



**API BORULARININ GAZALTI KAYNAK YÖNTEMİYLE
KAYNAKLANABİLİRLİĞİ VE MİKROYAPI-MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Murat SEZGİN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
METAL EĞİTİMİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2019

Murat SEZGİN tarafından hazırlanan “API BORULARININ GAZALTI KAYNAK YÖNTEMİYLE KAYNAKLANABİLİRLİĞİ VE MİKROYAPI-MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Metal Eğitimi Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Cemil ÇETİNKAYA

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan: Prof. Dr. Ahmet DURGUTLU

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Doç. Dr. Nurullah KIRATLI

Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Dumlupınar Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 24/06/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu çalışmanın Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

.....
Murat SEZGİN

24.06.2019

API BORULARININ GAZALTI KAYNAK YÖNTEMİYLE
KAYNAKLANABİLİRLİĞİ VE MİKROYAPI-MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Murat SEZGİN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2019

ÖZET

Dünyada enerji tüketimi teknolojinin ve sanayinin gelişmesiyle birlikte her geçen yıl artmaktadır. Enerji ihtiyacını karşılamak için kullanılan kaynakların başında petrol ve doğalgaz gelmektedir. Türkiye de, petrol ve doğalgaz zengini Ortadoğu ve Kafkas coğrafyası ile Avrupa arasındadır. Bu konumundan dolayı güçlü bir enerji nakil hattında bulunmaktadır. Doğalgaz transferinde boru hattı ile taşımacılık her geçen gün artmaktadır. Türkiye, son yıllarda yaptığı projeler ile doğalgaz transferinde kendini göstermektedir. Gelişen teknoloji ile beraber boru hatlarının saha birleştirme işlemlerinde kullanılan kaynak yöntemleri de gelişmektedir. Bu gelişmelere rağmen ülkemizde doğalgaz boru hatları ile ilgili bilimsel çalışmaların azlığı dikkat çekmektedir. Bu çalışmada bu eksiklik dikkate alınarak doğalgaz boru hatlarında kullanılan API X70M malzemesinin saha birleştirmelerinde kullanılan Orbital kaynak sistemi incelenmiştir. API X70M 56" boru kök ve kapak paso işlemleri örtülü elektrot ile ark kaynak yöntemi kullanılarak kaynatılmıştır. Sıcak ve dolgu paso kaynakları ise Orbital-MAG kaynak yöntemi ile kaynatılmıştır. Kaynak işlemleri saat yönünde ve saat yönün tersine 6'dan 12'ye doğru gerçekleştirilmiştir. Yapılan kaynak işlemleri sonunda yapının incelenmesi için saat yönünde 12-3, 3-6, 6-9 ve 9-12 şeklinde numune 4 bölgeye ayrılmıştır. Her bölgenin ısı girdisi mikroyapı görüntüleri üzerinde incelenmiştir. Ayrıca bu bölgelerin mekanik özelliklerini incelemek için tahribatlı testlere tabi tutulmuştur. Tüm bu testlerin sonucunda ısı dağılımının mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisi değerlendirilmiştir. Kaynaklı birleştirmeden alınan test sonuçlarına göre istenen kaynak kabiliyeti sağlanmıştır.

Bilim Kodu : 91511

Anahtar Kelimeler : API 5LX70M, Gazaltı Kaynağı, Apı Boruları, Mikroyapı, Mekanik Özellikler

Sayfa Adedi : 101

Danışman : Prof. Dr. Cemil ÇETİNKAYA

INVESTIGATION OF WELDABILITY AND MICROSTRUCTURE-MECHANICAL
PROPERTIES OF THE API PIPES BY GAS METAL ARC WELDING METHOD

(M. Sc. Thesis)

Murat SEZGİN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2019

ABSTRACT

Energy consumption in the world increases every year with the development of technology and industry. Oil and natural gas are the main sources used to meet the energy needs. Turkey is between the Middle East and Caucasus geography, rich in oil and natural gas, and Europe. Because of its position, Turkey is located in a powerful transmission line. Pipeline transmission in natural gas transfer is increasing day by day. Especially with the projects in recent years, Turkey shows itself in natural gas transfer. Welding methods used in field joining of pipelines are developing with the developing technology. Despite these developments, the scarcity studies on natural gas pipelines in Turkey is remarkable. In this study, the Orbital Welding System used in field joints of API X70 material used in natural gas pipelines was examined considering this deficiency. Root and cover pass welding processes are done by using arc welding method with covered electrode for API X70 quality 56" pipe. Hot and fill pass welds were done by Orbital-MAG Welding Method. The welding was carried out clockwise and counterclockwise from 6 to 12. At the end of the welding process, samples were divided into 4 zones as 12-3, 3-6, 6-9, and 9-12 in order to examine the structure. The heat input of each zone was examined on microstructure images. They were also subjected to destructive tests to examine the mechanical properties of these zones. As a result of these tests, the effect of heat distribution on microstructure and mechanical properties was evaluated. According to the test results obtained from the welded joint, the desired welding capability is achieved.

Science Code : 91511

Key Words : API 5LX70M, Gas Welding, API Pipes, Microstructure, Mechanical Properties

Page Number : 101

Supervisor : Prof. Dr. Cemil ÇETİNKAYA

TEŞEKKÜR

Öncelikle Bu çalışmada danışmanım Sayın Prof. Dr. Cemil ÇETİNKAYA'ya, hocalarım Sayın Prof. Dr. Ahmet DURGUTLU ve Sayın Doç. Dr Nurullah KIRATLI'ya, tezimin her aşamasında bilgi ve destekleri ile yanımda olan Sayın Dr. Hakan ADA ve Sayın Dr. Gültekin UZUN hocalarıma şükranlarımı sunarım. Ayrıca çalışmalarım sırasında yardım ve desteklerini esirgemeyen dostlarım TRS Makine şirketinin ortaklarından Yüksek Teknik Öğretmenler Sayın Hakan OKTAY ve Sayın Fırğan MİHMAT'a teşekkür ederim. Labaratuvar çalışmalarımın büyük bir kısmını gerçekleştirdiğim Emek Boru A.Ş. çalışanlarından Ahmet TEZEL'e, Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümünden Arş. Gör. İrem Burcu ALGAN, Arş.Gör.Yasemin AKSU ve Öğr. Gör. Ömer ŞAHİN'e teşekkür ederim. Ayrıca Mim mühendislik firmasından mesai arkadaşlarım değerli dostlarım Harun DOĞAN ve Ozan ÖZEROL'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Son olarak beni bugünlere getiren emeğini ve hakkını ödeyemeyeceğim anneme, babama, kardeşlerime, bu yorucu süreçte gerek iş ve gerekse okul çalışmalarımın arasında bana varlıklarıyla güç katan ve desteklerini hep üstümde hissettiğim çok değerli eşime, çocuklarıma ve eşimin ailesine çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
RESİMLERİN LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ	1
2. ENERJİ-ENERJİ KAYNAKLARI VE TAŞINMASI	3
2.1. Enerji	3
2.2. Enerji Kaynakları	4
2.2.1. Birincil ve ikincil enerji kaynakları	4
2.2.2. Yenilenebilir enerji kaynakları	6
2.2.3. Yenilenemeyen ve yenilenebilir enerji kaynakları	7
2.3. Doğalgaz ve Petrol Taşımacılığı	9
2.3.1. Deniz taşımacılığı	9
2.3.2. Boru hatlarıyla taşımacılık	9
2.4. Türkiye ve Enerji	10
3. DOĞALGAZ VE PETROL BORU HATLARI	13
3.1. Doğalgaz ve Petrol Boruları	13
3.2. Dikişsiz Boru Üretim Yöntemi	15
3.3. Dikişli Boru Üretim Yöntemi	15

	Sayfa
3.3.1. Spiral dikişli boru üretim yöntemi	15
3.3.2. Boyuna dikişli boru üretim yöntemi	17
4. DOĞALGAZ VE PETROL BORULARININ SAHA BİRLEŞTİRMELERİNDE UYGULANAN KAYNAK YÖNTEMLERİ	19
4.1. Kaynak	19
4.2. Kaynak Yöntemleri	19
4.2.1. Elektrik ark kaynağı	20
4.3. MIG/MAG Kaynağı	24
4.4. Orbital Kaynak Sistemi	35
4.4.1. Orbital kaynak sisteminin avantajları ve dezavantajları	36
4.4.2. Orbital kaynak sisteminin boru hatlarında uygulanması	37
4.4.3. Orbital kaynak sisteminde kullanılan parametreler ve özellikleri	39
5. LİTERATÜR	41
6. MATERYAL VE METOT	45
6.1. Materyal	45
6.2. Metot	46
6.3. Radyografi Testi	49
6.4. Numune Hazırlama	49
6.5. Makroyapı – Mikroyapı	50
6.6. Mekanik Testler	51
6.6.1. Çekme testleri	51
6.6.2. Kaynaklı kırılma (nick break) testleri	52
6.6.3. Çentik – darbe testleri	53
6.6.4. Eğme testleri	54

	Sayfa
6.6.5. Makrosertlik incelemeleri	54
7. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA	57
7.1. Radyografi Testlerinin Değerlendirilmesi	57
7.2. Makroyapı ve Mikroyapı Sonuçlarının Değerlendirilmesi	57
7.2.1. Makroyapı sonuçlarının değerlendirilmesi	57
7.2.2. Mikroyapı sonuçlarının değerlendirilmesi	59
7.2.3. Mikroyapı görüntülerinin genel değerlendirmesi	79
7.3. Mekanik Test Sonuçları	81
7.3.1. Çekme testlerinin değerlendirilmesi	81
7.3.2. Kaynaklı kırılma (nick break) testlerinin değerlendirilmesi	83
7.3.3. Çentik-darbe testlerinin değerlendirilmesi	85
7.3.4. Eğme testi sonuçlarının değerlendirilmesi	87
7.3.5. Sertlik sonuçlarının değerlendirilmesi	89
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	93
KAYNAKLAR	95
ÖZGEÇMİŞ	101

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Metal kaynak proseslerinin sınıflandırılması	19
Çizelge 4.2. Masif (Özsüz) tel elektrotların kimyasal bileşimi	32
Çizelge 6.1. X70M malzemenin teknik bilgileri	45
Çizelge 6.2. AWS 5.1: E6010 kodlu selülozik elektrot teknik özellikleri	46
Çizelge 6.3. AWS 5.5: E9018-G-H4R kodlu bazik elektrot teknik özellikleri	46
Çizelge 6.4. AWS 5.36: E91T1-M21A6-K2-H4 kodlu 1.2mm selülozik özlü tel teknik özellikleri	46
Çizelge 6.5. ESAB TIG 3001i kaynak makinesi teknik özellikleri	48
Çizelge 6.6. Miller XMT 350 CC/CV kaynak makinesi teknik özellikleri	48
Çizelge 6.7. Deneyde kullanılan parametreler	49
Çizelge 7.1. Çekme testi sonuçları	81
Çizelge 7.2. Kaynaklı kırılma (nick break) testi sonuçları	83
Çizelge 7.3. Ana malzeme çentik – darbe test sonuçları	85
Çizelge 7.4. Eğme testi sonuçları	87
Çizelge 7.5. Sertlik testi sonuçları	89

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Birincil enerjinin 1970-2040 arasındaki ülkelere sektörlere ve enerji çeşitlerine göre dağılımı	5
Şekil 2.2. Birincil enerjinin 1970-2040 arasındaki ülkelere sektörlere ve enerji çeşitlerine göre dağılımı	5
Şekil 3.1. Spiral dikişli boru üretim tezgahı	17
Şekil 3.2 Boyuna dikişli boru üretim aşamaları görülmektedir	18
Şekil 4.1. Örtülü elektrot ark kaynağı şematik gösterimi	21
Şekil.4.2. Örtülü elektrot ark kaynak yöntemi elektrot ile iş parçası şematik gösterimi	21
Şekil 4.3. MIG/MAG (Gazaltı) kaynak yönteminin şematik gösterimi	25
Şekil 4.4. MIG-MAG kaynak donanımı	27
Şekil 4.5. Kutuplamanın dikiş formuna ve kaynak özelliklerine etkisi	27
Şekil 4.6. Çeşitli koruyucu gazların dikiş formu ve nüfuziyete etkisi	28
Sekil 4.7. Kısa devreli metal taşınımı	30
Şekil 4.8. Damlasal metal taşınımı	31
Şekil 4.9. İnce damlalı(Sprey) metal taşınımı	31
Şekil 4.10. Özlü tel elektrot imalatının en genel Şekilde gösterimi	33
Şekil 4.11. Özlü tel elektrot kesitleri	33
Şekil 4.12. Özlü tel elektrotlarda en çok kullanılan kesit formları ve dolgu dereceleri a) Dikişsiz tip, b) Dikişli tip, c) Bindirme boru tipinde, d-e) Kenetli özlü tel elektrotlar, f) Çift mantolu özlü Tel Elektrotlar	34
Şekil 4.13. Orbital kaynak Sistemi temel çalışma prensibi	35
Şekil 4.14. Sistem donanımları	36
Şekil 4.15. Kaynak ağzı detayı	37
Şekil 6.1. Paso görünüşleri	47
Şekil 6.2. X ışınıyla radyografik muayene	49

Şekil	Sayfa
Şekil 6.3. Mekanik test ve mikroyapı numunesi alınan bölgelerin şematik gösterimi ve kaynak yönü	50
Şekil 6.4. Çekme testi numunesinin şematik gösterimi	51
Şekil 6.5. Kaynaklı kırılma (nick break) test numunesinin şematik gösterimi	53
Şekil 6.6. Çentik - darbe test numunesinin şematik gösterimi	53
Şekil 6.7. Eğme test numunesinin şematik gösterimi	54
Şekil 6.8. Sertlik testi şematik gösterimi	54
Şekil 7.1. Kaynaklı birleştirmelerde ısıdan etkilenen bölge	61
Şekil 7.2. Çekme testi sonuç diyagramı	82
Şekil 7.3. Çekme testi % Uzama diyagramı	83
Şekil 7.4. Çentik – darbe test sonuçları diyagramı	87
Şekil 7.5. Mikrosertlik sonuçlarının grafiksel dökümü	90

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 4.1. Portatif kulübe	35
Resim 4.2. Boru ağızlama aparatı	38
Resim 6.1. Kaynaklı test numunesi ve kaynak yönü genel görünümü	47
Resim 6.2. Mikroyapı numuneler	51
Resim 6.3. Çekme test numuneleri	52
Resim 6.4. Kaynaklı kırılma (nick break) test numuneleri	52
Resim 6.5. Mikroyapı Makrosertlik numuneleri a)1.bölge, b) 2.bölge c) 3.bölge d) 4.bölge	55
Resim 7.1. Makroyapı resimleri a) 1. bölge, b) 2. bölge, c) 3. bölge ve d) 4. bölge	58
Resim 7.2. Ana malzemedan alınan mikroyapı görüntüsü	59
Resim 7.3. Mikroyapı görünütüsü 500 büyütme I)Kaynak metali, II) İri taneli bölge, III) İnce taneli bölge kısmen dönüşmüş ve dönüşüme uğrammış bölge, IV) Ana malzeme	62
Resim 7.4. 1 numaralı bölgeden alınan kaynaklı birleştirme mikroyapı görüntüsü (100 büyütme) I)Kaynak metali, II) İri taneli bölge, III) İnce taneli bölge .	64
Resim 7.5. 2 numaralı bölgeden alınan kaynaklı birleştirme mikroyapı görüntüsü (100 büyütme) I)Kaynak metali, II) İri taneli bölge, III) İnce taneli bölge ..	65
Resim 7.6. 3 numaralı bölgeden alınan kaynaklı birleştirme mikroyapı görüntüsü (100 büyütme) I)Kaynak metali, II) İri taneli bölge, III) İnce taneli bölge .	66
Resim 7.7. 4 numaralı bölgeden alınan kaynaklı birleştirme mikroyapı görüntüsü (100 büyütme) I)Kaynak metali, II) İri taneli bölge, III) İnce taneli bölge .	67
Resim 7.8. 1. bölgeden alınan 500 büyütme mikroyapı görüntüleri	68
Resim 7.9. 1. bölgeden alınan 200 büyütme mikroyapı görüntüleri	69
Resim 7.10. 1. bölgeden alınan 100 büyütme mikroyapı görüntüleri	70
Resim 7.11. 2. bölgeden alınan 500 büyütme mikroyapı görüntüleri	71
Resim 7.12. 2. bölgeden alınan 200 büyütme mikroyapı görüntüleri	72

Resim	Sayfa
Resim 7.13. 2. bölgeden alınan 100 büyütme mikroyapı görüntüleri	73
Resim 7.14. 3. bölgeden alınan 500 büyütme mikroyapı görüntüleri	74
Resim 7.15. 3. bölgeden alınan 200 büyütme mikroyapı görüntüleri	75
Resim 7.16. 3. bölgeden alınan 100 büyütme mikroyapı görüntüleri	76
Resim 7.17. 4. bölgeden alınan 500 büyütme mikroyapı görüntüleri	77
Resim 7.18. 4. bölgeden alınan 200 büyütme mikroyapı görüntüleri	78
Resim 7.19. 4. bölgeden alınan 100 büyütme mikroyapı görüntüleri	79
Resim 7.20. Tipik kaynak metali 200 büyütme optik mikroskop görüntüleri	80
Resim 7.21. Çekme testi sonrası numunelerin görüntüleri	82
Resim 7.22. Kaynaklı kırılma testi sonrası numunelerinden örnek görüntüler	84
Resim 7.23. Kaynaklı kırılma testi sonrası numunelerin örnek görüntüleri	84
Resim 7.24. Eğme testi sonrası numunelerin örnek görüntüleri	88

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
Nb	Niyobyum
V	Vanadyum
Mo	Molibden
Cu	Bakır
Ni	Nikel
C	Karbon
N	Azot
S	Kükürt
P	Fosfor
Cr	Krom
Ti	Titanyum
Mn	Mangan
Ceş	Karbon Eşdeğerliği
CO₂	Karbondioksit
Ar	Argon
HNO₃	Nitrik Asit
µm	Mikron
MPa	Mega Pascal
HV	Vickers Sertliği
AB	Avrupa Birliği
A.B.D.	Amerika Birleşik Devletleri
ASTM	Amerikan Test ve Malzeme Derneği
API	Amerikan Petrol Enstitüsü
AWS	Amerikan Kaynak Derneği
BP	British Petrol
BTC	Bakü Tiflis Ceyhan
BTE	Bakü Tiflis Erzurum

Kısaltmalar**Açıklamalar****CW**

Saat Yönünde

CCW

Saat Yönün Tersi

GMAW

Gaz Metal Ark Kaynak

GTAW

Gaz Tungsten Ark Kaynak

HSLA

Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımli Çelik

IEA

Uluslararası Enerji Ajansı

ITAB

Isının Tesiri Altındaki Bölge

MAG

Metal Aktif Gaz

MIG

Metal Soy Gaz

PF

Aşağıdan Yukarı Kaynak Pozisyonu

RT

Radyografik Test

SMAW

Örtülü Elektrotla Ark Kaynak

FCAW

Özlü Telle Ark Kaynak

SSCB

Sovyet Sosyalist Cumhuriyetleri Birliği

TP

Türkiye Petrolleri

1. GİRİŞ

Petrol ve doğalgazın bulundukları kaynaklardan çıkarılarak ayırma istasyonlarına, ayırma işleminden çıkan ürünlerinse kullanım yerlerine taşınmaları yüksek basınçlarla gerçekleştirilmektedir. Bu taşıma işlemi ise büyük çaplı çelik borular ile yapılmaktadır. Dünyada enerjiye olan ihtiyacın artması da yüksek taşıma kapasitesine sahip yüksek basınçlı boru hatlarının inşasını gerektirmektedir. Boru hatlarının uzunluğunun ve boru çaplarının artması kaynak teknolojisine olan ihtiyacı arttırmaktadır.

Ekonomik nedenlerden dolayı, yüksek basınçlarda çalışma ihtiyacı ise beraberinde borunun mukavemeti ve/veya kalınlığındaki artışları da kaçınılmaz hale getirmektedir. Aynı zamanda, hattın güvenliği açısından gerek boru gövdesinde gerekse kaynak dikişinde özellikle düşük sıcaklıklarda oldukça yüksek tokluk özellikleri istenmektedir. Yüksek basınçlarda hattın dayanıklılığı sadece borunun et kalınlığına ve malzemenin yapısına değil, aynı zamanda kaynak dikişinin kalitesine de bağlıdır.

Doğalgaz boru hatları için üretilen borular genellikle tozaltı kaynak yöntemi ile üretilmekte olup, boruların sahada birleştirme işlemleri ise genel olarak örtülü elektrotla elektrik ark kaynak yöntemi ile gerçekleştirilmektedir. Son zamanlarda, yapım işi imalat sürecini hızlandırarak, enerji, maliyet ve zamandan tasarruf etmek için sahada yapılan birleştirme işlemlerinde gazaltı kaynak yöntemleri de denenmektedir. Örtülü elektrotla ark kaynağı manuel bir kaynak yöntemi olup, prosesin performans ve başarısı tamamen optimum kaynak parametrelerinin tercih edilmesine ve kaynakçının maharetine bağlıdır. Gazaltı kaynak yöntemleri ise; tel besleme hızı ve kesintisiz kaynak yapabilme özelliği nedeniyle sanayi uygulamalarında yoğun olarak kullanılan bir yöntemdir. Ayrıca kaynak işlemlerinde otomasyon sürecine geçiş noktasında gazaltı kaynağı önemli bir yer tutmaktadır. Gazaltı kaynağının uygulandığı mekanize edilmiş uygulamalar da son zamanlarda giderek artmaktadır. Mekanize (orbital-MAG-MAG) gazaltı kaynağı doğalgaz ve petrol boru hatlarının kaynaklı birleştirme işlemlerinde son zamanlarda denenmekte olup, kullanımı her geçen gün daha da yaygınlaşmaktadır. Ayrıca kaynaklı konstrüksiyondan arzu edilen mekanik özelliklerin elde edilebilmesi için dolgu metaline istenilen alaşım elemanlarının ilave edilebilmesi nedeniyle orbital-MAG kaynağın (FCAW) kullanımı da son yıllarda giderek artış göstermektedir.

Bu çalışmada; yeni bir yöntem olan orbital-MAG kaynak yönteminin performansının incelenmesine yönelik bir çalışma yapılmıştır. Deneylerde Petrol ve doğalgaz boru hatları için üretilen API 5L kalitesindeki elik borular kullanılmıştır. Deney numunelerine orbital-MAG kaynak yöntemi (FCAW) uygulanarak kaynaklanabilirliği, kaynak bölgesinin mikroyapısal özellikleri ve mekanik özellikleri incelenmiştir.

2. ENERJİ-ENERJİ KAYNAKLARI VE TAŞINMASI

2.1. Enerji

Enerji, bir cismin ya da sistemin iş yapabilme yeteneği, yaratılan güç anlamındadır. Doğrudan ölçülemeyen bir değer olup, fiziksel bir sistemin durumunu değiştirmek için yapılması gereken iş yoluyla veya enerji türüne göre, değişik hesaplamalar yoluyla bulunabilir. Kullanılabilir bir güç kaynağı (Doğalgaz, petrol veya kömür vb.). Uluslararası enerji ajansı tarafından ise sözlük anlamı olarak yakıt, ısı veya güç kaynağı olarak yakılan herhangi bir madde olarak tanımlanır. Enerji terimi, enerji istatistiklerinde doğru olarak kullanıldığında, sadece ısı ve güç kastetmek için kullanılmaktadır. Fakat bir başka deyimle, “yakıt” içinde bu terim kullanılmaktadır [1].

Ülkelerin temel ihtiyaçlarından biri olan enerji küreselleşen dünyada çok büyük bir güç olarak karşımıza çıkmaktadır. Öyle ki ülkelerin birbirleriyle ilişkilerine de yön veren önemli bir kaynak olan enerji değişik alternatiflerle karşımıza çıkmaktadır. Bunlar petrol ile türevleri ve yenilebilir enerjilerdir. Bu enerji kaynaklarının dünya coğrafyasında düzensiz şekilde dağılmış olması sebebiyle ülkelerin ihtiyaçlarını birbirlerinden temin etmek zorunda kalmasına buda ülkeler arasında enerji transferini mecburiyet haline getirmiştir. Bu kaynakların bir bölgeden başka bölgeye transferi için boru hattı vb... gibi yöntemlerin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu da enerji kaynağı gibi bunun transferinin de bir ticaret haline gelmesine ve geçtiği bölgelerin ticaretinin, ekonomisinin ve politik gücünün artmasına sebep olmuştur. Bu şekilde ülkeler arasında stratejik antlaşmalar ve programlar geliştirilmiştir. Enerjinin transfer yoluyla kullanılması için de enerjinin güvenli verimli ve ekonomik transferini de beraberinde karşımıza çıkarmıştır [2,5].

Enerji, toplumsal yaşamlarımızı sürdürebilmemiz için gerekli olan hemen hemen tüm süreçler için vazgeçilmez bir girdi olup; sanayi, ulaştırma, konut ve ticarethane alt sektörlerinde kullanılmaktadır. Bugün dünyada tüketilen enerji, çok sayıda enerji kaynağından elde edilirken; petrol, doğal gaz ve kömür gibi fosil kaynaklar, bu kaynakların %86'sını oluşturmaktadır [6].

Petrol, özellikle ulaştırma sektörünün temel enerji kaynağı olarak, dünya birincil enerji tüketimi içinde en büyük paya sahiptir. Petrolü takip eden doğal gaz ve kömür ise büyük ölçüde elektrik üretiminde kullanılmaktadır. 2017 yılı verileri itibariyle petrol, dünya enerji talebinin %33,3'ünü, doğal gaz ise %24,1'ini karşılamıştır. Bugüne kadar, çeşitli uluslararası kurum ve kuruluşlar tarafından (Uluslararası Enerji Ajansı, ABD Enerji Enformasyon İdaresi, BP, ExxonMobil vb.) yapılan çeşitli projeksiyonlara göre, petrol ve doğal gazın birincil enerji tüketimi içindeki paylarını uzun dönemde de koruyacakları öngörülmektedir [6].

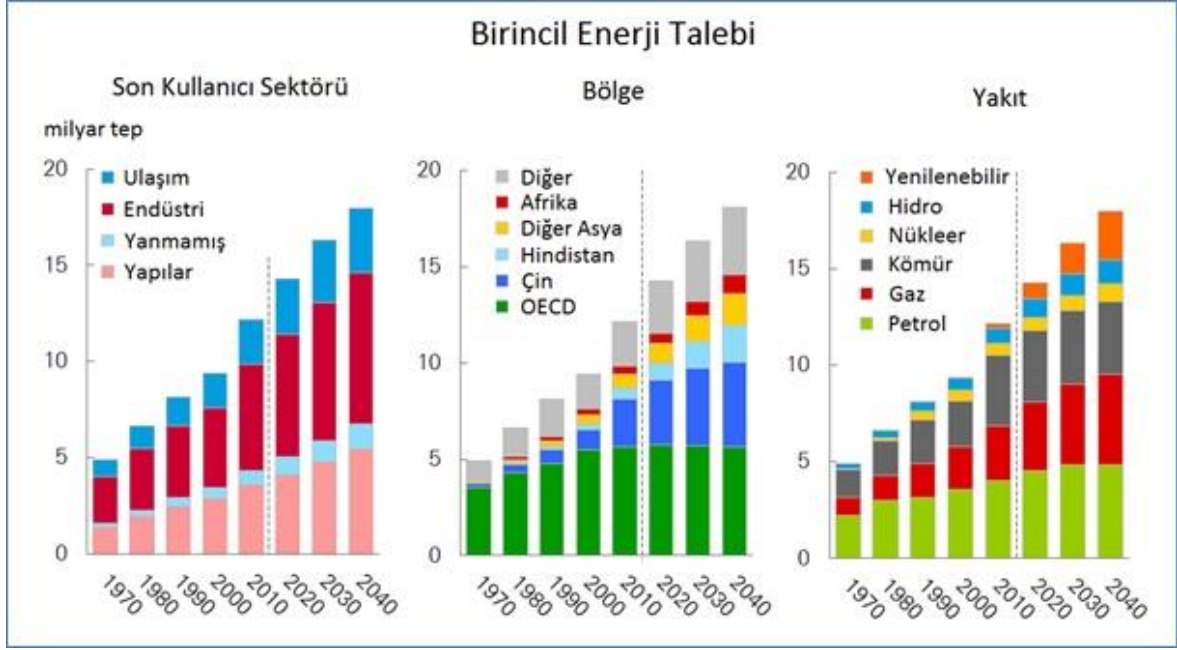
Uzun dönemli enerji projeksiyonları değerlendirildiğinde, OECD dışı ülkelerin tüketimlerindeki artış dikkat çekmektedir. Oransal değerlendirmede, Afrika enerji talebi 2040 yılına kadar yıllık %3,5 artış öngörüsü ile dikkat çekerken, rakamsal değerlendirmede, enerji talebi 1,56 katına çıkan Asya Pasifik bölgesi öne çıkmaktadır. 2016-2040 döneminde talep artışının üçte ikisinin Asya Pasifik bölgesinden gelmesi beklenmektedir. OECD dışı ekonomilere bakıldığında enerji talebinin Hindistan'da yıllık %4,2 artması, Çin'de ise yıllık %1,5 artması beklenmektedir. Çin'in yoğun sanayileşme sürecinin 2020 yılına kadar tamamlanması ile, enerji talep artış hızında düşüş yaşanacağı öngörülmektedir [6].

2.2. Enerji Kaynakları

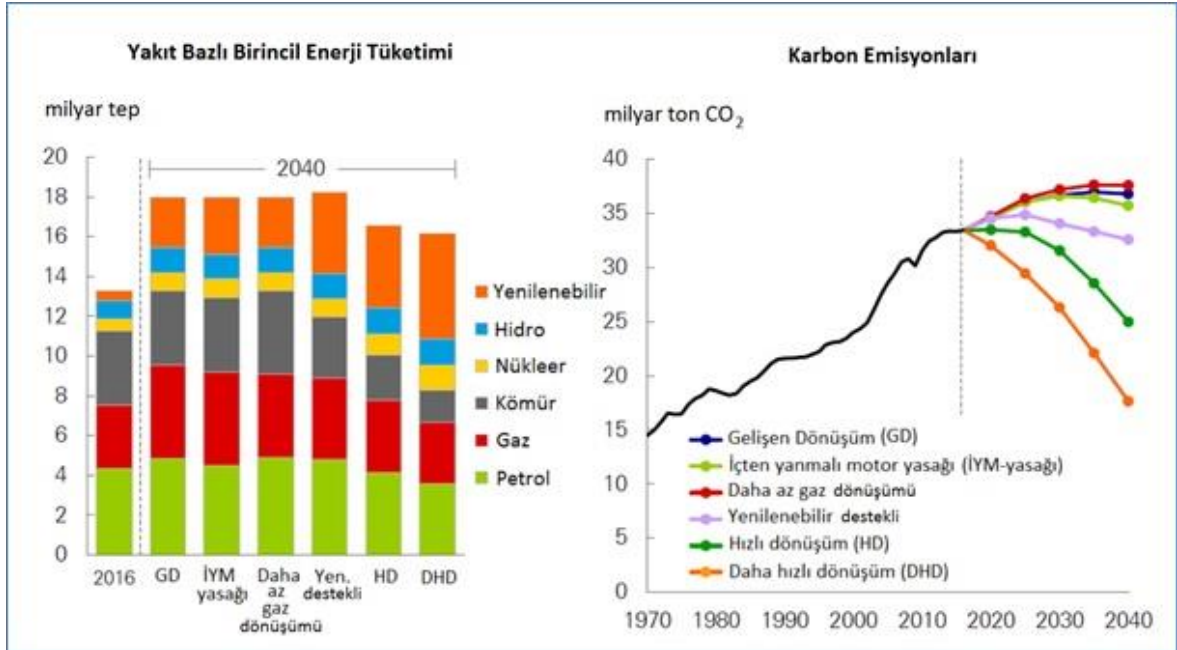
2.2.1. Birincil ve ikincil enerji kaynakları

Doğrudan elde ettiğimiz doğal kaynaklardan oluşan ürünlere birincil enerji kaynakları denir. Birincil ürünlerden üretilen tüm enerji kaynaklarına da ikincil enerji kaynağı denir. Ham petrol birincil enerji kaynağı iken bundan üretilen tüm yan ürünler ikincil enerji kaynağıdır [1].

Birincil enerji kaynaklarına ait 1970-2040 arasında ihtiyaç, kullanılan sektör ve ülkelere göre dağılımı Şekil 2.1'de ve Şekil 2.2'de verilmiştir [7].



Şekil 2.1. Birincil enerjinin 1970-2040 arasındaki ülkelere sektörlere ve enerji çeşitlerine göre dağılımı



Şekil 2.2. Birincil enerjinin 1970-2040 arasındaki ülkelere sektörlere ve enerji çeşitlerine göre dağılımı

2.2.2. Yenilenebilir enerji kaynakları

Yenilenebilir enerji olarak adlandırılan enerjilerin ortak özellikleri bunların yararlı enerjiye dönüştürdükleri doğal birincil kaynağın “yenilenebilir” özelliğe sahip olmasıdır. Bu özellikleri aşağıdaki gibi sınıflandırabiliriz;

- Isı'nın kendini yenilemesiyle oluşan enerjiler; jeotermal enerjisi, güneş enerjisi ve denizlerin yüzeyi ile dibindeki sıcaklık farkından oluşan okyanusların ısı gücü.
- Hareket yenilenmesinden türeyen enerjiler; rüzgar enerjisi, hidrolik enerji, gelgit enerjisi, dalgalar ve akımların neden olduğu enerjidir.
- Bir maddenin yenilenmesinden türeyen enerjiler; biyomas gurubu yani, fotosentez yöntemiyle türeyen bitkisel maddelerden elde edilen enerjiler olarak üç guruba ayırabiliriz [8].

Güneş enerjisi

Güneşin çekirdeğinde yer alan füzyon süreci ile açığa çıkan ışıma enerjisine güneş enerjisi denir. Güneşteki hidrojen gazının helyuma dönüşmesi şeklindeki füzyon sürecinden kaynaklanır. Atmosferin dışında güneş enerjisinin şiddeti sabit ve 1370 W/m^2 değerindedir. Fakat yeryüzünde $0-1100 \text{ W/m}^2$ değerleri arasında değişim göstermektedir [9].

Rüzgar enerjisi

Rüzgar Enerjisi çevresel değişikliklerden az etkilenen temiz, yenilenebilir ve enerjiye çevrilmesi kolay olan, günümüzde çok büyük bir öneme sahip olan kullanımı ve yapım teknolojisi en çok gelişen enerji kaynaklarından biridir [10].

Hidrolik enerji

Suyun potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye dönüştürülmesiyle elde edilen bir enerjidir. Hidrolik enerji, kuruluş maliyetinin yüksek olması ve uzun zaman almasına rağmen uzun ömürlü ve çevre sağlığı bakımından en yararlı enerji kaynağıdır [11].

Jeotermal enerji

Jeotermal enerjisini oluşturan ve kaynağını yerkürenin derinliklerinde bulunan magma ve kayalarındaki radyoaktiflikler ile oluşan sıcaklıklardan alan bir enerji türü olarak kabul edilmektedir. Teknolojik amaçlarla kullanımı yeni olsa da hamam sularının ısıtılmasında olduğu gibi kullanım alanları çok eski tarihe dayanmaktadır [12].

Biyokütle enerjisi

Yeşil bitkilerin güneşten aldıkları enerjiyi fotosentez yaparak kimyasal enerjiye dönüştürdükten sonra bu enerjiyi depolaması sonucu oluşan canlı organizmaların kökeni olarak ortaya çıkan enerji kaynağıdır. Bitkisel ve hayvansal kökene sahip olan bütün doğal maddeler biyokütle enerji kaynağı olarak adlandırılırken, bu kaynaklardan elde edilen enerjiye de biyokütle enerjisi denilmektedir [13].

2.2.3. Yenilenemeyen ve yenilenebilir enerji kaynakları

Bilimsel açıdan bakıldığında, yenilenemez olarak adlandırılan enerji kaynakları olmamakla birlikte, oluşumu uzun zamanlar alan enerji kaynakları doğada az bulunduğundan dolayı yenilenemez enerji kaynakları olarak adlandırılmaktadırlar. Bu kaynakların çok büyük bir kısmı fosil yakıtlardan oluşmaktadır. Bu fosil yakıtlar doğalgaz, petrol ve kömür olarak sıralanmaktadır [14].

Doğalgaz

İçinde metan, propan ve etan gazlarından oluşan fosil yakıttır. Genel özellikleri hafif, renksiz ve kokusuz bir gazdır. Yer altında bulunan havzalardan çıkarılır. Enerji kaynakları arasında petrolden sonra gelen ilk yakıttır. Petrole göre daha zararsız olması nedeniyle gün geçtikçe kullanım oranı artmaktadır. Çevreyi kirletmemesi ve kolay taşınması gibi faktörlerde kullanım oranını artırmıştır. Yüksek ısı verimi, ısı enerjisinin petrole yakın olması gibi nedenlerden dolayı özellikle bina ve endüstride kullanımı yaygınlaşmıştır [15].

Petrol

Petrol, hidrokarbon, karbon ve hidrojenin uygun birleşimiyle ortaya çıkan metan, etan, propan, bütan vs.dir. Milyonlarca yıldan itibaren denizlerde yaşayan bitki kalıntılarının sıcaklık, basınç ve mikroorganizmaların etkisiyle toprağın üstünde tabakalaşması sonucunda oluşmaktadır. Petrol kullanım alanı en geniş ve en verimli olan enerji kaynağıdır; elektrik üretimi, ısıtma, ulaşım araçlarında, kimya, plastik ilaç ve silah sanayinde önemli yere sahiptir. Sanayide ve ulaşımında henüz petrole alternatif bulunamamıştır, bu kadar üstün özelliklere sahip olmasına rağmen petrol çevreyi en çok kirleten fosil yakıt olarak değerlendirilmektedir. Petrol yataklarının keşfedilmesi ve petrolün yeryüzüne çıkarılması için yüksek maliyet ve gelişmiş teknolojiye ihtiyaç duyulmaktadır [16].

Kömür

Milyonlarca yıl önce yaşamış bitkilerin toprak altında yüksek basınç ve ısıya maruz kalması sonucunda değişikliğe uğramasıyla oluşmuş madenlerdir. Kömür genel olarak satıhta veya yer altında tabakalar halinde bulunur bu tabakaların kalınlığı bir kaç santim olabileceği gibi bazen de 25-30 metreyi de bulabilir. Taşkömürü ve kahverengi kömür olmak üzere iki ana guruba ayrılır. Taş kömürü, kendi içerisinde antrasit bitümlü kömür; kahverengi kömür ise kendi içerisinde düşük bitümlü kömür ve linyit olarak ayrılır [17].

Nükleer enerji

Atom çekirdeklerinin parçalanması sonucu ağır atom çekirdeklerinin bombardımanıya büyük bir tepkime oluşur bu bombardıman ve tepkilemenin sonucunda açığa çıkan fisyon ürünleri enerjiye dönüşür, bu enerji nükleer enerjiyi meydana getirir. Nükleer enerji oluşumundan dolayı önemli boyutta tehlike arz etmektedir. Bu tehlikelerden dolayı Nükleer Enerji santrallerinin maliyeti yüksek olmaktadır, kalite standartları, kontrol ve denetimleri en üst seviyede tasarlanmaktadır. Nükleer Enerji santral reaktörleri üç guruba ayrılmaktadırlar [18].

- Su soğutmalı reaktörler
- Gaz soğutmalı reaktörler

- Sıvı metal soğutmalı reaktörler

2.3. Doğalgaz ve Petrol Taşımacılığı

Petrol ve doğalgazın taşınmasında iki önemli yöntemden biri deniz yoluyla taşımacılık bir diğeri ise kara yoluyla borular vasıtasıyla taşımacılıktır. Özellikle deniz yoluyla taşımacılıkta doğalgazın masraflı olduğu bilinmektedir. Doğalgazın deniz yoluyla taşınması için öncelikle sıvı hale getirilir ve sıvılaştırılmış doğalgaz deniz yoluyla taşındıktan sonra tekrar gaz haline getirilir. Bundan dolayı doğalgazın boru hatlarıyla taşınması daha çok tercih edilmektedir. Petrolün taşımacılık maliyeti doğalgazdan daha azdır [19].

2.3.1. Deniz taşımacılığı

İlk kez 1861 yılında deniz yoluyla petrol taşınarak enerjinin deniz yoluyla taşımacılığına başlanmıştır. Teknolojik gelişmeler ışığında büyük tankerler zamanla yerini alarak bu kulvarda taşımacılığı geliştirmiştir. Günümüz petrol taşımacılığının %60'ı tankerler ile yapılmaktadır. Doğalgazın deniz yoluyla taşınması ise petrole göre çok yenidir. Bunda temel neden gazın sıvılaştırılması ve maliyetlerin daha yüksek olmasıdır. Doğalgazın sıvılaştırılarak (LNG) ilk defa taşınması ise 1964 yılında Cezayir'den İngiltere'ye olmuştur. LNG tankerleri özel yatırım gerektirmektedir. Gazın sıvılaştırılması ve bu şekilde kalması için özel soğutma sistemleri kullanılmaktadır. Bu taşımacılık her ne kadar maliyetler yüksek olsa da ihtiyaçlardan dolayı artmaktadır. Öyle ki doğalgaz taşımacılığının %25'i bu şekilde yapılmaktadır [20].

2.3.2. Boru hatlarıyla taşımacılık

Petrolün ve doğalgazın boru hatlarıyla taşınmasında denizyolu taşımacılığının tersi bir çizelge ortaya çıkmaktadır. Dünya petrol ticaretinin yüzde 38'i boru hatları aracılığıyla yapılmaktadır. Bu sayı doğalgazda ise yüzde 75 oranındadır. Dünya çapında petrol boru hatları uzunluğu 313.670 km iken doğalgaz boru hatlarının toplam uzunluğu 1.226.258 km'dir [20].

Petrole göre doğalgazın depolanması çok maliyetlidir. Boru hattı ile taşımacılık ise doğalgaz için en ideal ve uygun taşımacılıktır. Burada gaz yoğunlaştırılır fakat sıvılaştırılmaz gaz

halinde taşınabilir. Buda maliyetlerin daha düşük olması demektir. Bununla birlikte boru hatlarının ilk yatırım maliyetleri yüksektir [21].

Boru hatlarının diğer kara ve deniz yoluyla olan taşımacılıklara göre daha kolay, ekonomik, güvenilir, kaliteli, çevreci ve atmosfer koşullarından bağımsız çalışabilmesi nedeniyle tercih sebebidir. Bunda dolayı ülke içinde bir bölgeden başka bir bölgeye nakli yapılırken ülkeler arasında da boru ile taşımacılık büyük bir yer kaplamaktadır. Bundan dolayı artan arza talep olarak boru hattı taşımacılığı her geçen yıl artmaktadır [22].

2.4. Türkiye ve Enerji

Türkiye'nin enerji sepetindeki birincil kaynakları doğalgaz, hidroelektrik enerji, kömür ve petrol olarak sıralayabiliriz. 2018 yılı sonunda kurulu gücümüzün kaynaklara göre dağılımı; yüzde 31,9'u hidrolik enerji, yüzde 25,6'sı doğal gaz, yüzde 21,5'i kömür, yüzde 7,9'u rüzgâr, yüzde 5,7'si güneş, yüzde 1,4'ü jeotermal ve yüzde 5,9'u ise diğer kaynaklar şeklindedir [23].

Türkiye, enerji ihtiyacının yaklaşık yüzde 70 oranındaki kısmını ithalatla karşılamaktadır. Enerjide dışa bağımlık özellikle fosil kaynaklar petrol ve doğalgazda ise, yüzde 90'ın da üzerinde bağımlı durumdadır. İthalatta bağımlılığın yüksek olmasından dolayı enerji güvenliği ve enerji arzının devamlılığı, Türkiye için hayati öneme sahiptir. Türkiye, bilinen dünyanın doğalgaz ve petrol rezervlerinin yüzde 70'lik kısmı kendisine komşu olan bölgelerde bulunuyor olması nedeniyle enerji pazarında önemli köprü ve transit ülke olma potansiyeline sahiptir [21].

Türkiye enerji kaynak transferinde bulunduğu konum itibariyle kritik bir noktadır. Özellikle dünyanın en büyük petrol ve doğalgaz rezervlerinin olduğu hazar ve Ortadoğu bir tarafında iken diğer tarafında ise bu rezervlerin en büyük pazarı olan batı diğer tarafındadır. Jeopolitik konumu ve istikrarlı yapısı ile dikkat çekmektedir. Buna göre Rusya, İran, Irak, Azerbaycan, Türkmenistan ve Doğu Akdeniz ülkeleri ile işbirliği içinde devam eden ve yeni projeler ile Türkiye'nin enerjide merkez üs olma amacına önemli katkılar sunulması öngörülmektedir. Öyle ki Türkiye'nin, enerjide kaynak yoksunu olmasının dezavantajlarını yıllardır yaşayan bir ülke olarak sahip olmadığı doğalgaz ve petrol kaynaklarının toplandığı ve dış pazara

ihraç edildiği bir enerji köprüsü olması, Türkiye'yi enerji piyasasında önemli bir aktör konumuna getirecektir [24].

Türkiye Avrupa'nın enerji nakil üssü olarak Rusya, Cezayir ve Norveç'ten sonra dördüncü büyük üssü olmak istemektedir. Gerek jeopolitik konumu gerekse istikrarlı yapısı ile bu anlamda üstünlükleri elinde bulunduran Türkiye enerji güvenliği konusunda kendini göstererek enerji merkezi olma yolunda hamleler yapmaktadır. Türkiye, geniş Hazar Havzası ve Ortadoğu'nun hidrokarbon kaynaklarının Türkiye üzerinden Avrupa'ya güvenilir ve kesintisiz Şekilde sevkiyatının gerçekleştirilebilmesi planlanmaktadır [25].

Avrupa Birliği, enerji alanında dünyanın en önemli pazarlarından biri olmasından dolayı günümüzde petrol ve doğalgaz, AB üyesi ülkelerin en önemli enerji kaynağıdır. Petrol ve doğalgaz rezervleri sınırlı olup, hâlihazırda birlik ülkeleri petrol ve doğalgaz ihtiyaçlarının çok büyük bir kısmını ithal etmektedir. Avrupa Birliği ülkelerinde doğalgaz ihtiyacının 2030 yılında günümüze oranla yüzde 70-80 artması öngörülmektedir. Türkiye, bölgesindeki ülkelerle enerji alanında daha yakın işbirliğine imkân oluşturacak ve enerji güvenliğine katkıda bulunmada büyük rol üstlenmektedir. Türkiye'nin AB piyasaları ile daha çok bütünleşmesi için, dahil olduğu doğalgaz iletim ve dağıtım projelerinin tamamlanması ile AB'nin arz güvenliğine ve kaynak çeşitlendirmesine katkıda bulunacağı görülmektedir [14].

Türkiye ile AB ülkeleri arasında doğalgaz boru hatları bağlantı çalışmaları yürütülmekte olup, enerji kaynaklarının ticaretinin yapılabilmesini yasal ve düzenleyici çerçevenin tamamlanmasına ilişkin çalışmalar sürmektedir. Enerjide dışa bağımlı bir Avrupa, doğusundan enerji kaynakları bakımından zengin Ortadoğu ülkeleri arasında bir köprü işlevi gören konumu ile Türkiye'nin önemi çok daha dinamik bir hale gelmektedir [14].

Bu kapsamda Türkiye'nin devam eden ve bitmiş doğal gaz projesi olarak toplam sekiz adet projesi bulunmaktadır. Bunlar [14];

- Mavi Akım Boru Hattı,
- Bakü Tiflis Erzurum Doğalgaz Boru Hattı (BTE),
- Batı Hattı (Rusya-Türkiye Doğalgaz Boru Hattı),
- İran-Türkiye Doğalgaz Boru Hattı,

- İran-Türkiye Avrupa Doğalgaz Boru Hattı Projesi (ITE),
- Türkiye-Yunanistan Doğalgaz Projesi,
- Trans Anadolu Doğalgaz Boru Hattı (TANAP) Projesi,
- Türk Akımı Doğalgaz Boru Hattı Projesi.

3. DOĞALGAZ VE PETROL BORU HATLARI

3.1. Doğalgaz ve Petrol Boruları

1859 yılında Amerika birleşik devletlerinin eyaletlerinden biri olan Pensilvanya’da 1859 yılında ilk açılan petrol kuyusu ile birlikte günümüz doğalgaz ve petrol boru hatlarının temeli oluşmaktadır. Yine ilk şehirlerarası petrol boru hattı 1897 yılında Pensilvanya’nın Bradford ile Allentown şehirleri arasında döşenmiştir [5].

ABD’de petrolün borular ile taşınmasının önünü açan ikinci dünya savaşı sırasında tankerler ile taşıma işleminin aksamasıdır. ABD’nin güneybatı eyaletlerinden doğu eyaletlerine petrol taşımacılığı bu şekilde başlamıştır. Devlet kendi eliyle kurduğu firmalar ile bu işe başlamış olup 24 inç çapında borular ile ham petrol taşımacılığına başlamıştır. Aynı zamanda yirminci yüzyılın başlarında Rusya’da da petrolün bulunması dünya enerji pazarında önemli rol oynamıştır. Özellikle petrol sibirya da çok büyük oranda bulunması ve bu arazinin ve ikliminin sert olması dolayısıyla bu şartlara uygun boru hatlarının geliştirilmesinde etkin rol oynamıştır. 1960’lı yıllarda SSCB’de doğalgaz boru hattı döşenmeye başlanmıştır. Bu süreçler içinde petrol ve bunun gibi kaynakların transferinde en ekonomik yöntemin boru hattı olduğu anlaşıncı bu yönde teknoloji gelişmiş ve tüm dünyaya yayılmıştır. Boru hattı artık petrol ve doğalgazın olduğu her yerde kullanılmaktadır [5,26].

Dünya çapında Kabul görmüş petrol ve doğalgaz hat borularının standardı API’dir. Bu standarda göre boru imalatlarında kullanılan çelik saclar Grade A25, A, B, X42, X46... vs. şeklinde sınıflandırılmaktadır. Sacların sınıflandırma şekli ise en akma mukavemeti örnek alınarak hazırlanmıştır. Buna göre Grade A25 25.000 psi minimum akma dayanımına sahip sacı tanımlar. Grade X42 ve X46 saclarındaki 42 ve 46 rakamları ise; sırasıyla borunun 42.000 ve 46.000 psi’lik minimum akma mukavemetine sahip olduğunu gösterir. Çizelge 3.1’de sacdan alınan numuneye uygulanan çekme değerlerinden yola çıkılarak oluşan akma değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.1. API-5L'ye göre boruların akma ve kopma mukavemetleri

Malzeme Sınıfı	Minumum Akma Mukavemeti		Minumum Kopma Mukavemeti	
	Psi	MPa	Psi	MPa
A-25	25400	175	45000	310
A	30500	210	48600	335
B	35500	245	60200	415
X42	42100	290	50200	415
X46	46400	320	63100	435
X52	52200	360	66700	460
X56	56600	390	71100	490
X60	60200	415	75400	520
X65	65300	450	77600	535
X70	70300	485	82700	570
X80	50500	555	90600	625
X90	90600	625	100800	695
X100	100100	690	110200	760
X120	120400	830	132700	915

Karbon oranı artıkça bilindiği gibi çeliğin sertliği artar fakat kaynaklanabilirliği ve tokluğu düşer. Bu etkileri en aza indirmek için çeliklerin üretiminde V, Ni, Mo, Cu, Cr, Ti, B vs. gibi elementler katılarak kaynaklanabilirlik ve tokluğu iyileştirerek düşük karbonlu çeliklerin geliştirilmesi sağlanmıştır. Böylece kaynaklanabilirliği iyi olan tokluğu ve mukavemeti yüksek boru hattı çelikleri elde edilmiştir.

Geçmiş 30 yılda, hat borularının işlenmesi ve geliştirilmesi ile ilgili çeşitli talepler gelmiştir. Boru hattı ekonomisi açısından hat boruları, saha montajına ve kaynağa en iyi şekilde cevap vermeli ve yüksek işletme basınçlarına izin vermelidir. Bu ihtiyaçlar boru hattı çeliğinin yüksek mukavemete, tokluğa ve en uygun geometriye sahip olmasını zorunlu kılmaktadır. 1970'lerde sıcak haddeleme ve normalizasyon, termomekanik haddeleme ile yer değiştirmiştir. Sonraki proses çelikleri niobyum (Nb) ve vanadyumla (V) mikroalaşımlandırarak ve karbon bileşimi azaltılarak üretilcek malzemelerin X70M'e kadar yükselmesine imkan tanımıştır. 80'lerin ortasında, termomekanik haddeleme sonrasında hızlandırılmış soğutma işlemi geliştirilmiştir. Bu yöntem yoluyla X80 gibi daha yüksek mukavemete ve karbon bileşimi azaltılarak mükemmel saha kaynaklanabilirliğine sahip malzemelerin üretilmesi mümkün kılınmıştır [27].

Boru hatlarında kullanılan çelik borular iki türlü üretilirler. Bunlar dikişli ve dikişsiz borulardır. Dikişsiz borular çelik üretimi sırasında sıcak halde iken istenen Şekil verilerek üretilir ve sonrasında istenirse sıcak yada soğuk haddeleme ile ilave işlemlerden geçebilir. Dikişli borular ise boyuna veya spiral diye kaynak dikiş şekline göre isimlendirilir. Spiral kaynaklı dikişli borular tozaltı kayak yöntemiyle kaynaklandığından tek tiptir. Boyuna dikiş borular ise kaynak yöntemlerine göre 6 Şekilde yapılabilir bunlar elektrik ark, tozaltı ark, gaz metal ark, gaz metal ark-tozaltı ark, alın kaynaklı ve çift kaynak dikişli borudur [5].

3.2. Dikişsiz Boru Üretim Yöntemi

Dikişsiz borular Şekillendirilebilen çeliklerden kaynak dikişi yapılmadan imal edilen borulardır. Bu borular çeliklerin sıcak işlenmesi ile imal edilir. Gerekirse istenilen Şekil, boyut ve özellikleri elde etmek için sıcak işlenmiş boruya, daha sonra soğuk veya sıcak haddeleme uygulanabilir. Günümüzde dikişsiz borular X80 kalitesindeki çeliklere kadar uygulanabilmektedir. Boru üretiminde kaynaklı birleştirmenin bir etkisi olmasa da, sahada yapılan birleştirmeler çoğunlukla kaynaklı olmaktadır. Bu nedenle dikişli boru üretiminde istenen kaynaklanabilirlik özelliği, dikişsiz borularda da istenmelidir.

Spiral kaynaklı veya düz kaynaklı borularda kaynak dibinde oluşan ITAB bölgeleri dikişsiz borularda oluşmamaktadır. Bu durum dikişsiz boruların mekanik özelliklerine olumlu katkı sağlamaktadır [28].

3.3. Dikişli Boru Üretim Yöntemi

API boruları genel olarak tozaltı ark kaynak yöntemiyle (SAW) üretilmektedir. Spiral dikişli veya boyuna dikişli çelik borular kullanılmaktadır.

3.3.1. Spiral dikişli boru üretim yöntemi

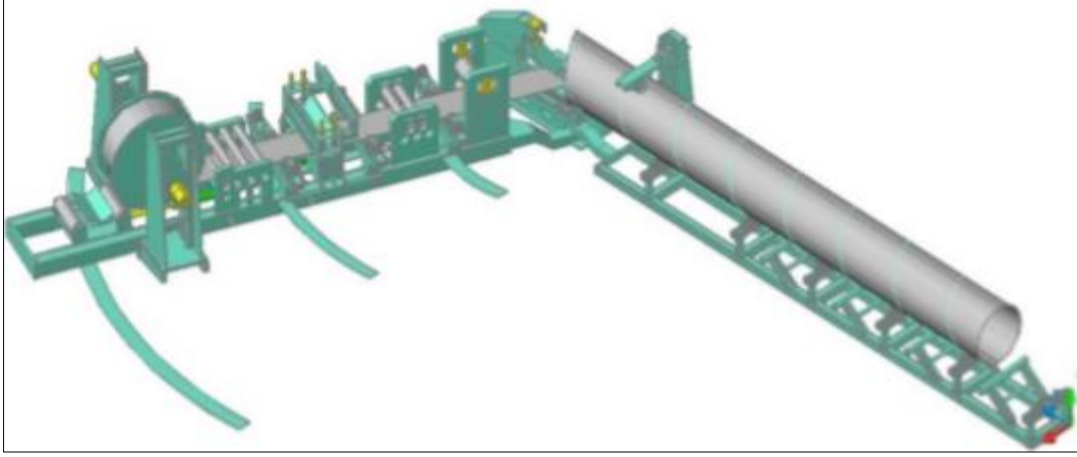
Bu yöntem en yaygın kullanılan kaynak üretim yöntemidir. İmalat yönteminin en önemli özelliği rulo halindeki sacların açılarak istenen çaplara ayarlanabilir Şekillendirme makaraları vasıtasıyla spiral Şekilde haddelenir ve sacların birleşim noktaları içten ve dıştan kaynaklanır.

Spiral kaynaklı boru üreten makineler de ana prensip, tahrik silindirleri tarafından itilen sac malzemeye, Şekillendirme makaraları yardımı ile spiral bir hareket yaptırılmasıdır. Malzemenin sac olarak makine üzerinde ilerlediği bölümün, malzemenin kaynak sonrası boru olarak ilerlediği bölüm ile yaptığı açılı boru çapını belirleyen en önemli etkidir. Bu açılı makineye yerleştirilen bant genişliği ve elde edilmek istenen boru çapı göz önüne alınarak;

$$\sin \alpha = B \pi D \text{ denklemi ile belirlenir.} \quad (3.1)$$

Burada B: Bant Genişliği, D: Boru çapıdır.

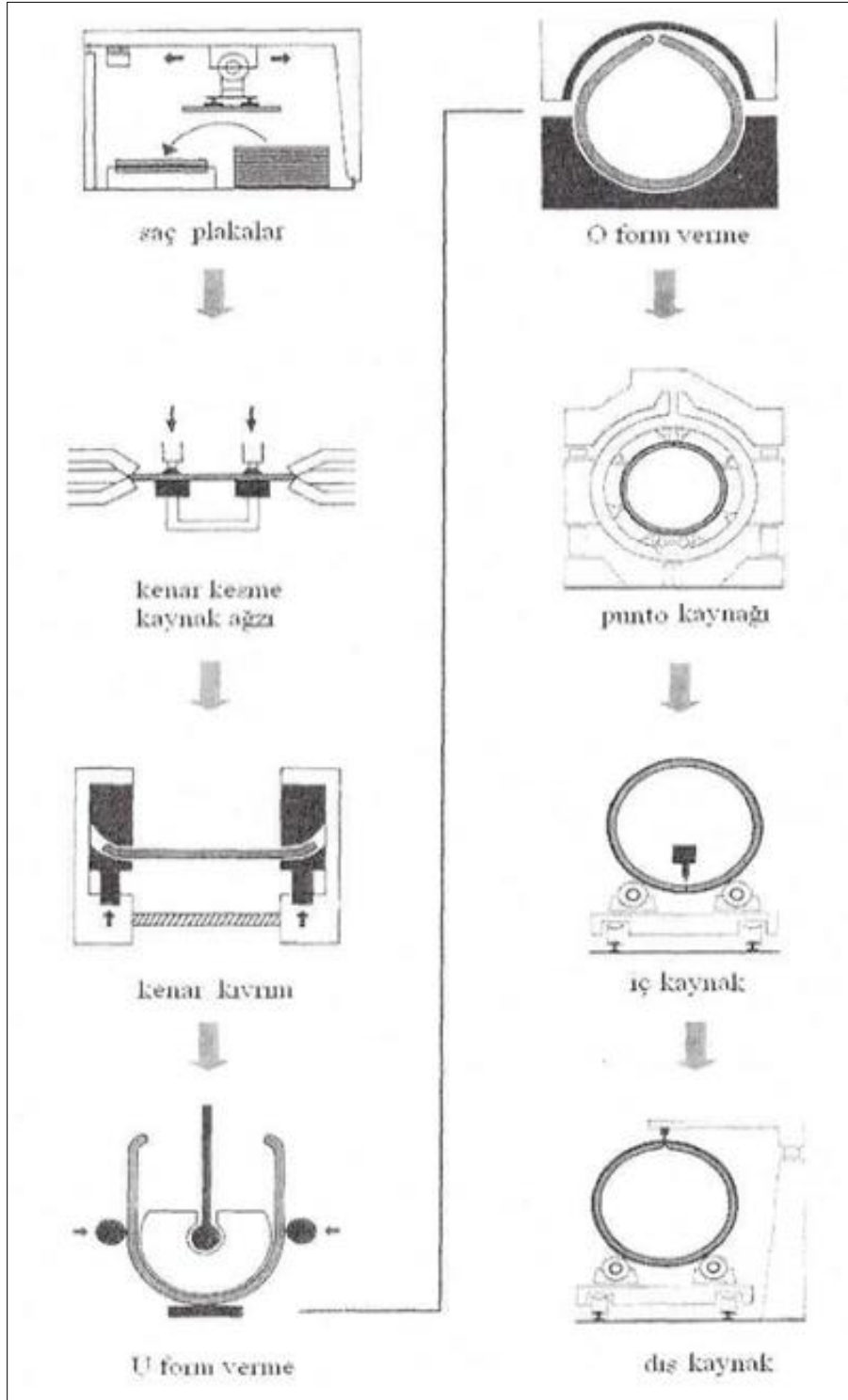
Makine ayar açısı ile oynayarak, aynı çaplı boruyu farklı bant genişliklerinden elde etmek mümkündür. Sac rulonun makineye yüklenmesinden sonra, üretim sürekliliğinin sağlanması için biten rulo ile yeni rulo uçları birbirine kaynak edilir. Bu işleme uç kaynak adı verilir. Uç kaynak işlemi tek ya da tandem kaynak yöntemi ile yapılır. Bantların özellikle son kısmındaki 1/3 lük kısmı diğer bölgelere kıyasla daha küçük bir sarım radyüsüne sahiptir. Hatasız bir kaynak elde etmek için, bantın kaynak noktasına gelmeden önce sarımdan kaynaklanan eğriliklerin giderilmesi gereklidir. Bu nedenle, bant çoğunlukla uç kaynağın hemen sonrasında tahriksiz bir role düzeneğinden geçirilerek doğrultma işlemine tabii tutulur. Boru çapını sabit tutabilmek ve iyi bir kaynak dikiş kalitesini elde edebilmek için önem taşıyan konulardan bir tanesi de bant genişliğinin sabit tutulmasıdır. Bant genişliğinin öngörülenden daha dar olması halinde kaynak noktasında açma, geniş olması durumunda ise bindirme oluşur. Ayrıca, bant kenar yüzeyinin kalitesi iyi bir kaynak dikiş elde etmek için çoğu zaman yeterli olmamaktadır. Bu nedenle, kenar kesme sonrası freze ile malzeme kalınlığına bağlı olarak kaynak ağzı açma işlemine geçilir. Bazı durumlarda, kaynak ağzı açılmadan önce bant kenarlarının belirli bir bölümü kesilerek çıkartılır [29]. Spiral dikişli boru üretim tezgahı Şekil 3.1’de verilmiştir [28].



Şekil 3.1. Spiral dikişli boru üretim tezgahı

3.3.2. Boyuna dikişli boru üretim yöntemi

Gaz ve petrol iletim hatlarında, spiral dikişli borunun yanı sıra tozaltı kaynak yöntemi ile üretilen boyuna dikişli borular da oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemde, boru çapına uygun ölçülerde üretilmiş olan sac plakalar kullanılmaktadır. Söz konusu bu sac plakalar, özel yöntemlerle kıvrıldıktan sonra (U ve O kıvrırma), öncelikle oldukça yüksek bir hızda punto kaynağında tabi tutulmakta ve daha sonra, bağımsız istasyonlarda önce iç sonra dış kaynak yapılmaktadır. Gaz altı kaynak yöntemi ile yapılan punto kaynaklarında yaklaşık 6-7 m/dk gibi yüksek hızlara çıkıldığı için daha sonra yapılmakta olan iç ve dış kaynak istasyonlarının sayısı bu yüksek hızı karşılayacak sayıdadır. Şekil 3.2’de boyuna dikişli boru üretim aşamaları görülmektedir [29].



Şekil 3.2 Boyuna dikişli boru üretim aşamaları görülmektedir

4. DOĞALGAZ VE PETROL BORULARININ SAHA BİRLEŞTİRMELERİNDE UYGULANAN KAYNAK YÖNTEMLERİ

4.1. Kaynak

Kaynak, malzemelerin sürekli bir içyapıya sahip olacak şekilde; Isı veya basınç altında, dolgu malzemesi kullanarak ya da kullanmadan yapılan birleştirmedir. Kaynak metotlarını farklı bakımlardan sınıflandırmak mümkündür. Temel olarak; kaynatılacak malzemenin cinsine, kaynak işleminin amacına ve kaynak sırasında uygulanan işlemlere göre sınıflandırma yapılır [30].

4.2. Kaynak Yöntemleri

Genel olarak kaynaklı birleştirmelerde kullanılan yöntemlerin sınıflandırılması Çizelge 4.1’de verilmiştir [31].

Çizelge 4.1. Metal kaynak proseslerinin sınıflandırılması

Enerji taşıyıcısı cinsine göre	Ana malzemenin cinsine göre	Kaynak işlemi amacına göre	Kaynak işlemi işleyiş şekline göre	İmalat türüne göre
-Gaz -Elektrik akımı -Ark -Işın -Hareket -Sıvı	-Metaller -Plastikler -kompozit malzemeler	-Birleştirme kaynağı -Kaplama kaynağı	-Eritme kaynağı -Basınç kaynağı	-Elle kaynak(m) -Yarı mekanik kaynak(t) -Tam mekanik kaynak(t) -otomatik kaynak(a)

Doğalgaz ve petrol boru hatlarında kullanılan kaynak yöntemleri arasında gaz metal ark kaynağı (MIG-MAG) ve örtülü elektrot ile ark kaynağı (SMAW) temel olanlardır. Bunların dışında tozaltı ark kaynağı (SAW) ve tungsten gaz ark kaynağı (GTAW) teknikleri arazi ortamında yeterli şartları sağlamadığından ve oksijen-asetilen kaynağı ise çapı büyük borularda yeterli ergime sağlamadığı için tercih edilmemiştir [7,32,33].

Bu çalışmada kaynak işlemleri olarak elektrik ark ve MAG kaynağı kullanıldığından bu yöntemler hakkında bilgi verilecektir.

4.2.1. Elektrik ark kaynağı

Elektrik ark kaynağı, özellikle uygulamadaki kolaylık ve avantajları nedeniyle en çok kullanılan birleştirme yöntemlerinin başında gelmektedir. Belli başlı avantajları aşağıdaki gibidir;

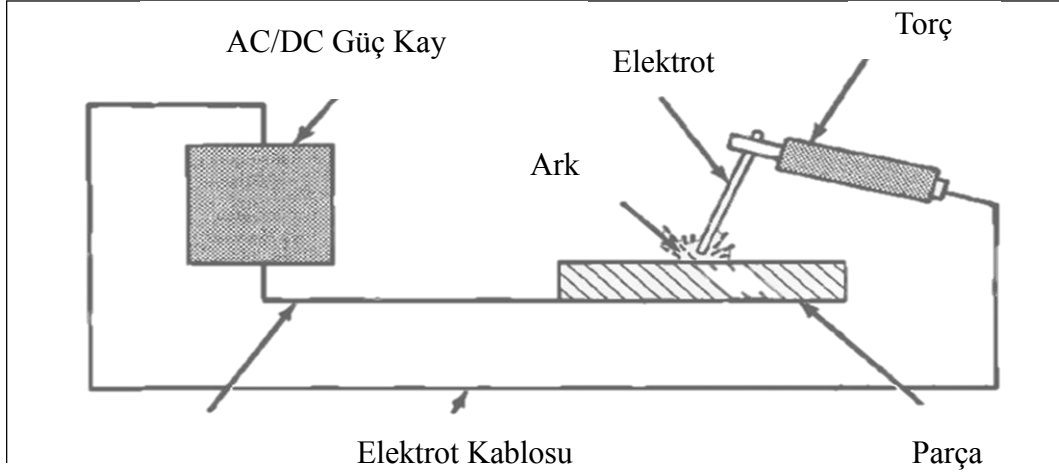
- Açık veya kapalı alanlarda uygulanabilir.
- Her pozisyonda ve elektrotun ulaştığı her noktada kaynak yapılabilir.
- Diğer kaynak yöntemleri ile ulaşılamayan dar ve sınırlı alanlarda kaynak yapmak mümkündür.
- Uzun mesafelerde dahi kablo bağlantısı uzatılarak kaynak yapılabilir.
- Ekipmanlar hafiftir.
- Elektrot çeşidi fazla olduğundan istenen ana malzeme özelliklerini sağlayacak kaynak metali sağlanabilir.

Bu avantajları ile beraber bazı dezavantajları da aşağıdaki gibidir;

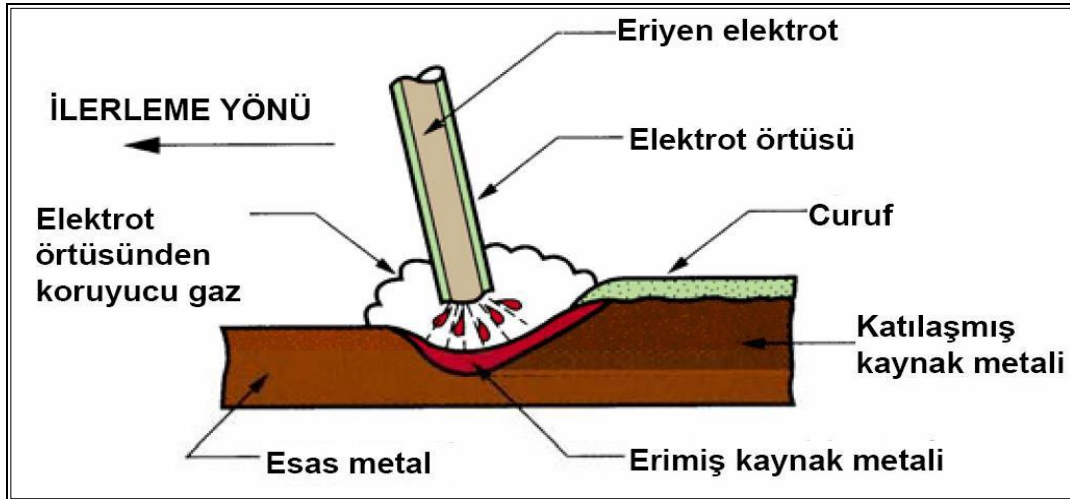
- Diğer pek çok kaynak yöntemine göre metal yığılma hızı ve verimliliği düşüktür.
- Elektrot boyları kısa olduğundan sürekli kaynak yapılamaz.
- Her pasodan sonra kaynak metali cüruftan temizlenmelidir [34].

Elektrik ark kaynak yönteminde kaynatılacak iş parçasına elektrot denilen dışı örtüyle kaplı metal çubuk temas ederek yüksek ısı ile birlikte ergitme sağlar hem elektrot hemde metal ergiyerek kaynak işlemi gerçekleşirken elektrotun dışındaki örtü ergime sırasında cüruf oluşturarak kaynağın dışarıdaki atmosferden gelecek zararlı gaz akışını engeller. Aynı zamanda örtüden çıkan gazda kaynak bölgesini korumaktadır. Örtünün içine karıştırılacak alaşım elementleri ile kaynak metali alaşımlandırılarak istenen özellikler sağlanabilir. Bu kaynak yöntemiyle hemen hemen her pozisyonda kaynak yapılabilmektedir [5,32, 33].

Şekil 4.1’de [34] örtülü elektrot ark kaynak şematik gösterimi ve Şekil 4.2’de [35] ise elektrot ile iş parçası arasındaki şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 4.1. Örtülü elektrot ark kaynağı şematik gösterimi



Şekil.4.2. Örtülü elektrot ark kaynak yöntemi elektrot ile iş parçası şematik gösterimi

Elektrik ark kaynak yönteminde istenen kalitede kaynak ve malzeme özelliklerini sağlamak için bazı değerleri ve koşulları sağlamak gerekmektedir. Bu anlamda kaynak yapılacak parçalara ihtiyaç var ise kaynak ağızı açılmalıdır. Kullanılacak elektrot, akım değerleri, elektrot çapı ve kaynak pozisyonu gibi değerlere dikkat edilmelidir.

Akım

Elektrot çaplarına göre ortalama akım değerleri bellidir. Bu değeri belirleyen elektrot örtüsü ve kalınlığı kaynak pozisyonu ile kaynak ağızıdır [34].

Akım arttıkça diğer değişkenler sabit kalmak koşuluyla kaynak nüfuziyeti ve boyutunun artmasına neden olmaktadır [36].

Yüksek akım kaynağın sıçrantısının artmasına, yanma oluklarının oluşumu ile birlikte kaynak dikişinin bozulmasına ve çatlak oluşumuna neden olur. Düşük akımda ise nüfuziyetin azalmasına metal yığılma oranında düşüşe ve çok düşük akımlarda ana metalde ergime sağlanamamasından kaynaklı birleşim eksikliklerine neden olmaktadır [34].

Kaynak hızı

Diğer değişkenler sabit tutulursa kaynak dikiş genişliğinin azalmasına ve bir belli bir sınır değere kadar nüfuziyet artmasına bundan sonra düşüşe neden olur. Aşırı yüksek kaynak hızında kaynak dikiş şekli biçimsiz ve dar olmasına neden olur. Çok düşük kaynak hızlarında ise sadece kaynak metalinde ergimeden kaynaklı birleşim hatası oluşur. Bu ayarlamalar tamamen kaynakçının becerileri ile sınırlıdır [34].

Ark boyu

Elektrotun ucu ile kaynak banyosu arasında kalan mesafe bize ark boyunu verir. Bu mesafe arttıkça gerilim artar. Kaynak dikiş biçimi ve kalitesini belirleyen en önemli unsurlardandır. Ark boyu uzadıkça kaynak genişler ve nüfuziyet azalır. Normal olarak bazik karakterli elektrotlar hariç, bütün örtülü elektrot türlerinde arkboyu, elektrot çapı kadar, bazik elektrotlarda ise tel çapının yarısı kadar tutulmalıdır. Ark boyunun ayarlanması tamamen kaynakçının el becerisine bağlıdır [34].

Elektrot

Özellikle kaynak işleminde ana metal ile birleşerek kaynak metalini oluşturacağından bu malzemenin kimyasal bileşimi ana malzemeye aynı veya çok yakın değerlerde olmalıdır. Kaynak metalini ile ana metalin kimyasal bileşimi uyumlu olmak zorundadır. Bu noktada yapılacak kaynak işleminde uygun elektrotun seçilmesi hayati öneme sahiptir. Eğer ana malzemeye ait teknik bilgiler bilinmiyorsa mutlaka ana malzemeye bazı testler yapılarak (kimyasal analiz, çekme vb...) bu sonuçlar ışığında elektrotlar seçilmelidir [37].

Ayrıca kaynak yapılacak pozisyonlarda elektrot seçiminde öneme sahiptir. Tavan ve dik kaynak pozisyonlarında küçük çaplı elektrotlar yerçekiminin etkisinden oluşturdukları kaynak havuzu daha dar olacağından daha az etkilenmektedir. Kaynak ağız şekli de elektrot seçimini belirler. Dar bir kaynak ağızında bu bölgeye girebilecek elektrot çapı seçilmelidir. Kök pasolarda özellikle köke tam nüfuz edebilmek adına bu önemlidir. Yine dolgu pasolarda ise kaynak elektrot çapı büyütülerek kaynak metali yığılma oranı artırılmalıdır. Bu da en hızlı şekilde elektrot çapının artırılması ile sağlanır [34].

Elektrot açısı

Elektrotun kaynak sırasında iş parçasına olan açısı kaynak kabiliyetini önemli ölçüde etkilemektedir. Bu etkilerden başlıcaları cüruf kalıntıları, tek taraflı yanma olukları ve dikiş kalitesidir. Özellikle bazik karakterli örtülü elektrotlar halinde, açının önemi büyüktür, burada çalışma açısı 90° olmalı, hareket açısı da 5 dereceyi aşmamalıdır. Kaynakçının el becerisine bağlıdır [34].

Örtü karakteristiğine göre elektrotlar; rutil, bazik, selülozik, oksit ve asidik olmak üzere 5 ayrılır [5].

Doğalgaz ve petrol borularının saha birleşimlerinde daha çok selülozik ve bazik karaktersitikli elektrotlar kullanılır. Bu çalışmada bazik ve selülozik tip elektrotlar kullanıldığı için sadece bu elektrot çeşitleri anlatılacaktır.

Bazik elektrotlar

Bazik karakterli elektrotların örtüsü, kalsiyum ve diğer toprak alkali metallerin karbonatları ve kalsiyum florür içermektedir. Örtü içindeki kalsiyum florür cürufun iyi ıslatma ve kaynak banyosunu oksidasyondan ve diğer etkenlerden koruma özelliği sağlar. bazik tipteki elektrot kullanılan kaynak dikişlerinin mekanik özellikleri iyidir. Ayrıca her pozisyonunda kaynak yapabilme ve boşluk doldurma yetenekleri kuvvetlidir. Çalışma sıcaklığı 0°C altında da iyi performans sağlar. İçin de bağlayıcı olarak kullanılan sodyum ve potasyum silikat içindeki nem kaynak sırasında hidrojen oluşturma özelliğine sahiptir. Bundan dolayı kaynaktan önce elektrotlar mutlaka elektrot fırınında $400-500^\circ\text{C}$ sıcaklıkta kurutulmalıdır. Saklanırken de

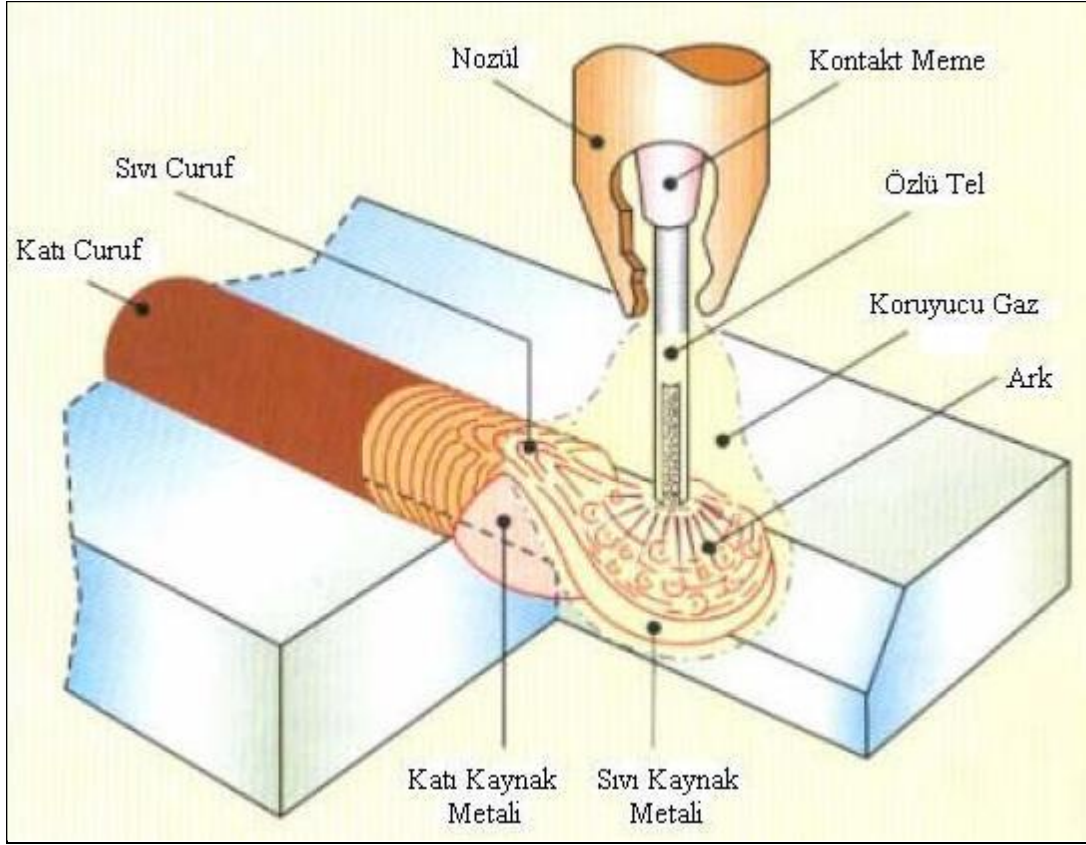
mutlaka kuru ve nemsiz ortamlarda korunmalı ve kullanmadan önce 250°C en az yarım saat kurutulmalıdır [34].

Selülozik elektrotlar

%30'un üzerinde kısmı ağaç talaşından alınan selülozik madde kullanılır. Kaynak sırasında yanarak CO₂ ve hidrojen açığa çıkarır. Açığa çıkan bu gazlar insan sağlığına zararlı olduğundan kapalı ortamlarda kaynak yapılması sakıncalıdır. Sıçrantı fazla ve dikiş kabadır. İyi bir aralık doldurma kabiliyeti yanı sıra röntgen muayenesinde iyi sonuçlar verir. Alternatif ve doğru akımda kullanılabilir olması yanında her pozisyonda kaynak yapılabilme özelliğini sağlar. Uygulamada yukarıdan aşağıya kaynak yönteminde tercih sebebidir [38].

4.3. MIG/MAG Kaynağı

Bu kaynak yöntemleri koruyucu gazın cinsine göre isimlendirilir. MIG yani Metal inert gaz, temelinde koruyucu gaz olarak soygazların kullanıldığı yöntemdir. Bu yöntemde argon, helyum gibi asal gazlar kullanılır. Bununla beraber MAG yani metal aktif gazda ise karbondioksit, oksijen gibi aktif gazlar koruyucu gaz olarak kullanılmaktadır. Temel çalışma yöntemi ise çıplak bir tel üzerinden geçen akım ile iş parçasına temas eder ve bu bölgede oluşan yüksek ısı ile elektrot ve iş parçası ergiyik oluşturarak kaynak işlemi yapılır. Elektrot sürekli beslenen bir yöntemle gelir ve kaynak bölgesini havanın zararlı etkisinden korumak amacıyla ortama koruyucu gaz yine elektrot tutucu torc haznesinden sağlanır [5,32]. Bu şekilde kaynak işlemi yapılır. Şekil 4.3'te [39] şematik olarak kaynak yöntemi gösterilmiştir.



Şekil 4.3. MIG/MAG (Gazaltı) kaynak yönteminin şematik gösterimi

Bu yöntem ile otomatik olarak gelen gaz ve tel akışı vardır. Bundan dolayı ilk ayarlar kaynakçı tarafından yapılır sonrasında kaynak makinesi arkın karakteristiğini kendi otomatik olarak sağlamaktadır. Uygun ayarlar yapıldıktan sonra makine akımı (tel besleme hızı) ve ark boyunu sabit tutar [39].

MIG/MAG kaynağının avantajları;

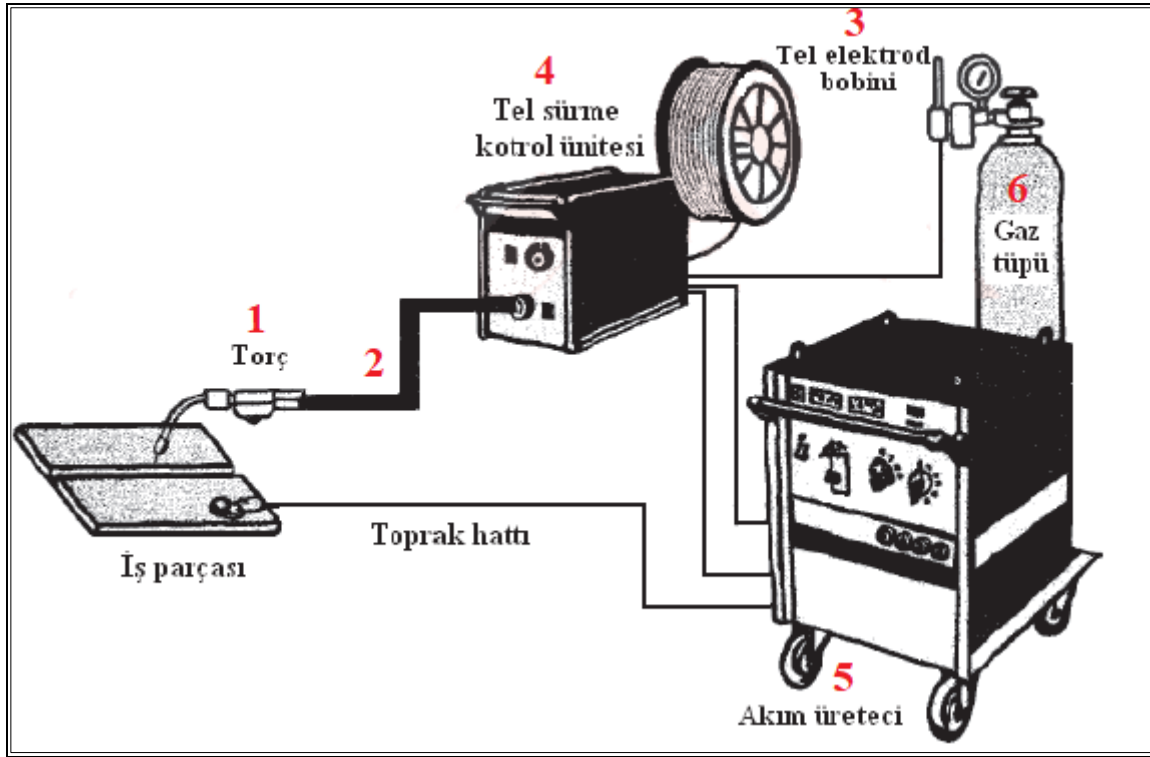
- Elektrik ark kaynağına göre hızlıdır
- Kaynağa başlandıktan sonra tel sürekli geldiğinden kaynak sürekliliği sağlanır
- Cüruf oluşmaz bundan dolayı temiz ve düzgün dikişler elde edilir.
- Metal yığılma oranı yüksektir ve düşük çapta tel kullanılarak elektrik ark kaynağına göre daha verimli akım yoğunluğu elde edilir.
- Bu kaynakta elde edilen kaynaklı birleştirmenin hidrojen içeriği düşüktür.
- Derin nüfuziyet sağlanabildiği için küçük köşe kaynaknakları yapılmasına izin verilir.
- İnce malzemelerin kaynağında kullanışlıdır.
- Yarı otomatik ve tam otomatik kaynak kullanımına uyumludur [39].

MIG/MAG kaynağının dezavantajları;

- Kaynak donanımları karmaşık ağır ve pahalıdır.
- Kaynak torcunun kesiti büyüktür. Bundan dolayı iş parçasına yakın olması gereken keskin hatlarda kaynak yapmak kolay değildir.
- Kaynak metali kaynak sonrası direk hava ile etkileştiğinden sertleşme eğilimi daha yüksektir.
- Açık alanlarda kaynak yapmak gaz korumasını engelleyici hava etmenlerinden dolayı zordur [39].

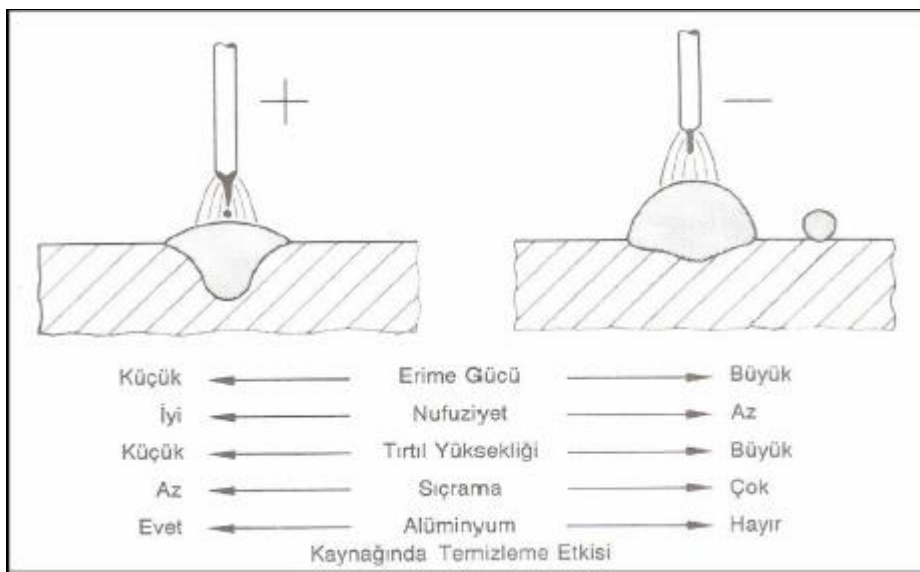
Bir MIG-MAG kaynak donanımı şu kısımlardan oluşur;

- 1) Kaynak tabancası diye de adlandırılan bir kaynak torcu.
- 2) Tel şeklindeki elektrot ve muhafazasını, kaynak ve şalter kabloğunu, gaz hortumunu ve gerektiğinde soğutma suyu giriş ve çıkış hortumlarını bir arada tutan metal spiral takviyeli hortum; torç bağlantı paketi.
- 3) Tel şeklindeki elektrotun hareketini sağlayan tertibat.
- 4) Kaynak akımının geçişini, soğutma suyunun devreye girişini, koruyucu gazın akışını ve telin hareketini sağlayan kumanda dolabı.
- 5) Kaynak akım üretici.
- 6) Üzerinde basınç düşürme ventili ve gaz debisi ölçme tertibatı bulunan koruyucu gaz tüpü ve koruyucu gaz [40].



Şekil 4.4. MIG-MAG kaynak donanımı

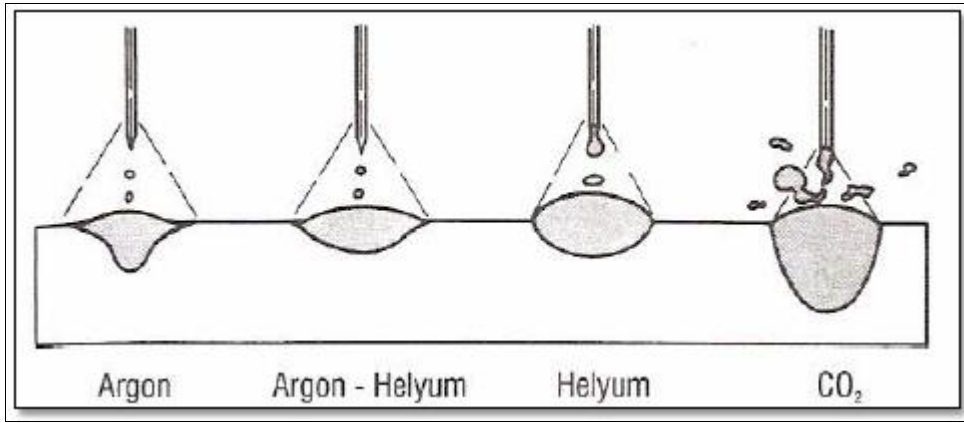
Bu kaynak yönteminde doğru akım yatay karakteristikli kaynak akım üreteçleri kullanılır. Doğru akım için pozitif yada negatif kutuplama kullanılabilir. Pozitif kutuplamada (ters kutuplama) derin nüfuziyet sağlanırken nüfuziyet az istenirse negatif kutuplama kullanılır [41]. Kutuplamanın nüfuziyete etkisi Şekil 4.5'te [42] verilmiştir.



Şekil 4.5. Kutuplamanın dikiş formuna ve kaynak özelliklerine etkisi

Koruyucu gazlar

Bu kaynak yönteminde asal gaz, aktif gaz veya bunların karışımları kullanılır. Koruyucu gazın temel görevi kaynak banyosunu havanın olumsuz etkilerinden korumaktır. Bununla birlikte bu gazların kaynak formuna önemli şekilde etki etmektedir. Şekil 4.6’da bu etkinin hangi gaz için ne şekilde gerçekleştiği gösterilmiştir [43].



Şekil 4.6. Çeşitli koruyucu gazların dikiş formu ve nüfuziyete etkisi

Bu çalışmada karışım gazı olarak CO₂ ve Ar gazı kullanıldığından bu gazların özelliklerinden bahsedilecektir. Asal gazların dış yörüngesinin elektronlar ile dolu olması sebebiyle diğer elementlerin atomları ile elektron alışverişi yapamazlar. Buda demektir ki bu gazlar kimyasal reaksiyon oluşturmazlar. Bu gazlardan Argon ve Helyum kaynak işlemlerinde koruyucu gaz olarak kullanılır. Argon gazı Şekil.4.6’da görüldüğü gibi merkezde derin nüfuziyet vermekle birlikte kenarlarda nüfuziyet azdır. Bunun temel nedenlerinden biri ısı iletme kabiliyetinin az olmasıdır [42].

Karbondiyoksit

CO₂ Ana metal ile elektrot içindeki karbon oranına göre karbürleyici veya dekarbürleyici bir davranış sağlar. Kaynak metalinin karbon içeriği %0,05’in altındaysa erimiş kaynak metali, CO₂ koruyucu atmosferinden C almaya çalışırken bu oran % 0,1’den büyükse, bu kez kaynak metali C kaybedebilir. Buda içeride karbon monoksit oluşumuna bağlanır. Kaynak banyosundaki karbon monoksit gözenek olarak kalabilir. Bunu engellemek için

elektrot içindeki dezoksidan elemanların görevidir. Bu reaksiyon sonucu katı oksitler cüruf şeklinde dış yüzeyde kalırlar [44].

Karışım gazlar

Argon gazına katılan karbondioksit gibi aktif gazlar ark atmosferi oksitleyici bir karakter sahibi olur. Argona katılan oksijen veya karbondioksit gazı ile oluşan egzoterm reaksiyon sonucu kaynak banyosunun sıcaklığı yükselir ve yüzey gerilimi azalır. Böylece kaynak banyosunun akıcılığı yükseltilmiş ve gazı giderilmiş olur [41].

Ark türleri

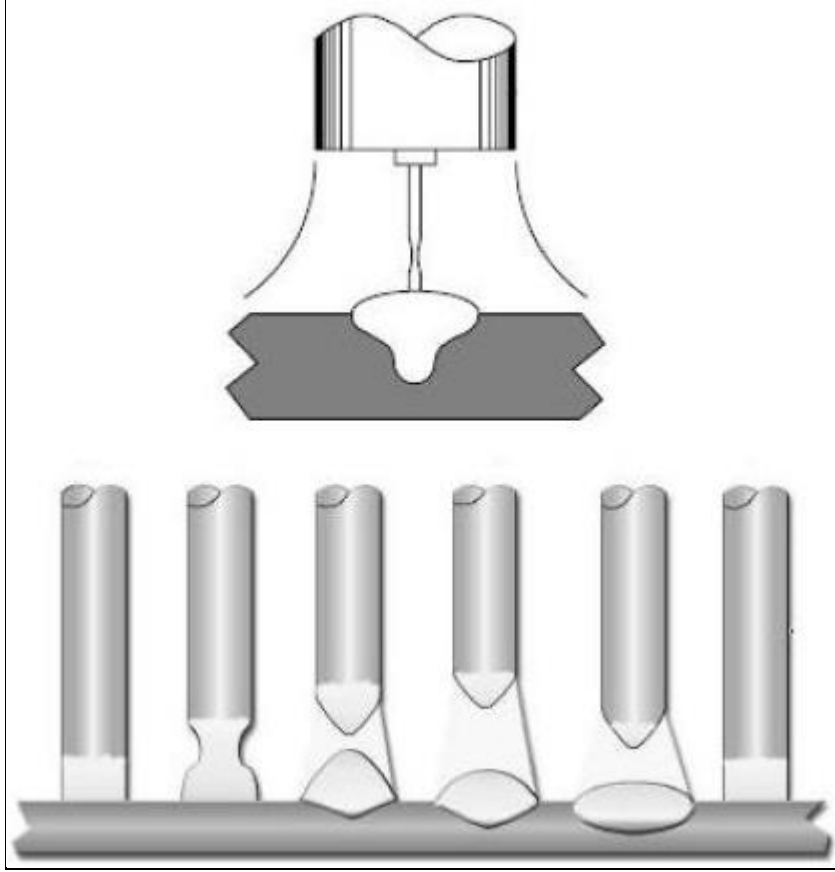
Metal transfer formu ergiyen telden kaynak banyosuna aktarılan metalin davranışına denir. MIG-MAG kaynağında metal transfer formu ark karakteristiğini belirler. Ergimiş elektrotun ucundan kaynak metaline geçen metalin aktarım şekli, çeşitli pozisyonlarda kaynak yapma kabiliyetini, işlem kararlılığını, sıçrama miktarını, kaynak dikiş yüzey formu gibi birçok parametreyi belirler [45].

Gazaltı kaynağında metal damlalar elektrotan is parçasına dört Şekilde taşınırlar.

- 1- Kısa Ark (kısa devreli metal taşınımı),
- 2- Uzun Ark (damlasal metal taşınımı),
- 3- Sprey Ark (ince damlalı metal taşınımı),
- 4- Darbeli Sprey Ark ile metal taşınımı [46].

Kısa ark

Düşük ark gerilimi ve düşük akım şiddeti kullanılarak ince elektrotlar ki bunlar 0,6-1.2mm arasındadır yapılan kaynak sırasında kullanılır. Bu tür kaynak işlemi ince parçaların birleşimi, pozisyon kaynağı ve büyük kök açıklığını kapatmak için kullanılır. Çabuk katılaştıran bir kaynak havuzu vardır [47]. Kısa devreli metal taşınımı Sekil 4.7’de [43] verilmiştir.

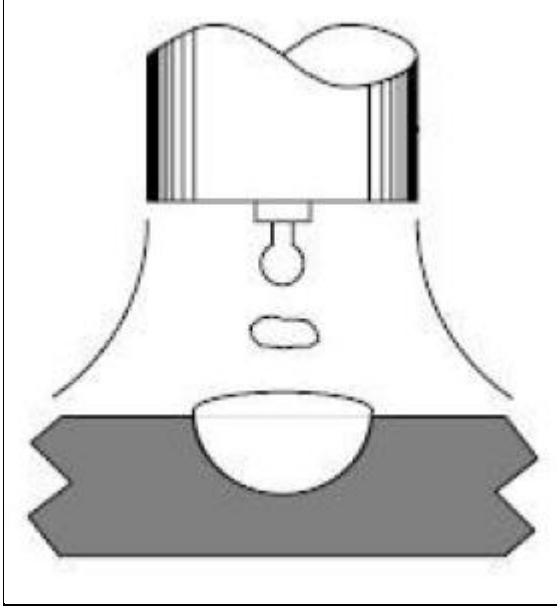


Sekil 4.7. Kısa devreli metal taşınımı

Kaynak metali bu tür kaynakta kaynak metaline sadece kısa devre anında geçerek ark tarafından taşınmaz. Bu tür kaynakta iş parçasına nüfuz eden ısı girdisi az olması sebebiyle özellikle çarpılmaya karşı duyarlı kaynak işlerinde de kullanılmak üzere uygun bir yöntemdir. Koruyucu gazın cinsine göre damlanın büyüklüğü ve kısa devrenin süresi değişiklik göstermektedir [46].

Uzun ark

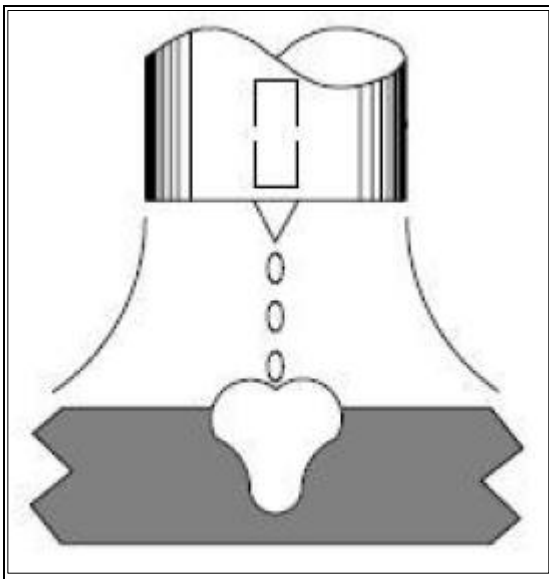
Ark gerilimi ve akım şiddeti kısa arkın değerlerinin üstüne çıkarıldığında damlasal metal geçişi olur. Bu halde ark tutuşunca elektrotun ucunda damla oluşmu başlar ve damla büyüyerek çapı elektrotun çapını geçince yer çekimi etkisiyle elektrottan koparak kaynak banyosuna düşer. Yüksek ark gerilimi nedeniyle ark boyu uzun olur. Buda kısa devre ark oluşmasını önler ve sıçrantı oluşumunu artırır. Bu tür arkta damlaların yer çekimi yardımıyla kopması ve iri olması nedeniyle tavan kaynağı yapılamaz [44]. Uzun devreli metal taşınımına ait görüntü Şekil 4.8’de [43] verilmiştir.



Şekil 4.8. Damlasal metal taşınımı

Sprey ark

Elektrot ucundan düşen damlaların sprey ark halinde geçer. Elektrot ucu sivri ve damlacıklar çok küçük Şekillerde ve hızlı Şekilde geçer. Öyleki saniyede birkaç yüze kadar çıkabilir. Damlacık çapları elektrot çapından çok küçüktür. Sprey devreli metal taşınımına ait görüntü şekil 4,9’da [43] verilmiştir.



Şekil 4.9. İnce damlalı(Sprey) metal taşınımı

Bu ark türü Argon veya argonca zengin karışımların yüksek ark gerilimi ve akım şiddetinde karşılaşılır. %10-15 den daha fazla CO₂ ihtiva eden koruyucu gaz karışımlarında doğru sprey ark elde edilemeyebilir [48-49].

Bu tür arkta sıçrantı az olmakla beraber kaynak banyosu diğer ark türlerine göre daha geniştir. Bundan dolayı dolgu pasolar için idealdir. Bu yöntemde yüksek akım ve gerilim şiddetlerinde çalışıldığından dolayı torcun iyi soğutulması gerekir.

Darbeli sprey ark

Bu yöntem için özel kaynak akım üreteçleri gerekmektedir. Bundan dolayı ekipmanları pahalıdır. Darbeli doğru akımda akım şiddeti, saptanmış iki değer arasında seçilmiş olan frekansta değişmektedir. Bu yöntem ile arzulanan her çalışma bölgesinde kısa devre oluşturmada is parçasına az bir ısı girdisi uygulanarak çalışmak olanağı bulunmakta ve ayrıca frekansı ayarlanarak istenen sayıda ve irilikte ergimiş metal damlacıklarının is parçasına geçişi sağlanabilmektedir [46,50]

Gazaltı kaynağında kullanılan teller

Kaynak yönteminde ana malzeme mekanik ve kimyasal özelliklerine bakılarak tel seçimi yapılır. Bu seçim yapılırken aynı zamanda kullanılacak koruyucu gaz da seçilir. MIG-MAG kaynağında kullanılan kaynak telleri özlü ve masif(özsüz) olarak ikiye ayrılır.

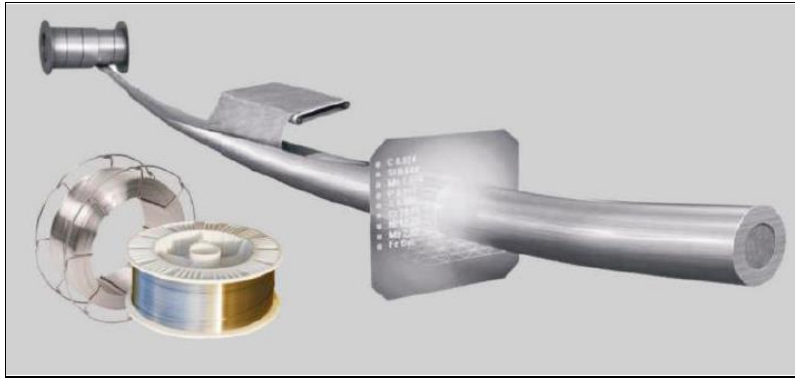
Masif teller; bileşimlerine göre SG1, SG2 ve SG3 diye üç gruba ayrılır. Bu tellere ait kimyasal bileşimler Çizelge 4.2’de [51] verilmiştir.

Çizelge 4.2. Masif (Özsüz) tel elektrotların kimyasal bileşimi

Sembol	Malzeme No	Kimyasal Bileşim %						
		C	Si	Mn	P<	S>	Ca<	Diğer
SG1	1.5112	0,07-0,12	0,5-0,7	1,0-1,3	0,025	0,025	0,30	Cr 0,15 V 0,05 Zr+Ti
SG2	1.5125	0,07-0,14	0,7-1,0	1,3-1,6	0,025	0,025	0,30	0,15 Al 0,02
SG3	1.5130	0,07-0,14	0,8-1,2	1,6-1,9	0,030	0,030	0,30	Ni 0,15 Mo 0,15

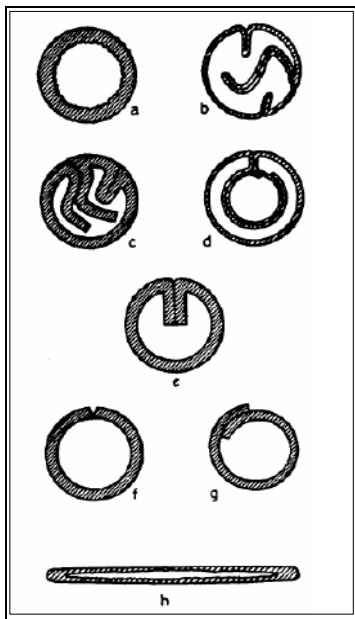
Özlü teller

İnce alaşımsız çelik bantların boru haline getirilerek içerisine toz halinde cüruf oluşturuç, gaz oluşturuç, alaşım elementleri ve deoksidayon elementleri katılarak hazırlanan tellere denir. Özlü telin imalatı, alaşımsız ince bir sac şeridin boru formuna uyarlanması veya bir lüleden geçirilerek çekilmesi ile elde edilir. Boru biçiminde olanların iç kısmında, diğerlerinin kıvrımları arasında dekapan ve ferroalaşım tozları bulunur. Kaynak dikişinin deoksidasyonu ve alaşımlanması bu öz tarafından gerçekleştirilir. Şekil 4.10'da özlü tel elektrot ait üretimi gösteren genel görünüş verilmiştir [52].



Şekil 4.10. Özlü tel elektrot imalatının en genel Şekilde gösterimi

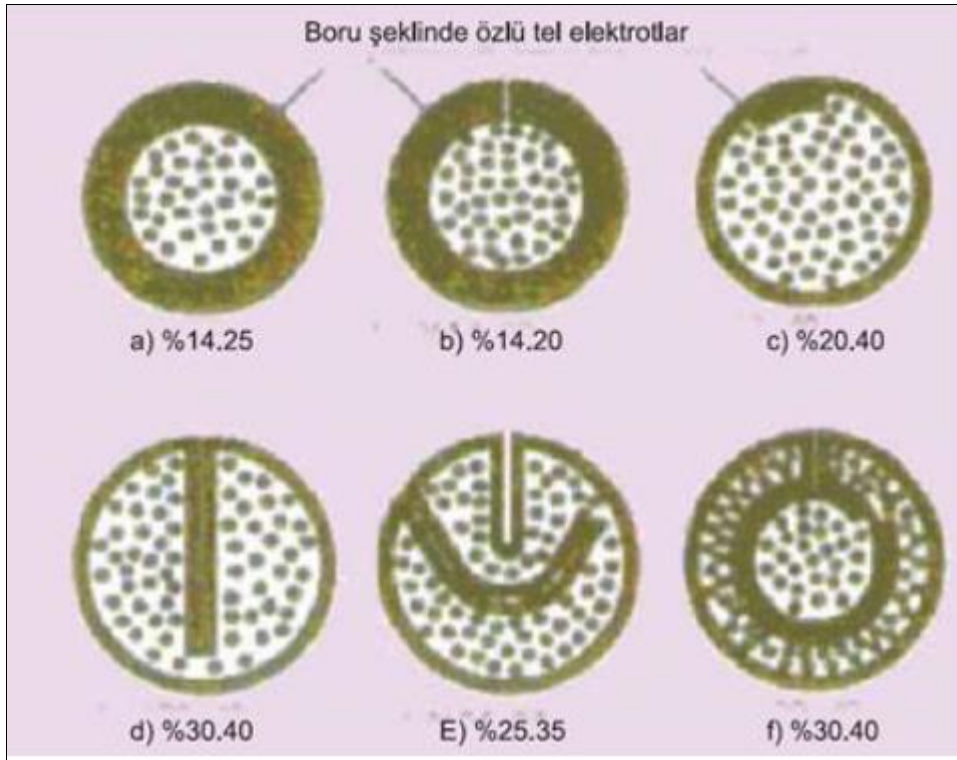
Üretilen özlü tellere ait tip kesitleri Şekil 4.11'de verilmiştir [52].



Şekil 4.11. Özlü tel elektrot kesitleri

Özlü tel elektrotlar rutil, bazik ve metal özlü olarak 3'e ayrılır. Metal özlü teller, sprej arkta yatay pozisyonda metal yığılma oranı yüksektir. Kaynak üzerinde cüruf oluşturmaz ve sıçrantısı azdır. Köşe kaynaklarında ve boruların kök pasolarında kullanılır. Bazik karakterli olanlar ince taneli ve yüksek dayanımlı çeliklerde yüksek mekanik özellikleri nedeniyle tercih edilir. Yatay pozisyonlara kullanılması sınırlı uygulama alanlarda kullanılmasına neden olmuştur. Rutil karakterli olan elektrotlar ise yumuşak ark karakteristiği, güzel dikiş ve kolay cüruf kalkışı nedeniyle tercih sebebidir. Her pozisyonda kaynak yapabilme özelliğine sahiptir [52].

Özlü tel elektrotların doluluk oranları ve dikiş formları Şekil 4. 12'de verilmiştir [52].



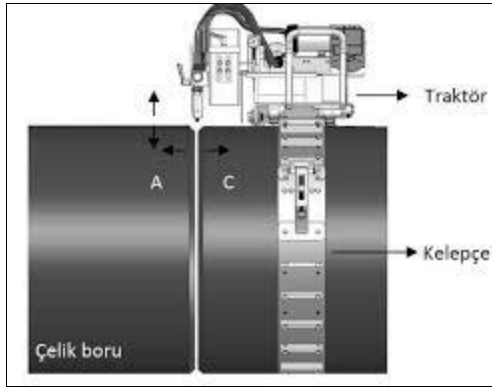
Şekil 4.12. Özlü tel elektrotlarda en çok kullanılan kesit formları ve dolgu dereceleri a) Dikişsiz tip, b) Dikişli tip, c) Bindirme boru tipinde, d-e) Kenetli özlü tel elektrotlar, f) Çift mantolu özlü Tel Elektrotlar

Özden beklenenler;

- Kaynak metalinin kimyasal bileşimini ayarlayarak kaynağın mekanik, metalurjik ve korozyon özelliklerini sağlar.
- Kaynak banyosunu cüruf oluşturarak, atmosferdeki azot, hidrojen ve oksijenden korur.

- Farklı alaşımdaki malzemelerin birleştirme kaynaklarının ve dolgu kaynaklarının yapılmasında alaşımlandırma yapar ve özellik kazandırır.
- Kaynak dikişi formunun oluşmasında katkıda bulunur.
- Ark stabilizasyonu sağlar ve sıçrama özelliğine, ergime hızına etki eder [52].

4.4. Orbital Kaynak Sistemi



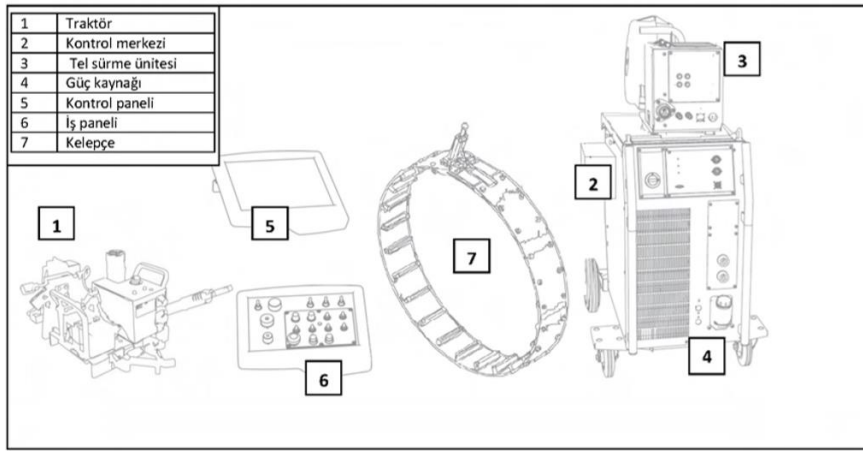
Şekil 4.13. Orbital kaynak Sistemi temel çalışma prensibi

Gelişmekte olan teknolojiler ile birlikte kaynak yöntemlerinde de birçok değişim ve yenilikler de kaçınılmaz olmuştur. 1950 li yılların sonlarında örtülü elektrot ile ark kaynak yöntemine alternatif olarak boru hatlarının kaynak uygulamasında orbital-kaynak sistemi ile çalışmalar başlamıştır. Orbital- kaynak sistemine MIG, MAG ve TIG kaynakları uyarlanarak kullanılmaktadır [53-54].



Resim 4.1. Portatif kulübe

Özellikle gazaltı kaynak yöntemlerinde boru hattı kaynak işlemleri için portatif kulübeler yardımıyla koruyucu gaz ortamına dışarıdan havanın etkisi önlenmiştir. Resim 4.1’de tipik bir portatif kulübe örneği görülmektedir. Boru kaynaklarında yüksek kaynak metali yığılma oranı ve verimlilik ile kendini ön plana çıkartan orbital kaynak sistemi ile yatay ekseninde iki borunun ağzlanması ve traktör ismi verilen torcun hareketini sağlayan elaman ile boru etrafına sabitlenen kelepçe üzerinde boru çevresini istenen hızda götürerek kaynak yapma imkânı sağlamaktadır [53-54].



Şekil 4.14. Sistem donanımları

Şekil.4.14’de gösterildiği gibi orbital kaynak sisteminde traktör, kontrol merkezi, tel sürme ünitesi, güç kaynağı, kontrol paneli, iş paneli ve kelepçe bulunmaktadır. Orbital kaynak sistemi uygulama olarak elektrik ark kaynağına göre daha hızlı, kaynak kalitesinin yüksek, yüksek dolgu oranları ile kaynakçı özelliklerinin etkilemediği bir yöntem olması nedeniyle hızla gelişmekte ve kullanım alanı artmaktadır. Bu yöntemle düşük ve yüksek alaşımlı çelikler ile paslanmaz çeliklerin kaynaklanabilir. Özellikle kullanılan sarf malzemeleri kaynağın yapısı özellikleri ve süresine etki etmektedir. Kaynak bir operatör refakatinde manuel kontrol paneli vasıtasıyla kontrol edilerek yapılmaktadır. Her pozisyonda kaynak yapmanın yanında istenilen mesafede torç ayarlanabilmektedir [22,53,54].

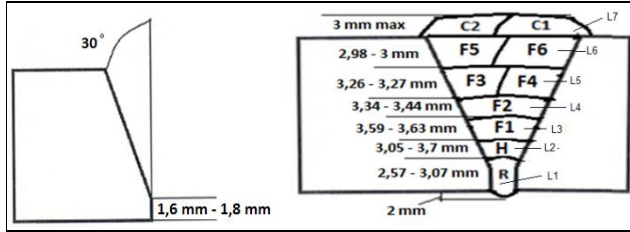
4.4.1. Orbital kaynak sisteminin avantajları ve dezavantajları

Orbital kaynak sisteminin ön plana çıkmasını sağlayan ve de geliştirilmesi gereken özellikleri aşağıda sıralanmaktadır;

1. Diğer kaynak yöntemlerine göre kaynak maliyeti düşüktür.

2. Kaynak dikişı kalitesi yüksektir.
3. Zorlayıcı inşaat şartlarında çalışabilmektedir.
4. Kaynak donanımı kısa sürede ve kolaylıkla kurulabilmektedir.
5. Manuel kaynak yöntemleriyle kıyaslandığında kurulum maliyeti daha yüksektir.
6. Kaynak operatörünün minimum müdahalesini gerektirmektedir.
7. Parametre kontrolü anlık olarak izlenebilmekte ve ayarlanabilmektedir.
8. Yüksek metal yığılma oranı sayesinde diğer yöntemlere göre daha kısa sürede kaynak işlemini tamamlayabilmektedir.
9. Tüm pozisyonlarda kök, dolgu ve kapak paso kaynakları yapabilmektedir.
10. Kaynak öncesi işlemler büyük önem taşımaktadır. Borular kusursuz olarak birbirine hizalanmalı ve boruların ovaliteleri olmamalıdır.
11. Kaynak ağzının iyice temizlenmesini ve kaynaklanacak boruların ön ısıtılmasını gerektirir.
12. Kaynak parametrelerinin optimize edilmesi için araştırmaların devam etmesi gerekmektedir [35].

4.4.2. Orbital kaynak sisteminin boru hatlarında uygulanması



Şekil 4.15. Kaynak ağzı detayı

TS EN ISO 9692-1 standardına göre kaynak ağzının hangi tipte açılacağını belirleyen değişkenler parça kalınlığı, kaynak yöntemi ve kaynak pozisyonudur. 56" standart bir boru için kaynak ağzı detayı Şekil 4.15'te verilmiştir. Bu ölçülerin dışına çıkılmadan gerekli hazırlıklar yapılmalıdır.

Kaynak ağzı mekanik yöntemlerle şantiye sahasında açılarak özel boru ağızlama makineleri ile ağızlama yapılır. Kaynak ağzı açıldıktan sonra tel fırça veya taş motoru vasıtasıyla yüzeydeki kir, yağ, çapak gibi yabancı maddeler temizlenmelidir.



Resim 4.2. Boru ağızlama aparatı

Boruların ağızlama işi oldukça önemlidir. Boru imalatından veya imalat yönteminden kaynaklı ovalitelerde bozukluk sıkça rastlanan bir durum olduğundan boru ağızlamasının ilgili standartlara uygun şekilde yapıldığı teyit edilerek bir sonraki basamağa geçilmelidir. Şekil 4.2’de örnek bir boru ağızlama aparatı ve bağlantısı görülmektedir. Bu şekilde istenen kaynak kalitesine ancak ulaşılabilmektedir.

Ön tavlama

Bu işlem genellikle propan ısıtıcılar vasıtasıyla yapılmaktadır. Kaynak işlemine başlamadan önce kaynak işleminden oluşabilecek soğuk çatlağı gidermek için ön tavlama işlemi uygulanır. Bu işlem ile birlikte kaynaklanan metalin soğuma hızı yavaşlatılır. Ön ısıtma miktarı Uluslararası Kaynak Enstitüsü (IIW) tarafından oluşturulan karbon eş değerine bakılarak belirlenmektedir. Özellikle karbon eşdeğerliği ($Ceş$) $> 0,45$ olan, alaşımlı ve kalın malzemelerde önemlidir. Bu tip malzemelerde yapı sertleşir ve hidrojenden kaynaklı çatlaklara neden olur. Bunu engellemek için aşağıdaki verilen kriterlere uygun ön tav işlemleri yapılır. Yine $Ceş < 0,45$ fakat malzeme kalınlığı fazla ise yine ön tav işlemi yapılmalıdır. Bunun için kritik nokta çevre sıcaklığı $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ nin altında ise mutlaka ön tav gerekmektedir. Ön tav bölgesi yaklaşık kaynak bölgesinin en az 25mm uzaklığına kadar

yapılabilmelidir. Ön tavlama sıcaklığı malzeme kalınlığı dikkate alınır 7mm den küçük ise 95 °C, 7mm ve üstü için 150°C ön tav şlemi gerekmektedir. Ayrıca hava nemli ise mutlaka nem gidermek için tavlama gerekmektedir. Coğrafi koşullar kaynak kalitesini doğrudan etkilediğinden kaynakta kararlılık için kaynak önesi tüm şartların kaynak yapabilme imkânını sağlaması gerekmektedir [5].

Ceş > 0,45 ise 150-200 °C

Ceş > 0,60 ise 200-400 °C

4.4.3. Orbital kaynak sisteminde kullanılan parametreler ve özellikleri

Kaynak pozisyonu, traktör ile her pozisyonda kaynak yapılabilir. Bundan dolayıdır ki kullanım alanı sürekli artmaktadır.

Koruyucu gaz ve teller; Kullanılan boru özelliklerine göre tel sel seçimi yapılarak 1.2-1.6 arasındaki çapları arasında gazlatı teli veya özlü tel elektrot kullanılabilir. Koruyucu gaz olarak % 100 CO₂ ve M21 karışım gazları kullanılmaktadır. Koruyucu gazın temel görevi kaynak banyosu ile havanın temasını engellemektir. Bununla birlikte kendinden koruyucu gazlı özlü teller için ilave bir gaz korumasına gerek yoktur. Aynı zamanda koruyucu gazlardan CO₂ gazı Karbon monoksit ve Oksijene ayrışarak kaynak nüfuziyetini artırmaktadır. Değişik özelliklerde koruyucu gazlar piyasada bulunmakla birlikte sağladıkları artılara göre fiyatları değişmektedir [22,55].

Kaynak yönü; orbital-kaynak sisteminde saat yönünde (CW) ve saat yönünün tersine (CCW) kaynak yapılabilir. Bu aynı zamanda istenirse kelepçeye 2 adet traktör montajı yapılarak iki taraftan kaynak yapılmasını sağlamaktadır ki kaynak hızının 2 katına çıkması ve sürenin de yarı yarıya düşmesi açısından imalatın hızını artırmaktadır [22,55].

Kaynak sırasında yapılabilecek ayarlamalar; orbital kaynak sisteminin bir diğer katkısı da kaynak sırasında parametrelerin birçoğunda değişiklik yapılabilmesi ve bu değişikliklerin kaydedilerek bir sonraki kaynak sırasında tekrar kullanılabilmesidir. Bu Şekilde sistem yarı otomatik veya otomatik olarak kullanılabilme özelliğini bize sağlar. Bu parametreler şunlardır.

Akım değeri ve tel besleme hızı; bu değeri kaynak nüfuziyetini ve kaynak banyosunun ergime oranını direk etkilemektedir. Yüksek akım yanma oluklarına düşük akım yetersiz ergimeye sebebiyet verecektir. Sistem kaynak sırasında akım değerinin anlık değişiklik yapılmasına izin verdiğinden dolayı bu değerleri değiştirerek kaynağın kalitesi anında kontrol altına alınabilmektedir. Tel besleme hızı akım ile beraber çalışır. Akım arttıkça tel besleme hızı da otomatik olarak artar [22,55].

Voltaj değeri; kaynak ark boyu ile bağlantılı çalışır. Ark boyunun sabitlenmesi ile kaynak makinesi voltaj değerlerini kendi otomatik ayarlamaktadır. Voltaj, akım ve traktör hız ısı girdisini belirlediğinden dolayı kaynak yapısını doğrudan etkiler buda kaynak kalitesini belirler [22,55].

Traktör hızı; traktör hızı kaynak sırasında operatör tarafından rahatlıkla değiştirilebilir. Hız birimi cm/dk olarak izlenir ve ısı girdisini belirler [22,55].

Salınım ve bekleme süresi; orbital kaynak sisteminde operatör kaynak genişliğini kumanda yardımıyla istediği gibi ayarlayabilmektedir. Özellikle kapak pasolarında çok büyük bir avantaj olarak karşımıza çıkmaktadır. Bununla birlikte aynı zamanda kaynak süresince istenen bölgelerde kaynak duraklatılıp tekrar devam ettirmekte bir diğer özelliklerindendir. Buda kaynak üzerinde etkin bir şekilde hâkimiyet sağlamaktadır. Özellikle mekanize olmayan kaynak yöntemlerinden ayıran bir özellik olarak dikkat çekmektedir [22,35].

Kaynak teli kullanılacak boru çapı ve özelliklerine göre belirlenmektedir. Bu teller genellikle 1.2-1.6mm çapları arasında ve gazlatı kaynak teli veya özlü teller vasıtasıyla kullanılmaktadır. % 100 CO₂ ve % 80 Ar-% 20 CO₂ gibi karışımlar ile yapılabilir. Burada önemli olan koruyucu gazı hava ile etkileşime sokmadan kaynak bölgesinin korunmasını sağlamaktır. Ark voltajı, traktör hızı ve akım ısı girdisini verir [22,35].

5. LİTERATÜR

Doğalgaz boru hatları her geçen yıl daha fazla artarken bununla paralel olarak gerek maliyetleri düşürmek gerekse daha hızlı ve daha yüksek kapasiteli ulaşım için çalışmalar sürmektedir. Bunlardan biride doğalgaz borularında gerçekleşen yeniliklerdir. Yenilenen ve gelişen boru hatlarıyla birlikte kaynak yöntemleri de her geçen yıl gelişmekte ve değişmektedir. Bu gelişim ve değişimi etkileyen birçok çalışma bulunmaktadır. Bunula ilgili bazı çalışmalar şöyledir;

Gençkan [22]; X65, X70M ve X80 kalite spiral dikişli çelik boruların birleştirilmesi orbital kaynak sistemi kullanılarak gerçekleştirmiştir. Deneylerde rutil özlü tel ile karışımında koruyucu gazlar kullanmıştır. X80 malzeme için farklı özlü tel üretimi yapılarak orbital-MAG kaynağında kullanımı gerçekleştirmiştir. Orbital-MAG kaynak parametrelerinin belirlenmesi ve kullanılacak kaynak sarf malzemelerinin ayarlanmasından sonra üç farklı çeliğin Orbital-MAG kaynakları gerçekleştirmiştir. Tüm kaynaklı çelik borular için EN 1435 standardına göre radyografi muayene yapılmış ve elde edilen dijital radyografi filmleri API 1104'e göre değerlendirmiş ve uygun olduğunu vurgulamıştır [22].

Engün [56]; APIX70M çeliklerinin metalürjik yapısı ayrıntılı bir Şekilde incelenmiştir. X70M Petrol Boru Çelik numunelerinin EBSD ve TEM analizleri gerçekleştirmiştir. STEM ve t-EBSD teknikleri ile çökelti incelemesi yapılmış olup farklı sekil ve boyutlarda bulunan ve Mn, Ti, b ve S içeren çökeltilerin varlığını görmüştür [56].

Aktaş [28]; API 5L standardındaki X42, X52, X60, X65, X70M hat boru malzemelerinden kaynaklı ve kaynaklı olmayan numunelere kimyasal analiz, sertlik, çekme, çentik – darbe ve eğme testleri uygulanmıştır. Yapılan testler sonucunda İnce taneli yapıların malzemelerin mekanik özelliklerini arttırdığı, ayrıca parçanın kesit kalınlığının ITAB bölgesini doğrudan etkilediği dolayısıyla kalın parçalarda ısı yayılımının daha geniş bir alana yayıldığını belirtmiştir. Ayrıca kaynak metalinin sertliğinin yüksek olmasının çekme testi sırasında kaynaklı bölgenin deformasyona uğramasını engellediği, bu nedenle kopmanın ana malzemede gerçekleştiğini vurgulamıştır. X70M malzeme için daha ince taneli yapıya sahip olduğu, bu yüzden dayanım özelliklerinin diğer malzemelere oranla aynı et kalınlığı ve çapta daha yüksek basınçta çalışabildiğini tespit etmiştir [28].

Çağırıcı [57]; X70MM boru hattı çeliklerinin hibrit plazma ark kaynak yöntemi ile kaynatılabilirliğini incelemiştir. Mikroyapısal ve mekanik karakterizasyonu testleri yapmıştır. X70MM kaynaklarının 0.5 ve 2.0 kJ / mm ısı girişi aralığında tamamlanması gerektiği tespit etmiştir [57].

Demiral [58]; X70M ve St 52 çelik malzemelerinin tozaltı kaynak tekniği ve bazik elektrotla elektrik ark kaynak yöntemleri kullanılarak birleştirmiştir. X70M ve St 52 malzemelerinin, amperin ve kaynak hızının, sertliğe etkisini tespit edebilmek için Taguchi yöntemi kullanmıştır. Taguchi modellemesi sonuçlara göre, X70M malzemeden ölçülen sertlik değerlerinin, St52'ye göre daha yüksek olduğunu tespit etmiştir [58].

Bhole ve arkadaşları [59]; tozaltı kaynak yöntemi ile kaynaklanan API X70M çeliğinde nikel ve molibden ilavesinin kaynak metalinin sertliğine etkisi araştırmışlardır. Nikel ve molibden miktarı farklı olan dört ayrı kaynak teli ile test yapmışlardır. Sonuç olarak katkı malzemelerinin sertliği ve dayanımı artırdığını vurgulamışlardır. Ayrıca katkı malzemelerinin darbe dayanımını azalttığını belirtmişlerdir [59].

Gromashchi ve arkadaşları [60]; selülözik örtülü elektrot ile API X70M çeliğini kaynatmışlardır. Kaynak işleminde kök paso E 6010, diğer pasolarda E 8010 ve 4 mm çapında elektrotlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İçyapı incelemesi sonucunda kaynak metalinde iki ayrı beynit oluşumu görülmesine rağmen martenzit oluşumu gözlenemediğini belirtmişlerdir [60].

Zhu ve arkadaşları [61]; API 5L X70M çelik kaynağında uygun iç yapı ve sertlik için gerekli olan titanyum oranını bulmak için çalışmışlardır. Bu amaç için 1,9 ila 4,9 aralıklarında değişen Ti/N oranına sahip çeliklerde benzeşim çalışması yapmışlardır. Isı girdisi ise 2,5 kJ/mm olarak belirlemişlerdir. Sonuç olarak sertlik değerlerinde 211-214 VSD aralığında bulmuşlardır. Buda titanyum/azot oranlarının sertliğe belirgin bir etkisinin olmadığını vurgulamışlardır. Yine bu çalışma sonucu mikroyapıdaki ince tane oranının titanyum/azot oranıyla bariz değişiklikler gösterdiğini belirtmişlerdir. Buna göre ince tane oranı titanyum/azot oranı 4,9 olan numunede %59, 1,9 olan numunede %51 ve 3,2 olan numunede %71, olduğu görülmüştür [61].

Alipooramirabad ve arkadaşları [62]; HSLA çeliklerinin çok pasolu kaynaklarında içyapı mekanik özellik ve kalıntı gerilim arasındaki bağlantıları araştırmışlardır. Her bir numunesi API X70M plakdan oluşan 20mm x 250mm x 200 mm ölçülerinde iki adet deney numunesinden toplamda üç ayrı sınıf oluşturulmuştur. İlk grup test numunesi 25 paso ve düşük ısı girdisi ile yapılmışlardır. İkinci kısım numune ise 11 pasoda yüksek ısı girdisi ile hazırlanmıştır. Üçüncü kısımda yer alan numunelerde ikinci grupla aynı pasoda kaynatılmış ancak pasoların yönü değiştirilmiştir. Sonuçta mikroyapıları incelendiğinde ITAB'ın ısı girdisinin yüksek olduğu yerde 2,65mm olarak ölçülmüş fakat ısı girdisinin düşük olduğu numunede ITAB'ın 1,78mm'ye düştüğü görüldüğü vurgulanmıştır. Sertlik ölçümleri sonucu yine ısı girdisinin yüksek olduğu yerde düştüğü görülmüştür [62].

Fletcher ve arkadaşları [63]; mikro alaşımlı yüksek dayanımlı boru kaynaklarında mikroyapı ve mekanik değerlere T ve N'un etkisini araştırmışlardır. API X70M çelik bir borunun et kalınlığı 14,1 ve çapı 1067mm olan dokuz ayrı numune hazırlamışlardır. Bu numunelerin Ti/N oranı farklı olarak seçmişlerdir. Bu numunelere tozaltı kaynak yöntemiyle iki pasoda iç ve dıştan kaynak yapılmışlardır. Sonuçta alınan değerlere bakarak Ti/Ni oranının sertliğe etkisi olmadığı vurgusunu yapmışlardır [63].

Hashemi ve arkadaşları [64]; API X70M çelik borularda yapılan kaynaklar sonucu oluşan çatlakların çatlak ucu açılma açısını incelemişlerdir. Bu kapsamda 8,2° ve 7,5°'lik açılma açıları incelenmiştir. Sonucunda düşük açıda kaynak metali kırılma direncinin düştüğü belirlenmiştir [64].

Beidokhti ve arkadaşları [65]; API 5L X70M çeliğinin tozaltı kaynak yöntemi ile kaynağında Ti ve Mn'in etkilerini incelemişlerdir. Bu kapsamda %1,92 Mn - %0,02 Ti ve %1,40 Mn - %0,08 Ti iki ayrı numune hazırlanmıştır. Sonucunda her iki durumda Ti eklenince sertlik azalırken iğnemsiz ferrit oranı artmıştır. Mangane ilavesinin artmasıyla sertliğinde artırdığı ifade edilmiştir [65].

Lotsberg [66]; Boru hattı kaynak işlemlerinde kök paso sırasında oluşan gerilme yoğunluğu hakkında araştırma yapmıştır. Boru kaynaklarında ovalite ve kalınlık farkı önemli bir konudur. Sonuç olarak yapılan çalışmada kaçık durumlarda gerilme yoğunluğunun daha fazla olduğu tespit edilmiştir [66].

Çapan [35]; Orbital-MAG kaynak yöntemi ile S235 JR alaşımsız çelik boruyu farklı parametreler kullanarak kaynatılabilirliğini incelemiştir. Çalışma sonucunda S235 JR alaşımsız çelik boruların belirtilen parametreler ve ELCOR R71 rutil özlü tel elektrot ile dik pozisyonda 10° açısı ile birleştirilmesi uygulaması API 1104 standardında talep edilen özellikleri sağladığını belirtmiştir [35].

Ada [5]; boru hatlarında yaygın olarak kullanılan API 5L X65 malzemesinin tozaltı kaynak yöntemi ile kaynaklanabilirliğini incelemiştir. Çalışmasında tagucci yöntemi ve yapay sinir ağlarını kullanarak matematiksel modeller geliştirmiştir. Deneylerinde akım, kaynak yönü ve elektrot türünü değişken olarak kullanmış ve mekanik testler ile sonuçları incelemiştir. Sonuçlar ışığında boru kaynaklarında optimum şartları sağladığını belirtmiştir [5].

Literatür çalışmalarının genel değerlendirilmesi sonucunda API 5L X70M malzemesi üzerinde orbital kaynak sistemi ile birleştirilmesi üzerinde çalışmaların daha çok plaka halinde levhalar üzerinde olduğu, boru tipi birleşim ve orbital-MAG kaynak yöntemi ile çalışmaların azlığı dikkat çekmiştir. Bu çalışmada görülen eksikliğin giderilerek bilime katkı sağlanması hedeflenmektedir. Yapılan çalışmada kök ve sıcak pasoda elektrik ark kaynak yöntemi, dolgu ve kapak pasolarında orbital-MAG kaynak yöntemi(FCAW) kullanılmıştır. Doğalgaz boru hatlarında kullanılan API 5L X70M 56" çelik boru kullanılmıştır. Bu işlem sonrasında malzeme radyografik teste tabi tutulmuştur. Bu testten sonra mekanik özelliklerini tespit etmek için birleştirmelerden alınan kaynaklı numunelere çekme, çentik – darbe, sertlik ve eğme testleri uygulanmıştır. Metalografik yöntemlerle numunelerin makro ve mikroyapıları incelenmiştir. Bu incelemeler sonucunda elde edilen veriler grafikler haline getirilerek yorumlanmıştır.

6. MATERYAL VE METOT

Bu tez çalışmasında, API 5L X70M kalitesindeki boyuna dikişli çelik borular orbital-MAG kaynak yöntemiyle birleştirilmiştir. Birleştirme sonucunda metalurjik incelemeler ve mekanik test sonuçlarına bakılarak kaynak işleminin etkileri incelenmeye çalışılmıştır. Çalışmada 56 İnç (1422,4 mm) çapında boru numunesi gerçek şantiye şartlarında gerekli donanımlar sağlanarak kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir.

6.1. Materyal

Deneysel çalışmalarda Doğalgaz Boru Hatlarında kullanılmak üzere üretilen 56 İnç (1422,4 mm) çapında, 19,45 mm kesit kalınlığında, API 5L X70M kalitesinde tozaltı ark kaynak yöntemiyle boyuna dikişli çelik borular kullanılmıştır. X70M malzemenin kimyasal ve mekanik özellikleri Çizelge 6.1’de verilmiştir. Kök kaynak işleminde kullanılan AWS 5.1 standardında E6010 kodlu selülozik elektrot Çizelge 6.2’de ve sıcak paso için kullanılan AWS 5.5 standardında E9018-G-H4R kodlu bazik elektrot Çizelge 6.3’te verilmiştir. Dolgu dolgu ve kapak paso kaynak işlemleri orbital-MAG kaynağı ile 1,2 mm çapında AWS 5.36 standardında E91T1-M21A6-K2 kodlu rutil özlü tel ile Çizelge 6.4’te verilmiştir. Koruyucu gaz olarak ENISO 14175-M21-ArC20 kodlu karışım gazı (%80Ar-%20CO₂) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 6.1. X70M malzemenin teknik bilgileri

Element / %	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
	0,0768	0,148	1,797	0,0067	0,001	0,0262	0,0921	0,0139
	Sn	As	Ga	Sb	B	N	Ni+Ti+V	
	0,0002	0,0037	0,0017	0,0049	0,0007	0,0053	0,0523	
	Cu	Al	Ti	V	Nb	Pb	Fe	Çeş
	0,0803	0,0363	0,016	0,031	0,071	0,0025	97,5847	0,40
Mekanik Özellikler	Akma Muk. (MPa)		Çekme Muk. (MPa)		Uzama (%) (min.)		-10 °C’deki Darbe Enerjisi (Joule)	
	585		680		31		346	

Çizelge 6.2. AWS 5.1: E6010 kodlu selülozik elektrot teknik özellikleri

Kaynak Metalinin Tipik Kimyasal Analizi											
C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo	Cu	Nb	V	Ti
0,129	0,188	0,451	0,008	0,008	0,024	0,043	0,013	0,054	0,001	0,006	0,013
Kaynak Metalinin Tipik Mekanik Özellikleri (%)											
Akma Muk. (min) (N/mm2)			Çekme Muk. (min) (N/mm2)			Uzama (%)			-30°C'deki Çentik Darbe Enerjisi (min) (Joule)		
506			568			23			50		

Çizelge 6.3. AWS 5.5: E9018-G-H4R kodlu bazik elektrot teknik özellikleri

Kaynak Metalinin Tipik Kimyasal Analizi											
C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo	Cu	Nb	V	Ti
0,05	0,4	1,2	0,006	0,011	0,1	1,0	0,39	0,0	0,01	0,02	0,01
B	As	Sn	Pb	N							
0,00	0,00	0,00	0,00	0,01							
Kaynak Metalinin Tipik Mekanik Özellikleri (%)											
Akma Muk. (min) (N/mm2)			Çekme Muk. (min) (N/mm2)			Uzama (%)			-40°C'deki Çentik Darbe Enerjisi (min) (Joule)		
647			715			20			92		

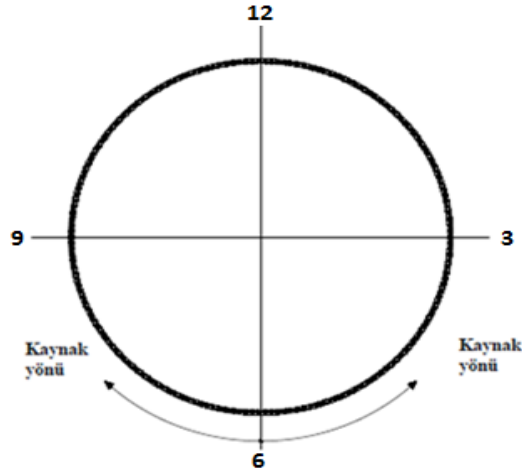
Çizelge 6.4. AWS 5.36: E91T1-M21A6-K2-H4 kodlu 1.2mm selülozik özlü tel teknik özellikleri

Kaynak Metalinin Tipik Kimyasal Analizi											
C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo	Cu	Nb	V	
0,07	0,39	1,58	0,007	0,017	0,038	1,18	0,003	0,076	0,014	0,019	
Kaynak Metalinin Tipik Mekanik Özellikleri (%)											
Akma Muk. (min) (N/mm2)			Çekme Muk. (min) (N/mm2)			Uzama (%)			-40°C'deki Çentik Darbe Enerjisi (min) (Joule)		
650			704			20,4			75		

6.2. Metot

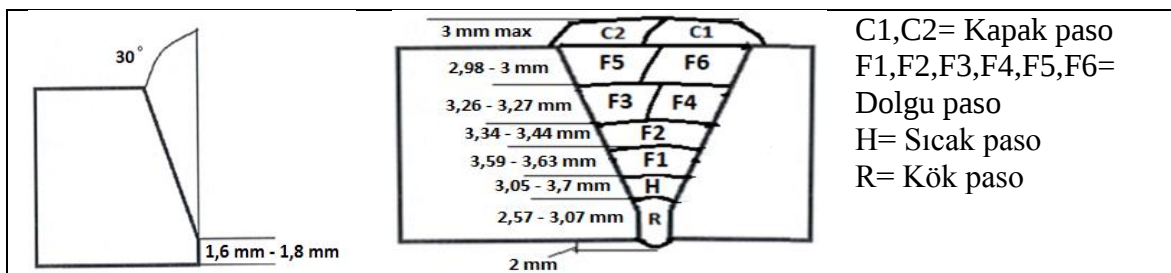
Plazma ile 350 mm genişliğinde kesilen iki adet API 5L X70M boruya önce Şekil 6.1'de gösterildiği gibi mekanik yöntemler ile kaynak ağız açılmıştır. Kaynak yapılacak bölge kir, yağ ve pastan temizlenerek ağızlama aparatı vasıtasıyla ağız ağıza getirilmiştir. Kaynak işlemi 06:00'dan 12:00'ye doğru saat yönü ve tersine olarak Resim 6.1 de gösterildiği gibi

uygulanmıştır. Kök ve sıcak paso elektrik ark kaynak yöntemiyle, dolgu ve kapak pasolar ise orbital-MAG kaynak yöntemiyle (FCAW) birleştirilmiştir. Kaynak yapılan numune Resim 6.1’de verilmiştir.



Resim 6.1. Kaynaklı test numunesi ve kaynak yönü genel görünümü

Kaynak işlemleri doğalgaz boru hattı yapım işini gerçekleştirmeye yetkili ve sertifikalı operatör ve kaynakçılar tarafından saha şartlarında yapılmıştır. Böylece kaynaklı bağlantıdan beklenen lokal özellikleri saha şartlarına uygun olarak karşılayabilirliği de test edilmiştir. Kök ve sıcak paso kaynak işleminde ESAB TIG 3001i Marka ve model örtülü elektrot ile ark kaynağı yapabilen kaynak makinesi kullanılmıştır. Örtülü elektrot ile ark kaynak makinesine ait teknik bilgiler Çizelge 6.5’de verilmiştir. Dolgu ve sıcak paso kaynaklarında Miller XMT 350 CC/CV Marka ve model orbital-MAG kaynak makinesi kullanılmıştır. Orbital-MAG kaynak makinesine ait teknik bilgiler Çizelge 6.6’da verilmiştir. Kaynak işlemi kök, sıcak, dolgu ve kapak olmak üzere 7 katman ve 10 pasoda gerçekleşmiştir. Kaynak ağzı ve paso sıralamasına ait detaylar Şekil 6.1’de şematik olarak verilmiştir.



Şekil 6.1. Paso görünümleri

Bazik elektrot ile yapılan birleştirmelerde elektrotlar yaklaşık 300 °C sıcaklıkta fırınlanarak kurutulmuş ve bekletmeden hemen kaynak işlemine tabi tutulmuştur.

Çizelge 6.5. ESAB TIG 3001i kaynak makinesi teknik özellikleri

ESAB TIG 3001i	Teknik Özellikler
Şebeke Gerilimi (3 Faz) (V)	380 / 50 Hz
Şebekeden Çekilen Güç (kVA)	22 (%35)
Şebekeden Çekilen Akım (A)	16
Kaynak Akım Ayar Sahası (ADC)	16 – 300
Anma Kaynak Akımı (ADC)	300 (%35)
Açık Devre Gerilimi (VDC)	67
Elektrot Çapı (mm)	2.00 – 5.00
Boyutlar (u x g x y) (mm)	652 x 249 x 423
Ağırlık (kg)	34
Koruma Sınıfı	IP 23

Çizelge 6.6. Miller XMT 350 CC/CV kaynak makinesi teknik özellikleri

Miller XMT 350 CC/CV	Teknik Özellikler
Şebeke Gerilimi (3 Faz) (V)	208-575 / 50 Hz
Şebekeden Çekilen Güç (kVA)	14,2 (%60)
Şebekeden Çekilen Akım (A)	16
Kaynak Akım Ayar Sahası (ADC)	5 – 425
Açık Devre Gerilimi (VDC)	34(%60)
Elektrot Çapı (mm)	2.00 – 5.00
Boyutlar (u x g x y) (mm)	610 x 432 x 318
Ağırlık (kg)	36
Koruma Sınıfı	IP 23

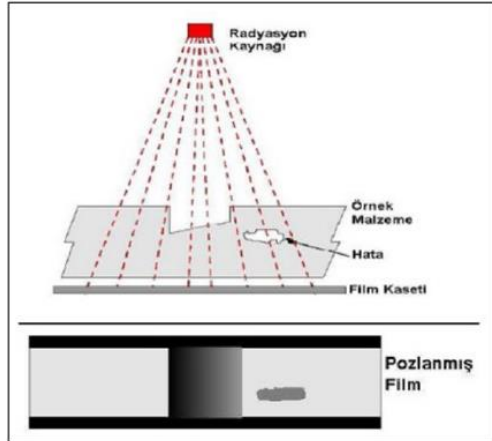
Deneyde kök paso 75-87 Amper arasında kaynatılırken sıcak pasoda ise 78-95 amper arası değerlerde kaynak işlemine devam edilmiştir. Dolgu pasosunda 193-210 Amper arasında, kapak pasosunda 186-210 Amper arasında kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir. Kök paso kaynak işlemi DC- kutupta gerçekleştirilmiştir. Sıcak paso, dolgu ve kapak pasoları DC+ kutupta gerçekleştirilmiştir. Dolgu pasolarında tel besleme hızı 280-400 IPM kapak pasolarında 250-350 IPM olarak gerçekleşmiştir. Kaynak işlemine ait değişkenler Çizelge 6.7’de verilmiştir.

Çizelge 6.7. Deneyde kullanılan parametreler

KATMAN	PASO	KAYNAK YÖNTEMİ	DOLGU TELİ VE ELEKTROD			GAZ AKIŞ HIZI (ortalama) (CFH)	AKIM TÜRÜ	KAYNAK YÖNTEMİ VE YÖNÜ	TEL BESLEME HIZI (Min-Max) (IPM)	VOLT (Min-Max)	AMPER (Min-Max)	KAYNAK HIZI (Min-Max) (mm/min)	ISI GİRİŞİ (KJ/mm) (ORT.)
			AWS ŞARTNAMESİ	AWS SINIFI	ÇAP (mm)								
1	KÖK (R)	ELEKTRİK ARK (SMAW)	A 5.1	E6010	3,25	N/A	DC -	5G PF	N/A	26 - 31	75 - 87	78 - 103	1,29 -
2	SICAK (H)	ELEKTRİK ARK (SMAW)	A 5.5	E9018-G-H4R	2,5	N/A	DC +	5G PF	N/A	24 - 25	78 - 95	76 - 98	1,23 -
3	DOLGU(F1)	ORBITAL-FCAW-GS(M300)	A 5.36	E91 T1-M21A6-K2	1,2	80	DC +	5G PF	280 - 400	25	211 - 212	174 - 187	1,76
4	DOLGU(F2)	ORBITAL-FCAW-GS(M300)	A 5.36	E91 T1-M21A6-K2	1,2	80	DC +	5G PF	280 - 400	25	193 - 210	159 - 168	1,87
5	DOLGU(F3)	ORBITAL-FCAW-GS(M300)	A 5.36	E91 T1-M21A6-K2	1,2	80	DC +	5G PF	280 - 400	25 - 26	207 - 212	155 - 174	1,95
	DOLGU(F4)	ORBITAL-FCAW-GS(M300)	A 5.36	E91 T1-M21A6-K2	1,2	80	DC +	5G PF	280 - 400	25	199 - 219	157 - 166	1,94
6	DOLGU(F5)	ORBITAL-FCAW-GS(M300)	A 5.36	E91 T1-M21A6-K2	1,2	80	DC +	5G PF	280 - 400	25 - 26	190 - 199	190 - 297	1,27
	DOLGU(F6)	ORBITAL-FCAW-GS(M300)	A 5.36	E91 T1-M21A6-K2	1,2	80	DC +	5G PF	280 - 400	25 - 26	193 - 203	187 - 192	1,62
7	KAPAK (C1)	ORBITAL-FCAW-GS(M300)	A 5.36	E91 T1-M21A6-K2	1,2	80	DC +	5G PF	250 - 350	24 - 25	186 - 210	133 - 158	1,98
	KAPAK (C2)	ORBITAL-FCAW-GS(M300)	A 5.36	E91 T1-M21A6-K2	1,2	80	DC +	5G PF	250 - 350	24 - 25	188 - 205	149 - 152	1,91

6.3. Radyografi Testi

Kaynak işlemi gerçekleştirilen boru malzemesi, mekanik testler öncesinde kaynak işleminin kalitesini belirlemek amacıyla, Emek Boru A.Ş'nin Ankara fabrikasında tahribatsız muayene yöntemlerinden radyografik test ile kontrol edilmiştir. Şekil 6.2'de radyografik teste ait şematik gösterim [28] verilmiştir. Radyografi testleri EN 1435 standardına uygun olarak yapılmış olup, testler konuyla ilgili EN 473 standardına göre radyografik test seviye 2 sertifikasına sahip nitelikli bir personel tarafından yapılmıştır. Kontrol işlemi sonunda uygunluğu onaylandıktan sonra, tahribatlı testlere hazırlanmak üzere numune hazırlama safhasına geçilmiştir.

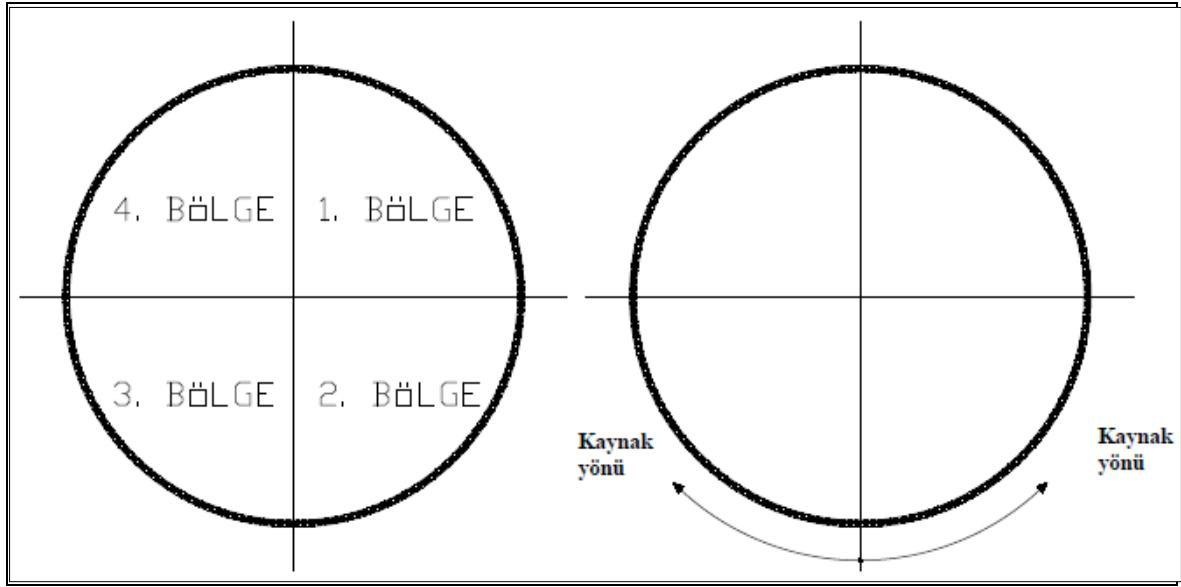


Şekil 6.2. X ışınıyla radyografik muayene

6.4. Numune Hazırlama

Numune hazırlama safhasında; API 1104 standartlarına uygun olarak, boru birleştirmelerinde kaynak pozisyonunun etkileri düşünülerek, numune 4 bölgeye ayrılmıştır. İncelemeler, kaynak yönüne göre saat pozisyonlarında değerlendirilmiş olup, her bir deney

parçasından alınan test sonuçları kendi içinde değerlendirilmek üzere bölgesel olarak incelenmiştir. Boru birleştirmelerinde incelenmesi planlanan bölgeler şematik olarak Şekil 6.3’de verilmiştir. Bu kapsamda standartta belirtildiği gibi 4 bölgeden, 80 adet numune alınarak mekanik testler için hazırlanmıştır. Toplamda 4 bölgede mekanik testler (çekme, çentik - darbe, eğme, kaynaklı kırılma, sertlik), makroyapısal (nüfuziyet ve ITAB profili) ve mikroyapısal (optik mikroskop görüntüleri) incelenmiş olup, yorumlamalar bölgeler baz alınarak kendi içerisinde değerlendirilerek yapılmıştır.



Şekil 6.3. Mekanik test ve mikroyapı numunesi alınan bölgelerin şematik gösterimi ve kaynak yönü

6.5. Makroyapı – Mikroyapı

Yapılan kaynaklı birleştirme işlemlerinden sonra makroyapı - mikroyapı görüntüleri almak için her bölgeden birer adet toplamda 4 adet numune alınmıştır. Bu numunelerin metalografik işlemleri için, numuneler sırasıyla 200, 400, 600, 800 ve 1200 gritlik zımparalarla zımparalanmış, daha sonra sırasıyla 6, 3 ve 1 μm 'lik keçeler ve uygun solüsyonlar ile parlatılmıştır. Parlatma işleminden sonra numuneler % 3 Nital (HNO_3) çözeltisiyle dağlanmıştır. Mikroyapı fotoğrafları Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği laboratuvarlarındaki LEICA marka ters optik mikroskop yardımıyla görüntülenmiştir. Mikroyapı numunelerinin fotoğrafı Resim 6.2’de verilmiştir



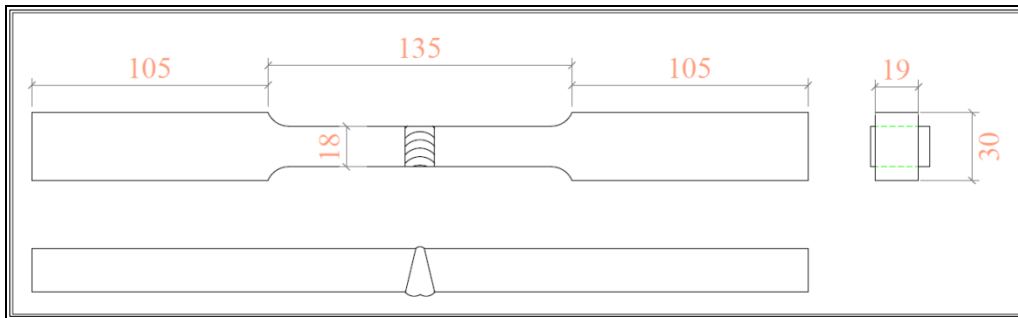
Resim 6.2. Mikroyapı numuneler

6.6. Mekanik Testler

Kaynaklı birleştirmelerin mekanik özelliklerini tespit etmek için birleştirmelerden alınan kaynaklı numunelere çekme, kaynaklı kırılma (nick-break), çentik – darbe ve eğme testleri kapsamında, standart test numuneleri hazırlanmıştır.

6.6.1. Çekme testleri

Çekme testi en yaygın kullanılan tahribatlı muayene yöntemlerinden biridir. Kaynaklı birleştirmelerde akma, çekme, kopma mukavemeti ile % uzama değerlerini bulmamızı sağlayan tek doğrultuda sabit hız ve sıcaklıkta numuneyi koparmak için uygulanan mekanik işlemdir. Numuneler ASTM E 8 standardına uygun olarak, ker bölgeden birer adet toplamda 4 adet numune Şekil 6.4’de gösterilen ölçülerde hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelerden örnek görüntü ise Resim 6.3’de verilmiştir. Çekme testleri Emek Boru Mak. San. ve Tic. A.Ş’nin Ankara Fabrikasında bulunan 600 kN çekme kapasitesine sahip Instron marka cihazda ISO EN 4136 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.4. Çekme testi numunesinin şematik gösterimi



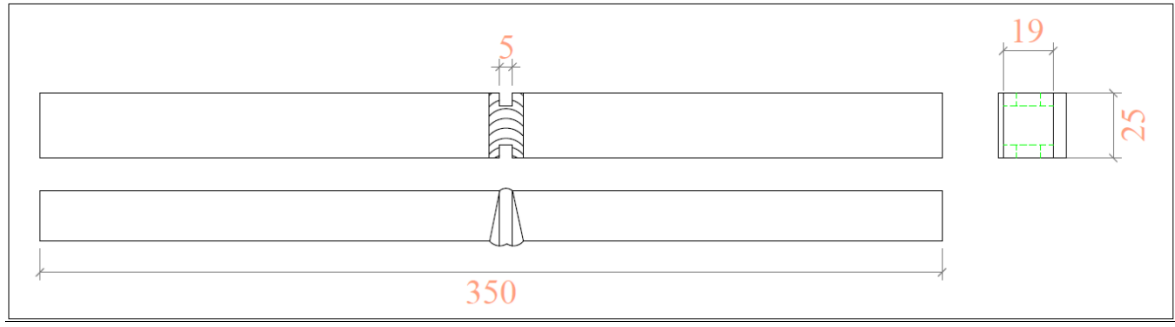
Resim 6.3. Çekme test numuneleri

6.6.2. Kaynaklı kırılma (nick break) testleri

Tahribatlı muayene yöntemlerinden biri olan kaynaklı kırılma testi kaynakta oluşabilecek gözenek, cüruf ve yetersiz ergime gibi hataların gözlenebilmesi ve kaynak metalinin mekanik özelliklerinin belirlenmesi için yapılmaktadır. Bu test için API 1104 standardına göre her bölgeden 1'er adet toplamda 4 adet alınan parçalar standarda uygun olarak Şekil 6.5'te verilen ölçülerde hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelerin örnek görüntüsü Resim 6.4'te verilmiştir. Kaynaklı kırılma (nick break) testleri çekme testlerinin gerçekleştirildiği cihazda gerçekleştirilmiştir.



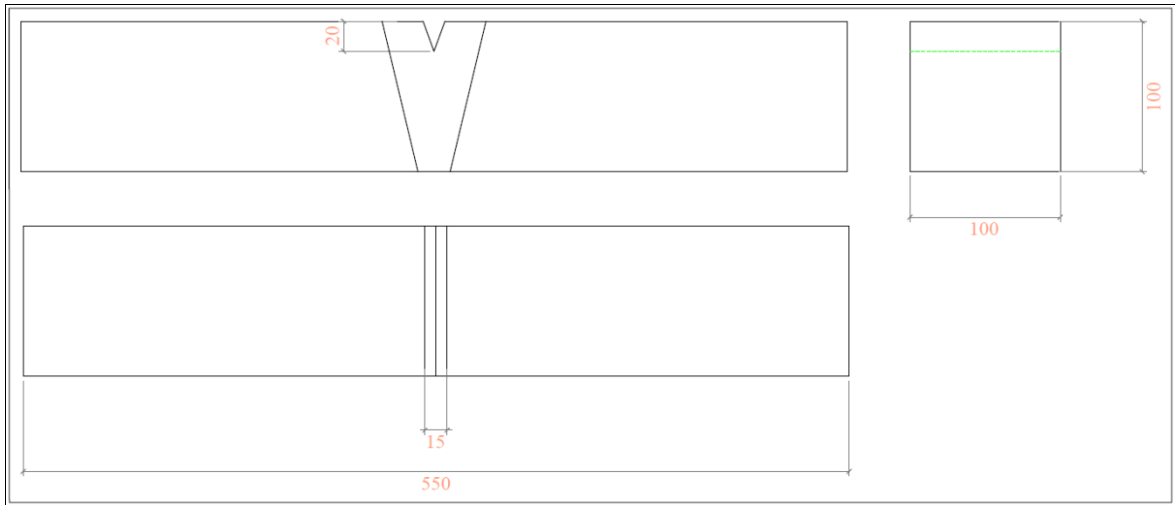
Resim 6.4. Kaynaklı kırılma (nick break) test numuneleri



Şekil 6.5. Kaynaklı kırılma (nick break) test numunesinin şematik gösterimi

6.6.3. Çentik – darbe testleri

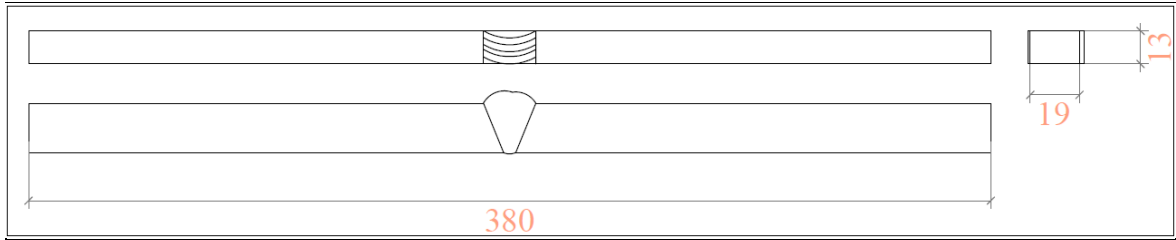
Çentik-darbe testlerinde ana malzemenin ve kaynak bölgesinin belirli bölgelerinin ani yüklere karşı dayanımını belirleyen darbe enerjilerine (tokluk) bakılmıştır. Çentik - darbe testleri TS EN ISO 148-1 standardına uygun olarak Emek Boru Mak. San. ve Tic. A.Ş'nin Ankara Fabrikasında gerçekleştirilmiştir. Bu test için her bölgeden 15 adet toplamda 60 adet alınan numuneler Charpy V metoduna uygun olarak hazırlanmıştır. Şekil 6.5'te şematik görünümü verilmiştir. Testler 450 Joule enerji ölçebilen ve çarpma hızı 5,23 m/sn olan Zwick marka cihaz ile gerçekleştirilmiştir. Kaynaklı birleştirilen numunelerin Charp V metoduna uygun olarak test için hazırlanmasında kaynak metalinin merkezine ve kaynağın kep tarafına olacak şekilde tek taraflı 90° “V” çentikler açılmıştır. Böylece kaynaklı birleştirmelerin darbe dayanımları belirlenmiştir. Çentik darbe testleri soğutma sıvısı içerisinde 0°C sıcaklıkta, ± 1 °C hassasiyette uygulanmıştır.



Şekil 6.6. Çentik - darbe test numunesinin şematik gösterimi

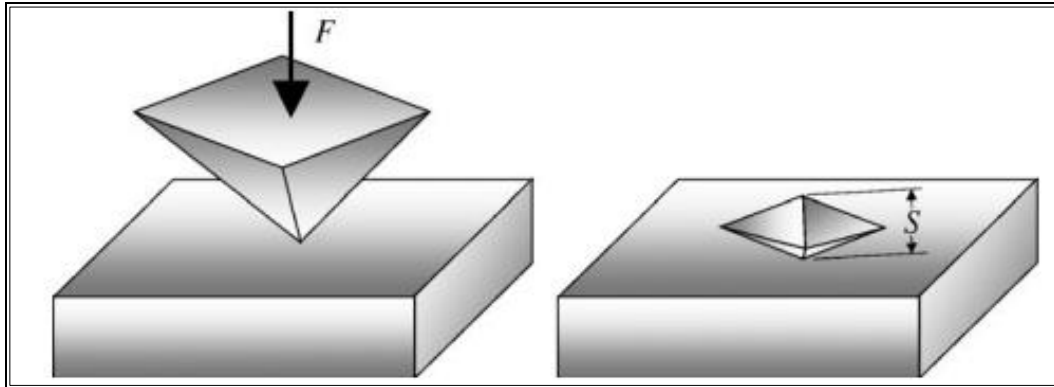
6.6.4. Eğme testleri

Eğme testinin amacı kaynak kabiliyetini ölçmek ve ana metal ile kaynak metali arasındaki bağlantıyı kontrol etmektir. Test numuneleri TS EN ISO 5173 standardına uygun olarak hazırlanmıştır. Standart gereği boru dış çapı 323 mm'den büyük olduğu için birleştirmelerden yan eğme numuneleri alınmıştır. Eğme testi her bölgeden ikişer toplamda 8 adet alınarak işlem gerçekleştirilmiştir. Eğme test numunelerinin şematik görüntüsü Şekil 6.7'de görülmektedir. Eğme testleri aynı firmanın çekme testlerinin gerçekleştiği Instron marka cihazda gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.7. Eğme test numunesinin şematik gösterimi

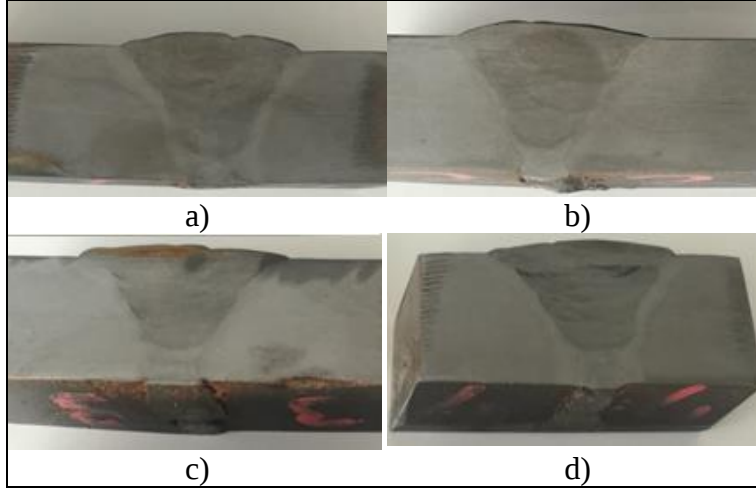
6.6.5. Makrosertlik incelemeleri



Şekil 6.8. Sertlik testi şematik gösterimi

Yapılan kaynaklı birleştirme işlemlerinden sonra sertlik değerlerini almak için numuneler alınmıştır. Sertlik testi Şekil.6.8'de [67] gösterildiği gibi numuneye uygulanacaktır. Sertlik uygulamaları boru imalatçıların kullandığı 10 kg'lık yük ile TS EN 9015-1 standardına uygun olarak Emek Boru Mak. San. ve Tic. A.Ş. Laboratuvarlarında Struers marka, Duramin A300 model, tam pnomatik, değişken yüke sahip, Vickers cinsinden ölçümler yapabilen

cihaz yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Her bölgeden birer adet toplamda 4 adet alınan mikroyapı ve makrosertlik numunelerinin fotoğrafı ise Resim 6.5'te verilmiştir.



Resim 6.5. Mikroyapı Makrosertlik numuneleri a)1.bölge, b) 2.bölge c) 3.bölge d) 4.bölge

7. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, doğalgaz dağıtım ve iletim hatlarında kullanılan API 5L X70M çelik boru malzemesi (bkz Çizelge 6.7) verilen parametrelere uygun olarak şantiye ortamında ve şartlarında mekanize sistemle birleştirilmiştir. Gerçekleştirilen birleştirme sonucunda elde edilen numuneler atölye ve laboratuvar ortamında çeşitli analiz ve testlere tabi tutularak, birleştirmelerin mekanik ve metalürjik özellikleri hakkında bilgi elde edinilmeye çalışılmıştır. Bu doğrultuda yapılan kaynak işlemleri sonucunda birleştirme numuneleri numune önce radyografi testine tabi tutulmuş akabinde kaynak işleminin uygunluğu teyit edilmiştir. Daha sonra numuneler mekanik ve metalografik testler için bölgelere ayrılarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda bölgesel olarak değerlendirilerek sırasıyla tartışılmıştır.

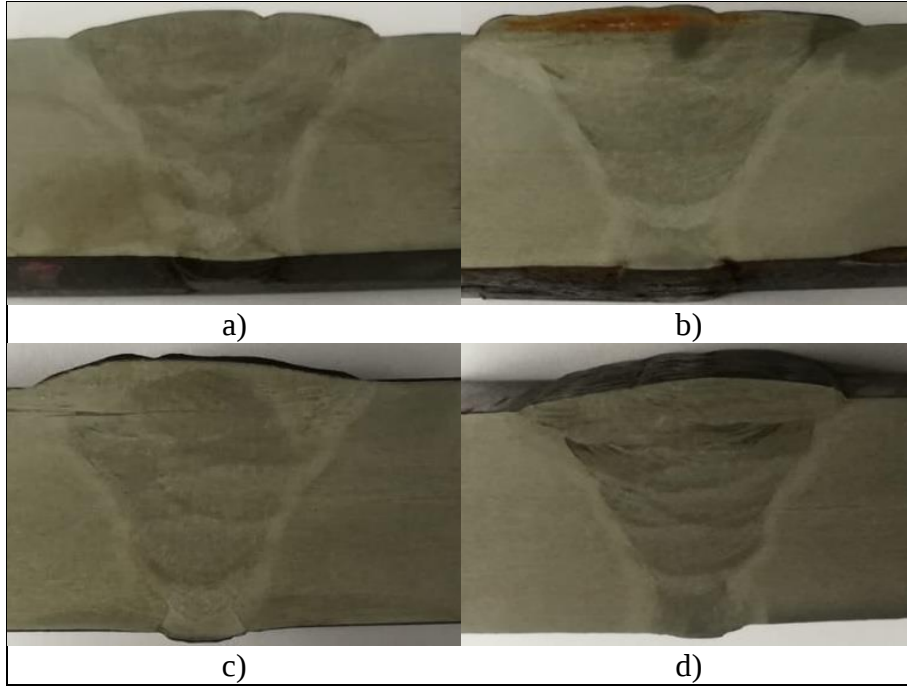
7.1. Radyografi Testlerinin Değerlendirilmesi

Testi gerçekleştirilen kaynaklı boru parçasının radyografik filmleri çekilmiş ve sonuçları incelenmiştir. Elde edilen görüntüler sayesinde kaynaklı birleştirmelerde, çatlak, gözenek, yetersiz nüfuziyet, kalıntı gibi hatalara rastlanılmamıştır. Bu sonuçlar ışığında numuneden tahribatlı testler, mikro ve makroyapı görüntüleri almak için diğer aşamalara geçilmiştir.

7.2. Makroyapı ve Mikroyapı Sonuçlarının Değerlendirilmesi

7.2.1. Makroyapı sonuçlarının değerlendirilmesi

Parametrelere uygun olarak birleştirilen(bkz Çizelge 7.7) API 5L X70M kalitesindeki borulardan alınan metalografik inceleme numunelerinin makroyapı görüntüleri Resim 7.1 verilmektedir. Görüntüler şematik olarak verilen (bkz Şekil 6.2) bölgelerden alınan metalografik inceleme numunelerinden elde edilmiştir.



Resim 7.1. Makroyapı resimleri a) 1. bölge, b) 2. bölge, c) 3. bölge ve d) 4. bölge

Resim 7.1’de verilen makroyapı Resimleri metalografi için hazırlanan numunelerden alınmıştır. Resimlerden de anlaşılacağı üzere makroyapı görüntüleri bize tam olarak ana malzeme, kaynak metali ve ITAB’ı göstermektedir. Kaynak metali merkezine doğru tane yapısının yönlendiği bu bölgelerdeki yoğunluğun Resimlerde de görülebileceği gibi artmasından anlaşılmaktadır. Makroyapı da herhangi bir gözenek, cüruf, yanma çentiği gibi hatalar görülmemiştir. 10 pasoda gerçekleşen kaynak işleminde pasoların görüntüsü daha net görülebilmektedir.

Yine makroyapı görüntülerinden ITAB genişliği belli olmakta ve bunun mikroyapı üzerindeki etkileri de değişmektedir. ITAB bölgesinin genişliği malzemeye giren ısı miktarına bağlıdır. Isı girdisi arttıkça ITAB genişlemekte ayrıca ısı girdisinin artması $\Delta t_{8/5}$ soğuma süresinin artmasına da neden olmaktadır. $\Delta t_{8/5}$ sıcaklığı yapıda 800°C ’den 500°C ’ye inme hızıdır. Buda yapıdaki asiküler ferrit oranını artırır, asiküler ferrit düşük alaşımlı çeliklerin kaynak metalindeki soğumaya bağlı değişimi olarak tanımlanır. Asiküler ferrit malzeminin tokluk ve dayanımını artırır. Dolayısı ile kaynak metali tane yapısını inceltir [5,70].

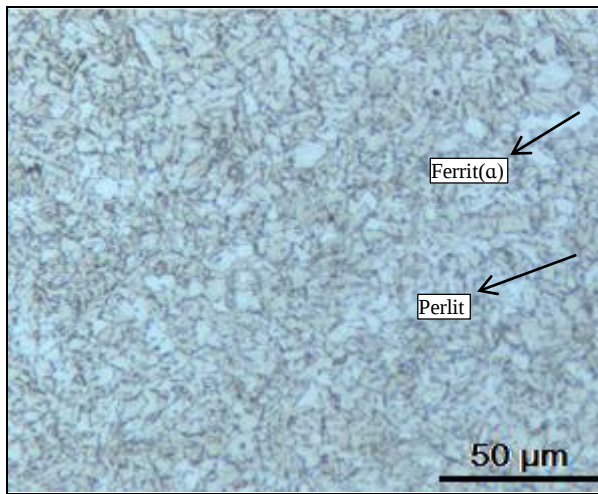
Makroyapı Resimlerinden anlaşılacağı üzere numune 1 ve 4’te görülen ITAB bölgesi daha dar iken 2 ve 3 numaralı numunelerde ITAB daha geniş olduğu görülmektedir. Bunun temel

nedeni kaynak yönünü dikkate alırsak 1 ve 4 numaralı bölgelerde ısı girdisi daha az iken 2 ve 3 numaralı numunelerde pozisyona bağlı olarak ısı girdisi daha fazladır.

Makroyapı Resimleri incelendiğinde ITAB ve kapsadığı alan gözle rahatlıkla görülmektedir. Kaynak sınırından ana metale kadar bu alan ısıdan etkilendiği oranda yapısal değişikliklere uğramıştır. Bu geçiş bölgesi kaynak sınırında yüksek ısı nedeniyle iri taneli iken ana malzemeye doğru uzaklaştıkça ısı etkisi düştüğünden tanelerin daha inceldiği mikroyapı Resimlerinde de görülmektedir. Yapısal değişimlerin çok net Şekilde görüldüğü bu bölge de ergime ve katılaşma yoktur. Katılaşmanın başladığı çizgiden ana metale kadar uzanan ve yapısal farklılıkların, geçiş bölgesi net bir Şekilde makro olarak görülebildiği bir yapıdır. Ana metal ve kaynak metali arasında ergime - katılaşma olmadan yüksek ısı etkisi ile yapısal olarak değişime uğrayan bu bölgeler makroyapı fotoğraflarından görülmektedir.

7.2.2. Mikroyapı sonuçlarının değerlendirilmesi

Uygun parametreler dâhilinde (bkz Çizelge 7.7) birleştirilen X70M kalitesindeki boruların kaynaklı bölgelerinden mikroyapı görüntüleri alınmıştır. Mikroyapı sonuçlarında ana malzeme ve boru numunesinin farklı bölgelerinden alınan kaynaklı numunelerin görüntüleri yorumlanmaya çalışılmıştır. Öncelikli olarak API 5L X70M ana malzemeye ait mikroyapı görüntüleri elde edilerek ana malzeme mikroyapısı yorumlanmıştır.

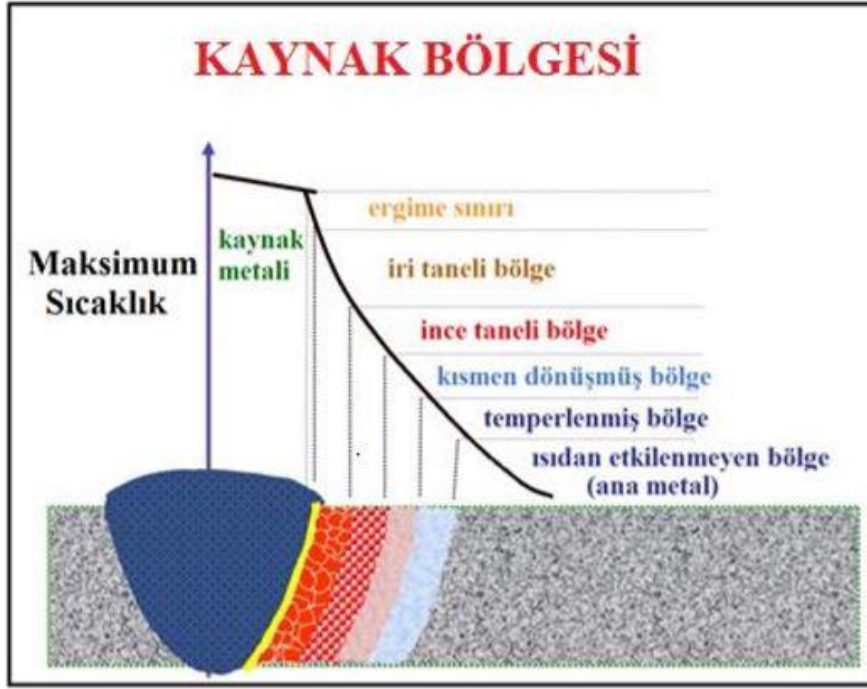


Resim 7.2. Ana malzemedan alınan mikroyapı görüntüsü

Resim 7.2’de ana malzemeye ait tane yapısının ince taneli eş eksenli tipik bir çelik mikroyapısına sahip olduğu görülmektedir. Ana malzemede oluşan yapılar α ferrit ve perlit fazıdır.

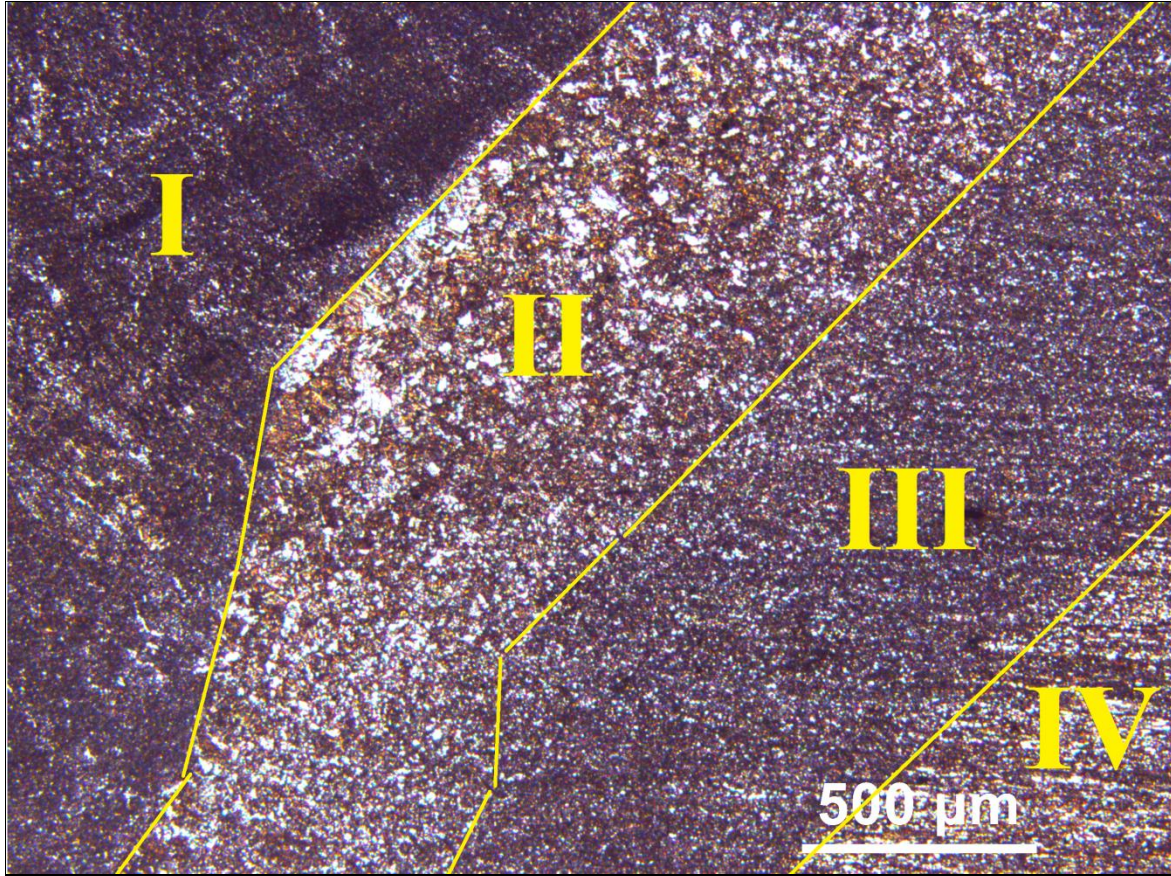
Ayrıca bu ince taneli yapıya etki eden literatürde özellikle belirtilen Nb, V, Ti gibi alaşım elementlerinin katılmasıdır. Nb, V, Ti gibi alaşım elementleri HSLA çeliklerinde hayati bir öneme sahiptir. Bahsedilen alaşım elementleri HSLA çeliklerinin düşük alaşımlı olmasına rağmen, yüksek mukavemet sergilemesini sağlayan ince taneli yapının oluşumunda oldukça etkilidir. Nb – V – Ti kombinasyonu tanelerin büyümesini ve irileşmesini engelleyen bir etkiye sahip olup, bu durumun malzemenin mekanik özelliklerinde çok tesirli olduğu bilinmektedir [5, 67, 68, 69].

Kaynak bölgeleri; genel olarak kaynak metali, ana malzeme ve kaynak metali ile ana malzeme arasında ısıdan etkilenen bölge olarak tanımlanan kısaca ITAB olarak belirtilen bölgeden oluşmaktadır. Kaynaklı birleştirmelerin mekanik özellikleri kaynakta ısının etkili olduğu kaynak metali ve ITAB bölgesindeki değişimlere bağlı olarak farklılık göstermektedir. Bu nedenle iyi bir kaynak işlemi için kaynak bölgesinde, ısının, sıcaklığın ve soğuma süresinin kontrolü önem arz etmektedir. Isının tesiri altındaki bölge; kritik sıcaklık olan A3 sıcaklığının üzerine kadar ısınan bölgeyi kapsamaktadır. Birleşimden sonraki mikroyapıya etki eden faktörlerin ise malzeme kalınlığı, kimyasal bileşim ve ısı girişine bağlı olarak değişmekte olduğu belirtilmiştir [70, 71,72].



Şekil 7.1. Kaynaklı birleştirmelerde ısıdan etkilenen bölge

Şekil 7.1’de [73] gösterildiği gibi ısıdan etkilenen bölge çok geniş bir alanı kapsamaktadır. Bu bölgeleri incelediğimizde en yüksek sıcaklığın kaynak metalinde olduğu, bu bölgeden uzaklaştıkça sıcaklığın ana malzemeye doğru gittikçe azaldığı görülmektedir. Buradan da anlaşılabileceği üzere sıcaklığın en düşük olduğu nokta ana metalin olduğu kaynağa en uzak noktalardır.



Resim 7.3. Mikroyapı görünütüsü 500 büyütme I)Kaynak metali, II) İri taneli bölge, III) İnce taneli bölge kısmen dönüşmüş ve dönüşüme uğrammış bölge, IV) Ana malzeme

Kaynaklı birleştirmelerde ısının etkisinden dolayı mikroyapılarda oluşan farklılıklar optik mikroskopta 50 büyütme ile çekilen Resim 7.3’de gösterildiği gibi bariz şekilde ayrılmaktadır. Yine aynı Resimde bu farklılıkların oluşturduğu bölgelerde belirtilmiştir. Bu mikroyapı farkları ısının tesiri altındaki bölgeyi; iri taneli bölge, ince taneli bölge, kısmen dönüşmüş bölge, temperlenmiş bölge ve ısıdan etkilenmeyen bölge olarak bölümlere ayrılır. Buna göre kaynaklı yapılarda birleşim bölgelerinden etkilenen ve etkilenmeyen yerleri değerlendirdiğimizde karşımıza 4 farklı kaynak bölgesi çıkmaktadır.

Resim 7.3’de gösterilen I numara; kaynak metalini, II numara; iri taneli bölgeyi, III numara; İnce taneli bölge kısmen dönüşmüş ve dönüşüme uğramamış bölgeyi ve IV numara; ana malzemeyi göstermektedir. Bu bölgeler incelendiğinde;

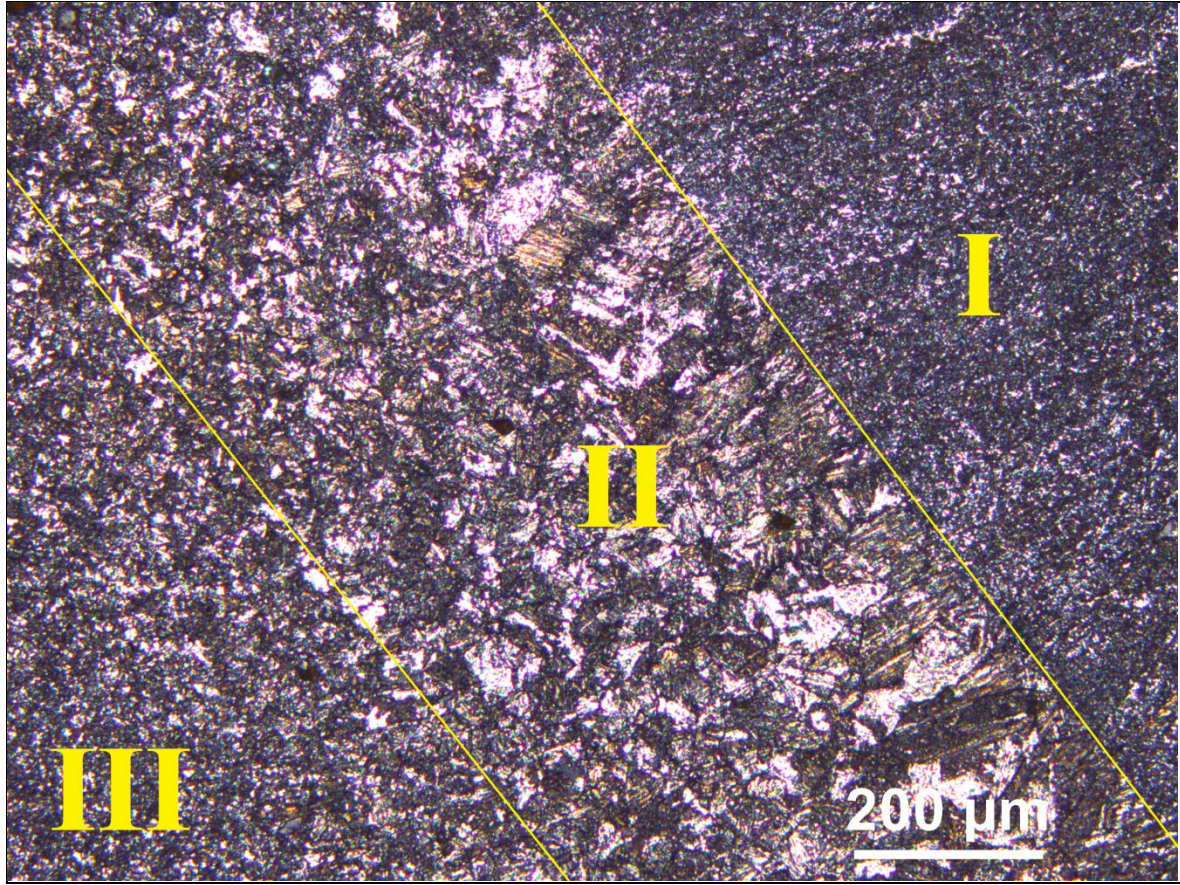
I numara ile belirtilen bölge kaynak metali yapı itibariyle dentritik ve ince tanelidir. Bunun temelinde yoğun ısı girişinden sonra ani soğumadan kaynaklı mikroyapıdaki fazlardan olduğu düşünülmektedir. Bu ani ısı değişiminden kaynaklı oluşan fazlara asiküler ferrit denir. Bu

fazların yoğunluğu da ince taneli yapı oluşumunda neden olmaktadır. Resim 7.3'den de görüleceği gibi I numaralı kaynak metalinin oluşturduğu bölge yoğun ısı sirkülasyonu ve türbülansından dolayı ince taneli ısı akışı yönün ters yönde de yönelmiş tanelerden oluşmaktadır.

II numara ile belirtilen iri taneli bölge kaynak metaline komşu olan ve çelik malzemelerde sıcaklığın 1100-1450°C'nin arasında olduğu bölgedir. Bu bölgede taneler sıcaklığın etkisiyle birbiriyle birleşerek büyürler. Böylece iri taneli yapı oluşur. Kaynak metalinden uzaklaştıkça sıcaklıkta düştüğünden iri taneler azalır ve ince taneli yapıya geçiş başlar. Çelik yapı özelliğinden dolayı 1100°C'nin üstünde çok ergitme kapasitesine sahipken bu sıcaklığın altında ergitme kapasitesi düşer. Burada; çelik içinde bulunan alaşım elementlerinin bu sıcaklığın altında tane sınırlarında toparlanma, ayrışma ve çökmeye çalışması etkilidir. Bundan dolayı taneler büyüyemez ve ince taneli yapı oluşumu gerçekleşir. Kaba taneli yapının bir diğer özelliği martensit oluşumunun yüksek olmasıdır. Buda sertliğin yükselmesine neden olmaktadır. Bundan dolayı iri taneli bölge birleştirmenin en zayıf olduğu noktadır. Korozyon ve çatlak oluşumu için en zayıf bölge burasıdır [5, 68]. Resim 7.3'de kaynak işlemi esnasında oluşan yüksek ısı nedeniyle, kaynak metali sınırlarında daha iri olarak tanelerin oluştuğu Resimden görülmektedir. Ayrıca ergime sınırından (fusion line) uzaklaştıkça tane irileşmesinin azaldığı da görülmektedir. Optik mikroskopta çekilen Resimlerden de anlaşılacağı gibi bu bölgede kendini net şekilde göstermektedir.

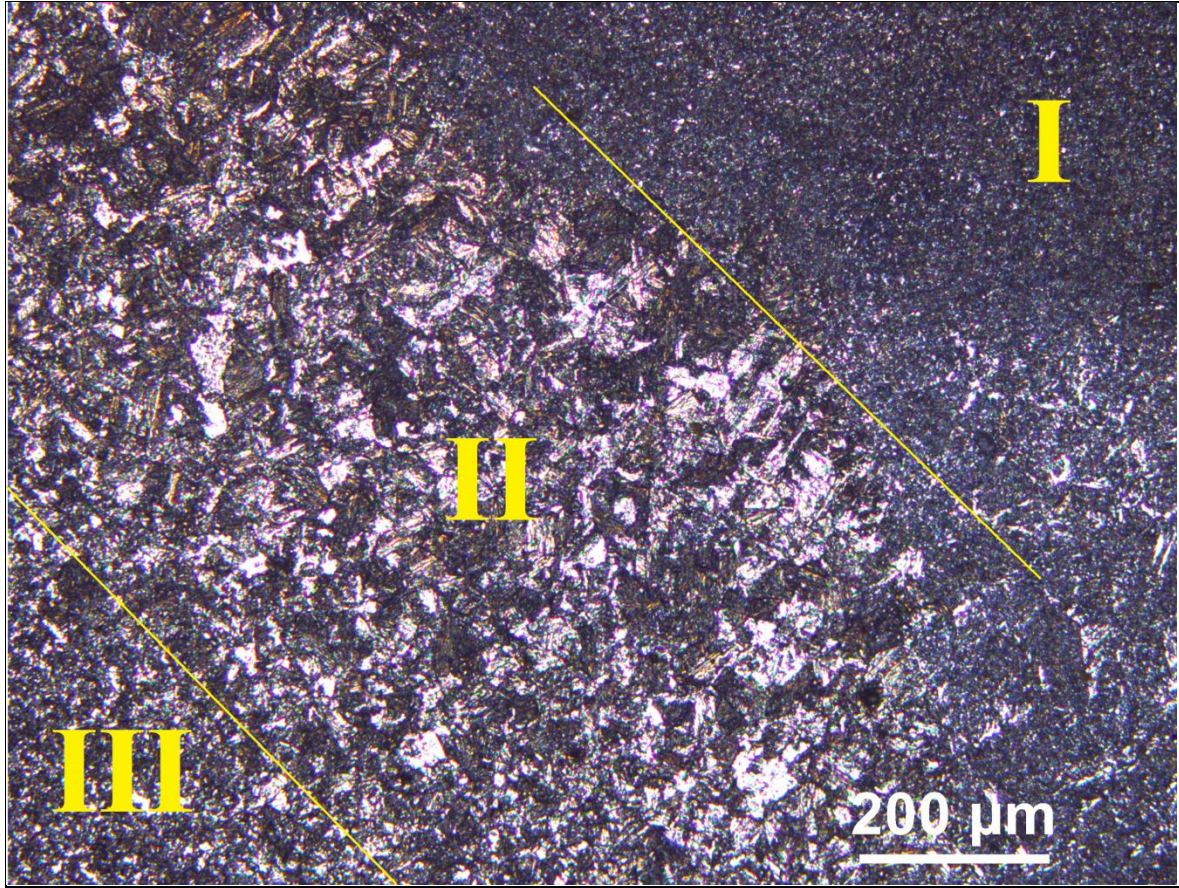
III numara ile gösterilen ince taneli bölge 900-1100°C sıcaklıklar arasında kalan alandır. Bu bölgede ferrit ve perlit taneleri kısmen veya tamamen östenite dönüşmüşlerdir. Oluşan bu östenit taneleri büyümeye yeterli zamanı ve sıcaklığı bulamadığı için kısmen de diğer alaşım elementlerinin de yardımıyla ince taneli olarak kalmışlardır. Bu bölgede martensit oranının az olması nedeniyle yapıdaki sertlik oranı da azdır. Bu da ince taneli bölgeyi mekanik özelliklerin kısmen daha iyi olduğu bir bölge olarak karşımıza çıkarmaktadır. ITAB içinde kalan diğer iki bölge olan kısmen dönüşmüş ve temperlenmiş bölge kritik sıcaklık olan 723°C'nin altında kaldığından etkisi de azdır [5, 68].

IV numara ile gösterilen 723°C altındaki bölge olan ana malzeme tipik düşük karbonlu yüksek alaşımlı çelik özelliklerinden olan ince taneli yapıya sahiptir.



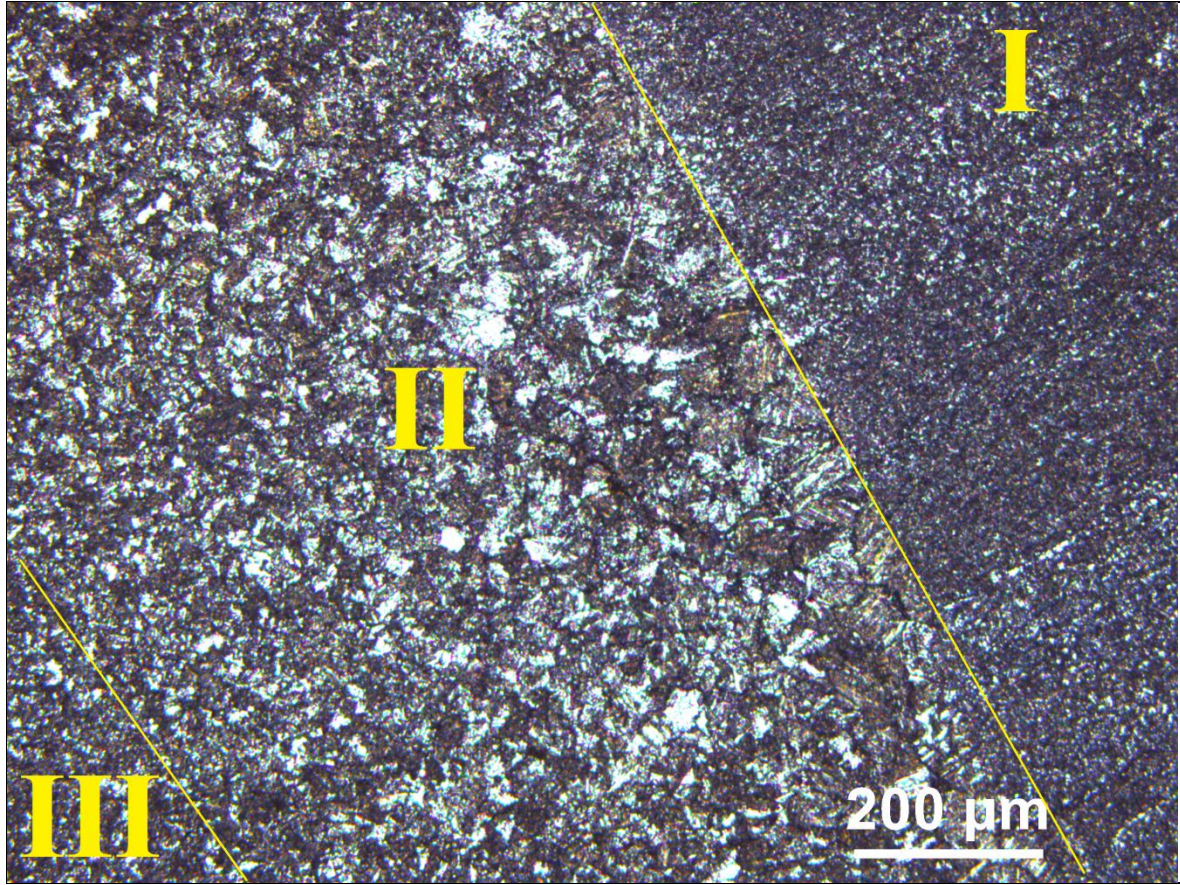
Resim 7.4. 1 numaralı bölgeden alınan kaynaklı birleştirme mikroyapı görüntüsü (100 büyütme) I)Kaynak metali, II) İri taneli bölge, III) İnce taneli bölge

Resim 7.4’de kaynaklı birleştirmenin 1 numaralı bölgesinden alınan mikroyapı görüntüsünü göstermektedir. Resim 7.4 incelendiğinde tipik kaynaklı mikroyapı görüntüleri ile karşılaşırız. Mikroyapı görüntüleri incelendiğinde kaynak sınırı boyunca ITAB’(II) yönlenmiş taneler görülürken, ana malzemeye doğru gittikçe önce iri taneler ve ince taneye doğru geçiş açık şekilde kendini göstermektedir. Optik mikroskop ile alınan görüntü 1 numaralı bölge numunesinin görüntüsünü içermektedir. Kaynak yönü bu bölgede (bkz Şekil 6.2) gösterildiği gibi dik pozisyondan alın pozisyonuna doğru olduğundan dolayı ısı girdisi nispeten 2 ve 3 numaralı bölgelere göre daha azdır. Kaynak pozisyonu saat yönünü tersine olarak(CCW) 3.00’dan 12.00’a doğrudur. Bundan dolayıdır ki ısı girdisinin az olması sebebiyle II ile gösterilen iri taneli bölge 2 ve 3 numaralı bölgelerden alınan örneklerle göre daha dar kalmıştır. 4 numaralı numuneyle benzer özellikler sergilemektedir.



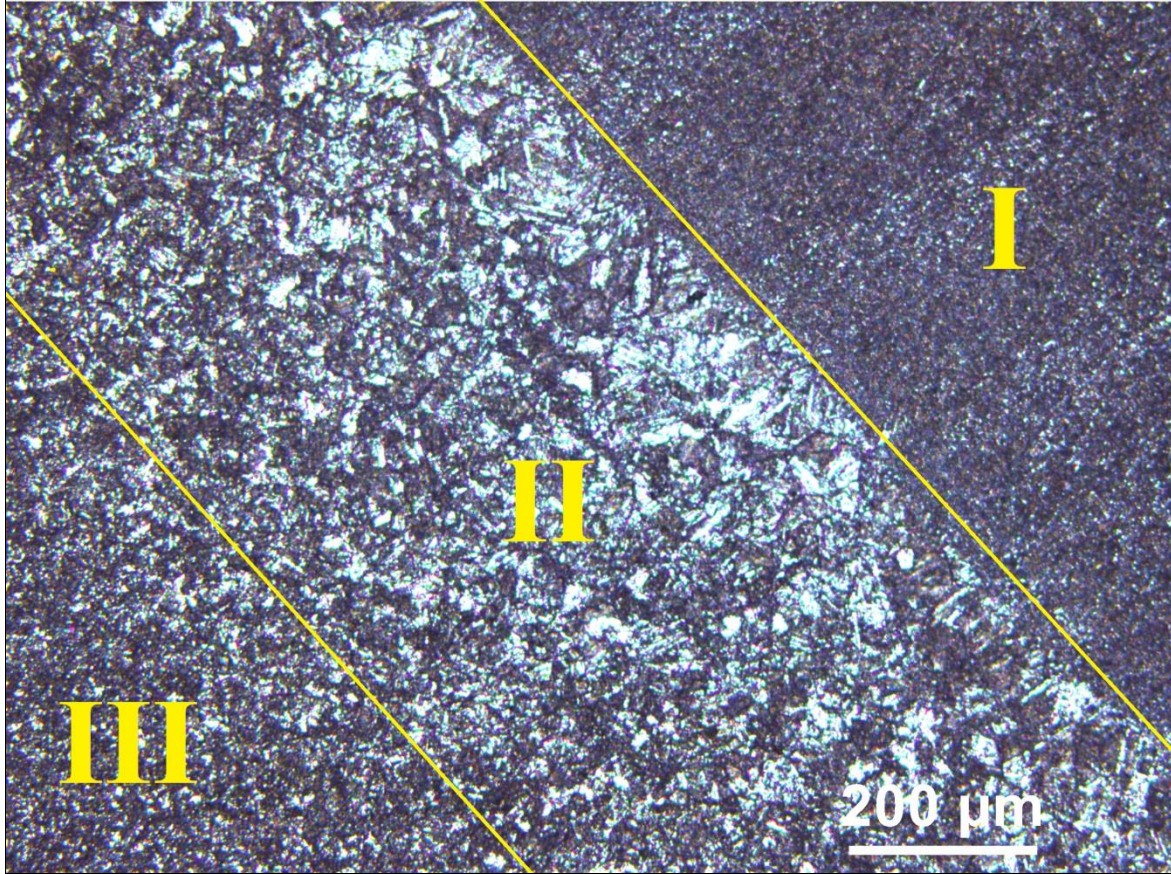
Resim 7.5. 2 numaralı bölgeden alınan kaynaklı birleştirme mikroyapı görüntüsü (100 büyütme) I)Kaynak metali, II) İri taneli bölge, III) İnce taneli bölge

İkinci bölgeden alınan kaynaklı birleştirme mikroyapı görüntüsü Resim 7.5 'de verilmiştir. Resim 7.5 incelendiğinde tipik kaynaklı yapı mikroyapı görüntüleri ile karşılaşırız. Mikroyapı görüntüleri incelendiğinde kaynak sınırı boyunca yönlenmiş iğnemsî taneler görülürken kaynak sınırından uzaklaşarak ana malzeme tarafına doğru gidildikçe önce iri taneli bölgeleri ve sonrasında bu tanelerin giderek incelerek eş eksenli ince taneli bölgeleri görebiliyoruz. Kaynak yönü bu bölgede (bkz Şekil 6.2) gösterildiği gibi tavan pozisyonundan dik pozisyona doğru olduğundan dolayı ısı girdisi 1 ve 4 numaralı bölgelere göre daha fazladır. Kaynak pozisyonu saat yönünün tersine olarak(CCW) 06.00'dan 03.00'e doğrudur. Bu yönde ısı girdisi yoğun olduğundan dolayı iri taneli bölge 1 ve 4 numaralı bölgelerden alınan numunelere göre daha geniş bir alanda görülmektedir.



Resim 7.6. 3 numaralı bölgeden alınan kaynaklı birleştirme mikroyapı görüntüsü (100 büyütme) I)Kaynak metali, II) İri taneli bölge, III) İnce taneli bölge

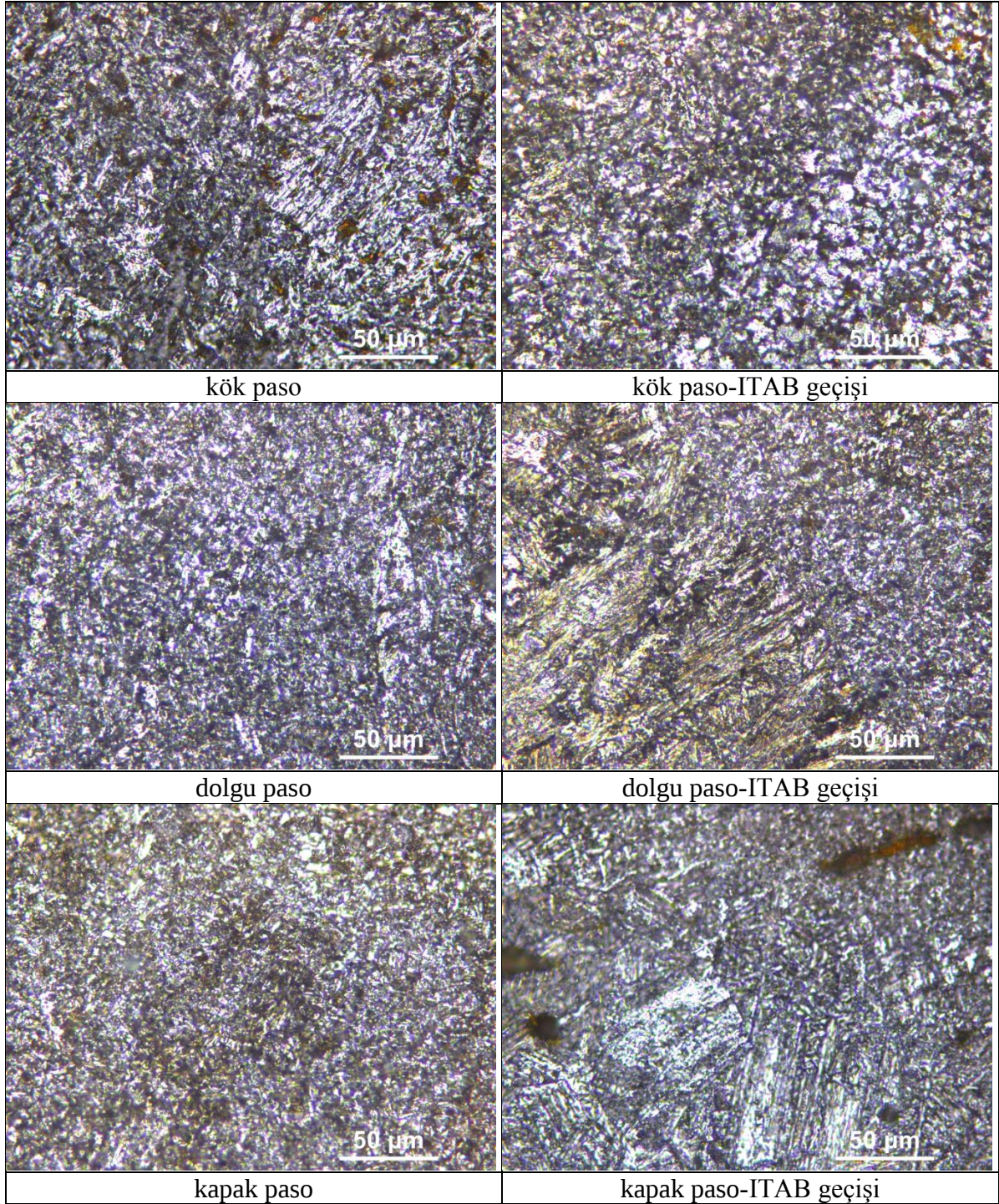
Üçüncü bölgeden alınan kaynaklı birleştirme mikroyapı görüntüsü Resim 7.6'da verilmiştir. Resim 7.6 incelendiğinde tipik kaynaklı yapı mikroyapı görüntülerini görürüz. Mikroyapı görüntüsü incelendiğinde kaynak sınırı boyunca ITAB'da yönlenmiş yapı bariz şekilde görülmektedir. Ayrıca ITAB'dan ana malzemeye doğru gidildikçe kaynak sınırında belirgin olan yönlenmiş tanların yerini önce iri taneli bölgeler sonrasında ise ince taneli bölgeler almaktadır. Kaynak yönü bu bölgede (bkz Şekil 6.2) gösterildiği gibi tavan pozisyonundan dik pozisyona doğru olduğundan dolayı ısı girdisi 1 ve 4 numaralı bölgelere göre fazladır. Kaynak pozisyonu saat yönünde(CC) 06:00'dan 09:00'a doğrudur. Bu yönde ısı girdisi 2 numaralı numunedeki gibi yoğun olduğundan dolayı iri taneli bölge daha geniş bir alanda görülmektedir.



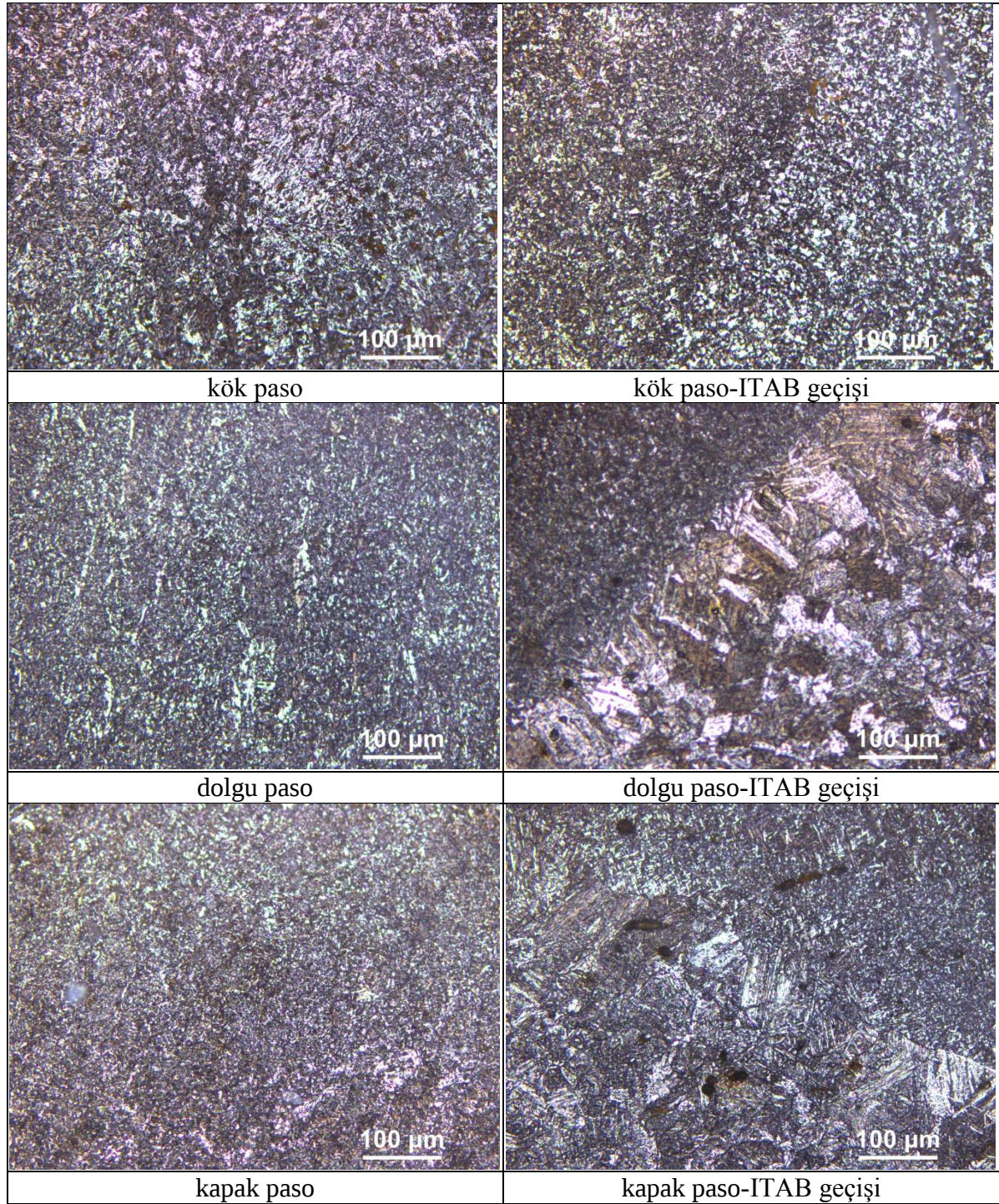
Resim 7.7. 4 numaralı bölgeden alınan kaynaklı birleştirme mikroyapı görüntüsü (100 büyütme) I)Kaynak metali, II) İri taneli bölge, III) İnce taneli bölge

Dördüncü bölgeden alınan kaynaklı birleştirme mikroyapı görüntüsü Resim 7.7’de verilmiştir. Resim 7.7 incelendiğinde tipik kaynaklı yapı mikroyapı görüntüleri ile karşılaşırız. 4 numaralı bölge numunesinin görüntüsünü içermektedir. Mikroyapı görüntüsü incelendiğinde kaynak sınırı boyunca ana malzeme tarafında yönlenmiş bir hat şeklinde yapı görünürken kaynak sınırından uzaklaşıp ana malzemeye yaklaştıkça önce iri taneler sonra ise gittikçe küçülerek ince taneli yapıya geçiş görülmektedir. Kaynak yönü bu bölgede (bkz Şekil 6.2) gösterildiği gibi dik pozisyondan alın pozisyonuna doğru olduğundan dolayı ısı girdisi nispeten 2 ve 3 numaralı bölgelere göre daha azdır. Kaynak pozisyonu saat yönünde(CC) 09.00’dan 12.00’ye doğrudur. Bundan dolayıdır ki ısı girdisinin az olması sebebiyle II ile gösterilen iri taneli bölge daha dar kalmıştır. Bu yapı aynı pozisyonda kaynatılan 1 numaralı numune mikroyapısına da benzemektedir. Buradan da anlaşılabacağı gibi ısı girdisi ITAB’da önemli değişikliklere yol açmaktadır. Bu da mikroyapı değişiklikleri sonucunda diğer mekanik özellikleri de ileride yapılan testlerden de anlaşılabacağı üzere önemli ölçüde değiştirmektedir.

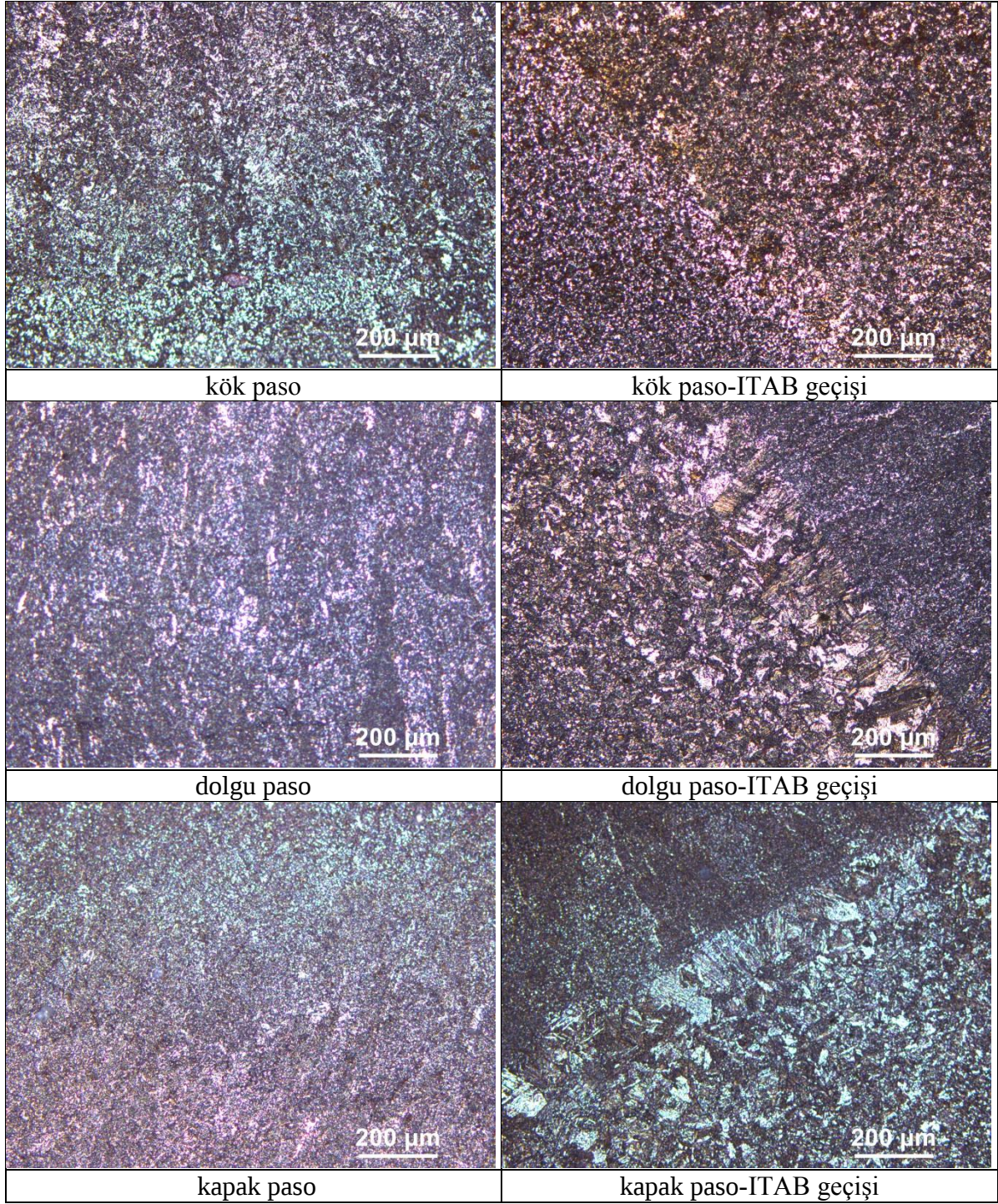
Yapılan kaynaklı birleştirmeye ait 4 numuneden mikroyapı görüntüleri alınmıştır. Mikroyapı görüntüleri paso ve paso-ITAB geçişleri adıyla 100, 200 ve 500 büyütmeyle Şekil.7.8 ile 7.19 arasında verilmiştir.



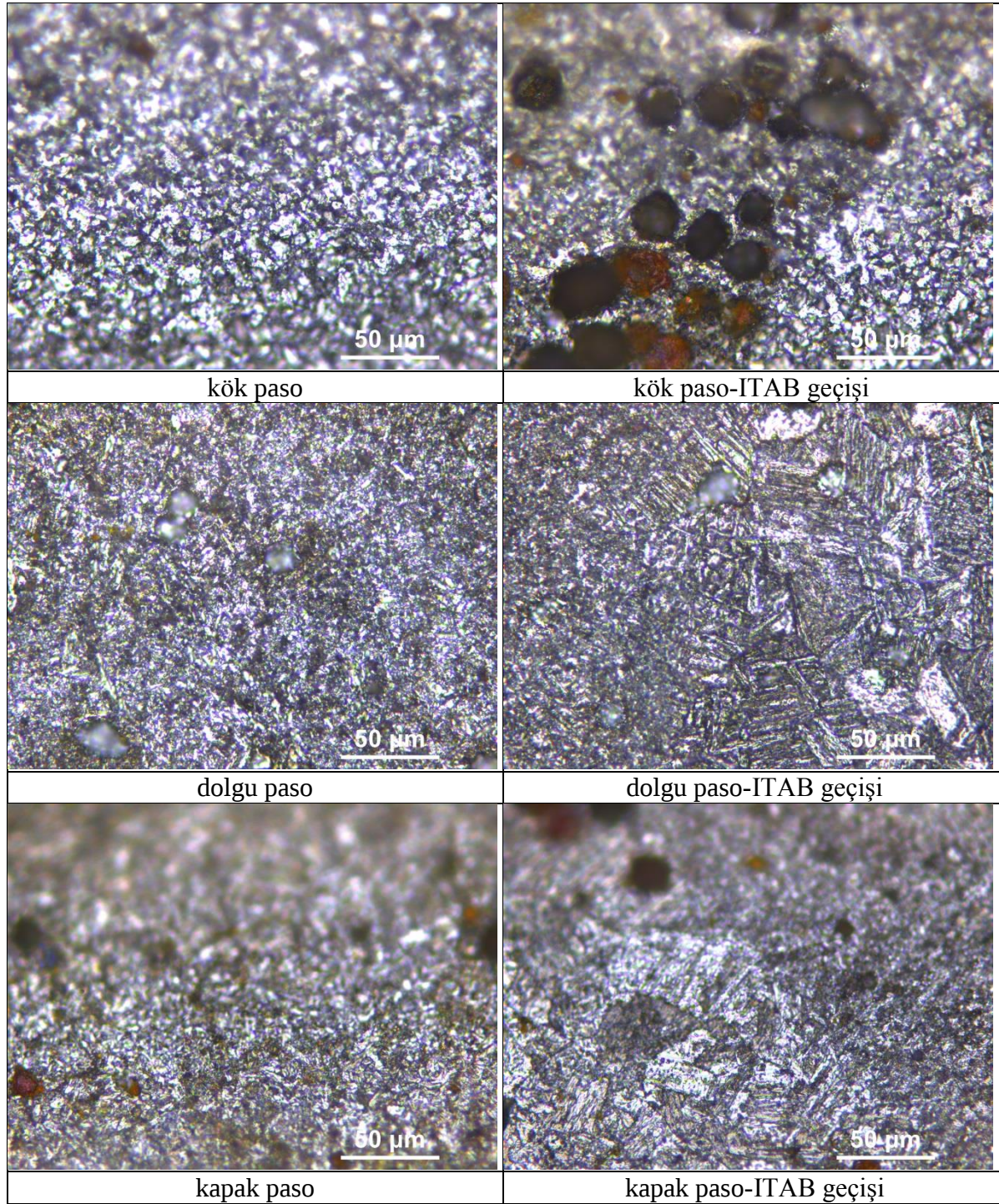
Resim 7.8. 1. bölgeden alınan 500 büyütme mikroyapı görüntüleri



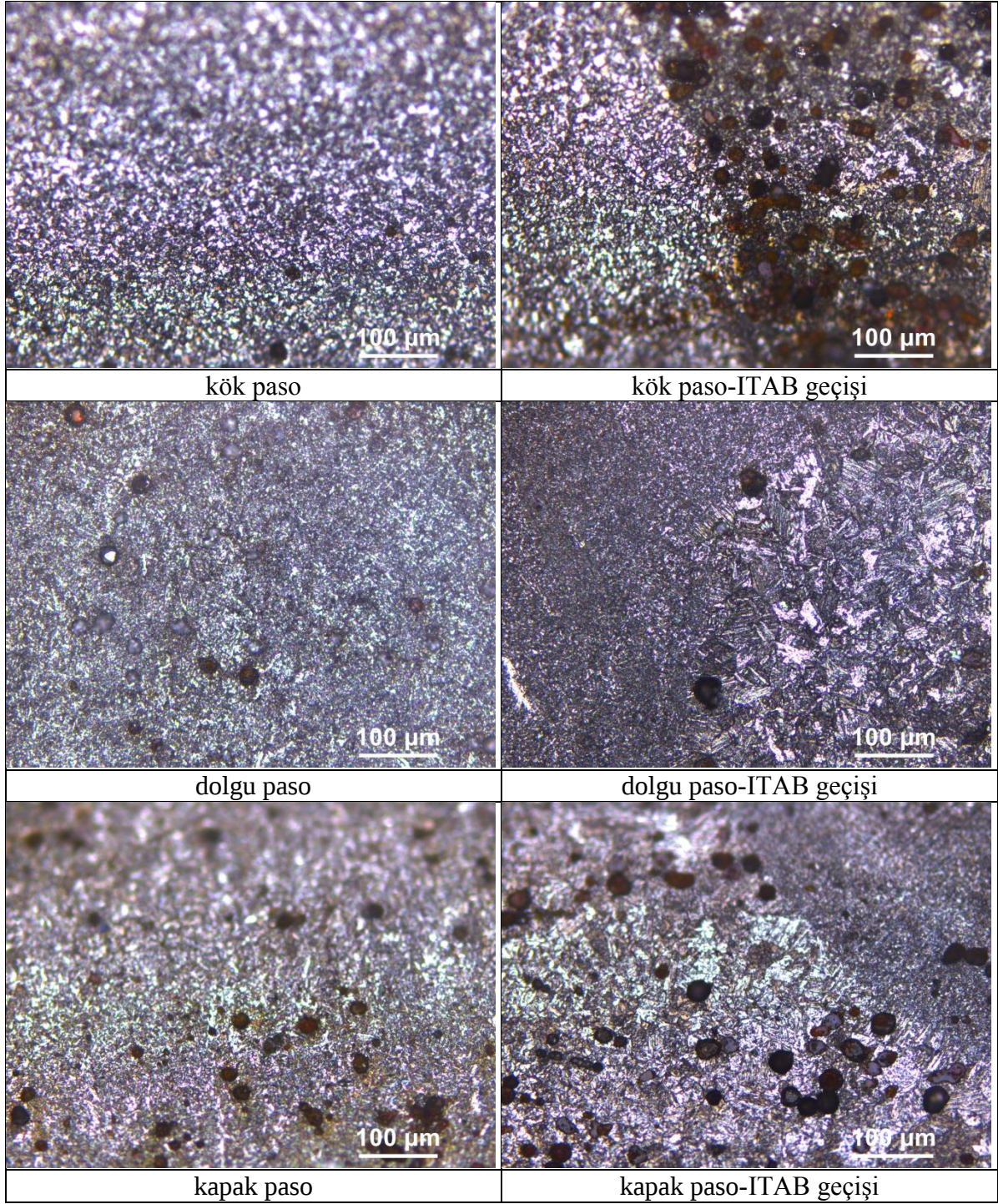
Resim 7.9. 1. bölgeden alınan 200 büyütme mikroyapı görüntüleri



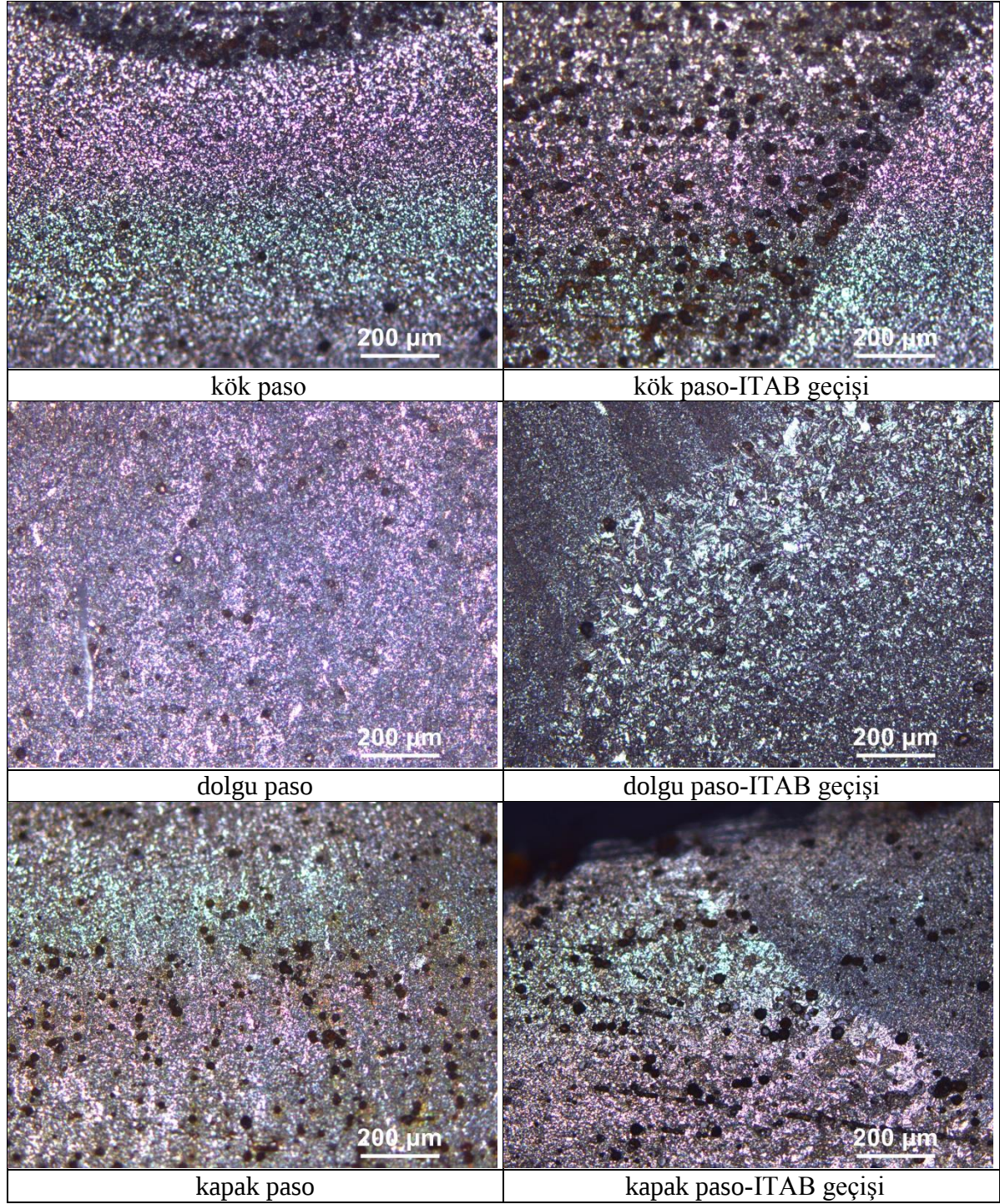
Resim 7.10. 1. bölgeden alınan 100 büyütme mikroyapı görüntüleri



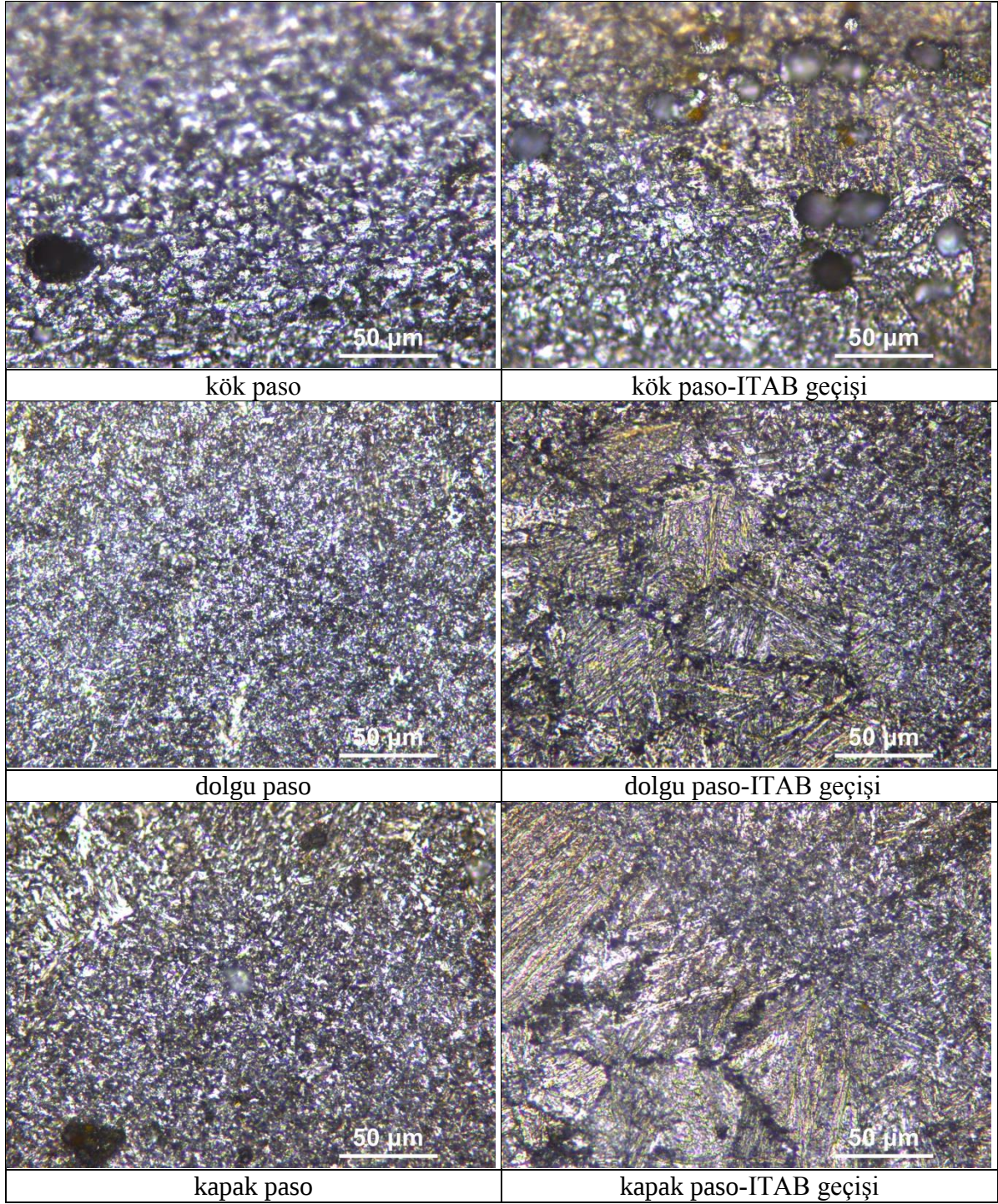
Resim 7.11. 2. bölgeden alınan 500 büyütme mikroyapı görüntüleri



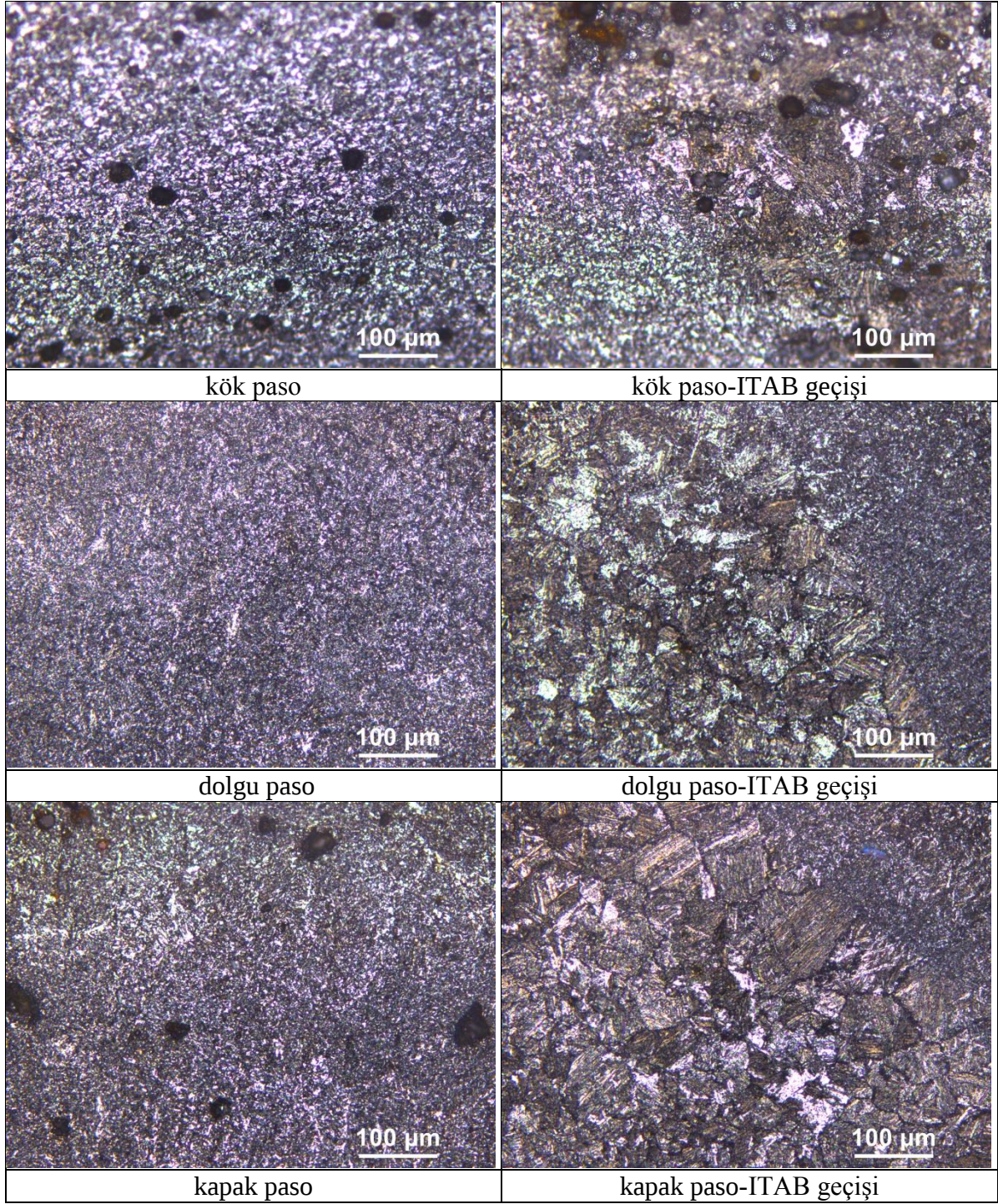
Resim 7.12. 2. bölgeden alınan 200 büyütme mikroyapı görüntüleri



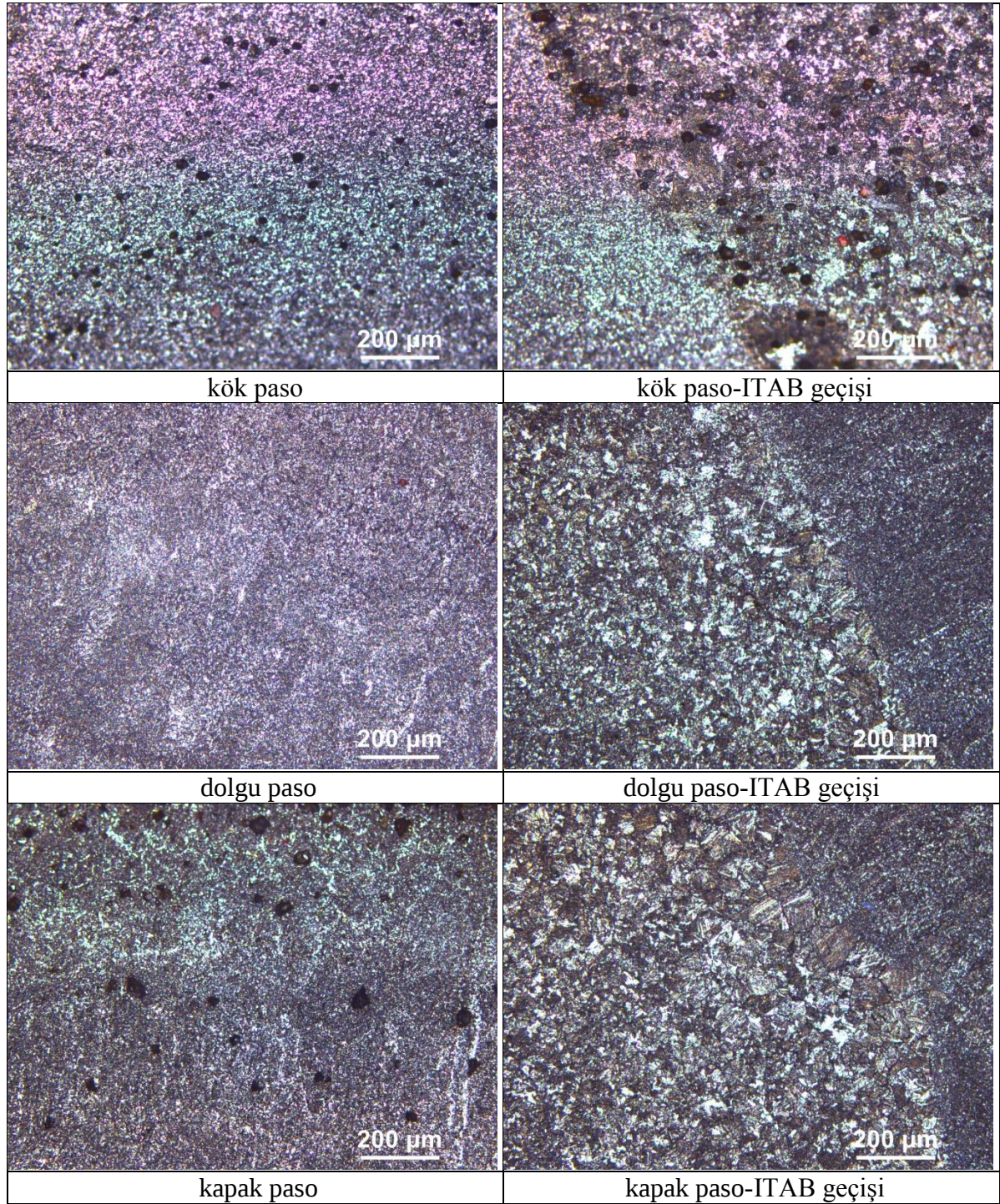
Resim 7.13. 2. bölgeden alınan 100 büyütme mikroyapı görüntüleri



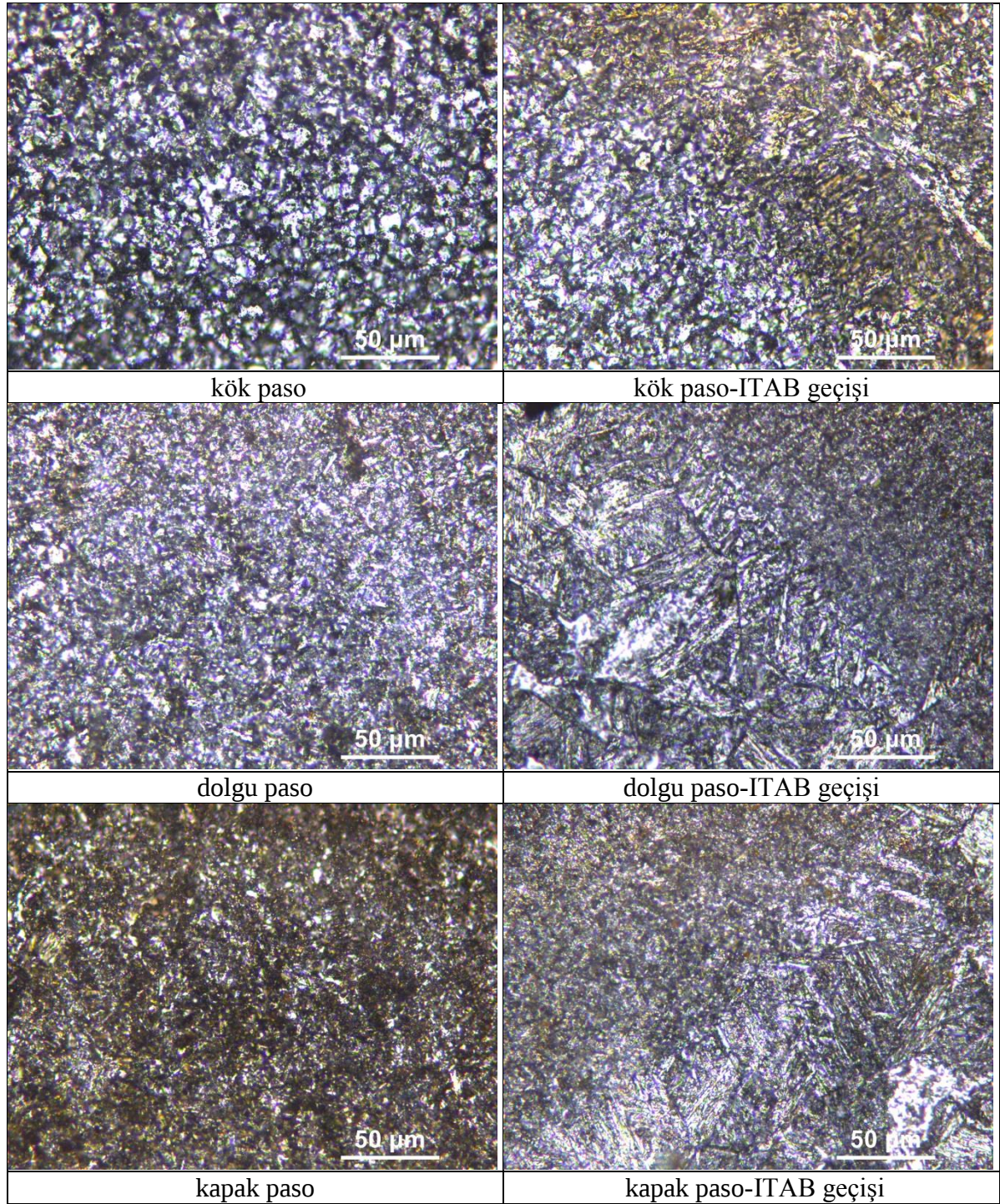
Resim 7.14. 3. bölgeden alınan 500 büyütme mikroyapı görüntüleri



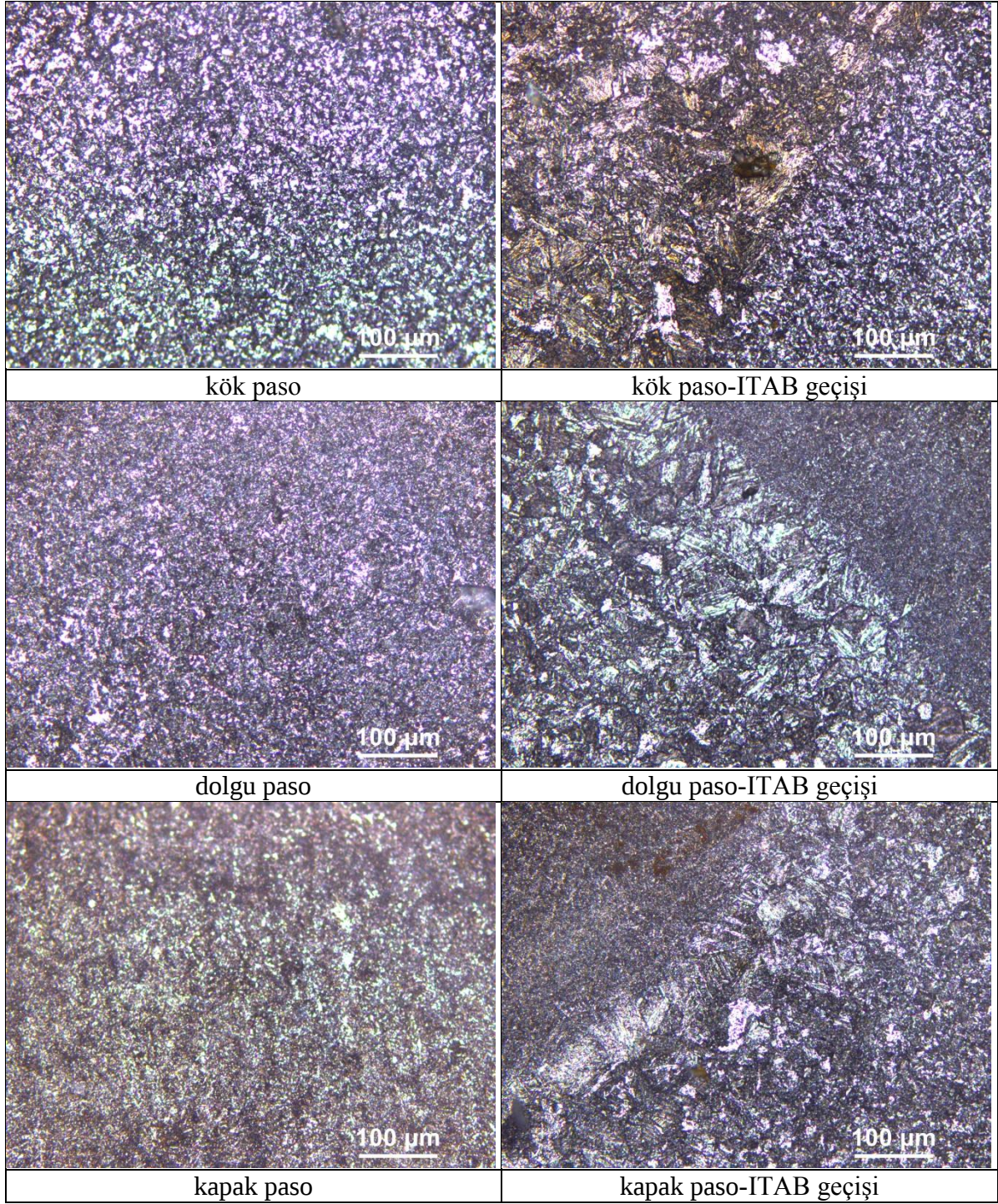
Resim 7.15. 3. bölgeden alınan 200 büyütme mikroyapı görüntüleri



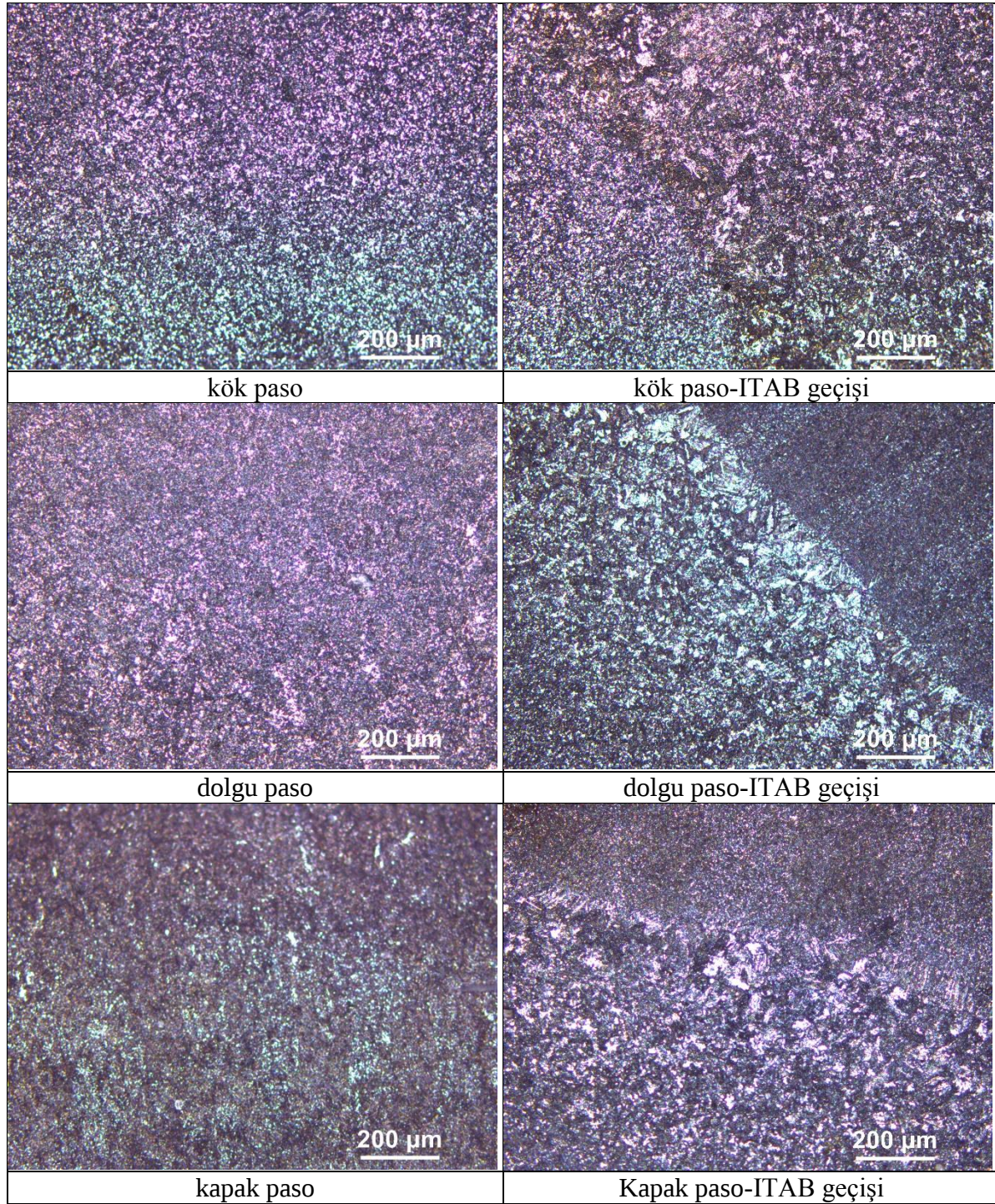
Resim 7.16. 3. bölgeden alınan 100 büyütme mikroyapı görüntüleri



Resim 7.17. 4. bölgeden alınan 500 büyütme mikroyapı görüntüleri



Resim 7.18. 4. bölgeden alınan 200 büyütme mikroyapı görüntüleri



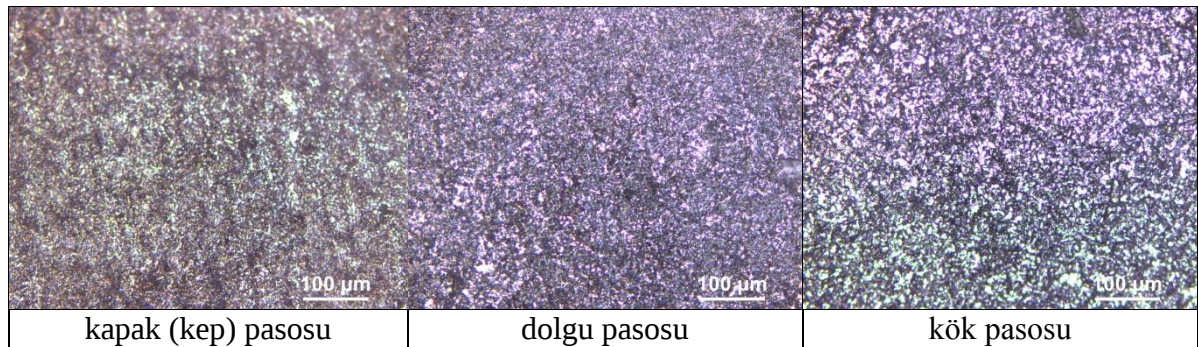
Resim 7.19. 4. bölgeden alınan 100 büyütme mikroyapı görüntüleri

7.2.3. Mikroyapı görüntülerinin genel değerlendirmesi

Resim 7.4–7.7’de verilen mikroyapı görüntüleri genel olarak değerlendirilip, yorumlandığında aşağıdaki sonuçlar ortaya çıkmaktadır.

Fotoğraflarda kaynak metali, iri taneli bölge ve ince taneli bölgenin bir kısmı görülmekte olup, kaynak pozisyonuna bağlı olarak oluşan ısı girdisinin fotoğraflarda eksiksiz tamamı görülen ve iri taneli olarak adlandırılan bölgenin genişliğine etki ettiği görülmektedir. Kaynak pozisyonuna bağlı olarak aşağıdan yukarıya kaynak pozisyonunu temsil eden bir mekanizma ile gerçekleşen kaynak işlemleri nedeniyle 2 ve 3 numaralı bölgelerde tavan kaynağı pozisyonunda kaynak işlemleri gerçekleşmiş, bu pozisyonun gereği olarak da ısı girdisi bu bölgelerde yükselmiştir. Elde ettiğimiz görüntüler de bu durumu doğrular niteliktedir. 2 ve 3 numaralı bölgelerden alınan numunenin mikroyapı görüntüsünde iri taneli bölge olarak ifade ettiğimiz fotoğraflarda II numara ile belirtilen bölgelerin genişliği ısı girdisine bağlı olarak oluşan ITAB genişliği hakkında yorum yapabilmemizi sağlamaktadır. Elde edilen görüntülerde 2 ve 3 numaralı bölgelerde (bkz. Resim 7.5 ve 7.6) iri taneli bölgenin 1 ve 4 numaralı bölgelere oranla bir hayli fazla olduğu görülmektedir. 1 ve 4 numaralı bölgelerde ise daha dar bir iri taneli bölge mikroyapısının olduğu (bkz. Resim 7.4 ve Resim 7.7) görülmüştür. Bu duruma sebep tamamen ısı girdisi olduğu düşünülmektedir. Kaynak pozisyonuna bağlı olarak ısı girdisinin tavan pozisyonunu ifade eden 2 ve 3 numaralı bölgelerde daha yüksek olduğu düşünülmektedir. 1 ve 4 numaralı bölgede ise nispeten alın kaynağına yakın bir pozisyonun olduğu ve bu nedenle diğer bölgelere oranla ısı girdisinin daha düşük olduğu düşünülmektedir. Bu düşünce nedeni ile iri taneli bölgeler 1 ve 4 numaralı bölgelerde daha dar bir alanda oluşmuştur.

Yine 1 ve 4 numaralı numuneler ile 2 ve 3 numaralı numuneler incelendiğinde ITAB bölgesinin ısı girdisinin fazla olduğu bölgelerde daha geniş iken ısı girdisinin az olduğu bölgelerde daha dar olduğu görülmektedir. Doğal olarak ısı girdisiyle beraber ısıdan etkilenen bölgenin de genişlediği bu bağlamda görülmektedir.



Resim 7.20. Tipik kaynak metali 200 büyütme optik mikroskop görüntüleri

Resim 7.20’de kaynak yapısına bakınca kök ve dolgu pasolarının yapısı ince taneli iken kapak pasosundaki kaynak yönlenmiş iri tanelidir. Burada ise temel neden kök pasodan sonra yapılan sıcak paso ve dolgu pasolar bir önceki kaynağı tavlayarak ısı işlem uygulamasına neden olduğundan dolayı tanelerin incelmeye sebep olduğu düşünülmektedir. Kapak pasoda ise kaynak bittiğinden bu bölgede kaynak metali yönlenmiş ve iri taneli olarak karşımıza çıktığı düşünülmektedir.

7.3. Mekanik Test Sonuçları

Kaynaklı birleştirmelerin mekanik özelliklerini tespit etmek için birleştirmelerden alınan kaynaklı numunelere çekme, kaynaklı kırılma (nick-break), çentik – darbe ve eğme testleri kapsamında hazırlanan numunelere göre sonuçlar ayrı başlıklar altında değerlendirilmiştir.

7.3.1. Çekme testlerinin değerlendirilmesi

ASTM E8 standardına 4 bölgeden alınan numunelere çekme testi uygulanmıştır.

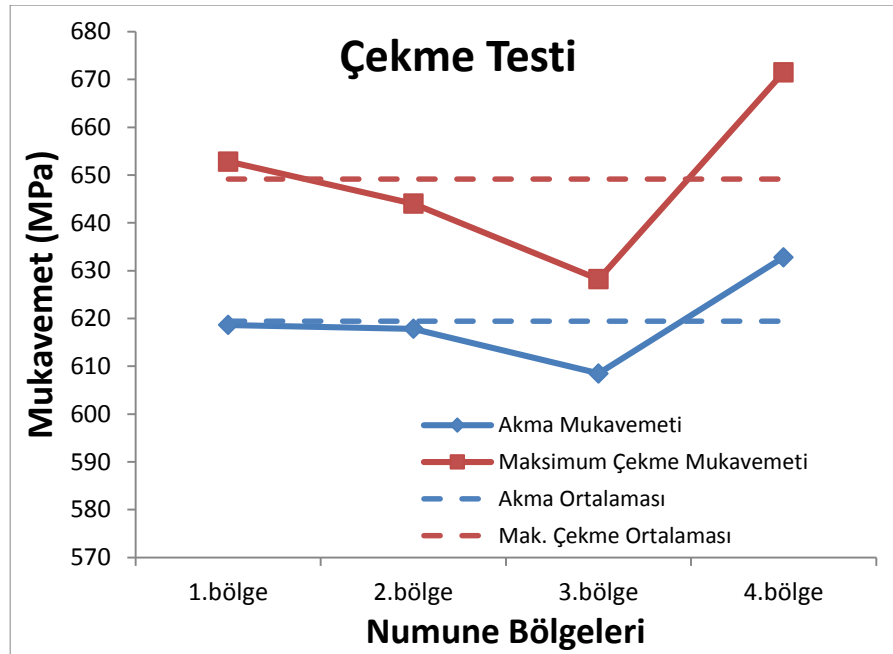
Çizelge 7.1. Çekme testi sonuçları

Numune	Akma Mukavemeti (MPa)	Maksimum Çekme Mukavemeti (MPa)	Uzama (%)
Ana malzeme	585	680	31
1.bölge	618,64	652,83	8
2.bölge	617,85	644	11,7
3.bölge	608,49	628,21	14,8
4.bölge	632,79	671,49	15,2
Ortalama	619,44	649,13	12,4

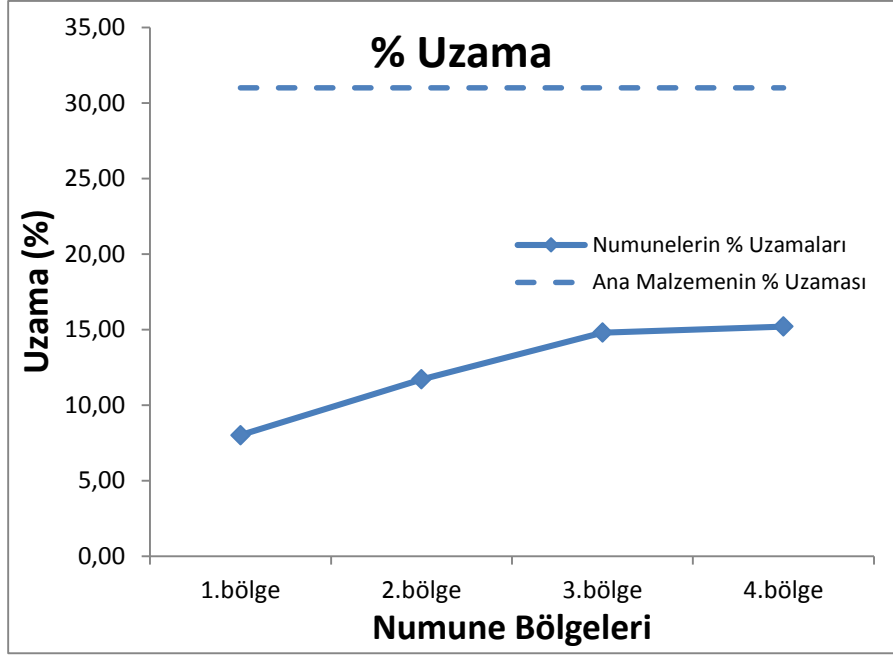


Resim 7.21. Çekme testi sonrası numunelerin görüntüleri

Çekme testleri sonucunda kopmaların tamamı diğer çalışmalarda olduğu gibi [5, 22, 74] ana malzeme tarafından gerçekleşmiştir. Kopmanın kaynak bölgesine yaklaşık 30 mm uzaklıkta ana malzemede gerçekleşmiştir. Kopma bölgesi Resim 7.21’de görülmektedir. Bu veriler doğrultusunda kaynak metalinin ana malzemeden daha iyi sonuçlar vererek kendinden beklenen özellikleri sağladığı görülmektedir.



Şekil 7.2. Çekme testi sonuç diyagramı



Şekil 7.3. Çekme testi % Uzama diyagramı

Kaynak bölgesindeki yüksek ısı girişi ve ani soğumadan dolayı oluşan mikroyapıların kopmaların ana malzemedan olmasını sağladığı önceki çalışmalardan bilinmektedir [75, 76]. Kopmanın kaynak metalinden olmamasının diğer nedenleri ise kaynak metalindeki homojen katılaşma ve alaşım elementlerini etkisi olduğu düşünülmektedir. Sonuçlara bakıldığında Şekil 7.3'te görüleceği gibi % uzamanın kaynaklı bölgede ana malzemedan daha az olduğu görülmektedir. Yine sonuçlar incelendiğinde Şekil 7.2 de gösterildiği gibi 1 ve 4. bölgeye ait numunelerin çekme değerleri daha yüksek çıkmıştır. Buradan anlaşılabacağı üzere mikroyapılar da bahsedildiği gibi ısı girdisinin az olduğu bu numunelerde daha hızlı soğumadan dolayı sertliğin arttığı bunun da çekme dayanımını diğer 2 numuneye göre artırdığı söylenebilir.

7.3.2. Kaynaklı kırılma (nick break) testlerinin değerlendirilmesi

Çizelge 7.2. Kaynaklı kırılma (nick break) testi sonuçları

Bölge No	Numune No	Saat Pozisyonu	Sonuç
1	1	12.00 – 03.00	Kabul
1	2	12.00 – 03.00	Kabul
2	1	03.00 – 06.00	Kabul
2	2	03.00 – 06.00	Kabul
3	1	06.00 – 09.00	Kabul
3	2	06.00 – 09.00	Kabul
4	1	09.00 – 12.00	Kabul
4	2	09.00 – 12.00	Kabul

API 1104 standardına uygun olarak hazırlanan kaynaklı kırılma (nick break) test numunelerine ait sonuçlar Çizelge 7.2’de verilmektedir.



Resim 7.22. Kaynaklı kırılma testi sonrası numunelerinden örnek görüntüler



Resim 7.23. Kaynaklı kırılma testi sonrası numunelerin örnek görüntüleri

Her deney kapsamında 4 bölgeden 2’şer adet numune alınmıştır. Numunelerin kırılma yüzeyleri Resim.7.23’de verilmiştir.

API 1104 standardına göre çentikli çekme deneyinde karşılaşılan hatalarda [22];

- Gaz boşluğu (gözenek) çapı en fazla 3 mm olabilir,
- Gözenek boyutu, birleştirilen malzemenin et kalınlığının %25 ini geçemez,
- Cüruf kalıntıları 0,8mm derinliği ve 3mm uzunluğu geçemez.

Numunelerde yapılan gözle muayene sonucunda, yukarıda verilen standarda ait ölçütleri dikkate alarak Resim7.23’de görüldüğü gibi test sonuçları incelendiğinde kırılma yüzeyinde gaz boşluğu, gözenek ve/veya cüruf kalıntısına rastlanmamıştır. Bu sonuçlar ışığında istenen şartlar sağlanmıştır.

7.3.3. Çentik-darbe testlerinin değerlendirilmesi

Ana malzeme ve kaynaklı birleştirilen malzemelerden elde edilen numunelere -20°C’de çentik darbe testi uygulanmıştır.

Çizelge 7.3. Ana malzeme çentik – darbe test sonuçları

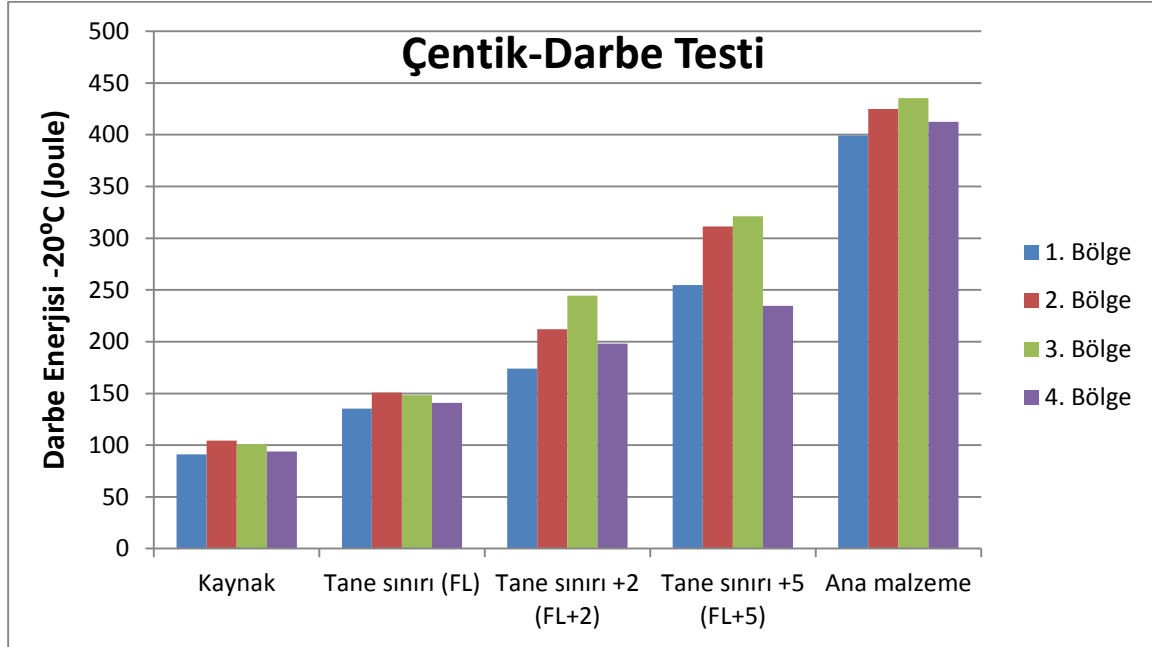
Numuneler	Bölgeler	Numune	Darbe Enerjisi 20°C (Joule)	Ortalma Darbe Enerjisi -20°C (Joule)
1.Bölge	kaynak	1	71,55	91,09
		2	93,94	
		3	107,79	
	Tane sınırı (FL)	1	155,72	135,20
		2	132,49	
		3	117,40	
	Tane sınırı +2 (FL+2)	1	171,97	173,85
		2	186,42	
		3	163,15	
	Tane sınırı +5 (FL+5)	1	249,87	254,84
		2	205,04	
		3	309,62	
	Ana malzeme	1	372,02	399,26
		2	386,66	
		3	449,55	
2. Bölge	kaynak	1	88,77	104,33
		2	127,47	
		3	96,76	
	Tane sınırı (FL)	1	184,45	150,68
		2	122,48	
		3	145,12	
	Tane sınırı +2 (FL+2)	1	252,41	212,19
		2	189,89	
		3	194,28	
	Tane sınırı +5 (FL+5)	1	267,52	311,45
		2	395,66	
		3	271,18	
	Ana malzeme	1	410,02	425,41
		2	416,66	
		3	449,55	

Çizelge 7.3. (devam) Ana malzeme çentik – darbe test sonuçları

Numuneler	Bölgeler	Numune	Darbe Enerjisi -20°C (Joule)	Ortalma Darbe Enerjisi -20°C (Joule)
3. Bölge	Kaynak	1	116,56	100,89
		2	108,76	
		3	77,36	
	Tane sınırı (FL)	1	157,65	148,37
		2	144,83	
		3	142,64	
	Tane sınırı +2 (FL+2)	1	257,02	244,40
		2	233,51	
		3	242,68	
	Tane sınırı +5 (FL+5)	1	344,40	321,35
		2	329,39	
		3	290,27	
	Ana malzeme	1	414,29	435,39
		2	449,53	
		3	442,34	
4. Bölge	kaynak	1	93,94	93,97
		2	103	
		3	84,97	
	Tane sınırı (FL)	1	144,39	141,15
		2	139,95	
		3	139,13	
	Tane sınırı +2 (FL+2)	1	205,35	198,32
		2	201,41	
		3	188,22	
	Tane sınırı +5 (FL+5)	1	207,62	234,73
		2	232,45	
		3	264,13	
	Ana malzeme	1	430,21	412,66
		2	388,29	
		3	419,48	

Numunelere ait sonuçlar Çizelge 7.3’de verilmiştir. Çentik – darbe test sonuçları Şekil 7.4’de kıyaslanarak değerlendirilmesi yapılmıştır. Çentik darbe testi sonucu ana malzemeden kaynak meteline doğru gidildikçe malzemenin sertliğinin arttığı ve tokluğun düştüğü görülmektedir. Bu değerlerden anlaşıldığı gibi tokluk ile sertlik arasında ters orantı vardır. Kaynak yönüne göre değerlendirdiğimizde ise 1 ve 4 nolu bölgelerden alınan numunelere ait tokluk değeri daha düşük iken 2 ve 3 nolu bölgelerden alınan tokluk değeri daha yüksektir. Bunun temelde etkisinin ısı girdisi ile alakalı olduğu düşünülmektedir. Özellikle 2 ve 3 numaralı numunelerin kaynak pozisyonundan kaynaklı ısı girdisi daha fazla olduğundan taneler nispeten daha büyük

olduğu mikroyapı görüntülerinden de bilinmektedir(bkz. 74-77 Resimler). Bundan dolayı tokluğun artmasına sertliğin düşmesine sebebiyet vermektedir. Yine bu sonuçlara bakıldığında mikroyapı ve çekme deneyi sonuçları ile örtüştüğü de görülmektedir.



Şekil 7.4. Çentik – darbe test sonuçları diyagramı

7.3.4. Eğme testi sonuçlarının değerlendirilmesi

Eğme testi 4 bölgeden alınana ikişer numuneye uygulanmıştır. 118 mm mandrel çapı ve 146,6 mm kalıp mesafesinde kaynağa yan eğme uygulanmıştır.

Çizelge 7.4. Eğme testi sonuçları

Bölge No	Deney No	Mandrel Çapı (mm)	Kalıp Mesafesi	Kök Bükme		Yüzey Bükme	
				Açı	Sonuç	Açı	Sonuç
12.00-03.00	1	118	146,6	180°	Hata yok	180°	Hata yok
	2				Hata yok		Hata yok
03.00-06.00	3				Hata yok		Hata yok
	4				Hata yok		Hata yok
06.00-09.00	5				Hata yok		Hata yok
	6				Hata yok		Hata yok
09.00-12.00	7				Hata yok		Hata yok
	8				Hata yok		Hata yok

Çizelge 7.4’te eğme testi sonuçları verilmiştir.



Resim 7.24. Eğme testi sonrası numunelerin örnek görüntüleri

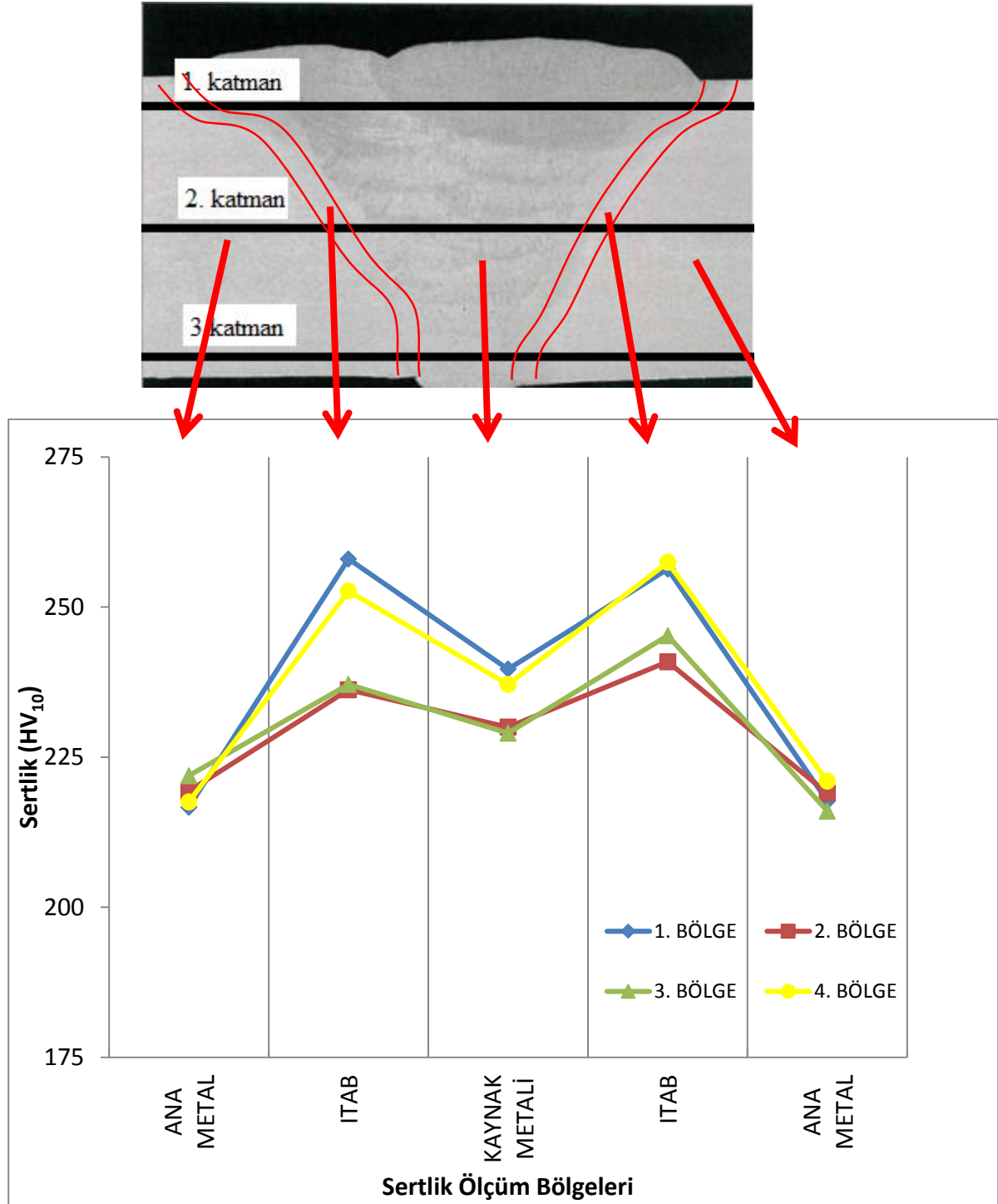
180° açıyla uygulanan eğme deney sonuçlarına ait Resimler 7.24'te verilmiştir. Eğme testlerinde iç yüzeylere basma gerilmesi altında kalırken dış yüzeylerde çekme gerilmesi altında kalır. Bu gerilemelerden dolayı iç ve dış yüzeylerde çatlak vb... hatalar yok ise bu birleştirme emniyetli ve yeterlidir. Malzemelerde makro düzeyde çatlama, yırtılma v.b. hataların oluşmadığı görülmektedir. Eğme testi sonuçları birleştirme işleminin uygun bir Şekilde yapıldığını göstermektedir.

7.3.5. Sertlik sonuçlarının değerlendirilmesi

Çizelge 7.5. Sertlik testi sonuçları

1. BÖLGE															
katman	ANA METAL			ITAB			KAYNAK METALİ			ITAB			ANA METAL		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	209	215	219	238	259	265	276	275	265	275	271	238	206	218	214
2	234	222	205	256	261	265	250	262	253	290	251	241	221	232	208
3	206	213	227	249	251	278	195	180	201	263	243	235	215	219	226
Ortalama	214	220	215	254	261	259	272	255	192	261	261	247	213	220	220
2. BÖLGE															
katman	ANA METAL			ITAB			KAYNAK METALİ			ITAB			ANA METAL		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	210	220	214	225	242	256	222	220	226	268	228	222	228	230	229
2	218	220	216	228	225	249	231	224	223	242	245	234	226	248	218
3	221	225	230	225	235	241	195	200	204	251	238	240	236	219	233
Ortalama	215	218	225	241	234	234	223	226	200	239	240	243	229	231	229
3. BÖLGE															
katman	ANA METAL			ITAB			KAYNAK METALİ			ITAB			ANA METAL		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	205	224	241	229	251	258	231	232	235	265	250	240	211	225	231
2	220	215	211	219	221	251	229	230	219	256	245	230	214	218	217
3	216	225	240	214	241	250	190	185	201	260	236	225	206	209	213
Ortalama	223	215	227	246	230	235	233	226	192	252	244	240	222	216	209
4. BÖLGE															
katman	ANA METAL			ITAB			KAYNAK METALİ			ITAB			ANA METAL		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	221	215	229	229	264	270	266	249	257	276	269	249	230	241	224
2	217	220	216	246	260	264	260	245	254	268	256	245	218	221	220
3	219	209	212	241	251	249	205	195	203	259	254	241	223	233	231
Ortalama	222	218	213	254	257	247	257	253	201	265	256	251	232	220	229

Numunelerden alınan sertlik değerleri Çizelge 7.5’te verilmiştir. Kaynak işlemi yapılan numunelerde her bölge 3 katmana ayrılmıştır. Katmanlarda kendi içinde sırasıyla Ana malzeme, ITAB, Kaynak metal, ITAB ve ana malzeme diye beş bölüme ayrılmış ve bu bölgelerin her birinden üçer ölçüm yapılmıştır. Bu doğrultuda toplam 180 adet ölçüm yapılmıştır.



Şekil 7.5. Mikrosertlik sonuçlarının grafiksel dökümü

Sertlik değerlerinin ortalamaları alınarak Şekil 7.5'te grafik haline dönüştürülmüştür. Her bir numuneyi kendi içinde değerlendirecek olursak buna göre ana malzeme sertlik oranı grafikten de anlaşılacağı üzere ortalama 218,5 HV ölçülmüş olup düşük olmaktadır. ITAB bölgesi sertlik olarak ortalama 248 HV ölçülmüş olup en yüksek bölgedir. Bunun temel nedeni soğuma hızının çok hızlı olmasından dolayıdır. Kaynak metali ITAB'a göre nispeten düşüktü olsa da

ana malzemeden daha yüksek değerleri ortalama olarak 234 HV olarak ölçölmüştür. Isı etkisiyle yapısal değişikliklerden dolayı sertlik artmaktadır.

Her bölgeyi birbiriyle karşılaştırdınca 1 ve 4 numaralı bölgeden alınan sertlik değerleri 2 ve 3 numaralı bölgeden alınan değerlerden daha yüksektir. Bunun da temel nedeni bu bölgelerdeki borunun kaynak pozisyonundan dolayı daha hızlı soğuması ve ısı girdisinin daha az olmasıdır. 1 ve 4 numaralı pozisyonlarda kaynak yöntemi dik kaynak pozisyonundan alın kaynağı pozisyonuna geçiş yaparken 2 ve 3 numaralı bölgeden alınan numunelerin kaynak pozisyonu tavan kaynağından dik kaynağına doğrudur. Buda bu bölgelere daha fazla ısı girmesine neden olur. Isı girdisi artkça tane yapısı irileşir ve malzemenin sertliğı düşerken tokluğu artar.

İngiliz standartlarına göre de (BS4515-1) çelik boru hat kaynaklarında kaynaklı birleştirmelerde alınan sertlik değerlerinin 9,5 mm üzeri borular için en fazla 300HV olması gerekliliğı belirtilmiştir. Çizelge 7.5'te verildiğı gibi elde edilen değerler bu standartta belirtilen şartları da sağlamıştır. [22].

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında doğalgaz boru hatlarında kullanılan X70M kalite 56” (1422,4mm) çapında 19,45mm et kalınlığındaki boruların orbital-MAG kaynak yöntemi ile kaynaklanabilirliği ve bundan elde edilen numunelerin mikroyapı, makroyapı ve mekanik testler ile kontrolü yapılarak ortaya çıkan sonuçlar;

- HSLA çeliklerinden olan X70M borularının orbital-MAG kaynak yöntemiyle kaynağa uygun olduğu görülmüştür.
- Kaynak pozisyonuna göre Tavan pozisyonunda ısı girdisi fazla iken alın pozisyonunda daha az olduğu görülmüştür.
- Kaynak pozisyonuna göre PF yönünde ısı girdisinin artması sebebiyle sertliğin düşük, PA pozisyonunda ise ısı girdisinin azalması sebebiyle sertliğin yüksek olduğu görülmüştür.
- Sertliğin kaynak metali ile ITAB sınırında en yüksek değerlere ulaştığı görülmüştür.
- Kaynak pozisyonuna göre ısı girdisinin artmasıyla beraber ITAB bölgesinin genişlediği görülmüştür.
- Isı Tesiriyle ITAB bölgesi ve buna bağlı olarak iri taneli bölgenin de genişlediği görülmüştür.
- Kaynak metalinde kök, sıcak ve dolgu pasolarda kendinden önceki pasoya kaynağın ısı işlem uygulaması nedeniyle ince taneli bir yapı görülmüştür.
- Kaynak metalinin kapak pasosu hızlı soğumadan dolayı tipik dentritik kaynak yapısına sahip olduğu görülmüştür.

Daha sonra yapılacak olan çalışmalar için öneriler ise;

- Saha şartlarında saat pozisyonunda 06:00-12:00 yönünde ve saat yönünün tersine 06:00-12:00 yönünde kaynak işlemi 2 kaynak makinesi ve her birinde tek torç ile yapılmıştır. Kaynak işleminin daha hızlı olması istenirse 2 torç + 2kaynak makinesi ile kaynak çalışması yapılarak incelenebilir.
- Yine kaynak işlemi tavan (PF) pozisyonundan alın(PA) pozisyonuna doğru yapılmıştır. Bunun yerine kaynak işlemi tek kaynak makinesi ile çevresel olarak yapılarak incelenebilir.

- Rutil Özlü tel ile obital kaynak yönteminde kaynak işlemi tercih edilmiştir. Diğer özlü tel çeşitleri ile olan davranışları araştırılabilir.
- Bu yöntemde 1.2mm tel çapı kullanılmıştır. Bunun yerine çok pasolu kaynak işleminde kaynak yığma oranını artırmak için tel kalınlığı artırarak oluşacak sonuçlar araştırılabilir.

KAYNAKLAR

1. Pamir, N. (2016). *Enerjinin İktidarı Enerjiyi Elinde Tutan Dünyayı Elinde Tutar*. 2. Basım. İstanbul: Hayyurup Yayıncılık Ltd. Şti, 27-29.
2. Görücü, M. Ş. (2013). *Orta Asya ve Kafkasya'daki Petrol ve Doğal Gaz Boru Hatlarının Türkiye'nin Ulusal Güvenliğine Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, T.C. Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 20-21.
3. Ahmedov, O. (2008). *Türkiye – Azerbaycan Petrol Ve Doğalgaz Boru Hattı Projelerinin Ülke Ve Bölge Ekonomileri Açısından Önemi*, Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Çanakkale, 58.
4. Tepealtı, F. (2009). *Boru Hatları Ulaşımı ve Potansiyelinin Türkiye'nin Siyasi Coğrafyası'ndaki Etkileri ve Önemi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 27.
5. Ada, H. (2017). *API Borularının Kaynaklı Birleştirmelerinde Kaynak Parametrelerinin Taguchi Metodu İle Optimizasyonu*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 13.
6. İnternet: Türkiye Petrolleri Küresel Petrol ve Doğal Gaz
URL:<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.tpao.gov.tr%2F%3Fmod%3Dsektore-dair%26contID%3D97&date=2019-05-10> Son Erişim Tarihi: 10.05.2019
7. İnternet: BP Energy Outlook
URL:<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.bp.com%2Fcontent%2Fdam%2Fbp%2Fbusinesssites%2Fen%2Fglobal%2Fcorporate%2Fpdfs%2Fenergy-economics%2Fenergy-outlook%2Fbp-energy-outlook-2018.pdf&date=2019-05-10> Son Erişim Tarihi: 10.05.2019.
8. Yavuz, S. (2018). *2002-2015 Yılları Arasında Türkiye'nin Enerji Politikası ve Bu Politikanın Türk İmalat Sanayisindeki Yeri ve Geleceği*, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 6-7.
9. Zekiye Balcı (2011). *Türkiye'nin Enerji Politikalarında Hazar Petrollerinin Konumu*, Yüksek Lisans Tezi, Beykent Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 17.
10. Nusret Alemdaroğlu (2007). *Enerji Sektörünün Geleceği Alternatif Enerji Kaynakları ve Türkiye'nin Önündeki Fırsatlar*, İstanbul: İstanbul Ticaret Odası 29, 25.
11. Nurdan Aslan ve Tahsin Yamak (2006). *Türkiye'nin Enerji Sorununun Alternatif Enerji Kaynakları Açısından Değerlendirilmesi*, *Marmara Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 21 (1), 58-60.
12. Güngör, E. (2018). *Jeotermal Enerji ile Yapılan Bölgesel Isıtma Sistemlerinde Enerji Verimliliğinin Arttırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya, 25-30.

13. Kapluhan E. (2014). Enerji Coğrafyası Açısından Bir İnceleme: Biyokütle Enerjisinin Dünyadaki ve Türkiye'deki Kullanım Durumu, *Marmara Coğrafya Dergisi*, 30, 100.
14. Beyaz G. (2018). *Doğu Akdeniz'de Doğalgaz Anlaşmazlıkları ve Türkiye*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Arel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 60-61.
15. Paksoy, Ö. U. (2013). *Küresel Doğalgaz Pazarının Önemli Aktörleri Rusya, Türkmenistan ve İran'ın Enerji Politikaları ve Türkiye*, Yüksek Lisans Tezi, Ufuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara, 3-9.
16. Mesut Atalay (2003). *Türkiye'de Petrol Aramacılığı*, 1. Baskı, İstanbul: Forsnet Yayını, 8.
17. IEA, Coal Information (2013). ISBN: 9789264203112 (PDF), Ağustos, s. 11.
18. Konca, H. (2018). *Enerjide Dışa Bağımlılık Çerçevesinde Türkiye'de Nükleer Enerjinin Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Kırklareli Üniversitesi Sosyal Bilimleri Enstitüsü, Kırklareli, 44.
19. Şöhret, M. (2014). *Enerji Güvenliğinin Ekonomi Politikası ve Uluslararası Çatışmalara Etkisi*, Bilge Adamlar Stratejik Araştırmalar Merkezi 528-572.
20. Demir, F. (2007). *Enerji Güvenliği Ekonomisi Diplomasisi*, Ankara: Altinküre, 38,39.
21. Kantörün, U. (2010). *Bölgesel Enerji Politikaları ve Türkiye*, Altinküre Yayınları Bilge Strateji, 2 (3), 87-114.
22. Gençkan D. H. (2014). *Doğalgaz Boru Hatlarında Orbital-MAG Kaynak Teknolojisi Kullanılarak Yapılan Kaynakların Mekanik ve Mikroyapı Özelliklerinin İncelenmesi*, Doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 4-182.
23. İnternet: Enerji ve tabi kaynaklar bakanlığı elektrik enerjisi URL:<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.enerji.gov.tr%2Ftr%2FSayfalar%2FElektrik&date=2019-05-20> Son erişim tarihi:20.05.2019.
24. SETA (2016). *Türkiye'nin Enerjide Merkez Olma Arayışı*, Siyaset, Ekonomi ve Toplum Araştırmaları Vakfı, 1-78.
25. Kemal, A. (2014) *Türk Dış Politikası ve Diplomasisi*, İstanbul: İnkılap Kitapevi, 113-114.
26. Ada, H. (2006). *Petrol ve Doğalgaz Boru Hatları İçin Üretilen Boruların Tozaltı ve Spiral Kaynak Yöntemiyle Kaynaklanabilirliği ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 72-73.
27. Uysal, A. K. (2010). *Petrol Ve Doğalgaz Boru Hattı Çeliklerinin Hidrojen Nedenli Çatlama Davranışı*, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 20-21.
28. Aktaş O. (2016). *Petrol ve Doğalgaz Boru Hatlarında Kullanılan Boruların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay, 30-35.

29. Şirin, K. (2004). *Tozaltı Kaynak Yöntemi İle Spiral Boru Üretiminde Kaynak Parametrelerinin Kaynak Dikiş Kalitesi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi*, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 9-97.
30. Anık, S. (1980). *Kaynak Tekniği Cilt I*, İstanbul: İTÜ Kütüphanesi, 960.
31. Ersin R.C. (2009). *Isı Girdisinin ve Kaynak Sonrası Gerilim Giderme Isıl İşleminin Mekanik Özelliklere Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 20-35.
32. Kaba, S. (2009). *Doğalgaz Boru Hatlarındaki Kaynaklı Birleştirmelerin Radyografik Muayenesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 15-16.
33. Salma, A. (2011). *Tahribatsız Muayene Metotları Ve Doğalgaz Boru Hatlarındaki Kaynaklı Bağlantıların Radyografik Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 18-22.
34. Anık, S., Tülbentçi, K., Kaluç, E. (1991). *Örtülü Elektrot ile Elektrik Ark Kaynağı*, İstanbul: Gedik Eğitim Vakfı, 6-61.
35. Çapan F. H. (2014). *S235 Jr Alaşımsız Çelik Boruların Dik Pozisyonda Orbital-MAG Kaynak Cihazı ile Birleştirilmesi ve Uygulamanın Optimizasyonu*, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 50-65.
36. Eryürek, İ. (2007). *Çelikler İçin Elektrot Seçimi*, İstanbul: As Kaynak, 42.
37. Tülbentçi, K. (1982). *Bazik Karakterli Örtülü Elektrotlar*, İstanbul: Böhler Kaynak Dünyası, 10-25.
38. Acarer M. (1996) *Türkiye’de Üretilen Bazik Elektrotlarla Elde Edilen Kaynak Metalinin Tokluğunun İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya, 25-28.
39. Eryürek, İ. (2004). *Gazaltı kaynağı*. İstanbul: As Kaynak, 30-35.
40. Nalbant Ç. (2009). *Gazaltı Kaynak Yönteminde Torç Hareketinin Servo Pnömatik Sistemle Gerçekleştirilmesi ve Kaynak Kalitesine Etkisinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2-7.
41. Tülbentçi, K. (1990). *MİG-MAG Eriyen Elektrot ile Gazaltı Kaynağı*. İstanbul: Gedik Holding, 21-132.
42. Tülbentçi, K. (1993). *Gaz Altı Kaynağı MİG-MAG Kaynağı*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, 222.
43. Eryürek, B. (2008). *Çelikler için Örtülü Elektrot Seçimi*. İstanbul: Kaynak Teknolojisi, Askaynak Kaynak Tekniği Sanayi ve Ticaret A.Ş., 2-46.
44. Anık, S., Vural, M., *Gaz Altı Ark Kaynağı (TİG, MİG, MAG)*. İstanbul: Gedik Eğitim Vakfı Kaynak Teknolojisi Eğitim Araştırma ve Muayene Enstitüsü Yayın No:3., 68-246.

45. Gülenç, B., ve Tülbentçi, K. (1997). *Gaz Metal Ark Kaynağında Metal Transferi*, 1.Ulusal Kaynak Teknolojisi Bildiriler Kitabı, 13-15 Kasım, Ankara.
46. Tülbentçi, K. (1998). *MIG-MAG Kaynak Yöntemi*. İstanbul: Arcotech Yayın No:2, 10-13.
47. Eryürek, İ. B. (2003). *Gazaltı Kaynağı*. İstanbul: Kaynak Tekniği Sanayi ve Ticaret A.Ş., 20-35.
48. Nippes, E. F. (1989). *Metals Handbook Ninth Edition Volume 6: Welding, Brazing and Soldering*, ASM.
49. Güner M. (2007). *Mag Kaynağında Elektrot Tipinin (Çıplak Tel – Özlü Tel) Kaynak Dikişi Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 10-18.
50. Anık, S., Anık, S. E. ve Vural, M. (2000). *1000 Soruda Kaynak Teknolojisi El Kitabı*. İstanbul: Birsan Yayınevi, 10-15.
51. Ekici M. (2009). *Mıg/Mag ve Elektrik Ark Kaynağı ile Birleştirilmiş Mikro Alaşımlı Çeliklerin Mekanik Özellikleri*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 40-45.
52. Işık A.O. (2014). *Mag Kaynağında Özlü Tel Elektrot Tipinin Kaynak Dikişi Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 10-25.
53. Karakaş E. (1998). Quality and Automation in welding of Tubes, Orbital-MAG Welding Systems, *Proceedings of Pipeline Welding' 99*: 222-229.
54. Dilibal S., Tansuğ D., Koçak M. (2015). *Robotlu, Mekanize Ve Orbital-MAG Kaynak Uygulamalarında Operatör Eğitimi*. İstanbul: Gedik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 5-15.
55. Çan A. U. (2009) *Boru Kaynak Makinesi Tasarımı*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 30-76.
56. Engün S. (2016). *Termomekanik Olarak Haddelenmiş X70M Kalite Petrol Boru Çeliklerinin EBSD ve Tem Teknikleri ile karakterizasyonu*, Yüksek Lisans tezi, Eskişehir Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 5-99.
57. Çağırıcı M. (2017). *X70M Sınıfı Boru Hattı Çeliklerinin Anahtar Deliği Metodu ile Kaynaklanabilirliğinin Kırılma Tokluğu Yönünden İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Ankara, 71-109.
58. Demiral O. (2017). *Farklı Çeliklerin Ark Kaynak Yöntemleriyle Birleştirilmesi Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 46-86.
59. Bhole, S.D., Nemade, J.B., Collins, L., Liu, C., (2006). Effect of nickel and molybdenum additions on weld metal toughness in a submerged arc welded HSLA line-pipe steel, *Journal of Processing Technology*, 173(1), 92-100.

60. Ghomashchi, R., Costin, W., Kurji, R. (2015). Evolution of Weld Metal Microstructure in Shielded Metal Arc Welding of X70M HSLA Steel With Cellulosic Electrodes, A case study, *Materials Characterization*, 107, 317-326.
61. Zhu, Z., Han, J., Li, H. (2015). Effect of alloy design on improving toughness for X70M steel during welding, *Materials and Design*, 88, 1326-1333.
62. Alipooramirabad, H., Ghomashchi, R., Paradowski, A., Reid, M. (2016). Residual stress- microstructure- mechanical property interrelationships in multipass HSLA steel welds, *Journal of Materials Processing Technology*, 231, 456-467.
63. Fletcher, L., Zhu, Z., Murugananth, M., Zheng, L., Bai, M. (2011). *Effect of Ti and N concentrations on microstructure and mechanical properties of microalloyed high strength line pipe steel welds*, Faculty of Engineering – Papers (Archive), University of Wollongong, 1-13.
64. Hashemi, S.H., Sedghi, S., Soleymani, V., Mohammadyani, D. (2012). CTOA levels of welded joint in API X70M pipe steel, *Engineering Fracture Mechanics*, 82, 46-59.
65. Beidokhti, B., Koukabi, A.H., Dolati, A. (2009). Influences of titanium and manganese on high strength low alloy SAW weld metal Properties, *Materials Characterization*, 60(3), 225-233.
66. Lotsberg, I. (2009). Stress concentrations at butt welds in pipelines, *Marine Structures*, 22(2), 335-337.
67. Sonmez, F., Demir, A. (2007). Analytical relations between hardness and strain for cold formed parts, *Journal of Materials Processing Technology*, 186, 163-173.
68. Beidokhti, B., Koukabi, A.H., and Dolati, A. (2009). Effect of titanium addition on the microstructure and inclusion formation in submerged arc welded hsla pipeline steel, *Journal of Materials Processing Technology*, 209, 1-9.
69. Özden N. (1985). *Kaynağın ısıt işlemleri*, İstanbul: Nurettin Uycan Cilt ve Basım Sanayi A.Ş., 1-22.
70. Hayat F.(2009). *Masif Ve Özlü Kaynak Telleri İle Birleştirilen Çift Fazlı Çeliklerin Mekanik Ve Mikroyapı Özellikleri*, Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 10-25.
71. Yüklér, A.İ. (1994). *Kaynak metalí*. İstanbul: MÜTEF Matbaası, 2-60.
72. Keehan, E. (2004). *Effect of Microstructure on Mechanical Properties of High Strength Steel Weld Metals*, PhD Thesis, University of Gothenburg Department of Experimental Physics, Gothenburg, 1-72.
73. Aucott, L.A., Wen, S.W., and Dong, H. (2015). The role of ti carbonitrideprecipitates on fusionzonestrength-toughness in submerged arc welded pipeline joints, *Materials Science and Engineering (A)*, 622, 194–203.

74. Lehto, P., Remes, H., Saukkonen, T., Hänninen, H., and Romanoff, J. (2014). Influence of grain size distribution on the hall–petch relationship of welded structural steel, *Materials Science and Engineering*, 592, 28–39.
75. Eroğlu, M., Aksoy, M. (2002). *15Mo3 çeliğinin kaynağında enerji girişinin kaynak bölgesinin mikroyapısı ve mekanik özelliklerine etkisi*. Kaynak Teknolojisi 2. Ulusal Kongresi, Ankara, 38–45.
76. Kahraman, N., Gülenç, B., Durgutlu, A. (2005). Tozaltı ark kaynağı ile kaynaklanan düşük karbonlu çeliklerde serbest tel uzunluğunun mikroyapı ve mekanik özelliklere olan etkisinin araştırılması. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 18 (3), 473-480.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : SEZGİN Murat
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 01.04.1980, Bursa
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (538) 052 84 06
 e-mail : sezginmurat28@hotmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Metal Eğitimi Bölümü	Devam ediyor
Lisans	Gazi Üniversitesi / Metal Eğitimi Bölümü	2003
Lise	Atatürk Endüstri Meslek Lisesi	1998

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2010-2019	Mim Mühendislik	Proje yöneticisi
2007-2010	Orbit Mekanik Elektrik	Proje yöneticisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

-

Hobiler

Masa tenisi, futbol



GAZİ GELECEKTİR..