

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**S235 JR ALAŞIMSIZ ÇELİK BORULARIN DİK POZİSYONDA ORBİTAL
KAYNAK CİHAZI İLE BİRLEŞTİRİLMESİ VE
UYGULAMANIN OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hasan Fehmi ÇAPIN

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Malzeme Mühendisliği Programı

MAYIS 2014

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**S235 JR ALAŞIMSIZ ÇELİK BORULARIN DİK POZİSYONDA ORBİTAL
KAYNAK CİHAZI İLE BİRLEŞTİRİLMESİ VE
UYGULAMANIN OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Hasan Fehmi ÇAPIN
(506121413)**

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Malzeme Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Yılmaz TAPTIK

MAYIS 2014

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 506121413 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Hasan Fehmi ÇAPIN**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “ **S235 JR ALAŞIMSIZ ÇELİK BORULARIN DİK POZİSYONDA ORBİTAL KAYNAK CİHAZI İLE BİRLEŞTİRİLMESİ VE UYGULAMANIN OPTİMİZASYONU** ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Yılmaz TAPTIK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Servet TİMUR**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Ahmet TOPUZ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **05 Mayıs 2014**
Savunma Tarihi : **29 Mayıs 2014**

Adil ve özgür yarınlara,

ÖNSÖZ

Tez çalışmalarım boyunca desteğini benden hiç esirgemeyen, bana güvenen, üstün bilgi ve tecrübelerinden yararlanmama imkân sağlayan tez danışmanım, Sayın Prof. Dr. Yılmaz TAPTIK'a sonsuz şükran ve saygılarımı sunarım.

Deneysel çalışmalarım esnasında bana laboratuvarlarında çalışma fırsatı sağlayan Sayın Prof.Dr. Hüseyin ÇİMENÖĞLU, Sayın Prof. Dr. Mustafa ÜRGEN ve Sayın Prof. Dr. Servet TİMUR'a, deneysel çalışmalarım kapsamında her türlü teknik desteği sağlayan Gedik Kaynak A.Ş. ve Gedik Kaynak Proje Mühendisi Yük. Müh. Didem GENÇKAN'a, en başta bana inandığı için sonrasında da tüm çalışmalarımda doğru yolu gösterdiği için sevgili ablam Uzman Yüksek Mühendis Ayşe KILIÇ'a, karakterizasyon çalışmalarım sırasında bana destek olan Araş. Gör. Yasin KILIÇ, Araş. Gör. Levent KARTAL, Araş. Gör. Muhammet KARABAŞ, Araş. Gör. Onur TAZEGÜL, Sayın Nihal CEBBAR ve Sayın Sevgin TÜRKEİ'ne, radyografi filmlerimin uygun ortamda fotoğraflarını çekerek dijital ortama aktarılmasını sağlayan Sayın Ali TAPTIK'a, iş ve çalışma arkadaşım Candeniz UYSAL ve okul arkadaşlarım Umut Doğan TURUNÇ, Alican ESENBOĞA ve Yasemin KILIÇ'a teşekkürü bir borç bilir, saygılarımı sunarım.

Tüm çalışmalarım esnasında maddi ve manevi her türlü yardım ve desteği sağlayan ailem ve arkadaşlarıma teşekkür ve minnettarlıklarımı sunarım.

Mayıs 2014

Hasan Fehmi ÇAPIN
(Metalurji ve Malzeme Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Alaşımсыз Yapı Çeliklerinin Genel Özellikleri	2
1.2 Kaynak Türleri	4
1.2.1 Elektrik ark kaynağı	5
1.2.1.1 Örtülü elektrot elektrik ark kaynağı	6
1.2.1.2 Tozaltı elektrik ark kaynağı	7
1.2.1.3 Gazaltı elektrik ark kaynağı	8
1.2.1.4 Özlü tel elektrik ark kaynağı	12
1.3 Kaynak Elektrotları	14
1.3.1 Örtülü elektrotlar	14
1.3.1.1 Selülozik örtülü elektrotlar	14
1.3.1.2 Bazik örtülü elektrotlar	15
1.3.1.3 Rutil örtülü elektrotlar	15
1.3.1.4 Örtülü elektrot üretimi	15
1.3.2 Tozaltı kaynak elektrotları	16
1.3.3 Gazaltı kaynak elektrotları	17
1.3.3.1 TIG kaynağında kullanılan kaynak elektrotları.....	17
1.3.3.2 MIG / MAG kaynağında kullanılan kaynak elektrotları	17
1.3.4 Özlü tel kaynak elektrotları	18
1.4 Kaynak Metalurjisi	19
2. ORBİTAL KAYNAK TEKNOLOJİSİ.....	23
2.1 Orbital Kaynak Cihazının Kullanım Alanları	24
2.2 Orbital Kaynak Teknolojisinin Avantajları ve Dezavantajları	25
2.3 Orbital Kaynak Cihazının Sistem Elemanları	25
2.4 Orbital Kaynak Uygulamalarında Kaynak Öncesi İşlemler	26
2.4.1 Kaynak ağzının hazırlanması	26
2.4.2 Boruların ağız ağıza hizalanması	27
2.4.3 Kaynak ağzının temizlenmesi	28
2.4.4 Ön ısıtma	28
2.5 Orbital Kaynak Uygulamasında Kaynak Kalitesini Belirleyen Parametreler ..	29
2.5.1 Kaynak yapılan alanın özellikleri	30
2.5.2 Kaynak öncesinde saptanması gereken parametreler.....	30
2.5.2.1 Boru çapı ve et kalınlığı	30

2.5.2.2 Kaynak cihazı pozisyonu	31
2.5.2.3 Tel cinsi ve tel çapı.....	31
2.5.2.4 Koruyucu gaz seçimi	31
2.5.2.5 Kaynak yönü	32
2.5.3 Kaynak esnasında ayarlanabilen parametreler	32
2.5.3.1 Akım değeri.....	32
2.5.3.2 Voltaj değeri.....	32
2.5.3.3 Traktör hızı.....	33
2.5.3.4 Tel besleme hızı	33
2.5.3.5 Salınım genişliği ve bekleme süresi	33
3. KONU İLE İLGİLİ YAPILMIŞ DİĞER ÇALIŞMALAR	35
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	41
4.2 S235 JR Boru Temini	42
4.3 Kaynak Ağzılarının Açılması ve Boruların Hizalanması	43
4.4 Orbital Kaynak Düzeneklerinin Kurulması	44
4.5 Kök Pasoda Kullanılacak Elektrotun Belirlenmesi Amacıyla Birinci Kaynak Ağzında Orbital Kaynak Uygulaması	44
4.5.1 Deneysel çalışmalar kapsamında kullanılan tel elektrotların özellikleri...	45
4.5.2 Üç farklı tel elektrot ile kök paso kaynak uygulaması	47
4.6 Birinci Kaynak Ağzının Karakterizasyonu	47
4.7 Dolgu Pasolarda Kullanılacak Elektrotun Belirlenmesi Amacıyla İkinci Kaynak Ağzında Orbital Kaynak Uygulaması	49
4.8 İkinci Kaynak Ağzının Karakterizasyonu	51
4.9 Kök Paso ve Dolgu Pasolarda Kullanılacak Elektrot Seçimin Yapılması ve Kaynak Parametrelerin Belirlenmesi.....	52
4.10 Üçüncü Kaynak Ağzında Nihai Orbital Kaynak Uygulanması.....	56
4.11 Nihai Orbital Kaynak Uygulamasının Karakterizasyonu	58
4.11.1 Tahribatsız muayenenin yapılması.....	59
4.11.1.1 Radyografik muayene	59
4.11.2 Makroyapı incelemesi	59
4.11.3 Mekanik deneyler.....	59
4.11.3.1 Çekme deneyleri.....	59
4.11.3.2 Charpy darbe deneyleri	60
4.11.3.3 Eğme deneyleri.....	61
4.11.3.4 Mikrosertlik deneyi	61
4.11.4 Kimyasal bileşim analizi	62
4.11.5 Mikroyapı incelemesi.....	62
5. DENEYSEL SONUÇLAR.....	63
5.1 Tahribatsız Muayene Sonuçları	63
5.2 Makroyapı Analizi Sonuçları	65
5.3 Mekanik Deneylerin Sonuçları.....	65
5.3.1 Çekme deneyi sonuçları	65
5.3.2 Charpy darbe deneyi sonuçları	66
5.3.3 Eğme deneyi sonuçları	67
5.3.4 Mikrosertlik deneyi sonuçları	68
5.4 Kimyasal Bileşim Analizi Sonuçları	69
5.5 Mikroyapı Analizi Sonuçları	70
6. GENEL SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRMELER	75
EKLER.....	83
ÖZGEÇMİŞ.....	87

KISALTMALAR

API	: Amerikan Petrol Enstitüsü
EDS	: Enerji Dağılımlı X-ışınları Analizi
ITAB	: Isı Tesiri Altındaki Bölge
C_e	: Karbon Eşdeğeri
SMAW	: Örtülü Elektrot Ark Kaynağı
SAW	: Tozaltı Ark Kaynağı
GMAW	: Gazaltı Ark Kaynağı
TIG	: Tungsten Inert Gaz Kaynağı
MIG	: Metal Inert Gaz Ark Kaynağı
MAG	: Metal Aktif Gaz Ark Kaynağı
FCAW	: Özlü Tel Ark Kaynağı
PWHT	: Kaynak Sonrası Isıl İşlem
HV	: Vickers Sertliği

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : Alaşımsız çeliklerin sınır değerleri.....	2
Çizelge 1.2 : SG235 JR çeliği kimyasal bileşim [4].....	3
Çizelge 1.3 : S235 JR çeliğinin mekanik özellikleri [5].....	3
Çizelge 1.4 : Kaynak kabiliyeti ile karbon eşdeğeri ilişkisi	4
Çizelge 1.5 : Kaynak türleri [8]	5
Çizelge 1.6 : Tozaltı kaynak elektrotlarında alaşım elementlerinin % sınırları ve etkileri [26]	16
Çizelge 1.7 : Özlü tel elektrotların içerikleri ve içeriklerin kazandırdığı özellikler..	20
Çizelge 2.1 : Ön ısıtma – karbon eş değeri (Ceş) ilişkisi	29
Çizelge 4.1 : Kullanılan elektrotların kimyasal bileşimleri	46
Çizelge 4.2 : Kullanılan tel elektrotların mekanik özellikleri.....	46
Çizelge 4.3 : Elektrotların hidrojen içerikleri	46
Çizelge 4.4 : Elektrotların metal yığılma oranlar ve fiyatları	47
Çizelge 4.5 : Kök pasoda kullanılan kaynak parametreleri	47
Çizelge 4.6 : İkinci kaynak ağzında kullanılan kaynak parametreleri.....	50
Çizelge 4.7 : Üçüncü kaynak ağzında kullanılan kaynak parametreleri.....	57
Çizelge 5.1 : Çekme deneyi sonuçları	65
Çizelge 5.2 : Charpy darbe deneyi sonuçları	66
Çizelge 5.3 : Ortalama sertlik değerler	68
Çizelge 5.4 : Ana metal yüzde kimyasal bileşimi.....	69
Çizelge 5.5 : Kaynak metali yüzde kimyasal bileşimi.....	69

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Elektrik ark kaynağı	6
Şekil 1.2 : Örtülü elektrot ark kaynağı.....	6
Şekil 1.3 : Tozaltı ark kaynağı.....	7
Şekil 1.4 : Plazma ark kaynağı [16].....	9
Şekil 1.5 : Tungsten inert gaz kaynağı [18].....	10
Şekil 1.6 : MIG/MAG kaynak yöntemi ark bölgesi [20].....	11
Şekil 1.7 : Gaz korumalı özlü tel kaynak ark bölgesi [22]	13
Şekil 1.8 : Kendinden korumalı özlü tel ark kaynağı ark bölgesi [22].....	13
Şekil 1.9 : Örtülü elektrot üretimi.....	15
Şekil 1.10 : Özlü tel elektrot üretimi [29].....	18
Şekil 1.11 : Özlü tel elektrot geometrileri [30].....	19
Şekil 1.12 : Kaynak işleminden metalurjik bölgeler	20
Şekil 1.13 : Sıcaklık kaynak bölgesi ve faz diyagramı ilişkisi [33].....	21
Şekil 2.1 : Yatay olarak hizalanmış orbital kaynak cihazı [35]	23
Şekil 2.2 : Sualtı orbital kaynak cihazı uygulaması [37]	24
Şekil 2.3 : Orbital kaynak cihazı sistem elemanları	26
Şekil 2.4 : Genel bir kaynak ağızı [39]	27
Şekil 2.5 : Otomatik boru hattı ağızlama makinesi [40].....	28
Şekil 2.6 : Propan ısıtıcı ile ön ısıtma	29
Şekil 2.7 : Kaynak kabinleri [43].....	30
Şekil 2.8 : Kaynak cihazı pozisyonları [44].....	31
Şekil 4.1 : Deneysel çalışmalar kapsamında izlenen iş – akış süreçleri.....	41
Şekil 4.2 : Genel orbital kaynak uygulamaları için hazırlanmış balık kılıcı.....	42
Şekil 4.3 : S235 JR borunun temsili gösterimi	43
Şekil 4.4 : Boru ve kaynak ağızı çizimleri.....	44
Şekil 4.5 : Orbital kaynak düzeneği.....	45
Şekil 4.6 : 12 4 pozisyonları arası makro görüntüsü ve kaynak dikişi	48
Şekil 4.7 : 4 8 pozisyonları arası makro görüntüsü ve kaynak dikişi	48
Şekil 4.8 : 8 12 pozisyonları arası makro görüntüsü ve kaynak dikişi	49
Şekil 4.9 : Farklı iki bölgeden alınmış makroyapı görüntüleri.....	51
Şekil 4.10 : Kaynak dikişi görüntüsü.....	51
Şekil 4.11 : Kaynak uygulaması tamamlandıktan sonra kaynak dikişinin görüntüsü.....	52
Şekil 4.12 : Nihai deneysel çalışma için özelleştirilmiş balık kılıcı.....	55
Şekil 4.13 : Nihai kaynak uygulamasının karakterizasyon aşamaları	58
Şekil 4.14 : Deney numunelerinin çıkarıldığı bölgeler [59].....	58
Şekil 4.15 : Çekme deneyi numunesi [60].....	60
Şekil 4.16 : Çentikli çekme deneyi numunesi [60].....	60
Şekil 4.17 : Charpy darbe deneyi numunesi	61
Şekil 4.18 : Eğme deneyi numuneleri [60]	61

Şekil 5.1 : API 1104 standardında belirtilen gözenek dağılım cetveli	
(T : Kalınlık) [60]	63
Şekil 5.2 : Radyografi görüntüleri	64
Şekil 5.3 : Makroyapı görüntüsü.....	65
Şekil 5.4 : Çentikli çekme deneyi sonrası kesit görüntüsü	66
Şekil 5.5 : Eğme deneyi sonrasında deney numuneleri	67
Şekil 5.6 : Lokasyona göre mikrosertlik değerleri.....	68
Şekil 5.7 : Ana metal mikroyapı görüntüleri	70
Şekil 5.8 : Ana metal EDS analiz sonucu	70
Şekil 5.9 : ITAB'ın mikroyapı görüntüleri	71
Şekil 5.10 : ITAB'ın EDS analiz sonucu.....	71
Şekil 5.11 : Kaynak metalinin mikroyapı görüntüleri	72
Şekil 5.12 : Kaynak metalinin EDS analiz sonucu	72
Şekil 5.13 : Kök pasonun mikroyapı görüntüleri.....	73
Şekil 5.14 : Kök pasonun EDS analiz sonucu	73

S235 JR ALAŞIMSIZ ÇELİK BORULARIN DİK POZİSYONDA ORBİTAL KAYNAK CİHAZI İLE BİRLEŞTİRİLMESİ VE UYGULAMANIN OPTİMİZASYONU

ÖZET

Gelişmekte olan ülkelerde, üretim modellerinin değişmesi sonucu kentleşme oranı her geçen gün yükselmektedir. Köyden kente göç eden kalabalıklar beraberinde dikine yapılaşma ihtiyacını da getirmektedir. Mimari ve çevresel kaygılar son yıllarda inşa edilen yapıların yüksek katlı tasarlanmasını zorunlu kılmaktadır. İnşaat sektöründeki önlenemez büyüme ve sürekli rekabet, alternatif inşaat uygulamalarının geliştirilmesinin önünü açmaktadır. Otomasyon, uygulama süresi ve uygulama maliyeti gibi geliştirilmeye açık parametreler; bir uygulamanın başka bir uygulamaya göre bir adım öne çıkmasını sağlamaktadır.

Hazırlanan tez kapsamında; doğal gaz boru hattı inşaatı uygulamalarında rakipsiz olarak görülen Orbital Kaynak Cihazı, yüksek katlı bina inşaatı uygulamaları için değerlendirilmekte ve yapılan deneysel çalışmalarla uygulamanın geçerliliği araştırılmaktadır. Boru hattı inşaatlarında yatay olarak iki borunun birleştirilmesinde Orbital Kaynak cihazı ile S235 JR alaşımsız çelik boruların dikey pozisyonda 10° açı ile birleştirilmesi uygulaması gerçekleştirilmiştir. S235 alaşımsız yapı çelikleri, özellikle yüksek katlı bina uygulamalarında sıklıkla tercih edilmektedir. Deneysel çalışmalar kapsamında, ELCOR R71, ELCOR M71 ve GEKA SG2 tel elektrotlar ile 255 mm çapında 30 mm et kalınlığına sahip 1000 mm uzunluğunda S235 JR boru temin edilmiştir. Boru üzerinde üç adet 55° derece açıyla kaynak ağzı hazırlanmıştır. İki kaynak ağzında yapılan deneme çalışmaları sonucunda, parametre analizi yapılarak belirtilen uygulama için hazırlanan balık kılçığı geliştirilmiş olup; kök paso ve dolgu pasolarda kullanılacak tel elektrot tercihi yapılmıştır. Elde edilen yeni balık kılçığı ve belirlenen parametreler yardımıyla üçüncü kaynak ağzında ELCOR R71 rutil özlü tel elektrot ile nihai Orbital Kaynak uygulaması gerçekleştirilmiştir.

Yapılan tüm karakterizasyon çalışmaları “ API 1104 Boru Hattı ve Bağlantılı Tesislerin Kaynağı “ standartına uygun yapılmıştır ve elde edilen sonuçlar bahsi geçen standarda ya da ikame standartlarına göre değerlendirilmiştir. API 1104 standardı gereğince kaynak metalinin ana metalden daha yüksek akma gerilimine sahip olması gerekmektedir. Bu gereklilik çekme deneyi sonucunda malzemenin ana metalden kopması zorunluluğunu getirmektedir. Yine aynı standartta çentikli çekme deneyi sonrasında kopma kesitinde bulunabilecek gaz kabarcıklarının kabul şartları belirtilmiştir. 1 mm’den büyük çapa sahip gaz kabarcıkları içeren uygulamalar standart tarafından kabul edilmemektedir. Bunun yanı sıra belirtilen standart düşük sıcaklıklarda yüksek kırılma tokluk değerleri talep etmektedir. Tez çalışması kapsamında API 1104 standardına uygun olarak hazırlanan deney numuneleri 5 farklı sıcaklıkta Charpy Darbe Deneyine maruz bırakılmıştır. Mikrosertlik Deneyi ile kaynak bölgelerinin sertlik değerleri ortalama olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlar ile çekme deneyi sonuçları beraber değerlendirilmiştir. Malzemenin elastisite özelliklerinin

tespiti amacıyla S235 JR çelik borunun farklı bölgelerinden alınan numunelere Eğme Deneyi uygulanmıştır.

Özellikle yüksek mekanik özelliklerin talep edildiği kaynak uygulamalarında, mikroyapıda kesinlikle martenzit yapı istenmez. Taramalı Elektron Mikroskobu kullanılarak kaynak bölgelerinin mikroyapıları incelenmiş ve EDS analizleri gerçekleştirilmiştir. Deney numunelerinin kimyasal bileşim analizi sonuçları incelenerek kaynak uygulaması sonrasında kaynak bölgelerinde meydana gelen kimyasal bileşim değişimi gözlenmiştir.

Deneyisel çalışmalar kapsamında dikey pozisyonda Orbital Kaynak uygulamasının standartlara uygunluğu araştırılmıştır. Belirtilen karakterizasyon çalışmaları ardında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Radyografik muayene yapılan çelik borunun radyografi filmleri incelenmiştir. İnceleme sonucunda kaynak bölgesinde az miktarda da olsa gözenek ve bazı bölgelerde nüfuziyetsizlik tespit edilmiştir. Bu kaynak hataları API 1104 standardı kabul şartları içerisinde yer almaktadır.
- Kaynak bölgesinin makroyapı görüntüleri incelenmiştir. Yaklaşık 2 mm kalınlığında ITAB tespit edilmiştir.
- Çekme Deneyi sonrasında 4 deney numunesinin de ana metalden koptuğu gözlenmiştir. API 1104 standardında istendiği gibi kaynak metalinin akma dayanımı diğer kaynak bölgelerine göre daha yüksektir.
- Çentikli Çekme Deneyi uygulanan deney numunesinin kopma yüzeyi incelenmiştir. 1 adet gaz kabarcığı gözlenmiştir. Gaz kabarcığının çapı 1 mm'nin altında olduğu için kabul koşulları içerisinde yer almaktadır.
- Charpy Darbe Deneyi 5 farklı sıcaklıkta 3 takım numune ile gerçekleştirilmiştir. -40°C'de ortalama 86 joule tokluk değeri elde edilmiştir.
- 4 adet eğme deney numunesinin kaynak bölgeleri incelenmiş ve herhangi bir kopma ya da yırtılma gözlenmemiştir.
- Mikrosertlik Deneyi sonucunda kaynak metalinin en yüksek sertlik değerine sahip olan bölge olduğu belirlenmiştir. Sertlik değerleri ile çekme deneyi sonuçları birbirini desteklemektedir.
- Ana metalin kimyasal bileşiminde beklenildiği değişiklik olmadığı gözlenmiştir. Kaynak metalinde Si ve Mn gibi özlü tel bileşimden gelen elementler yüksek miktarda tespit edilmiştir.
- Kaynak bölgelerinin mikroyapıları incelendiğinde yapının büyük çoğunluğunda ferrit taneleri gözlemlenmektedir. Martenzit oluşumu istenildiği gibi mevcut değildir. EDS analizleri, kimyasal bileşim analizi ile paralellik göstermektedir.
- S235 JR alaşımsız çelik boruların tez kapsamında belirtilen parametreler ve ELCOR R71 rutil özlü tel elektrot ile dik pozisyonda 10° açı ile birleştirilmesi uygulaması API 1104 standardında talep edilen özellikleri sağlamaktadır.

THE WELDING OF S235 JR NON-ALLOYED STEEL PIPES WITH ORBITAL WELDING EQUIPMENT AT VERTICAL POSITION AND THE OPTIMIZATION OF THE APPLICATION

SUMMARY

The rate of urbanization is daily increased with the change in the production model in developing countries. Migration from villages to cities crowds that brings with it the need for vertical construction. In recent years, architectural and environmental concerns enforced the design of high rise buildings. Irrepressible growth and constant competition in the construction industry cause that development of alternative construction applications. The developable parameters, like automation, application time and cost of application, provides that an application is preferable compared to other applications.

At the thesis scope, Orbital Welding Equipment, which seen as unbeatable at the pipeline construction, is evaluated at the construction of high rise buildings and validity of the application is researched with the experimental studies. The jointing application of S235 JR nonalloyed structural steels at the vertical position with 10° angle is practiced with Orbital Welding Equipment using in jointing of pipelines at horizontal position. S235 JR nonalloyed steels is especially preferred at the construction of high rise building. At the scope of experimental studies, ELCOR R71, ELCOR M71 and GEKA SG2 wire electrodes and S235 JR steel pipe which has 30 mm thickness, 255 mm diameter and 1000 mm long is procured. Over the pipe, three weld grooves which have 55° angle is prepared. After the trail weldings at the two weld grooves, a new fishbone is developed with the help of parameter analysis and wire electrodes using at filler and root passes is determined. With The help of the second fishbone and determined parameters, the final Orbital Welding application is performed with ELCOR R71 rutile flux cored wire electrode at the third weld groove.

All characterization studies is made according to API 1104 Welding of Pipelines and Related Facilities. At the same time, obtained results are evulated according to mentioned standard and substituents standards. Accordance with the API 1104 standard, weld metal must have a higher yield stress compared to the base metal. This requirement leads that the specimens of tensile test must rupture from the base metal part. At the mentioned standard, acceptance conditions about the gas bubbles at cross section of the rupture after the notch tensile test. Otherwise, at the API 1104 standard required the high fracture toughness values at the low temperatures. At the scope of experimental studies, Charpy Impact experiment is implemented to prepared specimens at the five different temperatures. Owing to microhardness experiment, average hardness values of different parts of weld specimen are determined. These resutls are evulated with the results of tensile test. In order to determine elastic properties of the material, bend test is performed to the specimens which is taken from different parts of S235 JR steel pipe.

In welding applications especially which require high mechanical properties, Martensite structure is not absolutely required. With the help of the Scanning Electron Microscope, the microstructures of weld regions are investigated and EDS analysis are realized. Through analysis of the chemical composition of the test specimens, in the chemical composition alteration of weld zone was observed after welding applications.

At the experimental studies, compliance of Orbital Welding application with the standards is researched. After the mentioned characterization studies, the following results are obtained;

- The radiographic films of steel pipe are investigated. After the investigation, small amounts of pores and inpenetration are observed. These weld defects are included in the admission conditions of API 1104
- The macrostructure image of weld material is investigated. HAZ which has approximately 2 mm thickness is determined.
- After the tensile test, four specimen ruptured from the base metal region. As required in the API 1104 standard, weld metal has higher yield strength than the other regions.
- The rupture cross section of notch tensile specimen is examined. A gas bubble is observed. Gas bubble diameter is under 1 mm is in the acceptance conditions.
- Charpy Impact Experiment is practiced with three set of specimen at the five different temperature. At - 40 ° C, the average toughness value is determined 86 joules.
- The weld regions of four bend test specimens are investigated and any rupture or tearing is not observed.
- The results of microhardness experiment shows that weld metal is hardest region of weld material. Microhardness experiment and tensile test results support each other.
- Any alteration is not observed on the base metal chemical composition. Like Si and Mn elements which are coming from flux cored wire electrode was determined.
- After the analyzing the microstructure of the weld region, Ferrite grains are determined generally. The formation of Martensite which is not desired, is not observed. EDS analysis and chemical composition analysis is consistent with.

The jointing application of S235 JR nonalloyed steel pipes with mentioned parameters and ELCOR R71 rutile flux cored wire electrode at the vertical position with 10° angle provides desirable features which is required from API 1104 standard.

1. GİRİŞ

Özellikle gelişmekte olan ülkelerde, artan nüfus artışı ve bu artışın doğurduğu yapılaşma ihtiyacı, inşaat sektörünün ülke ekonomilerinden en büyük payı almasına neden olmaktadır. Ülkemizde ve benzer ülkelerde üretim modellerinin değişmesi sonucunda, köyden kentlere göç eden kalabalıklar yapı stokunun arttırılması ihtiyacını da beraberinde getirmiştir. Gerek kent yüz ölçümlerinin sınırlı olması gerek de çevresel nedenlerle imara açılan alanlarda; ihtiyacın karşılanması adına yüksek katlı yapıların inşa edilmesi zorunluluk halini almıştır. Bu zorunluluk ve mimari kaygılar, farklı teknolojik gelişmelerin araştırılması ve geliştirilmesi noktasında inşaat sektörünü teşvik etmektedir. Bu bağlamda, yüksek katlı yapılarda alaşımsız çelik boruların bina gövdesini taşıması amacıyla kullanımı gün geçtikçe yaygınlaşmakta ve önem kazanmaktadır. Bu gelişmelere paralel olarak alaşımsız çelik boruların birleştirilmesi için uygun kaynak yöntemleri ve kaynak sarf malzemeleri araştırılmaktadır. Kullanılan kaynak yöntemi; tekno-ekonomik faktörler, uygulama süresi, servis ömrü, sistem otomasyonu bakımından da büyük önem ifşa etmektedir. Kaynak yöntemiyle beraber kullanılan kaynak teli, gaz karışımı ve kaynak parametreleri de kaynak kalitesini doğrudan etkilemektedir. Farklı kimyasal bileşim ve mekanik özelliklere sahip kaynak tellerinin geliştirilmesi devam etmektedir. Bu tellerin uygulanması sırasında kullanılacak gaz karışımı üzerine yapılan çalışmalar da literatürde gün geçtikçe daha çok yer almaktadır. Kaynak teknolojisi ile ilgili bu araştırmalar; mimarı açıdan daha estetik, inşaat maliyeti ve inşaat süresi daha düşük ve aynı zamanda daha dayanıklı yapıların ortaya çıkarılmasına zemin hazırlamaktadır. Kaynak sisteminin otomasyonu; kullanılan kaynakçı sayısını azaltmakla beraber, iş ve işçi güvenliği bakımından yapılacak çalışmanın ön plana çıkmasına neden olmaktadır. Son yıllarda boru kaynak uygulamalarının yanı sıra otomasyona ihtiyaç duyulan boru birleştirme uygulamalarında Orbital Kaynak Cihazı kullanımı yaygınlaşmaktadır. Özellikle yatay pozisyonda boru hattı inşaatı uygulamalarında rakipsiz durumdadır. Bu tez kapsamında; alaşımsız çelik boruların birleştirilmesinde kaynak kalitesini arttırmak ve uygulama kolaylığı sağlamak amacıyla, boru hattı inşaatında yatay olarak kullanılan Orbital Kaynak Cihazının dik pozisyonda değerlendirilmesine ek olarak,

belirlenen kaynak parametreleri ve doğru kaynak teli ile yapılan alaşımsız çelik boru kaynak uygulamasının içyapı ve mekanik özellikler açısından karakterize edilmesi amaçlanmaktadır. Tez kapsamında yapılan tüm deneysel çalışmalar, proje çalışanı olarak içinde yer aldığım, 01.09 2013 tarihinde tamamlanan "STZ 2010-2-570." proje kodlu ve " Doğal gaz boru hatları için yüksek gerilimli kaynak ana malzemesi teknolojisinin geliştirilmesi (Borkay)" başlıklı SANTEZ projesinin akademik çıktılarından yararlanılarak gerçekleştirilmiştir.

1.1 Alaşımsız Yapı Çeliklerinin Genel Özellikleri

Çizelge 1.1’de gösterilen sınır değerleri içerisinde alaşım elementi içeren çelikler alaşımsız çelikler olarak adlandırılmaktadır [1]. Alaşımsız yapı çelikleri özellikle boru hattı ve bina inşaatı sektörlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Düşük karbon içerikli ve alaşımsız yapı çelikleri, haddelenmiş plakalar ve boru olarak imalat ve inşaat sektörlerinde yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Düşük sıcaklık tokluk dayanımı, tane boyutu kontrolü ve mikro alaşımlamaya uygun olması, düşük alaşımlı yapı çeliklerini yapı çelikleri arasında ön plana çıkarmaktadır. Karbon içerikleri düşük olan bu çelikler ($< 0,1$ ağırlıkça %) yüksek kaynaklanabilirlik özellikleri açısından tercih edilmektedir [2].

Çizelge 1.1 : Alaşımsız çeliklerin sınır değerleri [1].

Alaşım Elementi	Sınır Değeri (%)
Al	0,10
Co	0,10
Cr	0,30
Cu	0,40
Mn	1,65
Mo	0,08
Nb	0,06
Ni	0,30
Si	0,50
Ti	0,05
V	0,10
W	0,10

TS EN 10025-1 standardına göre yapı çelikleri, S harfi ve asgari akma dayanımları esas olarak adlandırılmaktadır. Diğer özellikler ise C, P, J, R gibi harflerle belirtilmektedir. C değeri çeliğin karbondan başka element içermediğini belirtirken; E ve R gibi harfler P ve S elementlerinin sınır değerleri hakkında ipuçları vermektedir. J değeri ise, asgari darbe enerji değeri ile ilgili bilgi vermektedir. JR sembolü bu yapı çeliğinin +20 ° C' de 27 J çentik darbe dayanımına sahip olduğunu belirtmektedir [3].

S235 JR alaşımsız düşük karbonlu yapı çelikleri, haddelenerek yassı şekilde veya boru olarak üretilmektedir. Çizelge 1.2'de S235 JR çeliğinin yapısında bulunabilecek alaşım elementlerinin en yüksek değerleri belirtilmektedir.

Mekanik özellikleri bakımından yapı çeliklerinin akma/çekme dayanımları ve darbe dayanımları malzemenin servis koşulları için büyük önem taşımaktadır.

Çizelge 1.2 : SG235 JR çeliği kimyasal bileşim [4].

Alaşım Elementi	En Fazla Değer
C	0,170 %
Mn	1,400 %
P	0,035 %
S	0,035 %
N	0,012 %
Cu	0,550 %

Çizelge 1.3 : S235 JR çeliğinin mekanik özellikleri [5].

S235 JR	Akma Dayanımı Anma Kalınlığına Göre		Çekme Dayanımı Anma Kalınlığına Göre		Uzama Anma Kalınlığına Göre		Asgari Darbe Dayanımı
	e ≤ 16 mm	e > 16 mm	e < 3 mm	e ≥ 3 mm	e < 3 mm	3 mm ≤ e < 40 mm	
	235 MPa	225 MPa	360-510 MPa	360-510 MPa	21/19 %	26/24 %	

Çizelge 1.3' den de anlaşılabileceği üzere malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesinde anma kalınlığı temel belirleyici değişkendir. Standartlarda bu kalınlığın değişimi göz önünde bulundurularak hazırlanmıştır. Alaşımsız yapı çelikleri, kaynaklanabilirlik özellikleri bakımından gereksinimleri rahatlıkla karşılayabilmektedir. Kaynaklanabilirlik özelliğini belirleyen temel belirteç karbon

eşdeğeridir (C_E). Bu değer ISO 3183:2007 standardına göre yapıdaki karbonun kütle oranına göre iki farklı şekilde hesaplanmaktadır [6].

Karbon bileşim 0,12%'nin altında ise,

$$CE_{pcm} = \%C + \frac{\%Si}{30} + \frac{\%Mn}{20} + \frac{\%Cu}{20} + \frac{\%Ni}{60} + \frac{\%Cr}{20} + \frac{\%Mo}{15} + \frac{\%V}{10} + 5\%B \quad (1.1)$$

Eğer ki 0,12%'nin üstünde ise,

$$CE_{IIV} = \%C + \frac{\%Mn}{6} + \frac{(\%Cr + \%Mo + \%V)}{5} + \frac{(\%Ni + \%Cu)}{15} \quad (1.2)$$

Formülleri yardımıyla hesaplanmaktadır.

Çizelge 1.4 : Kaynak kabiliyeti ile karbon eşdeğeri ilişkisi.

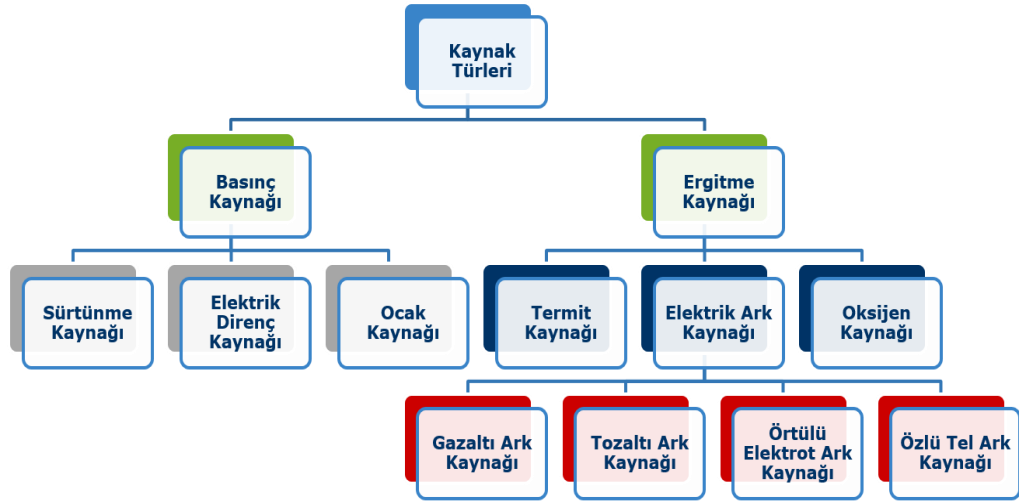
Kaynak Edilebilirlik Derecesi	Karbon Eşdeğeri
İyi	$C_E < 0,45$
Orta	$0,45 < C_E < 0,60$
Kötü	$C_E > 0,60$

Bu formüller yardımıyla S235 JR alaşımsız yapı çeliklerin karbon eşdeğeri 0,35% olarak hesaplanmaktadır. Çelikler kaynak kabiliyetlerine göre üçe ayrılmaktadır [7].Çizelge 1.4'de de görüldüğü gibi karbon eşdeğeri 0.35% olarak hesaplanan S235JR alaşımsız yapı çelikleri kaynak edilebilirlik dereceleri iyi olan çelikler grubunda yer almaktadır.

1.2 Kaynak Türleri

Kaynak uygulamasının iki parçanın birleştirilmesinde kullanılmasının 6000 yıllık bir geçmişi olduğu düşünülmektedir. Demirci kaynağının geliştirilmesi ile kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır. Geçen yıllar boyunca farklı geometrideki malzemelerin ya da farklı bileşimdeki malzemelerin kaynaklanması ihtiyacı oluşmasıyla beraber kaynak teknolojisi çeşitlenerek gelişmiş ve vazgeçilmez bir imalat yöntemi olarak yerini almıştır.

Çizelge 1.5 : Kaynak türleri [8].



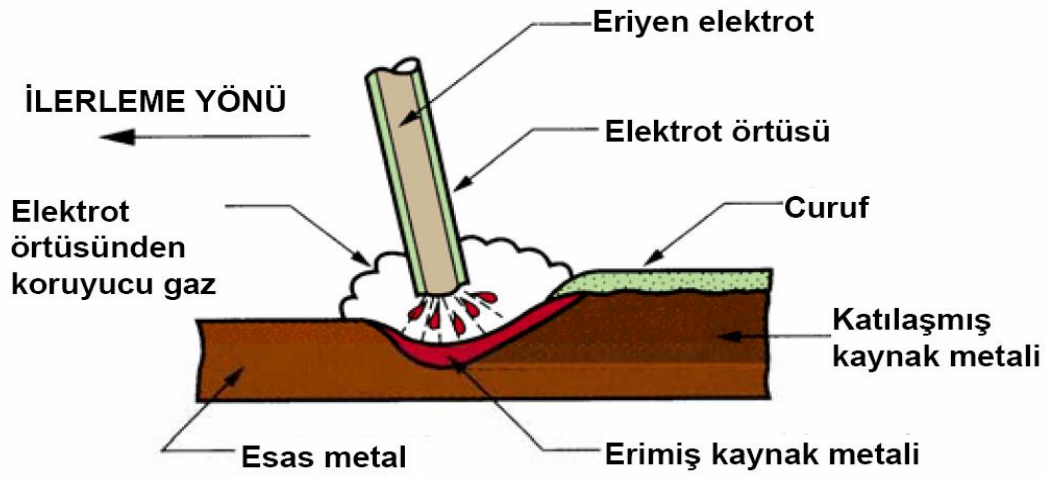
Çizelge 1.5’de belirtilen kaynak yöntemleri dışında özel uygulamalar için geliştirilmiş kaynak yöntemleri de bulunmaktadır. Tez kapsamında, deneysel çalışmalarda yararlanılan Elektrik Ark Kaynağı uygulaması açıklanacaktır.

1.2.1 Elektrik ark kaynağı

Elektrik Ark Kaynağı, kaynak endüstrisinde en yaygın kullanılan kaynak yöntemidir. Çalışma parçası ile elektrot arasında oluşturulan ark yardımıyla, ana metalin hızlıca ergitilmesi sonucunda birleşme sağlanmaktadır. Ark kaynağı uygulamalarında çoğunlukla ergiyen elektrotlardan yararlanılmaktadır.

Ergiyen elektrotlar, metali korumak için cüruf oluşturmakla beraber kaynak sürecinde tükenmektedirler. Sarf elektrotlar üzerinden geçen akımı iletmeleri için iletken malzemelerden tasarlanmaktadır. En çok uygulanan elektrik ark kaynağı yöntemleri Gazaltı Korumalı Ark Kaynağı, Örtülü Elektrot Ark Kaynağı ve Tozaltı Ark Kaynağı ve Özlü Tel Ark Kaynağıdır [9].

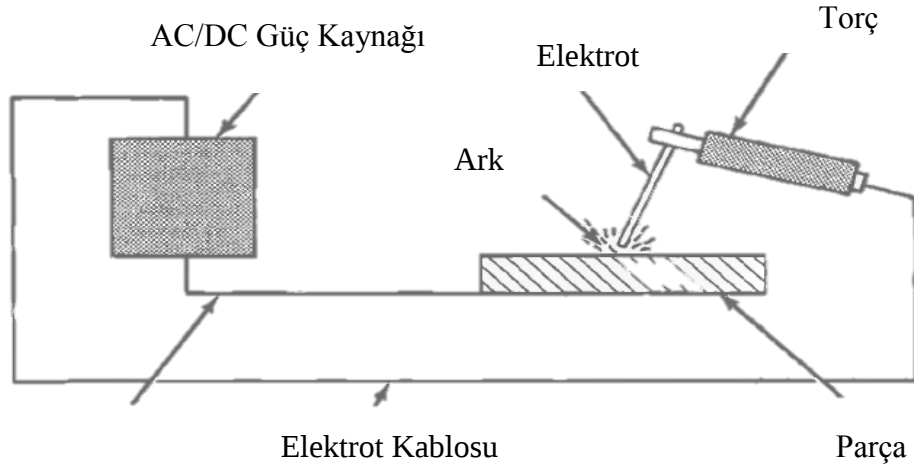
Şekil 1.1’de de gösterildiği gibi ilerleme yönünün tersinde cüruf oluşumu gerçekleşmektedir. Ergimiş kaynak metali soğuyarak, katılaşmış kaynak metalini oluşturmaktadır.



Şekil 1.1 : Elektrik ark kaynağı.

1.2.1.1 Örtülü elektrot elektrik ark kaynağı

Örtülü Elektrot Ark Kaynağı (SMAW) uygulamasında ark, iş parçası ve eriyen elektrot arasında meydana gelmektedir. Elektrot erirken üzerindeki örtü de yanarak erimektedir ve gaz açığa çıkmaktadır.



Şekil 1.2 : Örtülü elektrot ark kaynağı [10].

Açığa çıkan gaz ark bölgesini korumaktadır. Oluşan cüruf yardımıyla kaynak metali korunmaktadır. Elektrot örtüsüne katılan alaşım elementleri yardımıyla, kaynak dikişi alaşımlandırılmaktadır. Otomasyona uygun olmaması sebebiyle diğer elektrik ark kaynağı yöntemlerine nazaran teknolojik uygulamalarda tercih edilmemektedir. Kaynak donanım maliyeti daha düşük ve kurulumu daha basittir. Güç kaynağı, torç ve elektrot kablosu yardımıyla kaynak düzeneği kolaylıkla hazırlanmaktadır [10].

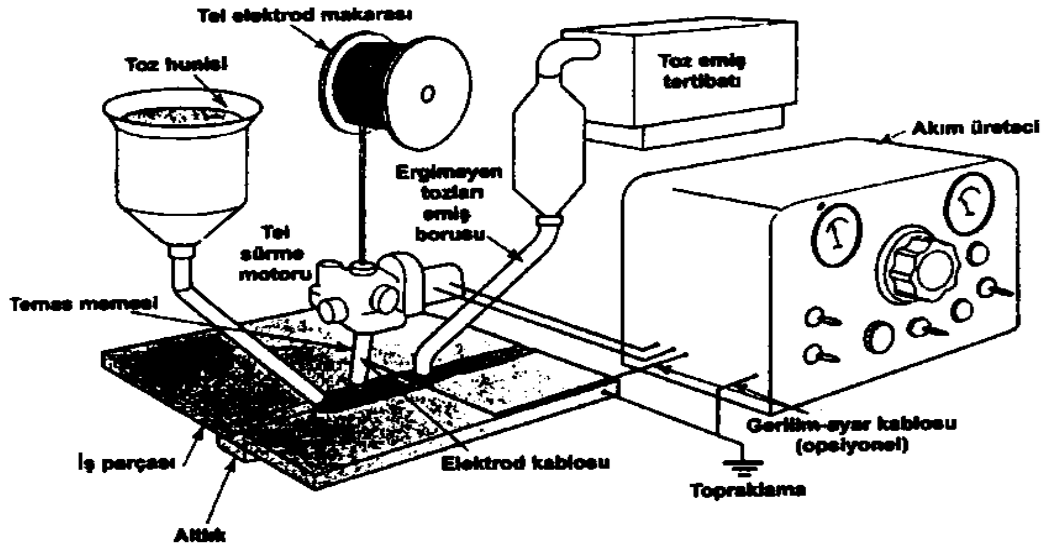
Kullanılan örtülü elektrotların özellikleri:

- 1) Meydana çıkan gaz, arkı ve kaynak havuzunu korumaktadır.
- 2) Deoksidanlar ve flaks yapıcılar yardımıyla, kaynak havuzunun kimyasal yapısını belirlemektedir.
- 3) Kaynak havuzunun alaşımlandırılmasını sağlamaktadır.
- 4) Cüruf yardımıyla kaynak metalini atmosferin zararlı etkilerinden korumaktadır.

Günümüzde örtülü elektrot ark kaynak uygulamalarında, uygulamanın özelliğine bağlı olarak farklı özellikteki örtülü elektrotlar kullanılmaktadır.

1.2.1.2 Tozaltı elektrik ark kaynağı

Tozaltı Ark Kaynağı (SAW) uygulamasında, oluşan ark sonucu ergiyen metal parçalar ergiyen elektrot yardımıyla birleştirilmektedir. Kaynak bölgesinde oluşan ark gözle gözlemlenemez durumdadır; bunun nedeni arkın bir toz bulutu içinde oluşmasıdır [11].



Şekil 1.3 : Tozaltı ark kaynağı [12].

Bu yöntemde tozun temel görevi; arkın kararlı kalmasını sağlamaktır. Bu özelliğinin yanında kaynak havuzunun mekanik ve kimyasal yapısının belirlenmesinde de önemli rol oynamaktadır. Tozaltı Ark Kaynağı otomatik kaynak makinalarıyla uygulanır ve endüstriyel anlamda geniş bir kullanımı mevcuttur. Şekil 1.3 'de de görüldüğü gibi, devamlı tel besleme üniteleri yardımıyla sürekli kaynak yapılabilir. Boru kaynağı uygulamalarında; kaynak torçu sabit tutularak, borunun kendi eksenin

etrafında dönmesi suretiyle yapılan kaynak çalışmalarının yaygın bir kullanımı bulunmaktadır. Fakat sadece yatay konumda kaynak yapılabilme imkânı sağladığı için boru hattı inşaatında kullanılmamaktadır.

Tozaltı Ark Kaynağında Kullanılan Malzemeler

0,30 %'dan fazla karbon içeren çelikler, az alaşımlı çelikler, 0.90 %'dan fazla krom içeren paslanmaz çelikler ve nikel alaşımları Tozaltı Ark Kaynak yöntemi ile birleştirilmektedir. Tozaltı Ark Kaynağı yönteminde, genellikle alaşımlandırma toz tarafından sağlandığı için alaşımsız ve daha basit elektrotlar tercih edilmektedir. Bu şekilde uygulamanın daha ekonomik olması sağlanmaktadır. Elektrotun kimyasal bileşimine bağlı olarak; TiO_2 , MnO , SiO_2 , CaO , CaF_2 , MgO , Al_2O_3 bileşikler tozun bileşiminde yer almaktadır. Kullanılan kaynak parametrelerine bağlı olarak kullanılan tozların boyutları 0,1 mm 'den 2 mm'ye kadar değişmektedir [13].

1.2.1.3 Gazaltı elektrik ark kaynağı

Gazaltı Ark Kaynağı (GMAW); sürekli beslenen elektrot ve kaynaklanacak parçalar arasında oluşan arkın, metali ergitmesi sonucu meydana gelen birleştirme uygulamasıdır. Basınç uygulanmadan, dışarıdan sisteme koruyucu gaz verilerek birleştirme işlemi gerçekleştirilmektedir. 1920'li yıllardan bu güne kadar geliştirilmekte ve endüstride kullanılmaktadır. Otomasyona uygunluğu, bu yöntemi pratik uygulamalarda ön plana çıkarmaktadır.

Gazaltı Ark Kaynağının Özellikleri:

- Birçok metal ve alaşımın kaynaklamasına uygundur.
- Sürekli tel besleme imkânı sayesinde devamlı kaynak olanağı sağlamaktadır.
- Tozaltı Ark Kaynağının aksine her pozisyonda kaynak yapılabilir.
- Yüksek biriktirme oranına sahiptir.
- Yüksek kaynak hızına sahiptir.
- Cüruf tabakası kolaylıkla temizlenebilmektedir.
- Kaynak donanımları daha karmaşık ve daha yüksek fiyatlıdır.
- Kaynak havuzu, koruyucu gaz tarafından korunduğu için bazı açık hava uygulamalarında sınırlıdır [14].

Gazaltı Ark Kaynağı yöntemi, kullanılan elektrot ve koruyucu gaz türüne göre sınıflandırılmaktadır:

1) Ergimeyen elektrot ile yapılan Gazaltı Ark Kaynağı yöntemleri

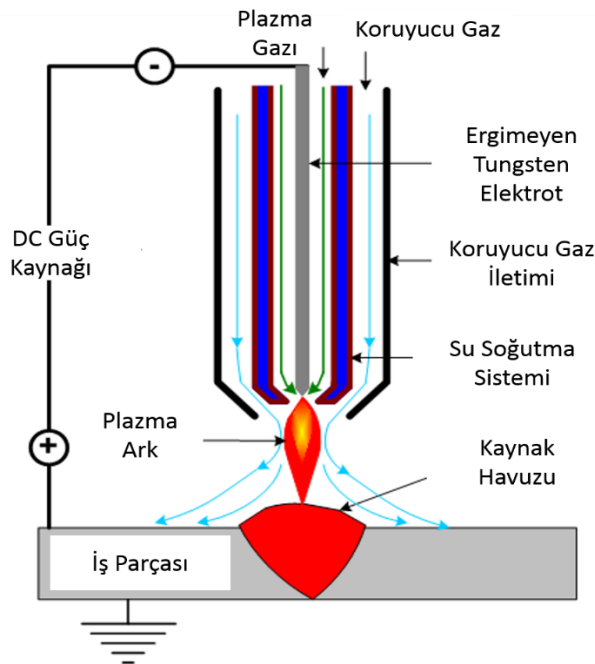
- a. Plazma Ark Kaynağı
- b. Tungsten İnert Gaz Kaynağı (TIG)

2) Ergiyen elektrot ile yapılan Gazaltı Ark Kaynağı yöntemleri

- a. Ergiyen elektrot ile soygaz altında yapılan Gazaltı Ark Kaynağı (MIG)
- b. Ergiyen elektrot ile aktif gaz altında yapılan Gazaltı Ark Kaynağı (MAG)

Plazma Ark Kaynağı

Bu yöntem, endüstriyel uygulamalarda Plazma Ark Kaynak Yöntemi olarak da bilinmektedir. Plazma, gaz konumundaki bir maddenin radyasyon ya da elektron bombardımanı ile iyonize edilmiş halidir. Bu yöntemde gaz, elektrik arkı ile ısıtılarak iyonize edilmektedir. Kaynak ve ısıl kesme işlerinde ark radyal doğrultuda sıkıştırılmak suretiyle yoğunlaştırılmaktadır. Plazma Ark Kaynağı uygulamalarında ergimeyen tungsten ya da tungsten alaşımlı elektrotlar kullanılmaktadır. Plazma sıcaklığı 16,650 °C civarına ulaşmaktadır. [15]

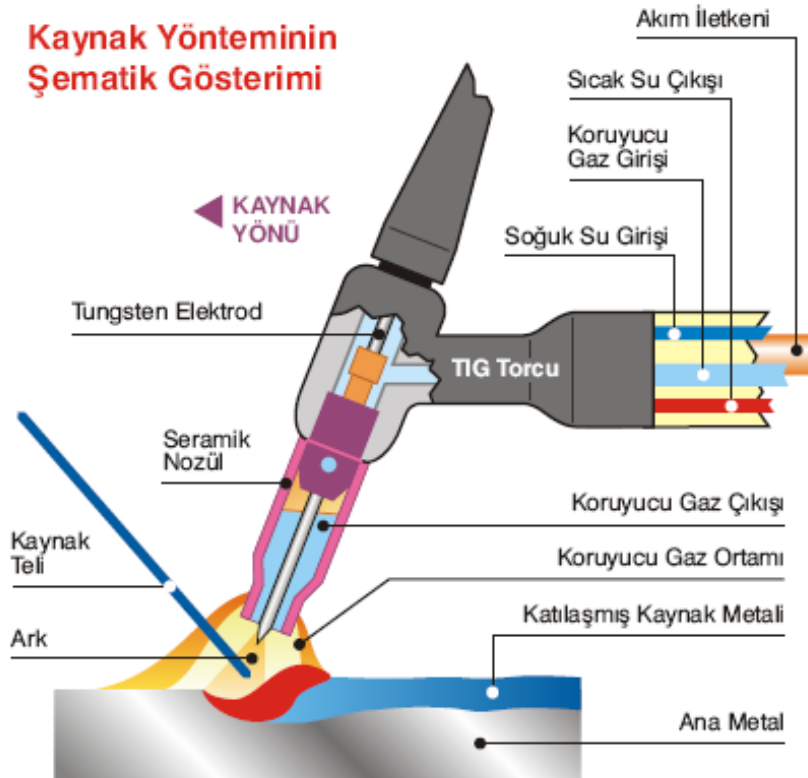


Şekil 1.4 : Plazma ark kaynağı [16].

Bu yüksek sıcaklık ve kararlı ark, yüksek penetrasyon sağlamakla beraber diğer uygulamalara göre daha ince bir ısıdan etkilenmiş bölge ortaya çıkarmaktadır. Şekil 1.4'den de anlaşılacağı gibi su soğutma sistemiyle torçun zarar görmesi engellenmektedir.

Tungsten İnert Gaz Kaynağı

TIG kaynağı olarak bilinen bu yöntemde; metali ergitecek olan ısı enerjisi, tungsten elektrot ile iş parçası arasında oluşturulan ark ile sağlanmakla beraber; kaynak bölgesi Helyum veya Argon gibi bir soygaz tarafından korunmaktadır [17]. Şekil 1.5'de gösterildiği gibi ark, sadece elektrik iletkeni ve ark taşıyıcısı görevi yapan tungsten elektrot ile parça arasında yanmaktadır. İlave malzeme, kaynak bölgesine yandan veya önden konumlandırılmış çubuk halindedir.



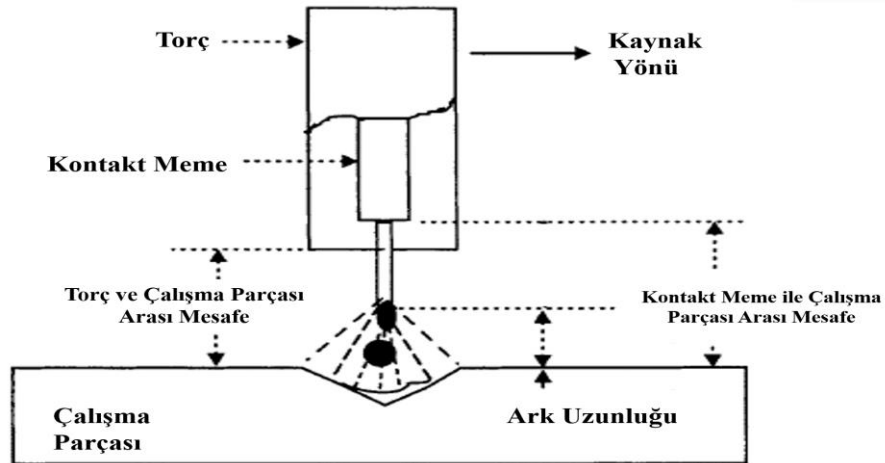
Şekil 1.5 : Tungsten inert gaz kaynağı [18].

Elektrotun standartlara uygun olarak korunabilmesi için, yüksek sarfiyatta (99,95 %) soygaz kullanılması gerekmektedir. Bazı metaller ve çelik alaşımları için karışım gazları da kullanılmaktadır. Endüstriyel anlamda TIG kaynak yönteminin tercih edilmesinin en büyük sebebi, ısı girdisi ile kaynak metali miktarının birbirinden bağımsız olmasıdır. Bu özellik, TIG kaynak yönteminin ince parçalara rahatlıkla

uygulanabilmesine ve böylece pozisyon kaynaklarında tercih edilmesine yol açmaktadır. Plazma Ark Kaynağı ve Tungsten İnert Gaz Kaynağı yöntemleri karşılaştırıldığı takdirde; aralarında benzerlikler ortaya çıkmaktadır. İki yöntemde de ark, ergimeyen tungsten elektrot ile iş parçası arasında meydana gelmektedir. Fakat Plazma Ark Kaynağında nüfuziyet miktarı daha yüksek olduğu için, daha az kaynak ağzı hazırlama işlemine gerek duyulmaktadır. Düşük ısı girdisi sayesinde daha az ekstenel çarpılma meydana gelmektedir [18].

MIG ve MAG Kaynak Yöntemleri

TIG kaynağının tüm avantajlarının yanında kaynak hızının yavaş olması, özellikle endüstriyel çalışmalarda daha seri uygulamalara imkân verecek yöntemler araştırılmasına yol açmıştır. MIG/MAG kaynak yönteminde ark eriyen bir elektrot ile iş parçası arasında teşekkül etmektedir. Koruyucu gaz, inert bir gaz (Helyum, Argon gibi) ise, bu yöntem Metal İnert Gaz Ark Kaynağı (MIG), koruyucu gaz aktif bir gaz (CO_2 veya karışım gazı) ise, Metal Aktif Gaz Ark Kaynağı (MAG) olarak adlandırılmaktadır. MIG/MAG kaynak yönteminde esas olarak, kaynak redresörleri yardımıyla doğru akım kullanılarak birleştirme işlemi gerçekleştirilmektedir. Koruyucu gaz olarak 100 % CO_2 , değişik oranlarda Ar + CO_2 gaz karışımları ve He gazı kullanılmaktadır. Karışım gaz kullanımı kaynak dikişinin mekanik özelliklerinin geliştirilmesine yardımcı olmaktadır. Gözenek oluşum ihtimalini azaltmak ve sıçramayı azaltmak amacıyla karışım gaz kullanımı yaygın olarak gözlemlenmektedir [19]. MIG/MAG Kaynak Yöntemleri geniş bir kullanım alanına sahiptir. Çok ince levhalar hariç, her kalınlıktaki çelik ve demir dışı metal alaşımlarına uygulanabilmektedir. Bu yöntemin uygulanması oldukça basittir.



Şekil 1.6 : MIG/MAG kaynak yöntemi ark bölgesi [20].

Toprak kablosunu çalışma parçasına bağladıktan sonra; torçun ucundaki elektrotu kaynak ağzına değdirmek sabit ve kalıcı bir ark oluşturmak için yeterlidir. Ark boyu sistem tarafından ayarlanmaktadır. Şekil 1.6'de görüldüğü gibi ark, eriyen elektrot ile çalışma parçası arasında teşekkül etmektedir [20].

Yukarıda bahsedilen Gazaltı Kaynak Yöntemlerinin özel bir uygulaması olan Orbital Kaynak yönteminden tez çalışmasının ileriki bölümlerinde ayrıntılı şekilde bahsedilmektedir.

1.2.1.4 Özlü tel elektrik ark kaynağı

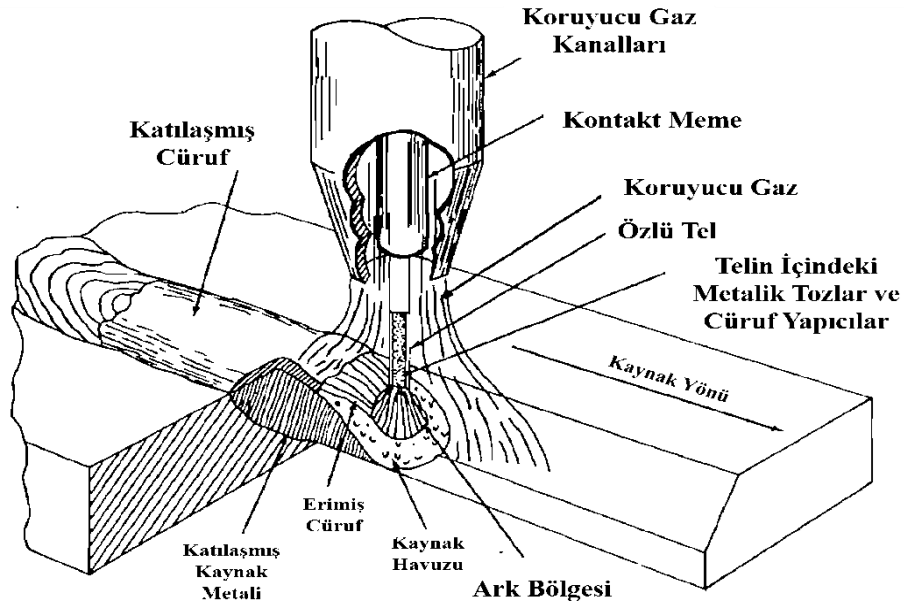
Özlü Tel Elektrik Ark Kaynağı, ark teşekkülü devamlı beslenen özlü tel ile kaynak havuzu arasında gerçekleşmektedir. Kendiliğinden korumalı Özlü Tel Ark Kaynağı sistemlerinin yanı sıra, dışarıdan koruyucu gazın uygulandığı Özlü Tel Ark Kaynağı sistemleri de mevcuttur. Kendiliğinden korumalı uygulamalarda, özlü telin içinde bulunan bileşiklerin yanması sonucu koruyucu gaz ortaya çıkmaktadır. Bu gaz, kaynak dikişini atmosferin zararlı etkilerinden korumaktadır. Özlü tel kaynak uygulamalarında cüruf oluşmakta ve oluşan bu cüruf kaynak havuzunun inklüzyonlar tarafından kirlenmesini engellemektedir.

Özlü Tel Ark Kaynağının Özellikleri:

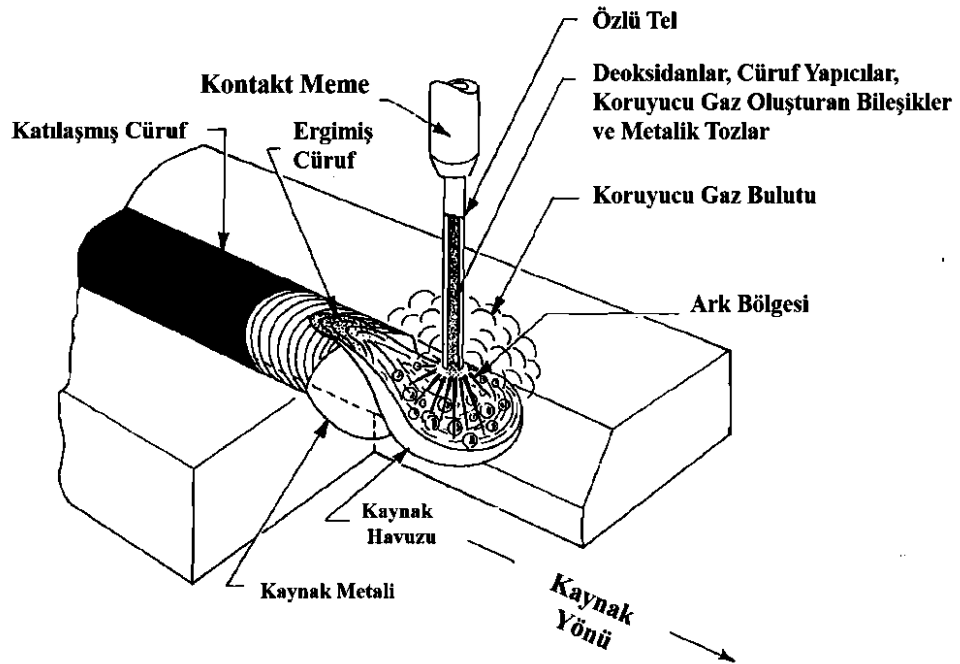
- Yüksek ergime gücü ve yüksek akım yoğunluğuna sahiptir.
- Düzgün ve pürüzsüz kaynak dikişleri ortaya çıkmaktadır.
- Otomasyona yatkındır.
- Bazı uygulamalarda koruyucu gaza ihtiyaç duymamaktadır.
- Diğer yöntemlere kıyasla rüzgâr gibi doğal koşullara karşı daha az hassastır.
- Diğer yöntemlere kıyasla daha hızlı kaynak yapma imkânı sağlamaktadır.
- Alaşımlandırma imkânı sağlamaktadır.
- Oluşan cüruf kaynak havuzunu temizlemektedir.
- Paso aralarında cürufun temizlenmesi gerekmektedir.
- Özlü tel fiyatları diğer tellere daha yüksektir.
- Kullanılan donanım daha pahalı ve karmaşıktır.

- Oluşan kaynak dumanının uygulama alanından uzaklaştırılması gerekmektedir [21].

Özlü Tel Ark Kaynağı esas anlamda Tozaltı Ark Kaynağı, Gazaltı Ark Kaynağı ve Örtülü Elektrot Ark Kaynağı yöntemlerinin kombinasyonudur. Telin içinde bulunan özü sayesinde diğer yöntemlerin sağladığı özellikleri karşılamaktadır.



Şekil 1.7 : Gaz korumalı özlü tel kaynak ark bölgesi [22].



Şekil 1.8 : Kendinden Korumalı Özlü Tel Ark Kaynağı Ark Bölgesi [22].

Şekil 1.7’ de Gaz Korumalı Özlü Tel Kaynağı ark bölgesi gösterilmektedir. Koruyucu gaz, torçun içinden ark bölgesi beslenmektedir. Kaynak bölgesinin tersi yönde cüruf meydana gelmektedir.

Koruyucu gaz olarak CO₂ ve Ar + CO₂ karışım gazı kullanılmaktadır. Bu gazlar havadaki O₂ ve N₂’nin kaynak havuzuna zarar vermesini engellemektedir. Karışım gaz kullanılması durumunda, CO₂’in ayrışması sonucu ortaya çıkan O₂’nin zararlı etkilerinin ortadan kaldırmak, kaynak havuzunu deokside etmek amacıyla deoksidanlar özlü tel bileşiminde yer almaktadır. Kendinden korumalı Özlü Tel Ark Kaynağı yönteminde, dışarıdan koruyucu gaz uygulanmasına ihtiyaç duymadan telin içindeki özün yanması sonucu koruyucu gaz ortamı oluşmaktadır. Şekil 1.8’da belirtildiği gibi, Gaz Korumalı uygulamalara benzer olarak kaynak yönünün tersine cüruf teşekkülü gözlenmektedir. Zorlu uygulama koşullarının olduğu alanlarda kendinden korumalı uygulamalar daha çok tercih edilmektedir. Telin özü içerisinde yer alan bileşikler ileriki bölümlerde geniş olarak incelenmektedir [22].

1.3 Kaynak Elektrotları

Esas olarak kaynak dikişinin kimyasal ve mekanik özelliklerini belirleyen temel unsur kaynak elektrotudur. Uygulamanın gerektirdiklerine bağlı olarak çok farklı kimyasal bileşimlere sahip kaynak elektrotları üretilmektedir. Bu tez çalışması kapsamında Elektrik Ark Kaynağı uygulamalarında ve yukarıda genel olarak aktarılan yöntemlerde kullanılan kaynak elektrotları ve özellikleri aktarılmaktadır. Elektrik Ark Kaynağında kullanılan kaynak elektrotları genel anlamda Örtülü Elektrotlar, Gazaltı Kaynak Elektrotları, Tozaltı Kaynak Elektrotları ve Özlü Elektrotlar olarak sınıflandırılmaktadır.

1.3.1 Örtülü elektrotlar

Kaynak uygulamasında istenilen özelliklere göre değişen standartlarda belirtilen birçok örtülü elektrot bulunmaktadır. Bu elektrotlar Selülozik, Bazik ve Rutil örtülü elektrotlar olmak üzere üç ana başlık altında toplanmaktadır.

1.3.1.1 Selülozik örtülü elektrotlar

Örtü ağırlığının % 30 ‘u selülozdan oluşmaktadır. Bu örtü yandığı zaman, CO ve CO₂ koruyucu gazları ortaya çıkmaktadır. Güçlü bir ark oluşturması sebebiyle, nüfuziyet miktarı diğer örtülü elektrotlara göre yüksektir. Organik maddelerin ayrışması

sonucunda arkın çevresinde hidrojen atmosferi oluşmaktadır. Bu özelliğinden dolayı, hidrojen kırılabilirliği riski olan çeliklerin birleştirilmesinde tavsiye edilmez.

1.3.1.2 Bazik örtülü elektrotlar

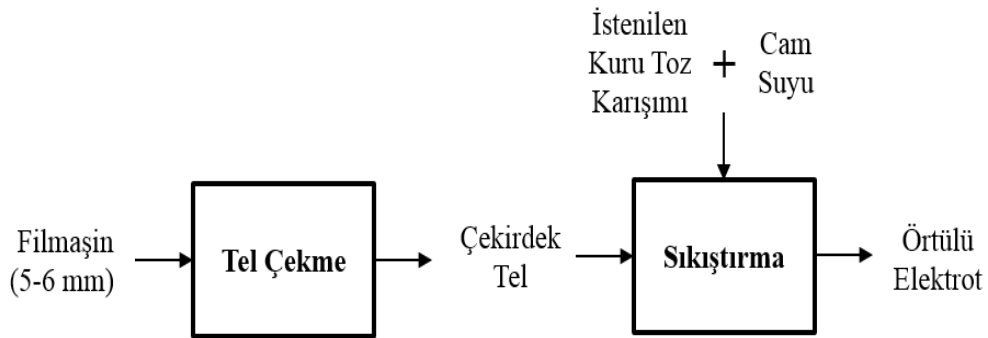
Düşük hidrojen içeriğine sahip olan bu elektrotların örtüsünün büyük çoğunluğunu CaF_2 ve CaCO_3 gibi kalsiyum bileşikleridir. Bütün kaynak pozisyonlarına uygun olan bu elektrotların mekanik özellikleri, diğer elektrotlara göre daha üstündür. Rutubete karşı hassas oldukları için uygulama öncesinde kurutulmaları gerekmektedir. Bazik elektrotların örtüsünde bulunan CaCO_3 , kaynak sırasında CaO ve CO_2 bileşiklerine ayrışmaktadır. CaO cürufa geçerken, CO_2 ise zararlı gazları kaynak havuzundan uzaklaştırmaktadır [23].

1.3.1.3 Rutil örtülü elektrotlar

Cüruf oluşumu gözlenen ve ark kararlılığı yüksek olan bu tip elektrotların, örtüsünün yaklaşık % 35' ini TiO_2 oluşturmaktadır. Kaynak işlemi kolaydır ve her pozisyonda kaynak yapmaya uygundur. Aynı bazik örtülü teller gibi kurutularak kullanılması gerekmektedir. Kurutma işlemi sırasında kimyasal olarak bağlı su yapısının bozulması istenmemektedir. Rutil örtülü elektrotların oluşturduğu cüruf, 1330 – 1365 °C arasında katılaşır ve kahverengi siyah arası bir renktedir. Yığılan dikişin oksijen içeriği orta seviyede olduğu için kaynak dikişi düzgündür [24].

1.3.1.4 Örtülü elektrot üretimi

Filmaşın olarak alınan malzeme, tel çekme yöntemi ile plastik olarak şekillendirilmektedir. Tel üzerine örtülmesi istenilen k bileşimdeki kuru, toz cam suyu ile karıştırılarak yaş hale getirilmektedir. Bu karışım sıkıştırma yöntemi ile çekirdek telin üzerine uygulanmakta ve telin üzerine tutunması sağlanmaktadır [25].



Şekil 1.9 : Örtülü elektrot üretimi.

1.3.2 Tozaltı kaynak elektrotları

Tozaltı kaynak elektrotları, yüksek Mangan içeren özel çeliklerden üretilmektedir. Bu özel çelikler elektrik ark ocaklarında imal edilerek, lama şeklinde ya da bakırla kaplanmış dairesel kesitli olarak piyasaya sürülmektedir. 1,2 ile 12 mm. çapında üretilen elektrotların, standartlarda belirtilen toleransları aşmamaları ve iyi kalibre edilmiş olmaları gerekmektedir. Tozaltı kaynak elektrotlarının içeriğinde yer alan alaşım elementlerinin elektrot özelliklerine etkisi Çizelge 1.6'de belirtilmektedir.

Çizelge 1.6 : Tozaltı Kaynak Elektrotlarında Alaşım Elementlerinin % Sınırları ve Etkileri [26].

Alaşım Elementi	Yüzde Sınırları	Alaşım Elementinin Etkisi
Karbon	0,05 – 0,25	- Sertliği artırır. - Çekme dayanımını yükseltir.
Silisyum	0,05 – 0,45	- Deoksidasyon sağlar. - İşlenebilirlik kabiliyetini artırır. - Kaynak kabiliyetini artırır.
Mangan	0,50 – 3,00	- Sertliği kısmen yükseltir. - Çekme ve çentik darbe dayanımını yükseltir. % Uzamayı artırır.
Molibden	0,50 – 1,00	Isıya dayanımı artırır.
Krom	1,00 – 2,90	- Sertliği yükseltir. - Isıya dayanımı artırır.
Nikel	1,00 – 2,00	Düşük çalışma sıcaklıklarında dayanımı artırır.

Çıplak telin bakırla kaplanmasının nedenleri

- Soğuk çekme sonrasında temiz hale getirilen telin, uygulama anına kadar oksitlenme riski azaltılmaktadır.
- Bakırın elektrik iletkenliğinin iyi olmasından faydalanılarak, temas yüzeylerinin ısınması ve enerji kaybı en aza indirilmektedir
- Bakırın yumuşak bir metal olması sayesinde devamlı beslenen Tozaltı kaynak elektrotlarının sistem elemanlarını aşındırması engellenmektedir [26].

1.3.3 Gazaltı kaynak elektrotları

Gazaltı Kaynak Elektrotları ergiyen elektrotlar ve ergimeyen elektrotlar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Tungsten İnert Gaz Kaynağında kullanılan tungsten elektrotlar ergimez ve sadece ark taşıyıcı olarak görev yapmaktadır. MIG/MAG kaynak yöntemlerinde kullanılan teller ise devamlı olarak beslenen ergiyen elektrotlardır.

1.3.3.1 TIG kaynağında kullanılan kaynak elektrotları

TIG kaynak yönteminde kullanılan elektrotlar tungstenden üretilmektedir. Tungsten yüksek ısı rezistansına sahip bir malzemedir. Tungsten metalinin, çeşitli metal oksitlerle alaşımlandırılmasıyla elektrotun iletkenliği arttırılmakta ve böylece yüksek akım değerlerinde çalışma imkânı sağlanmaktadır. Alaşımlandırılmış tungsten elektrotlar, saf tungsten elektrotlara göre daha uzun kullanım ömrü sağlamanın yanında daha iyi tutuşma özelliklerine sahiptir.

Tungsteni alaşımlandırmak için genellikle, Toryum oksit, Zirkonyum oksit, Lantanyum oksit ve Seryum oksit kullanılmaktadır. Elektrot çapları 0,5 – 8 mm arasında değişmektedir. Elektrot çapı, akım yoğunluğu ve kullanılan akım türüne göre belirlenmektedir [27].

1.3.3.2 MIG / MAG kaynağında kullanılan kaynak elektrotları

Bu yöntemde kullanılan kaynak elektrotları, bir kangala sarılmış olarak kaynak makinası takılmaktadır. Kullanılan tel elektrotlar; kaynak yapılan metalle aynı tür veya benzer bileşime sahip olmakla beraber, soğuk çekme yöntemiyle üretilmektedir. Masif tel elektrot da olarak adlandırılan bu elektrotların üretimine 5,5 – 6 mm çapında sıcak haddelenmiş tellerden başlanmaktadır. Bu teller; yüzey oksitlerinden arındırılması amacıyla, dağlama ve mekanik temizleme işleminden geçirilmektedir.

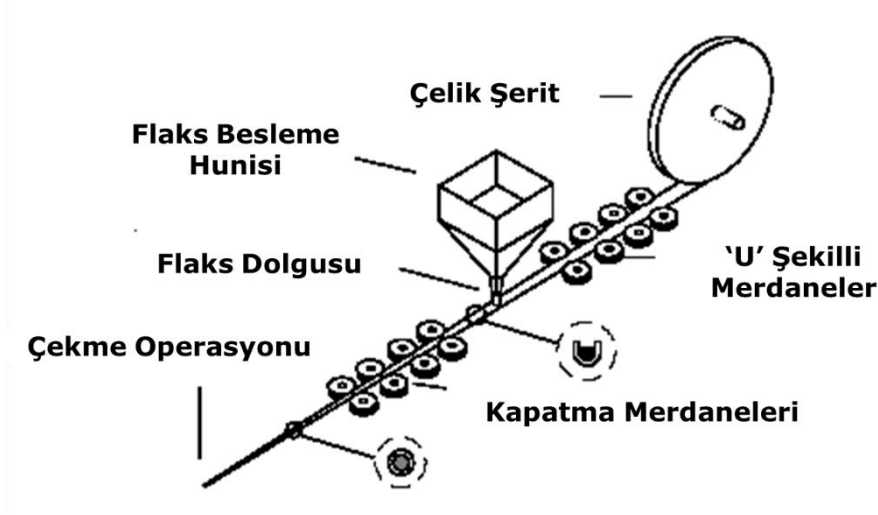
Kesit küçültme işlemi kademe kademe gerçekleştirilmekte ve kademeler arasında plastik deformasyona uğrayarak sertleşen tele ara tavlama işlemi uygulanmaktadır. Nihai kesite ulaşıldıktan sonra elektrot yüzeyleri bakır kaplanarak iletkenlikleri arttırılmakta ve yüzeyin korunması sağlanmaktadır. Bu işlem elektrolitik olarak ya da galvanik yöntemle gerçekleştirilmektedir. Bitirme çekmesi sonrasında teller doğrudan makaralara sarılmakta ve paketlenmektedir [28].

Kaynak yapılacak parçanın kimyasal bileşimine göre üretilmiş, alaşımlı ve alaşımsız kaynak elektrotları bulunmaktadır. Kaynak uygulamalarında sık sık kullanılan SG1,

SG2 ve SG3 eşdeğeri masif teller bu elektrotlara örnek olarak gösterilebilir. Tez kapsamında kullanılan GEKA SG2 masif teli ileriki bölümlerde ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.

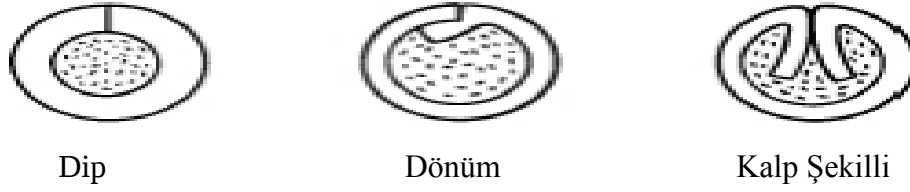
1.3.4 Özlü tel kaynak elektrotları

Özlü tel kaynak elektrotları; otomatik ya da yarı otomatik kaynak uygulamalarında kullanılan, kaynak metalürjisini ve kaynak metalinin mekanik özelliklerini geliştirmeyi sağlayan metalik ya da metalik olmayan alaşım elementleri içeren ve bu özellikleri sayesinde özel kaynak uygulamalarında kullanılan kaynak elektrotlarıdır. Şekil 1.10'da da görüldüğü gibi özlü tel elektrotların üretimi diğer elektrotların üretimine göre daha karmaşıktır.



Şekil 1.10 : Özlü tel elektrot üretimi [29].

Özlü Tel Elektrot üretimine ilk olarak çelik şeritten başlanmaktadır. “ U ” şekilli merdaneler yardımıyla çelik şeritler “ U “ şekline getirilmektedir. Flaks besleme hunisinin altına gelen “ U ” şekilli şeritler, elektrota istenilen özellikleri kazandırılması amacıyla metalik ya da metalik olmayan tozlar ile doldurulmaktadır. Bu işlem sonrasında kapatma merdaneleri yardımıyla çelik şeritler, boru şeklini almaktadır. Son olarak çekme işlemi ile nihai kesit ölçüleri elde edilmektedir. Kullanıldığı alana ve istenilen özelliklere göre dikişsiz elektrotlar üretilebildiği gibi, Şekil 1.11’de gösterilen farklı geometrilerde özlü tel elektrotlar da bulunmaktadır. Dikişsiz ve Dip tipi özlü tel elektrotlar yüksek metal yığıma miktarlarının talep edildiği uygulamalarda tercih edilmekte olup, Dönüm ve Kalp Şekilli özlü tel elektrotlara yüksek alaşımlandırma ihtiyacı duyulan uygulamalarda kullanılmaktadır.



Şekil 1.11 : Özlü tel elektrot geometrileri [30]

Özlü Tel Elektrotların teknolojik uygulamalarda sıklıkla tercih edilmesinin en önemli sebebi, içerdiği özün kaynak uygulamasına ve kaynak metaline diğer tellerle sağlanamayacak özellikler kazandırmasıdır.

Çizelge 1.7’de belirtilen bu özellikler sayesinde Özlü Tel Elektrot ile yapılan kaynak uygulamaları, birçok özelliğin beraber sağlanması gerektiren kaynak uygulamalarında rakipsiz görülmektedir.

Özlü tel elektrotlar, içeriklerine göre üç başlık altında sınıflandırılmaktadır.

- 1. Rutil Özlü Tel Elektrotlar:** Yüksek miktarda Titanyum Oksit içeriğine sahiptir. Düşük saçılma davranışı göstermekte olup, yüksek mekanik özelliklere ihtiyaç duyulan uygulamalarda tercih edilmektedir.
- 2. Bazik Özlü Tel Elektrotlar:** Yüksek miktarda Kalsiyum karbonat içeriğine sahiptir. Bazik Özlü Tel Elektrot ile yapılan kaynak uygulamalarında düzgün ve akıcı bir ark oluşumu gözlenmektedir. Yüksek penetrasyon sağlamaktadır.
- 3. Metalik Özlü Tel Elektrotlar:** Dolgu kaynağı uygulamalarında tercih edilmektedir. Geniş bir akım aralığında çalışabilme imkânı sağlamaktadır [31].

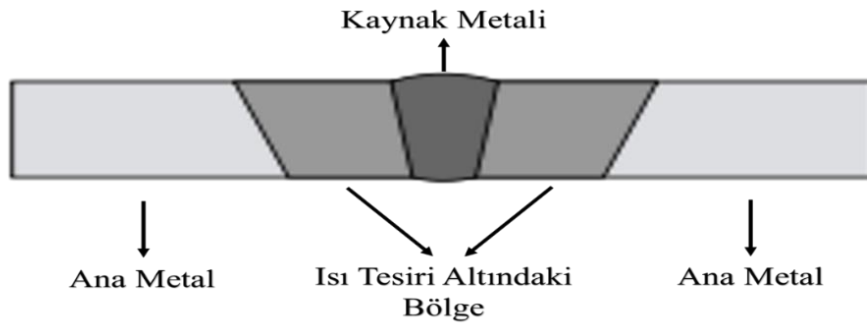
1.4 Kaynak Metalurjisi

Kaynak metalurjisi üzerine yapılan çalışmalar; kaynak işlemi sırasında gerçekleşen ergime, katılaşma, gaz – metal reaksiyonları, cüruf – metal reaksiyonları, kaynak metali ana metal arasında gerçekleşen ısı akışı gibi ya ardı ardına ya da aynı anda gerçekleşen birçok sürecin incelenmesi üzerine yoğunlaşmaktadır. Birçok üretim yönteminin aksine kaynak uygulamalarında sıcaklık değişimleri çok hızlı gerçekleşmektedir ve kontrol edilmesi çok güçtür.

Çizelge 1.7 : Özlü tel elektrotların içerikleri ve bu içeriklerin kazandırdığı özellikler.

Oksijen ve Azot Gidericiler	Oksijen ve Azot kaynak metali içinde porozite yaratarak kaynak metalinin kırılganlığını artırır. Azot giderici olarak Al, oksijen giderici olarak da Mangan kullanılarak, bu etkiden kaçınılır.
Cüruf Yapıcılar	Kalsiyum, silisyum, potasyum yada sodyum oksitler kullanılarak kaynak havuzu atmosferin zararlı etkilerinden korunur.
Ark stabilize ediciler	Potasyum ve sodyum elementleri eklenerek, daha düzgün bir ark oluşumu sağlanır ve böylece ark saçılması azaltılır.
Alaşım Elementleri	Molibden, krom, karbon, mangan, nikel, vanadyum gibi alaşım elementleri eklenerek, kaynak metalinin şekil değiştirme ve mukavemet gibi mekanik özellikleri optimize edilir.
Koruyucu Gaz Oluşturucular	CaF_2 yada CaCO_3 gibi mineraller eklenerek, özlü telin koruyucu gaz oluşturması sağlanır.

Kaynak metalurjisi incelemeleri, Şekil 1.12’de gösterildiği gibi ısı girdisi sonucu üç temel bölge üzerinden gerçekleştirilmektedir. Kaynak metali, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve ana metal olarak isimlendirilen bu bölgelerde; metalurjik davranışlar farklılık göstermekte ve bu davranışlar kaynak uygulamasının karakteristiğini ortaya koymaktadır. Hızlı soğuma sonrası hızla katılaşılan kaynak metali, ana metal ile kaynak elektrotu arasındaki etkileşim sonucunda meydana gelmektedir. Bu etkileşim sırasında alaşım elementleri bölgeler arasında göç etmektedir.



Şekil 1.12 : Kaynak işleminden sonra meydana gelen metalurjik bölgeler.

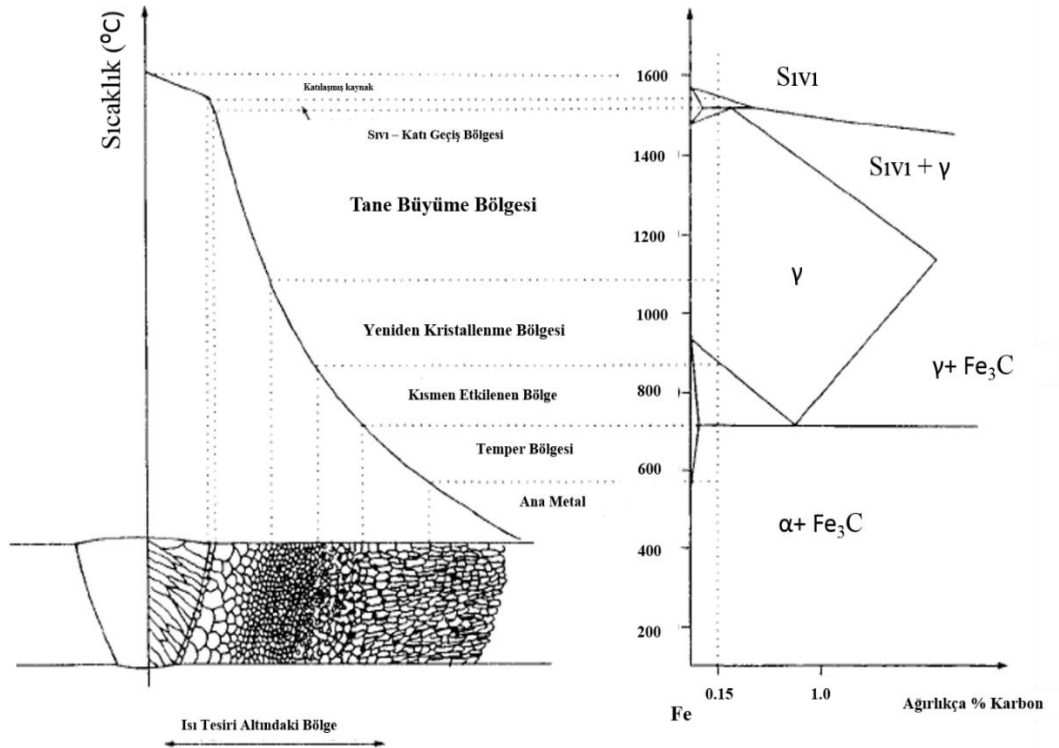
Gerçekleşen bu süreçler sonucunda, ana metalin kimyasal yapısından farklı, kullanılan elektrotun sahip olduğu özelliklere bağlı olarak mekanik ve kimyasal yapısı gelişmiş, bir kaynak metali bölgesi oluşmaktadır [32].

Ana metal kaynak işlemi sırasında ısı girdisinden en az etkilenen bölgedir. Mikroyapısal anlamda bir değişim gözlenmemektedir. Isı Tesiri Altındaki Bölge,

kaynak işlemi sırasında ergimemekte ancak ön ısıtma ve kaynak işlemi sırasında sıcaklık değişiminden etkilenmekte ve bunun sonucunda mikroyapı ve mekanik özellikleri farklılık göstermektedir. Bu etki, tane boyutunun ve tane yapısının değişimi incelenerek gözlemlenmektedir. ITAB'ın büyüklüğü, kaynak işlemi sırasında meydana gelen ısı girdisine bağlıdır.

Şekil 1.13'de % 0.15 Karbon içeren bir çeliğin kaynak işlemi sırasında tane yapısında gerçekleşen değişimler faz diyagramı yardımıyla gösterilmektedir. ITAB içerisinde birçok alt bölge oluşmakla birlikte, oluşan bölgenin sıcaklığına bağlı olarak tane davranışları değişmektedir. Ana metalden kaynak metaline doğru, tane büyümesinin başladığı ya da yeniden kristallenmenin tamamlandığı sıcaklığa kadar tanelerin küçüldüğü görülmektedir. Yaklaşık olarak 1100°C'den sonra tane büyümesi başlamaktadır.

Kaynak işlemi sırasında gaz metal reaksiyonları, kaynak metalurjisini doğrudan etkileyen en önemli reaksiyonlardır. Oksijen, Hidrojen ya da Nitrojen ve koruyucu gaz, kaynak atmosferini oluşturmaktadır. Oksijen varlığının temel nedeninin atmosfer ortamında bulunmasının yanı sıra, Karbondioksit, çeşitli Metal oksitler ve su buharının parçalanması sonucunda da ortamda Oksijen gazı oluşumu meydana geldiği bilinmektedir.



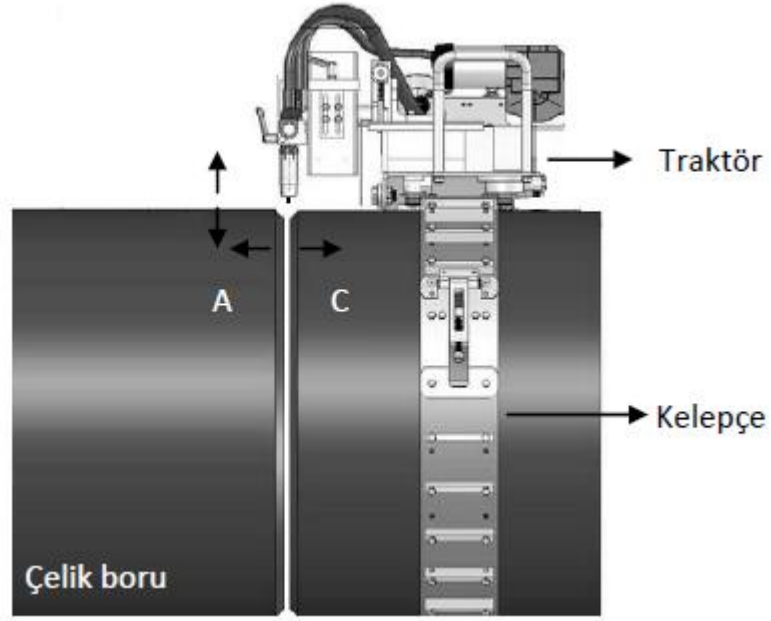
Şekil 1.13 : Sıcaklık kaynak bölgesi ve faz diyagramı ilişkisi [33].

Nitrojen gazı ise atmosferde yüksek oranda yer almakla birlikte, özellikle paslanmaz çeliklerin kaynak uygulamalarında koruyucu gaz olarak da kullanılmaktadır.

Kaynak bölgesindeki Hidrojen varlığının birçok sebebi bulunmaktadır. Kaynak elektrotlarındaki suyun parçalanması sonucu Hidrojen oluşmasının yanı sıra, yağlayıcılardan, çalışma parçasının nemliliğinden ve en önemlisi de atmosferdeki nem miktarından dolayı Hidrojen varlığı gözlemlenmektedir [34].

2. ORBİTAL KAYNAK TEKNOLOJİSİ

Yatay ya da dikey olarak hizalanmış iki borunun alın kaynağı uygulamasında kullanılmak üzere geliştirilmiş; torçun borulardan bir tanesi üzerinde bulunan traktör yardımıyla, Latince orbit anlamına gelen bir yörünge üzerinde boru boyunca yaptığı dönmesi sonucunda kaynak işleminin gerçekleştirildiği mekanize sistemlerdir. Şekil 2.1’ den görülebileceği gibi, torç sağa sola salınım hareketi yaparak çevresel olarak kaynak yapabilmektedir [35].



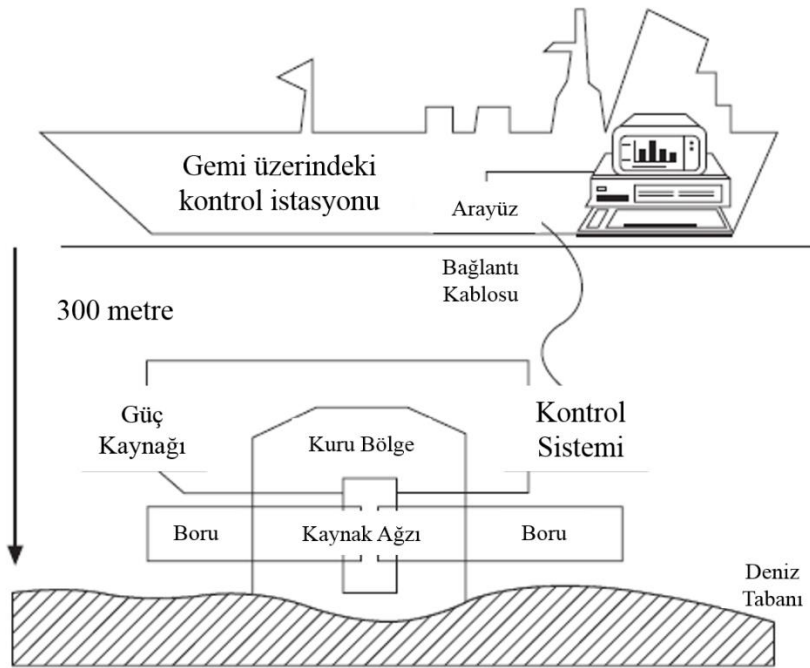
Şekil 2.1 : Yatay olarak hizalanmış orbital kaynak cihazı [35].

Sistem otomatik ya da yarı otomatik olarak kontrol edilebilmekle beraber; torçun mesafesi, salınım hızı ve torçun açısı kolaylıkla ayarlanabilmektedir. Orbital Kaynak Cihazı, kaynak parametrelerinin sabit tutulmasını ve böylece kararlı ve kontrollü bir ark oluşumunu sağlamaktır. MIG/MAG ve özlü tel elektrik ark kaynak yöntemlerinde kullanılan bu cihazlar, kök paso dâhil olmak üzere tüm pozisyonlarda kaynak yapabilmekte ve yüksek metal yığıma kapasitesi sayesinde kaynak uygulamasının

süresini ciddi manada kısaltmaktadır. Otomasyona olan yatkınlığı Orbital Kaynak Cihazını boru kaynağı uygulamalarında rakipsiz kılmaktadır.

2.1 Orbital Kaynak Cihazının Kullanım Alanları

Orbital Kaynak Cihazı, eş eksenli boruların alın kaynağı için tasarlanmıştır. Günümüzde inşaatı devam eden birçok boru hattı inşaatında, boruların alın kaynaklarının yapılmasında Orbital Kaynak Cihazı kullanılmaktadır [36]. Özellikle denizaltında yapılan boru hattı inşaatlarında Orbital Kaynak Cihazı yeri doldurulamaz bir öneme sahiptir. Şekil 2.2’de denizin 300 m derinliğinde Orbital Kaynak Cihazı ile yapılan bir kaynak uygulaması gösterilmektedir.



Şekil 2.2 : Sualtı orbital kaynak cihazı uygulaması [37].

Boru hattı inşaatına alternatif olarak gerçekleştirilen tez kapsamında, Orbital Kaynak Cihazı kullanımının inşaat sektöründe yaygınlaştırılması amaçlanmaktadır. Boru hattı kaynağının aksine yatay yerine dikey olarak hizalanmış boruların kaynaklanmasının araştırılması üzerine yapılan bu çalışma; yapı çeliklerinin Orbital Kaynak Cihazı ile kaynaklanması uygulamalarına öncü olacaktır.

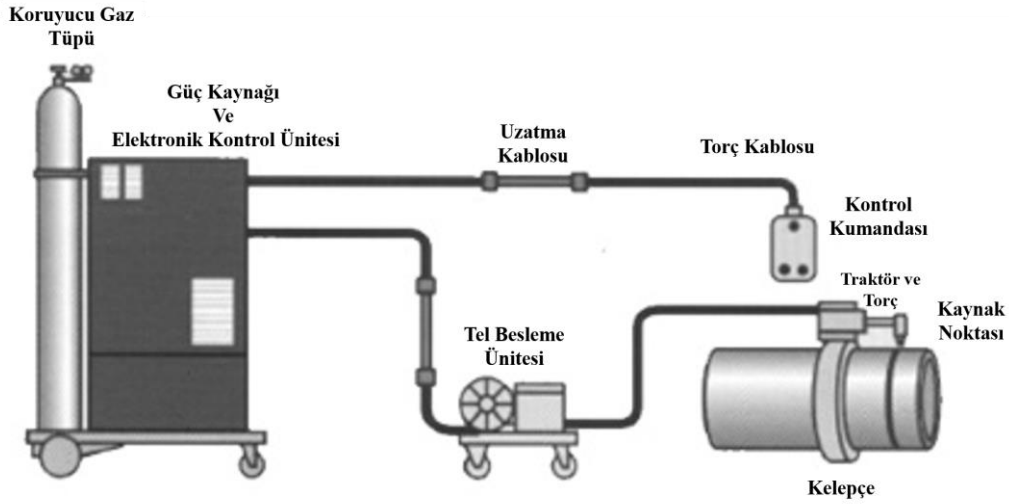
2.2 Orbital Kaynak Teknolojisinin Avantajları ve Dezavantajları

Orbital Kaynak Cihazının ön plana çıkmasını sağlayan ve de geliştirilmesi gereken özellikleri aşağıda sıralanmaktadır:

1. Diğer kaynak yöntemlerine göre kaynak maliyeti düşüktür.
2. Kaynak dikişi 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.

2.3 Orbital Kaynak Cihazının Sistem Elemanları

Temel anlamda Orbital Kaynak Cihazı; güç kaynağı, tel besleyici, ana kontrol ünitesi, elektronik kontrol ünitesi, kelepçe ve traktörden oluşmaktadır. Şekil 2.3’de Orbital Kaynak Cihazının sahip olduğu tüm elemanlar gösterilmektedir. Traktör ve güç kaynağı birbiriyle eş zamanlı ve otomatik olarak çalışmaktadır. Traktör paslanmaz çelik bir kelepçenin üzerinde boru eksenine boyunca hareket etmektedir. Kelepçe boru boyutuna göre kolaylıkla ayarlanabilmektedir. Kaynak torçunun taşındığı traktör, boru çapına göre sabitlenen kelepçe üzerine, kolayca ve kısa sürede monte edilebilmektedir.



Şekil 2.3 : Orbital kaynak cihazı sistem elemanları.

Su soğutma kanalları yardımıyla güvenliği sağlanan cihazda, doğru akım üreten güç kaynağı kullanılmaktadır. Manuel olarak kaynak parametrelerinin ayarlanabildiği kontrol üniteleri yardımıyla anlık olarak parametre kontrolü yapılabilmekte ve kaynak uygulamasına müdahale edilebilmektedir. Daha önceden hazırlanan kaynak programları kontrol ünitesine yüklenerek, her seferinde otomatik olarak aynı parametrelerle birleştirme işlemi yapılabilmesine olanak sağlamaktadır. Orbital Kaynak Cihazı ile Tungsten İnert Gaz Kaynağı (TIG), Metal İnert Gaz Kaynağı (MIG), Metal Aktif Gaz Kaynağı (MAG) ve Özlü Tel Ark Kaynağı (FCAW) yapılabilmektedir.

2.4 Orbital Kaynak Uygulamalarında Kaynak Öncesi İşlemler

Tüm otomatik uygulamalarda olduğu gibi, Orbital Kaynak Cihazı ile yapılan kaynak uygulamalarında da kaynak öncesi işlemler büyük önem taşımaktadır. Kaynak kalitesini doğrudan etkilemekle beraber, kaynak uygulamasının daha kolay gerçekleştirilebilmesine olanak sağlamaktadır. Kaynak öncesi işlemler; uygulama sırasına göre; kaynak ağzının hazırlanması, boruların ağız ağıza hizalanması, kaynak ağzının temizlenmesi ve son olarak ön ısıtma olarak sınıflandırılmaktadır.

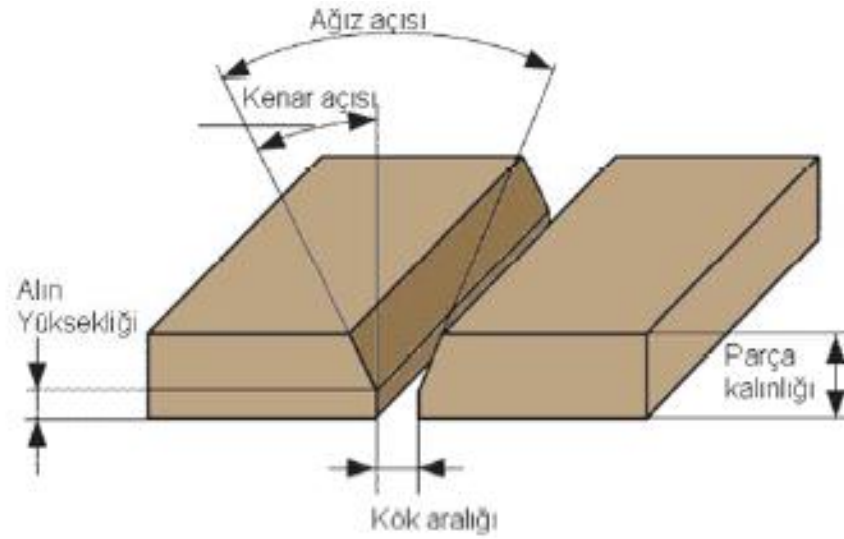
2.4.1 Kaynak ağzının hazırlanması

TS EN ISO 9692 – 1 Kaynak ve Benzer İşlemler – Kaynak Ağızı Hazırlığı için tavsiyeler standardı kapsamında, kaynak işleminin özelliğine göre hangi tip kaynak ağzı açılması gerektiği belirtilmiştir. Bahsi geçen standartta genel anlamda alın

kaynağı ve köşe kaynağı için U kaynak ağızı, V kaynak ağızı, J kaynak ağızı, küt kaynak ağızı, kenet kaynak ağızı, eğimli kaynak ağızı ve bu ağız tiplerinin farklı kombinasyonlarından söz edilmektedir [38].

Kaynak ağızının hangi tipte açılacağını belirleyen değişkenler:

1. Parça Kalınlığı
2. Kaynak Yöntemi
3. Kaynak pozisyonu



Şekil 2.4 : Genel bir kaynak ağızı [39].

2.4.2 Boruların ağız ağıza hizalanması

Orbital Kaynak Cihazı ile yapılan kaynak uygulamaların en kritik aşaması, boruların ağız ağıza hizalanmasıdır. Eksenler arasındaki en küçük uyumsuzluk ya da boruların sahip olduğu ovalite, kaynak işleminde sorunlar ortaya çıkmasına ya da kaynak işleminin tamamen yanlış olmasına neden olmaktadır. Bu nedenle kaynak ağızı açılmış boruların kaynak dikişlerinin hassas bir şekilde ağız ağıza getirilmesi gerekmektedir. Bu işlem 100 mm çapından 1524 mm kadar çapa sahip borulara, boru hattı ağızlama makinesi yardımıyla 2 ile 5 dakika arasında yapılabilmektedir [40].



Şekil 2.5 : Otomatik boru hattı ağızlama makinesi [40].

2.4.3 Kaynak ağzının temizlenmesi

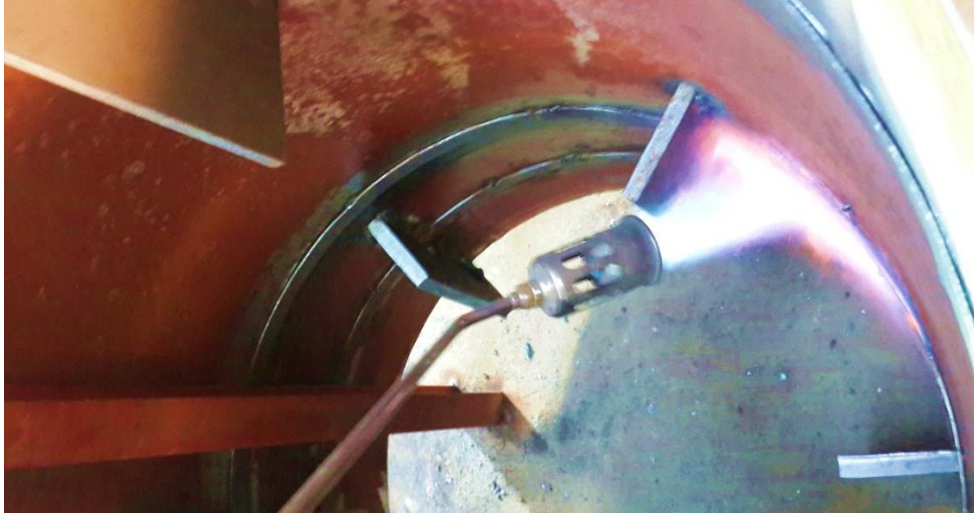
Kaynak işleminin öncesinde ve pasolar arasında yapılan temizlik işlemi büyük öneme sahiptir. Direnç kaynağı uygulamalarında kimyasal yöntemle yapılan bu işlem, diğer kaynak uygulamalarında yapıldığı gibi Orbital Kaynak Cihazı ile yapılan kaynak uygulamalarında mekanik yolla yapılmaktadır.

Kullanılan elektrotların temizleyici vasfı olsa da; parça üzerindeki kir, pas ve yağ gibi tabaka oluşturacak zararlı maddeler tel fırça ya da taş ile kaynak bölgesinden uzaklaştırılmaktadır.

2.4.4 Ön ısıtma

Ön ısıtma, kaynaklanacak malzemenin kaynak işlemi öncesinde belli bir sıcaklığa kadar ısıtılması işlemidir. Sıcaklık gradyanı düşürülerek, soğuma hızının azaltılması hedeflenmektedir.

Ön ısıtma, Şekil 2.6’da da görüldüğü gibi genellikle propan ısıtıcılarla yapılmaktadır. Ön ısıtma sayesinde borunun sahip olduğu nem miktarı azaltılmakta ve Hidrojen çatlağı ile karşılaşılma olasılığı düşürülmektedir. Ön ısıtma işleminin uygulanmaması durumunda ITAB’da hızlı soğuma nedeniyle martenzit oluşumu meydana gelebilmektedir. Bu oluşumdan özellikle uzak durulmaktadır. Kaynak uygulamalarında hiçbir kaynak bölgesinde martenzit yapı oluşması istenmemektedir. [41].



Şekil 2.6 : Propan ısıtıcı ile ön ısıtma.

Ön ısıtma miktarı Uluslararası Kaynak Enstitüsü (IIW) tarafından oluşturulan karbon eş değerine bakılarak belirlenmektedir. Çizelge 2.1’de önerilen ön ısıtma sıcaklıklarının yanı sıra, pratik uygulamalarda et kalınlığının artmasıyla ön ısıtma sıcaklıklarının artırılması ve karbon eş değeri 0,45’in altında dahi olsa kalın malzemeler için ön ısıtma yapılması önerilmektedir [42].

Çizelge 2.1 : Ön ısıtma – karbon eş değeri ($C_{eş}$) ilişkisi.

$C_{eş}$	Ön Isıtma Sıcaklığı (°C)
$C_{eş} < 0,45$	Gerekli değildir.
$0,45 < C_{eş} < 0,60$	150 – 200
$0,60 < C_{eş}$	200 – 400

2.5 Orbital Kaynak Uygulamasında Kaynak Kalitesini Belirleyen Parametreler

Tez kapsamında Orbital kaynak uygulamalarında kaynak kalitesini etkileyen parametreler; kaynak uygulamasının yapıldığı alanın özellikleri, kaynak öncesi saptanan parametreler ve kaynak esnasında ayarlanabilen parametreler olmak üzere üç başlık altında toplanmaktadır.

2.5.1 Kaynak yapılan alanın özellikleri

Kaynak uygulamasının yapıldığı alan, özellikle coğrafi nedenlerle kaynak kalitesine dolaylı olarak da olsa önemli ölçüde etki etmektedir. Özellikle boru hattı inşaatı ve yüksek bina inşaatlarında kaynak uygulamaları, zorlayıcı koşullar altında gerçekleştirilmektedir. Sualtında, buzullarda ya da çöllerde yapılan boru hattı inşaatlarında ve yüksek katlı binaların üst katlarında yapılan kaynak uygulamalarında iklim şartları bakımından kararlı bir ortam elde etmek çok önemlidir. Bu tip uygulamalarda Şekil 2.7’de gösterildiği gibi kaynak kabinleri kullanılmaktadır.



Şekil 2.7 : Kaynak kabinleri [43].

2.5.2 Kaynak öncesinde saptanması gereken parametreler

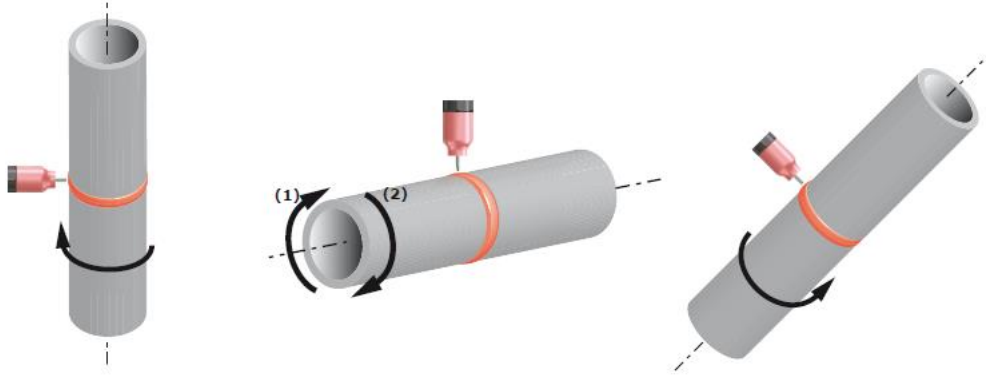
Kaynak uygulaması öncesinde saptanması gereken parametreler; kaynak işlemi başladıktan sonra değiştirilemediği için, istenilen kaynak özelliklerinin sağlanması ve kaliteli kaynak dikişleri elde etmek için kaynak uygulaması öncesinde tasarlanmalıdır.

2.5.2.1 Boru çapı ve et kalınlığı

Kaynak uygulaması öncesinde birleştirilecek borunun çapı ve et kalınlığı, istenilen mekanik özelliklere göre belirlenmelidir. Orbital Kaynak Cihazı ile yapılan kaynak uygulamalarında boru çapı, kelepçe boyutları ile sınırlandırılmaktadır. Et kalınlığı kaynak uygulamalarında paso sayısını doğrudan belirlemektedir. İnşaat uygulamalarında mümkün olan en az et kalınlığı ile gerekli mukavemet özelliklerinin sağlanması beklenmektedir.

2.5.2.2 Kaynak cihazı pozisyonu

Orbital Kaynak Cihazı ile yatay, dikey ve eğik(açılı) kaynak cihazı pozisyonlarında kaynak yapılabilir. Kaynak cihazı pozisyonu, inşaat projesinin mimarı planları doğrultusunda belirlenmektedir. Orbital Kaynak Cihazının farklı pozisyonlarda kullanılabilmesi kullanım alanının genişlemesini sağlamaktadır. Şekil 2.8’de bu pozisyonlar gösterilmektedir.



Şekil 2.8 : Kaynak cihazı pozisyonları [44].

2.5.2.3 Tel cinsi ve tel çapı

Tel seçimi ile ilgili tez kapsamında geniş bilgi verilmektedir. İstenilen mekanik ve kimyasal özellikler ve boru özellikleri doğrultusunda elektrot tercihi yapılmaktadır. Orbital Kaynak uygulamalarında 1,2 mm ve 1,6 mm çaplarında Gazaltı Kaynak Elektrotları ya da Özlü Tel Kaynak Elektrotları kullanılmaktadır.

2.5.2.4 Koruyucu gaz seçimi

Orbital Kaynak Uygulamalarında koruyucu gazın temel görevi kaynak çevresindeki atmosferin kaynak banyosu ile temasını engellemektir. Kendinden korumalı özlü tel elektrotların kullanıldığı durumlarda, koruyucu gazı ihtiyaç duyulmamaktadır. Koruyucu gaz, atmosferdeki Oksijen ile alaşım elementlerinin reaksiyona girmesini engellemekle beraber; Hidrojen ve Azotun kaynak banyosuna absorbe olmasını engellemektedir. Orbital Kaynak cihazı ile yapılan çelik boru kaynak uygulamalarında, koruyucu gaz olarak % 100 CO₂ ve M21 karışım gazı kullanılmaktadır. Karbondioksit, arkın etkisiyle yüksek sıcaklarda Karbon monoksit ve Oksijene ayrışmaktadır. Bu sayede, kaynak dikişinde nüfuziyet miktarı artmaktadır. Serbest kalan Oksijen ise tel bileşimindeki Mangan ya da Silisyum gibi elementlerle redüklenmektedir. % 100 CO₂ ile yapılan kaynak uygulamalarında daha yoğun kaynak metali saçılması gözlenmektedir. M21 karışım gazı, % 82 Ar ve % 18 CO₂ ihtiva

etmektedir. M21 karışım gazı dışında, farklı bileşimlerde birçok karışım gazı bulunmaktadır. Özellikle saçılma sorununu engellemek amacıyla karışım gazları kullanılmaktadır. Karışım gazları ile yapılan Orbital Kaynak uygulamalarının maliyeti, % 100 CO₂ ile yapılan kaynak uygulamalarına göre daha yüksektir [45].

2.5.2.5 Kaynak yönü

Orbital Kaynak Cihazı ile saat yönünde ve saat yönünün tersinde kaynak yapılabilir. Sürenin hayati önem taşıdığı uygulamalarda; kelepçe üzerinde iki adet traktör monte edilmekte ve bir traktör saat yönünde, diğer traktör ise saat yönünün tersinde kaynak yapabilmektedir. Böylece kaynak uygulamasının süresi yarı yarıya azaltılabilmektedir.

2.5.3 Kaynak esnasında ayarlanabilen parametreler

Orbital Kaynak Cihazı, birçok parametrenin kaynak işlemi sırasında ayarlanabilmesine olanak sağlamaktadır. Bu özelliği sayesinde hem otomatik hem de yarı otomatik olarak kullanılabilir. Kaynak sırasında belirlenen parametreler, program olarak kaydedilmekte ve böylece devamlı olarak kullanılabilir.

2.5.3.1 Akım değeri

Akım değeri, kaynak kalitesine en önemli etkiyi yapan parametrelerin başında gelmektedir. Orbital Kaynak Cihazı ile yapılan kaynak uygulamalarında akım değeri, kumanda paneli yardımıyla kolaylıkla ayarlanabilir. Akım değeri, kaynak dikişinin nüfuziyet miktarını ve kaynak havuzunun ergime miktarının doğrudan etkilemektedir. Akımın yükselmesiyle beraber nüfuziyet miktarı artış göstermekte ve ince bir kaynak dikişi ortaya çıkmaktadır. Aşırı yüksek akım değeri ile yapılan uygulamalarda yanma olukları gözlenmektedir. Düşük akım kullanıldığı takdirde ise, ergime yetersizliği meydana gelmektedir ve böylece metal yığılması ortaya çıkmaktadır [46].

2.5.3.2 Voltaj değeri

Voltaj değeri, temel olarak ark boyunu belirlemektedir. Akım yoğunluğuyla beraber geniş bir çalışma aralığına ayarlanabilir. Ark boyunun sabit kalması istenen durumlarda, voltaj ark boyutunu sabit tutacak şekilde güç kaynağı tarafında otomatik olarak ayarlanmaktadır. Ark voltajı, akım ve traktör hızı net ısı girdisini

belirlenmektedir. Net ısı girdisi, kaynak kalitesini doğrudan etkilemekle beraber metalurjik özellikleri de belirler.

2.5.3.3 Traktör hızı

Traktör hızı, traktör üzerindeki torçun kaynak dikişi üzerindeki hareket hızını belirtmesinin yanı sıra santimetre / dakika (cm/dk) cinsinden ifade edilmektedir. Traktör hızı net ısı girdisini doğrudan etkilemektedir. Kaynak operatörü tarafında metal yığılma oranları gözlemlenerek kaynak işlemi sırasında değiştirilebilmektedir.

2.5.3.4 Tel besleme hızı

Tel besleme hızı, akım değeri ile eş zamanlı olarak değişmektedir. Akım değerinin yükseltilmesi nedeniyle ergitilebilecek tel miktarı artmaktadır. Bu nedenle akım değeriyle birlikte tel besleme hızı da artmaktadır. Tel besleme hızının ve akımın artması; daha fazla metalin kaynak havuzunda birikmesine neden olmaktadır. Kaynak telinin çapı da tel besleme hızını belirleyen önemli bir etkidir. Tel besleme hızı metre / dakika (m/dk) cinsinden ifade edilmektedir.

2.5.3.5 Salınım genişliği ve bekleme süresi

Orbital Kaynak Cihazı ile yapılan kaynak ağzının geniş olduğu kaynak uygulamalarında; kapatma pasosu atılırken torçun salınım yapması, işlemin süresini azaltmasının yanı sıra kaynak dikişinin kalitesini arttırmaktadır. Manuel kaynak yöntemlerinde salınım hareketini lineer ve düzenli olarak uygulamak kaynak operatörü için büyük sorun teşkil etmektedir. Orbital Kaynak Cihazı önceden belirlenen program sayesinde, bu hareketi otomatik olarak yapmaktadır. Gerek görüldüğü takdirde kaynak işlemi sırasında salınım genişliği değiştirilmektedir. Salınım genişliğinin ayarlanabilmesinin dışında, Orbital kaynak cihazı, torçun kaynak dikişi üzerinde belirlenen noktalarda istenilen süre duraklatılıp tekrar kaynak işleminin devam etmesine olanak sağlamaktadır. Salınım genişliği santimetre (cm), bekleme süresi ise saniye (sn) cinsinden ifade edilmektedir.

3. KONU İLE İLGİLİ YAPILMIŞ DİĞER ÇALIŞMALAR

İnsanoğlu kaynak işlemini kullanmaya başladığından bu yana, birçok farklı malzeme, farklı pozisyonlarda verimli bir şekilde birleştirilmektedir. Yeni kaynak teknikleri ve kaynak sarf malzemelerinin geliştirilmesine paralel olarak, kaynak teknolojisi günümüz imalat ve inşaat sanayinin ihtiyaçlarını karşılamaktadır. Son yıllarda kaynak teknolojisi üzerine yapılan çalışmalar yeni kaynak elektrotlarının geliştirilmesi ve bu elektrotların yeni kaynak cihazlarıyla adaptasyonun sağlanarak kaynak otomasyonun artırılmasını amaçlamaktadır. Ayrıca uygulama sürelerinin kısaltılması ve kaynak dikiş kalitesinin artırılmasına üzerine yapılan yeni çalışmalar bulunmaktadır. Karakterizasyon yöntemlerinin gelişmesi ve daha önce yapılmış çalışmaların bir sonraki çalışmalara ışık tutması sayesinde, kaynak işlemi sırasında ve sonrasında meydana gelen malzeme davranışları açıklığa kavuşmaktadır. Doğalgaz ve petrol gibi önemli enerji kaynaklarının, çıkarıldığı bölgelerden tüketiminin yoğun olduğu bölgelere taşınması günümüz dünyasında büyük önem taşımaktadır. D. Yapp ve S.A. Blackman [47], boru hattı kaynak uygulamalarından bahsettikleri çalışmalarında, 2000 yılında 2,5 trilyon m³ üzerindeki dünya gaz kullanımının, 2025 yılında 5 trilyon m³ civarına ulaşacağını öngörmektedirler. Gaz Metal Ark Kaynağı ve Özlü Tel Ark Kaynağı uygulamalarının boru hattı inşaatında verimliliği oldukça arttırdığı ve tamir oranlarını ciddi miktarda düşürdüğüne dikkat çekilmektedir. Günümüz boru hattı inşaatı projelerinde inşaat süresi ve maliyet büyük önem taşımaktadır. Boru hattı mesafelerinin artmasıyla beraber, birleştirme sayısı artmaktadır. Y. Komizo [48] yapmış olduğu çalışmada, çalışmanın yapıldığı dönemde dünya üzerinde inşaatı devam eden ve inşaatı planlanan boru hattı projelerinden bahsetmektedir. Makale kapsamında yer alan, 3500 km. boyunca devam eden Alaska Boru Hattı Projesinde 300.000'den fazla kaynak uygulaması yer almaktadır. Bu kadar yüksek sayıdaki birleştirme işlemi, projenin hem inşaat süresini oldukça yükseltmekte hem de inşaat maliyetini arttırmaktadır. Proje uygulamasında, aynı kaynak havuzunu besleyen iki

adet elektrot, iki torç tarafından kaynak havuzunu beslemektedir. Bu uygulama sayesinde metal yığıma oranı arttırılmakta ve boru hattı inşaat süresi azaltılmaktadır.

Türkiye bulunduğu konum dolayısıyla, doğalgaz boru hatları için kritik öneme sahiptir. Endüstrinin büyümesi ve şehirleşmenin artmasıyla beraber, enerji ihtiyacı günden güne artmaktadır. Ülkemiz topraklarının fosil yakıtlar bakımından fakir olduğu düşünülmeyle beraber, boru hatlarının geçiş yolları üzerinde bulunmamız enerji ihtiyacımızı karşılamamız adına çok değerlidir. Komşularımız özellikle doğalgaz ve petrol kaynakları açısından dünyanın en zengin ülkeleri içerisinde yer almaktadır. 2009 yılı verilerine göre dünya doğalgaz kaynaklarının % 72.51 'i Türkiye'nin komşularında bulunmaktadır. Aynı bölgelerde dünya petrolünün % 62.26' si yer almaktadır [49].

Doğalgaz ve petrol boru hattı inşaatlarının yanı sıra, günümüzde yüksek katlı bina inşaatında da kaynak uygulamaları geniş bir kullanım alanına sahiptir. Ülkemiz için inşaat sektörü, ekonomin lokomotifı olmakla beraber, köyden kente göçün engellenememesi dolayısıyla konut ihtiyacımız hızla yükselmektedir. Bu ihtiyacın karşılanması amacıyla yeni binalar yüksek katlı olarak tasarlanmaktadır. Bu yeni tasarımlar, kaynak teknolojisinin kendini bu yönde geliştirmesini ve yeni uygulamaların hayata geçirilmesini gerektirmektedir. Gereken mekanik özelliklerin karşılanmasına adına yapılan çalışmalar genellikle elektrot tasarımı ve kullanılan kaynak yönteminde kaynak kalitesini arttıran parametrelerin saptanması üzerine yoğunlaşmaktadır. M. T. Liao ve J. Chen [50] yaptıkları çalışmada, farklı koruyucu gaz karışımları kullanarak özlü tel elektrot ve masif tel elektrot yardımıyla Gaz Metal Ark Kaynağı yöntemi ile paslanmaz çeliklerin birleştirilmesini gerçekleştirmişlerdir. Kaynak işlemleri sırasında koruyucu gaz olarak farklı derişimlerde Ar + CO₂ karışım gazı kullanılmaktadır. Sonuçlar değerlendirildiğinde, koruyucu gaz bileşiminin, mekanik özellikler üzerindeki önemli etkisi göz önüne serilmektedir. Özlü tel ile yapılan kaynak işlemleri sırasında saçılma miktarı azalmakta bununla beraber kaynak havuzu içerisindeki inklüzyon miktarı da ciddi oranda düşmektedir.

Masif elektrot ile özlü tel elektrotun kaynak kalitesine etkisi üzerine başka bir çalışma da S. Mukhopadhyay ve T.K. Pal [51] tarafından yapılmıştır. Düşük alaşımlı yüksek mukavemetli çelik levhalar farklı koruyucu gaz karışımları kullanılarak birleştirilmiştir. Yapılan çalışmalarda ER 70 masif tel elektrot ve E 71 özlü tel elektrot kullanılmıştır. Makale kapsamında ortaya konulan sonuçlar, özlü tel elektrotla

yapılan kaynak uygulamalarında, masif tel elektrotla yapılan kaynak uygulamalarına göre daha iyi mekanik özellikler elde edildiğini ortaya koymaktadır.

Yapılan çalışmalar doğrultusunda, özellikle yüksek mekanik özelliklerin istendiği uygulamalarda özlü tel elektrotların tercih edildiği görülmektedir. Özlü tel elektrotlar farklı bileşimlerde tasarlanabilmekte ve istenilen mekanik özellikler alaşım elementleri aracılığıyla sağlanmaktadır. G.O Schumann ve I.E French [52] yaptıkları çalışmada mikroyapı ve inklüzyonların darbe dayanımına etkisini incelemişlerdir. Çalışma kapsamında farklı özlü teller kullanılarak Bisalloy 80 çelikleri Gaz Metal Ark Kaynağı yöntemiyle birleştirilmektedir. Farklı sıcaklıklarda yapılan Charpy Darbe Testi ile sünek - gevrek geçiş eğrileri elde edilmektedir. Yapılan karakterizasyon çalışmaları ve bu çalışmaların değerlendirilmesi sonucunda, inklüzyon miktarının artmasıyla beraber özlü tel elektrot ile yapılan kaynakların darbe dayanımlarında önemli oranda azalma olduğu belirtilmektedir.

Kaynak metalinin mekanik özelliklerini olumsuz etkileyen inklüzyonların başında Hidrojen gelmektedir. Özellikle özlü tel elektrot yapısından kaynak havuzuna katılan Hidrojen, yüksek mukavemet gerektiren uygulamalarda büyük bir sorun olarak ortaya çıkmaktadır. Y. D. Han ve arkadaşları [53] yaptıkları araştırmada, ısı girdisinin Hidrojen penetrasyonuna etkisini incelemişlerdir. X80 çelik borular ile yapılan deneysel çalışmada, özlü tel elektrot kullanılmaktadır. Farklı iki net ısı girdisi ile yapılan kaynak işlemi ve kaynak dikişlerinin karakterizasyonu sonucu, net ısı girdisinin yükselmesiyle beraber, tüm kaynak bölgelerinde Hidrojen penetrasyonunun azaldığı gözlenmektedir. Yüksek mekanik özelliklerin istendiği çalışmalarda, Hidrojen çatlağı (HIC) sorununa karşı önlem almak amacıyla, net ısı girdisinin arttırılması önerilmektedir.

J. H. Kim ve arkadaşları [54] tarafından yapılan başka bir çalışmada ise, Hidrojen çatlağının kaynak parçasının ITAB'da ya da kaynak metalinde meydana geldiği belirtilmektedir. Ön ısıtma sayesinde ITAB'ın soğuma hızı düşürülmekte ve Hidrojenin kaynak metalinden diffüze olması için daha çok zamana sahip olması sağlanarak ITAB'da meydana gelen Hidrojen çatlağı sorunun önüne geçilmektedir. Fakat ön ısıtma işleminin hem vakit kaybına neden olması hem de maliyeti yükseltmesi nedeniyle alternatif çözümler araştırılmaktadır. Yapılan çalışma kapsamında, ön ısıtmaya ihtiyaç duymadan Nikel (Ni) bileşimi yüksek özlü tel elektrotların Hidrojen çatlağı üzerine etkisi araştırılmaktadır. % 1,5 Ni içeren ve % 0

Ni içeren iki özlü tel elektrotla yapılan kaynak çalışması ve karakterizasyon sonucunda, % 1,5 Ni içeren özlü tel elektrotla kaynaklanmış numuneler, % 0 Ni içeren özlü tel elektrotla kaynaklanmış numunelere göre daha iyi Hidrojen çatlağı direnci göstermektedir. Bu davranışın nedeni, mikroyapı davranışlarına bağlanmaktadır.

Kendinden korumalı özlü tel elektrot, günümüz kaynak uygulamalarında öncelikle tercih edilmektedir. Gaz koruma sistemine ihtiyaç duymayan bu kaynak çalışmalarında, kaynak metali içerisindeki porozite büyük sorun teşkil etmektedir. Q. Wei ve arkadaşları [55] yaptıkları çalışmada, kendinden korumalı özlü tel elektrotlar ile farklı gaz ortamlarında kaynak işlemleri gerçekleştirmişlerdir. Ar, N₂, O₂, CO₂, hava ve bu gazların değişik oranlarda karıştırılmasıyla yapılan deneyler sonucunda bu gazların kaynak havuzun içerisindeki porozite oluşumuna etkisi araştırılmaktadır. Saf Ar ve saf CO₂ gazı kullanılan deneylerde kaynak metalinde poroziteye rastlanmamıştır. Saf N₂, saf O₂ ve karışım gazları ile yapılan deneylerde ise az miktarda porozite gözlenmektedir. Yapılan çalışmalar sonucunda, kendinden korumalı özlü tel elektrotların kaynak havuzunu büyük oranda porozite oluşumundan koruduğu belirtilmiştir. Ayrıca, O₂ ya da N₂ miktarındaki artış kaynak metalindeki porozite oluşma ihtimalini arttırmaktadır.

Özlü tel elektrotların davranışlarının incelenmesinin yanı sıra literatürde daha az sıklıkla karşılaşılsa da diğer kaynak parametrelerin kaynak dikişi üzerine etkisi konusunda yapılmış araştırmalar yer almaktadır. T. Kannan ve N. Murgan [56] yaptıkları çalışmada, proses parametrelerinin paslanmaz çeliklerin özlü tel elektrot ile kaynaklanması üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Akım değeri, kaynak hızı, torç mesafesi ve torç açısı üzerine yoğunlaşan bu çalışmada, bu parametrelerin kaynak nüfuziyeti ve kaynak havuzunun kalınlığı üzerine etkileri gözlemlenmektedir. Yapılan çalışma sonucunda, kaynak nüfuziyetinin akım değeri ve kaynak hızının artmasıyla beraber yükseldiği fakat kaynak açısı ve torç mesafesinin artmasıyla beraber azaldığı belirtilmektedir. Ayrıca, kaynak havuzu kalınlığının kaynak hızıyla ters orantılı olarak arttığına fakat akım değeri, torç mesafesi ve torç açısının doğru orantılı olarak arttığına işaret edilmektedir.

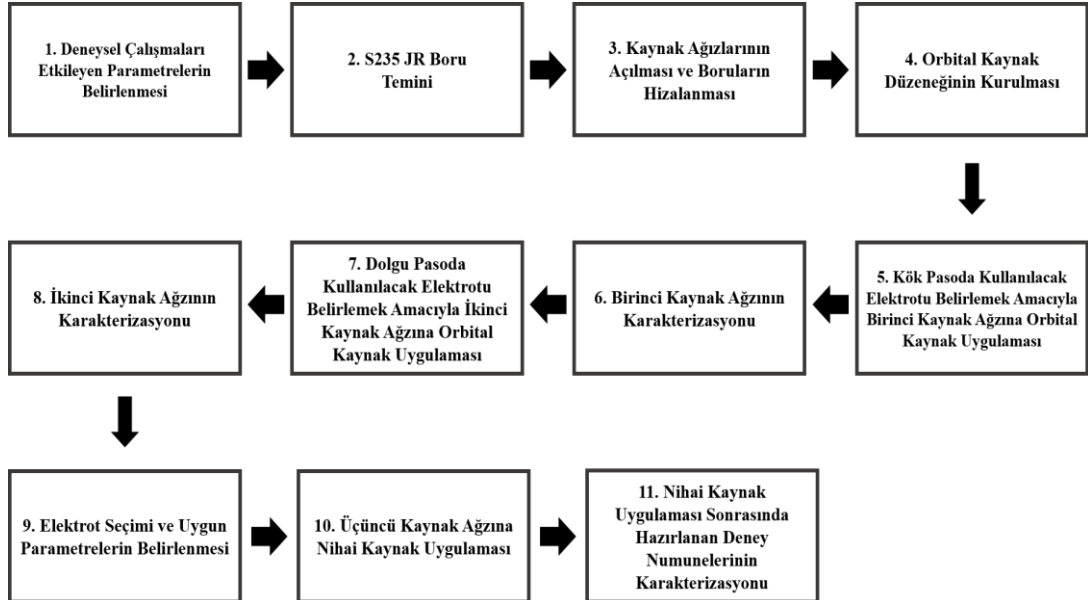
Kaynak parametrelerinin ve kaynak elektrotunun etkilerini inceleyen çalışmalarla beraber, kaynak kalitesine dolaylı olarak etki eden kaynak sonrası işlemlerin araştırılması ve geliştirilmesi üzerine de çalışmalar yapılmaktadır. Kaynak sonrası ısıtıl işlem (PWHT), kaynak işlemi tamamlanmış parçaların kalıntı gerilmelerini azaltmak

amacıyla uygulanmaktadır. Ayrıca bu işlem ITAB bölgesinin metalurjik özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla temperlenmesini de sağlamaktadır. Bu uygulama kaynak geometrisinin karmaşıklığı ve simetrik ısıtmanın zorluğu nedeniyle endüstriyel anlamda tercih edilmemektedir. A. Aloraier ve arkadaşları [57], elektrot çapı, ısı girdisi ve kaynak pasoları bindirmesi gibi parametreleri kontrol ederek, istenilen metalurjik özelliklerin kaynak sonrası ısıtma işlemi gerektirmeden elde edilmesi üzerine yaptıkları çalışmalarında belirtilen parametrelerin sertlik üzerine etkilerini ortaya koymaktadırlar. Özlü Tel Ark Kaynağı yöntemiyle çalışma kapsamında belirtilen parametrelerle, çelik levha üzerinde yapılan deneylerde, farklı oranlarda pasolar kaynak havuzuna bindirilmektedir. Sonuçlar incelendiğinde, % 50 – 70 oranları arasındaki pasolar bindirmelerinde, daha iyi mikroyapı ve sertlik değerleri elde edildiği belirtilmektedir. Bunun nedeni olarak, iğnesel yapıdaki beynitin küresel forma geçmesi işaret edilmektedir.

Orbital Kaynak Cihazı ile yapılmış çalışmalara literatürde sıklıkla rastlanmamaktadır. Endüstriyel bir uygulama olması nedeniyle akademik anlamda yapılmış çalışma sayısı oldukça azdır. D. Gençkan ve M. Koçak [58] tarafından yapılan çalışmada, X 70 çelik boru Orbital Kaynak Cihazı ile birleştirilmiş ve kaynak dikişinin metalurjik ve mekanik özelliklerini incelenmiştir. Yapılan mekanik testlerde, çekme numunelerinin istenildiği gibi ana metalden koptuğu gösterilmiştir. Mikrosertlik testleri sonucunda, kaynak metalinden en yüksek sertlik değerinin elde edildiği, ITAB bölgesinden ise en düşük sertlik değerinin elde edildiği belirtilmiştir. Çalışmanın sonuç bölümünde, Orbital Kaynak Cihazı ile yapılan kaynak çalışmalarında elde edilen kaynak dikişi kalitesinin diğer yöntemlere göre çok daha yüksek olduğu söylenmektedir. Ayrıca, Orbital Kaynak Cihazı ile yapılan çalışmalarda kalifiye ve iyi yetişmiş kaynak operatörü ihtiyacına dikkat çekilmekle beraber, bu yöntemle belli bir standartta ve hatasız sonuçlar elde edildiğine işaret edilmektedir.

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

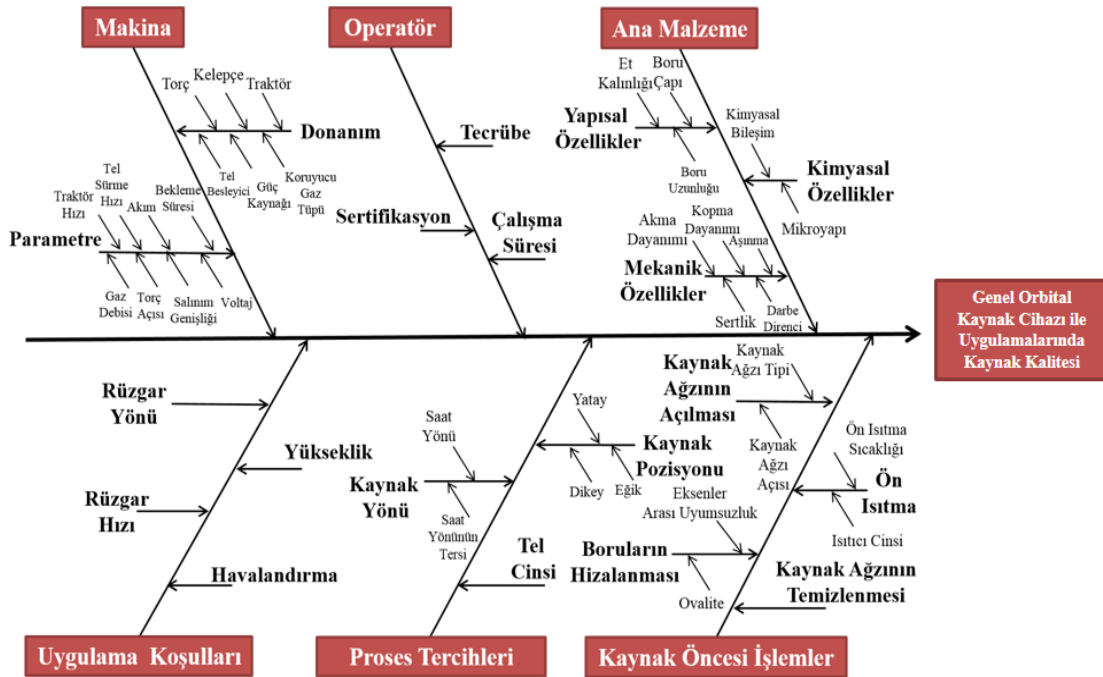
Deneysel çalışmalar kapsamında; S235 JR çelik borular, Orbital Kaynak Cihazı ile farklı tel elektrotlar kullanılarak birleştirilmiştir. Birinci kaynak ağzında yapılan kaynak uygulaması ve birinci kaynak ağzının karakterizasyonu neticesinde kök pasoda kullanılacak kaynak elektrotuna ardından ikinci kaynak ağzında yapılan kaynak uygulaması ve karakterizasyonu sonucunda ise dolgu pasoda kullanılacak kaynak elektrotuna karar verilmiştir. Kaynak parametrelerinin kaynak dikişine etkisi incelenmiş olup, belirlenen yeni parametreler kullanılarak dikey pozisyonda 10° derece açı ile üçüncü kaynak ağzında nihai kaynak uygulaması gerçekleştirilmiştir. Nihai kaynak dikişinin karakterizasyonu sonucunda, belirtilen pozisyonda Orbital Kaynak Cihazı ile yapılan kaynak çalışmalarının standartlara ve pratik çalışmalara uygunluğu araştırılmıştır. Şekil 4.1’de deneysel çalışmalar kapsamında izlenen iş – akış süreçleri gösterilmektedir.



Şekil 4.1 : Deneysel çalışmalar kapsamında izlenen iş – akış süreçleri.

4.1 Deneysel Çalışmaları Etkileyen Parametrelerin Belirlenmesi

Bölüm 2.5’de,; Orbital Kaynak Cihazı ile yapılan kaynak uygulamalarında kaynak kalitesini etkileyen parametreler ve bu parametrelerdeki değişimin kaynak metalurjisi ve kaynak bölgesinin mekanik özellikleri üzerine etkisi açıklanmaktadır. Deneysel çalışmaların ilk adımında Şekil 4.2 ‘de belirtilen balık kılçığı hazırlanmıştır. Balık kılçığı yardımıyla, Orbital Kaynak Cihazı ile yapılan kaynak uygulamaları için kaynak kalitesini etkileyen faktörler belirlenmekte ve kaynak çalışmaları öncesi ortaya çıkabilecek muhtemel sorunların nedenleri araştırılmaktadır. Makine, operatör, ana malzeme, uygulama koşulları, proses tercihleri ve kaynak öncesi işlemler olarak altı ana başlık altında toplanılan faktörler; yapılacak deneysel çalışmalara ışık tutmakla beraber, kaynak kalitesinin geliştirilmesi açısından büyük öneme sahiptir. Deneme kaynakları sonrasında, ikinci Orbital Kaynak uygulaması için özelleştirilmiş yeni bir balık kılçığı hazırlanarak, nihai kaynak çalışmasında kaynak kalitesinin yükseltilmesi hedeflenmektedir.

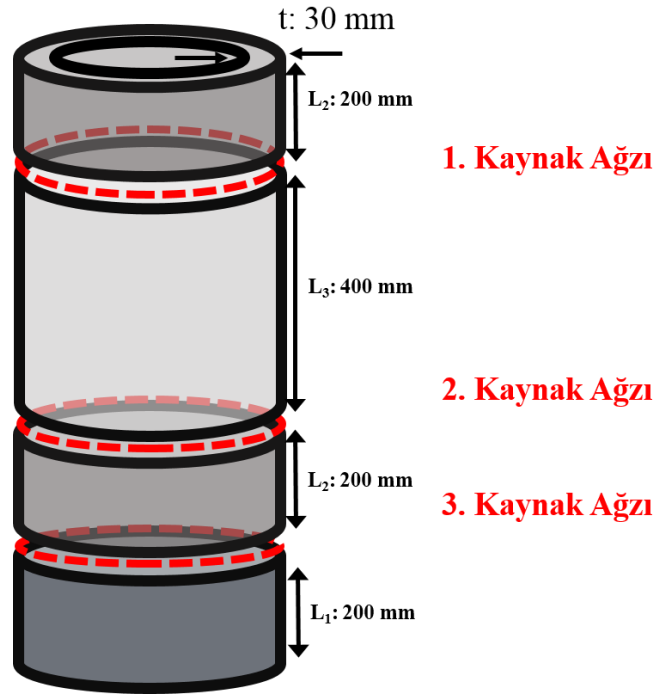


Şekil 4.2 : Genel orbital kaynak uygulamaları için hazırlanmış balık kılçığı.

4.2 S235 JR Boru Temini

İnşaat sektöründe mekanik özellikleri karşılayabilmesi ve iyi kaynaklanabilirlik özelliği nedeniyle genellikle S235 JR alaşımsız çelik borular tercih edilmektedir. Yüksek mekanik özelliklere ihtiyaç duyulan ya da mimari zorunlulukların bulunduğu

durumlarda et kalınlığı yüksek borular kullanılmaktadır. Tez çalışması kapsamında 255 mm çapında 30 mm et kalınlığına sahip 1000 mm uzunluğunda boru temin edilmiştir. Temin edilen borunun kimyasal ve mekanik özellikleri Bölüm 1.1’de belirtilmektedir. Şekil 4.3’ de deneysel çalışmalarda kullanılan borunun ölçeklendirilmiş resmi verilmektedir. Kaynak yapılacak bölgeler belirlenirken, Orbital Kaynak Cihazının boru üzerine yerleştirileceği alan hesaplanmış ve boru üzerinde gösterilen bölgelerde kaynak ağızları açılmıştır. Kaynak işlemini kolaylaştırmak adına 5 mm × 40 mm boyutlarında sert kalıcı altlık kaynak ağızlarının altına yerleştirilmiştir.

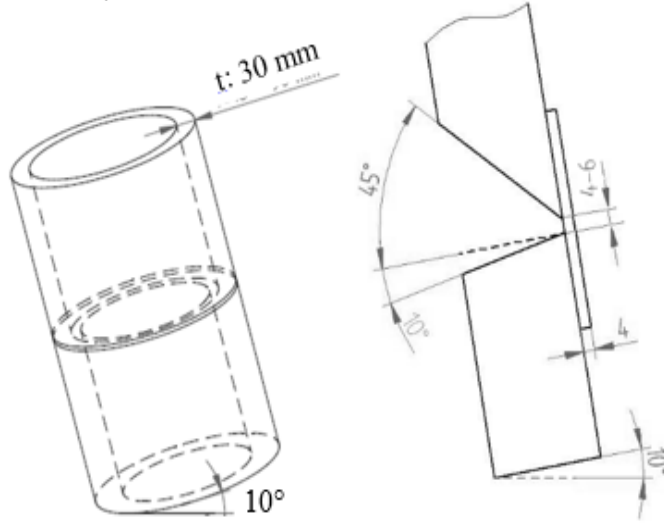


Şekil 4.3 : S235 JR borunun temsili gösterimi.

4.3 Kaynak Ağızlarının Açılması ve Boruların Hizalanması

Tez kapsamında yapılan kaynak çalışmasında, S235 JR alaşımsız çelik boru dikey eksenle 10° derece açı yapacak şekilde sabitlenmiştir. Burada amaç Orbital Kaynak Cihazı ile farklı kaynak cihazı açılarındaki çalışmalar yapılmasına öncülük etmek ve böylece Orbital Kaynak Cihazının farklı alanlarda kullanımını yaygınlaştırmaktır. Yatay eksenle yapılan 10° derecelik açı boru kaynağında yaygın olarak kullanılan kaynak ağızlarından farklı bir kaynak ağızı açılması gerekliliğini ortaya koymuştur. Dilimlenen boru parçalarının birine 45° derece, diğerine 10° derece açı ile kaynak ağızı açılmış ve bu parçalar alını alına hizalanmıştır. Böylece üç adet toplamda 55 ° derece kaynak ağızı açısına sahip V kaynak ağızları elde edilmiştir. Şekil 4.4’ de kaynak

ağzının geometrisi ve kaynak işlemi öncesi sabitlenmiş borunun temsili çizimi gösterilmektedir.



Şekil 4.4 : Boru ve kaynak ağzı çizimleri.

4.4 Orbital Kaynak Düzenekinin Kurulması

S235 JR alaşımsız çelik boru istenilen pozisyonda sabitlendikten sonra Orbital Kaynak Cihazının kurulumuna başlanmıştır. Paslanmaz çelik kelepçe, kaynak ağzının üzerine konumlandırılmıştır. Üstüne yerleştirilen traktör sayesinde kaynak torçu kaynak dikişi üzerinde hareket edebilmektedir. Güç kaynağının sisteme bağlanması ve kullanılacak tel elektrotun tel besleme cihazına yüklenmesiyle beraber Orbital Kaynak Cihazı uygulamaya hazır hale getirilmiştir. Şekil 4.5’de kaynak işlemi öncesi S235 JR alaşımsız çelik boru ve Orbital Kaynak düzeneği gösterilmektedir.

Orbital Kaynak düzeneğinin kurulumunun gerçekleştirilmesinden sonra her kaynak ağzının doldurmasından önce propan ısıtıcı yardımıyla ön ısıtma işlemi gerçekleştirilmiştir. Ön ısıtma işlemi yüzey sıcaklığı 150° C olana dek devam ettirilmiştir. Kaynak uygulamasına başlanmadan önce kaynak dikişi tel fırça ile temizlenmiştir.

4.5 Kök Pasoda Kullanılacak Elektrotun Belirlenmesi Amacıyla Birinci Kaynak Ağzında Orbital Kaynak Uygulaması

Kaynak uygulaması daha önce denenmemiş bir pozisyonda yapılacağı için, birinci kaynak ağzında kök pasoda kullanılacak elektrot seçimi yapılmaktadır. Elektrot seçimi

yapılarken telin yanış özellikleri ve pozisyonun zorlayıcı olduğu bölgelerdeki akma davranışı gözlenmektedir. Bu davranışların yanında tel elektrotların H içeriği, metal yığıma oranları, kimyasal ve mekanik özellikleri göz önünde bulundurulmaktadır. Literatür araştırmaları doğrultusunda, deneysel çalışma kapsamında GEKA SG2 (masif tel), ELCOR R71 (rutil özlü tel) ve ELCOR M70 (metalik özlü tel) tel elektrotlardan birinin kullanılmasına karar verilmiştir.

4.5.1 Deneysel çalışmalar kapsamında kullanılan tel elektrotların özellikleri

Deneysel çalışma kapsamında kullanılan tel elektrotların kimyasal bileşimleri, mekanik özellikleri ve Hidrojen içerikleri bu çalışma koşullarında daha iyi kaynak



Şekil 4.5 : Orbital kaynak düzeneği.

kalitesini sağlayacak telin belirlenmesinde büyük önem taşımaktadır. Bu özelliklere ilave olarak pratik uygulamalar için metal yığıma oranı ve elektrot fiyatı da elektrot seçimi yaparken göz önünde bulundurulması gereken özelliklerdir.

Bölüm 4.5.1 içerisinde yer alan veriler, Gedik Kaynak Firması tarafından sürekli ve periyodik olarak yapılan analizler sonucu elde edilmiştir. Çizelge 4.1’de deneysel çalışma kapsamında kullanılan üç farklı elektrotun kimyasal bileşimleri verilmektedir.

Çizelge 4.1 : Kullanılan elektrotların kimyasal bileşimleri.

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Ti
GEKA SG2	0,0646	0,7547	1,230	0,0037	0,0082	0,010	0,070	0,014	0,0924	0,008
ELCOR R71	0,0580	0,4060	1,268	0,0120	0,0070	0,095	0,038	0,0022	0,036	0,000
ELCOR M70	0,0452	0,4177	1,394	0,0094	0,0040	0,000	0,095	0,014	0,0353	0,026

Çizelge 4.2’de deneysel çalışma kapsamında kullanılacak elektrotların mekanik özellikleri verilmektedir.

Çizelge 4.2 : Kullanılan tel elektrotların mekanik özellikleri.

	Test Sıcaklığı °C	Akma Dayanımı N/mm ²	Çekme Dayanımı N/mm ²	Yüzde Uzama %	Çentik Darbe Dayanımı (Joule)		
					°C	Çentik Darbe Dayanımı	Ortalama
ELCOR M70	+20	475	563	14	-30	88/78/80	82
					-40	46/56/60	54
ELCOR R71	+20	537	597	25	+20	151/154/157	154
					-30	126/112/126	121
					-40	106/114/98	106
GEKA SG2	+20	450	530	27	+20	80/100/100	93
					-30	78/88/80	82
					-40	90/82/86	86

Çizelge 4.3’de deneysel çalışma kapsamında kullanılacak elektrotların Hidrojen içerikleri verilmektedir. Bölüm 3’te literatürde yapılmış diğer çalışmalar incelenirken, Hidrojen çatlağının kaynak uygulamalarındaki öneminden bahsedilmektedir.

Çizelge 4.3 : Elektrotların Hidrojen içerikleri.

ELCOR M70	3,67 ml/100 g
ELCOR R71	7,18 ml/100 g
GEKA SG2	1,65 ml/100 g

Pratik uygulamalarda metal yığma oranları ve elektrot fiyatları büyük önem taşımaktadır. Özellikle yüksek katlı bina inşaatı gibi birleştirme ve paso sayısının fazla olduğu kaynak uygulamalarının bulunduğu projelerde, doğrudan uygulama süresini belirleyen metal yığma oranları ve uygulama maliyetinin büyük kısmını oluşturan

elektrot fiyatı, elektrotun seçimini belirleyen temel özelliklerdir. Çizelge 4.4’de deneysel çalışmalarda kullanılan üç elektrotun metal yığma oranları ve elektrot fiyatları verilmektedir.

Çizelge 4.4 : Tel elektrotların metal yığma oranlar ve fiyatları.

	Metal Yığma Oranı (kg / saat)	Elektrot Fiyatı (\$ / kg)
ELCOR M70	4,40	3,15
ELCOR R71	3,78	2,1
GEKA SG2	4,9	1,5

4.5.2 Üç farklı tel elektrot ile kök paso kaynak uygulaması

Birinci kaynak ağzı mekanik ve kimyasal özellikleri belirtilen elektrotlar yardımıyla birleştirilmiştir. Çizelge 4.5’de kaynak uygulaması sırasında kullanılan kaynak parametreleri verilmektedir.

Çizelge 4.5 : Kök pasoda kullanılan kaynak parametreleri.

Tel Adı	Tel Cinsi	Karışım Gazı	Akım (A)	Voltaj (V)	Tel Sürme Hızı (m/dk)	Traktör Hızı (m/dk)	Pozisyon
GEKA SG2	Masif Tel	M21	225 A	26	7,8	19,89	12'den 4'e
ELCOR M70	Metalik Özlü Tel	M21	250 A	28,4	9	19,89	4'den 8'e
ELCOR R71	Rutil Özlü Tel	%100 CO ₂	220 A	29,3	9,6	19,89	8'den 12'ye

Üç parçaya ayrılan kaynak dikişi üzerindeki birleştirme işlemi, 12 - 4 pozisyonları arasında GEKA SG2 masif tel ile 4 - 8 pozisyonu arasında ELCOR M70 metalik özlü elektrot ile ve 8 - 12 pozisyonları arasında rutil özlü elektrot kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Farklı tel elektrotlar kullandığı için uygulama farklı kaynak parametreleri ile gerçekleştirilmiştir. Kaynak yönü üç pozisyon içinde saat yönü seçilmiştir. Masif tel ve metalik özlü elektrot ile yapılan çalışmalarda literatürde belirtildiği üzere karışım gazı kullanılmıştır. Kullanılan M21 karışım gazından, Bölüm 2.5.2’de bahsedilmektedir. Rutil özlü tel elektrot ile yapılan çalışmada ise, nüfuziyet miktarını arttırmak için 100 % CO₂ koruyucu gaz tercih edilmiştir.

4.6 Birinci Kaynak Ağzının Karakterizasyonu

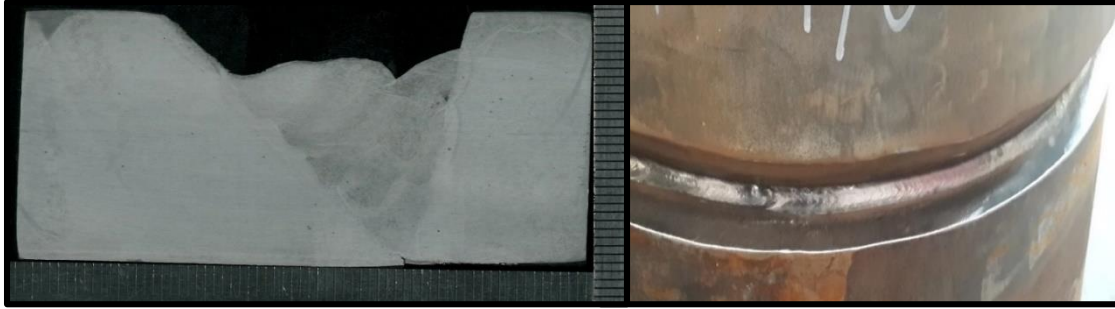
Elektrot seçimini gerçekleştirmek için yapılan kaynak çalışmalarında temel olarak tespit edilmek istenen özellik nüfuziyet miktarlarıdır. Kök paso için kaynak sırasında da gözlenebilen bu özellik; elektrotların kimyasal ve mekanik özelliklerinin yanında,

elektrot seçiminin gerçekleştirilmesinde büyük önem taşımaktadır. Nüfuziyet miktarlarını gözlemek amacıyla, kaynak çalışması ardından, üç farklı tel elektrot kullanılan üç bölgeden kaynak dikişi fotoğrafları çekilmiş ve makro görüntüleri alınmıştır. Makro analiz görüntüleri kaynak metalinin kesitinden alınmıştır. 12 - 4 pozisyonu arasından alınan makro görüntüsü ve kaynak dikişi Şekil 4.6'da verilmektedir. Masif tel elektrot ile yapılan çalışmada kök pasoda yaşanan nüfuziyetsizlik sorunu makroyapı görüntülerinde kırmızı daire içinde gösterilmektedir.



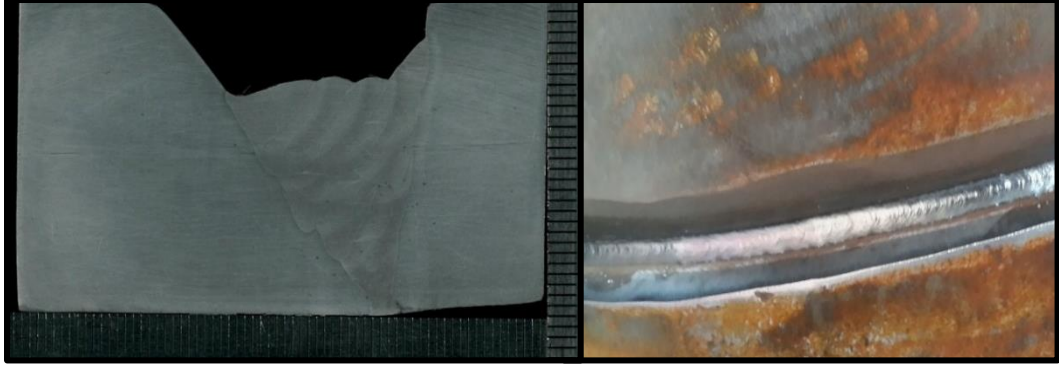
Şekil 4.6 : 12 4 pozisyonları arası makro görüntüsü ve kaynak dikişi.

4 - 8 pozisyonu arasından alınan makro görüntüsü ve kaynak dikişi, Şekil 4.7'de verilmektedir. Metalik özlü tel elektrot ile doldurulan boru kısmında hazırlanan makroyapı görüntüsünde nüfuziyetsizlik sorunu gözlenmemiştir.



Şekil 4.7 : 4 8 pozisyonları arası makro görüntüsü ve kaynak dikişi.

8 – 12 pozisyonu arasından alınan makro görüntüsü ve kaynak dikişi Şekil 4.8'de verilmektedir. ELCOR R71 Rutil özlü tel elektrot ile yapılan 8 – 12 arası pozisyonuna ait makroyapı görünütüsünde kök pasoda tam nüfuziyet sağlandığı görülmektedir. Aynı zamanda kaynak dikişi görüntüleri incelendiği takdirde en iyi sonucun ELCOR R71 rutil özlü tel elektrot ile alındığı sonucuna varılmaktadır.



Şekil 4.8 : 8 12 pozisyonları arası makro görüntüsü ve kaynak dikişi.

4.7 Dolgu Pasolarda Kullanılacak Elektrotun Belirlenmesi Amacıyla İkinci Kaynak Ağzında Orbital Kaynak Uygulaması

Dolgu pasolarda kullanılacak tel elektrotun belirlenmesi amacıyla; ikinci kaynak ağzında, birinci kaynak ağzında kullanılan metalik ve rutil özlü tel elektrotlar (ELCOR M70 ve ELCOR R71) kullanılarak kaynak uygulaması gerçekleştirilmiştir. Çizelge 4.6’da kullanılan tel elektrotlar ve kaynak parametreleri gösterilmektedir.

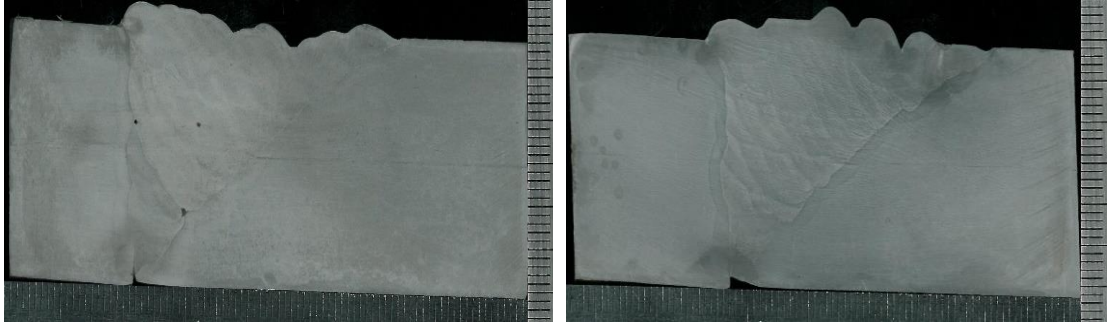
İkinci kaynak ağzında yapılan deneme kaynak uygulamasında; ELCOR M70 ve ELCOR R71 özlü tel elektrotlar ile farklı kaynak parametreleri kullanılarak 12 – 12 arasında kaynak uygulaması verilmektedir. Farklı parametreler ile yapılan dolgu pasolar sırasında elektrotların yanış özellikleri izlenmiştir. Traktör hızı, akım ve voltaj değeri, tel sürme hızı gibi kaynak parametrelerindeki değişimin kaynak dikişi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Saat yönü ve saat yönünün tersi kaynak yönlerinin denendiği uygulama sırasında ELCOR R71 rutil özlü tel elektrotun M 21 ve % 100 CO₂ koruyucu gazları ile davranışları incelenmiştir. Gaz debisi 17 litre / dakika olarak belirlenmiştir. Orbital Kaynak Cihazı sayesinde kaynak torçuna belirtilen salınım genişliği ve frekans değerlerinde salınım yaptırılmıştır. Salınım yapılmasıyla birlikte bindirme pasolarının uygulandığı pozisyonlarda uygulama kolaylığı sağlandığı tespit edilmiştir. Aynı zamanda salınım hareketi kaynak ağzının daha az pasoda doldurulmasına imkân sağlamaktadır.

Çizelge 4.6 : İkinci kaynak ağzında kullanılan kaynak parametreleri. [Pozisyon : 12’den 12’ye]

	Tel Adı	Tel Cinsi	Karışım Gazı	Akım (A)	Voltaj (V)	Tel Sürme Hızı (m/dk)	Traktör Hızı (m/dk)	Kaynak Yönü	Salınım	Salınım Genişliği (cm)	Frekans (cpm)
Kök Paso	Elcor R71	Rutil Özlü Tel	%100 CO ₂	245 A	28,2	9,3	50,49	Saat Yönü	Yok	Yok	Yok
1.Dolgu	M70	Metalik Özlü Tel	M21	245 A	28,1	9,2	33,66	Saat Yönü	Yok	Yok	Yok
2.Dolgu	M70	Metalik Özlü Tel	M21	245 A	29,1	9,2	33,66	Saat Yönü	Yok	Yok	Yok
3.Dolgu	M70	Metalik Özlü Tel	M21	245 A	27,6	9,2	33,66	Saat Yönü	Yok	Yok	Yok
4.Dolgu	M70	Metalik Özlü Tel	M21	248 A	27,8	9,2	33,66	Saat Yönü	Yok	Yok	Yok
5.Dolgu	M70	Metalik Özlü Tel	M21	245 A	28,8	9,3	33,66	Saat Yönü	Yok	Yok	Yok
6.Dolgu	M70	Metalik Özlü Tel	M21	230 A	27,9	9,2	33,66	Saat Yönü	Yok	Yok	Yok
7.Dolgu	M70	Metalik Özlü Tel	M21	240 A	27,6	9,2	38,25	Saat Yönü	Yok	Yok	Yok
8.Dolgu	M70	Metalik Özlü Tel	M21	245 A	27,6	9,2	38,25	Saat Yönü	Yok	Yok	Yok
9.Dolgu	Elcor R71	Rutil Özlü Tel	M21	265 A	26,4	9,2	38,25	Saat Yönü	Yok	Yok	Yok
10.Dolgu	Elcor R71	Rutil Özlü Tel	%100 CO ₂	255 A	29,3	9,2	50,49	Saat Yönü	Yok	Yok	Yok
11.Dolgu	Elcor R71	Rutil Özlü Tel	M21	260 A	29,1	9,9	50,49	Saat Yönü	Yok	Yok	Yok
12.Dolgu	Elcor R71	Rutil Özlü Tel	M21	260 A	29,1	9,9	50,49	Saat Yönü	Yok	Yok	Yok
13.Dolgu	Elcor R71	Rutil Özlü Tel	M21	250 A	29,1	9,9	50,49	Saat Yönü	Yok	Yok	Yok
14.Dolgu	Elcor R71	Rutil Özlü Tel	%100 CO ₂	245 A	28,2	9,3	50,49	Saat Yönü	Yok	Yok	Yok
15.Dolgu	Elcor R71	Rutil Özlü Tel	%100 CO ₂	250 A	30,5	10,1	50,49	Saat Yönü	Yok	Yok	Yok
16.Dolgu	Elcor R71	Rutil Özlü Tel	M21	260 A	27,5	9,2	50,49	Saat Yönü	Yok	Yok	Yok
17.Dolgu	Elcor R71	Rutil Özlü Tel	%100 CO ₂	240 A	24,9	7,6	50,49	Saat Yönü	Yok	Yok	Yok
18.Dolgu	Elcor R71	Rutil Özlü Tel	%100 CO ₂	245 A	26,6	8,6	50,49	Saat Yönü	Yok	Yok	Yok
19.Dolgu	Elcor R71	Rutil Özlü Tel	%100 CO ₂	230 A	26,6	8,6	50,49	Saat Yönü	Yok	Yok	Yok
20.Dolgu	Elcor R71	Rutil Özlü Tel	%100 CO ₂	205 A	24,6	7,1	45,39	Saat Yönü	Var	0,64	201
21.Dolgu	Elcor R71	Rutil Özlü Tel	%100 CO ₂	175 A	24,8	6,9	45,39	Saat Yönü	Var	0,64	201
22.Dolgu	Elcor R71	Rutil Özlü Tel	%100 CO ₂	195 A	24,2	6,5	45,39	Saat Yönü	Var	0,64	201
23.Dolgu	Elcor R71	Rutil Özlü Tel	%100 CO ₂	220 A	24,8	7,3	38,76	Saat Yönü	Var	0,64	201
24.Dolgu	Elcor R71	Rutil Özlü Tel	%100 CO ₂	220 A	24,8	7,5	37,23	Saat Yönü	Var	0,64	201
25.Dolgu	Elcor R71	Rutil Özlü Tel	%100 CO ₂	215 A	24,9	7,5	37,74	Saat Yönünün Tersi	Var	0,38	201
26.Dolgu	Elcor R71	Rutil Özlü Tel	%100 CO ₂	250 A	28,7	9,3	49,47	Saat Yönünün Tersi	Yok	Yok	Yok
27.Dolgu	Elcor R71	Rutil Özlü Tel	%100 CO ₂	243 A	28,8	9,3	49,47	Saat Yönünün Tersi	Yok	Yok	Yok
28.Dolgu	Elcor R71	Rutil Özlü Tel	%100 CO ₂	190 A	24,5	6,5	45,39	Saat Yönünün Tersi	Var	0,59	201
29.Dolgu	Elcor R71	Rutil Özlü Tel	%100 CO ₂	195 A	24,3	6,5	51,51	Saat Yönünün Tersi	Yok	Yok	Yok

4.8 İkinci Kaynak Ağzının Karakterizasyonu

Birinci kaynak ağzında izlenen aşamalara benzer olarak ikinci kaynak ağzının karakterizasyonu için de her pasodan sonra kaynak dikişi görüntüsü ve kaynak uygulaması sonunda kaynak dikişinin farklı bölgelerinden makro görüntüleri alınmıştır. Şekil 4.9’da bu görüntülere yer verilmektedir.



Şekil 4.9 : Farklı iki bölgeden alınmış makroyapı görüntüleri.

Makro görüntülerinin incelenmesiyle beraber iki farklı tel elektrotla yapılan Orbital Kaynak uygulaması sonucunda ortaya çıkan kaynak dikişi görüntüleri de alınmıştır. Makroyapı görüntülerinde gaz kabarcıklarına gözlemlenmemiştir. Tüm yapıda yer almaması ve deneme amaçlı yapılan çalışmalarda ortaya çıkması nedeniyle deneysel çalışmalara devam edilmiştir. Şekil 4.10’da ELCOR M70 metalik özlü tel elektrot ile yapılan kaynak uygulaması sonrası kaynak dikişi görüntüsü verilmektedir.



Şekil 4.10 : Kaynak dikişi görüntüsü.

30 paso sonunda temizlenmiş kaynak dikişinin görüntüsü Şekil 4.11’de verilmektedir. Kapama pasoları ELCOR R 71 tel elektrot ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.11 : Kaynak uygulaması tamamlandıktan sonra kaynak dikişinin görüntüsü.

4.9 Kök Paso ve Dolgu Pasolarda Kullanılacak Elektrot Seçimin Yapılması ve Kaynak Parametrelerin Belirlenmesi

Birinci ve ikinci kaynak ağzında yapılan deneme kaynak uygulaması ve kullanılan tellerin kimyasal ve mekanik özellikleri karşılaştırıldığında Orbital Kaynak Cihazı ile yüksek et kalınlığına sahip çelik boruların birleştirilmesinde kök pasoda ve dolgu pasoda ELCOR R71 rutil özlü tel elektrotun kullanılması uygun bulunmuştur.

GEKA SG2 masif tel ile yapılan kök paso çalışmasında, kaynak dikişinde istenilen nüfuziyet miktarına ulaşılamadığı hem kaynak sırasında hem de makro görüntülerinde gözlenmiştir. Pozisyonun zorlandığı bölümlerde akma davranışı göstermemiştir. Karışım gaz kullanılması nedeniyle çok fazla saçılma meydana gelmemiştir. Kök pasoda nüfuziyet sorunu yaşandığı için, dolgu pasoda GEKA SG2 masif tel elektrot denenmemiştir.

ELCOR M70 metalik özlü tel elektrot ile yapılan çalışma sırasında beklenen nüfuziyet miktarını sağlamaktadır. Saçılma meydana gelmemektedir. İkinci kaynak ağzında yapılan dolgu paso denemelerinde kontrollü kaynak yapılmadığı takdirde akımın yükseldiği tırmanma pozisyonlarında akma sorunu yaşandığı gözlenmiştir.

ELCOR R71 rutil özlü tel elektrot ile yapılan çalışma sırasında da metalik özlü tel elektrotla yapılan çalışmada olduğu gibi, karalı bir yanma davranışı gözlenmiştir. Kök pasoda nüfuziyetsizlik sorunu yaşanmamıştır. Bununla beraber ikinci kaynak ağzında

yapılan dolgu paso denemelerinde tüm pozisyonlarda akma olmadan çalışılabildiği görülmüştür.

Kök Paso ve Dolgu Pasolarda ELCOR R71 Rutil Özlü Tel Elektrotun Tercih Edilmesinin Nedenleri

- Nüfuziyet miktarları karşılaştırıldığı takdirde, masif tel elektrotun nüfuziyet sorunu yaşadığı gerek kaynak sırasında gerekse makro görüntüsü ile tespit edilmiştir.
- Rutil özlü tel ile yapılan deneme birleştirmesinde, rutil özlü tel elektrot tüm pozisyonlarda sorunsuz çalışmaktadır. Metalik özlü tel elektrota göre daha az akma davranışı göstermektedir.
- ELCOR R71 rutil özlü tel elektrot ile yapılan denemelerde kaynak dikişi üzerinde daha kalın ve kolay kaldırılabilen cüruf tabakası meydana gelmektedir. Açık hava uygulamalarında rutil özlü tel elektrot; metalik özlü tel elektrot ve masif tel elektrota göre üstünlük sağlamaktadır.
- Masif tel elektrotun mekanik özellikleri incelendiğinde; masif tel elektrot, özlü tel elektrotlara kıyasla yüksek mekanik özellikler gerektiren uygulamalarda yeterli görülmemektedir. Metalik özlü ve rutil özlü tel elektrotlar benzer mekanik davranışlar göstermekle beraber, rutil özlü tel özellikle kaynak uygulamalarında büyük önem taşıyan Çentik Darbe Dayanımında metalik özlü tele göre üstünlük sağlamaktadır.
- Hidrojen içeriği bakımından kıyaslandığı takdirde ELCOR R71 tel elektrot diğer tel elektrotlara göre yüksek miktarda Hidrojen içermektedir. Yüksek Hidrojen içeriği, Hidrojen çatlağına neden olabilmektedir. Bu davranış ELCOR R71 rutil özlü tel elektrotun tercih edilmesine engel olmamaktadır. Ön ısıtma işlemi sayesinde bu sorunun önüne geçilmesi öngörülmektedir.
- Metal yığılma oranları karşılaştırıldığı takdirde; beklenildiği gibi metalik özlü tel elektrot ve masif tel elektrot, rutil özlü tel elektrota göre öne çıkmaktadır. Metalik özlü tel elektrot uygulama süresini yüksek metal yığılma oranı sayesinde düşürmekle beraber, yüksek fiyatı nedeniyle inşaat projesinin maliyetini yükseltmektedir. Rutil özlü tel elektrot, uygun fiyat ve yüksek metal

yıgma oranının beraber talep edildiği inşaat uygulamalarda metalik özlü tel elektrotla kıyasla daha çok tercih edilmektedir.

- Kök paso ve dolgu pasoda aynı tel elektrot kullanılarak, tel değiştirmeden dolayı zaman kaybedilmesinin önüne geçilecektir.
- % 100 CO₂ ile çalışması gerektiği hem literatür araştırmalarından hem de deneme kaynaklarındaki yanma davranışlarından belirlenmiştir. Daha pahalı olan karışım gaz ile çalışmaya gerek duyulmaması, ELCOR R71'i ön plana çıkaran bir diğer özellik olarak görülmektedir.
- Diğer tel elektrotlara kıyasla daha geniş akım değerleri arasında sorunsuz çalıştığı ikinci kaynak ağzında yapılan dolgu paso denemelerinde gözlenmiştir. Bu sayede traktör hızı artırılarak uygulama süresi düşürülmektedir.

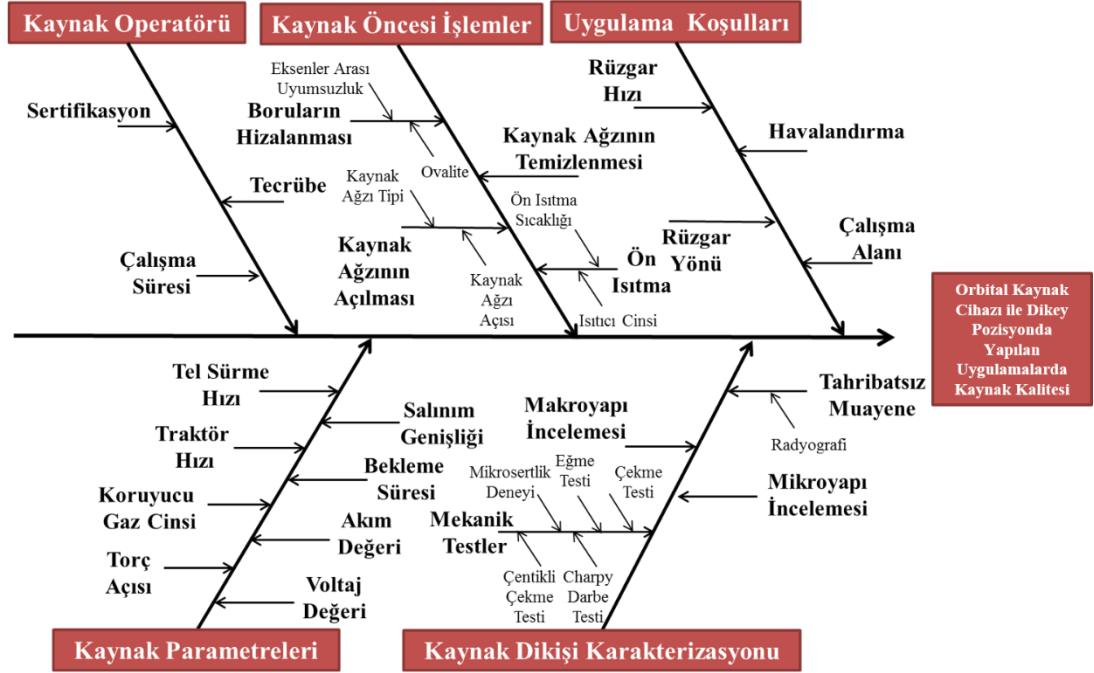
Kaynak elektrotunun belirlenmesinin ardından Şekil 4.2 'de gösterilen balık kılçığı temel alınarak; birinci ve ikinci kaynak dikişlerinde yapılan çalışmalardan çıkarılan sonuçlar doğrultusunda üçüncü kaynak ağzında yapılacak nihai Orbital Kaynak uygulamasında kaynak kalitesi arttırmak amacıyla yeni bir balık kılçığı hazırlanmıştır. Şekil 4.12'de gösterilen balık kılçığı kapsamında nihai kaynak uygulaması öncesinde kaynak kalitesini etkileyen tüm faktörler ortaya konmaktadır.

Hazırlanan ikinci balık kılçığında; ilk balık kılçığında yer alan tel cinsi, donanım, kaynak pozisyonu ve ana malzeme gibi faktörler yer almamaktadır. Bu faktörler birinci ve ikinci kaynak ağzında yapılan çalışmalar neticesinde belirlenmiştir.

Kaynak parametreleri ikinci balık kılçığı doğrultusunda; kaynak kalitesini belirleyen temel faktörlerden biri olarak görülmektedir. Birinci ve ikinci kaynak ağzında ELCOR R71 rutil özlü tel ile yapılan denemelerde, bu kaynak parametreleri belirlenmiş ve kaynak parametrelerindeki değişimin elektrotun yanma özelliklerine ve kaynak dikişine etkisi incelenmiştir. Koruyucu gaz cinsi %100 CO₂ olarak belirlenmiştir. İkinci kaynak ağzına ELCOR R71 tel elektrot ile %100 CO₂ ortamında yapılan denemelerde, çalışılması gereken akım değeri aralığı, en fazla çalışabilecek traktör hızı belirlenmiştir. Kaynak parametrelerinin doğru seçilmesiyle beraber kaynak uygulamasını gerçekleştirecek kaynak operatörü de kaynak kalitesi üzerinde büyük etkiye sahiptir. Orbital Kaynak Cihazını kullanacak operatörün daha önce cihazı kullanmış olması ve gerekli sertifikasyonlara sahip olması gerekmektedir. Tecrübeli

ve iyi donanımlı da olsa kaynak operatörlerinin çalışma süreleri arttıkça, kaynak performansları düşmektedir. Bu nedenle çalışma süresi doğru ayarlanmalıdır.

Uygulama koşulları, kaynak uygulamasının gerçekleşeceği alanın coğrafi özelliklerini belirtmektedir. Özellikle rüzgâr gibi koruyucu gazın işlemlerini engelleyebilecek coğrafi etmenler, kaynak kalitesi üzerinde olumsuz etki bırakmaktadır. Kapalı alanda ya da havalandırması yetersiz alanlarda yapılan çalışmalarda ise kaynak operatörünün görüş mesafesi azalmakla beraber iş güvenliği de tehlikeye girmektedir.



Şekil 4.12 : Nihai deneysel çalışma için özelleştirilmiş balık kılçığı.

Kaynak öncesi işlemlerden ve bu işlemlerin kaynak kalitesi üzerine etkisinden önceki bölümlerde detaylı şekilde bahsedilmektedir. Nihai kaynak uygulamasında, kaynak işlemi öncesinde S235 JR çelik borunun propan ısıtıcı yardımıyla 150°C'ye kadar ısıtılmasına karar verilmiştir.

Nihai kaynak uygulaması için özelleştirilmiş balık kılçığının en önemli bölümünü karakterizasyon kısmı oluşturmaktadır. Yapılan çalışmanın yeterliliğini belirlemek ve gelecek çalışmalara ışık tutmak adına kaynak dikişinin mekanik testler, mikroyapı analizi, makroyapı analizi ve radyografik muayene ile karakterize edilmesi gerekmektedir.

4.10 Üçüncü Kaynak Ağzında Nihai Orbital Kaynak Uygulanması

Oluşturulan balık kılçığı doğrultusunda, Orbital Kaynak Cihazı ile 1,2 mm çapında ELCOR R71 rutil özlü tel elektrot kullanılarak dikey pozisyonda 10° derece açı ile 255 mm çapında 30 mm et kalınlığına sahip S235 JR alaşımsız çelik boru üzerinde 55° derecelik V kaynak ağzında kaynak uygulaması gerçekleştirilmiştir. Birinci ve ikinci kaynak ağzında yapılan deneme çalışmaları, kaynak parametrelerinin belirlenmesinde etkili olmuştur. Çizelge 4.7’de kaynak uygulaması sırasında kullanılan kaynak parametreleri verilmektedir. Kaynak çalışması boyunca koruyucu gaz debisi 17 litre / dakika değerinde sabit tutulmuştur. Tüm pasolar; 12 pozisyonundan 12 pozisyonuna cihaz hiç durdurulmadan tamamlanmıştır. Akım değeri yapılan deneme çalışmalarından ve literatür incelemeleri doğrultusunda 200 – 240 Amper değerleri arasında tutulmuştur. Ortalama bir paso 310 saniyede tamamlanmaktadır. Traktör hızına göre bu süre değişmektedir. Bu süre traktör hızının 20,9 metre / dakika değerine düştüğü kök pasoda 750 saniyeye kadar çıkmaktadır.

Kök paso ve kök paso ardından gelen sıcak pasoda, traktör hızı düşük tutularak daha fazla metal yığılması sağlanarak tam nüfuziyet sağlanması amaçlanmıştır. Ardından gelen bindirme pasolarında akım değeri ve traktör hızı arttırılmıştır. Bindirme pasolarının tamamlanması sırasında 10° açı nedeniyle tırmanma pozisyonlarında daha ince kaynak dikişlerinin ortaya çıktığı gözlenmiştir. Bu durumu engellemek amacıyla 4, 5, 6, 12, 13, 14, 15 ve 16. dolgu pasolarda Orbital Kaynak Cihazı saat yönünün tersinde çalıştırılmıştır. Böylece bir kalın, bir ince kaynak dikişi oluşturularak, tırmanma durumunda diğer pozisyonlara göre daha ince kaynak dikişi oluşması sorununun önüne geçilmiştir. Son 7 paso kapama pasolarıdır. Bu pasolarda traktör hızı düşürülerek belirtilen değerlerde salınım kullanmıştır. Salınım kullanılması sonucunda kapama pasolarda daha fazla metal yığılması sağlanmıştır. Toplam 35 pasoda tamamlanan çalışmada her paso arasında kaynak dikişi tel fırçayla temizlenmiş ve kaynak dikişinin gözle incelenmesi gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.7 : Üçüncü kaynak ağzında kullanılan kaynak parametreleri [Tel cinsi : ELCOR R71 rutil özlü tel, %100 CO₂]

	Akım (A)	Voltaj (V)	Tel Sürme Hızı (m/dk)	Traktör Hızı (m/dk)	Kaynak Yönü	Salınım	Salınım Genişliği (cm)	Frekans (cpm)
Kök Paso	205	29,2	9,4	20,9	Saat Yönü	Yok	Yok	Yok
1.Dolgu	205	29,3	9,6	20,4	Saat Yönü	Yok	Yok	Yok
2.Dolgu	220	29,9	9,9	50,49	Saat Yönü	Yok	Yok	Yok
3.Dolgu	225	29,9	10,4	50,49	Saat Yönü	Yok	Yok	Yok
4.Dolgu	227	30,2	10,5	49,98	Saat Yönünün Tersi	Yok	Yok	Yok
5.Dolgu	230	30,2	10,5	49,98	Saat Yönünün Tersi	Yok	Yok	Yok
6.Dolgu	228	30,2	10,5	49,98	Saat Yönünün Tersi	Yok	Yok	Yok
7.Dolgu	232	30,2	10,5	49,98	Saat Yönü	Yok	Yok	Yok
8.Dolgu	230	30,2	10,5	49,98	Saat Yönü	Yok	Yok	Yok
9.Dolgu	235	30,2	10,5	49,98	Saat Yönü	Yok	Yok	Yok
10.Dolgu	235	30,2	10,5	49,98	Saat Yönü	Yok	Yok	Yok
11.Dolgu	237	30,2	10,5	49,98	Saat Yönü	Yok	Yok	Yok
12.Dolgu	236	30,2	10,5	49,98	Saat Yönünün Tersi	Yok	Yok	Yok
13.Dolgu	232	30,2	10,5	49,98	Saat Yönünün Tersi	Yok	Yok	Yok
14.Dolgu	230	30,1	10,5	49,98	Saat Yönünün Tersi	Yok	Yok	Yok
15.Dolgu	232	30,1	10,5	49,98	Saat Yönünün Tersi	Yok	Yok	Yok
16.Dolgu	232	30,1	10,5	49,98	Saat Yönü	Yok	Yok	Yok
17.Dolgu	225	29,9	9,3	49,98	Saat Yönü	Yok	Yok	Yok
18.Dolgu	225	28,8	9,3	49,98	Saat Yönü	Yok	Yok	Yok
19.Dolgu	222	29,1	9,3	49,98	Saat Yönü	Yok	Yok	Yok
20.Dolgu	220	29,3	9,3	49,98	Saat Yönü	Yok	Yok	Yok
21.Dolgu	224	29,1	9,3	49,98	Saat Yönü	Yok	Yok	Yok
22.Dolgu	222	29,1	9,3	49,98	Saat Yönü	Yok	Yok	Yok
23.Dolgu	225	29,1	9,3	49,98	Saat Yönü	Yok	Yok	Yok
24.Dolgu	226	29,1	9,3	49,98	Saat Yönü	Yok	Yok	Yok
25.Dolgu	223	29,1	9,3	49,98	Saat Yönü	Yok	Yok	Yok
26.Dolgu	220	29,1	9,3	49,98	Saat Yönü	Yok	Yok	Yok
27.Dolgu	218	29,1	9,3	49,98	Saat Yönü	Yok	Yok	Yok
28.Dolgu	215	29,1	9,3	40,26	Saat Yönü	Var	0,41	200
29.Dolgu	217	29,1	9,3	40,26	Saat Yönü	Var	0,41	200
30.Dolgu	213	28,1	8,7	40,26	Saat Yönü	Var	0,41	200
31.Dolgu	214	28,1	8,7	40,26	Saat Yönü	Var	0,41	200
32.Dolgu	212	28,1	8,7	40,26	Saat Yönü	Var	0,41	200
33.Dolgu	215	28,1	8,7	40,26	Saat Yönü	Var	0,41	200
34.Dolgu	215	28,1	8,7	40,26	Saat Yönü	Var	0,41	200

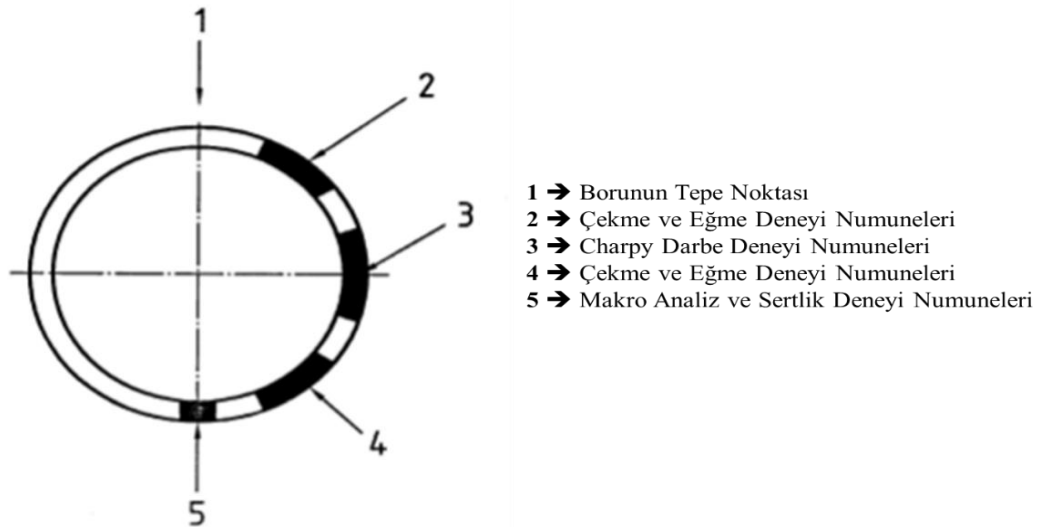
4.11 Nihai Orbital Kaynak Uygulamasının Karakterizasyonu

Nihai kaynak uygulaması ardından kaynak dikişinin analiz edilmesi ve API 1104 standartına uygunluğunun incelenmesi amacıyla takip edilen karakterizasyon aşamaları Şekil 4.13’de gösterilmektedir.



Şekil 4.13 : Nihai kaynak uygulamasının karakterizasyon aşamaları.

Belirtilen karakterizasyon aşamaları, TS EN ISO 15164 – 1 Metalik Malzemeler İçin Kaynak Prosedürlerinin Şartnamesi ve Vasıflandırılması – Kaynak Prosedürü Deneyi standardında belirtildiği gibi çelik borunun Şekil 4.14’de belirtilen bölgelerinden alınan deney numuneleri ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.14 : Deney numunelerinin çıkarıldığı bölgeler [59].

4.11.1 Tahribatsız muayenenin yapılması

Tahribatsız muayene yöntemleri malzemenin kimyasal ya da fiziksel yapısında değişiklik meydana gelmeden malzeme içerisinde kaynak hatalarının tespit edilmesine olanak sağlamaktadır. Kaynaklı parçaların tahribatsız muayenesinde özellikle malzemenin içyapısındaki kaynak hatalarının tespiti amacıyla genellikle radyografik muayene yöntemi tercih edilmektedir.

4.11.1.1 Radyografik muayene

Orbital Kaynak uygulamasının tamamlanmasının hemen ardından üçüncü kaynak bölgesine ait kaynak dikişinin radyografi filmi çekilmiştir. Yapılan çekimler gerilimin 300 KV, akımın 2,0 mA ve sürenin 237 saniye olduğu şartlarda 10FEEN kalite belirteci kullanılarak T200 film üzerinde gerçekleştirilmiştir. Radyografi filmleri ERESKO 52 MF4 CL marka cihaz ile gerçekleştirilmiştir. Muayene işlemi API 1104 Boru Hattı ve Bağlantılı Tesislerin Kaynağı standartına uygun yapılmıştır. Elde edilen radyografi filmleri fotoğraf makinası yardımıyla dijital ortama aktarılmıştır.

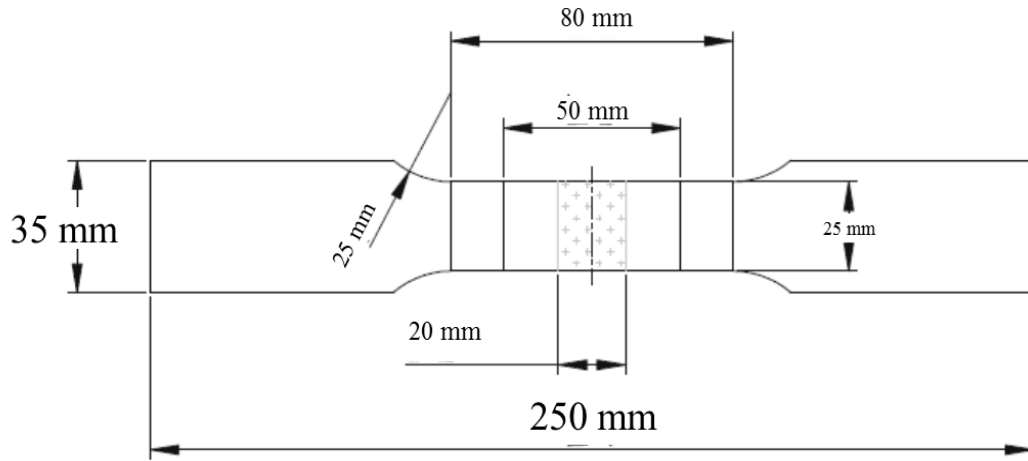
4.11.2 Makroyapı incelemesi

Kaynak uygulaması sonrasında S235 JR çelik boru kaynak dikişine dik olacak şekilde kesilmiştir. Kaynak uygulanmış borunun kesitinden numune alınmıştır. İyi hazırlanmış bir kaynak numunesinde, kaynak bölgeleri (ana metal, kaynak metali ve ITAB) rahatlıkla gözlemlenebilmektedir. Hazırlanan numuneler % 3 'lük nital çözeltisi ile 10 saniye dağlanmıştır.

4.11.3 Mekanik deneyler

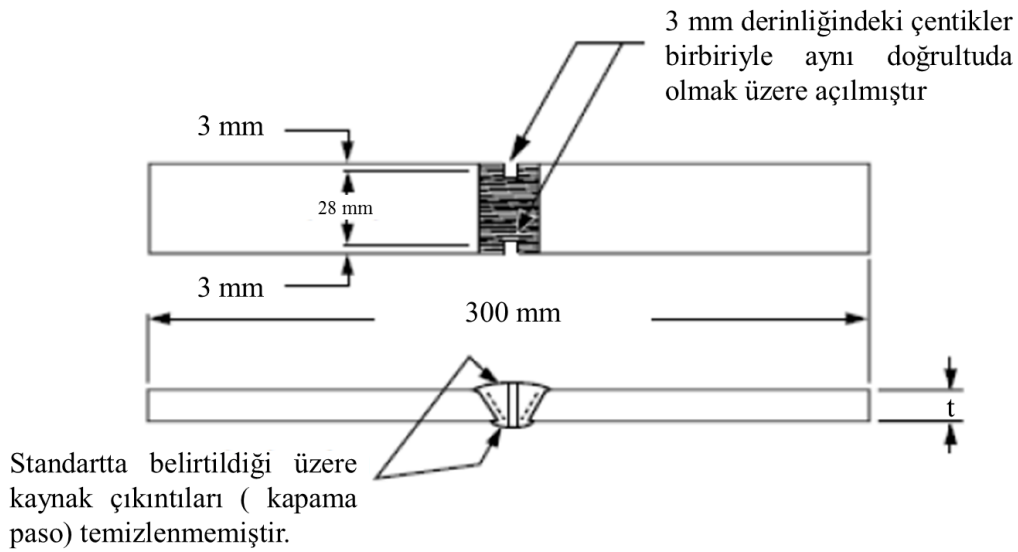
4.11.3.1 Çekme deneyleri

S235 JR alaşımsız çelik borudan 4 adet çekme numunesi ve 1 adet çentikli çekme numunesi çıkarılmıştır. Numuneler hazırlanırken TS 138 EN 10002 – 1 Metalik Malzemeler – Çekme Deneyi – Bölüm 1: Ortam Sıcaklığında Deney Metodu standardı esas alınmıştır. Çekme deneyleri 5 mm/dk hızında 1000 kN kapasiteli Shimadzu Hidrolik Kontrollü Universal Test Cihazı ile yapılmıştır. Şekil 4.15'de çekme deneyi için hazırlanan çekme numunesinin boyutları gösterilmektedir.



Şekil 4.15 : Çekme deneyi numunesi [60].

Şekil 4.16 ‘da API 1104 standartına uygun olarak hazırlanan çentikli çekme numunesinin boyutları gösterilmektedir. 3 mm derinliğindeki çentikler demir testere ile açılmıştır.



Şekil 4.16 : Çentikli çekme deneyi numunesi [60].

4.11.3.2 Charpy darbe deneyleri

Charpy darbe deneyi numuneleri TS EN 100045 – 1 Metalik Malzemeler – Charpy Vurma Deneyi Bölüm 1 – Deney Metodu standartına uygun olarak V çentikli olarak hazırlanmıştır. Şekil 4.17 ‘de darbe deneyi sırasında kullanılan deney numunesi verilmektedir.

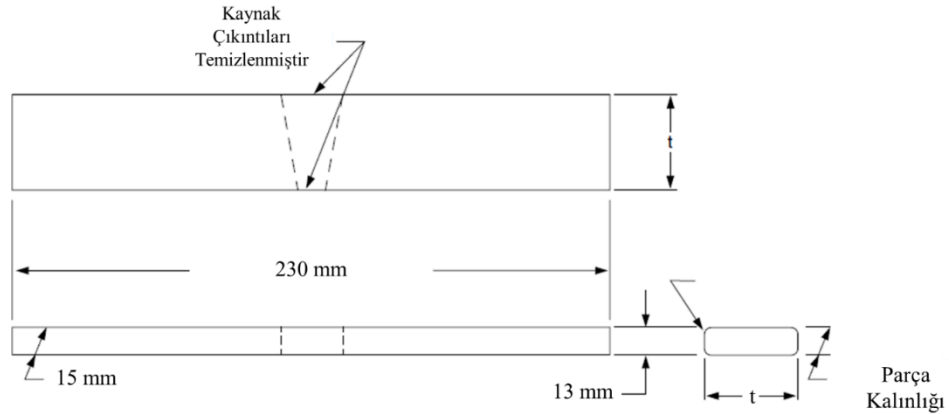


Şekil 4.17 : Charpy darbe deneyi numunesi.

Numuneler 55 mm boyunda 10 mm yüksekliğinde hazırlanmıştır. V çentik ise 2 mm derinliğinde açılmıştır. Deneyler 300 joule kapasiteli Mohr & Federhaff AG Mannheim Çentik Darbe Test Cihazı ile gerçekleştirilmiştir.

4.11.3.3 Eğme deneyleri

Eğme numuneleri API 1104 standartına göre hazırlanmıştır. Eğme işlemleri 20 ton kapasiteli Mohr & Federhaff AG Mannheim Test Cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneylerde aynı zamanda TS 282 EN 910 Metalik Malzemelerde Kaynaklar Üzerinde Tahribatlı Muayeneler – Eğme Deneyi standardından da yararlanılmıştır. Hazırlanan numunenin boyutları Şekil 4.18 ‘de gösterilmektedir.



Şekil 4.18 : Eğme deneyi numuneleri [60].

4.11.3.4 Mikrosertlik deneyi

Malzemenin çizilmeye, delinmeye, aşınmaya karşı gösterdiği dirence sertlik denir. Aynı zamanda malzemenin plastik deformasyona karşı gösterdiği direnç olarak da tanımlanmaktadır. Sertlik deneyinde malzemenin yüzeyine batırılan keskin uca karşı gösterdiği direnç tespit edilmektedir. Mikrosertlik deneyi 1 kg yük altında Shimadzu

Mikrosertlik Ölçüm Cihazı ile yapılmıştır. Ölçümler 2 mm aralıklarla, aynı yatay eksen üzerinden alınmıştır.

4.11.4 Kimyasal bileşim analizi

Kaynak sonrası kaynak metalinin ve ana metalin kimyasal bileşimini tespit etmek amacıyla Spectro Lab marka Optik Emisyon Spektrometresi kullanılmıştır. S235 JR çelik borunun kaynak bölgesinden alınan numunenin ön ve arka yüzeylerinde kimyasal bileşim analizi gerçekleştirilmiştir. İki farklı sonucun ortalaması alınarak kaynak metalinin kimyasal bileşimi tespit edilmiştir.

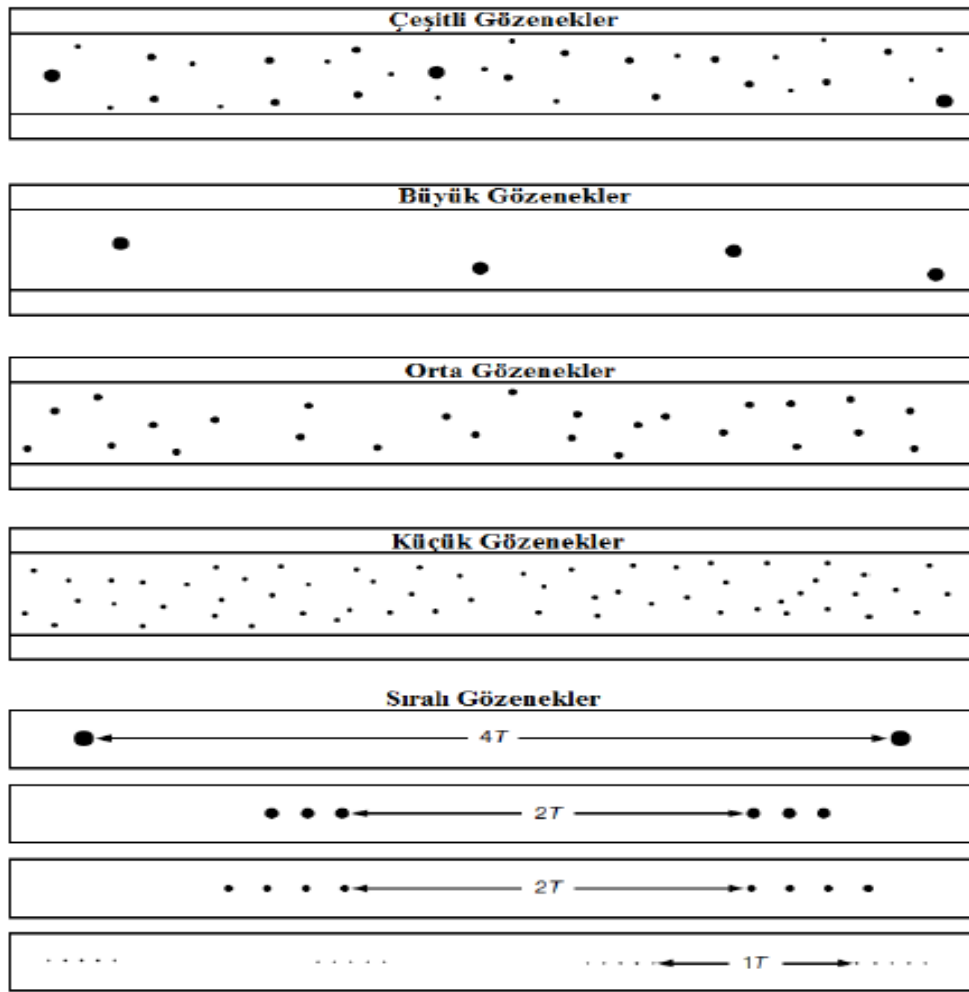
4.11.5 Mikroyapı incelemesi

Numune hazırlama işlemleri sonrasında % 3'lük nital ile dağlanan numunelerden Jeol JSM-5410 Taramalı Elektron Mikroskobu yardımıyla 15 KV değerinde X2000 ve X3500 büyötmelerde görüntüler alınmıştır ve aynı zamanda EDS analizi gerçekleştirilmiştir. Kaynak metali, ITAB ve ana metal görüntöleri incelenerek literatür ile karşılaştırılma yapılmıştır.

5. DENEYSEL SONUÇLAR

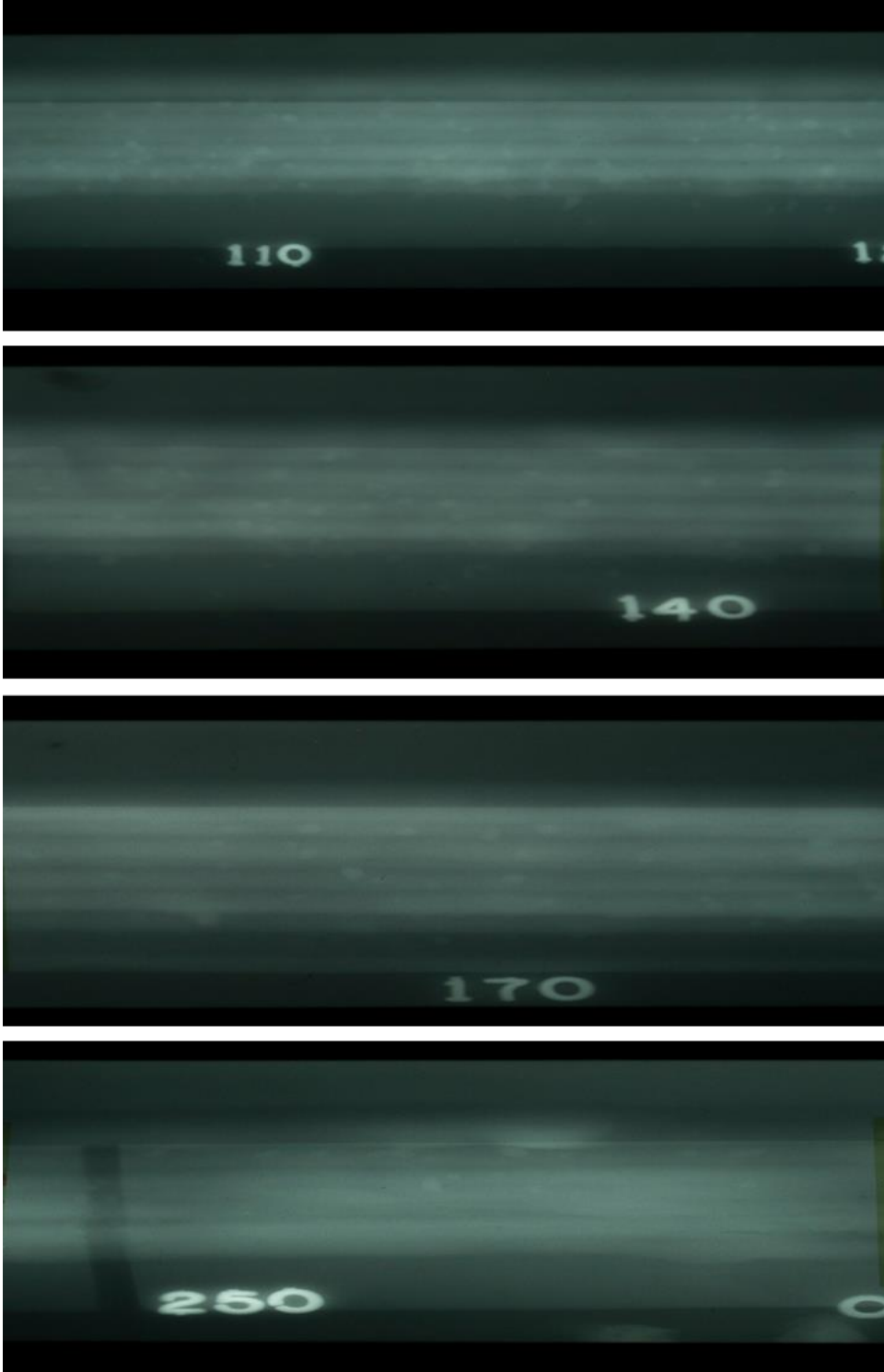
5.1 Tahribatsız Muayene Sonuçları

Deneysel çalışmalar kapsamında tahribatsız muayene yöntemlerinden kaynak uygulamalarında sıklıkla tercih edilen radyografik muayene gerçekleştirilmiştir. Çekilen radyografi filmleri Şekil 5.1’de gösterilen API 1104 standardı gözenek dağılım cetvellerine göre kontrol edilmiştir. Şekil 5.2’de ise deney numunelerinin hazırlandığı bölgelerin radyografi filmlerine yer verilmektedir.



Şekil 5.1 : Gözenek dağılım cetveli (T : Kalınlık) [60].

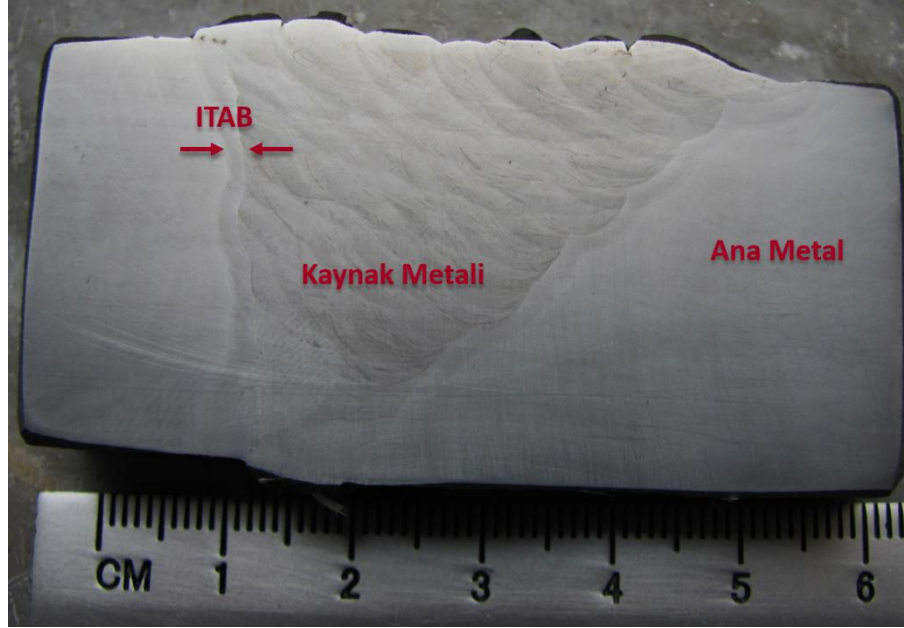
Şekil 5.2’den de görülebileceği gibi deney numunelerinin alındığı bölgelerde herhangi bir kaynak hatasına rastlanmamıştır. Radyografi filmlerinde az miktarda gözenek ve bazı bölgelerde nüfuziyet yetersizliği gözlenmiş olsa da API 1104 standardının kabul koşulları içinde yer almıştır.



Şekil 5.2 : Radyografi görüntüleri.

5.2 Makroyapı Analizi Sonuçları

Şekil 5.3’ de boru kesitinden alınan numunenin makroyapı görüntüsü gösterilmektedir. Kaynak bölgesinde kaynak hatası ya da nüfuziyetsizlik gözlemlenmemektedir. Kaynak bölgeleri sırasıyla; kaynak metali, ITAB ve ana metalden oluşmaktadır. Isı girdisi sonucu oluşan ITAB, makroyapı görünütüsünde yaklaşık 2 mm kalınlığında tespit edilmektedir.



Şekil 5.3 : Makroyapı görüntüsü.

5.3 Mekanik Deneylerin Sonuçları

5.3.1 Çekme deneyi sonuçları

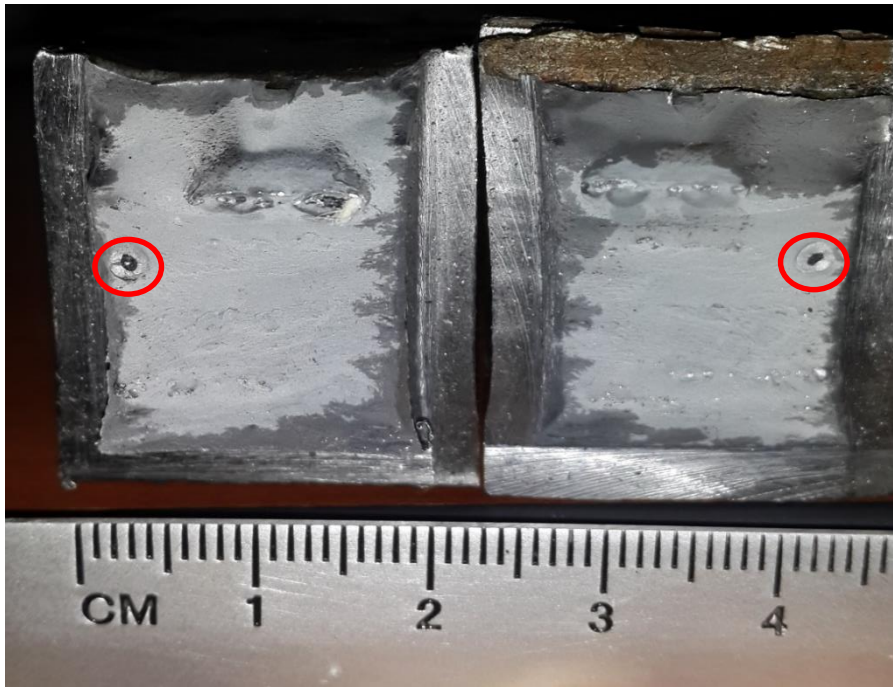
Çekme deneyi sonuçları Çizelge 5.1 gösterilmektedir. Tüm deney numuneleri kaynaklı numunelerin çekme deneylerinde API 1104 standartında istenildiği gibi ana metalden kopmuştur.

Çizelge 5.1 : Çekme deneyi sonuçları.

	Çekme Dayanımı (Mpa)	Akma Dayanımı (Mpa)	% Uzama	Kopma Bölgesi
Numune 1	594,97 MPa	564,29 MPa	28	Ana Metal
Numune 2	572,10 MPa	524,16 MPa	30	Ana Metal
Numune 3	544,78 MPa	574,98 MPa	30	Ana Metal
Numune 4	518,37 MPa	558,03 MPa	26	Ana Metal

Numunelerin çekme ve akma dayanımları yaklaşık olarak birbirlerine yakın değerlerde elde edilmiştir. Bu sonuçlar kullanılan özlü telin ve belirlenen kaynak parametrelerinin; kaynaklan borunun her pozisyonunda aynı düzeyde gereksinimleri karşıladığını göstermektedir. % Uzama değerleri incelendiği takdirde literatürde yer alan değerlere ulaşıldığı görülmektedir.

Çentikli çekme deneyi sonrasında kopma bölgesinin kesit görüntüsü Şekil 5.4’de verilmektedir. Kopma bölgesi incelendiği takdirde 1 adet yaklaşık 1 mm çapında gaz boşluğu kırmızı daire içinde görülmektedir. Bu gaz boşluğu API 1104 standartında belirtilen sınırlar içerisinde yer almaktadır.



Şekil 5.4 : Çentikli çekme deneyi sonrası kesit görüntüsü.

5.3.2 Charpy darbe deneyi sonuçları

Charpy Darbe Deneyi sonuçları Çizelge 5.2’de verilmiştir. Her sıcaklık için 3 adet tokluk değeri elde edilmiş ve ortalamaları alınmıştır.

Çizelge 5.2 : Charpy darbe deneyi sonuçları.

Deney Sıcaklığı (°C)	20 °C	0 °C	- 10 °C	- 20 °C	- 30 °C	- 40 °C
1. Numune	148 J	152 J	114 J	102 J	84 J	88 J
2. Numune	140 J	120 J	108 J	106 J	92 J	91 J
3. Numune	150 J	142 J	118 J	94 J	88 J	80 J
<u>Ortalama</u>	<u>146 J</u>	<u>138 J</u>	<u>108 J</u>	<u>100 J</u>	<u>88 J</u>	<u>86 J</u>

Oda sıcaklığında ortalama 146 joule tokluk değeri elde edilmiştir. - 40 °C’de ise bu değer ortalama 86 joule olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, yapılan uygulamanın düşük sıcaklıklarda dahi darbe dayanımı açısından oldukça başarılı olduğunu göstermektedir.

5.3.3 Eğme deneyi sonuçları

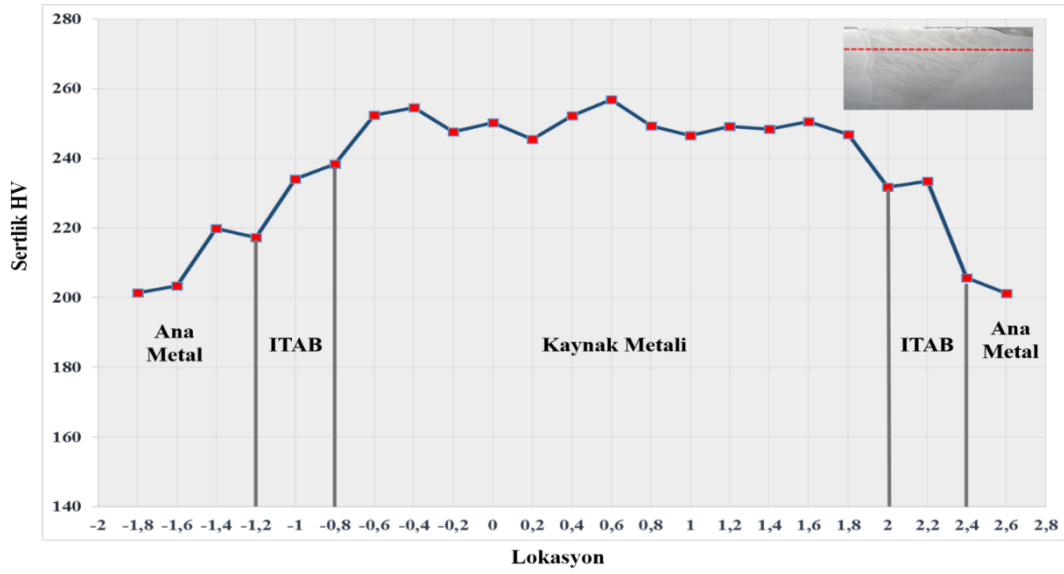
Eğme Deneyi sonucunda numunelerde kırılma, açılma ya da yırtık gözlemlenmemiştir. Yapılan bu deney sonucunda, kaynaklı boruda yetersiz nüfuziyet ya da birleşme sorunu olmadığı anlaşılmaktadır. Aynı zamanda kaynak bölgesinin yeterli elastisiteye sahip olduğu görülmektedir. Şekil 5.5 ‘de 4 adet deney numunesinin eğme deneyi sonrasında görüntüleri verilmektedir. Numune 3 ve Numune 4’de görülen boşluklar kabul sınırları içerisinde.



Şekil 5.5 : Eğme Deneyi Sonrasında Deney Numuneleri.

5.3.4 Mikrosertlik deneyi sonuçları

Mikrosertlik Deneyi sonuçlarından yararlanılarak hazırlanan mikrosertlik grafiği Şekil 5.6 'da gösterilmektedir. Grafik, V kaynak ağzının birleşme noktası orijin (O noktası) kabul edilerek hazırlanmıştır. Kaynak bölgelerinden alınan sertlik değerleri yardımıyla, kaynak bölgelerinin ortalama sertlik değerleri hesaplanmıştır. Çizelge 5.3'de bu değerler verilmektedir.



Sekil 5.6 : Lokasyona göre mikrosertlik değerleri.

Çizelge 5.3 : Ortalama sertlik değerleri.

Ortalama Sertlik Değerleri (HV)	
Kaynak Metali	249,97
ITAB	234,36
Ana Metal	209,47

Mikrosertlik grafiği incelendiğinde, en yüksek sertlik değerinin kaynak metalinde elde edildiği görülmektedir. Bu sonuç, çekme testinden malzemenin ana metalden kopması sonucunu da desteklemektedir. ITAB'ın sertliği kaynak metaline göre daha az olmakla beraber, kaynak uygulaması sırasında oluşan ısı girdisi sebebiyle sertliği ana metale göre daha yüksektir. ITAB içerisinde ana metale yaklaşıldıkça ısı girdisinin daha yüksek olması nedeniyle sertlik değerleri yükselmektedir.

5.4 Kimyasal Bileşim Analizi Sonuçları

Hazırlanan kaynak numunesinin arka ve ön yüzeylerinden kaynak metali ve ana metal için kimyasal bileşim analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu değerlerin ortalaması alınarak kimyasal bileşim sonucu elde edilmiştir. Çizelge 5.4’de ana metal yüzde kimyasal bileşim oranları verilmektedir.

Çizelge 5.4 : Ana metal yüzde kimyasal bileşimi.

Ana Metal Yüzde Bileşim					
C	Si	Mn	P	S	Cr
0,073475	0,14275	1,6225	0,01235	0,002375	0,04575
Mo	Ni	Al	Co	Cu	Nb
0,23575	0,01715	0,02065	0,00395	0,00525	0,0388
Ti	V	W	Pb	Sn	Sb
0,01485	0,03595	0,000275	0,00019	0,002725	0,0017325
B	N	O	Fe		
0,00009	0,0065	0,0019	97,7		

Ana metal bileşimi sonuçları incelendiği takdirde, S235 JR alaşımsız çelik boruların kimyasal bileşim değerlerine yakın değerler elde edildiği görülmektedir. Beklenildiği gibi ana metalin kimyasal bileşiminde değişiklik olmamıştır. Çizelge 5.5’de kaynak metali yüzde kimyasal bileşimi gösterilmektedir.

Çizelge 5.5 : Kaynak metali yüzde kimyasal bileşimi.

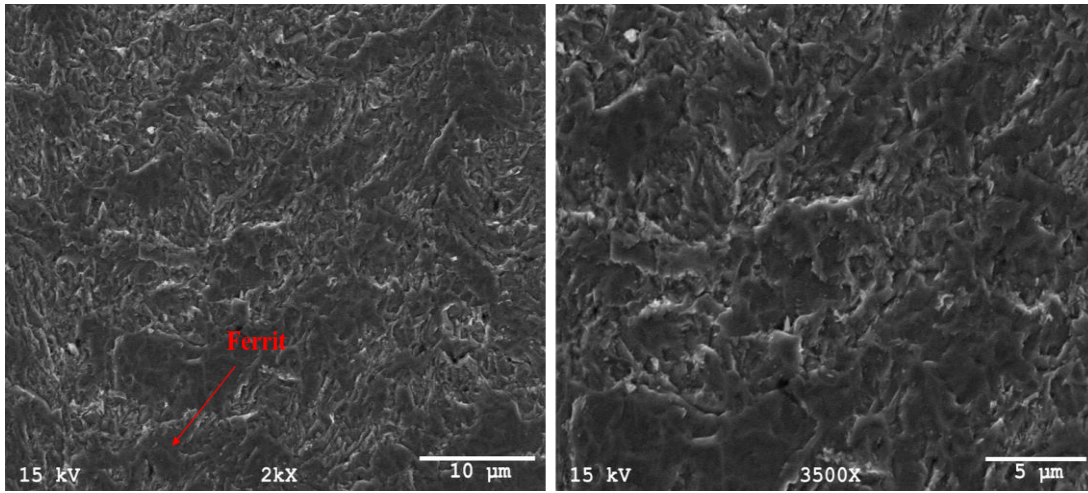
Kaynak Metali Yüzde Bileşim					
C	Si	Mn	P	S	Cr
0,078425	0,49525	1,6475	0,016625	0,003725	0,0287
Mo	Ni	Al	Co	Cu	Nb
0,01895	0,042025	0,015075	0,0108	0,02045	0,01645
Ti	V	W	Pb	Sn	Sb
0,085625	0,022925	0,001445	0,00019	0,004475	0,003125
B	N	O	Fe		
0,00855	0,008825	0,0008175	97,475		

Kaynak metaline ait yüzde kimyasal bileşim oranları incelendiği takdirde, özlü tel bileşimine benzer değerler elde edildiği görülmektedir. Kaynak metalinde Mn ve Si özlü tel bileşiminde yer aldığından daha fazla miktarda yer almaktadır. Kaynak uygulaması sırasında bu elementlerin kaynak havuzu içersindeki çözünürlükleri yükselmektedir. Elde edilen değerler EDS sonuçları ile uyumludur.

5.5 Mikroyapı Analizi Sonuçları

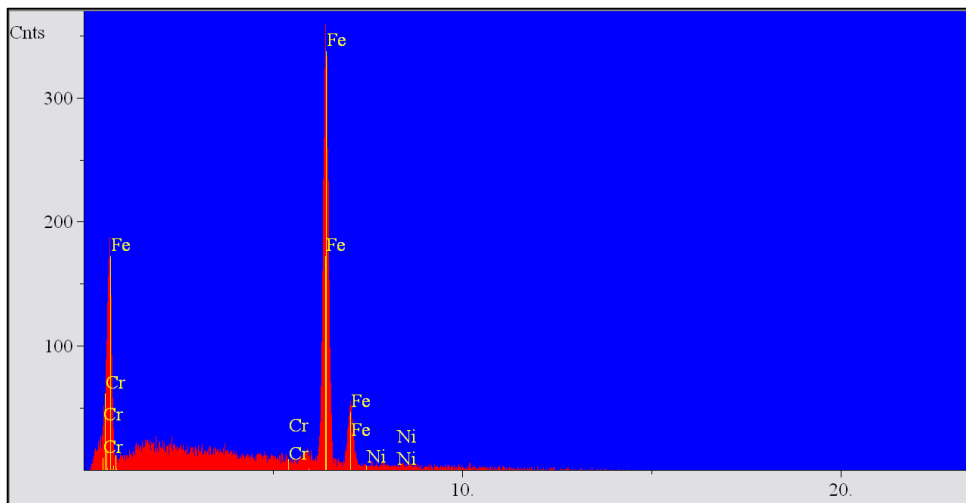
Hazırlanan kaynak numunesinin ana metal, ITAB, kaynak metali ve kök paso bölgelerinden iki farklı büyütme değerinde alınan mikroyapı görüntüleri incelenmiştir. Mikroyapı görüntüleri incelendiğinde tüm bölgelerde iki farklı büyütmede de istenildiği gibi martenzit yapıya rastlanmamıştır.

Şekil 5.7’de ana metalin X 2000 ve X 3500 büyütmede alınmış mikroyapı görüntüleri gösterilmektedir.



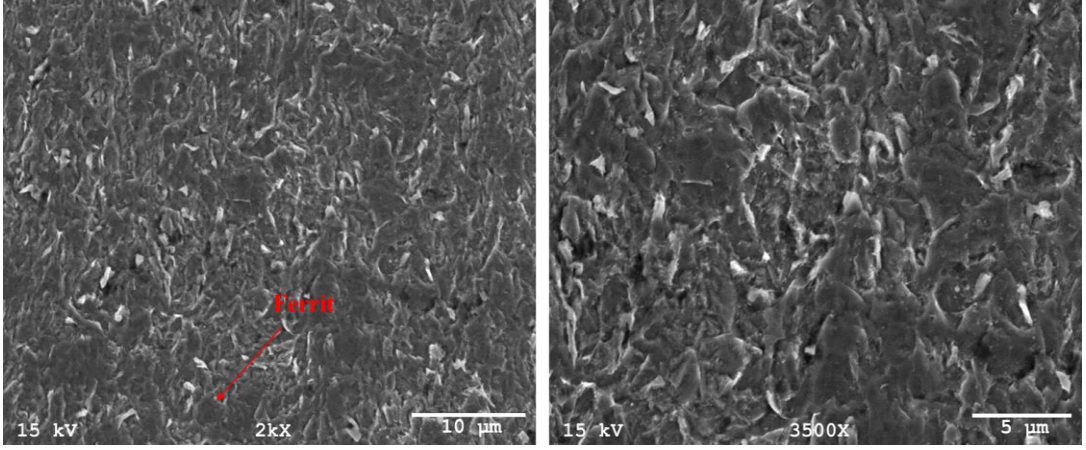
Şekil 5.7 : Ana metal bölgesi mikroyapı görüntüleri.

Ana metal mikroyapısında ferrit taneler gözlenmektedir. Karbon miktarının düşük olması sebebiyle istenmeyen martenzit yapıların varlığına rastlanmamıştır. Ana metalin EDS analiz sonuçları Şekil 5.8’de verilmektedir. Beklenildiği gibi en yüksek pik Fe pikidir. Yapıda Cr ve Ni varlığı da gözlenmiştir.



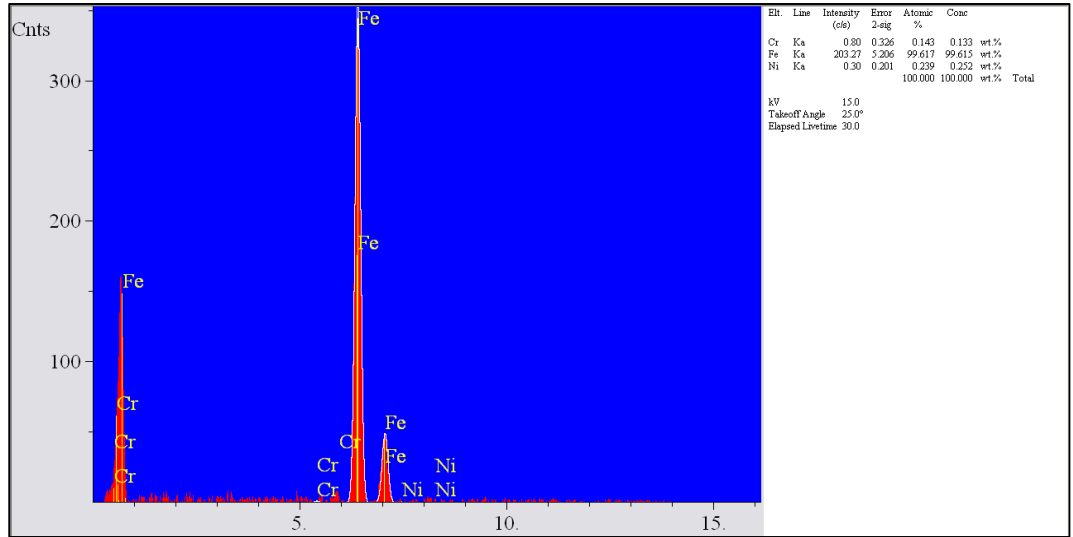
Şekil 5.8 : Ana metal EDS analiz sonucu

Şekil 5.9’de ITAB’ın X2000 ve X3500 büyütmede alınmış mikroyapı görüntüleri verilmektedir. ITAB mikroyapısı incelendiğinde, tanelerin ana metala göre daha büyük olduğu gözlemlenmektedir. İstenmeyen martenzit yapılar rastlanmamaktadır. Tüm mikroyapılarda olduğu gibi ferrit taneler ITAB mikroyapsının tamamında yer almaktadır.



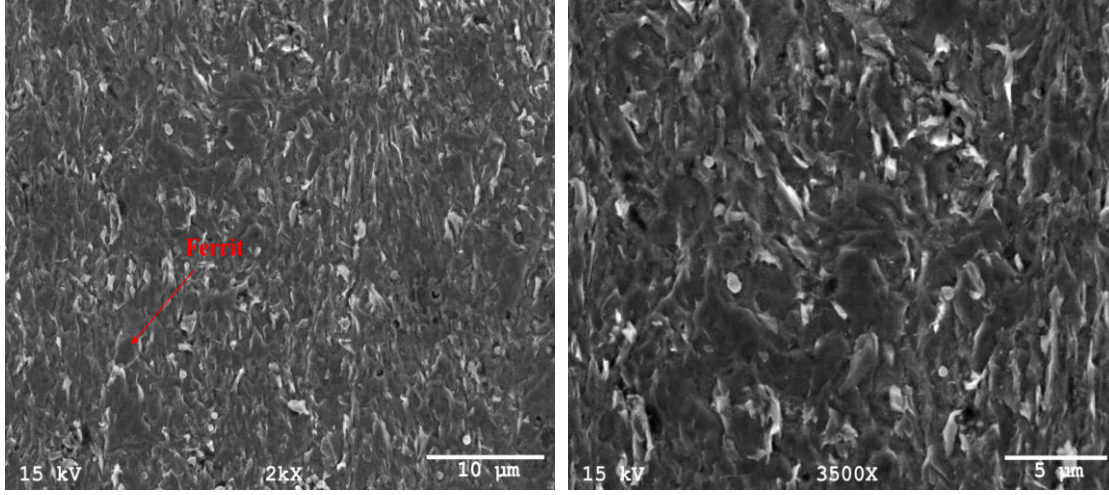
Şekil 5.9 : ITAB’ın mikroyapı görüntüleri.

ITAB’ın EDS analiz sonuçları Şekil 5.10’de verilmektedir. ITAB’ın EDS analizi incelendiği takdirde rutil özlü telin bileşimde bulununan Ni içeriğinden dolayı Ni bileşiminin yükseldiği gözlemlenmektedir.



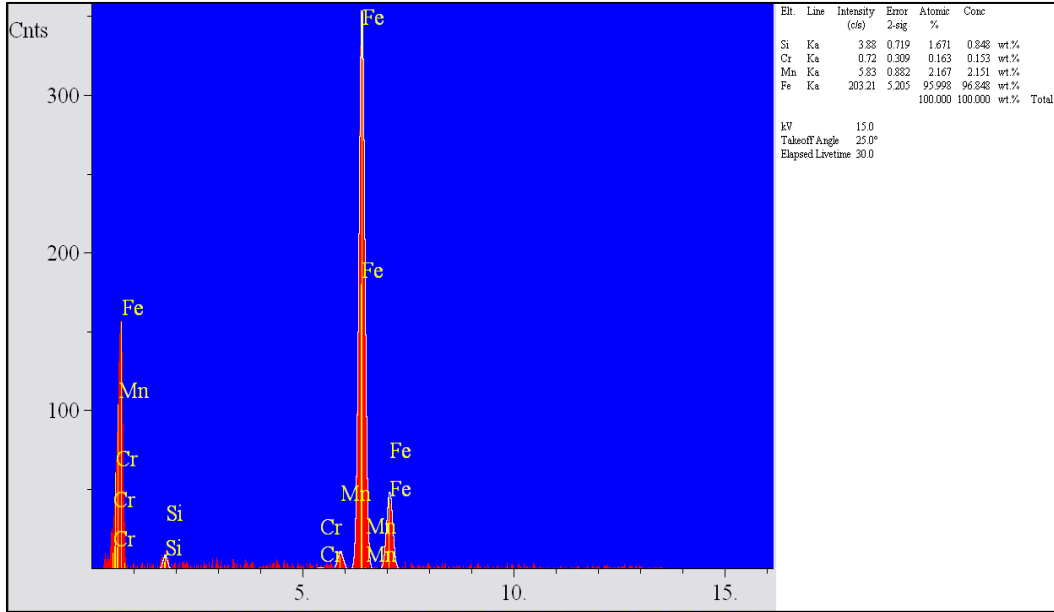
Şekil 5.10 : ITAB’ın EDS analiz sonucu.

Şekil 5.11’de kaynak metalinin X2000 ve X3500 büyütmede alınmış mikroyapı görüntüleri verilmektedir. Kaynak metali mikroyapısı incelendiğinde, yapının tümünü saran ferrit taneleri görülmektedir. Martenzitik taneler gözlemlenmemektedir.



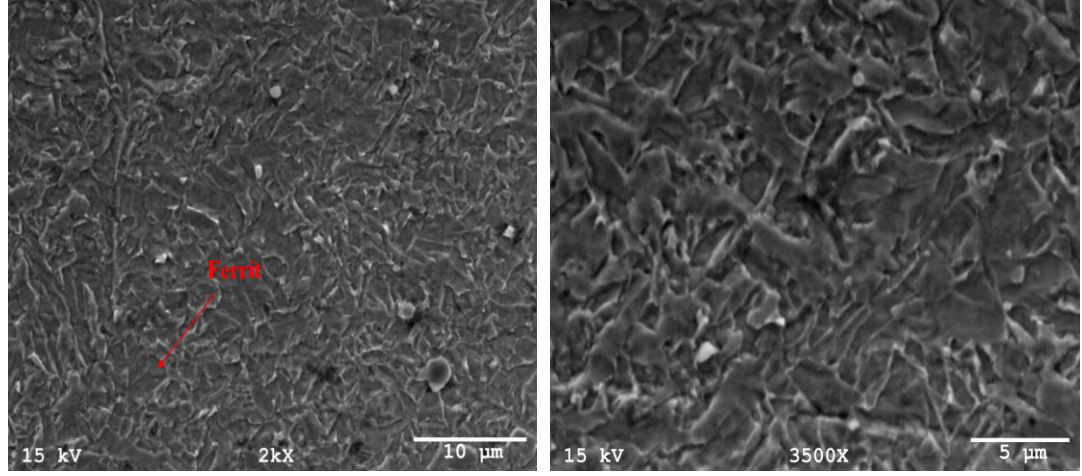
Şekil 5.11 : Kaynak metali bölgesi mikroyapı görüntüleri.

Kaynak metalin EDS analiz sonuçları Şekil 5.12’de verilmektedir. Ana metal ya da ITAB’da gözlenmeyen Si, özlü tel bileşimi dolayısıyla bu analizde gözlenmektedir. Fe piki yine en uzun pik olmakla birlikte, beklenildiği gibi yapıda bulunma oranı düşmektedir.

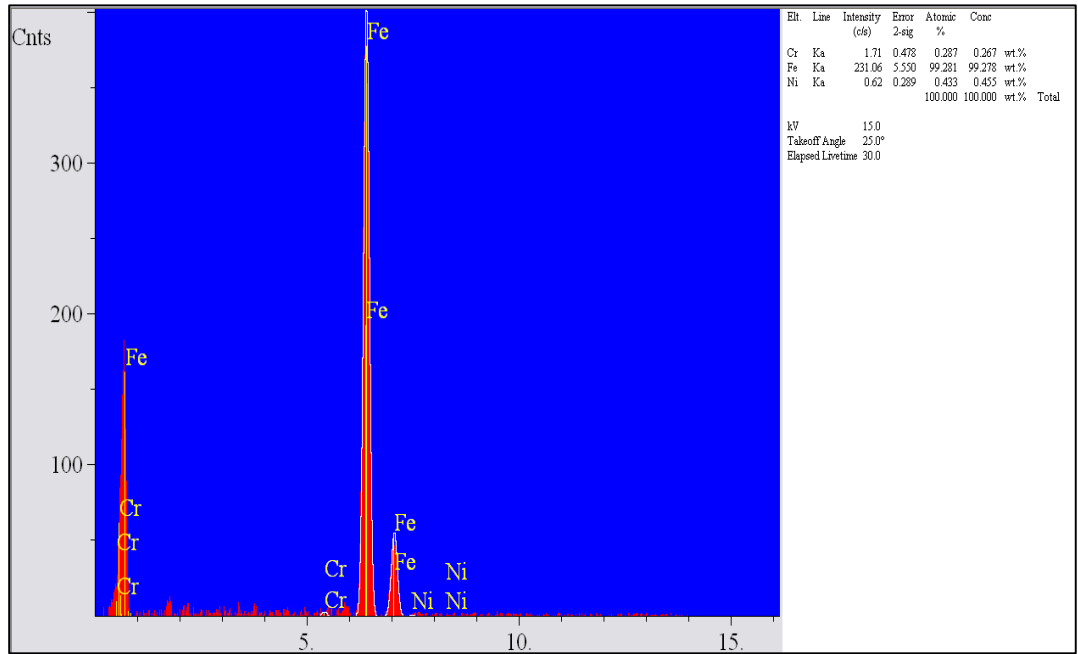


Şekil 5.12 : Kaynak metalinin EDS analiz sonucu.

Şekil 5.13’de kök pasonun X2000 ve X3500 büyütmede alınmış mikroyapı görüntüleri gösterilmektedir. Mikroyapı görüntüleri incelendiğinde, martenzitik yapı olmadığı görülmektedir. Kök pasonun EDS analiz sonuçları Şekil 5.14’de gösterilmektedir. Kök pasoda Fe dışında Ni ve Cr piklerine rastlanılmamaktadır. Bu piklerdeki yükselmenin nedeni özlü tel bileşimi olarak düşünülmektedir.



Şekil 5.13 : Kök paso bölgesi mikroyapı görüntüleri.



Şekil 5.14 : Kök pasonun EDS analiz sonucu.

6. GENEL SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRMELER

Yapılan bu çalışmada S235 JR alaşımsız çelik borunun piyasada hâlihazırda kullanılan ELCOR R71, ELCOR M70 ve GEKA SG2 tel elektrotları ile kaynaklanması işlemi Orbital Kaynak Cihazı ile dik pozisyonla 10° derece açı ile gerçekleştirilmiştir.

Deneme kaynakları sonrasında kullanılacak tel elektrot tercihi gerçekleştirilmiş ve parametre değişiminin kaynak dikişi ve nüfuziyet üzerine etkisi incelenmiştir. Elde edilen tecrübeler doğrultusunda; S235 JR çelik boruların Orbital Kaynak Cihazı ile dik pozisyon ile 10° derece açıda birleştirilmesi uygulamalarına özelleştiriltilmiş balık kılıcı hazırlanmıştır. Tüm parametrelerin uygulama üzerine etkisi belirlendikten ve bu etkiler bir arada değerlendirildikten sonra, nihai Orbital Kaynak uygulaması gerçekleştirilmiştir. Nihai kaynak ağzı API 1104 ve TS EN ISO 15164 standartları temel alınarak karakterize edilmiştir. Literatürdeki diğer çalışmalar ile karşılaştırmalar yapılarak, elde edilen sonuçların geçerliliği araştırılmıştır.

Elde edilen sonuçlar doğrultusunda; Orbital Kaynak Cihazının inşaat sektöründe dik pozisyonunda kullanımının yaygınlaştırılması amaçlanmaktadır. Orbital Kaynak Cihazının kullanımının yaygınlaşması sonucunda kaynak otomasyonunun sağlanmasının yanında kaynak kalitesinde kayda değer bir artış ve uygulama maliyetinde azalma öngörülmektedir. Deneysel çalışmalar kapsamında; dikey pozisyonunda Orbital Kaynak uygulamasının API 1104 ve TS EN ISO 15164 standartlarına uygunluğu araştırılmıştır. Belirtilen karakterizasyon çalışmaları ardında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

- Radyografik muayene yapılan çelik borunun radyografi filmleri Şekil 5.2’de verilmektedir. İnceleme sonucunda kaynak bölgesinde az miktarda da olsa gözenek ve bazı bölgelerde nüfuziyetsizlik tespit edilmiştir. Bu kaynak hataları, tüm boru çevresi düşünüldüğü takdirde API 1104 standardı kabul şartları içerisinde yer almaktadır. Kurtçuk ve eksik nüfuziyet gibi hataların sebebi olarak, kaynak uygulamasının tek kaynak operatörü tarafından

dinlenmeden tamamlanmış olması düşünülmektedir. Vardiyalı çalışma düzeni sayesinde bu hataların da tekrarlanmayacağı öngörülmektedir.

- Kaynak bölgesinin makroyapı görüntüleri incelenmiştir. Şekil 5.3’de de görüldüğü gibi yaklaşık 2 mm kalınlığında ITAB tespit edilmiştir. Tüm kaynak bölgeleri rahatlıkla gözlenebilmektedir.
- Çekme Deneyi sonrasında 4 deney numunesinin de ana metalden koptuğu gözlenmiştir. Çizelge 5.1’de belirtildiği gibi 500 MPa’nın üstünde çekme dayanımı değerleri elde edilmiştir. API 1104 standardı; kaynak metalinin akma dayanımının diğer kaynak bölgelerine göre daha yüksek olmasını istemektedir. Bu gerekliliğinin sağlandığı Çizelge 5.1’de görülmektedir.
- Çentik Çekme Deneyi uygulanan deney numunesinin kopma yüzeyi incelenmiştir. Şekil 5.4 gösterilen 1 adet gaz kabarcığı gözlenmiştir. Gaz kabarcığının çapı 1 mm’nin altında olduğu için API 1104 standartı kabul koşulları içerisinde.
- Charpy Darbe Deneyi 5 farklı sıcaklıkta 3 takım numune ile gerçekleştirilmiştir. Çizelge 5.2’de belirtilen değerler incelendiğinde, -40°C’de ortalama 86 joule tokluk değeri elde edildiği görülmektedir.
- API 1104 standardında belirtildiği üzere; 4 adet eğme deney numunesinin eğme deneyi sonrasında kaynak bölgeleri incelenmiş ve herhangi kopma ya da yırtılma gözlenmemiştir.
- Mikrosertlik Deneyi sonucunda kaynak metalinin en yüksek sertlik değerine sahip olan bölge olduğu belirlenmiştir. Kaynak metalinin ortalama sertliğinin 249,97 HV olduğu Çizelge 5.3 gösterilmektedir. Sertlik değerleri ile çekme deneyi sonuçları birbirini desteklemektedir.
- Ana metalin kimyasal bileşiminde beklenildiği gibi değişiklik olmadığı gözlenmiştir. Kaynak metalinde ise Si ve Mn gibi özlü tel bileşimden gelen elementler yüksek miktarda tespit edilmiştir.
- Kaynak bölgelerinin mikroyapıları incelendiğinde büyük çoğunlukla ferrit taneleri belirlenmektedir. Martenzit oluşumu istenilmediği gibi gözlenmemiştir. EDS analizleri, kimyasal bileşim analizi ile paralellik göstermektedir.

- Deneysel alışmalar kapsamında; nihai kaynak ağızında yapılan kaynak uygulaması sırasında kullanılan kaynak parametreleri istenilen kaynak kalitesini sağlamakla beraber, karakterizasyon aşamasından sonra uygulamanın gerekli mekanik ve kimyasal özellikleri sağladığı görülmektedir. ELCOR R71 rutil zl tel, tez kapsamında kullanılan S235 JR alaşımsız elik boruların birleştirilmesi uygulamasında, diğer elektrotlara göre üstünlük sağlamaktadır. Metal yığıma oranı ve fiyatı da göz önüne alındığı takdirde ELCOR R71 belirtilen uygulama için rakipsiz konuma gelmektedir.

Tamamlanan çalışmanın ardından; Orbital Kaynak Cihazının, deniz suyu gibi farklı uygulama ortamlarında kullanımı ve bu ortamlarda kaynak parametrelerinin belirlenmesi üzerine çalışmalar yapılması önerilmektedir. Boru hatlarının deniz tabanlarında inşa edilmesi gerekliliğinden dolayı, önerilen alışma Orbital Kaynak Cihazının kullanım alanlarının genişletilmesine yardımcı olacaktır. Orbital Kaynak Cihazının farklı uygulama ortamlarında kullanımının yanında, kelepçe ve traktör tasarımı yeniden yapılarak cihazının köşeli geometrilere sahip malzemelerin birleştirilmesinde kullanımı, araştırmaya ve geliştirmeye uygun çalışma alanları olarak görülmektedir. Önerilen iki çalışmanın yanında; uygulama süresi ve maliyetin düşürülmesi ile cihaz otomasyonun geliştirilmesi üzerine yapılan alışmalar, Orbital Kaynak Cihazı kullanımının yaygınlaştırılması ve kaynak kalitesinin yükseltilmesi adına büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] **TS EN ISO 10020**, Çelik Tiplerinin Tarifi ve Sınıflandırılması, 2003, Ankara
- [2] **Yurtışık K., Batıgün C. ve Gürbüz R.**,(2011) Alaşimsız Düşük Karbonlu Çeliklerde Gerinim –Yaşlandırmanın Darbe Tokluğuna Etkileri, Teknik Yazı, TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası, Sf. 26 - 30
- [3] **TS 10025 -1**, Sıcak Haddelenmiş Yapı Çelikleri – Bölüm 1: Genel Teknik Teslim Şartları, 2006, Ankara
- [4] **Salzgitter Flachstahl GmbH**, S235 JR Non Alloy Structural Steels, Cilt:06/06 Salzgitter
- [5] **TS 10025 -2**, Sıcak Haddelenmiş Yapı Çelikleri – Bölüm 1: Alaşimsız Yapı Çeliklerinin Genel Teknik Teslim Şartları, 2006, Ankara
- [6] **UNI** (2010) Petroleum And Natural Gas Industries - Steel Pipe For Pipeline Transportation Systems, *Second Revision of ISO 3183:2007*, Sf. 22 - 30
- [7] **Gedik Eğitim Vakfı**, Çelik Üretimi ve Çeliklerin Sınıflandırılması, Sf. 29, 2009
- [8] **Bal E.** (2011) *Doğal Gaz boru Hatları İçin Yüksek Gerilimli Kaynak Ana Malzemesi Teknolojisinin Geliştirilmesi (BORKAY)*, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [9] **Jenney C., O'Brien A.** (2005). *Welding Handbook Welding Science and Technology*, Ninth Edition Volume 1
- [10] **Amos D., Fink D., Hannahs J. ve Mather J.** (2006) *Shielded Metal Arc Welding*, Chapter 2 Fundamentals of the Process, Sf. 44 - 71
- [11] **Singh R.** (2011) *Applied Welding Engineering: Processes, Codes, and Standards*, Chapter 3 Welding and Joining Processes, Sf. 151 - 161
- [12] <http://denemetr.com/docs/index-8526.html> Alındığı Tarih: 02.02.2014
- [13] **Penga Y., Chena W. ve Xub, Z.** (2001) Study of high toughness ferrite wire for submerged arc welding of pipeline steel, *Materials Characterization*, Sayı. 47, Sf. 67-73
- [14] **Amos D., Fink D., Hannahs J. ve Mather J.** (2006) *Gas Metal Arc Welding*, Chapter 4 Introduction, Sf. 110 - 154
- [15] **Gedik Eğitim Vakfı** (2009) *Gazaltı Kaynak Yöntemlerine Giriş*, Revizyon No:1, Sf. 14 – 21, 2005
- [16] http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=plasma_arc_welding_paw Alındığı Tarih: 13.03.2014
- [17] **Mansuroğlu Y.** (2007) *Gazaltı Kaynak Yöntemi ve Bu Yöntemde Kullanılan Koruyucu Gazlar*, Sf. 22 - 35
- [18] **Gedik Eğitim Vakfı**, *TIG Kaynağı*, Revizyon No:1, Sf. 1 – 21, 2009

- [19] **Gedik Eğitim Vakfı**, MIG/MAG ve Özlü Elektrodla Ark Kaynağı, Revizyon No:1, Sf. 22 – 45, 2009
- [20] **Naidu S., Ozcelik S., Moore K.** (2003) Modeling, Sensing and Control of Gas Metal Arc Welding, Chapter 2 : Gas Metal Arc Welding: Modelling, Sf: 11 - 23
- [21] **Gülsöz A.** (2007) Özlü Tel Elektrotların Önemi ve Kaynak Özellikleri, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
- [22] **Amos D., Fink D., Hannahs J. ve Mather J.** (2006) Flux Cored Arc Welding, Chapter 5 Fundamentals of the Process, Sf. 158 - 190
- [23] **Anık S., Tülbentçi K. ve Kaluç E.** (2001) Örtülü Elektrot ile Ark Kaynağı, Gedik Eğitim Vakfı, İstanbul
- [24] **Norrish, J.** (2006) Advanced Welding Processes, T J International Limited, Sf. 46 – 52, İngiltere
- [25] **Singh R.** (2011) Applied Welding Engineering: Processes, Codes, and Standards, Chapter 3 Welding and Joining Processes, Sf. 161 - 168
- [26] **Külahlı E.** (1988) Tozaltı Kaynak Yöntemi Oerlikon Vakfı, *Kaynak Bilimi*, , Sayı 2, Sf. 5 - 23
- [27] **Anık S. ve Vural M.** (2001) Gedik Eğitim Vakfı, Gazaltı Ark Kaynağı, İstanbul
- [28] **Liao T. ve Chen W.** (1999) A Comparison of Gas Metal Arc Welding with Flux Cored Wires and Solid Wires Using Shielding Gas, *Advanced Manufacturing Technology*
- [29] **Posch G., Baumgartner S. ve Fiedler S.** (2006) GMA-Welding of creep resistant steels with flux cored wires (FCAW): perspectives and limitations, Welding Consumables, International Institute of Welding, Sf. 619 - 624
- [30] <http://www.esabna.com/EUWeb/AWTC/Lesson7_7.htm> Alındığı Tarih: 09.12.2013
- [31] **Saraçoğlu E., Gençkan D.,** Özlü Tel Kaynak Teknolojisi, *Mühendis ve Makine Cilt:50 Sayı:599*
- [32] **Hillenbrand, H., Gras, M. ve Kalwa, C.** (2001) Development and Production of High Strength Pipeline Steels, *EUROPIPE GmbH*, Sf. 20-25, Almanya
- [33] **Easterling K.** (1992) Introduction to the Physical Metallurgy of Welding, The Heat-affected Zone, Second Edition, Sf. 126 - 190
- [34] **Singh R.** (2011) Applied Welding Engineering: Processes, Codes, and Standards, Chapter 2 Physics of Welding, Sf. 132 - 142
- [35] **Koçak M. ve Gençkan D.** Orbital Kaynak Teknolojisi İle Doğal Gaz Boru Hattı Kaynaklarının Geliştirilmesi, *İTÇ 2012- III. İleri Teknolojiler Çalıştayı*, 2012
- [36] **Vaughn, S.** Hitting Pay Dirt in Pipe, *Practical Welding Today*, 2006
- [37] **Norrish, J.** Advanced Welding Processes, Technologies and Process Control, *Woodhead Publishing Limited*, İngiltere, 2006

- [38] **TS 10025 -2** Kaynak ve Benzer İşlemler – Kaynak Ağzı Hazırlığı için Tavsiyeler
Bölüm 1: Çeliklerin Elle Metal-Ark Kaynağı, Gaz Korumalı Metal-Ark
Kaynağı, Gaz Kaynağı, TIG Kaynağı ve Demet Kaynağı, 2005, Ankara
- [39] **Gedik Eğitim Vakfı** (2009) Kesme ve Diğer Ağız Hazırlama Yöntemleri,
Revizyon No:1, Sf. 4 - 12
- [40] **Kaluç E. ve Tülbentçi K.** Boru Hatlarında Otomatik MIG/MAG Kaynak
Yönteminin Kullanımı, III. Ulusual Kaynak Teknolojisi Kongresi, 2001
- [41] **Singh R. (2011)** Applied Welding Engineering: Processes, Codes, and Standards,
Chapter 2 Physics of Welding, Sf. 116 - 132
- [42] **Yurioka N.** (2000) Physical Metallurgy of Steel Weldability, ISIJ International,
Volume 41, Sf. 566 - 570
- [43] <<http://www.onurkabin.com.tr/en/welding-cabins.html>> Alındığı Tarih:
17.04.2014
- [44] **Polysoude**, The Orbital Welding Handbook, Sf. 5 – 12, Fransa
- [45] **Gülsöz A. (2011)** Ergitme Kaynak Yöntemlerinde Kullanılan Elektrot ve Gazlara
Avrupa Standartlarıyla Getirilen Yenilikler, II. Ulusual Kaynak
Teknolojisi Kongresi, 1999
- [46] **Çan A. U. (2009)** *Boru Kaynak Makinesi Tasarımı*, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü.
Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [47] **Yapp D. ve Blackman S.** (2004) Recent Developments in High Productivity
Pipeline Welding, *Welding Engineering Research Center*, Volume 26,
Sf. 89 - 96
- [48] **Yuichi K.** (2008) Overview of Recent Welding Technology Relating to Pipeline
Construction, *Transactions of JWRI*, Volume 37, No.1
- [49] **Ozturk M., Yuksel Y. E. ve Ozek N.** (2011) A Bridge Between East and West:
Turkey's Natural Gas Policy, *Renewable and Sustainable Engery
Reviews*, Türkiye
- [50] **Liao T. ve Chen W.** (1999) A Comparison of Gas Metal Arc Welding with Flux
Cored Wires and Solid Wires Using Shielding Gas, *Advanced
Manufacturing Technology*
- [51] **Mukhopadhyay S. ve Pal T. K.** (2006) Effect of Shielding Gas Mixture on Gas
Metal Arc Welding of HSLA Steel Using Solid And Flux-Cored Wires,
Advanced Manufacturing Technology, Sf. 262 - 268
- [52] **Schumann G.O ve French I.O.** (1996) Effect of Microstructure and Non-
metallic Inclusions on the Impact Properties of Flux Cored Weld
Metals, Pergamon, Sf. 1443 - 1450
- [53] **Han Y. D., Jing H.Y. ve Xu L.Y** (2010) Welding Heat Input Effect on the
Hydrogen Permeation in the X80 Steel, *Materials Chemistry and
Pyhsics*, Volume 132
- [54] **Kim J. K., Seo J. S., Ryoo H. S. ve Huh M.Y.** (2008) Effect of Weld Metal
Microstructures on Cold Crack Susceptibility of FCAW Weld Metal,
Metals and Materials International, Volume 14, No:2, Sf. 239 - 245

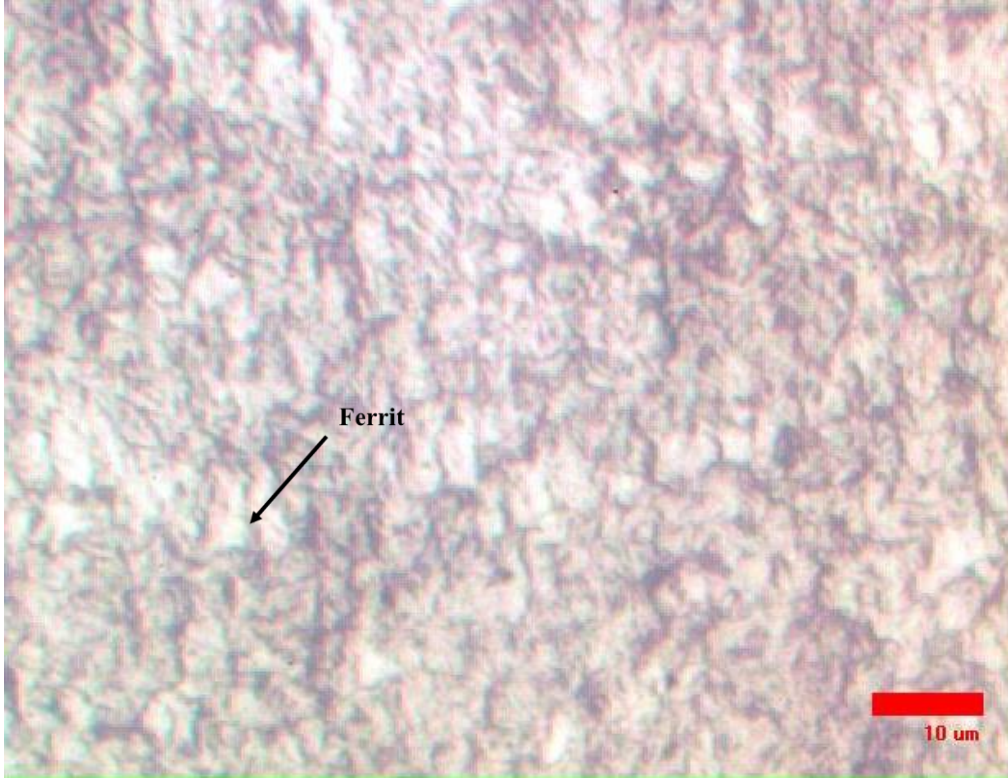
- [55] **Wei Q., Guo F., Hu Q. ve Xiong D.** (2002) A Study of Weld Pore Sensivity of Self-Shilded, Flux Cored Electrodes, *Welding Research* Sf. 90 – 94
- [56] **Kannan T. ve Murugan N.** (2004) Effect of Flux Cored Arc Welding Process Parameters on Duplex Stainless Steel Clad Quality, *Materials Processing Technology*, Sf. 230 - 239
- [57] **Wei Q., Guo F., Hu Q. ve Xiong D.** (2006) FCAW Process to Avoid The Use of Post Weld Heat Treatment, *Pressure Vessels and Piping*, Volume 83 Sf. 394 - 398
- [58] **Koçak M. ve Gençkan D.** Orbital Kaynak Teknolojisi İle Doğal Gaz Boru Hattı Kaynaklarının Geliştirilmesi, ITC 2012- III. İleri Teknolojiler Çalıştayı, 2012
- [59] **TS 15164 -1**, Metalik Malzemeler için Kaynak Prosedürlerinin Şartnamesi ve Vasıflandırılması – Kaynak Prosedürü Deneyi – Bölüm 1: Çeliklerin Gaz ve Ark Kaynağı, Nikel ve Nikel Alaşımlarının Ark Kaynağı, 2007, Ankara
- [60] **API 1104** (2002) Welding of Pipelines and Related Facilities, American Petroleum Institute, 20. Baskı

EKLER

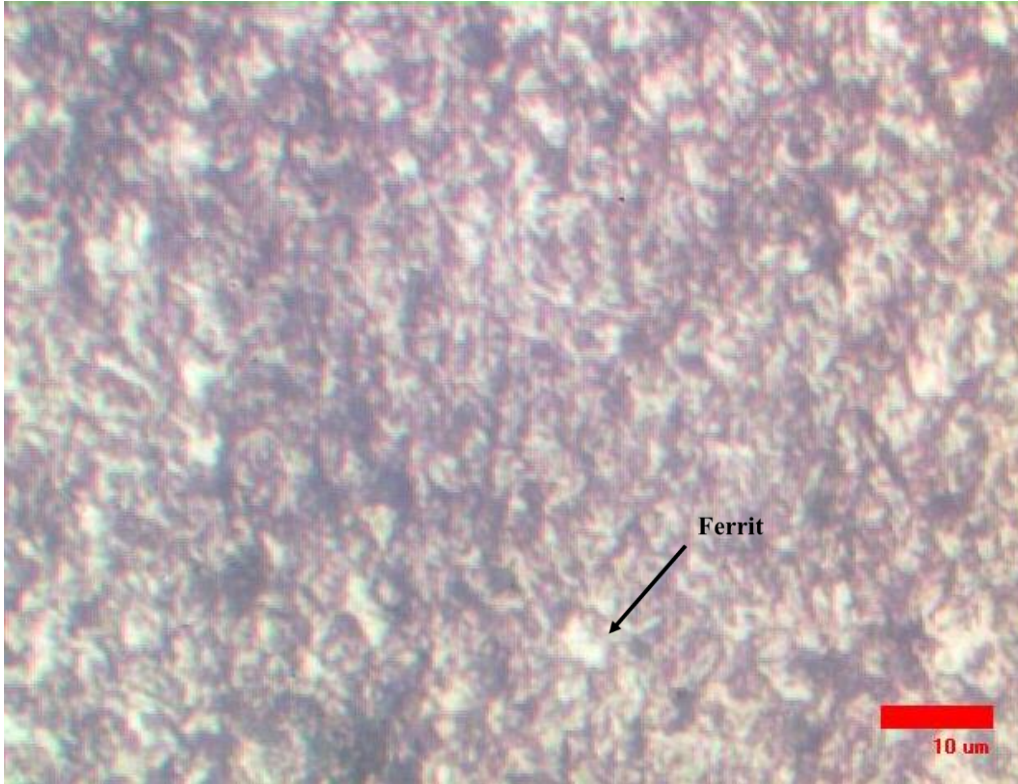
EK A: Optik Mikroskop Görüntüleri

EK B: Tez Kapsamında Kullanılan Standartlar Listesi

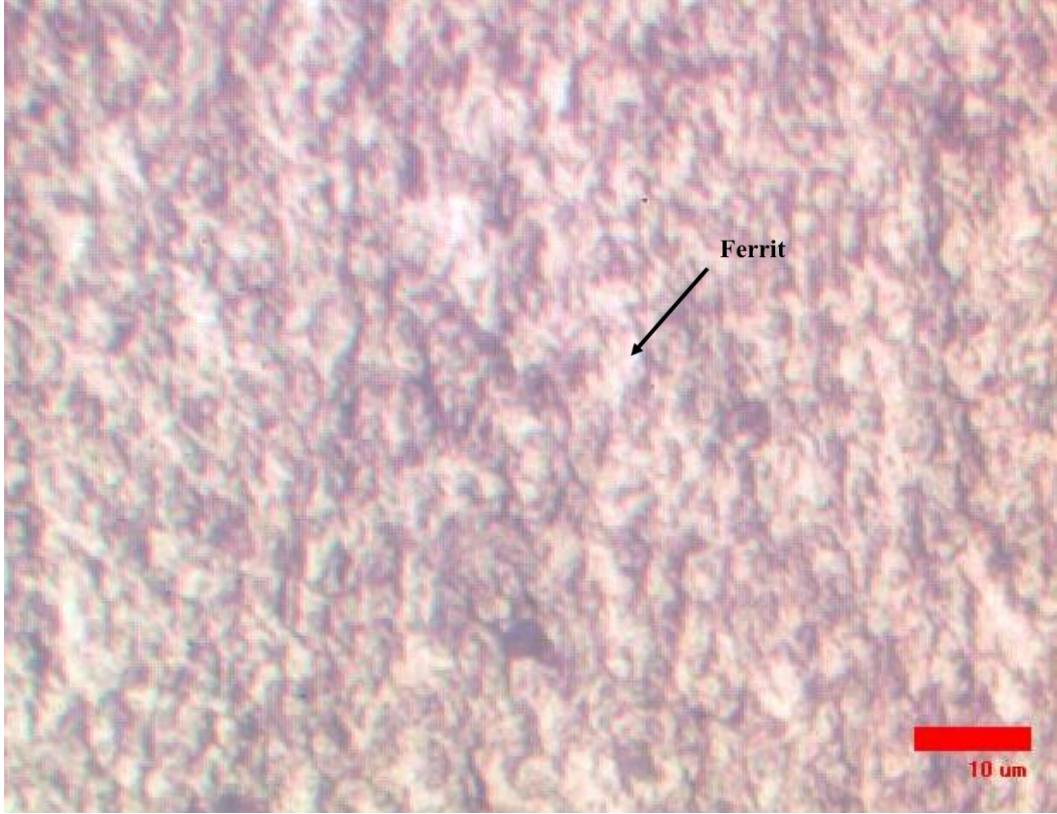
EK A : Kaynak Bölgelerinin Optik Mikroskop Görüntüleri



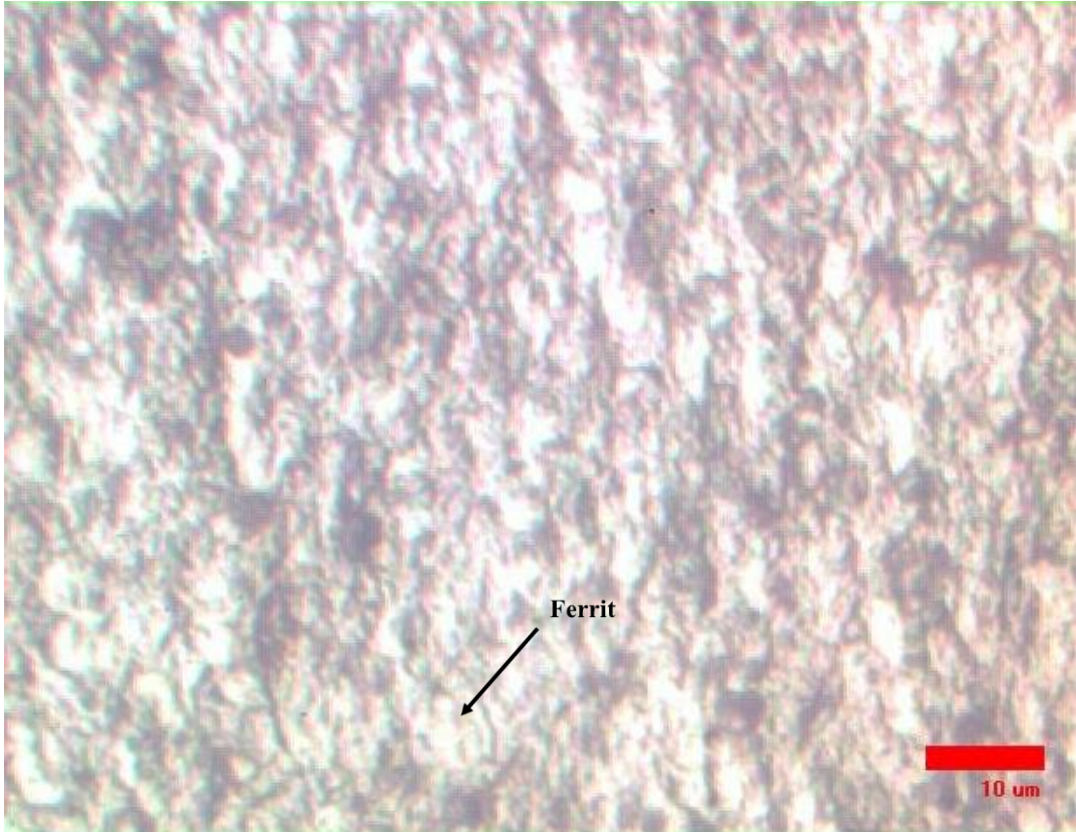
Şekil A.1 : Ana Metal Bölgesi Optik Mikroskop Görüntüsü (X800)



Şekil A.2 ITAB Optik Mikroskop Görüntüsü (X800)



Şekil A.3 : Kaynak Metali Bölgesi Optik Mikroskop Görüntüsü (X800)



Şekil A.4 : Kök Paso Bölgesi Optik Mikroskop Görüntüsü (X800)

EK B : Tez Kapsamında Kullanılan Standartlar Listesi

Standart Numarası	Standart Adı	İnternet Sitesi
TS EN ISO 10020	Çelik Tiplerinin Tasnifi ve Sınıflandırılması	https://intweb.tse.org.tr/Standard/Standard/Standard.aspx?081118051115108051104119110104055047105102120088111043113104073100057070074054098110073072056056
TS 10025 -1	Sıcak Haddelenmiş Yapı Çelikleri – Bölüm 1: Genel Teknik Teslim Şartları	https://intweb.tse.org.tr/Standard/Standard/Standard.aspx?053107106111065067115113049116090107100056052055108081090071086075069085047110067109075073081116103090081086073108065117084119100066100080078116088108071079104108074071079104105070071070054077
TS 10025 -2	Sıcak Haddelenmiş Yapı Çelikleri – Bölüm 1: Alaşımsız Yapı Çeliklerinin Genel Teknik Teslim Şartları	https://intweb.tse.org.tr/Standard/Standard/Standard.aspx?053107106111065067115113049116090107100056052055108081090071086075069085047110067109075073081116103090081086073108065117084119100066100080078116088108071079104117078072085097081116119104065082
TS 15164 -1	Metalik Malzemeler için Kaynak Prosedürlerinin Şartnamesi ve Vasıflandırılması – Kaynak Prosedürü Deneyi – Bölüm 1: Çeliklerin Gaz ve Ark Kaynağı, Nikel ve Nikel Alaşımlarının Ark Kaynağı	https://intweb.tse.org.tr/Standard/Standard/Standard.aspx?081118051115108051104119110104055048065082077055103076076056084114111055099120048076078114047068068112048097083103107043078107116090065084083080102108119080082072086054110085070121117057069043075072072088070069108121080057078098119066121070068081080072066119050103072108048053079119105051074054101102070106117086043116055077066056115108069114072113084049107080086113119070065050069119090056104067097099073105109089068079090076110054090076102100121119061061
TS EN 100045 – 1	Metalik Malzemeler – Charpy Vurma Deneyi Bölüm 1 – Deney Metodu	https://intweb.tse.org.tr/Standard/Standard/Standard.aspx?081118051115108051104119110104055047105102120088111043113104073097090101073068087110084109122118
TS 138 EN 10002 – 1	Metalik Malzemeler – Çekme Deneyi – Bölüm 1: Ortam Sıcaklığında Deney Metodu	https://intweb.tse.org.tr/Standard/Standard/Standard.aspx?053107106111065067115113049116090107100056052055108081090071086075069085047110067109075073081116103090081086073108065117084119100081076072066069073098053049112054085075067122118082118077116080
TS 282 EN 910	Metalik Malzemelerde Kaynaklar Üzerinde Tahribatlı Muayeneler – Eğme Deneyi	https://intweb.tse.org.tr/Standard/Standard/Standard.aspx?081118051115108051104119110104055047105102120088111043113104073097057077118116053078049122089098
API 1104	Boru Hattı ve Alakalı Tesislerin Kaynağı	https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/002/api.1104.1999.pdf

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad : Hasan Fehmi ÇAPIN
Doğum Yeri ve Tarihi : İzmir 08 Aralık 1989
Adres : İhlamurdere Caddesi No: 128/21 Beşiktaş İSTANBUL
E-Posta : hfcapin@gmail.com
Lisans : İTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Programı