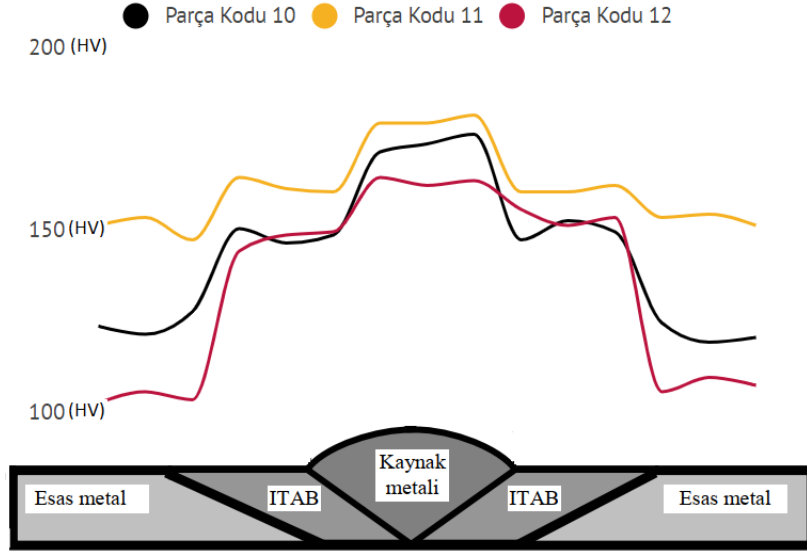
4.5.4. Sertlik testi sonuçları

Yapılan sertlik incelemesinde tüm boru ve kaynak yöntemlerinde sertliğin en yüksek olduğu bölge kaynak bölgesi olduğu tespit edilmiştir. Esas metalin ITAB ve kaynak bölgesine göre daha düşük sertlik değerlerine sahip olması, kaynak esnasında yaşanan yüksek ısı girdileri ve ilave metallerin dayanım etkilerinden dolayıdır. Literatürdeki çalışmalarda gözlemlenmiş olan kaynak bölgesindeki sertlik artışı yapmış olduğumuz testlerde aynı sonucu vermiştir (47) (50) (51).

Çentikli kırma testlerinde TIG kaynak yöntemi ile birleştirilen 3 numunenin ve elektrik ark kaynak yöntemi ile birleştirilen 2 numunenin kaynak bölgesi yerine esas metal yüzeyinden kırılmış olması sertlik artışının çekme dayanımını artırdığının ispat etmektedir. Literatürde yapılan benzer çalışmalarda sertlik artışının dayanıma olumlu etkide bulunduğu sonucuna ulaşılmıştır (48).

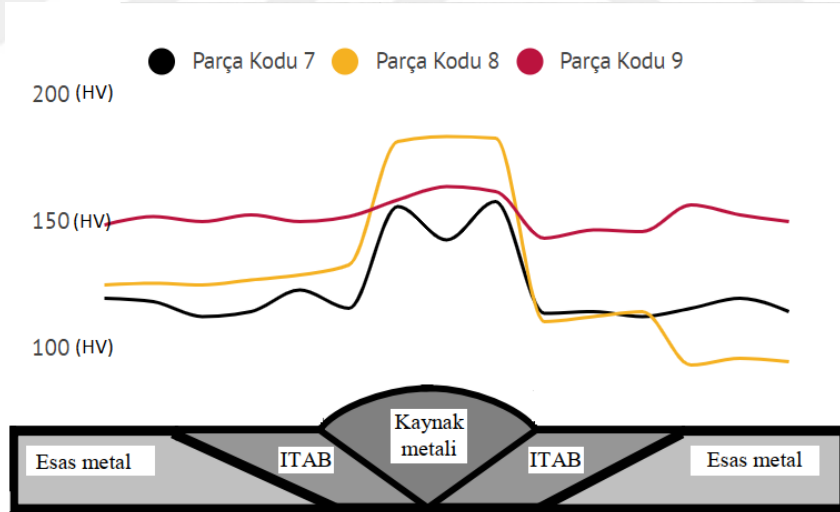
İncelenen numunelerin sertlik testleri sonucunda en yüksek sertlik ortalamasının 199 HV ile kaynak metali bölgesi olduğu, ITAB bölgesinde ortalamanın 161 HV olduğu ve esas metal bölgesinde 140 HV olduğu gözlemlenmiştir.

Sertlik testleri sonucu TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmiş numunelerin sertlik değeri ortalaması kaynak metali bölgesinde 176 HV ITAB bölgesinde 157 HV ve esas metal bölgesinde 130 HV olduğu tespit edilmiştir. Şekil 4.49’da TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmiş olan numunelerin sertlik değişimleri gösterilmiştir. Parça kodu: 10 kalite B boruyu, Parça kodu: 11 X42N boruyu, Parça kodu: 12 kalite A boruyu ifade etmektedir.



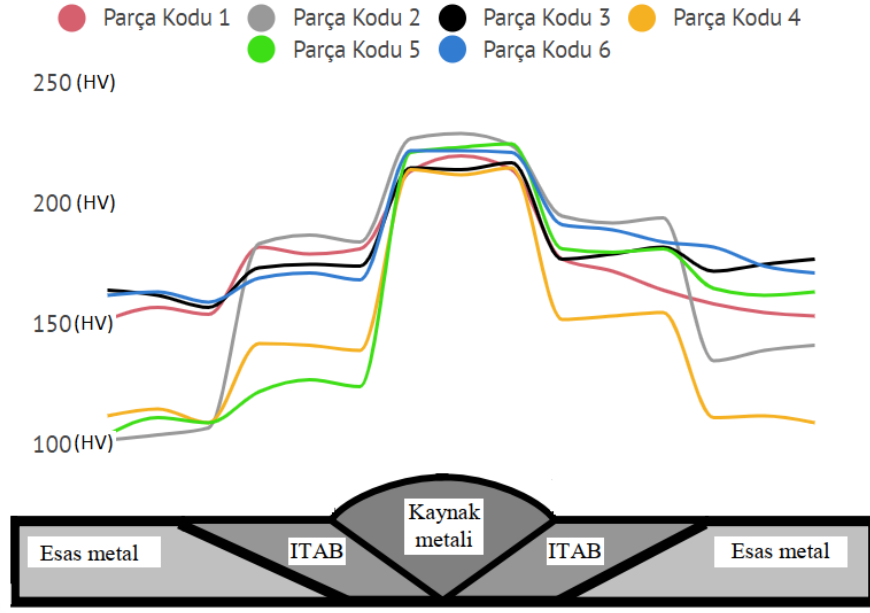
Şekil 4.49 TIG Kaynağı Sertlik Sonuçları

Sertlik testleri sonucu elektrik ark kaynak yöntemi ile birleştirilmiş numunelerin sertlik değeri ortalaması kaynak metali bölgesinde 170 HV ITAB bölgesinde 133 HV ve esas metal bölgesinde 131 HV olduğu tespit edilmiştir. Şekil 4.50’de elektrik ark kaynak yöntemi ile birleştirilmiş olan numunelerin sertlik değişimleri gösterilmiştir. Parça kodu: 7 kalite A boruyu, Parça kodu: 8 kalite B boruyu, Parça kodu: 9 X42N boruyu ifade etmektedir.



Şekil 4.50 Elektrik Ark Kaynağı Sertlik Sonuçları

Sertlik testleri sonucu oksji-gaz kaynak yöntemi ile birleştirilmiş numunelerin sertlik değeri ortalaması kaynak metali bölgesinde 225 HV ITAB bölgesinde 176 HV ve esas metal bölgesinde 149 HV olduğu tespit edilmiştir. Şekil 4.49’da oksji-gaz kaynak yöntemi ile birleştirilmiş olan numunelerin sertlik değişimleri gösterilmiştir. Parça kodu: 1 ve 6 X42N boruyu, Parça kodu: 2 ve 4 kalite A boruyu, Parça kodu: 3 ve 5 kalite B boruyu ifade etmektedir.



Şekil 4.51 Oksi-Gaz Kaynağı Sertlik Sonuçları

Kaynak işlemleri gerçekleştirilmiş hiçbir noktada API 1104 standardında belirtilmiş olan kaynak metali bölgesinde maksimum 275 HV sertlik aşılmamıştır. ITAB bölgesi için standardın belirtmiş olduğu oksigaz kaynağı dışı kaynaklar için maksimum 275 HV sertlik ve oksigaz kaynağı için 350 HV sertlik değeri aşılmamıştır.

İncelenen farklı kalitelerdeki boruların tüm kaynak yöntemlerine göre sertlik deneyi ortalamaları karşılaştırıldığında X42N kalite borunun en yüksek sertlik ortalamasına sahip olduğu, kalite B borunun sertlik ortalamasının kalite A borudan yüksek olduğu tespit edilmiştir. Sertlik artışı malzemenin dayanıma etkisi göz önüne alındığında X42N kalite borunun mekanik özellikleri diğer kalite borulara göre daha iyi olduğu söylenebilir. Çizelge 4.5'te boruların sertlik ortalamaları verilmiştir.

Çizelge 4.5 X42N, Kalite B ve Kalite A Boruların Sertlik Ortalamaları

	Malzeme	Sertlik Ortalaması HV
TS EN ISO 3183	X42N	173
	Kalite B	159
	Kalite A	149

Uygulanan farklı kaynak yöntemleri sonucu tüm kalite boruların sertlik deneyi ortalamaları karşılaştırıldığında oksigaz kaynak yönteminin en yüksek sertlik ortalamasına sahip olduğu, TIG kaynak yönteminin sertlik ortalamasının elektrik ark kaynak yönteminden yüksek olduğu tespit edilmiştir. Sertlik artışı dayanımı artıran bir unsur olmasına rağmen oksigaz kaynak yönteminin kaynak nüfuziyeti, kaynak boşlukları ve süreksizliği benzeri problemlerden dolayı kök eğme ve çentikli kırma testlerinde olumsuz sonuç vermiştir. Kaynak metali bölgesi sonuçları benzer olan TIG ve elektrik

ark kaynak yöntemleri karşılaştırıldığında TIG kaynağının sertlik ortalaması elektrik ark kaynağından yüksektir. Bu durum TIG kaynağının daha iyi mekanik özelliklere sahip olmasını ortaya çıkarmıştır. Çizelge 4.6'da kaynakların sertlik ortalamaları verilmiştir.

Çizelge 4.6 TIG, Elektrik Ark ve Oksi-Gaz Kaynağın Sertlik Ortalamaları

Kaynak Yöntemi	Sertlik Ortalaması HV
TIG	150
Elektrik Ark	140
Oksi-Gaz	175



5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada TS EN ISO 3183 standart X42N, kalite A ve kalite B borularının TIG, elektrik ark ve oksî-gaz kaynak yöntemleri ile birleştirilmeleri sonucu alınan numunelerin radyografik testleri yapıldıktan sonra, kök eğme, çentikli kırma, makro yapı incelemesi ve sertlik testleri yapılmıştır. Yapılan testlerin sonuçları aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

1. 3 noktadan 180° eğmeye maruz bırakılarak kök eğme testi yapılan numunelerin, TIG kaynağı ve elektrik ark kaynağı uygulanmış olanlarının başarılı sonuç verdiği, oksî-gaz kaynağı uygulanmış olanlarının başarısız sonuç verdiği tespit edilmiştir.
2. Yapılan çentikli kırma testinde, TIG kaynak yöntemine sahip numunelerin esas metal bölgesinden kırıldığı, oksî-gaz kaynak yöntemine sahip numunelerin kaynak metali bölgesinden kırıldığı ve elektrik ark kaynak yöntemi sahip numunelerden X42N borunun kaynak metali bölgesinden kalite A ve kalite B boruların esas metal yüzeyinden kırıldığı tespit edilmiştir.
3. Çentikli kırma testinde elektrik ark kaynak yöntemi ile birleştirilen kalite A ve kalite B boruların esas metalden kırılması ve X42N kalite borunun kaynak metali bölgesinden kırılmış olması X42N kalite borunun diğer borulardan daha iyi mekanik özelliklere sahip olduğunu ortaya koymaktadır.
4. Kök eğme ve çentikli kırma testlerinde gözlemlenen durumlar kaynak yöntemlerinde kullanılmış olan Geka SG2 ilave metal ve AS S-6010 selülozik elektrotun yapılan kaynaklar için uygun ilave metaller olduğunu göstermektedir.
5. Yapılan makro yapı incelemeleri sonucu TIG ve elektrik ark kaynak yöntemlerinin iyi nüfuziyetli, çatlak veya boşluk oluşturmeyen kaynak yöntemleri olduğu kök, dolgu ve kapak pasoların düzgün olduğu görülmüştür.
6. Yapılan sertlik testlerinde tüm numunelerin ortalaması en yüksek sertlik bölgesinin 199 HV ortalama ile kaynak metali bölgesi olduğu tespit edilmiştir. ITAB bölgesinde sertlik 161 HV ortalamaya ve esas metal bölgesinde 140 HV ortalamaya sahiptir.
7. İncelenen farklı kalite borularda X42N kalite borunun 173 HV sertlik ortalaması ile 159 HV sertlik ortalamasına sahip kalite B borudan ve 149 HV sertlik ortalamasına sahip kalite A borudan daha yüksek sertlik ortalamasına sahiptir. Farklı kaynak yöntemlerinin sertlik ortalamaları incelendiğinde oksî-gaz kaynak yöntemi 175 HV ortalamaya, TIG kaynak yöntemi 150 HV ortalamaya ve elektrik ark kaynak yöntemi 140 HV ortalamaya sahiptir.
8. Çentikli kırma testlerinde TIG ve elektrik ark kaynak yöntemi uygulanan numunelerin çoğunun esas metal yüzeyinden kırılmış olması sertliğin artmasının dayanımı artırdığını ispat etmektedir.

9. Sertlik artışı dayanımı artıran bir özellik olduğu tespit edilmiş olmasına rağmen oksî-gaz kaynak yönteminin en yüksek sertlik ortalamasına sahip oluşu ve başarısız sonuçlar vermiş olması sertliğin tek başına yeterli bir mekanik özellik etkisi olmadığını göstermektedir. Kaynak nüfuziyeti, kaynak boşlukları, kaynak süreksizliği gibi etkiler ile malzemenin sertliği, esas metal ve ilave metal özellikleri dayanıma bir bütün olarak etki etmektedir.
10. Hazırlanmış olduğumuz numunelerden yapılan sertlik testleri sonucu, API 1104 standardında belirtilen kaynak metali bölgesi için maksimum 275 HV sertliği geçmemiştir. Standardın ITAB bölgesi için, oksî-gaz kaynağı için belirttiği 350 HV ve diğer kaynaklar için 275 HV sertlik değerini geçmemiştir.
11. Yapılan testler sonucu gözlemlenen durumlar endüstriyel tesislerin çelik hat uygulamalarında, deprem ve farklı tahribatlara karşı TIG kaynak yöntemini elektrik ark ve oksî-gaz kaynak yöntemlerinden üstün olduğunu, elektrik ark kaynak yöntemini oksî-gaz kaynak yönteminden üstün olduğunu görülmüştür.
12. Yapılan testler sonucu gözlemlenen durumlar endüstriyel tesislerin çelik hat uygulamalarında, deprem ve farklı tahribatlara karşı X42N kalite borunun kalite A ve kalite B borulardan daha üstün olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] **Yavuz, İ.** (2016) Petrokimya Sektörü Likit Petrol Gazı Depolama Ünitesinde Patlama Olayının Değerlendirilmesi, *Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, (İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi)*, 91s, Ankara.
- [2] **BP, British Petrol.** (2018) BP Statistical Review of World Energy June 2018.
- [3] **T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu.** (2018) Doğal Gaz Piyasası 2017 Yılı Sektör Raporu.
- [4] **Url.** <<http://www.targaz.com.tr/dogalgaznedir.html>> alındığı tarih: 5.01.2019.
- [5] **İGDAŞ Genel Müdürlüğü.** (2011) Doğal Gaz İç Tesisatlarında Güvenlik Ve Verimlilik, *İğdaş Yayınları 23*, ISBN:978-975-7003-25-0.
- [6] **Türkel, V.** (2012) Doğal Gaz Dağıtımında Tasarım İmalat Ve Yönetim, *İğdaş Genel Müdürlüğü, İğdaş Yayınları 27*, ISBN: 978-975-7003-28-1.
- [7] **Url .** <<http://www.gazbir.org.tr/dogal-gaz-dagitim-faaliyeti/14>> alındığı tarih: 10.02.2019.
- [8] **Yakıncı, Z.D., Kök, M.** (2017) Yenilenebilir Enerji Ve Toplum Sağlığı. *İ.Ü. Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu Dergisi*, Cilt 5, Sayı 1.
- [9] **Doğan, M. .** (2011) Enerji Kullanımının Coğrafi Çevre Üzerindeki Etkileri, *Marmara Coğrafya Dergisi*, Sayı:23, Sayfa:35-52, İstanbul.
- [10] **Fulser, B.** (2015) Kombine Taşımacılık Ve Türkiye Uygulamaları, *İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü (Yüksek Lisans Tezi)*, 113s, İstanbul.
- [11] **Taner, A.C.** Global Sıvı Doğalgaz (Liquid Natural Gas-LNG) Teknolojisi Devrimi ve Enerji Marketi.
- [12] **Deli E.** (2013) Lng Prosesi İncelemesi Ve Üç Farklı Lng Depolama Ve Gazlaştırma Tesisi İçin Maliyet Analizi Değerlendirmesi, *İ.T.Ü Enerji Enstitüsü, (Yüksek Lisans Tezi)*, 138s, İstanbul.
- [13] **Alkin, K., Atman, S.** (2006) Küresel Petrol Stratejilerinin Jeopolitik Açından Dünya Ve Türkiye Üzerindeki Etkileri, *İSTANBUL TİCARET ODASI* Yayın No: 2006-48, İstanbul.
- [14] **Url.** <<http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Dogal-Gaz-Boru-Hatlari-ve-Projeleri>> alındığı tarih: 19.01.2019.
- [15] **Gazbir Yayın Komisyonu.** Doğal Gaz Şehir Giriş İstasyonu Rms A İşletme Ve Bakım, İstanbul.
- [16] **Çokgüler, M.Z., Öztürk, E.** (2016) Doğal Gaz İç Tesisatçılığı, *Ugetam Eğitim ve İş Geliştirme Müdürlüğü, Ugetam Yayınları 56*, ISBN: 978-605-4706-16-7.

- [17] **Özarpa C.** (1998) Termoplastik Doğal Gaz Borularının Elektrofüzyon Kaynağı Ve Kaynak Parametrelerinin Kaliteye Etkisi, *İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü (Yüksek Lisans Tezi)*, 130s, İstanbul.
- [18] **Yılmaz, N.F., Demir, Y.** (2006) Doğalgaz Gaz Basınç Düşürme Ve Ölçüm İstasyonları, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, Sayı:93, Sayfa:20-28.
- [19] **Akgüngör, A.A.** (2014) Doğal Gaz Sayaçları Ve Çalışma Prensipleri, *Ugetam Eğitim ve İş Geliştirme Müdürlüğü, Ugetam Yayınları* 34, ISBN: 978-605-88516-1-0.
- [20] **İGDAŞ Genel Müdürlüğü.** (2017) Doğal Gaz İç Tesisat Teknik Esasları, *İğdaş Yayınları* 29, ISBN:978-605-5169-81-7.
- [21] **Biçer, Y., Tem, A., Keleşer, S.** (2014) Akıllı Şebekelerin Parçası Olarak Elektronik Hacim Düzeltme Cihazı (Korrektör) Ve Kalibrasyonlarının Önemi, *ICSG İstanbul 2014 Bildiri Kitabı*, Sayfa: 173-176, İstanbul.
- [22] **İGDAŞ Genel Müdürlüğü.** (2005) Binalar İçin Doğal Gaz Tesisatı Teknik Esasları, *İğdaş Yayınları Yayın No:16*, ISBN: 975-7003-15-8.
- [23] **Şık, E.** (2010) Doğal Gaz Yakıtlı Isıtma Tesisatlarında Emniyet Ve Yakıt Tasarrufu Sağlayacak Otomatik Kontrol Düzeneginin Geliştirilmesi Üzerine Teorik Ve Deneysel Araştırma, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Yüksek Lisans Tezi)*, 102 s, Edirne.
- [24] **Url .** <<http://www.akmercangaz.com.tr/tr/bilgi-bankasi/dogalgaz-nedir/>> alındığı tarih: 17.03.2019.
- [25] **Car E.** Alüminyum Ergitme ve Tutma Süreçlerinde Enerji Verimliliği.
- [26] **Ağış, Ö.** (2014) Türkiye’de Kojenerasyon Teknolojisinin Gelişmesi Ve Geleceği, *Makine Mühendisleri Odası Kojenerasyon Paneli*, İstanbul.
- [27] **Ünver Ü., Kılıç M.** Bir Kombine Çevrim Güç Santralının Termodinamik Analizi, *Mühendis ve Makine, Cilt:46*, Sayı:545, Sayfa 47-56.
- [28] **Zor, K., Teke, A., Çelik, Ö., Latran, M.B.** Türkiye’de Gaz Motorlu Kojenerasyon Ve Trijenerasyon Santralleri İle Elektrik Enerji Üretimi, *IV. Elektrik Tesisat Ulusal Kongre ve Sergisi*, Cilt:2015/610, İzmir.
- [29] **Gül, Ö., Beltir, V.** Bir Ticari İşletmede Kurulacak Kojenerasyon Veya Trijenerasyon Sistemlerinin Ekonomik Analizi, *IV. Elektrik Tesisat Ulusal Kongre ve Sergisi*, Cilt:2015/610, İzmir.
- [30] **Türk Standartları Enstitüsü.** (2013), TS EN ISO 3183 Petrol ve Doğal Gaz Sanayileri – Boru Hattı ile Taşıma Sistemleri İçin Çelik Borular.
- [31] **American Petroleum Institute.** (2018), API Specification 5L 46th Edition, Line Pipe.
- [32] **Arısoy A.** (2001) Mekanik Tesisatın Sismik Korunması , *V. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi*.

- [33] **Özipek M.N.** (2004) Deprem Sonucu Oluşan Sismik Kuvvetlerin Mekanik Tesisatlara Ve Ekipmanlara Olan Etkisi Ve Bu Sistemlerin Deprem Güvenliklerinin Sağlanması, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Yüksek Lisans Tezi)*, 80s, İstanbul.
- [34] **Akay B.** (2005) Doğal Gaz Tesisatlarında Otomatik Kontrol, Emniyet Ve Güvenlik Sistemlerinin Tasarımı, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Yüksek Lisans Tezi)*,117s ,Isparta.
- [35] **Milli Eğitim Bakanlığı.** (2011), Motorlu Araçlar Teknolojisi Temel Kaynak, ANKARA.
- [36] **Ertürk İ., Selamoğlu A.** Çelik Boruların Çevresel Kaynağı, *X. Kaynak Teknolojisi Ulusal Kongre Ve Sergisi Bildiriler Kitabı*, Sayfa 1-15.
- [37] **N.F, Yılmaz.** (2005) Petrol ve Doğal Gaz Boru Hatları Üzerine Genel Bir Değerlendirme *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, Sayı:87, Sayfa:4-14.
- [38] **Kuş, R.** (2007) Düşük Karbonlu Çelik Tel Takviyeli Kır Dökmedemir Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Doktora Tezi)*, 105 s., Konya.
- [39] **Deutsches Institut für Normung .** (2012), DIN 30670, Polyethylene Coatings On Steel Pipes And Fittings - Requirements And Testing.
- [40] **Kahraman N., Gülenç B.** (2016) Modern Kaynak Teknolojisi EPAMAT Basım Yayın, 331s.
- [41] **Ekici M.** (2009) Mıg/Mag ve Elektrik Ark Kaynağı ile Birleştirilmiş Mikro Alaşımli Çeliklerin Mekanik Özellikleri, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Yüksek Lisans Tezi)*, 141s, Sakarya.
- [42] **Çakır, M.E.** (2010) Hidrojen Gazı İle Oksi-Gaz Kaynak Tekniğinde Kaynak Yapılan Çelik ve Alüminyum Levhaların Birleştirme Özelliklerinin İncelenmesi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Yüksek Lisans Tezi)*, 81s, Ankara.
- [43] **American Petroleum Institute.** (2013), API Standard 1104,Welding of Pipelines and Related Facilities.
- [44] **Candan İ., Durgutlu A., Kahraman N., Gülenç B.** (2006) Farklı Pozisyonlarda MAG Kaynağı ile Birleştirilen Boruların Kaynak Dikişlerinin Ultrasonik ve Mekanik Muayenesi, *Politeknik Dergisi*, Cilt:9, Sayı:3, Sayfa 203-209.
- [45] **Gürsel A.** (2013) Petrol Borularının Kaynaklarında Radyografik Muayene Yönteminin Hata Tespit Kabiliyeti , *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, Cilt 2, Sayı 1, Sayfa 55-65, Düzce.
- [46] **Kara R., Çolak F., Yıldırım G., Hiçyılmaz V.** (2017) Farklı Kaynak Yöntemleri ile Birleştirilen Doğalgaz Borularının İncelenmesi, *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, Cilt:4, No:1, Sayfa 108-115.

- [47] **Aksöz S., Ada H., Fındık T., Çetinkaya C., Bostan B., Candan İ.** (2017) API 5L X65 Çeliklerinin Elektrik Ark Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmesinde, Kaynak İşleminin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi, *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, Cilt: 4, No:1, Sayfa 72-81.
- [48] **Gençkan H.D.** (2014) Doğal Gaz Boru Hatlarında Orbital Kaynak Teknolojisi Kullanılarak Yapılan Kaynakların Mekanik Ve Mikroyapı Özelliklerinin İncelenmesi, *İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü (Doktora Tezi)*, 208s, İstanbul.
- [49] **Uzun H.** (2002) Kaynaklı API 5L X65 Boru Hattı Çeliklerinin Kırılma Tokluğu, *SAU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6. Cilt 1. Sayı.
- [50] **Durgutlu A., Kahraman N., Gülenç B.** (2008) Al - Si Alaşımının TİG Kaynağında Darbeli Akımın Mikroyapı, Sertlik, Eğme ve Çekme Dayanımına Etkisi, *Politeknik Dergisi*, Cilt:11, Sayı:4, Sayfa 339-344.
- [51] **Ada H., Aksöz S., Fındık T., Çetinkaya C., Bostan B., Candan İ.** (2016) API 5L X65 Çeliklerinin MAG Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmesinde, Kaynak İşleminin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*.

EKLER

EK-1 Kaynak İşlem Raporu Örneği

EK-2 Radyografik Test Raporları

EK-3 Kök Eğme Test Raporu Örneği

EK-4 Çentikli Kıırma Test Raporu Örneği

EK-5 Makro Yapı Test Raporu Örneği

EK-6 Sertlik Test Raporu Örneği

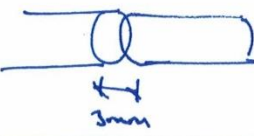


EK-1 Kaynak İşlem Raporu Örneği

KAYNAK İŞLEM RAPORU

Yer: KAYAMAK MÜH.
Kaynak No: 1
Kaynağının Adı: Mustafa DENİZ
Kaynak Yöntemi: TIG (ARGON)
Dikiş Türü:
Kaynak Ağzı Hazırlığı: Tavlama bisi ile tavlama

TS EN ISO 3183 PSL 2
Kaynaklanan Metal: X42N 60.3
Dış Çap(mm): 60.3 mm
Parça Kalınlığı(mm): 3.9 mm
Kaynak Pozisyonu: Düşey

Birleşim Şekli / Detayı	Kaynak Sırası / Paso Düzeni
	<ol style="list-style-type: none">1- Kök paso2- Dolgu paso3- Kapak paso

Kaynak İşlemi Ayrıntıları

Kaynak Pasosu	Yöntem	İlave Malzeme Çapı(mm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	Akım Türü Kutuplama	Tel Sürme hızı	Kaynak hızı	Isı Girdisi
1	TIG	2.4mm	175A	21.5V	DC +			
2	TIG	2.4mm	100A	21.5V	DC +			
3	TIG	2.4mm	90A	21.5V	DC +			

İlave Malzeme:

Sınıfı ve Markası: SG2 GEKA
Kurutma İşlemi:
Koruyucu Gaz: Argon
Gaz Akış Debisi: 16 l/dk.
Elektrot Türü / Çapı:
Ön Tavlama Sıcaklığı: -

İlave Bilgileri:
Torç Tutuş Açısı: 60°
Notlar:

KAYNAK İMALATÇI
İsim, Tarih, İmza Sap. Tl. İmza Stii Fevzi Çakmak Mahallesi A Blok Katı Atiker 1. Sanayi Sitesi No: 36 / KAYSERİ / KONYA SELÇUK V.D. No: 0043 870 Tic. Sic. No: 11938

HAZIRLATAN
İsim, Tarih, İmza Bahadır Furkan KINACI

4.05.2019

EK-2 Radyografik Test Raporları

Radyografik Muayene Raporu																	
Radiographic Examination Report																	
TS EN ISO/IEC 17020-MUAYENE HİZMETLERİ SİSTEMİ																	
Muayene Talep No / Application No		2019.05.26 MN08-M01															
Rapor No / Report No		2019-MN08-RT-005															
İşveren / Client		UGETAM A.Ş.															
Yüklenici / Contractor																	
Proje Adı / Project Name		2" TEST PARÇALARI															
Muayene Yeri / Location		İSTANBUL															
Malzeme / Material		API 5L X42, Gr.A, Gr.B															
Ürün Türü / Product Type		<input checked="" type="checkbox"/> Kaynak / Welding <input type="checkbox"/> Döküm / Casting <input type="checkbox"/> Dövme / Forging <input type="checkbox"/> Diğer / Other															
Kaynak Yöntemi / Welding Process		SMAW/GTAW/GMAW/OAW Kaynak Profili / Weld Profile <input checked="" type="checkbox"/> V <input type="checkbox"/> X <input type="checkbox"/> U <input type="checkbox"/> Y															
Isıl İşlem / Heat Treatment		<input type="checkbox"/> Evet / Yes <input type="checkbox"/> Önce / Before <input type="checkbox"/> Sonra / After <input checked="" type="checkbox"/> Hayır / No															
X Işım Detayları / X-Ray Details		Cihaz / Equipment		Seri No / Serial No		Voltaj / Tube Voltage		Akım / Tube current		Odak Büyüklüğü / Focus Size							
						Kv		mA		3mm							
Gama Işım Detayları / Gamma-Ray Details		Cihaz / Equipment		Seri No / Serial No		Tip / Type		Aktivite / Activity		Rad.Kay.Ölçüsü / Source Size							
		SENTINEL DELTA 880		D2816		Ir-192		10 Ci		3x3 mm							
Banyo İşlemi / Darkroom Processing Technique		<input checked="" type="checkbox"/> El ile / Manual <input type="checkbox"/> Otomatik / Automatic				Geliştirici / Developer Sabitleyici / Fixer		22°C		5 dak./min. 10dak./min.							
Çekim Yöntemi / Radiographic Technique		<input type="checkbox"/> Tek Cidar Tek Görüntü/SWSI <input checked="" type="checkbox"/> Çift Cidar Tek Görüntü/DWSI <input type="checkbox"/> Çift Cidar Çift Görüntü/DWDI															
Çekim Düzenlemesi / Test Arrangement		API 1104				Kaynak Film Mesafesi / Source to Film Distance		30 cm									
Geometrik Yarı Gölge/ Penumbra		< 0,51mm				Ekran Tipi / Intensifying Screen		Kurşun / Lead Pb 0,125mm									
Poz Süresi / Exposure Time		5 dakika				Film Tipi / Film Brand		FUJI 80HD									
Kalite Göstergesi / Image Quality Indicator		IQI Standardı / IQI Standard		IQI Seti / IQI Type		IQI Konumu / IQI Position		Film Tarafında / Film Side		Kaynak Tarafında / Source Side							
		ASTM E747		ASTM I-A6				<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>							
Muayene Standartı / Examination Standard		API 1104				Değerlendirme Standartı / Evaluation Standard		API 1104									
Muayene Sınıfı / Examination Standard						Kalite Seviyesi / Quality Level											
No	Kaynak No/Parça No / Weld No/Part No	Araçlar / Section	Ölçüler / Dimensions		Film Boyutu / Film Size				Yoğunluk / Density 2x254	Hassasiyet / Sensitivity $\leq 0,2$	Hatalar / Imperfections	Sonuç / Result					
			Çap / DN/NPS	Kalınlık / Thickness	10x12	10x16	10x24	10x48				On Değerlendirme / Pre Interpretation	Ret / Retj	Son Değerlendirme / Final Interpretation	Ret / Retj	Kabül / Accept	
1	OAW Gr. A	A-B	2"	3,9mm	2					2-3,1	W7	Incomplete Penetration		Retj			
2	OAW Gr. B	A-B	2"	3,9mm	2					2-3,1	W7	Incomplete Penetration		Retj			
3	OAW X42	A-B	2"	3,9mm	2					2-3,1	W7	Incomplete Penetration		Retj			
4	OAW Gr. A	A-B	2"	3,9mm	2					2-3,1	W7	Incomplete Penetration		Retj			
5	OAW Gr. B	A-B	2"	3,9mm	2					2-3,1	W7	Incomplete Penetration		Retj			
6	OAW X42	A-B	2"	3,9mm	2					2-3,1	W7	Incomplete Penetration		Retj			
7																	
8																	
9																	
10x12	12	adet	Notlar / Remarks:														
10x16	0	adet															
10x24	0	adet															
10x48	0	adet															
RT Operatör / Radiographer					Değerlendirici / Inspector					İşveren veya 3. Taraf / Client or Third Party							
Adı Soyadı / Printed Name					Adı Soyadı / Printed Name					Adı Soyadı / Printed Name							
Murat DEMİR					Murat DEMİR					Murat DEMİR							
NDT Seviyesi / NDT Level					NDT Seviyesi / NDT Level					NDT Seviyesi / NDT Level							
3.1 Welding Inspector					3.1 Welding Inspector					3.1 Welding Inspector							
İmza / Signature					İmza / Signature					İmza / Signature							
RT-UT					RT-UT-ME-PT												
Tarih / Date					Tarih / Date					Tarih / Date							
26.05.2019					26.05.2019					26.05.2019							

Adın Mahallesi Camibelde Sitesi Akasya Sokak No:31 Tuzla-İSTANBUL Tel:+90 216 597 02 02 Faks: +90 216 597 02 25 e-posta: info@csmmuhendislik.com

Revizyon Tarihi / Revision Date: 20.04.2016
Form No: MF04.01

Radyografik Muayene Raporu

Radiographic Examination Report



NDT SERVİS ve MÜHENDİSLİK HİZMETLERİ LTD. ŞTİ.

TS EN ISO 9001:2015 MUAYENE HİZMETLERİ SİSTEMİ

Muayene Talep No / Application No	2019.05.26 MN08-M01
Rapor No / Report No	2019-MN08-RT-004
İşveren / Client	UGETAM A.Ş.
Yüklenici / Contractor	
Proje Adı / Project Name	2" TEST PARÇALARI
Muayene Yeri / Location	İSTANBUL

Malzeme / Material	API 5L X42, Gr.A, Gr.B			
Ürün Türü / Product Type	<input checked="" type="checkbox"/> Kaynak / Welding	<input type="checkbox"/> Döküm / Casting	<input type="checkbox"/> Dövme / Forging	<input type="checkbox"/> Diğer / Other
Kaynak Yöntemi / Welding Process	SMAW/GTAW/GMAW/OAW		Kaynak Profili / Weld Profile	<input checked="" type="checkbox"/> J <input type="checkbox"/> Y
Isıl İşlem / Heat Treatment	<input type="checkbox"/> Evet / Yes	<input type="checkbox"/> Önce / Before	<input type="checkbox"/> Sonra / After	<input checked="" type="checkbox"/> Hayır / No

X Işını Detayları X-Ray Details	Cihaz / Equipment	Seri No / Serial No	Voltaj / Tube Voltage	Akım / Tube current	Odak Büyüklüğü Focus Size
			Kv	mA	3mm
Gama Işını Detayları Gamma-Ray Details	Cihaz / Equipment	Seri No / Serial No	Tip / Type	Aktivite / Activity	Rad.Kay. Ölçüsü / Source Size
	SENTINEL DELTA 880	D2816	Ir-192	10 Ci	3x3 mm

Banyo İşlemi Darkroom Processing Technique	<input checked="" type="checkbox"/> El ile / Manual	<input type="checkbox"/> Otomatik / Automatic	Geliştirici / Developer	22°C	5 dak./min. 10dak./min.
Cekim Yöntemi Radiographic Technique	<input type="checkbox"/> Tek Cidar Tek Görüntü/SWSI		<input checked="" type="checkbox"/> Çift Cidar Tek Görüntü/DWSI	<input type="checkbox"/> Çift Cidar Çift Görüntü/DWDI	

Cekim Düzenlemesi / Test Arrangement	API 1104	Kaynak Film Mesafesi / Source to Film Distance	30	cm
--------------------------------------	----------	--	----	----

Geometrik Yarı Gölge/ Penumbra	< 0,5mm	Ekran Tipi / Intensifying Screen	Kurşun / Lead	Pb 0,125mm
--------------------------------	---------	----------------------------------	---------------	------------

Poz Süresi / Exposure Time	5 dakika	Film Tipi / Film Brand	FUJI 80HD	
----------------------------	----------	------------------------	-----------	--

Kalite Göstergesi Image Quality Indicator	IQI Standardı / IQI Standard	IQI Seti / IQI Type	IQI Konumu / IQI Position	
	ASTM E747	ASTM 1-A6	<input checked="" type="checkbox"/> Film Tarafında Film Side	<input type="checkbox"/> Kaynak Tarafında Source Side

Muayene Standartı / Examination Standard	API 1104	Değerlendirme Standartı / Evaluation Standard	API 1104
--	----------	---	----------

Muayene Sınıfı / Examination Standard		Kalite Seviyesi / Quality Level	
---------------------------------------	--	---------------------------------	--

No	Kaynak No/Parça No Weld No/Part No	Araçlar Section	Ölçüler Dimensions		Film Boyutu Film Size				Yoğunluk Density 2x/5x	Hassasiyet SensitIVITY %2	Hatalar / Imperfections	Sonuç / Result				
			Çap DN/NS	Kalınlık Thickness	10x12	10x16	10x24	10x48				On Değerlendirme Pre Interpretation		Son Değerlendirme Final Interpretation		
												Kabul Accept	Ret	Ret	Kabul Accept	
1	SMAW Gr. A	A-B	2"	3,9mm	2					2-3,1	W7		Acc.			
2	SMAW Gr. B	A-B	2"	3,9mm	2					2-3,1	W7		Acc.			
3	SMAW X42	A-B	2"	3,9mm	2					2-3,1	W7		Acc.			
4	GTAW Gr. A	A-B	2"	3,9mm	2					2-3,1	W7		Acc.			
5	GTAW Gr. B	A-B	2"	3,9mm	2					2-3,1	W7		Acc.			
6	GTAW X42	A-B	2"	3,9mm	2					2-3,1	W7		Acc.			
7	GMAW Gr. A	A-B	2"	3,9mm	2					2-3,1	W7	Incomplete Penetration		Rej.		
8	GMAW Gr. B	A-B	2"	3,9mm	2					2-3,1	W7	Incomplete Penetration Excess Penetration		Rej.		
9	GMAW X42	A-B	2"	3,9mm	2					2-3,1	W7	Incomplete Penetration		Rej.		

10x12	18	adet	Notlar / Remarks:
10x16	0	adet	
10x24	0	adet	
10x48	0	adet	

RT Operatör / Radiographer		Değerlendirici / Interpreter		İşveren veya 3. Taraf / Client or Third Party	
Adı Soyadı / Printed Name: Murat DEMİR		Adı Soyadı / Printed Name: Murat DEMİR		Adı Soyadı / Printed Name:	
NDT Seviyesi / NDT Level: CWIP 3.1 Welding Inspector		NDT Seviyesi / NDT Level: CWIP 3.1 Welding Inspector		NDT Seviyesi / NDT Level:	
İmza / Signature: [Signature]		İmza / Signature: [Signature]		İmza / Signature:	
Tarih / Date: 26.05.2019		Tarih / Date: 26.05.2019		Tarih / Date:	

Aydın Mahallesi Çamlıbelde Sitesi Akasya Sokak No:31 Tuzla-İSTANBUL Tel:+90 216 597 02 02 Faks: +90 216 597 02 25 e-posta: info@csmmuhendislik.com




Revizyon No / Revision No: 03

Revizyon Tarihi / Revision Date: 20.04.2016

Sayfa/Page: 1/1

Form No: MF04.01

EK-3 Kök Eğme Test Raporu rneği

	Fokus Kalite Kontrol Mümessillik elik Mühendislik Danışmanlık zel Eğitim Hizmetleri Sanayi Ve Ticaret Limited şirketi		
	Tahribatlı Test Laboratuvarı		
	Ferhatpaşa Mahallesi G24 Sokak No:64 Ataşehir İstanbul		
	Eğme Test Raporu Bend Test Report		
Sayfa 1 / 2			
Müşterinin adı/adresi Customer name/address	: CSM NDT SERVİS VE MÜHENDİSLİK HİZMETLERİ LTD. şTİ.		
İstek Numarası Order No.	:-		
Numunenin adı ve tarifı Name and identity of test item	: NUMUNE 12 TIG KAYNAğI		
Numunenin kabul tarihi The date of receipt of test item	: 10.06.2019		
Açıklamalar Remarks	:-		
Deneyin yapıldığı tarih Date of Test	: 10.06.2019		
Raporun Sayfa Sayısı Number of pages of the Report	:2		
Mhr/Kaşe Seal	Tarih Date	Deney Sorumlusu Person in charge of test	Onaylayan Approval
	10.06.2019	 MUSTAFA İSLAMOğLU	 SUAT KARADAYI
<small>Bu rapor, laboratuvarın yazılı izni olmadan kısmen kopyalanıp oğalınmaz. İmzasız raporlar geçersizdir. This report shall not be reproduced other than in full except with the permission of the laboratory. Testing reports without signature are not valid</small>			
<small>LF.17/01.08.2018/Rev:02</small>			



BT-12

06.19

Sayfa 2 / 2

Proje : NUMUNE 12 TIG KAYNAĞI
Project

Test Yeri : FOKUS KALITE KONTROL TEST LABORATUVARI ATAŞEHİR İSTANBUL
Location

Malzeme / Sınıfı : GRADE A
Material / Grade

Çap / Et Kalınlığı : t:5 mm
Diameter / Thickness

Standart : API 1104
Standard

Test Numunesinin Şekli ve Ölçüleri : 5mmX25mm
Identification of test piece

Numune Sayısı : 1 ADET
Number Of Specimen

Sonuçlar
Results

Test Parçası No Test Piece No	Mesnetler Arası Mesafe Dist. Btw Rollers (mm)	Mandrel Çapı Diameter of Mandrel (mm)	Eğme Açısı Bending Angle	Sonuç Result
NUMUNE 12-KÖK	33	20	180°	KABUL



Bu rapor, laboratuvarın yazılı izni olmadan kısmen kopyalamp çoğaltılmamalıdır. İmzasız raporlar geçersizdir.
This report shall not be reproduced other than in full except with the permission of the laboratory. Testing reports without signature are not valid

LF.17/01.08.2018/Rev.02

EK-4 Çentikli Kırma Test Raporu Örneği

FÖKUS
kalite

Fokus Kalite Kontrol
Müessellik Çelik Mühendislik
Danışmanlık Özel Eğitim Hizmetleri
Sanayi Ve Ticaret Limited Şirketi

Tahribatlı Test Laboratuvarı

Ferhatpaşa Mahallesi G24 Sokak No:64 Ataşehir İstanbul

Çentikli Kırma Test Raporu
Nick Break Test Report



-
NT-12
06.19

Sayfa 1 / 2

Müşterinin adı/adresi : CSM NDT SERVİS VE MÜHENDİSLİK HİZMETLERİ LTD. ŞTİ.
Customer name/address

İstek Numarası : -
Order No.

Numunenin adı ve tarif : NUMUNE 12 TIG KAYNAĞI
Name and identity of test item

Numunenin kabul tarihi : 10.06.2019
The date of receipt of test item

Açıklamalar : -
Remarks

Deneyin yapıldığı tarih : 10.06.2019
Date of Test

Raporun Sayfa Sayısı : 2 SAYFA
Number of pages of the Report

Mühür/Kaşe
Seal

Tarih
Date

Deney Sorumlusu
Person in charge of test

Onaylayan
Approval

FÖKUS
kalite

FÖKUS
kalite

10.06.2019

MUSTAFA İSLAMOĞLU

SUAT KARADAYI

Bu rapor, laboratuvarın yazılı izni olmadan kısmen kopyalanıp çoğaltılamaz. İmzasız raporlar geçersizdir.
This report shall not be reproduced other than in full except with the permission of the laboratory. Testing reports without signature are not valid

LF.15/01.08.2018/Rev:02



Fokus Kalite Kontrol

Müessellik Çelik Mühendislik
Danışmanlık Özel Eğitim Hizmetleri
Sanayi Ve Ticaret Limited Şirketi

Tahribatlı Test Laboratuvarı

Ferhatpaşa Mahallesi G24 Sokak No:64 Ataşehir İstanbul

Çentikli Kırma Test Raporu

Nick Break Test Report



-
NT-12
06.19

Sayfa 2 / 2

Proje Project	: NUMUNE 12 TIG KAYNAĞI
Test Yeri Location	: FOKUS KALİTE KONTROL TEST LABORATUVARI ATAŞEHİR İSTANBUL
Malzeme / Sınıfı Material / Grade	: GRADE A
Çap / Et Kalınlığı Diameter / Thickness	: t:5 mm 3,9 mm
Standart Standard	: API 1104
Test Numunesinin Şekli ve Ölçüleri Identification of test piece	: 5X25mm
Numune Sayısı Number Of Specimen	:1

Sonuçlar Results




Test Parçası No Test Piece No	Kontrol Yöntemi Control Method	Kaynak Formu Weld Form	Kaynak Nüfuziyeti Weld Penetration	Kaynak Değerlendirme Weld Appreciation	Test Sonucu Result
NUMUNE 12	GÖRSEL	-	-	-	Kaynak Bölgesinden Kırılma Gerçekleşmedi.

GÖZLENEN SÜREKSİZLİKLERİN TİPLERİ VE ÖLÇÜLERİ Type and dimension of discontinuities

Bu rapor, laboratuvarın yazılı izni olmadan kısmen kopyalanıp çoğaltılamaz. İmzasız raporlar geçersizdir.
This report shall not be reproduced other than in full except with the permission of the laboratory. Testing reports without signature are not valid.

LF.15/01.08.2018/Rev:02

EK-5 Makro Yapı Test Raporu Örneği

	Fokus Kalite Kontrol Müessillik Çelik Mühendislik Danışmanlık Özel Eğitim Hizmetleri Sanayi Ve Ticaret Limited Şirketi	
	Tahribatlı Test Laboratuvarı	
	Ferhatpaşa Mahallesi G24 Sokak No:64 Ataşehir İstanbul	
	Makro Test Raporu Macro Test Report	
Sayfa 1 / 2		
Müşterinin adı/adresi Customer name/address	: CSM NDT SERVİS VE MÜHENDİSLİK HİZMETLERİ LTD. ŞTİ.	
İstek Numarası Order No.	: -	
Numunenin adı ve tanımı Name and identity of test item	: NUMUNE 12 TIG KAYNAĞI	
Numunenin kabul tarihi The date of receipt of test item	: 10.06.2019	
Açıklamalar Remarks	:	
Deneyin yapıldığı tarih Date of Test	: 10.06.2019	
Raporun Sayfa Sayısı Number of pages of the Report	: 2	
Mühür/Kaşe Seal	Tarih Date	Deney Sorumlusu Person in charge of test
	10.06.2019	 MUSTAFA ISLAMOĞLU
		Onaylayan Approval
		 SUAT KARADAYI
<small>Bu rapor, laboratuvarın yazılı izni olmadan kısmen kopyalanıp çoğaltılamaz. İmzasız raporlar geçersizdir. This report shall not be reproduced other than in full except with the permission of the laboratory. Testing reports without signature are not valid</small>		
<small>LF.12/01.08.2018/Rev:02</small>		

Proje Project	: NUMUNE 12 TIG KAYNAĞI		
Test Yeri Location	: FOKUS KALİTE KONTROL TEST LABORATUVARI ATAŞEHİR İSTANBUL		
Malzeme / Sınıfı Material / Grade	: GRADE A		
Çap / Et Kalınlığı Diameter / Thickness	: 5 mm ^{3.9 mm}	Dağlayıcı Türü/Sıcaklığı Type of etchant/ etc. Temp.	: NITAL 20°
Standart Standard	: API 1104	Yüzey Hazırlığı Surface preparation	: 1200 ZIMPARALAMA
Test Num. Şekline Ölçütleri Identification of test piece	: ARA KESİT	Uygulama Metodu Etching method	: DALDIRMA
Numune Sayısı Number Of Specimen	: 1 ADET	Dağlama Süresi Etching duration	: 1 DAKİKA

Sonuçlar

Results

Test Parçası No Test Piece No	Kontrol Yöntemi Control Method	Kaynak Formu Weld Form	Kaynak Nüfuziyeti Weld Penetration	Kaynak Değerlendirme Weld Appreciation	Test Sonucu Result
NUMUNE 12	GÖRSEL				DEĞERLENDİRME YAPILMADI

GÖZLENEN SÜREKSİZLİKLERİN TİPLERİ VE ÖLÇÜLERİ

Type and dimension of discontinuities



Bu rapor, laboratuvarın yazılı izni olmadan kısmen kopyalanıp çoğaltılamaz. İmzasız raporlar geçersizdir.
This report shall not be reproduced other than in full except with the permission of the laboratory. Testing reports without signature are not valid

LF.12/01.08.2018/Rev:02

EK-6 Sertlik Test Raporu Örneği

FÖKUS kalite	Fokus Kalite Kontrol Mümessillik Çelik Mühendislik Danışmanlık Özel Eğitim Hizmetleri Sanayi Ve Ticaret Limited Şirketi		
	Tahribatlı Test Laboratuvarı Ferhatpaşa Mahallesi G24 Sokak No:64 Ataşehir İstanbul		
Sayfa 1 / 2	Sertlik Test Raporu Hardness Test Report	HT-12 06.19	
Müşterinin adı/adresi Customer name/address	: CSM NDT SERVİS VE MÜHENDİSLİK HİZMETLERİ LTD. ŞTİ.		
İstek Numarası Order No.	: -		
Numunenin adı ve tanımı Name and identity of test item	: NUMUNE 12 TIG KAYNAğI		
Numunenin kabul tarihi The date of receipt of test item	: 10.06.2019		
Açıklamalar Remarks	: -		
Deneyin yapıldığı tarih Date of Test	: 10.06.2019		
Raporun Sayfa Sayısı Number of pages of the Report	: 2		
Mühür/Kaşe Seal	Tarih Date	Deney Sorumlusu Person in charge of test	Onaylayan Approval
	10.06.2019	FÖKUS kalite MUSTAFA İSLAMOğLU	FÖKUS kalite SUAT KARADAYI
<small>Bu rapor, laboratuvarın yazılı izni olmadan kısmen kopyalanıp çoğaltılamaz. İmzasız raporlar geçersizdir. This report shall not be reproduced other than in full except with the permission of the laboratory. Testing reports without signature are not valid.</small>			
<small>LF.11/01.08.2018/Rev.02</small>			



-
HT-12
06.19

Sayfa 2 / 2

Proje : NUMUNE 12 TIG KAYNAĞI
Project

Test Yeri : FOKUS KALİTE KONTROL TEST LABORATUVARI ATAŞEHİR İSTANBUL
Location

Malzeme / Sınıfı : GRADE A
Material / Grade

Çap / Et Kalınlığı : t: 5 mm
Diameter / Thickness

Standart : API 1104
Standard

Test Metodu : HV10
Test Method

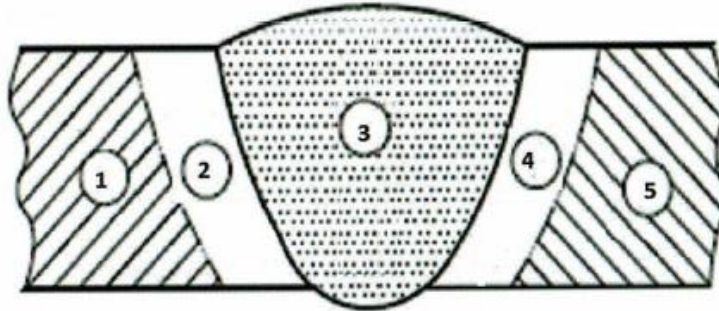
Numune Sayısı : 1 ADET
Number Of Specimen

Test Sıcaklığı : 20°C
Temperature

Test Cihazının Kimliği : VICKERS
ID number

Sonuçlar
Results

1. Hat /Line	1			2			3			4			5		
	106	109	107	148	152	153	168	166	167	159	155	157	109	113	111



Bu rapor, laboratuvarın yazılı izni olmadan kısmen kopyalanıp çoğaltılamaz. İmzasız raporlar geçersizdir.
This report shall not be reproduced other than in full except with the permission of the laboratory. Testing reports without signature are not valid.

LF.11/01.08.2018/Rev:02

ÖZGEÇMİŞ



Kişisel bilgiler

Adı Soyadı	Bahadır Furkan KINACI
Doğum Yeri ve Tarihi	Kırklareli, 01.09.1993
Yabancı Dil	İngilizce
İletişim Adresi	Konya Organize Sanayi Bölge Müdürlüğü, KONYA
E-posta Adresi	bahadurfurkan@outlook.com

Eğitim ve Akademik Durumu

Lise	Malatya Lisesi
Lisans	Karabük Üniversitesi, 2017 (GANO: 3,23/4)
Yüksek Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi, 2019 (GANO: 95/100)

İş Tecrübesi

VHS Elektronik Yazılım Proje Yöneticisi – Şantiye Şefi, 2017- Halen

Yayınlar

Lisans Tezi

Dünya Üzerinde Kullanılan Monoray Çeşitlerinin İncelenmesi Ve Özgün Tasarımının Yapılması, Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Harun ÇUĞ, 2017.

Uluslararası Bilimsel Toplantılarda Sunulmuş Bildiriler

Bahadır Furkan Kınacı, Yusuf Emre Çulfaz, Harun Çuğ, " MALATYA ŞEHİR İÇİ RAYLI SİSTEM ÖNERİSİ", 3. Uluslararası Raylı Sistemler Mühendisliği Sempozyumu (ISERSE'16), 13-15 Ekim 2016, Karabük, Türkiye