

**T.C.
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**DÜŞÜK ALAŞIMLI YÜKSEK MUKAVEMETLİ ÇELİKLER İÇİN
KULLANILAN KAYNAK SARF MALZEMELERİNDE EKŞİ
SICAKLIKLARDA ÇENTİK DARBE DAYANIMININ ARTTIRILMASI VE
CTOD DEĞERİNE ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Abdullah Koray PEHLİVAN**

**Savunma Teknolojileri
Savunma Teknolojileri**

OCAK 2020

**T.C.
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**DÜŞÜK ALAŞIMLI YÜKSEK MUKAVEMETLİ ÇELİKLER İÇİN
KULLANILAN KAYNAK SARF MALZEMELERİNDE EKŞİ
SICAKLIKLARDA ÇENTİK DARBE DAYANIMININ ARTTIRILMASI VE
CTOD DEĞERİNE ETKİSİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Abdullah Koray PEHLİVAN
(171202005)**

**Savunma Teknolojileri
Savunma Teknolojileri**

Tez Danışmanı: Dr.Öğr. Üyesi Zeynep TAŞLIÇUKUR ÖZTÜRK

OCAK 2020

YEMİN METNİ

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum “DÜŞÜK ALAŞIMLI YÜKSEK MUKAVEMETLİ ÇELİKLER İÇİN KULLANILAN KAYNAK SARF MALZEMELERİNDE EKSİ SICAKLIKLARDA ÇENTİK DARBE DAYANIMININ ARTTIRILMASI VE CTOD DEĞERİNE ETKİSİ” adlı çalışmanın, tezin proje safhasından sonuçlanmasına kadarki bütün süreçlerde bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurulmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin Bibliyografya ’da gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve onurumla beyan ederim.

(10/01/2020)

Abdullah Koray PEHLİVAN

ÖNSÖZ

Tez çalışmalarım sırasında her türlü bilgi birikimini, maddi manevi desteklerini benden esirgemeyen sayın Dr. Öğretim Üyesi Sayın Zeynep TAŞLIÇUKUR ÖZTÜRK'e Yüksek lisans çalışmalarım sırasında çalışmakta bulunduğum fabrikada ki gerek çalışma alanları gerekse deneysel işlemler sırasında yardımları dokunan başta Gedik Holding Ar-Ge Müdürü, Ali Selçuk KESKİNKILIÇ'a Gedik Holding Ar-Ge Müdür Yardımcısı, Hakan BAYKAL'a Gedik Holding Arge Şefi, Filiz KUMDALI ACAR'a, Gedik Holding Ar-Ge baş kaynakçısı Haydar ADAY'a, ve tüm desteklerini esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

Ocak / 2020

Abdullah Koray PEHLİVAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	v
ÇİZELGE LİSTESİ.....	vii
DENKLEM LİSTESİ	viii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT	x
1. GİRİŞ	1
2. DÜŞÜK ALAŞIMLI ÇELİKLER VE KAYNAK YÖNTEMİ	4
2.1 Düşük Alaşimli Çelikler	4
2.2 Kaynak Yöntemi	5
2.3 Kaynak Türleri	7
2.3.1 Elektrik ark kaynağı.....	7
2.3.2 Gaz altı ark kaynağı	8
2.3.3 Örtülü elektrot ark kaynağı.....	11
2.3.4 Toz altı elektrik ark kaynağı	12
2.3.5 Özlü tel ile ark kaynağı	13
2.4 Kaynak Elektrotları	14
2.4.1 Örtülü elektrotlar	14
2.4.2 Elektrot Üretimi.....	17
2.4.3 Kaynak elektrotlarına uygulanan testler.....	19
2.5 Kaynak Elektrotlarına Uygulanan Mekanik Testler	19
2.5.1 Çekme testi	19
2.5.2 Çentik darbe deneyi	24
2.5.3 CTOD testi	29
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	32
3.1 Deneyde Kullanılan Malzemeler	32
3.2. Kullanılan Alet ve Cihazlar	33
3.3 Deneyin Yapılışı	37
3.4 Karakterizasyon Çalışmaları	41
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	44
5. KAYNAKÇA	53

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1: Benardos kaynak yöntemi [3]	1
Şekil 1.2: Zerener kaynak yöntemi [3]	2
Şekil 1.3: Slavianoff kaynak yöntemi [3]	2
Şekil 2.1: Düşük alaşımlı levha çelikleri [5].....	4
Şekil 2.2: Ergitme ve Basınç kaynağının gösterimi [3].....	6
Şekil 2.3: MIG/MAG kaynağının gösterimi [13]	9
Şekil 2.4: Plazma Ark Kaynağı [16].....	10
Şekil 2.5: Basit olarak TIG kaynağının gösterimi [18].....	11
Şekil 2.6: Örtülü Elektrik Ark Kaynağı [13]	11
Şekil 2.7: Toz Altı Ark Kaynağı [12]	13
Şekil 2.8: Özlü tel elektrod kaynağı yapılan parçanın ark bölgesi [21].....	14
Şekil 2.9: Kaynak Elektrotunda Çekirdek Tel Üretim Şeması	18
Şekil 2.10: Kaynak Elektrotu Üretim Süreci Akış Şeması	18
Şekil 2.11: Lama tipi dikdörtgen şeklindeki çekme deney numunesinin ASTM E8 standardında tanımlanmış şekli [30]	21
Şekil 2.12: ASTM E8 standardında lama tipi deney numunesi için tanımlanmış boyut değerleri. [30].....	21
Şekil 2.13: Çekme Testinin okunması [27].....	22
Şekil 2.14: Tokluk Alanı [32].....	23
Şekil 2.15: Çentik darbe deneyinin şematik olarak gösterimi [29]	25
Şekil 2.16: ASTM E23 standardına göre hazırlanmış darbe deneyi numuneleri [37]26	
Şekil 2.17: Tavlanmış düşük karbonlu çelik için tipik sünek kırılma eğrisi. [36]	26
Şekil 2.18: Darbe direncinin sıcaklıkla değişimi [38]	27
Şekil 2.19: Charpy Darbe Metodunun gösterimi [38]	28
Şekil 2.20: İzod Darbe Metodunun gösterimi [38]	28
Şekil 2.21: a) Charpy ve b) İzod darbe deneyinde numunenin cihaza yerleştirilmesi [38]	28
Şekil 2.22: Charpy ve izod darbe deneyinin şematik görünümü [38].....	29
Şekil 2.23: Üç tip kırık davranışı gösteren yüke karşı çatlak açıklığı yer değiştirme eğrileri [44].....	30
Şekil 2.24: CTOD Testinin tipik test düzeni [43].....	31
Şekil 3.1: GeKa Tempo B65 Bazik Elektrotu.....	32
Şekil 3.2: Gedik Kaynak Makinesi	33
Şekil 3.3: Kronometre.....	34
Şekil 3.4: Çekme Test Cihazı	34
Şekil 3.5: Çentik Darbe Test Cihazı	35

Şekil 3.6: Optik Mikroskop	35
Şekil 3.7: CTOD Test Cihazı [47]	36
Şekil 3.8: Termometre	36
Şekil 3.9: CO2 Tüpü	37
Şekil 3.10: Isı Ölçer	37
Şekil 3.11: Tempo B65 bazik elektrotu ile yapılan deney çalışması	40
Şekil 3.12: Çekme testine sokulan deney numunesi	42
Şekil 3.13: Çentik darbe testine sokulmuş deney numuneleri	43
Şekil 4.1: GeKa Tempo B65 elektrotu ile kaynakları yapılmış olan numunelerin çekme ve akma dayanımlarının grafik olarak gösterimi	45
Şekil 4.2: GeKa Tempo B65 elektrotu ile kaynakları yapılmış olan numunelerinin darbe enerjilerinin grafik olarak gösterimi	45
Şekil 4.3: (a) 6356 kodlu elektrotun makro görüntüsü	46
Şekil 4.4: 6356 Test Öncesi Metalografik Fotoğrafı	48
Şekil 4.5: 6357 Test Öncesi Metalografik Fotoğrafı	48
Şekil 4.6: 6360 Test Öncesi Metalografik Fotoğrafı	49
Şekil 4.7: Elektrotların Kırılma Yüzeyleri (a) 6356, (b) 6357, (c) 6360	50
Şekil 4.8: 6356 kodlu elektrotun kırılma eğrisi	50
Şekil 4.9: 6357 kodlu elektrotun kırılma eğrisi	51
Şekil 4.10: 6360 kodlu elektrotun kırılma eğrisi	51

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1: S355JR çeliğinin % kimyasal bileşimi	32
Çizelge 3.2: Kaynak Metalinin % bileşimi [46]	33
Çizelge 3.3: Kaynak Metalinin mekanik değerleri [46].....	33
Çizelge 3.4: GeKa Tempo B65 elektrotu ile kaynağı yapılan tipik kaynak dikişinin % bileşimi.....	38
Çizelge 3.5: GeKa Tempo B65 elektrotu ile kaynağı yapılan tipik kaynak dikişinin mekanik özellikleri.....	38
Çizelge 3.6: GeKa Tempo B65 elektrotu ile kaynakları yapılmış olan numunelerin % kimyasal bileşimi	39
Çizelge 4.1: GeKa Tempo B65 elektrotu ile kaynakları yapılmış olan numunelerin mekanik özellikleri.....	44
Çizelge 4.2: CTOD Test Değerleri	47
Çizelge 4.3: Numune Bilgileri	48
Çizelge 4.4: CTOD testi sonuçları ve çatlak boyu ölçümleri	49

DENKLEM LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Denklem 2.1: Isı Girdisinin formülasyonu	8
Denklem 2.2: Gerilme Formülü [29].....	20
Denklem 2.3: Birim Şekil Değişirmenin Formülü [29]	20
Denklem 2.4: Elastik Modülünün gösterimi [27].....	22
Denklem 2.5: Akma Dayanımı Formülü [29]	23
Denklem 2.6: Çekme Dayanımı Formülü [27].....	23
Denklem 2.7: Yüzde Uzamanın Formülü [33]	24
Denklem 2.8: Çentik Darbe Deneyi Formülü [29].....	25

**DÜŞÜK ALAŞIMLI YÜKSEK MUKAVEMETLİ ÇELİKLER İÇİN
KULLANILAN KAYNAK SARF MALZEMELERİNDE EKŞİ
SICAKLIKLARDA ÇENTİK DARBE DAYANIMININ ARTTIRILMASI
VE CTOD DEĞERİNE ETKİSİ**

ÖZET

Bu çalışmada asıl amaç, düşük alaşımlı yüksek mukavemetli çeliklerin kaynağında kullanılan bazik elektrotların, ekşi sıcaklıklardaki darbe direncini arttırmak ve CTOD testi ile incelenmesidir.

Bilindiği üzere elektrik ark kaynağı en üniversal kaynak yöntemidir. Bu çalışmamızda kaynak yöntemi olarak örtülü elektrik ark kaynağı kullanılmıştır. Kaynak için doğru akım seçilmiştir. Örtülü elektrotların kaynak bölgesine oldukça fazla yararı bulunur. Kaynak arkını ve malzemeyi diğer gazlardan korur. Çalışmada bazik elektrot kullanılmasının sebebi; bazik elektrotlar düşük alaşımlı yüksek mukavemetli çeliklerin kaynağında ve ekşi sıcaklıkta kullanılan donanım yapılarının kaynağında da kullanılmasıdır. Her iki şartı da iyi şekilde sağlar ve güzel kaynak dikişleri verir.

S355 JR çeliğinin GeKa Tempo B 65 bazik elektrotu ile kaynak yapılmasıyla oluşan kaynak dikişinin mekanik özelliklerini ve darbe direncini incelemek amacıyla çekme, çentik darbe ve CTOD testleri yapılmıştır. Daha sonradan kaynak dikişinin yüzey görüntülerini görebilmek amacıyla optik mikroskopta makro fotoğrafları çekilmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Kaynaklı birleştirme, düşük alaşımlı çelik, ekşi sıcaklık, bazik elektrot, darbe direnci,*

**INCREASING NOTCH IMPACT RESISTANCE IN WELD
CONSUMABLES USED FOR LOW ALLOY HIGH STRENGTH
STEELS AND ITS EFFECT ON CTOD VALUE**

ABSTRACT

The main purpose of this study is to investigate the basic electrodes used in the welding of low alloyed high strength steels in order to increase the impact resistance at minus temperatures and CTOD test.

As it is known, electric arc welding is the most universal welding method. In this study, covered electric arc welding was used as the welding method. Direct current is selected for welding. The covered electrodes have a considerable benefit to the welding zone. Protects welding arc and material from other gases. The reason for the use of basic electrode; basic electrodes are used in the welding of low alloyed high strength steels and in the welding of hardware structures used at minus temperature. It meets both requirements well and gives beautiful weld seams.

Tensile, notch impact and CTOD tests were performed to examine the mechanical properties and impact resistance of the weld seam formed by welding the S355 JR steel with GeKa Tempo B 65 basic electrode. Subsequently, macro photographs were taken on the optical microscope in order to see the surface images of the weld seam.

Key Words: *Welded jointing, low alloy steel, negative temperature, basic electrode, impact resistance,*

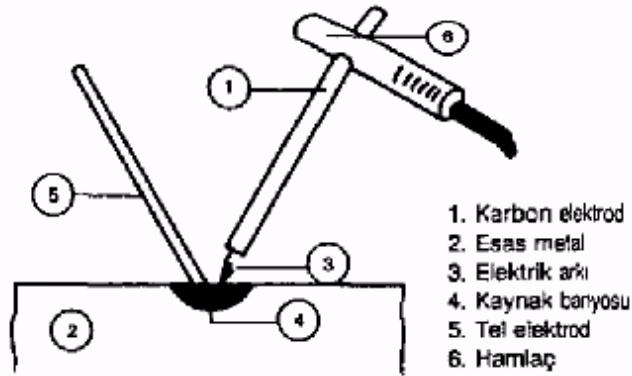
1 GİRİŞ

Kaynağın geçmişi oldukça eskiye dayanır. MÖ 1400 yıllarında demirci kaynağının kullanıldığı yapılan araştırmalar sonucu gün yüzüne çıkmıştır. Hatta küçük altın yuvarlak kutular, basınçlı kaynak kucak ek yerleri ile birlikte yapılmıştır. Demir Çağı'nda, Mısırlılar demir parçalarını birbirine kaynakladılar. O zamana baktığımızda yapılan eski el yapımı araçlara ve eski Ahid'de de metal işlerine oldukça fazla rastlanmaktadır. Bu zamanlara denk olarak yapılan eski eserleri dünyadaki birçok müzede görmek mümkündür. [1]

Kaynak yönteminin endüstriyel uygulamaları ise, 19. yüzyılın ikinci yarısında başlamıştır. 1801 yılında Sir Humphrey Davy adlı bilim insanı yüksek voltaj geçen bir devrenin uçlarını birleştirerek arkı bulmuş ve bu alanda ilk çalışmaları başlatmıştır. [2]

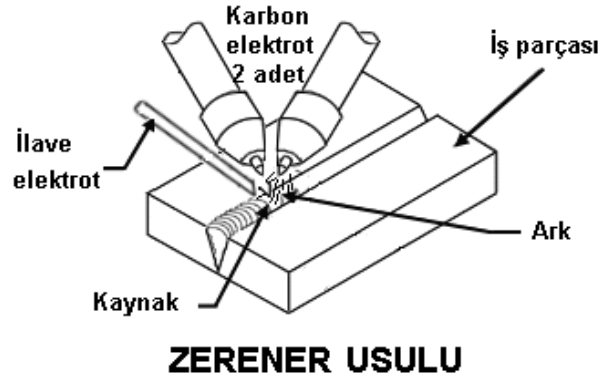
1865 yılında Wilde, ilk kez iki metali elektrik ark kaynağı yöntemiyle birleştirilmiştir. Metal kaynağında ilk elektrot kullanımı 1881 yılında De Meritens, tarafından pil depolama kaplarının birleştirilmesinde kullanmıştır. [2]

1885 yılında Benardos kaynak yöntemi keşfedilmiştir. Benardos karbon bir elektrot ile iş parçası arasında ark oluşturmuş ve bir tel elektrot kullanarak kaynak yapmıştır.



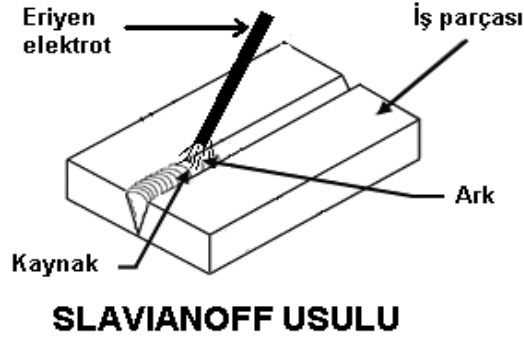
Şekil 1.1: Benardos kaynak yöntemi [3]

1889 yılında Zenerer arkı güçlendirmek amacıyla ilk kez çift karbon elektrot kullanmıştır.



Şekil 1.2: Zenerer kaynak yöntemi [3]

1890 yılında Slavianoff tarafından ilk defa metal çubuk elektrotu keşfedilmiştir. Bu yöntem gelecek yıllarda örtülü elektrot adıyla geliştirilmiştir.



Şekil 1.3: Slavianoff kaynak yöntemi [3]

Bu tür kaynak yöntemlerinin kaynak dikişleri aslında o kadar da sağlam olmamıştır. Ortamdaki azot ve oksijen kaynak dikişlerine zarar verdiğinden dolayı, kaynak dikişleri istenilen mekanik özelliklere sahip olamamıştır. Ancak, bu yöntemler ile elde edilen kaynak dikişleri, havadaki oksijen ve azotun olumsuz etkilerinden korunmadığı için, düşük mekanik özelliklere sahip olmaktadır. Kaynak banyosunu havanın zararlı etkilerinden korumak amacıyla; 1904 yılında İsveçli bilim adamı Oscar Kjelberg tarafından ilk örtülü elektrot geliştirilmiştir. [4]

Kaynak yöntemlerinin asıl gelişimi 1.ve 2. dünya savaşlarında olmuştur. Savaş malzemelerinin geliştirilmesine devletler oldukça fazla destek vermiştir. Almanya, ABD ve İngiltere bu devletlerin başını çekmektedirler. Tabi bu gelişimi kolaylaştıran en önemli unsur, endüstriyel gelişmelerin oldukça hızlı ilerlemesidir.

Dediğimiz gibi 1. dünya savaşında kaynak oldukça fazla kullanılmaya başlanılmıştır. Çünkü kaynak oldukça ucuz bir yöntem olarak ortaya çıktı. Birçok gemi ve ekipman, perçin ve cıvata ile birleştirildi. O zamanlarda kaynak ile ilgili en büyük askeri gelişme 1920 yılında İngiltere tarafından ilk kaynaklı birleştirme gemisi “Fulgar” üretilerek sağlanmıştır. [1]

1920 ile 1940 yılları arasında örtülü elektrotlar ve alternatif akım çalışmaları ve gelişimleri oldukça hızlanmış ve artmıştır. Bu dönemde elektrik ark kaynağı en çok kullanılan kaynak yöntemi olmuştur.

1930 yılında New York Donanması tarafından saplama kaynağı geliştirildi. Saplama kaynağı inşaat endüstrisi ve ayrıca gemi inşaatı için giderek daha fazla kullanılıyordu. Bu süre zarfında, Ulusal Boru Şirketi boğulmuş ark kaynağı adı verilen bir kaynak işlemi geliştirdi. Gemi yapımı sektöründe, daha gelişmiş toz altı ark kaynağı ile saplama kaynak işleminin yerini almıştır. [2] Savunma inşaatı sırasında 1938’de tersanelerde ve mühimmat fabrikalarında toz altı ark kaynağı kullanılmıştır.

Zaman ilerledikçe ve dünya silahlanmaya ve savunmaya aynı zamanda daha dayanıklı yapılar yapmak adına kaynağa duyulan ilgi artmıştır. İkinci Dünya Savaşında oluşan ihtiyaçlardan dolayı magnezyumdan imal edilen uçakların kaynağı için geliştirilen TIG/WIG kaynak yöntemi, sanayide neredeyse tüm yarı otomatik kaynak yöntemlerinde kullanılmaya başlandı. Teknolojinin ilerlemesiyle birlikte yarı otomatik sistemler yerini, tam otomatik sistemlere bırakmıştır. [1]

60’lı yılların başında elektrocüruf kaynağı, ağır parçaların düşey pozisyondaki kaynaklarında ilk olarak tercih edilen kaynak yöntemi idi. Elektrocüruf kaynağı ile birlikte, düşey pozisyonda kaynağı yapılan ince saclar, yeni bir kaynak yöntemi arayışlarına girmiştir. Yeni araştırmalar ile birlikte elektrocüruf kaynak makinasının adaptasyonu ile koruyucu gaz altında özlü elektrotların kullanılmasını esas alan yeni metod geliştirildi. Aynı zamanda MIG VE MAG kaynak yöntemleri araştırmalar sonucu bulunan düşey pozisyonda yapılan kaynak yöntemlerindedir. [4]

Bu dönemde artık kaynak uzay alanında kullanılmaya başlandı. Hem Amerika hem de Rusya kendi uzay araştırmalarında, uzay mekiilerinde ve geliştirilmesinde metal kaynaklarını oldukça sık kullanmıştır.

2 DÜŞÜK ALAŞIMLI ÇELİKLER VE KAYNAK YÖNTEMİ

2.1 Düşük Alaşimli Çelikler

Çelikler, düşük, orta ve yüksek alaşimli çelikler olmak üzere 3 sınıfa ayrılırlar.

$0.05 \leq C \leq 0.30$ ağırlık % olan çelikler düşük alaşimli, $0.30 \leq C \leq 0.60$ ağırlık % olan çelikler orta alaşimli, $0.60 \leq C$ ağırlık % olan çelikler ise yüksek alaşimli çeliklerdir. [5]

Karbon çeliklerine birçok alaşım elementi eklenir her elementin farklı etkisi bulunur. İstenilen mekanik, manyetik, elektriksel özelliğe göre farklı alaşımlar eklenir. Düşük alaşimli çeliklerin hepsi kaynaklanabilirlerdir. [6]

Düşük karbonlu çeliklerin içeriğinde %0.30'a kadar karbon bulunur. Bu çelik sınıfının çoğu, sac veya şerit gibi yassı haddelenmiş metallere oluşur ve çoğu zaman soğuk haddelenmiş ve tavllanmış halde bulunurlar. Bu çelikler çok düşük karbon içerdiklerinden kolayca şekillendirilebilirler. İçerisinde en fazla %1.5Mn bulunur. [7]

Düşük alaşimli çelikler genellikle; Köprü ve bina profillerinde, gemi ve otomotiv sektöründe yapısal levha olarak, boru ve boru hatlarında, ray parçalarında, beyaz eşyalarda ve döner şaft-mil parçalarında kullanılırlar. [5]



Şekil 2.1: Düşük alaşimli levha çelikleri [5]

Düşük alaşımlı çeliklerin kaynak kabiliyeti oldukça yüksektir. Düşük alaşımlı çeliklerinin kaynak kabiliyetinin iyi olmasının bir sebebi de yüksek mangan içeriğidir. Düşük alaşımlı çeliklerin bazıları, söndürme ve temperlenmiş veya normalleştirme gibi ısı işleminden geçmiş olabilir. Bu yüzden elektrot seçimi çok dikkatli bir şekilde yapılmalıdır. [8]

Kaynak işlemlerinin karmaşıklığı ve ısı girişlerinin sınırlamaları ve sonuç olarak soğutma oranları nedeniyle, kaynak metalinin düşük sıcaklıktaki dayanıklılığı ana metalinkinden daha düşüktür. [9]

2.2 Kaynak Yöntemi

Kaynak, iki metali veya termoplastik malzemeleri ısı ve basınç yardımıyla ve araya bir malzeme katarak veya katmayarak uygulanan bir birleştirme yöntemidir.

Bu yüzden kaynak Metal kaynağı ve Plastik kaynağı olarak ikiye ayrılır.

Metal kaynağı: Metalik malzemeyi ısı veya basınç veya her ikisini birden kullanarak ve aynı cinsten ve erime aralığı aynı veya yaklaşık bir malzeme katarak veya katmadan birleştirmeye "metal kaynağı" adı verilir. [1]

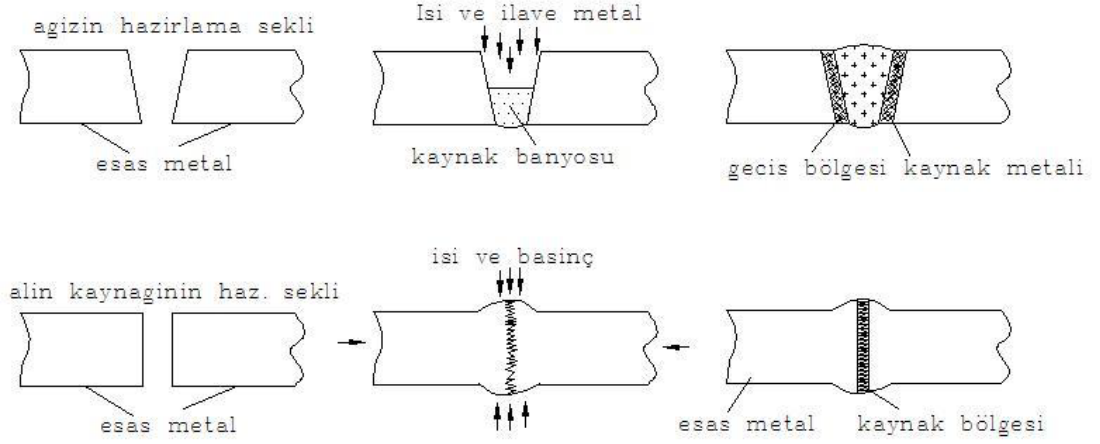
Plastik kaynağı: Termoplastik malzemelerin ısı ve basınç yardımıyla ve araya aynı cins bir malzeme katarak veya katmayarak birleştirilmesi yöntemine "plastik kaynağı" denir. Plastik kaynağı sadece termoplastik malzemelere uygulanır, termoset malzemelere uygulanmaz. [1]

Kaynağı yapılan iki malzemenin kaynak bölgeleri sıcaklık yardımıyla sıvı hale getirilerek kaynak banyosu oluşturulur. Daha sonra kaynak banyosu soğuyarak kaynak dikişi oluşur. İki malzemenin birleşmesiyle meydana gelen kaynak dikişinin mekanik ve kimyasal özellikleri ana malzemenin özellikleriyle benzer yapıdadır. Kaynak işlemi yapılmadan önce birçok faktör gözden geçirilerek bazı önemler alınmalıdır. Bu faktörler; kaynağı yapılacak olan malzemenin özellikleri, kaynak yönteminin seçimi ve kaynakta oluşan olaylardır. Ergitme esaslı kaynak yöntemlerinde kaynak bölgesinin genellikle yardımcı malzemelerle korunması zorunludur. Seçilen ilave malzemelerin ise, olabildiğince ana malzeme ile aynı ergime aralığında olması kaynak güvenliği açısından önemlidir. [10]

a) Kaynak işlem cinsine göre

Ergitme Kaynağı; Malzemeyi sadece sıcaklık ile belirli bir bölgesini eritip, ilave metal ekleyerek ya da eklemeyerek birleştirme yöntemidir.

Basınç Kaynağı; Malzemeyi genellikle ekstra bir metal ekmeden basınç altında bir bölgeyi ısıtarak birleştirme yöntemidir. [3]



Şekil 2.2: Ergitme ve Basınç kaynağının gösterimi [3]

b) Üretim cinsine göre

El Kaynağı: El kaynağında kaynak aleti elle kumanda edilir.

Mekanik Kaynak: Kaynak aleti manuel olarak kullanılır. Ancak yardımcı aletler mekanik çalışır.

Yarı Otomatik Kaynak: Kaynak işlemini kaynakçı yapar. Kaynak otomatik olarak devam eder.

Tam Otomatik Kaynak: Kaynağı kaynakçı başlatır ve durdurulur. Ancak daha önceden belirlenmiş programa göre sürer. [10]

c) Kaynağın amacına göre sınıflandırma

Birleştirme Kaynağı: İki veya daha fazla parçayı bütün bir hale getirmek için uygulanan işleme denir.

Doldurma Kaynağı: İş parçasının eksik bir kısmını kapatmak veya genişletmek amacıyla, belirli bir bölgede malzemeyi kaynak etmektir. [11]

Günümüzde çok fazla kaynak tekniği mevcuttur ve günümüzdeki sorun birleştirmenin nasıl yapılacağı değil, en doğru kaynak yönteminin seçilmesidir. Her

yöntemin kendine has özellikleri bulunur ve en uygun seçim için birçok faktörün incelenmesi ve analiz edilmesi gerekir. Maliyet, korozyon dayanımı, mukavemet, ömür, üretim kolaylığı, gibi faktörler önemsenmelidir. [1]

2.3 Kaynak Türleri

MÖ 4000 yılından beri iki parçayı birleştirmek için kaynak uygulaması kullanılır. Süre gelen yıllarda farklı şekillerdeki veya farklı kimyasal yapıdaki malzemelerin birleştirilmesi gerekiyordu. Bunun sonucunda kaynak teknolojisi giderek gelişmiş ve alternatif olmayan bir birleştirme yöntemi olmuştur. [12]

Tez kapsamında, deneysel çalışmalarda yararlanılan Elektrik Ark Kaynağı yöntemi bahsedilecektir.

2.3.1 Elektrik ark kaynağı

Elektrik ark kaynağı metalleri birleştirmek için kullanılan en yaygın füzyon işlemidir. Yoğun ısının uygulanmasıyla, iki parça arasındaki bağlantıdaki metal eritilir ve ara erimiş bir dolgu metaliyle karışmaya neden olur. Metali eritmek için gereken sıcaklık 5000°C den fazladır. Bu sıcaklık kaynak yapılacak parça ile bağlantı boyunca hareket eden bir elektrot arasında oluşan elektrik arkı tarafından üretilir. Soğuma ve katılma üzerine, metalurjik bir bağ olur. Bağlantıdaki son kaynak her iki parçanın metalleriyle aynı mukavemet özelliklerini gösterir. [13]

2.3.1.1 Kaynakta ark

Ark; kızgın bir katottan dağılan elektronların, yüksek bir hızla anoda doğru sıçramasıyla oluşur. Bu sıçramayla birlikte oluşan çarpma sonunda nötr moleküllerin iyonize olmasına sebep olduğundan dolayı, şiddetli bir sıcaklık yükselmesi gözlenir. Ortaya çıkan toplam enerjinin %85'i ısı ve %15'i de ışık enerjisine dönüşmektedir. [4]

Güç, enerjinin bir şekilden diğerine dönüşme hızıdır. Kaynak arkında, elektrik enerjisinin neredeyse tamamı ısıya dönüştürülür. Bu ısının sadece küçük bir kısmı ark tarafından etrafa yayılan mor ötesi radyasyonu ve parlak ışığı üretmek amacıyla kullanılır. Güç “Watt” ile hesaplanır. [3]

Ark Güç Girdisi (Watt) = Ark Gerilimi (V) x Ark Akımı (A)

$$\text{Isı girdisi} \left(\frac{\text{J}}{\text{mm}} \right) = \frac{\text{Akım (A)} \times \text{Gerilim V} \times \text{Kaynak süresi (sn)}}{\text{Kaynak uzunluğu (mm)} \times 1000}$$

Denklem 2.1: Isı Girdisinin formülasyonu

Buna göre, ark kaynağı ısı girdisini etkileyen ana faktörler ark akımı, ark gerilimi ve kaynak hızıdır. [3]

Elektrot malzemeye temas ettiği zaman kısa devre meydana gelir. Malzemeye dokunduğu noktada, yüksek akım yoğunluğu, ile açığa çıkan ısı, metalin kaynama sıcaklığına kadar kızmasına ve katodun elektron yaymasına sebep olur. Sıcaklık artışı ve katottan anoda elektron sıçraması başlar. Bu esnada akım artar ve nötr moleküller de parçalanarak iyonize olur. Sıcaklık yaklaşık 4000°C ye kadar çıkar. (+) yüklü iyonların hızı 1m/sn iken (-) yüklü iyonların hızı 100 m/sn dir. [3]

2.3.1.2 Ark kaynak işlemleri

Amerikan Kaynak Derneği şu anda ticari olarak kullanılan en az 20 farklı metal birleştirme işlemi tanımlamıştır. Bu işlemlerin çoğu elektrik ark kaynağı altında sınıflandırılır ve birlikte alındığında, bu ark kaynağı işlemleri ticari olarak biriktirilen en büyük miktarda kaynak ve dolgu metalini oluşturur. Belirli bir ark kaynağı seçimi işlemi, kaynaklanacak ana metalin kalınlığı ve tipi, istenen kaynağın ebadı ve gücü, kaynak hızı veya hacmi, maliyeti, kaynaklanacak malzemenin konumu (örneğin dikey veya yatay) dahil olmak üzere birçok faktöre bağlıdır. [13]

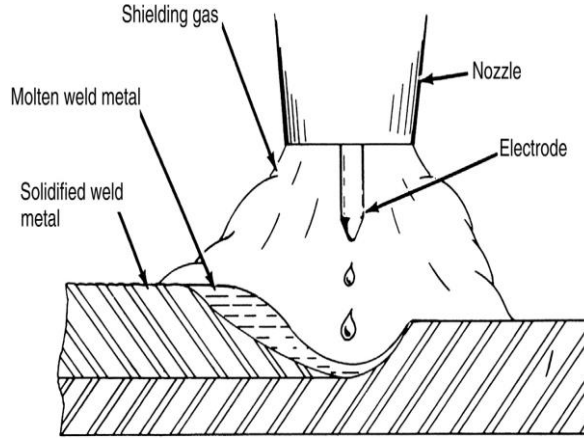
Elektrik ark kaynağının birçok çeşidi vardır.

2.3.2 Gaz altı ark kaynağı

2.3.2.1 MIG/MAG

MIG/MAG kaynak yöntemlerinde oluşan ark, eriyen bir elektrot ile iş parçası arasında meydana gelir. Koruyucu gaz, inert bir gaz kullanıldıysa, Metal İnert Gaz Ark Kaynağı (MIG), koruyucu gaz aktif bir gaz olursa, Metal Aktif Gaz Ark Kaynağı (MAG) olarak isimlendirilir. MIG/MAG kaynak yöntemlerinde, kaynak redresörleri yardımıyla doğru akım kullanılarak kaynak işlemi yapılır. Koruyucu gaz olarak CO₂, farklı oranlarda Karbondioksit ve argon gaz karışımları ve helyum gazı tercih edilir. Saf argon koruyucu gaz atmosferi (saf argon MIGW) altında MIG kaynağı, yüksek mukavemetli ve yüksek tokluğa sahip kaynaklı bir bağlantı elde etmek için uygundur. Bununla birlikte, saf argon MIGW'nin ark kararsızlığı ve kaynak

boncuğuna sığ nüfuz etmesi nedeniyle kaynak yapısına pratik olarak uygulanması zordur. [14] Karışım gaz kullanımı aynı zamanda gözenek oluşumunu ve sıçramayı azaltır. MIG/MAG kaynak yöntemleri basit bir şekilde uygulanır ve aynı zamanda çeşitli alanlarda kullanılabilir. Bunlar arasında; Çok ince levhalar dışında, nerdeyse her kalınlıktaki çelik ve demir dışı metal alaşımlarının kaynağında kullanılabilir. [12]

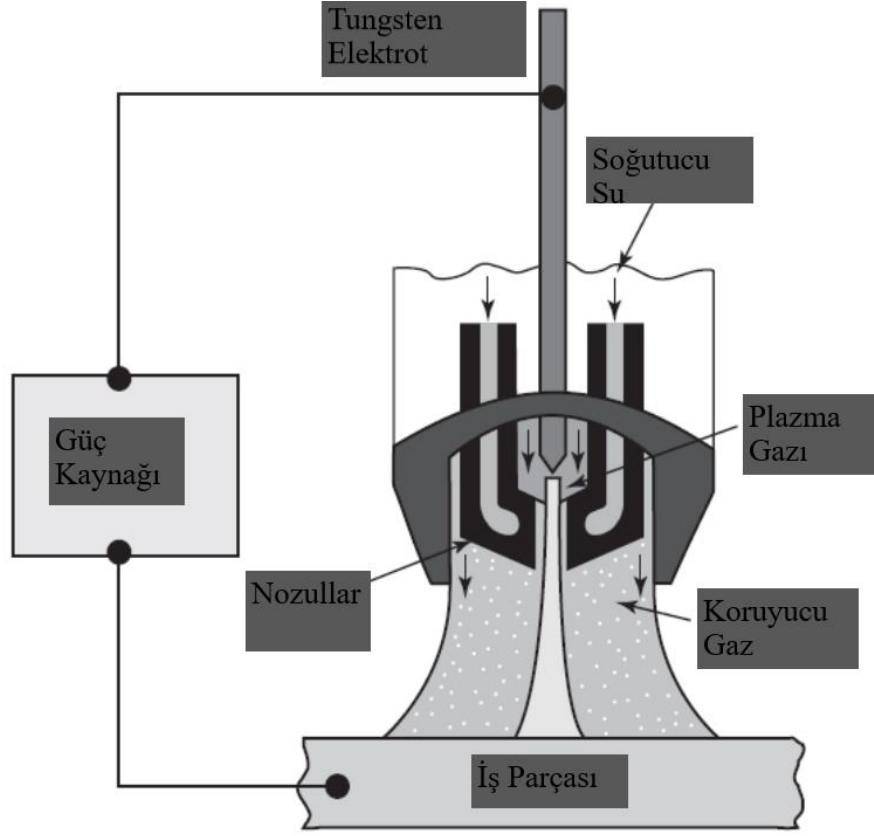


Şekil 2.3: MIG/MAG kaynağının gösterimi [13]

2.3.2.2 Plazma ark kaynağı

Plazma kaynağı TIG kaynağına benzemektedir. Plazma arkında oluşan sıcaklık yaklaşık 40000°C 'dir. Geçmişten günümüze kadar ısı kaynağı olarak kullanılmış olan serbest elektrik arkı, plazma arkının gelişmesinin öncüsü olmuştur. Bir elektrik arkı büzölmüş olarak ve iki soğutulmuş bir memeden iyonize gaz ile gönderildiğinde plazma ark olarak tanımlanır. [15]

TIG kaynak yöntemiyle kaynağı yapılabilen metallerin çoğu plazma ark kaynağı ile de başarılı bir şekilde kaynaklanabilir. Plazma arkı, bir plazma ark kaynağı (PAW) tabanca memesinin kullanımı gibi dış koşullar tarafından daraltılan özel bir ark şeklidir. [16] Ancak, lazer ışını kaynağı ve elektron ışını kaynağı ile karşılaştırıldığında, Plazma ark enerji yoğunluğu daha küçük olduğu için daha düşük kaynak hızında çalışır. Bu nedenle, plazma ark enerji yoğunluğunu artırmak, kaynağı iyileştirmenin bir yoludur. Elle kaynak genellikle ergitme tekniği ile yapılır ve dolayısıyla TIG kaynağına benzer. [17] Çok ince metal parçalarının kaynağı da TIG kaynak yöntemiyle çok daha basit ve güvenli bir şekilde yapılabilir. Plazma ark kaynağı birçok farklı uygulamalarda kullanılır ve ince metallerden yapılan karışık parçaların kaynağında iyi kaynak dikişleri verir. [15]

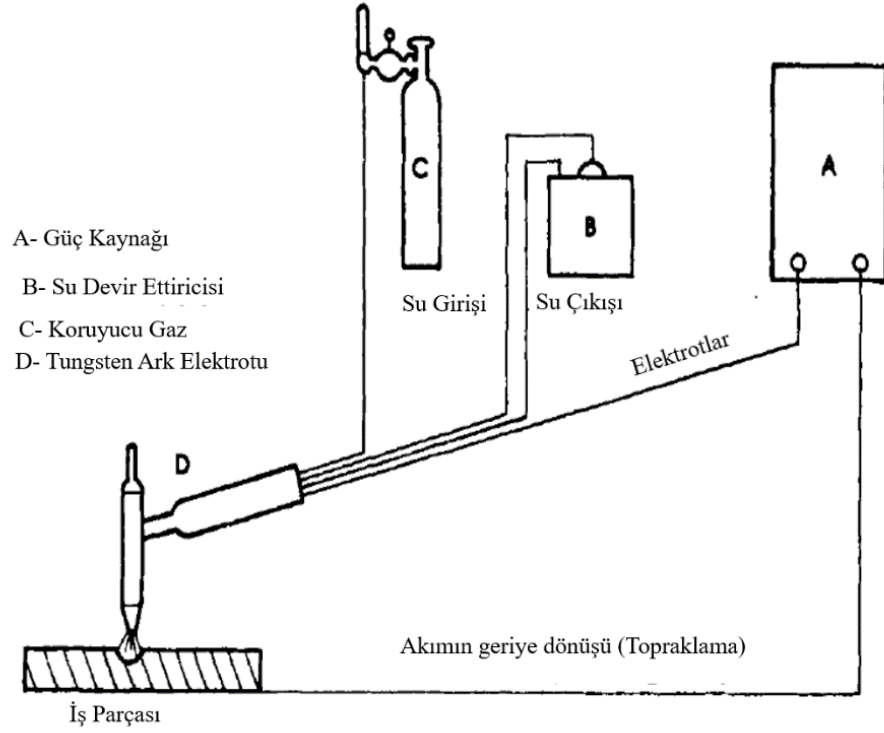


Şekil 2.4: Plazma Ark Kaynağı [16]

2.3.2.3 TIG

TIG kaynak yönteminde; metali ergiten ısıyla, tungsten elektrot ile iş parçası arasında ark oluşturulur ve kaynak bölgesi helyum veya argon gibi bir soy gazla korunur. TIG kaynağının şematik gösterimi Şekil 2.4’de gösterilmiştir. Kaynak teli, kaynak bölgesine yandan veya ön taraftan sokulur. [12]

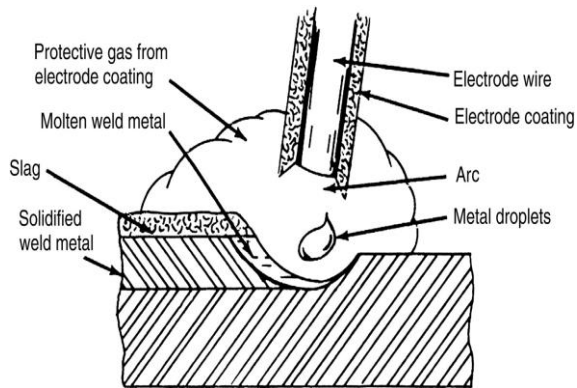
Elektroların düzgün bir şekilde muhafaza edilebilmesi amacıyla soy gazlar kullanılır. Endüstriyel açıdan TIG kaynak yönteminin tercih edilmesinin en büyük sebebi, ısı girdisi ile kaynak metali miktarının birbirine bağlı olmamasıdır. Bu sayede, TIG kaynak yöntemi ince parçalarda kullanılabilir. [12]



Şekil 2.5: Basit olarak TIG kaynağının gösterimi [18]

2.3.3 Örtülü elektrot ark kaynağı

Örtülü elektrot ark kaynağı uygulamasında ark, iş parçası ve eriyen elektrot arasında oluşur. Elektrotun eridiği esnada üzerinde bulunan örtü kısmı eriyip gazları ortaya çıkararak hem kaynak bölgesini hem de arkı korur. [12]



Şekil 2.6: Örtülü Elektrik Ark Kaynağı [13]

Meydana gelen gazlar ve cüruf yardımıyla ark bölgesi ve kaynak metali yabancı etmenlere karşı korunur. Elektrot örtüsüne katılan alaşım elementleri yardımıyla, kaynak dikişi alaşımlandırılır. Örtülü elektrot ark kaynağı diğer elektrot kaynak

yöntemlerine göre teknolojide daha eskidir. Kaynak araçları ucuz ve kurulumu daha kolaydır. Güç kaynağı, torç ve elektrot kablosu kullanılarak, kaynak düzeneği rahatça hazırlanır. [12]

Kaynak akısı, erimiş metali çevreden korumak, ark stabilitesi sağlamak ve kaynak havuzunu daha düzgün kaynak ve daha iyi boncuk şekli ve geometrisi için cüruf tabakası sağlamak ve temizleme gibi birçok işlevi yerine getirir. [19]

2.3.4 Toz altı elektrik ark kaynağı

Bu kaynak yönteminde oluşan ark, otomatik olarak kaynak yerine sürülen elektrot ile iş parçası arasında oluşur ve ayrı bir kanaldan kaynağın yapıldığı alana düşen toz yığını altında işlevini sürdürür. Kaynak arkı toz yığının altında oluşur. [15]

Avantajları

— Kaynak hızının yüksek olmasıyla birlikte, kaynak parametreleri düzgün seçildiğinde hatasız ve güzel kaynak dikişleri çıkartılır.

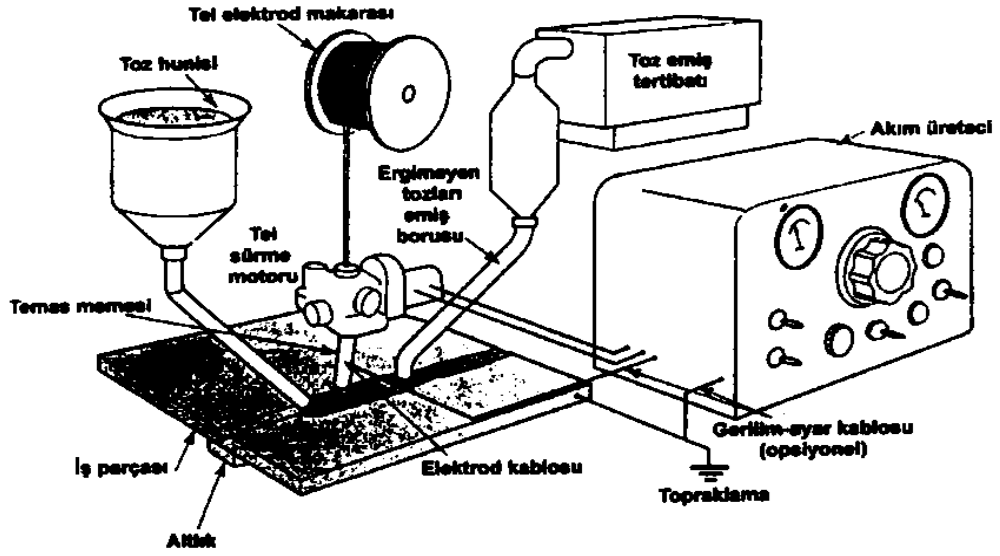
— Kaynak tozu kaynak ark kısmını koruduğundan dolayı maske kullanımına ihtiyaç duyulmaz.

— Kaynak sırasında zararlı metal tozlan ve duman çıkarmaz.

— Sıçrama kaybı yoktur.

— Derine işleme kabiliyeti iyi olduğundan dolayı daha dar ve daha derin kaynak pozisyonlarında rahatça kaynak yapılabilir.

—Kaynak tozu, kaynak dikişinin özelliklerini değiştirecek şekilde ayarlanabilir. Bu şekilde ucuz ve alışsız bir elektrotla alışlımlı bir toz kullanarak istenilen özelliklere sahip daha ekonomik kaynak dikişleri oluşturulabilir. [15]

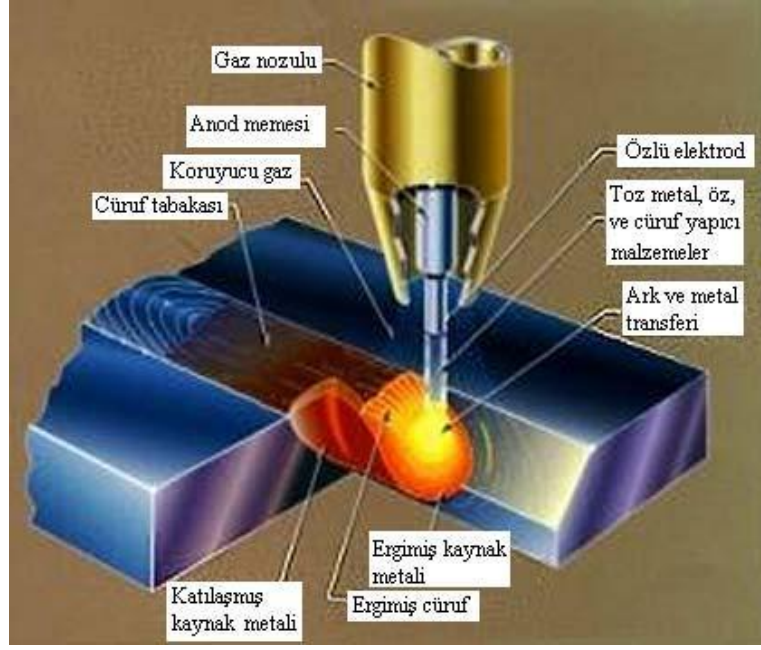


Şekil 2.7: Toz Altı Ark Kaynağı [12]

2.3.5 Özlü tel ile ark kaynağı

Özlü teller, ağırlıkça toz oranı ve bu tozun cinsine göre sınıflandırılırlar. Kullanılacakları alana ve üretim sürecine bağlı olarak özlü teller %13 ila %50 arasında toz içerirler. Bu tozlar genellikle bazik, asit veya rutil tiptir ve yumuşak, yarı-sert, sert, alçak ve yüksek alaşımli olan tüm çeliklerin kaynağında kullanılabilir. [15]

- 1) Düzgün ve pürüzsüz kaynak dikişleri ortaya çıkmaktadır.
- 2) Otomasyona karşı uygundur.
- 3) Bazı uygulamalarda koruyucu gaza ihtiyaç duyulmaz.
- 4) Doğal koşullara karşı hassastır.
- 5) Kaynağı hızlıdır.
- 6) Alaşımlandırılabilir.
- 7) Oluşan cüruf kaynak havuzunu temizlemektedir.
- 8) Yüksek akım yoğunluğuna ve yüksek ergime noktasına sahiptir. [20]



Şekil 2.8: Özlü tel elektrod kaynağı yapılan parçanın ark bölgesi [21]

2.4 Kaynak Elektrotları

Elektrot; kaynak işlemi esnasında üzerinden kaynak akımının geçmesini sağlayan, iş parçasına bakan tarafıyla iş parçası arasında kaynak arkını oluşturan ve gerektiğinde ergiyerek kaynak ağzını dolduran kaynak malzemesine denir. [5]

Kaynak dikişi kaynakta oldukça önemlidir. Kaynak dikişini önemli kılan faktör kaynak dikişinin kimyasal ve mekanik yapısıdır. Kaynak dikişinin kimyasal ve mekanik yapısını, kullanılan elektrot belirler. Bu tez kapsamında Elektrik Ark Kaynağında kullanılan Örtülü Elektrotlardan bahsedilecektir.

2.4.1 Örtülü elektrotlar

Bir elektrotun kaynak karakteristikleri tamamen bu örtünün bileşimi ile değiştirilebilir. Elektrot örtüsü kaynakta; arkı daha kolay oluşturarak daha hızlı tutuşmasını sağlar. Ayrıca örtülü elektrotlarla yapılan kaynaklar hem doğru akımla hem alternatif akımla da yapılabilir. Örtülü elektrotlar aynı zamanda kaynak bölgesini gazdan havadan ve nemden koruyarak kaynak dikişinin kimyasal yapısının bozulmasını engeller. [4]

Örtülü elektrotlar kendi içerisinde birçok çeşit barındırır. Bunlar; Bazik, Asidik, Oksit, Selülozik ve Rutil örtülü elektrotlardır.

2.4.1.1 Rutil örtülü elektrotlar

Örtü ağırlığının %35'nin TiO₂ in oluşturduğu rutil elektrotlar, dikişi tamamen örten bir yapıya sahiptir. Farklı örtü kalınlıklarında üretilmiş olan rutil elektrotlarda örtü kalınlığı artırılarak kaynak dikişinin mekanik özellikleri artırılabilir. Rutil elektrotlar aynı zamanda cüruf oluşturabilen ve hem doğru akım ile hem de alternatif akım ile kaynağı yapılabilir. Örtü yapısından dolayı oksijen içeriği fazla değildir. Bu sayede daha iyi kaynak dikişleri elde edilir [4]

2.4.1.2 Asidik örtülü elektrotlar

Bu tür elektrotların örtüsünde demiroksit, kuartz, ferromangan ve diğer deoksidan maddeler bulunur. Asit elektrotların kaplanması demir ve manganez oksitler içerir. Bir elektrotun verimliliği, kaplama ile demir tozu karıştırılarak büyük ölçüde iyileştirilebilir. Asit elektrotların verimliliği, yüksek demir tozu içeriği nedeniyle iyidir. Asit elektrotlar pürüzsüz, parlak kaynak boncukları üretir. Cüruf yavaş yavaş katılaştır, gözenekli ve çıkarması kolaydır. Kaynak metali rutil ve bazik elektrotlar tarafından üretilenlerden daha düşük akma dayanımına ve nihai çekme dayanımına, ancak daha yüksek bir kopma dayanımına sahiptir. Elektrotlar bu tip mükemmel kaynak özellikleri gösterir ve kaynak için uygundur yatay pozisyon. Temel uygulamaları düşük karbon içerikli işlenmemiş çeliğin kaynağıdır. [22]

2.4.1.3 Oksit örtülü elektrotlar

Oksit örtülü elektrotların bileşimi Magnetit (Fe₃O₄), kuartz (SiO₂ kalsiyum karbonat (CaCO₃), kaolen ve camsuyundan oluşur. Yüksek akım yüklenme özeliğine sahiptirler; yatay ve oluk pozisyonlarında tercih edilir, çünkü metal ve cüruf akıcı hale gelebilir. Düşük karbonlu çeliklerin kaynağı için son derece uygundur. Oksit örtülü elektrotlar kaynak aralarını iyi dolduramazlar. Oksit elektrotlarla güzel görünümlü ve güzel dikişler elde edilir. [4]

2.4.1.4 Bazik örtülü elektrotlar

Kalsiyum florür ile kaplanmış bazik elektrotlar yaygın olarak ark kaynağında kullanılır. [23] Higroskopik bir yapıya sahip olan bazik elektrotlar aynı zamanda yüksek mekanik özelliklere sahiptir. Bazik elektrotların, her tür kaynak pozisyonlarında kullanımı mümkündür. Aralık doldurma kabiliyeti fazladır. 0°C nin altındaki yapı parçalarının kaynağında dahi çok iyi kaynak dikişleri verir. [24]

Bazik elektrotlara yaklaşık 500°C'de bir kurutma işlemi uygulanır. Bu tip elektrotlar, higroskopik bir yapıya sahip olduklarından dolayı kullanımlarından önce mutlaka fırınlarda kurutma işlemine tabii tutulmalıdırlar. [4]

Bazik elektrotların kanyağında ark boyu diğer elektrotların kaynağına göre daha kısa olmalıdır. Eğer uzun ark olursa gözenek dizeleri oluşabilir. Ark boyu elektrot çekirdek çapının yarısından büyük olmamalıdır. [25]

Bazik elektrot kaynak yönünde mümkün olduğu kadar dik açıda tutulmalıdır. Aynı zamanda kaynak eğimi de 80-90° arasında olmalıdır. [25]

Bazik elektrotlar birçok kullanım alanına sahiptir;

- Bileşimi bilinmeyen karbonlu ve az alaşımlı çeliklerde,
- İçerisinde yüksek karbon, kükürt, fosfor ve azot bulunan çeliklerde,
- Farklı oranlarda karbon içeren çeliklerin birleştirmesinde,
- Dinamik yükleri taşıyacak olan parçaların kaynağında kullanılırlar. [4]

Bazik elektrotların görevi aşağıda belirtilmiştir;

- Elektrotun örtüsü kalsiyum, toprak alkali metallerin karbonatları ve kalsiyumflorür den oluşur.
- Yüksek mukavemetli çeliklerde ve kalın parçaların kaynağında oldukça fazla kullanılır.
- Eksi sıcaklıklarda kullanılabilir.
- Sıcak ve soğuk çatlamalara karşı dayanıklıdır.
- Nüfuziyetleri az, dikiş profili konkavdır. [4]

Bazik örtülü elektrotun nem derecesi

Bazik elektrotlar kolayca nem kapabilirler. Nem kaptığı durumlarda yapılması gereken bir fırın içerisinde 30 dakika süreyle 250°C bekletilerek nemin uçması sağlanmalıdır. Eğer nem bazik elektrottan uzaklaştırılmazsa örtüdeki nem kaynak dikişine geçerek boşluklar oluşturup ve hidrojen gevrekleşmesine sebep olur. [4]

Bazik elektrotta kaynak akım şiddeti

Örülü elektrotlarda kaynak parçasının dikiş kısmının mukavemetini etkileyen en büyük faktörü kaynak akım şiddetidir. Kaynak akım şiddetinin artması, diğer değişkenler sabit kalmak koşulu ile eriyen miktarını arttırarak kaynak dikişinin nüfuziyetini kolaylaştırır. Bazik elektrotların kaynağı doğru akım ile yapılır. Eğer kaynakta bazik elektrotlar kullanılıyor ise, gerekenden biraz daha fazla kaynak akım şiddeti kullanılmalıdır. Bu sayede kaynak dikişinde gözenek oluşumu engellenir. [26]

Bazik elektrotta kaynak hızı

Bazik elektrot ile yapılan kaynaklar, rutil ve asit karakterli elektrotlara kıyasla daha yavaş yapılmalıdır, eğer hızlı yapılırsa cüruf kaynak metalini örtemez. Bu tür elektrotlarda kaynak hızı rutil ve asit elektrotlarının kaynak hızından yaklaşık olarak %67 kadar daha yavaş olmalıdır. Bu neden ile kaynak dikişi diğer elektrotlarla yapılanlardan daha geniş olur. Daha ince elektrotlar kullanılmalıdır. [4]

2.4.1.5 Selülozik elektrotlar

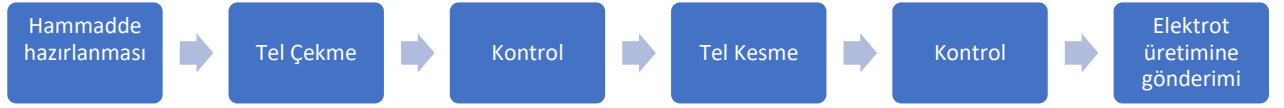
Örtülerinde yandıkları zaman gaz haline geçen organik maddeler bulunur. Selülozik elektrotlarındaki örtünün %30'u selüloz ve %5'i nemden oluşmaktadır. Bu sayede elektrot kurutma işlemine tabii tutulmaz. Selülozik elektrotlar bazik elektrotlar gibi her pozisyonda kullanılabilirler. Kaynak dikişi oldukça iyidir. Doğal gaz ve petrol boru hatları, gemi inşaat endüstrisi, depolama tankı ve kazan üretimi ve çelik köprü inşaatları gibi birçok alanda tercih edilir. [16]

2.4.2 Elektrot Üretimi

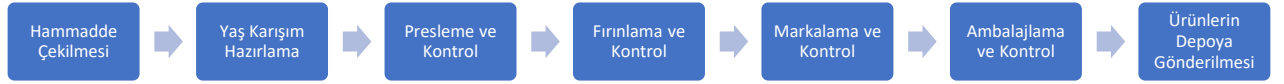
Elektrotlar üretilirken birçok aşamadan geçerler. Elektrot üretim süreci uzundur. Örtülü elektrotlar çekirdek ve örtü olmak üzere iki kısımdan oluşur. Bu iki kısmın üretimi ayrı ayrı yapılır.

Hammadde, yarı mamul ve malzeme depolardan çekilerek üretim alanına getirilir. Çekirdek tel ilk olarak rulolara sarılı halde gelir. Tel sargıdan çıkartılarak ve üzerine kimyasal sıkılarak çekilir. Daha sonra çekirdek tel tekrar rulolara sarılarak tel kesme alanına gönderilir. Kontrolden geçip hatalı oldukları anlaşılan ürünler sistemden dışarıya alınır.

Tel kesme işleminde tekrar makine yardımıyla sargıdan çıkartılan çekirdek telin belirlenen ebatlara uygun şekilde kesimi yapılır. Kesimi yapılan hatasız ürünler bir kaptan toplanır. Aynı şekilde kontrolden geçip hatalı oldukları anlaşılan ürünler sistemden dışarıya alınır. Hatasız ürünler ise kaynak elektrotu üretim alanına gönderilir.



Şekil 2.9: Kaynak Elektrotunda Çekirdek Tel Üretim Şeması



Şekil 2.10: Kaynak Elektrotu Üretim Süreci Akış Şeması

Hammadde, yarı mamul ve malzemeler depodan çekilerek üretim alanına getirilir. Örtülü elektrotun üzerindeki örtünün reçetesi hazırlanmalıdır. Bunun için yaş karışım hazırlama işlemi yapılmalıdır. Bu yaş karışım hazırlamada elektrotun hangi alanda kullanılacağı, elektrotun cinsi ve boyutu önemlidir. Bu faktörlere bağlı olarak daha önceden hazırlanmış ve belirlenmiş olan örtü reçetesinin kimyasal bileşimine göre yaş tanklarda yaş karışım hazırlanır. Hazırlanan yaş karışım ileri ki safhada presleme işlemine tabii tutulmak için gönderilir.

Presleme işleminde elektrotun iki kısmı birbirine preslenir. Yani önceden hazırlanmış yaş karışım ile üretilmiş olan çekirdek tel preslenerek birleştirilir. Ürünlerin kontrolü sağlandıktan sonra fırınlama işlemine gönderilirler.

Fırınlama işlemi elektrotların cinsine göre farklılık gösterir. Elektrotun kullanım alanına göre fırınlama işlemleri farklı yerlerde farklı ısılarda ve farklı sürelerde yapılır. Aynı zamanda eski tip fırınlama sisteminin yanında yeni tip doğal gazlı fırınlama sistemleri de vardır. Fırınlanıp herhangi bir hata bulunmayan elektrotlar markalama işlemine gönderilir. Hatalı olan ürünler ise kontrol edilip sistemden dışarıya alınır.

Markalama işleminde elektrotun cinsi kullanım alanı ve üretim numarasına göre adlandırılması yapılır. Markalanan elektrotlar ambalajlama alanına gönderilir. Hatası tespit edilen ürünler ise sistemden dışarıya alınır. Ambalajlama alanına gelen elektrotlar kutulara konular ve dışı ısı yardımıyla ambalajlanarak kapatılır. Hatalı olan ürünler sistemden dışarıya alınır. Hatasız ürünler ise depoya gönderilerek elektrot üretimi yapılmış olur.

2.4.3 Kaynak elektrotlarına uygulanan testler

Kaynak elektrotlarının kullanılacağı alana uygunluğunu, kaynak başarısını ve kaynak dayanımı ölçmek için belirli testlere tabii tutulur. Bunların en başında gelenler mekanik testlerdir. Kaynak elektrotları, başarılı kaynak yapması için belirli faktörler vardır. Bu faktörler mekanik değerleri, kaynak yapabileceği metale uygunluğu ve kullanılacağı alana uygunluğu, kaynak pozisyonu uygunluğudur. Bu faktörlere uygunluğunu onaylamak amacıyla kaynak elektrotlarına testler yapılır. Bu tez kapsamında kaynak elektrotuna mekanik test yapıldığından dolayı mekanik testlerden bahsedilecektir.

2.5 Kaynak Elektrotlarına Uygulanan Mekanik Testler

Kaynak elektrotlarına uygulanan mekanik testlerde çekme testi ve darbe enerjisi testi en popüler testlerdir. Bu testlerin uygulanmasındaki amaç kaynaklanacak parçanın kullanılacağı alana göre oluşacak olan kaynak dikişinin sağlam ve dayanıklı olmasıdır. Bunun yanında birkaç faktörde yerine getirilmesi istenir. Örneğin; parça eksi sıcaklıklarda kullanılacak ise kaynak elektrotunun bu sıcaklıklarda kullanılacak olan parçaya uygun olması ve aynı zamanda istenilen sıcaklık değerinde istenilen mekanik değerleri vermesi gerekir. Örneğin; bizim tezimizde -60°C deki sıcaklıkta bazik elektrotun istenilen darbe enerjisini sağlaması gerekir. Bizim amacımızda bu darbe enerjisini arttırmaktır.

2.5.1 Çekme testi

Tek eksenli çekme testi, nihai mukavemet, akma mukavemeti, %uzama, %azalma alanı ve Young modülü gibi malzeme parametrelerine ulaşmak için temel ve evrensel bir mühendislik testi olarak bilinir. Çekme testi, başarısız olana kadar bilinen boyutlara (ölçü uzunluğu ve enine kesit alanı) sahip standart bir germe numunesine

belirli bir uzama hızında uzunlamasına veya eksenel yük uygulanarak gerçekleştirilir [27]

Birçok mühendislik bileşeni hizmet halindeyken çeşitli yüklemelere maruz kalır. Bu gibi durumlarda, mühendislik bileşeninin malzemelerinin özelliklerini, sonuçta ortaya çıkan herhangi bir deformasyonun aşırı olmayacağı veya başarısızlığın olmayacağını bilmesi gerekir. Bu ancak, gerilme-şekil değiştirme ilişkileriyle incelenerek sağlanabilir. [28]

Gerilme (σ)'nin tanımı birim alana etki eden yük anlamına gelir ve aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$\sigma = \frac{P}{A_0}$$

Denklem 2.2: Gerilme Formülü [29]

P: Uygulanan Kuvvet (N/mm²)

A: Parçanın kesit alanı (mm²)

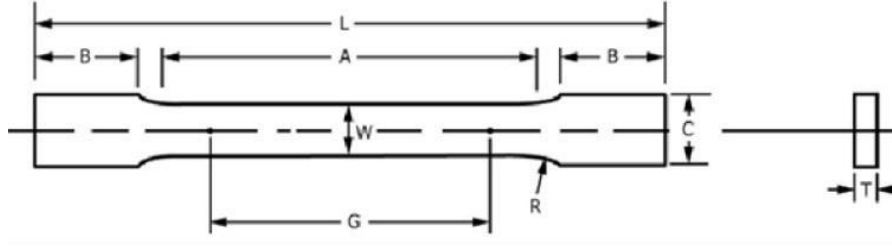
Birim şekil değiştirmenin tanımı; Malzemeye kuvvet uygulandığı zaman iç çaptaki daralmanın kuvvet uygulanmadan önceki iç çapın arasındaki farkın oranıdır. Başlangıç ölçü boyu l_0 , deneyin herhangi anında P yükünün etkisi ile l değerini aldığı anda, çekme doğrultusundaki birim şekil değiştirme (birim uzama); [29]

$$e = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0}$$

Denklem 2.3: Birim Şekil Değiştirmenin Formülü [29]

Çekme testinde sıklıkla kullanılan iki adet standart bulunur. Bunlar; ISO 6892-1 ve ASTM E8 standartlarıdır. Metal malzemeler için oda sıcaklığında uygulanan çekme testini ayrıntılı olarak tanımlar. Standartlar aynı zamanda, testte kullanılması gereken yardımcı elemanların tanımlanmasıyla birlikte, deneyde uygulanacak metodu, kullanılan hesaplamaları, sonuçları gösterir. [30]

Bu çalışmada ASTM E8 standardı esas alınmıştır.



Şekil 2.11: Lama tipi dikdörtgen şeklindeki çekme deney numunesinin ASTM E8 standardında tanımlanmış şekli [30]

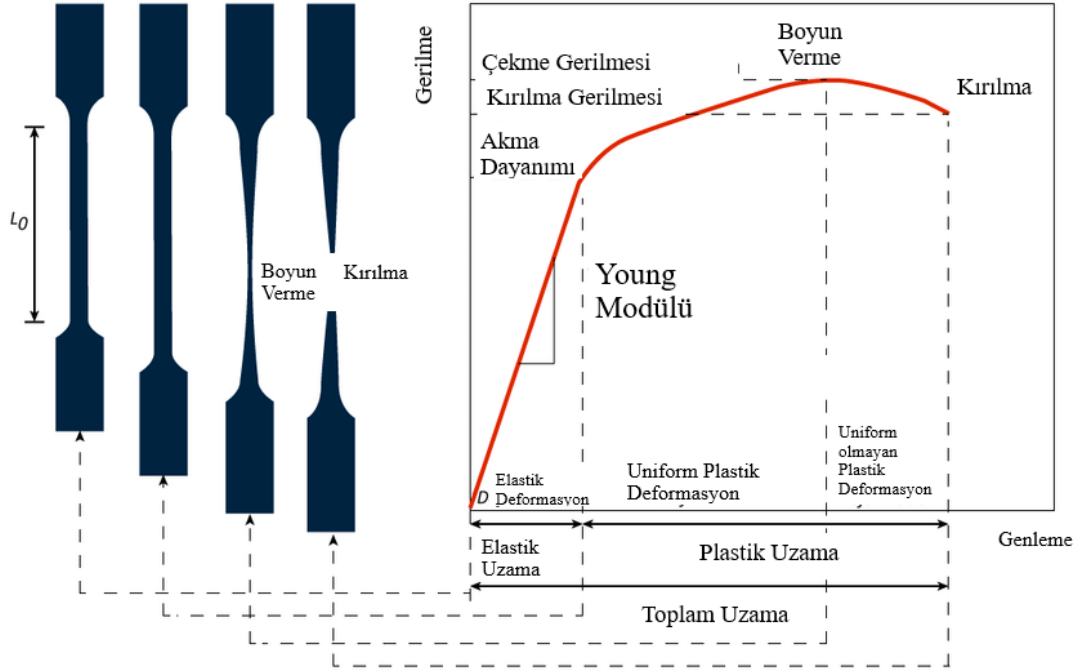
	Numune Boyutu	(mm)
G	İlk ölçü uzunluğu	200,0 ± 0,2
W	Gövde genişliği	40,0 ± 2,0
T	En küçük numune kalınlığı	5
R	En küçük numune kavis yarıçapı	25
L	Numune toplam uzunluğu	450
A	En küçük numune gövde uzunluğu	225
B	Numune kavrama uçları uzunluğu	75
C	Gövde genişliği	50

Şekil 2.12: ASTM E8 standardında lama tipi deney numunesi için tanımlanmış boyut değerleri. [30]

Çekme Testi ile malzemelerin mekanik özellikleri gözlemlenebilir. Bu özellikleri;

- 1) Akma Dayanımı
- 2) Çekme Dayanımı
- 3) Elastisite Modülü
- 4) Yüzde Kopma Büzülmesi
- 5) Yüzde Kopma Uzaması
- 6) Kopma Dayanımı
- 7) Tokluk
- 8) Rezilyans
- 9) Poisson Oranı [31]

Deneysel çalışmada, sadece akma dayanımı, çekme dayanımı, elastisite modülü, yüzde kopma uzaması ve tokluk gibi parametrelere baktığımız için sadece bu parametreler açıklanacaktır.



Şekil 2.13: Çekme Testinin okunması [27]

Elastisite Modülü: Hooke kanunu deformasyon yasası olarak bilinir ve elastik deformasyonun olduğu bölümdeki, gerilme gerinim diyagramının eğimi, Elastisite Modülü (Young modülü), E. olarak adlandırılır. Elastisite modülünün birimi N/mm² dir. (27)

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

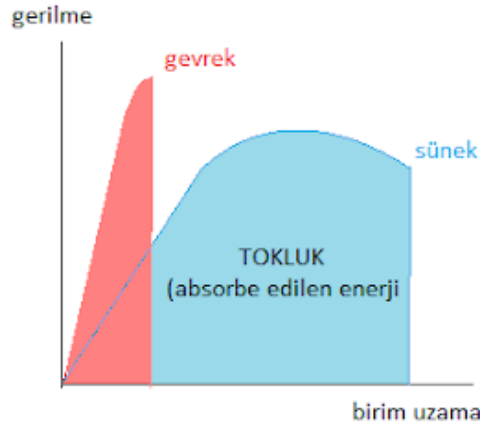
Denklem 2.4: Elastik Modülünün gösterimi [27]

Akma Dayanımı: Bir malzemenin plastik şekil değiştirmeye başladığı andaki gerilme değerine akma dayanımı denir. Bu değer; akma gerilmesinin, numunenin ilk kesit alanına bölünmesi suretiyle hesaplanır. [29]

$$\sigma_a = \frac{P_a}{A_0}$$

Denklem 2.5: Akma Dayanımı Formülü [29]

Tokluk: Bir malzemenin kopuncaya kadar kendi içerisinde absorbe ettiği toplam enerjiye denir. Sünek malzemeler, gevrek malzemelere kıyasla daha iyi tokluğa sahiptirler. Tokluk, gerilme genleme eğrisinin altında kalan alan hesaplanarak bulunur. [29]



Şekil 2.14: Tokluk Alanı [32]

Çekme Dayanımı: Malzemeye uygulanan yük sürekli olarak uygulanırsa, gerilim-gerinim eğrisi, plastik deformasyon kısmında maksimum yüke ulaşacaktır. Maksimum yükün olduğu noktaya “çekme dayanımı” denir. [27]

$$\sigma_{TS} = \frac{P_{\max}}{A_0}$$

Denklem 2.6: Çekme Dayanımı Formülü [27]

Yüzde Kopma Uzaması: Malzemede deney sonucunda oluşan uzama miktarı ile (kırık parçaların bir araya getirilmesiyle ölçülür) orijinal ölçü uzunluğunun yüzdesi olarak ifade edilir. [33]

$$\% \text{Uzama} = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100$$

Denklem 2.7: Yüzde Uzamanın Formülü [33]

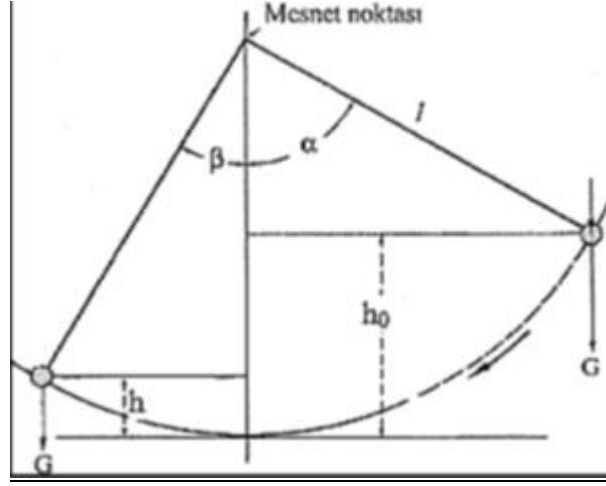
2.5.2 Çentik darbe deneyi

Darbe testi, bir malzemenin maruz kalabileceği en ağır yük koşullarını test etmek için en kullanışlı deneylerden birisidir. Darbe testinden sonra, bir malzemenin kırılma direnci de bulunabilir. Aslında, kırılma direnci parametreleri doğrudan test edilen numune üzerine uygulanan eğilme kuvveti ile ilgilidir. Ancak, test aleti tarafından kaydedilen kuvvet aslında bükülme kuvveti değildir, ancak dönüştürücünün monte edildiği vurucu üzerine uygulanan kuvvettir. [34]

Darbe Deneyi, metalik ve metalik olmayan malzemelerin dinamik zorlamalar altında kırılması için gereken enerji miktarını belirlemek için yapılır. Metalik malzemelerin gevrek kırılma göstereceği alanlarda mekanik özellikleriyle alakalı bir fikir elde etmek için yapılır. İlk çalışmalar askeri ve demiryolu uygulamalarına odaklanmıştır. [35]

Metallerin mekanik özelliklerini gözlemlenmede en çok çekme deneyi sonuçlarından yararlanır. Çekme deneyinde sünek olduğu ortaya çıkan malzeme çentikli darbe deney sonuçlarına göre gevrek olabilir. Eksi sıcaklıklardaki durumlarda bu daha çok görülür. [35]

Metallerin çentikli darbe testi, yüksek hız yükleme koşullarında, ani kırılmaya sebep olduğu durumlarla alakalı bilgi verir. Metallerin darbe enerjileri tokluk ile bulunur. Malzemelerin kırılması gevrek veya sünek olarak gerçekleşir. Sünek malzemeler plastik deformasyona maruz kaldığı için gerilme genleme diyagramındaki eğri daha uzun ve daha büyük olduğundan dolayı toklukları daha fazladır. Gevrek malzemeler ise bunun tam tersidir. Plastik deformasyona maruz kalmadığı için gerilme gerinleme diyagramındaki eğri daha kısa ve daha küçüktür, bu yüzden tokluğu daha azdır. Tokluğu yüksek olan malzemelerin darbe enerjileri yüksektir, düşük olanların ise darbe enerjileri düşüktür. [36]



Şekil 2.15: Çentik darbe deneyinin şematik olarak gösterimi [29]

Darbe testlerinin yapıldığı sistem Şekil 2.15'de şematik olarak gösterilmiştir. Numune tabana yerleştirilir ve sarkaç serbest bırakılır, çentikli numuneye çarparak ve kırar. Sarkaç, numuneyi kırdıktan sonra fizik yasaları sebebiyle eski yüksekliğine çıkamaz ve belirli bir yüksekliğe çıkar. İlk yüksekliği ile son yüksekliği arasındaki farka bakılarak numunenin darbe enerjisi bulunur. [36]

$$E = G(h - h_1) = G.L(\cos \beta - \cos \alpha)$$

Denklem 2.8: Çentik Darbe Deneyi Formülü [29]

G = Sarkacın ağırlığı (kg),

L = Sarkacın ağırlık merkezinin sarkacın salınım merkezine uzaklığı (m),

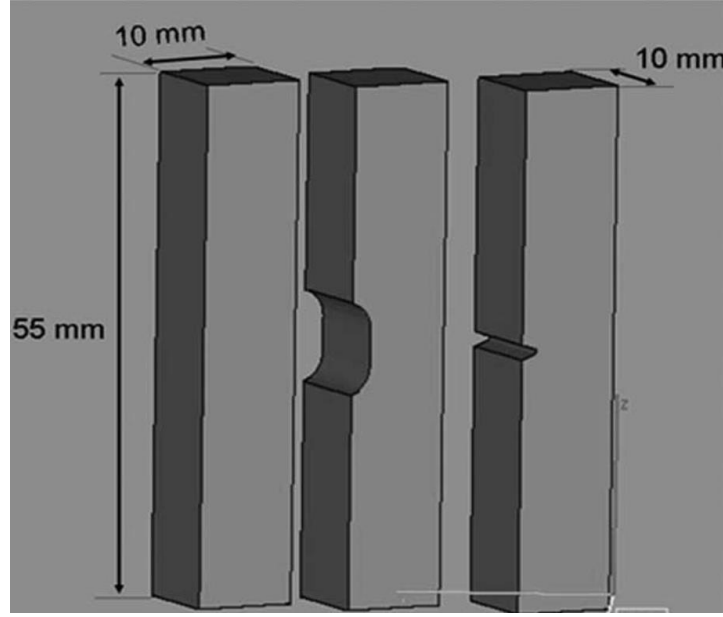
h = Sarkacın ağırlık merkezinin düşme yüksekliği (m),

h1= Sarkacın ağırlık merkezinin çıkış yüksekliği (m),

β = Yükseliş açısı (derece)

α = Çıkış açısı (derece)

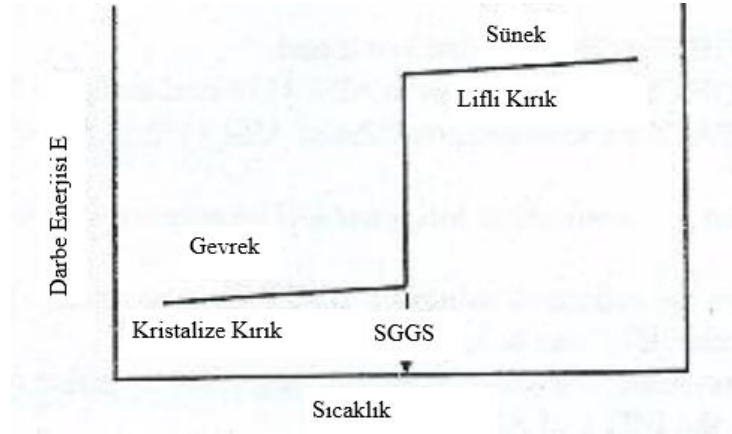
Bu çalışmada ASTM E23 standardı uygulanmıştır.



Şekil 2.16: ASTM E23 standardına göre hazırlanmış darbe deneyi numuneleri [37]

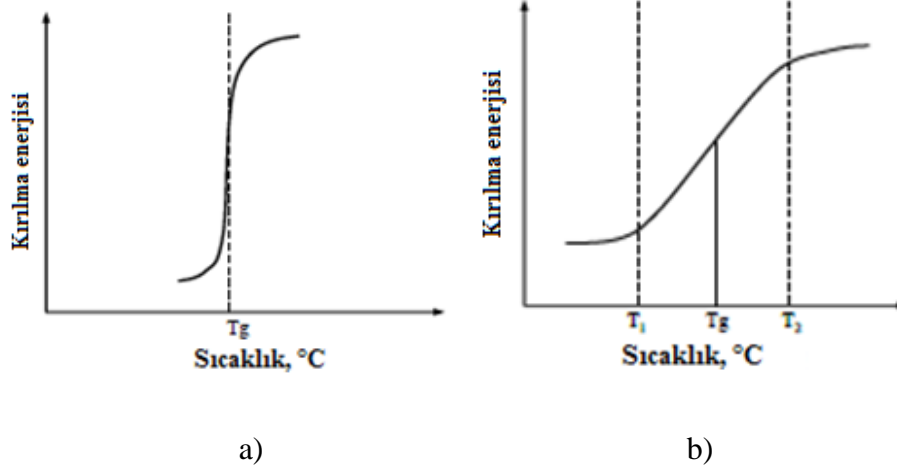
2.5.1.1 Darbe enerjisine sıcaklığın ve mikro yapının etkisi

Çeliklerin sıcaklıkları azaldıkça darbe enerjileri azalır. Darbe enerjisinde büyük bir azalmanın görüldüğü sıcaklığa, şematik olarak Şekil 2.17' de gösterildiği gibi sünek-gevrek geçiş sıcaklığı (SGGS) denir. (36)



Şekil 2.17: Tavlanmış düşük karbonlu çelik için tipik sünek kırılma geçiş eğrisi. [36]

Sıcaklığın darbe direncine etkisini belirlemek amacı ile çeşitli sıcaklıklarda darbe deneyi yapılır. Sıcaklık azaldıkça, malzeme süneklikten gevrekliğe geçiş gösterir. Darbe direncinde azalma anidinde olabilir veya belirli bir aralıkta da olabilir. Darbe direncinin bir anda azaldığı sıcaklığa geçiş sıcaklığı (T_g) denir. [38]



Şekil 2.18: Darbe direncinin sıcaklıkla değişimi [38]

Çeliklerde karbon ve diğer alaşım elemanları belirli bir sıcaklıkta çentik tokluğunu etkiledikleri gibi geçiş sıcaklığını da etkilerler. Karbon miktarı geçiş sıcaklığını değiştirir. Çeliklere manganez eklenmesi geçiş sıcaklığını düşürür. Alüminyumun çeliklerde tane inceltici özelliğinin yanı sıra geçiş sıcaklığını da azaltır. [38]

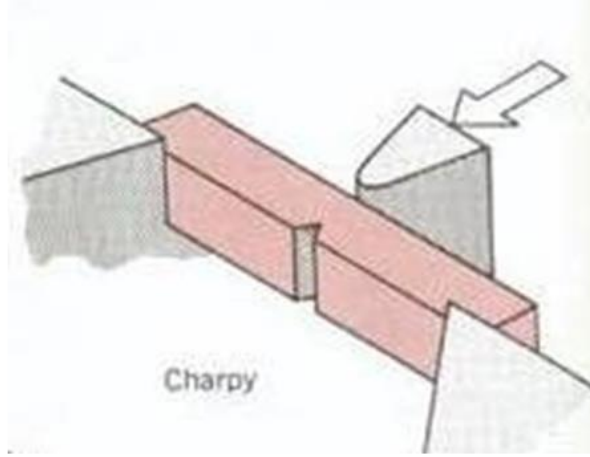
Küçük taneli çelikler, kaba tanelilerden daha iyi darbe enerjisine sahiptir. Tane boyutu ile geçiş sıcaklığı doğru orantılıdır. Çeliğin mikro yapısı çentik tokluğunda önemlidir. Mikro yapı bileşim ve mekanik özelliklerden bağımsız olarak çeliğin tokluğuna etki edebilir. Temperlenmiş martenzit veya beynitik yapı diğer mikro yapılara kıyasla en yüksek çentik tokluğu ve en düşük geçiş sıcaklığı sağlar. [38]

Bu deneye çentik darbe deneyi denmesinin sebebi, test numunesine çentik açılmasıdır. Sarkaç çentikli kısımdan numuneyi kırar ve böylece darbe enerjisi bulunur. Test numunesine açılan çentiğin bölgesine ve numunenin kısaca yerleştirilmesine göre çentik darbe deneyleri ikiye ayrılır. [38]

2.5.1.2 Charpy darbe testi

Yatay ve basit kiriş halinde iki mesnedin arasında konulan numunenin daha önceden numunenin orta kısmına açılmış olan çentiğe, bir sarkacın ucundaki çekiçle darbe yapılarak ve numunenin çentiğinden kırarak, numunenin kırılması için harcanan enerjii bulma işlemine denir. (29)

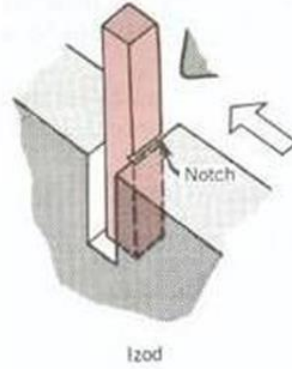
Charpy metodu ASTM E23 ve ISO 148 standartlarına uygun olarak yapılır. Eksi sıcaklık deneyleri en fazla -80°C 'de yapılır. [30]



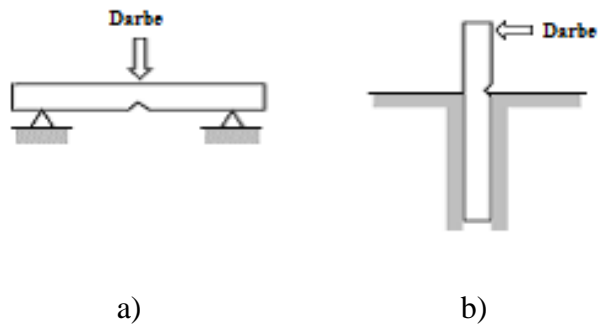
Şekil 2.19: Charpy Darbe Metodunun gösterimi [38]

İzod darbe metodu

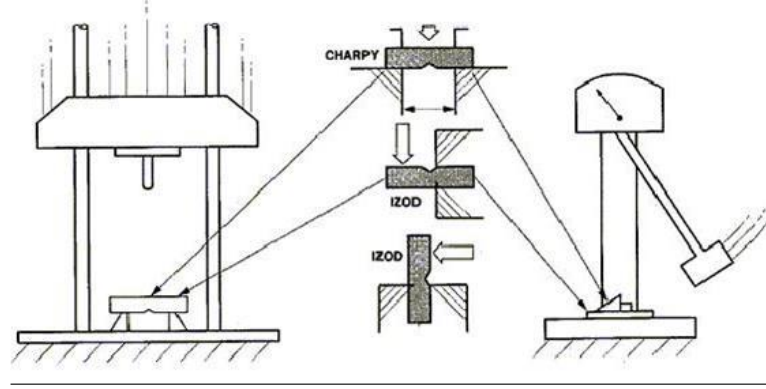
Dikey ve konsol halinde bir kavrama kısıncasına konulan numunenin yüzey kısmına, kavrama çenesinden belirli yükseklikte olan bir sarkaç vasıtasıyla darbe yapılır ve numunenin kırılması için harcanan enerji bulunur. [29]



Şekil 2.20: İzod Darbe Metodunun gösterimi [38]



Şekil 2.21: a) Charpy ve b) İzod darbe deneyinde numunenin cihaza yerleştirilmesi [38]



Şekil 2.22: Charpy ve izod darbe deneyinin şematik görünümü [38]

2.5.2 CTOD testi

Kırılma mekaniği, metalik malzemelerde çatlaklar içerebilecek tüm mekanik ve inşaat projeleri için ve özellikle kaynağı yapısal birleştirme işlemi olarak kullanan malzemeler için oldukça önemlidir. Bu metodoloji sadece tasarımı değil, inşa edilen yapıların hizmet ömrünü de artırabilir. [39]

CTOD testi endüstride kullanılan en yaygın parametrelerden birisidir. Çünkü testler pratiktir ve yöntemler standartlaştırılmıştır. Örneğin; BS-EN-ISO-15653 standardı, kırılma tokluğunu incelemek için iyi bir standarttır. [39]

Petrobras N-1678 standardı, 415 MPa ve 38-75 mm arasında kalınlığa sahip bir düşük alaşımlı yüksek mukavemetli çelik için, taban ve kaynaklı metaller için sırasıyla 0.3 mm ve 0.25 mm arasında CTOD değerleri gerektirir. [39]

Çatlağın kütleşmesinin derecesi malzemenin tokluğu ile doğru orantılıydı. Bu gözlem araştırmacıların, çatlak ucundaki açılmayı kırılma tokluğunun bir ölçüsü olarak öngörmeyi sağladı. Bu parametreye CTOD adı verilmektedir. [40]

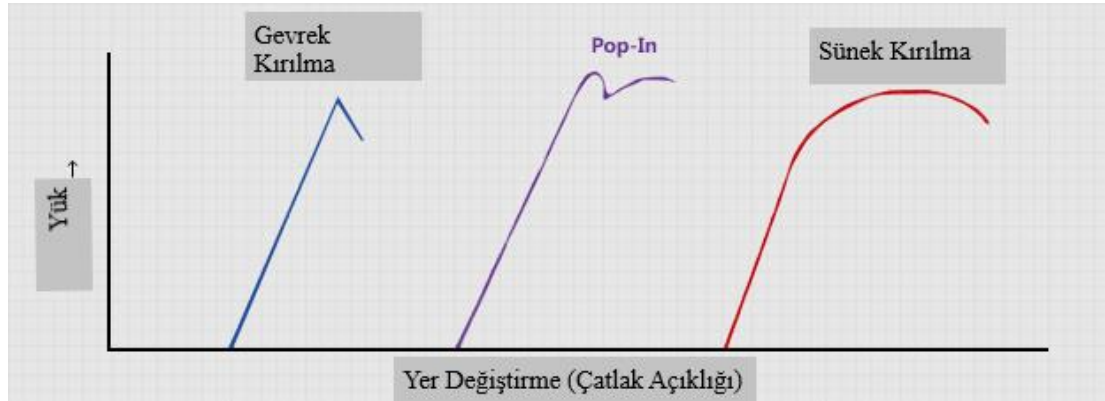
CTOD testi Elasto-Plastik kırılma mekaniğinde çatlağın her aşamasını görmemizi başarılı bir şekilde analiz eder. Bu sayede genel olarak yapının tamamını anlamamıza yardımcı olur. Bir çatlağın dengesiz kırığı veya büyümesini tahmin etmek, kırık mekaniğinin en önemli konusudur. Elbette ki buda, seçilen yapıya göre en kullanışlı malzemeyi seçmemize olanak sağlar. [41]

Kaynaklı bağlantılardaki minimum CTOD değerini kolayca tespit etmek için Yorgunluk CTOD test yöntemi geliştirilmiştir. Bu testte, bir CTOD test numunesi,

kaynaklı eklemlerin herhangi bir yerinde bir yorgunluk çatlak taraması yapan döngüsel yükleme altında düşük sıcaklıkta test edilir. Bu yeni yöntem, birkaç örnekle minimum CTOD değerini bulmayı mümkün kılar. Yeni yöntem, kırılma bölgesinin yeri, gevrekleşmenin nedeni ve diğer amaçlar üzerinde çalışmak için uygulanabilir. [42]

CTOD testi, başarısızlıktan önce bazı plastik deformasyonların meydana gelebileceği durumlarda kullanılan bir kırılma tokluk testidir. Yani bu test bir çatlakın uç açıklığının yer değiştirmesine olanak sağlar. Geleneksel olarak, doğru sonuçları sağlamak amacıyla daha önceden belirlenen sıcaklıkta üç test yapılır. Test parçasının kendisi orantılıdır her numunenin uzunluğu, derinliği ve kalınlığı birbiriyle alakası bulunur, böylece malzeme kalınlığı farkı gözetmeden tüm numuneler aynı oranlara sahiptir. [43]

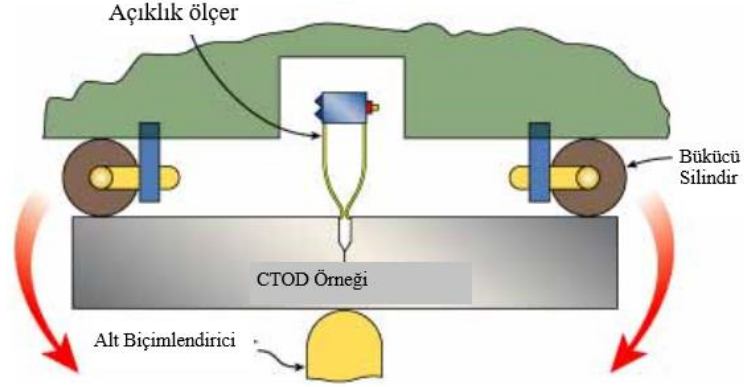
CTOD, hata oluşmadan önce ucun gerilmesine neden olan plastik deformasyon gösterebilen malzemeler üzerinde kullanılır. Bu yer değiştirmenin doğru ölçümü, testin esaslarından biridir. Bir CTOD testinde bir örnek hazırlamak için, numunenin ortasına bir çentik açılır ve sonra çentiğin tabanında dikkatlice gerçek bir yorgunluk çatlak oluşturulur. Çatlak, işleme sürecinin sebep olduğu plastik deformasyonu belirten bir yerden geçebilecek boyutta olmalıdır. [44]



Şekil 2.23: Üç tip kırık davranışı gösteren yüke karşı çatlak açıklığı yer değiştirme eğrileri [44]

Testte, numune 3 nokta bükülme alanına yerleştirilir ve çatlakın açtığı miktarı doğru bir şekilde ölçerek gerçekleştirilir. İşlenmiş olan çentiğin ağzında hassas olarak yerleştirilmiş iki bıçak kenarı arasında bulunan bir klip monte edilen bir gerinim ölçerle gerinim hesaplanır. Çatlak ucu açıklığı uygulanan yüke karşı çizilir.

Bu testte kırık 3 farklı şekilde davranır; kırılmalı kırık, pop-in ve sünek. İlk eğri, plastik deformasyonu az olan veya olmayan bir kırığı gösterir. İkinci eğri, çatlakın kırılmalı bir şekilde başladığı ancak yakında daha sert sünek malzeme tarafından tutulduğu bir pop-in gösterir. Üçüncü eğri tamamen plastik veya sünek bir davranışı gösterir. [44]



Şekil 2.24: CTOD Testinin tipik test düzeni [43]

Bir çeliğin mekanik özellikleri, sadece bireysel çelik elemanların davranışını değerlendirmek için değil, aynı zamanda tüm bir yapının performansını tahmin etmek için de önemlidir. [45]

3 DENEYSSEL ÇALIŞMALAR

3.1 Denejde Kullanılan Malzemeler

Bu deneysel çalışmada düşük alaşımlı yüksek mukavemetli çelik olarak S355JR çeliği kullanılmıştır. Kaynak yöntemi olarak da örtülü elektrik ark kaynağı seçilmiştir. Bu çeliğin üzerinde araştırması geliştirmesi yapılmış olan elektrot ise Şekil 3.1’de gösterilmiştir Geka Tempo B65 Bazik elektrotudur. İleriki kısımlarda daha detaylı bir şekilde çalışma parametrelerinin neden ve nasıl belirlendiği anlatılmaktadır.



Şekil 3.1: GeKa Tempo B65 Bazik Elektrotu

Kaynakta kullanılan S355JR düşük alaşımlı yüksek mukavemetli çeliğin tipik kimyasal bileşimi Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1: S355JR çeliğinin % kimyasal bileşimi

Çelik No	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cu	%N	%Diğer
	max	max	max	max	max	max	max	
S355JR	0.24	0.55	1.60	0.04	0.04	0.4	0.012	

Çizelge 3.2: Kaynak Metalinin % bileşimi [46]

C	Si	Mn	Ni	Mo
0.06	0.3	1.2	0.8	0.35

Çizelge 3.3: Kaynak Metalinin mekanik değerleri [46]

Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Çentik Darbe Dayanımı (J)	% Uzama
Min. 550	630-750	Min. 47	Min. 22

Deneyleerde kullanılan S355JR çeliğinin kalınlığı 20mm, genişliği 180mm, uzunluğu ise 400mm'dir. Şekil 3.1 de gösterilen Tempo B 65 bazik elektrotunun çapı 3.20mm ve uzunluğu 350mm'dir.

3.2 Kullanılan Alet ve Cihazlar

Deneyleerde farklı amaçlar için birçok alet ve cihaz kullanılmıştır.



Şekil 3.2: Gedik Kaynak Makinesi

Kaynağın yapılabilmesi için gerekli olan gerilimi ve şiddeti üretmesi için kaynak makinesi (Gedik Welding RKM450) kullanılmıştır.



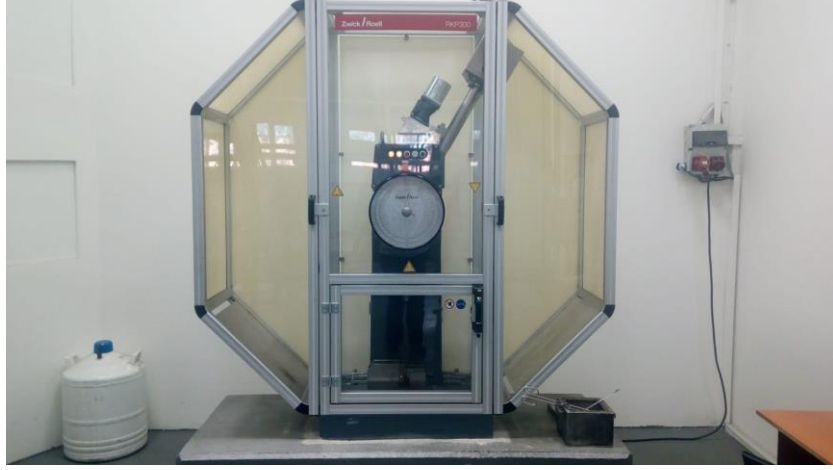
Şekil 3.3: Kronometre

Kaynak yapılırken kaynağa giren ısı girdisini hesaplamak amacıyla kaynak süresi kronometre (CATIGA CG-03) yardımıyla hesaplanmıştır.



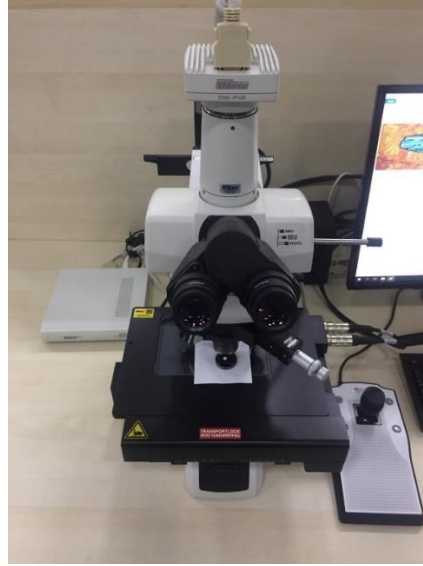
Şekil 3.4: Çekme Test Cihazı

Kaynağı yapılmış numunelerin mekanik özelliklerini ölçmek gözlemlemek amacıyla çekme test cihazı (Zwick/Roell Z600) kullanılmıştır.



Şekil 3.5: Çentik Darbe Test Cihazı

Numunelerin eksi sıcaklıklardaki darbe enerjilerini incelemek amacıyla çentik darbe test cihazı (Zwick/Roell RKP300) kullanılmıştır.



Şekil 3.6: Optik Mikroskop

Parçaların makro görüntülerini ve yüzeylerini görebilmek için optik mikroskop (Nikon DS-F12) kullanılmıştır.



Şekil 3.7: CTOD Test Cihazı [47]

Numunelerin CTOD değerlerini bulabilmek amacıyla CTOD test cihazı (Instron 8802) kullanılmıştır.



Şekil 3.8: Termometre

Çentik darbe testinden önce numunelerin daha önceden belirlenmiş olan eksi sıcaklıklara inmesini kontrol etmek için termometre kullanılmıştır.



Şekil 3.9: CO2 Tüpü

Çentik darbe testinden önce numunelerin daha önceden belirlenmiş olan eksi sıcaklıklara inmesini sağlamak için CO2 kullanılmıştır.



Şekil 3.10: Isı Ölçer

Kaynak yapılırken kaynak arası paso sıcaklığını kontrol etmek amacıyla lazerli ısı ölçer (LYK BGM 1650) kullanılmıştır.

3.3 Deneyin Yapılışı

Bu çalışmada, elektrik ark kaynağı yöntemi kullanılarak S355JR çeliğine Tempo B65 bazik elektrotu ile alın kaynağı yöntemiyle kaynak yapılmıştır. Kaynakta akım olarak DC (+) kullanılmıştır. Farklı reçeteye ve farklı kimyasal yapıya sahip elektrotlar

seçilmiştir. 3 farklı kodlanmış elektrot tipi vardır. Bu kodlar; 6356, 6357, 6360'dır. 6356 kodlu elektrotun içerisine fazladan Si ilavesi yapılmıştır. 6357, elektrotun Si miktarı düşürülmüştür. 6360 elektrotunun ise, içerisine tane inceltici olarak Ti eklenmiştir.

6357 kodlu elektrota ekstra olarak, verim sağlayıcı bileşenler, cüruf yapıcılar eklenirken 6356 kodlu elektrota ise alaşımlayıcılar eklenmiştir. 6360 kodlu elektrot için ise ekstra olarak sadece tane inceltici görevi görmesi amacıyla eser miktarda Ti eklenmiştir.

Bazık elektrotlar higroskopik bir yapıya sahip olduklarından dolayı, kaynak işleminde kullanılmadan önce ısıtma işlemine tabi tutulurlar. Fırınlarda 2 saat boyunca 250°C'de tutulduktan sonra ön ısıtma fırınlarında kendi bilemişine ve örtü reçetesine göre farklı sıcaklıklarda muhafaza edilirler. Tempo B65 elektrotlarının tipik kaynak dikişlerinin %bileşimi ve mekanik özellikleri Çizelge 3.4 ve 35'te verilmiştir. Her elektrot için toplam 10 sıra kaynak yapılmıştır ve 9 sırada 3 paso çekilirken son kapatma sırasında 4 paso çekilmiştir.

Çizelge 3.4: GeKa Tempo B65 elektrotu ile kaynağı yapılan tipik kaynak dikişinin % bileşimi

%C	%Si	%Mn	%Ni	%Mo	%Diğer
0.06	0.3	1.2	0.8	0.35	97.29

Çizelge 3.5: GeKa Tempo B65 elektrotu ile kaynağı yapılan tipik kaynak dikişinin mekanik özellikleri

Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	%Uzama	Darbe Enerjisi (-60°C)
Min. 550	630-750	Min. 22	Min. 47

Üç elektrotun da kaynak dikişlerinin %kimyasal bileşimleri Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.6: GeKa Tempo B65 elektrotu ile kaynakları yapılmış olan numunelerin % kimyasal bileşimi

Elektrot	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Ni	%Mo	%Cu	%Ti	%V	%Al
6357	0.065	0.447	1.3	0.01	0.05	0.035	0.96	0.192	0.065	0.008	0.017	0.001
6360	0.067	0.477	1.511	0.026	0.012	0.035	0.864	0.214	0.030	0.014	0.021	0.004
6356	0.078	0.63	1.45	0.019	0.007	0.047	0.96	0.2	0.057	0.011	0.017	0.004

6357 ile 6360 kodlu bazik elektrotların deney parametreleri aynı olduğundan dolayı deney süreçleri birlikte işlenecektir. Elektrotlara 10 sıra kaynak yapılmıştır. 10 sıra kaynak yapılırken her pasonun ısı girdilerinin hesaplanması amacıyla kaynak hızı, kaynak amperi ve kaynak voltajı gözlemlenmiştir. Elektrotların ön ısıtma sıcaklığı 80°C iken pasolar arası sıcaklığı 130°C'dir. İki elektrotun da ısı girdileri Çizelge 3.7 ve 3.8' de verilmiştir. Her paso kaynağı sonrasında pasolar arası sıcaklığın 130°C'ye düşmesi için 5 er dakika beklenilmiştir.

$$\text{Isı girdisi} \left(\frac{\text{J}}{\text{mm}} \right) = \frac{\text{Akım (A)} \times \text{Gerilim V} \times \text{Kaynak süresi(sn)}}{\text{Kaynak uzunluğu(mm)} \times 1000}$$

Çizelge 3.7: 6357'nin ısı girdisi değerleri

Sıra	Amper (A)	Voltaj (V)	Kaynak süresi(saniye)	Isı girdisi(J/mm)
1	134	34.7	143	1.662
2	132	34.4	113	1.282
3	131	34.4	130	1.464
4	131	34.7	124	1.409
5	130	34	122	1.348
6	130	34.4	127	1.419
7	130	34	134	1.480
8	129	34.7	138	1.544
9	128	33.7	120	1.294
10	128	33.2	93	0.988

Çizelge 3.8: 6360'ın ısı girdisi değerleri

Sıra	Amper (A)	Voltaj (V)	Kaynak süresi (saniye)	Isı girdisi (J/mm)
1	132	37	123	1.501
2	133	35	110	1.280
3	130	34	125	1.381
4	131	34	134	1.492
5	131	34	132	1.469
6	131	35	127	1.455
7	129	34	134	1.469
8	129	35	138	1.557
9	129	33	115	1.223
10	128	33	68	0.707



Şekil 3.11: Tempo B65 bazik elektrotu ile yapılan deney çalışması

6356 kodlu bazik elektrotta da aynı şekilde 10 sıra kaynak yapılmış ve her sıranın ısı girdisini hesaplamak amacıyla kaynak süresi, kaynak amperi ve kaynak voltajı gözlemlenmiştir. Elektrotun ön ısıtma sıcaklığı 100°C iken pasolar arası sıcaklığı

130°C'dir. 6356'nın ısı girdileri Çizelge 3.9'da verilmiştir. Her paso kaynağı sonrasında pasolar arası sıcaklığın 130°C'ye düşmesi için 5 er dakika beklenilmiştir.

Çizelge 3.9: 6356'nın ısı girdisi değerleri

Sıra	Amper (A)	Voltaj (V)	Kaynak süresi (saniye)	Isı girdisi (J/mm)
1	129	35	113	1.275
2	126	34	113	1.210
3	122	34	118	1.223
4	122	33	111	1.117
5	132	34	118	1.323
6	131	34	125	1.391
7	132	33	125	1.361
8	131	33	121	1.307
9	132	33	119	1.295
10	126	33	65	0.675

Kaynak işlemleri tamamlandıktan sonra üç farklı kaynak parçaları gerekli mekanik ve optik testlerle incelenmesi amacıyla o testlerin numune standartlarına göre işlenir. Her test için ayrı ayrı numune boyutları oluşturulur. Numunelere sırasıyla, çekme, çentik darbe testi ve optik mikroskop testi uygulanır.

3.4 Karakterizasyon Çalışmaları

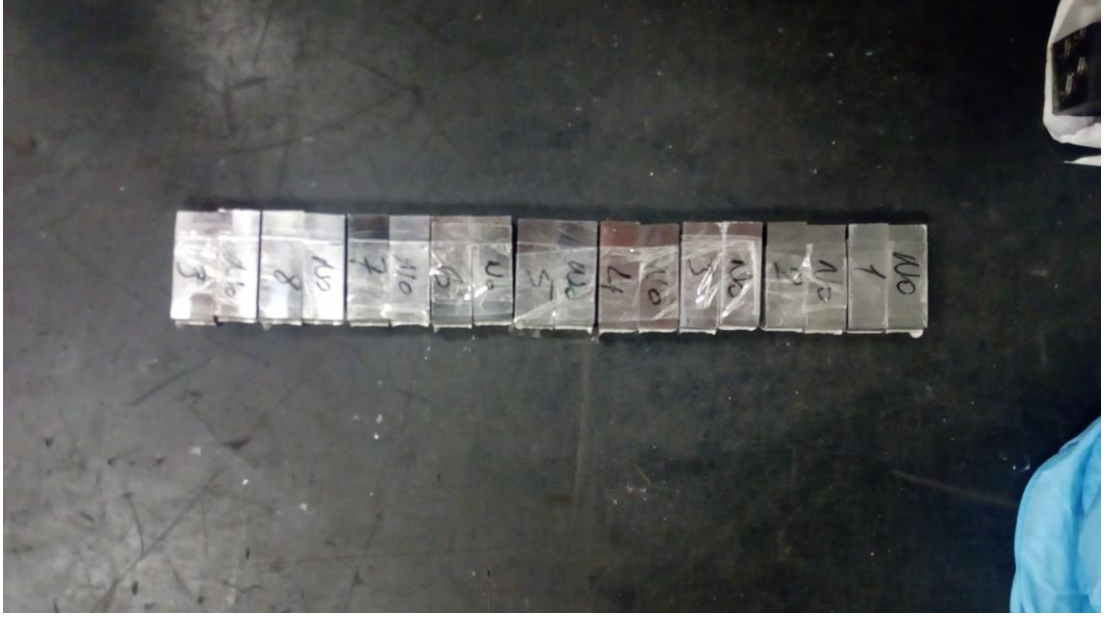
İlk olarak numuneler çekme testine sokulmuştur. Daha önceden de belirtildiği gibi numuneler işlenirken, ASTM E8 çekme testi standartına göre boyutlandırılmıştır. Numunelerin çekme testine sokulmasındaki asıl amaç; Kaynak sonrası oluşan kaynak dikiş kısmının mekanik özelliklerinin istenilen ortama uygun olup olmadığını gözlemlemektir. Sırasıyla numuneler, 6357, 6360 ve 6356 olmak üzere çekme testine sokulmuştur. Bu testte numunelerin akma dayanımları, çekme dayanımları ve %uzama değerleri gözlemlenmiştir. Bazik elektrot ile kaynağı yapılmış düşük

alaşımlı yüksek mukavemetli malzemenin tipik mekanik özellikleri daha önceden belirtilmiştir ve iki farklı sonuç sonuçlar kısmında karşılaştırılacaktır.



Şekil 3.12: Çekme testine sokulan deney numunesi

Çekme testinden sonra, numunelere çentik darbe deneyi uygulanır. Numuneler işlenirken çentik darbe deneyi standartlarından birisi olan ASTM E23 standardına göre boyutlandırılmıştır. Numunelerin çentik darbe deneyine sokulmasındaki asıl amaç; Eksi sıcaklıklarda çeliklerin darbe dirençlerini gözlemlemektir. Sırasıyla numuneler, 6357, 6360 ve 6356 olmak üzere deneye sokulmuştur. İlk olarak deney numuneleri CO₂ yardımıyla bir kaptta -60°C' ye kadar soğutulmuştur. 10 dakika beklendikten sonra deneye başlanmıştır. Bazik elektrot ile yapılmış düşük alaşımli yüksek mukavemetli tipik malzemenin eksi sıcaklıklardaki darbe direnci daha önceden belirtilmiş ve iki farklı sonuç sonuçlar kısmında bahsedilecektir.



Şekil 3.13: Çentik darbe testine sokulmuş deney numuneleri

Çentik darbe deney numunelerinin yüzeyleri daha sonra optik mikroskopta gözlemlenmiştir. Makro görüntülerini görebilmek amacıyla her üç numunenin de kaynak dikişleri kesilerek alınmıştır. Üç numunenin de optik mikroskopta kaynak yüzeyleri gözlemlenmiştir.

4 SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Elektrik ark kaynağı ile kaynağı yapılan numunelere daha sonra çekme ve çentik darbe testleri uygulanıp kaynak dikiş yüzeyinin görüntüsü de optik mikroskop yardımıyla gözlemlenmiştir. Numunelere ilk olarak çekme testi uygulanmıştır. Tipik olarak GeKa Tempo B65 elektrotundan istenen minimum akma ve çekme dayanımı ve darbe dirençleri başarıyla sağlanmıştır. Her üç elektrotun da akma, çekme ve darbe dirençleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1: GeKa Tempo B65 elektrotu ile kaynakları yapılmış olan numunelerin mekanik özellikleri

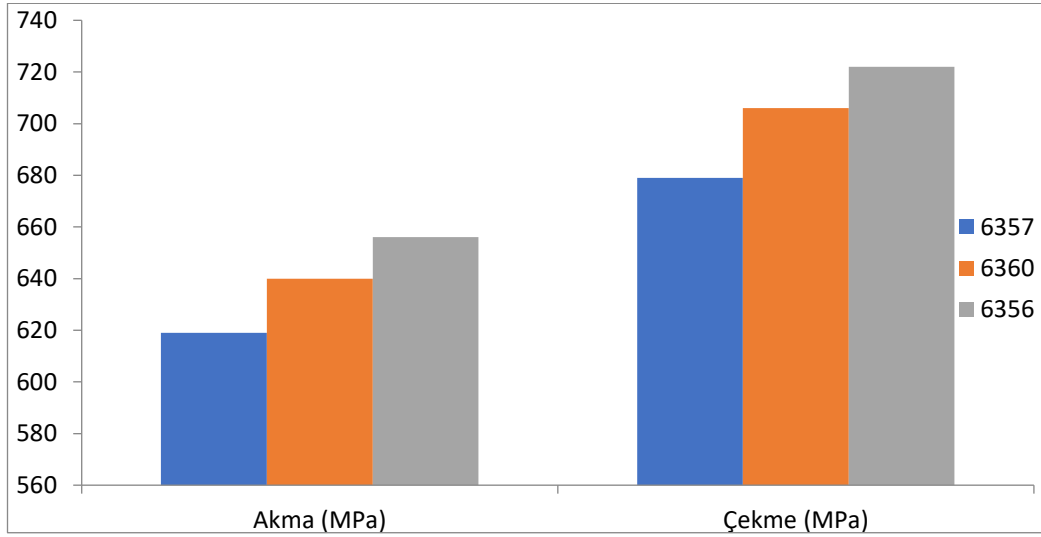
Elektrot	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	%Uzama	Darbe Enerjisi (-60°C) (J)
6357	619	679	23	79
6360	640	706	22	63
6356	656	722	22	62

Bu çizelgeye göre; 6357’nin -60°C’deki akma ve çekme dayanımı değerleri en düşük iken darbe direnci değerleri en yüksektir. 6357’nin grafit yapısına sahiptir. Kaynak dikişlerinde önemli detaylar arasında kaynak bölgesine giren ısı girdisi ve kaynak salınımı da yer alır. Bu faktörlere bakıldığında zaman 6357’nin ısı girdisi değerleri 6360 ve 6356 kodlu elektrotlara göre çok daha iyidir.

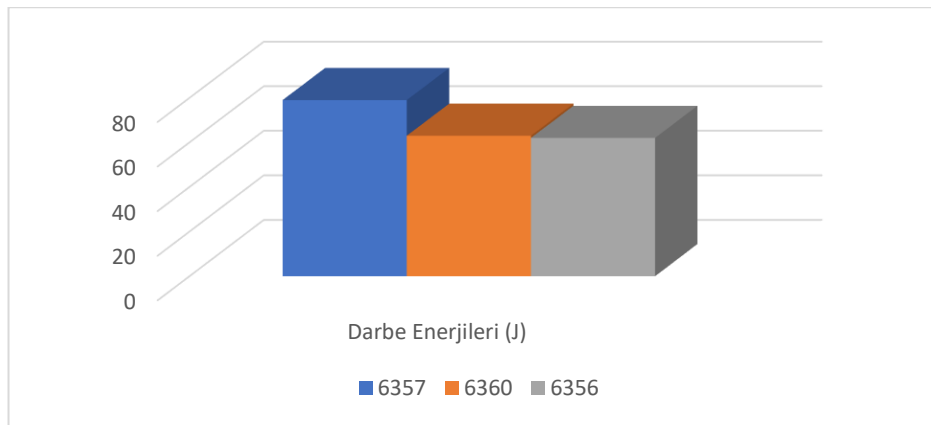
6360 kodlu elektrota tane inceltici olarak küçük miktarda Ti ilavesi yapılmıştır. Ti ilavesinin etkisi Çizelge 4.1’e bakıldığında görülebilmektedir. Ti ilavesiyle kaynak dikişinin akma ve çekme dayanımları 6357’ye göre artış gösterirken darbe dirençlerinde düşüş meydana gelmiştir. Si tane inceltici bir elementtir ve malzemelerin tane boyutları incelidikçe çekme ve akma dayanımı artar. Ancak burada görülüyor ki çekme ve akma dayanımlarında artış gözükürken, %uzama ve darbe direnci miktarlarında düşüşler olmuştur. 6357’de %uzama miktarı 23 mm iken

6360'da 22 mm, 6357'de darbe direnci 79 J iken, Si ilave edilmiş ince taneli 6360'da ise 63 J olmuştur.

6356 kodlu elektrotta Silisyumun tam olarak kaynak dikişine etkisi görülmek istendi. Bu yüzden 6356'ya 6357'ye göre %0.19 oranının Si ilavesi yapılmıştır. Sonuçlara bakıldığında 6356 ile 6360 elektrotları arasındaki sonuçlarda büyük farklılıklar olmadığı görülmüştür. 6356 ve 6360 arasındaki asıl fark akma ve çekme dayanımlarında görülmüştür. 6360 ve 6356 için; Akma dayanımı 640 MPa'dan 656 MPa'ya çekme dayanımı ise 706 MPa'dan 722 MPa'ya yükselmiştir. %uzama ve darbe direnç değerleri neredeyse aynıdır. Her üç elektrotunda akma ve çekme dayanımları ve darbe dirençleri grafiksel olarak Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



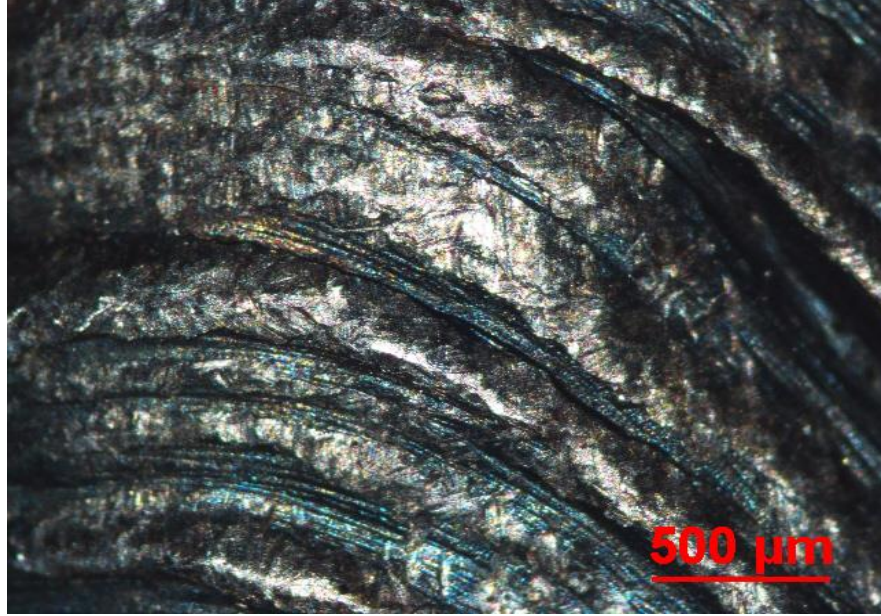
Şekil 4.1: GeKa Tempo B65 elektrotu ile kaynakları yapılmış olan numunelerin çekme ve akma dayanımlarının grafik olarak gösterimi



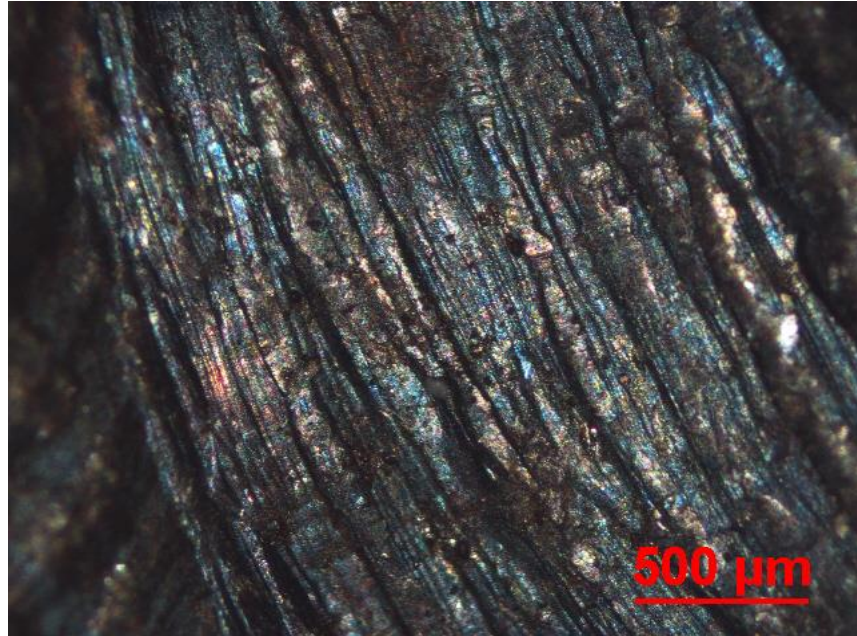
Şekil 4.2: GeKa Tempo B65 elektrotu ile kaynakları yapılmış olan numunelerinin darbe enerjilerinin grafik olarak gösterimi

Tüm elektrotları birlikte karşılaştıracak olursak Si miktarı düşürülen 6357 kodlu elektrot en yüksek darbe enerjisine sahip olmuştur. (79 J) Tane inceltici kullanılan 6360 kodlu elektrotun darbe enerjisi 63 J, Si miktarı arttırılan 6356 kodlu elektrotun darbe enerjisi 62 J'dür

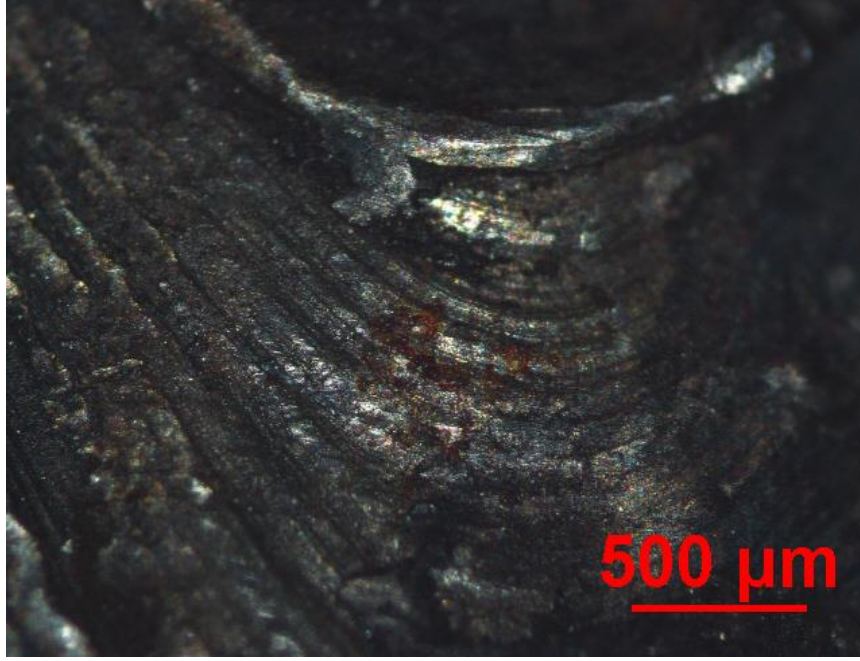
Her üç elektrotunda sırasıyla makro fotoğrafları Şekil 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.3: (a) 6356 kodlu elektrotun makro görüntüsü



(b) 6357 kodlu elektrotun makro görüntüsü



(c) 6360 kodlu elektrotun makro görüntüsü

CTOD Testi -10°C’de ISO 15653 standardına göre yapılmıştır.

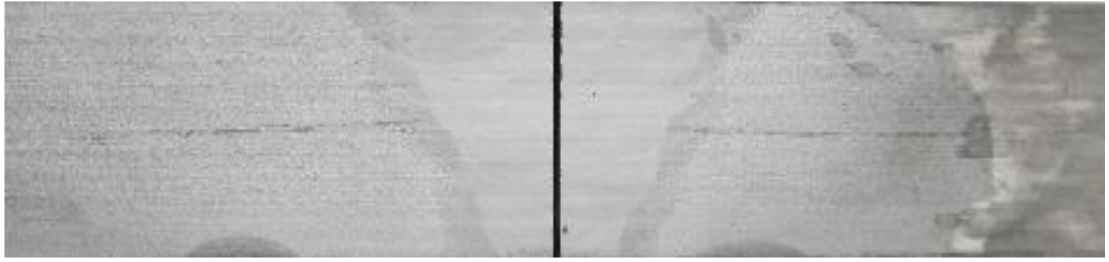
Çizelge 4.2: CTOD Test Değerleri

Oda Sıcaklığındaki Akma Dayanımı (MPa)	550	Test Sıcaklığındaki Akma Dayanımı (MPa)	572
Oda Sıcaklığındaki Çekme Dayanım (MPa)	630	Test Sıcaklığındaki Çekme Dayanımı (MPa)	656
Mesnet Mesafesi (mm)	64	Numune Tipi	SENB
Ön Çatlak Sıcaklığı	RT	Ön Çatlak Son Yüğü (N)	4750
Bıçak Tipi	Integral	Bıçak Kalınlığı (mm)	0
Test Hızı (mm/dak)	1.50	Yer Değiştirme Kontrolü	Yer değiştirme

Çizelge 4.3: Numune Bilgileri

	6356	6357	6360
Çatlak Düzlem Konumu	NP	NP	NP
Çentik Pozisyonu	Kaynak Yeri	Kaynak Yeri	Kaynak Yeri
Kalınlık (mm)	15.90	15.87	15.89
Genişlik (mm)	15.98	16.00	15.98
Boyutsal Kontrol	Geçerli	Geçerli	Geçerli

Her bir elektrotun test öncesi metalografik fotoğrafları Şekil 4.4, 4.5 ve 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.4: 6356 Test Öncesi Metalografik Fotoğrafi



Şekil 4.5: 6357 Test Öncesi Metalografik Fotoğrafi



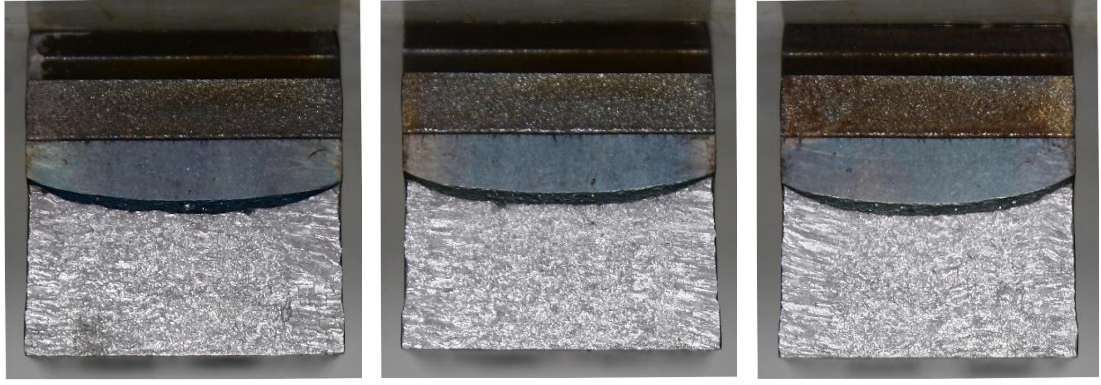
Şekil 4.6: 6360 Test Öncesi Metalografik Fotoğrafı

CTOD testi sonuçları ve çatlak boyu ölçümleri Çizelge 4.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.4: CTOD testi sonuçları ve çatlak boyu ölçümleri

	6356	6357	6360
İşlenmiş Çentik Boyu (mm)	5.50	5.50	5.50
İlk Çatlak Boyu (mm)	8.09	7.98	8.24
Ön Çatlak Boyu (mm)	2.59	2.48	2.74
İlk Bağlı Çatlak Boyu (a ₀ /W)	0.51	0.50	0.52
Geçerlilik	Geçerli	Geçerli	Geçerli
Son Çatlak Boyu (mm)	8.61	8.52	8.77
Ortalama Çatlak Uzaması (mm)	0.51	0.54	0.54
Kırılma Tipi (C,U,M)	M	M	M
Ekstansometre Deplasmanı (mm)	0.97	1.14	1.01
CTOD Değerindeki Yük (kN)	15.89	16.34	15.30
CTOD Değeri (mm)	0.299	0.355	0.303

Elektrotların kırılma yüzeyleri incelenmiştir. Fotoğrafları Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



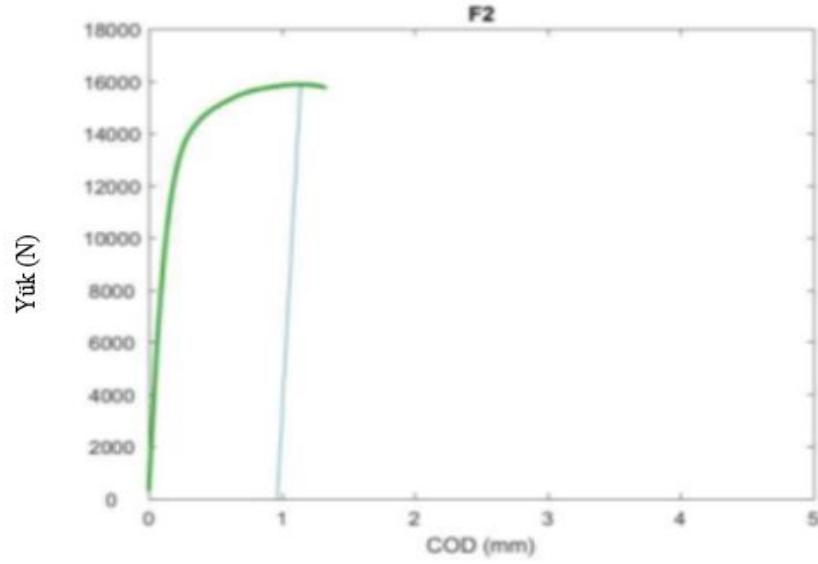
(a)

(b)

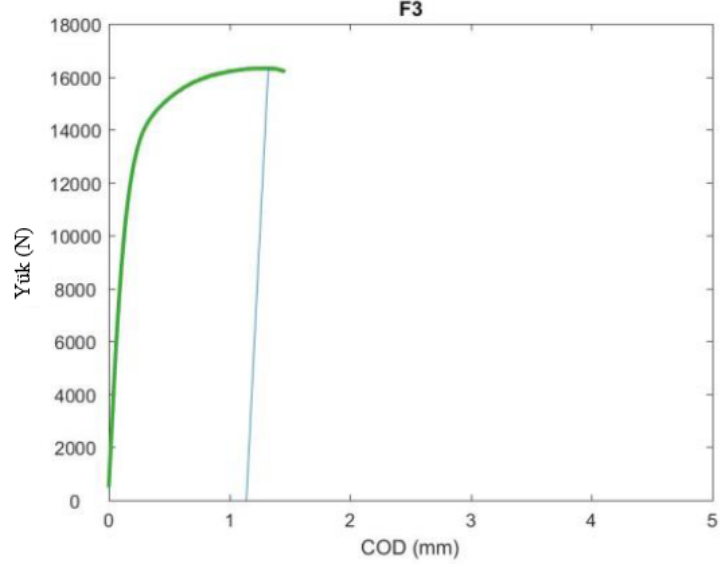
(c)

Şekil 4.7: Elektrotların Kırılma Yüzeyleri (a) 6356, (b) 6357, (c) 6360

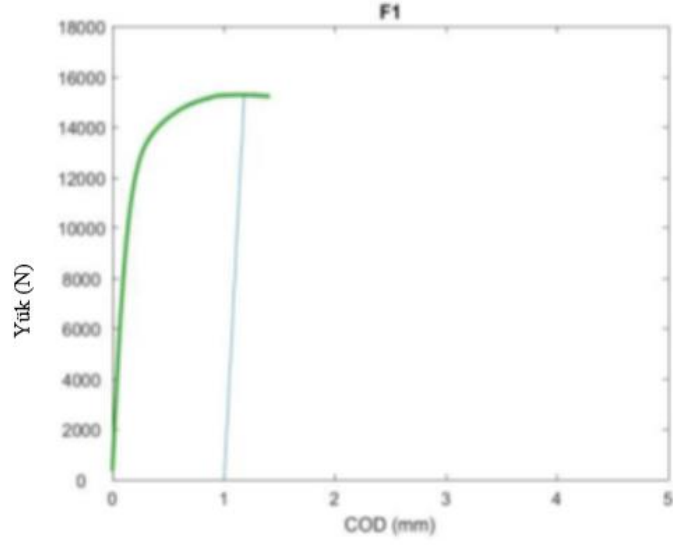
CTOD testi sonucunda elektrotların kırılma eğrileri şekil 4.8, 4.9 ve 4.10 da verilmiştir.



Şekil 4.8: 6356 kodlu elektrotun kırılma eğrisi



Şekil 4.9: 6357 kodlu elektrotun kırılma eğrisi



Şekil 4.10: 6360 kodlu elektrotun kırılma eğrisi

Bu sonuçlara göre en iyi CTOD değeri 6357 kodlu elektrotta gözlemlenmiştir. Daha önceden de en iyi çentik darbe direncine sahip olan elektrot 6357'ydi.

GENEL SONUÇLAR

Deney sonuçları genel olarak gözlenip incelendiğinde düşük alaşımlı yüksek mukavemetli çeliklerin kaynağında malzemenin tane boyutunun incilmesi ve Si miktarının arttırılmasıyla kaynak malzemesinin mekanik özelliklerinde sadece akma ve çekme dayanımlarına olumlu yönde etki ettiği, darbe direncine ise olumsuz yönde etki ettiği gözlemlenmiştir. Elbette buradaki tek parametre kimyasal bileşim değildir.

Ti ilavesi ve tane inceltilmesinin darbe dirençlerine pozitif yönde etki etmemesinin bir sebebi de ısıl çevrimlerdir. Kaynak yapılırken kaynağa giren amper ve voltaj miktarıyla birlikte kaynak süresi ısı girdisini belirlenir ve ısı girdisi bu konuda önemli bir parametredir. Kaynak yapıldıktan sonra kaynak bölgesi pasolar arası sıcaklık değerine düşünceye kadar beklenir. Bu bekleme esnasında kaynak bölgesinden ısı çıkışları olur. Kaynak esnasında giren ısı soğuma esnasında kaynak bölgesinden çıkar. Isı girişi ve ısı çıkışı kaynak dikişinin mukavemeti açısından önemlidir. Kaynak parçasına giren ısı girdileri ile ısı çıkışlarının dengeli ve yüksek olması darbe direncine olumlu yönde etki ettiği gözlemlenmiştir.

CTOD testi sonucunun, çentik darbe deney sonucu ile paralellik gösterdiği gözlemlenmiştir. En iyi çentik darbe direncine sahip olan 6357 kodlu elektrot, CTOD testinde de en iyi CTOD değerine sahip olmuştur.

5 KAYNAKÇA

1. ANIK, Selâhaddin. *KAYNAK TEKNİĞİ EL KİTABI*. 1991.
2. Cary, Howard B. *Modern Welding Technology*. 1998.
3. [Çevrimiçi] 18 12 2019. <http://w3.bilecik.edu.tr/makine/wp-content/uploads/sites/27/2016/12/kaynakteknigi-f%C3%B6y-notu.pdf>.
4. ANIK, Selâhaddin, TÜLBENTÇİ, Kutsal ve KALUÇ, Erdinç. *ÖRTÜLÜ ELEKTROD İLE ELEKTRİK ARK KAYNAĞI*. İSTANBUL, 1991.
5. [Çevrimiçi] [Alıntı Tarihi: 2019 12 19.] <http://mme.deu.edu.tr/wp-content/uploads/2017/07/Metalikmalzemeler-2hafta.pdf>.
6. Mannan, Sam. Pressure System Design Chapter 12. *Lees' Loss Prevention in the Process Industries*. 2012, s. 522.
7. RameshSingh. Chapter 6 - Classification of Steels. *Applied Welding Engineering*. 2016, s. 57-64.
8. Singh, Ramesh. Effects of Alloying Elements Chapter 2. *Applied Welding Engineering: Processes, Codes, and Standards*. 2016, s. 219-220.
9. *Influence of welding procedure and PWHT on HSLA steel weld metals*. Jorge Carlos Ferreira Jorge, ve diğerleri. 2018.
10. [Çevrimiçi] Detay Kalite Sistemleri, 2014 06 01. [Alıntı Tarihi: 2019 12 20.] , <http://www.detayquality.com/teknik/46.pdf>.
11. IŞIK, Ali Oğuz. Mag Kaynağında Özlü Tel Elektrod Tipinin Kaynak Dikişi Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi Yıldız Teknik Üniversitesi. Haziran 2014.
12. ÇAPIN, Hasan Fehmi. S235 JR Alaşimsız Çelik Boruların Dik Pozisyonda Orbital Kaynak Cihazı İle Birleştirilmesi Ve Uygulamanın Optimizasyonu İstanbul Teknik Üniversitesi. İstanbul, 2014.
13. Antonini, JM. Health Effects Associated with Welding . s. 50.
14. *Development of novel MIG welding process with duplex current feeding*. Xuyang Chen, Gang Yu, Xiuli He, Shaoxia Li, Zhiyong Li. 2019.

15. K lahlı, Emin. *KAYNAK BİLİMİ*. 2, 1988, 2 .
16. ZHANG, Z.D. CHAPTER 13 Variable polarity plasma arc welding. *Welding and Joining of Magnesium Alloys*. 2010.
17. *Metal flow of weld pool and keyhole evolution in gas focusing plasma*. Li, Tian Qing Lu Chen, Yu Zhang, Xi Mou Yang, Yu Cheng Lei. 2019.
18. Muncaster, Peter W. CHAPTER 3 Basic TIG welding requirements. *A Practical Guide to TIG (GTA) Welding*. 1991, s. 15.
19. *Design And Development Of Cao–Sio2–Caf2 And Cao–Sio2–Al2O3 Based Electrode Coatings To Weld Low Alloy Ferritic Steels For Power Plant Applications* . Mahajan, Sumit ve Chhibber, Rahul. 2019.
20. G ls z, A. *G ls z A. (2007)  zli Tel Elektrotların  nemi ve Kaynak  zellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Universitesi* . 2007.
21. Kahraman, Fatih. *Masif Ve  zli Telle Yapılmış Gazaltı Kaynak Dikişlerinin Karşılaştırılmalı Olarak İncelenmesi Dokuz Eylül Üniversitesi*,. İzmir, 2002.
22. Houldcroft, J. ve John, R. *Welding and cutting*. 2001.
23. *Urinary fluoride concentration as an estimator of welding fume exposure from basic electrodes*. B Sj rgren, L Hedström, G Lindstedt. 1984, British Journal of Industrial Medicine.
24. BAKANLIđI, T.C MİLLİ EğİTİM. Selülozik ve Bazik Elektrotlarla Kaynak. *Megep*. Ankara, 2011.
25. OğUZ, Burhan. *Ark Kaynağı Elektrod Standartları*. 1989.
26. * rt li Elektrot Ark Kaynağı Ve Mığ Kaynağında Akım Şiddetinin Kaynak N fuziyetine Etkisinin İncelenmesi*. ÇEVİK, Bekir. 2, Düzce, 2013, İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, Cilt 2.
27. *Laboratory Experiments Tensile Testing*. Khayal, Osama. Atbara. 2019.
28. Bernt S.Aadn y, Reza Looyeh. Chapter 4 Theory of Elasticity. *Petroleum Rock Mechanics*. 2019, s. 41.
29. [ evrimiçi] [Alıntı Tarihi: 25 12 2019.] <https://docplayer.biz.tr/362707-Cekme-deneyi-1-malzeme-muhendisligi-bolumu-1-deneyin-amaci.html>.
30. *ISO 6892-1 VE ASTM E8  ekme Deney Standartları Arasındaki Farklılıklar*. Haldun DİZDAR, Bülent AYDEMİR, Cemal VATAN. Kocaeli, 2018.
31. Aktař, Mehmet. Malzeme Deneyleri. [ evrimiçi] [Alıntı Tarihi: 26 12 2019.] <http://kisi.deu.edu.tr/mehmet.aktas/MMD-3.pdf>.

32. [Çevrimiçi] 26 12 2019. www.maktoloji.com .
33. David R.H.Jones, Michael F.Ashby. Chapter 9 - Yield Strength, Tensile Strength, and Ductility. *Engineering Materials 1*. 2019, s. 155.
34. *Inverse Method for the Analysis of Instrumented Impact Tests of Polymers*. Valeria Pettarin, Patricia Frontini, Guillermo Eliabe. 2003.
35. AÇIKBAŞ, NURCAN ÇALIŞ. Mühendislikte Deneysel Metodlar Dersi, Metalik Malzemelerin Deney Föyü Şeyh Edebalı Üniversitesi . Bilecik, 2014.
36. [Çevrimiçi] [Alıntı Tarihi: 31 12 2019.]
<https://web.itu.edu.tr/~arana/charpyfatigue.pdf>.
37. *Charpy impact testing of metallic selective laser*. Evren Yasa, Jan Deckers, Jean-Pierre Kruth, Marleen Rombouts, Jan Luyten. Leuven, 2013.
38. [Çevrimiçi] 02 01 2020. www.cdn.bartın.edu.tr › makine › darbedeneyleri .
39. *Guide for Recommended Practices to Perform Crack Tip Opening Displacement* . Julián A. Ávila, Vinicius Lima, Cassius O. F. T. Ruchert, Paulo Roberto Mei, Antonio J. Ramirez. 2016.
40. Toygar, Evren. [Çevrimiçi] [Alıntı Tarihi: 02 01 2020.]
http://kisi.deu.edu.tr/evren.toygar/FRACTURE%20MECHANICS/fracture_6news.week.pdf.
41. *Uyumsuz Oluşum (Mis-Matching) Gösteren Kaynaklı Yapıların Kırılma Tokluğuna Etki Eden Faktörler ve Bu Yapılarda CTOD Tasarım Eğrisi Yorumu* . Ay, İrfan. 1995, BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK-MİMARLIK FAKÜLTESİ DERGİSİ.
42. *Development Of Fatigue Ctod Test For Investigation Of Brittle Regions In Welded Joints*. T.Ishikawa, K.Tanaka. 1984.
43. [Çevrimiçi] [Alıntı Tarihi: 02 01 2020.] www.twi-global.com .
44. [Çevrimiçi] [Alıntı Tarihi: 02 01 2020.] www.wmtr.com.
45. Weiyong Wang, Venkatesh Kodur. Chapter 3 - Tensile test on steels at elevated temperatures. *Material Properties of Steel in Fire Conditions*. 2020, s. 44.
46. Gedik Holding. *General Product Catalogue*. s 27.
47. [Çevrimiçi] [Alıntı Tarihi: 10 01 2020.]
<http://www.tientai.com/en/companynews/info.aspx?itemid=417>.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad: Abdullah Koray PEHLİVAN

Doğum Tarihi ve Yeri: Kadıköy / 08.09.1995

E-posta: pehlivanabdullah34@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Lisans: 2017, Cumhuriyet Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği

Yüksek lisans: 2018 Gedik Üniversitesi, Savunma Teknolojileri (Devam ediyor)

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

Waternet Su Hizmetleri A.Ş. 03/2019 – 05/2019

Woongjin Eversky A.Ş. 06/2019 – 09/2019

