

**5XXX-6XXX ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ  
OTOMATİK MIG KAYNAK YÖNTEMİ İLE  
BİRLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**2018  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Emine MERCAN**

**5XXX-6XXX ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ OTOMATİK MIG KAYNAK  
YÖNTEMİ İLE BİRLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Emine MERCAN**

**Karabük Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK**

**Haziran 2018**

Emine MERCAN tarafından hazırlanan “5XXX-6XXX ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ OTOMATİK MIG KAYNAK YÖNTEMİ İLE BİRLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN  
Tez Danışmanı, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 21/12/2018

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

Başkan : Prof. Dr. Ramazan KAÇAR (KBÜ)

Üye : Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Zafer BARLAS (SUBÜ)

İmzası

...../...../2018

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Filiz ERSÖZ  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdür V.



*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*

Emine MERCAN

## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

### **5XXX-6XXX ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ OTOMATİK MIG KAYNAK YÖNTEMİ İLE BİRLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Emine MERCAN**

**Karabük Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN**

**Aralık 2018, 100 Sayfa**

Bu çalışmada, AA 5754 ve AA 6013 türü alüminyum alaşımı malzemeler MIG kaynak yöntemi ile birleştirilmiş ve birleştirmelerin mekanik, korozyon ve mikroyapı özellikleri incelenmiştir. Kaynak işlemleri argon koruyucu gaz ortamında, üç farklı tel ilerleme hızı (akım) ve üç farklı kaynak ilerleme hızında gerçekleştirilmiştir. Kaynak işlemlerinde çapı 1,2 mm olan AWS A510: ER5356 ilave dolgu metali kullanılmıştır. Kaynaklı bağlantıların mekanik özelliklerini belirlemek için kaynaklı numunelere; çekme, eğme, çentik darbe ve sertlik testleri, korozyon dayanımlarının belirlenmesi için elektrokimyasal korozyon testi uygulanmıştır. Ayrıca kaynak bölgesi mikroyapı çalışmaları ile karakterize edilmiştir.

Çekme testleri sonucunda kopmaların kaynak metali ve ısı tesiri altındaki bölgede (ITAB) gerçekleştiği ve uygun parametre seçiminde bağlantı performansının %90'ı aştığı görülmüştür. Eğme testleri sonucunda uygun parametrelerde birleştirilmiş numuneler 180° eğilirken, uygun olmayan parametrelerde ergime sınırından çatlama ve kırılmalar belirlenmiştir. Çentik darbe testleri sonucunda en yüksek tokluk AA 5754 ITAB'dan ölçülmüştür. Birleştirmelerin AA 6013 ITAB'ı ile kaynak metallereinden ölçülen tokluk değerlerinin birbirlerine yakın olduğu belirlenmiştir. Korozyon testi sonuçlarına göre, birleşme hatası (yetersiz ergime) olan numunelerin korozyona daha çabuk uğradığı görülmüştür. Yapılan sertlik testleri sonucunda ise en yüksek sertlik değerleri AA 6013 ITAB'ında ölçülürken onu sırasıyla kaynak metali ve AA 5754 ITAB'ı takip etmiştir. Mikroyapı incelemeleri sonucunda ise tüm kaynak metalinin dentritik yapıya sahip olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Sözcükler :** AA 5754, AA 6013, Alüminyum, MIG kaynağı, mekanik özellikler, korozyon.

**Bilim Kodu :** 915.3.019

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **INVESTIGATION OF THE WELDABILITY OF 5XXX-6XXX ALUMINUM ALLOYS WITH AUTOMATIC MIG WELDING METHOD**

**Emine MERCAN**

**Karabük University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Department of**

**Manufacturing Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN**

**December 2018, 100 pages**

In this study, aluminum alloys AA5754 and AA6013 joined by GMAK method and mechanical, microstructure and corrosion properties of the joints were investigated. Welding process was performed in argon shielding gas with three different wire feeding speeds and welding speeds. The AWS A510: ER5356 filler wire metal with a diameter of 1.2 mm was used in welding process. In order to determine the mechanical properties of the joints, the welded specimens subjected to tensile, bending, fracture toughness and hardness tests. In addition, electrochemical corrosion test was conducted to define corrosion resistance of the specimens and however the welding zone of the specimens characterized by microstructure examinations.

Fractures occurred in weld metal and heat affected zone (HAZ) in the tensile tests. In addition, joint performance exceeded up to 90% under the appropriate used parameters. While the welded samples joined with convenient parameters were bended 180°, the cracks and fractures were occurred on the fusion line boundary due to unsuitable parameters. According to impact toughness test results, the highest toughness value was obtained from HAZ of AA5754. Besides, toughness values evaluated from the HAZ of AA6013 on the joints and weld metal were nearly same. The corrosion tests result showed that the samples with joint defects (insufficient melting) were exposed to corrosion rapidly than the others. With respect to hardness test results, the maximum hardness value was measured from at the HAZ of AA6013 and this was followed by the weld metal and HAZ of AA5754 sequentially. From the point of microstructure inspections, structures of all the weld metals were dendritic.

**Key Word** : AA 5754, AA 6013 Aluminium, MIG welding, mechanical properties, corrosion.

**Science Code** : 915.3.019



## TEŞEKKÜR

Bu alıőmanın planlanması ile araőtırılmasında, yürütölmesi ile oluşumunda ilgisini desteğini esirgemeyen, engin bilgi donanımları ile tecrübelerinden yararlandığım, bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel olarak aydınlatan Sayın Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN'a, yoğun çalıőmalarım sırasında sabır gösteren ailem ve Anadolu Üniversitesi Personel Belgelendirme Birimi çalıőanlarına ve destek olduğu için Aslıhan ÇALIŐ'a, tez aőamalarında yardımlarını esirgemeyen Arő. Gör. Yusuf AYAN, Öğretmen Ali YÜRÜK, KÜSİ (Kamu Üniversite Sanayi İşbirliği) İl Temsilcisi Prof. Dr. Halil Demir'e ve Makine Yüksek Mühendisi Kadir İMDAT'a, korozyon deney çalışmalarında yardımcı olan Osmangazi Üniversitesi Öğretim Üyesi Prof. Dr. Mustafa ANIK'a ve asistanlarına, manevi desteklerini esirgemedен yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<b><u>Sayfa</u></b>
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGE .....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xvi
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	4
ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARI .....	4
2.1.ALÜMİNYUMUN VE ALAŞIMLARININ TARİHİ .....	4
2.2.ALÜMİNYUMUN VE ALAŞIMLARININ TEMEL ÖZELLİKLERİ.....	5
2.3.ALÜMİNYUM ÜRETİM .....	6
2.3.1.Birincil Üretim Cevherden Üretilen Alüminyum .....	6
2.3.2.İkincil Üretim Hurdadan Üretilen Alüminyum .....	7
2.4.ALÜMİNYUMUN ALAŞIMLARININ SINIFLARA AYRILMASI .....	7
2.4.1.Dövme Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması .....	9
2.4.2.Dökme alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması .....	11
2.5.ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ALÜMİNYUMA ETKİSİ .....	12
2.5.1.Bakır .....	13
2.5.2.Silisyum .....	13
2.5.3.Magnezyum .....	13
2.5.4.Çinko .....	14
2.5.5.Krom.....	14
2.5.7.Manganez.....	15

2.5.8.Demir .....	15
2.5.9.Nikel .....	15
2.5.10.Titanyum.....	15
2.5.11.Fosfor.....	15
2.5.12.Lityum.....	16
2.6.ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARININ KAYNAK EDİLEBİLİRLİĞİ .....	16
2.7.ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARININ KOROZYON DAVRANIŞI .....	16
2.7.1.Korozyon Çeşitleri.....	17
2.7.1.1.Homojen Dağılımlı (Üniform) Korozyon .....	17
2.7.1.2.Çukurcuk Korozyonu.....	18
2.7.1.3.Galvanik Korozyonu.....	18
2.7.1.4.Erozyon Korozyonu .....	19
2.7.1.5.Oyuklanma Korozyonu .....	19
2.7.1.6.Kazımalı Korozyon .....	19
2.7.1.7.Tanelerarası Korozyonu.....	20
2.7.1.8.Alaşımsızlaşma Korozyonu .....	20
2.7.1.9.Gerilmeli Korozyonu .....	20
2.7.1.10.Yorulmalı Korozyonu .....	20
2.7.1.11.Kaplama Altı (Tabakalaşma) Korozyonu .....	21
2.8.ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARININ KULLANIM ALANLARI.....	21
2.8.1.İnşaat Sanayinde Kullanımı.....	21
2.8.2.Uçak Endüstrisinde Kullanımı.....	21
2.8.3.Gemi Sanayinde Kullanımı.....	22
2.8.4.Elektrik Sanayinde Kullanımı .....	22
2.8.5.Ambalaj ve Konserve Sanayinde Kullanımı .....	22
2.8.6.Taşıt Araçlarında Kullanımı .....	23
2.8.7.Demiryolu Araçlarında Kullanımı.....	24
2.8.9.Diğer Kullanım Alanları .....	24
BÖLÜM 3 .....	25
MIG-MAG KAYNAĞI.....	25
3.1.KAYNAK DONANIMI.....	26

3.1.1.Güç Ünitesi (Kaynak Akım Üretici) .....	26
3.1.1.1.Sinerjik Darbeli Akım Üreteçleri .....	27
3.1.1.2.İnverter Tipi Akım Üreteçleri .....	28
3.1.2.Kaynak Torcu ve Kablo Grubu.....	29
3.1.3.Koruyucu Gazlar.....	30
3.1.3.1.Argon .....	30
3.1.3.2.Helyum.....	30
3.1.3.3.Argon-Helyum .....	30
3.1.4.Tel Sürme Tertibatı.....	31
3.2.KAYNAK İLAVE TELLERİ .....	31
3.3.KAYNAK PARAMETRELERİ.....	31
3.4.KAYNAK POZİSYONLARI.....	35
3.5.MIG-MAG KAYNAĞININ AVANTAJ VE DEZAVATAJLARI .....	36
3.5.1.Avantajları .....	36
3.5.2.Dezavantajları .....	36
3.6.ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARININ MIG KAYNAĞI .....	37
BÖLÜM 4 .....	40
LİTERATÜR TARAMASI.....	40
BÖLÜM 5 .....	49
DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	49
5.1.DENEY ÇALIŞMALARINDA KULLANILAN MALZEMELER .....	49
5.2.KAYNAK PARAMETRELERİ.....	50
5.3.TEST NUMUNELERİNİN HAZIRLANMASI .....	53
5.3.1.Çekme Deneyi .....	54
5.3.2. Üç Nokta Eğme Deneyi.....	56
5.3.3.Çentik Darbe Deneyi .....	56
5.3.4.Korozyon Deneyi.....	58
5.3.5.Mikrosertlik Testi .....	59
5.3.6.Makroyapı ve Mikroyapı İncelemeleri .....	60

BÖLÜM 6 .....	62
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	62
6.1.ÇEKME DENEYİ .....	62
6.2. ÜÇ NOKTA EĞME DENEYİ .....	70
6.3.ÇENTİK DARBE DENEYİ.....	71
6.4.KOROZYON DENEYİ.....	73
6.5.MİKROSERTLİK ÖLÇÜMÜ .....	78
6.6.MAKROYAPI ve MİKROYAPI .....	81
6.6.1.Makroyapı.....	82
6.6.2.Mikroyapı .....	84
BÖLÜM 7 .....	91
SONUÇLAR .....	91
KAYNAKLAR .....	93
ÖZGEÇMİŞ .....	100

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2.1. Alüminyumun üretim akış diyagramı. ....	6
Şekil 2.2. Korozyon türleri.....	17
Şekil 2.3. Galvanik korozyonun meydana gelmesi için gereken koşullar ve mekanizması. ....	19
Şekil 3.1. MIG-MAG kaynağının prensibi. ....	25
Şekil 3.2. MIG kaynak donanımı. ....	26
Şekil 3.3. Ark uzunluğunu içten ayar yardımı ile ayarlanması. ....	27
Şekil 3.4. MIG kaynağında darbeli akımın zamana bağlı değişimi. ....	28
Şekil 3.5. Alışılmış ve inverter türü akım üreteçlerinin prensip şeması. ....	28
Şekil 3.6. Argon ve helyum gazlarının kaynak dikiş şekilleri. ....	31
Şekil 3.7. MIG-MAG yönteminde sağa ve sola kaynak halinde dikiş formu. ....	33
Şekil 3.8. Serbest tel uzunluğunun dikiş formuna etkisi.....	34
Şekil 3.9. Alüminyum ve alaşımlarının kaynağında kullanılan kaynak ağızları.....	39
Şekil 5.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan kaynak makinası. ....	52
Şekil 5.2. 125 A kaynak akımında birleştirilmiş kaynaklı numune görüntüleri. ....	52
Şekil 5.3. 140 A kaynak akımında birleştirilmiş kaynaklı numune görüntüleri. ....	53
Şekil 5.4. 155 A kaynak akımında birleştirilmiş kaynaklı numune görüntüsü. ....	53
Şekil 5.5. Test numunelerinin hazırlanması (şematik).....	54
Şekil 5.6. TS EN ISO 4136'ya göre hazırlanmış çekme deney parçasının boyutları. ....	55
Şekil 5.7. Ana malzemelerden hazırlanan çekme numuneleri. ....	55
Şekil 5.8. Kaynaklanmış çekme deneyi numunelerinin görüntüleri. ....	55
Şekil 5.9. Çentik darbe deneyinin şematik gösterimi.....	57
Şekil 5.10. Çentik darbe numuneleri.....	57
Şekil 5.11. Standart çentik darbe deneyi ölçüleri.....	57
Şekil 5.12. Devontras marka çentik darbe cihazı.....	58
Şekil 5.13. Gamry Reference 3000 marka korozyon ölçüm cihazı.....	59
Şekil 5.14. Kaynaklı malzemenin sertlik ölçüm noktaları. ....	60
Şekil 5.15. Shimudzu marka sertlik ölçme cihazı.....	60
Şekil 6.1. Farklı parametrelerde birleştirilmiş kaynaklı numunelerin	

	kopma bölgeleri.....	63
Şekil 6.2.	Kırık yüzey görünümleri a) AA 5754 ana malzeme, b) 3 nolu, c) 4 nolu ve d) 7 nolu numune.....	64
Şekil 6.3.	AA 5754 ve AA 6013 alüminyum alaşımlı esas metalin çekme dayanımı ve uzama değerleri grafiği.....	66
Şekil 6.4.	1 nolu numune grafiği (3 ayrı çekme grafiği).....	66
Şekil 6.5.	7 nolu numune grafiği (3 ayrı çekme grafiği).....	67
Şekil 6.6.	Kaynaklı birleştirmelere ait ortalama çekme dayanımı ve % uzama grafiği.....	67
Şekil 6.7.	Üç nokta eğme sonrası numune görüntüleri.....	70
Şekil 6.8.	Çentik darbe deney sonuçları grafiği.....	72
Şekil 6.9.	1 nolu numuneye ait korozyon ölçümü.....	74
Şekil 6.10.	2 nolu numuneye ait korozyon ölçümü.....	75
Şekil 6.11.	3 nolu numuneye ait korozyon ölçümü.....	75
Şekil 6.12.	4 nolu numuneye ait korozyon ölçümü.....	75
Şekil 6.13.	5 nolu numuneye ait korozyon ölçümü.....	76
Şekil 6.14.	6 nolu numuneye ait korozyon ölçümü.....	76
Şekil 6.15.	7 nolu numuneye ait korozyon ölçümü.....	76
Şekil 6.16.	Korozyon testi sonucundaki toplu malzeme analisti.....	77
Şekil 6.17.	Kaynak bölgesi sertlik grafiği.....	79
Şekil 6.18.	Kaynak metali ortalama sertlik değerleri.....	80
Şekil 6.19.	1 nolu numunenin makro kök ve makro kesit görüntüsü.....	82
Şekil 6.20.	3 nolu numunenin makro kök ve makro kesit görüntüsü.....	82
Şekil 6.21.	Kaynak dikişi makro görüntüleri.....	83
Şekil 6.22.	Ana malzeme mikroyapıları.....	84
Şekil 6.23.	Ana malzemeler, ITAB'lar ve kaynak metali görüntüleri.....	85
Şekil 6.24.	Birleştirilmiş numunelerin kaynak metali ve geçiş bölgesi mikroyapıları.....	86
Şekil 6.25.	Kaynak metali mikroyapıları.....	88

## ÇİZELGE

### Sayfa

Çizelge 2.1. Alüminyum alaşımları için tanımlama sistemi. ....	8
Çizelge 2.2. Alüminyum alaşımların için temper seri numaraları. ....	12
Çizelge 3.1. Kaynak parametrelerinin dikiş boyutlarına etkisi. ....	32
Çizelge 3.2. AWS 5.10'a göre alüminyum kaynak ilave telleri.....	38
Çizelge 3.3. DIN 1732'ye göre alüminyum ve alaşımları için kaynak ilave telleri. ....	38
Çizelge 5.1. AA 5754 ve AA 6013 malzemeye ait kimyasal özellikler. ....	50
Çizelge 5.2. AA 5754-H111 ve AA 6013-T6 malzemelere ait mekanik özellikler. ....	50
Çizelge 5.3. Alüminyum alaşımlı tele ait kimyasal özellikler. ....	50
Çizelge 5.4. Alüminyum alaşımlı tele ait mekanik özellikler. ....	50
Çizelge 5.5. Kaynak parametreleri.....	51
Çizelge 5.6. Kaynak makinasının bazı özellikleri.....	52
Çizelge 6.1. Çekme sonuçları. ....	65
Çizelge 6.2. Korozyon sonrası ölçülen Ecorr ve Icorr sonuçları. ....	74
Çizelge 6.3. Kaynaklı bölgenin sertlik sonuçları. ....	78
Çizelge 6.4. Kaynak metali genişlikleri (mm). ....	83



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

Al : alüminyum

Ar : argon

Cu : bakır

H<sub>2</sub> : hidrojen

He : helyum

Mo : molibden

Ni : nikel

Fe : demir

Ti : titanium

Be : berilyum

Si : silisyum

Zn : çinko

## KISALTMALAR

AISI : American Iron and Steel Institute (Amerika Demir ve Çelik Enstitüsü)

AWS : American Welding Society (Amerika Kaynak Topluluğu)

DIN : Deutch Industrie Normen (Alman Endüstri Normları)

EN : European Norm (Avrupa Normu)

IIW : International Institute of Welding (Uluslararası Kaynak Enstitüsü)

ITAB : Isı Tesiri Altında Kalan Bölge

TS : Türk Standardı

GTAK: Gaz Tungsten Ark Kaynağı

GMAK: Gaz Metal Ark Kaynağı

MAG : Metal Active Gas

MIG : Metal İnerit Gas

DC : Doğru Akım

$I_{corr}$  : Korozyon Akımı (hızı)

$E_{corr}$  : Korozyon Potansiyeli

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Alüminyum yer kabuğunda üçüncü sırada yer alan, endüstride hafif oluşları ve korozyon direnci ile tanınan elementtir [1].

1989 yılında ABD’de alüminyum 4.03 milyon ton üretilmiştir. Alüminyum endüstrisindeki seri büyüme ve bu metalin benzersiz özellik kombinasyonuna atfedilmektedir. Alüminyumun bu özellikleri çok yönlü yapı ile mühendislik malzemelerinden birisi yapmaktadır [2]. Alüminyum, son zamanlarda mekanik özelliklerinin avantajlarından ve çelik alaşımlarından sonra en fazla kullanım alanına sahip metalidir. Alüminyumun yaygın kullanımı; ideal ve ekonomik olması, uygun mekanik özellik ve düşük ağırlığı sahip olması, geri dönüşebilir, kolay işlenebilir ve biçimlendirilebilir olması, yüksek elektrik ve ısı iletkenliği olması ve magnetik olmaması gibi özelliklerinden kaynaklanır [3-5].

Alüminyum ve alaşımlarının hafiflik, termal iletkenlik ve yüzey işlemlerine elverişli olması ile korozyona karşı direnç gibi özelliklerinden dolayı otomobil, yapı ve ambalaj sektörleri ilk sıralarda olması ile beraber çok farklı alanlarda kullanılmaktadır [6].

Alüminyum alaşımları teknolojik özelliklerine ve kullanma şartlarına bağlı olarak genellikle dövme ve dökme türü olmak üzere iki ana grupta incelenebilirler. Bu iki grup içinde dövme alüminyum alaşımları dövme ve plastik şekil verme usulleri ile şekillendirilirken, dökme alüminyum alaşımları sadece döküm yoluyla şekillendirilebilir.

Bu iki grup kendi içinde; ısı işlem uygulanabilen ve ısı işlem uygulanamayan alüminyum alaşımları olmak üzere alt bölümlere ayrılır. Isıl işlem uygulanabilen alaşımların mekanik özellikleri soğuk şekil verme ve ısı işlem

vasıtasıyla gerçekleştirilirken, ısı işlem uygulanamayan alaşımlarda sadece soğuk şekil verme ile mukavemet artışı sağlanabilir [7].

1xxx, 3xxx ile 5xxx serisi dövme alüminyum ve alaşımları ısı işlem uygulanamayan sadece şekil değişimi ile sertleşebilen türlerdir. 2xxx, 6xxx ve 7xxx serisi dövme alüminyum ve alaşımları ise ısı işleme tabi tutulabilir. 4xxx serisi ise ısı işleme tabi tutulabilen ve ısı işlem tutulamayan alaşımlar içerir [8]. Alüminyum alaşımlarının bazı serileri iyi derecede kaynaklanabilirken, bazılarının ise ergitmeli kaynak ile birleştirilmesi güçtür. Metal esaslı malzemelerin birleştirme ve dolgu işleminde, kaynak tekniğinin her geçen gün payını artırdığı gözlemlenmektedir. Kaynak kabiliyetinin yüksek olması belirlenen kaynak yöntemi ile uygulanan malzemeye kaynak transferi ile malzeme arasındaki kaynak dikişinin ve birleşmesinin belirli bir standart çerçevesinde olması istenir. Malzemelerin kaynak esnasındaki davranışı, kimyasal bileşimine, üretim metoduna, üretim esnasındaki ve sonrasındaki basamaklarda görmüş olduğu diğer mekanik veya kimyasal işlemlerin etkilerine bağlı olarak davranış sergilemektedir [9].

Alüminyum ve alaşımları birçok ergitmeli kaynak yöntemi ile birleştirilebilir. Fakat bu malzemelerin birleştirilmesinde hızı, ısı iletkenliği ve ergime gücü daha iyi olması, her pozisyonda kaynak edilebilmesi açısından MIG kaynak yöntemi tercih edilmektedir. MIG kaynak yöntemi ile çoğu tüm alüminyum ve alaşımlarına kaynaklı birleştirme yapmak mümkündür [10].

Günümüzde alüminyum ve alaşımlarının birleştirilmesinde en çok kullanılan kaynak yöntemi, ergiyen elektrotla koruyucu gaz veya gaz karışımı atmosferi altında gerçekleştirilen MIG kaynak tekniğidir. MIG gazaltı kaynağı ergiyen elektrot ile yapılan uygulaması ile çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. MIG kaynak yöntemi diğer kaynaklı birleştirme yöntemlerine göre; mekanize edilebilme, daha hızlı çalışma, robot kullanma, her pozisyonda ve kompleks konstrüksiyonlarında kaynaklanabilmesi ile paslanmaz çelik, alüminyum, karbonlu çelik ve bakır gibi bütün metallerin kaynaklanması açısından avantaj sağlamaktadır [11].

Günümüzde üretimde kullanılan birçok kaynak yöntemi vardır. Özellikle demir dışı metallerin ve alaşımlı çeliklerin kaynakla birleştirilmesinde yaşanan sorunlar, değişik kaynak yöntemlerinin geliştirilmesine sebep olmuştur. MIG/MAG kaynak yöntemi de bu amaçla geliştirilmiş kaynak yöntemlerinden biridir. Ayrıca MIG/MAG kaynak yöntemi ile çok ince sac levhaların kaynağı mümkün değildir. Bunun dışında her kalınlıktaki demir esaslı ve demir dışı metallerin alaşımlarının kaynağı mümkündür [12]. MIG/MAG kaynak yöntemi diğer kaynak yöntemlerine nazaran daha iyi nüfuziyete, yüksek verimliliğe ve daha az sıçrama özelliklerine sahiptir. Bu nedenle MIG/MAG kaynak yöntemi diğer kaynak yöntemlerine göre endüstride yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. MIG kaynağı; dolgu metalinin kaynak havuzuna otomatik olarak eklendiği ve asal bir gaz tarafından kaynak bölgesinin korunduğu bir kaynak yöntemidir [13].

5xxx alüminyum alaşımları magnezyum esaslı olup magnezyum oranı arttıkça sertlik ve mukavemet değerleri artmaktadır. Yüzeysel çekme dayanımı, hızlı işlenebilirliği, boyutsal kararlılığı, kaynak edilebilirlik ve iyi bir korozyon dayanımına sahiptir. Bu sebeple deniz vb. ortamlarda çalışacak yapıların imalat işlerinde kullanılmaktadır. 6xxx alüminyum alaşımları magnezyum ve silisyum esaslı olup iyi bir kaynak kabiliyeti, işlenebilirliği ve nispeten iyi korozyon direnci ile orta seviye dayanıma sahiptirler. Ekstrüzyon ile üretilen parçaların imalatında şekillendirilebilirlik kabiliyeti yüksek alaşımlar sıklıkla tercih edilir. Mimari ve inşaat sektöründe yaygın kullanılırlar. Bu çalışmada 5xxx ve 6xxx alüminyum alaşımları otomatik MIG kaynağı ile birleştirilmiş olup çok geniş imalat sektörlerinde kullanılması sebebi ile tercih edilmiştir.

Bu çalışmanın amacı; 5xxx ve 6xxx serisi alüminyum alaşımlarından olan AA5754 H111 ve AA 6013 T6 alüminyum alaşımlarının 1,2 mm kalınlığında A510: ER5356 alaşımlı alüminyum ilave tel ile otomatik MIG kaynak yöntemi ile birleştirilebilirliğinin araştırılmasıdır. Bu amaç ile yedi farklı parametrede deneyler gerçekleştirilmiş ve elde edilen kaynaklı bağlantıların mekanik, korozyon ve mikroyapı özellikleri incelenmiştir. Kaynaklı bağlantılara mekanik olarak çekme, eğme ve darbe dayanımı testleri yapılırken korozyon özelliklerini belirlemek için elektrokimyasal korozyon testleri yapılmıştır. Ayrıca kaynak bölgesinde sertlik ve mikroyapı çalışmaları yapılarak kaynak bölgesi karakterize edilmeye çalışılmıştır.

## BÖLÜM 2

### ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARI

#### 2.1.ALÜMİNYUMUN VE ALAŞIMLARININ TARİHİ

Alüminyum yüzyılı aşkın tarihi ile teknik özelliklerinin sağladığı üstünlükler sebebiyle dünyada ve ülkemizde daha fazla kullanılabilir hale gelmiştir. Tüketimde, alüminyum ve alaşımların demir çelik ile karşılaştırılması duruma gelmesi, son yıllarda elektrik, kimya ve tıp, uçak, inşaat ve otomotiv sanayisi ile bunların yan kollarında her gün artan bir şekilde kullanılması alüminyumun önemini daha da fazla artırmaktadır [14].

Alüminyum ismini Yunanca alum mineraline verilmiş olan alumen'den almıştır. 1807'de Sir Humphery Davis alüminyumunu laboratuvar ortamında elektroliz yöntemi yoluyla elde etmeye çalışmıştır. Fakat bu deneme çok başarılı olamamıştır. 1812 yılında, Fransa'nın Les Baux vilayetinde alüminyum maden cevheri bulunmuştur. Bundan sonra, cevherlerin alaşımları ve buldukları yerin önemi olmaksızın, alüminyum cevheri boksit olarak adlandırılmıştır. 1825 yılında Hans Christian Örsted tarafından ilk olarak saf olmayan alüminyum elde edilmiş ardından Wöhler tarafından 1827 yılında saf element olacak şekilde izole edilmiştir.

Alüminyum alaşımının endüstriyel çapta üretimi, 1886 yılında ABD'de Charles Martin Hall ve Fransa'da Paul T. Heroult'un birbirlerinden habersiz yaptıkları elektroliz yöntemi ile başlamıştır.

1886'da Werner Von Siemens'in dinamoyu keşfi ve 1892'de K. J. Bayer'in, boksitten alümina eldesini sağlayan Bayer prosesini bulması ile alüminyumun endüstriyel çapta üretimi daha kolay hale gelmiş ve en genç metal, demir çelikten sonra dünyada en çok kullanılan ikinci metal olmuştur. Günümüzde, 1892 yılında Fransız Paul. T. Herault ve Amerikalı Charles Martin Hall üretim yöntemi patentleri kullanılmaktadır [15].

## 2.2.ALÜMİNYUMUN VE ALAŞIMLARININ TEMEL ÖZELLİKLERİ

Kullanım alanı fazla olan metaller kurşun, demir ve kalay gibi alüminyumda tabiatta bileşikler halinde bulunur. Gümüş gibi beyaz renktedir ve hafif bir elementtir. Demir metaline göre 3 kat daha hafiftir. 1800 °C’de kaynar. Dış yüzeyi, hava ile temas ettiği için hafif oksit tabakası ile kaplıdır. Isı ile elektriği iyi iletir. Alüminyum katı halden sıvı hale geçerken hacminde %6,5 büyüme olur. Alüminyumun bazı özellikleri;

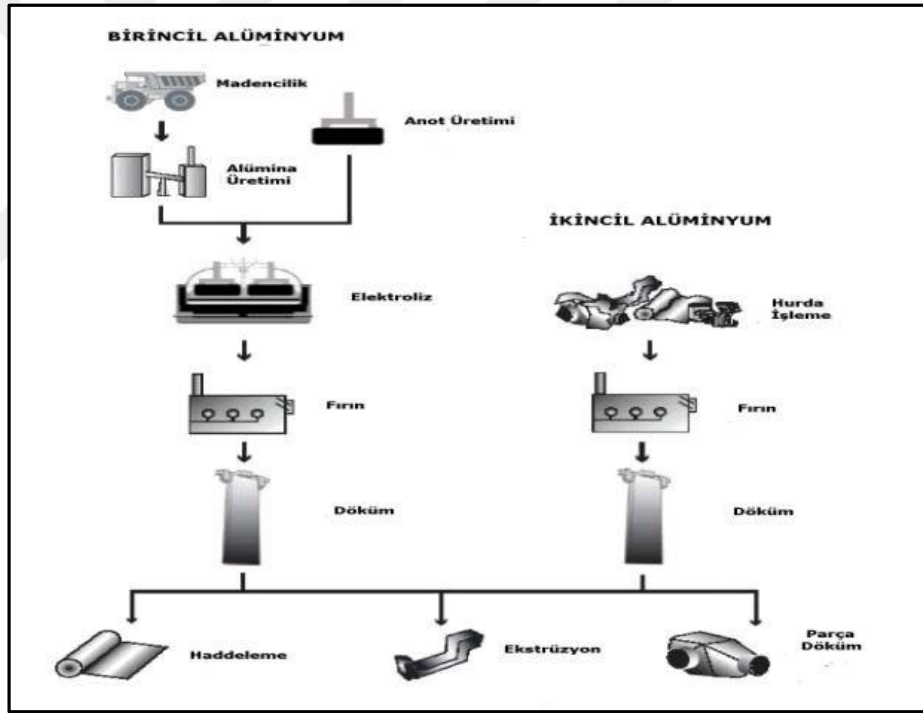
- Ergime Derecesi: 660 °C
- Çekme Mukavemeti: 4/18 kp/mm
- Akma Mukavemeti: 1/3 kp/mm
- Sertlik (hb2.5): 12/20 kp/mm
- Elastiklik Modülü: 7,2 x10 kp/mm
- Kopma Uzaması: %30/38 [16].
- Göreceli Yoğunluk: Alaşım bileşenlerine göre 2.7 ile 2.9 g/cm<sup>3</sup> arasında değişir.
- Elektrik ile Isı İletkenliği: Alüminyum yüksek elektrik iletkenliğine sahiptir Elektrik iletkenleri için kullanılan malzemeler esas olarak saf alüminyum ve E-ALMgSi malzemeleridir. Isı iletkenlik düzeyi ~ 80-230 W/m ° K demirden yaklaşık dört kat daha fazladır [17].
- Sıcak, Soğuk Şekillendirilebilme Kabiliyeti: karmaşık geometrik yapıya sahip alüminyum profiller ekstrüzyon yöntemiyle üretilebilir. Gıda endüstrisinde kullanılan paketlenme folyoları için saf alüminyum tercih edilmektedir [18].
- Korozyon Direnci: Alüminyum malzemelerin korozyon dayanımı direnci yüzeyinde oluşan doğal oksit filminden dolayı yüksektir. Bu nedenle alüminyum ve alaşımları düşük bakım maliyeti ile uzun ömürlü olmaları anlamına gelir; inşaat, gemicilik ve kimya sanayi için önemli arz malzemeleridir.
- Optik Özellikleri: Alüminyum malzemeler elektro-manyetik ışınlar karşısında yansıtıcılığı sayesinde ısı ve ışık dâhil olmak üzere bu ışınları düşük oranlarda absorbe eder.

- Dayanım/ağırlık oranı: Alüminyum ve alaşımlarının birçok endüstri kolunda tercih edilmesinin temel sebebi yüksek mekanik dayanımına karşın hafif olmasıdır [19].

## 2.3.ALÜMİNYUM ÜRETİMİ

Alüminyum üretimi, birincil ve ikincil üretim olmak üzere iki şekilde gerçekleşmektedir. Şekil 2.1’de alüminyum üretim akış diyagramı verilmiştir.

- Birincil üretim cevherden üretilen alüminyum,
- İkincil üretim hurdadan üretilen alüminyum.



Şekil 2.1. Alüminyumun üretim akış diyagramı.

### 2.3.1.Birincil Üretim Cevherden Üretilen Alüminyum

Birincil alüminyum üretiminde beş ana üretim aşamasını sıralı halde uygulanması zorunluluğu vardır.



- Boksit madeni işletmeciliği,
- Boksit cevherinden alümina üretimi
- Alüminadan sıvı alüminyum üretimi
- Sıvı alüminyumun alaşımlandırılarak dökümü,
- Ekstrüzyon ve haddeleme işlemleriyle Döküm ürünlerinden yarı veya uç ürün üretimi [20].

Alüminyum üretiminin temel girdisi olan alüminanın elde edildiği cevher boksit madenidir. Açık ocak işletmeciliğiyle yapılmakta boksit cevheri üretimi ile 4-5 ton boksitten 2 ton alümina elde edilmektedir.

Alümina, birincil alüminyumun elde edildiği ham maddedir. 2 ton alüminadan 1 ton alüminyum üretilmektedir.

Döküm ürünü, sıvı metalin kalıp içerisine çeşitli yöntem ile dökülmesi ve katılaşarak kalıbın şeklini alması ile elde edilir. Ekstrüzyon ürünü ise alüminyumun bir kalıp içerisinde preslenmesi ile elde edilen üründür [21].

### **2.3.2.İkincil Üretim Hurdadan Üretilen Alüminyum**

İkincil alüminyum üretiminde metal kaynağı olarak alüminyum hurda kullanılmaktadır. İki şekilde ikincil üretim için alüminyum üretimi vardır.

- Üretim esnasında oluşan geri kazanma olasılığı % 100 olan yeni hurda,
- Ömrünü doldurmuş geri kazanma olasılığı olan yapısal, şekil ve et kalınlığına göre %30-95 arasında değişen eski hurda [20].

### **2.4.ALÜMİNYUMUN ALAŞIMLARININ SINIFLARA AYRILMASI**

Dövme ve döküm olarak alüminyum alaşımları üretim metotları bakımından iki ana alt grubu ayrılırlar. Bu da, imal usulleri açısından farklı ihtiyaçların olduğunu göstermektedir. Döküm alaşımlar, plastik deformasyonla şekillerindirilen dövme

alaşımalar oldukça farklı mikroyapı ve kompozisyonlara sahiptir. Her ana grup içindeki ısıtıl işlem yapabilen alaşımalar, yaşlandırma ile mukavemetlendirilebilirken; ısıtıl işlem yapılamayan alaşımalar, katı eriyik mukavemetlenmesi, pekleşme ve dağılım mukavemetlenmesi ile mukavemetlendirilirler [22].

Dökme alaşımlarının en önemli alaşım elementi silisyumdur. Silisyum düşük ergime noktası, iyi akıcılık ve iyi dökülebilirlik özelliği sağlar. Bu şekilde çok karışık parçaların üretimi mümkün olur. Alüminyum dövme alaşımlarının pek çoğu mekanik olarak haddeleme ile kesiti küçültür. Küçültme işlemi genellikle ara tavlama ile yapılır. Bu şekilde üretilen alüminyum alaşımlarına işlem sertleştirme alaşımları denir. Çizelge 2.1’de alüminyum alaşımları için tanımlama sistemi verilmiştir [22].

Çizelge 2.1. Alüminyum alaşımları için tanımlama sistemi.

<b>Alüminyum Alaşımları</b>	
<b>Dövme Alaşımlar</b>	
1xxx	Ticari saflıkta Al (>%99 Al) Yaşlandırılmaz.
2xxx	Al-Cu Yaşlandırılabilir.
3xxx	Al-Mn Yaşlandırılmaz.
4xxx	Al-Si ve Al-Mg-S, Eğer Magnezyum varsa Yaşlandırılabilir.
5xxx	Al-Mg Yaşlandırılmaz.
6xxx	Al-Mg-Si Yaşlandırılabilir.
7xxx	Al-Mg-Zn Yaşlandırılabilir.
<b>Döküm Alaşımları</b>	
1xx.x	Ticari saflıkta Al Yaşlandırılmaz.
2xx.x	Al-Cu Yaşlandırılabilir.
3xx.x	Al-Si-Cu veya Al-Mg-Si Biraz Yaşlandırılabilir.
4xx.x	Al-Si Yaşlandırılmaz.
5xx.x	Al-Mg Yaşlandırılmaz.
7xx.x	Al-Mg-Zn Yaşlandırılabilir.
8xx.x	Al-Sn Yaşlandırılabilir.

### 2.4.1.Dövme Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması

(AA) alüminyum dövme alaşımları Amerikan alüminyum birliğine göre dört harfle sınırlanmaktadır. Türkiye'deki bazı alüminyum üreticileri de bu rakamları kullanmaktadır [23].

1xxx: Alaşımsız alüminyum; genellikle elektrik ile kimya endüstrisinde kullanılırlar [23]. %99 ve daha yüksek alüminyum oranına sahiptir. Alüminyum sınıflara 1050, 1060, 1100, 1145, 1200, 1230, 1350 örnektir. Bu alaşımlar iyi bir korozyon dayanımı ile yüksek elektrik ve ısı iletkenlik sağlar. Düşük mekanik özellikler ise üstün çalışma kabiliyetine göre karakterize edilmiştir. Dayanımdaki hafif artışlar gerinim sertleşmesi ile elde edilebilir [24].

2xxx: Esas alaşım elementi bakır olup % 6,3'e kadar bakır içermektedir. Magnezyum başta olmak üzere başka alaşım elementleri içeriğinde bulundurur. Alüminyum alaşımları içerisinde ise diğerleri kadar iyi bir korozyon direncine sahip değildir. Kaynak kabiliyeti bakımından ise alaşımına bağlı olarak kötü ve orta arasındadır. Serinin iyi tarafı 150 °C (300°F)'ye kadar olan sıcaklıklarda iyi bir dayanım sergilemesidir. Yüksek mukavemet istenen uçak gövdesi ile mekanik elemanları, araç gövde panelleri v.b. ürünlerin imalatında yaygın bir kullanım sağlamaktadır. 2024 alüminyum serisi, en yaygın alüminyum çeşidi olmakla beraber uçak tasarımında aktif bir şekilde kullanılmaktadır [25]. 2011, 2014, 2017, 2018, 2124, 2219, 2319, 201.0; 203.0; 206.0; 224.0; 242.0 vb. 2xxx alüminyum alaşımlarına örnek verilebilir [24].

3xxx: Esas alaşım elementi mangandır [10]. Mükemmel şekil değiştirme, kaynak kabiliyeti ve çok iyi korozyon direncine sahiptir. Alüminyum sınıfları (3003, 3004, 3105, 383.0; 385.0; A360; 390.0) ısı işlem göremez, fakat serinin yaklaşık %20'si 1xxx serisine kıyasla daha güçlü alüminyum alaşımları içermektedir. Bu seri en çok mimari uygulamalarda, içecek kutuları ve kimyasal kaplarda, endüstriyel çatı ve eğri boruların imalatında kullanılmaktadır [25].

4xxx: Esas alaşım elementi silisyumdur olup genellikle kaynaklı birleştirme yapılacak çubuk ile levhaların üretiminde kullanılır [23]. Alaşım serisi (4032, 4043, 4145, 4643

vs.), belirli oranlarda (12 %'ye kadar) eklenerek, önemli ölçüde ergime oranını azaltmaktadır. Alüminyum-silikon alaşımları, ergimesi esas metalin ergimesinden daha düşük düzeyde olan kaynak teli ile pirinç alaşımlarında, alüminyuma katılarak kullanılmaktadır. Bu alüminyum alaşımları, önemli ölçüde kömür grisi renginde silikon içermesi nedeni ile mimari uygulamalarda talep görmekte ve anot oksit kaplamasında kullanılmaktadır [24].

5xxx: Esas alaşım elementi magnezyumdur, genellikle deniz suyu ortamında çalışacak kayık kaportası ve iskele yapımında kullanılır [23]. Magnezyum elementi manganaz elementinden sertlik bakımından önemli ölçüde daha etkindir. %0.8 Mg yaklaşık olarak %1.25 Mn eşdeğerindedir ve yüksek ölçüde eklenebilmektedir. Serinin alüminyum alaşımları 5005, 5052, 5083, 5086 örnektir. Bu alüminyum alaşımları deniz koşullarına göre iyi bir korozyon dayanımı ile iyi kaynak edilebilirlik karakteristiklerine sahiptir. Lakin bu durum, yüksek magnezyum-alüminyum alaşımlarının sebep olabildiği gerilme-korozyon çatlakları ve soğuk işlem miktarı ile izin verilen çalışma sıcaklıkları hassasiyetini önlemek (150 °F) için kısıtlanmıştır [24].

6xxx: Esas alaşım elementi magnezyum ve silisyumdur. Ekstrüzyon ile üretilen mimari parçaların yapımında kullanılır [23]. Serinin alüminyum alaşımları (6061, 6063) yaklaşık oranda gerekli formasyonda Mg<sub>2</sub>Si (magnezyum silisit) magnezyum ile silikon içermekte ve ısıtılabilir hale gelmektedirler. 2xxx alaşımları ve 7xxx alaşımları kadar dayanıklı değildirler. 6xxx serisi alaşımları şekillendirilebilirlik, kaynak kabiliyeti, işlenebilirlik ile nispeten iyi bir korozyon direncine sahiptir. Isıtılabilirlik gören alüminyum sınıfları, T4 temper (ısıtılabilir çözeltisi görmüş fakat ısıtılabilir çökmesi görmemiş) formuna gelebilir. Alüminyum alaşımları T6 ısıtılabilir çökmesi özelliklerini alması ile dayanımı artırılabilir [24].

7xxx: Temel alaşım elementi çinko olup alaşım elementleri bakır, magnezyum, krom ve zirkonyumdur. En dayanımlı alüminyum alaşımları 7xxx serisidir. 7xxx serisi alaşımlarının dayanımı 500 MPa değerini geçmektedir [23]. Gerilmeli korozyon ile folyolanmanın problem olduğu yerlerde kullanılır. Bakırlı alaşımlar çökme sertleşmesi gösterir. Alaşım ve yöntemine bağlı olarak kötüden çok iyiye doğru kaynak

kabiliyeti yelpazesi vardır. Uçaklarda sıklıkla kullanılır. 7075, 7050, 7049, 7100, 7110 vs. 7xxx alüminyum alaşımlarına örnek verilebilir [24].

8xxx: Diğer değişik kompozisyonlardaki alaşımlar. Kalay, lityum ve demir en önemli olanlarıdır [23]. Elektriksel iletkenlikte demir ve nikel elementleri mühim bir katkı vermeden dayanımı arttırmaktadır. Alüminyum - lityum alaşımı 8090, kabul edilebilir yüksek dayanım ile sertliğe sahiptir, genellikle havacılık uygulamalarında kullanılmaktadır [24].

#### **2.4.2.Dökme alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması**

Dökme alüminyum alaşımlarının sınıflandırılmasında üç rakam kullanılır. Üç rakamdan sonra nokta sonrasında bir rakam daha konur. Konulan son rakam 0 ise döküm durumundaki kompozisyonu verir. 1 ve 2 ise ingot halindeki kompozisyonu ifade eder. Çizelge 2.2’de alüminyum alaşımların için temper seri numaraları verilmiştir [22].

1xx.x: Alaşımsız (saf) alüminyum; genellikle rotor üretiminde kullanılır.

2xx.x: Esas alaşım elementi silisyumdur. Başka alaşım elementleri de bulunabilir.

3xx.x: Temel alaşım elementi silisyumdur. Bakır, magnezyum farklı alaşım elementleri de bulunabilir. 3xx serisi alüminyum alaşımları döküm alaşımlarının % 90’ını kapsamaktadır.

4xx.x: Asıl alaşım elementi silisyumdur.

5xx.x: Asıl alaşım elementi magnezyumdur.

6xx.x: Kullanılmamaktadır.

7xx.x: Temel alaşım elementi çinkodur. Bakır ve magnezyum ilave alaşım elementleridir.

8xx.x: Kalay esas alaşım elementidir [23].

Çizelge 2.2. Alüminyum alaşımların için temper seri numaraları.

<b>Temper Seri Numaraları</b>	
F (M)	İmal edildiği şekilde (sıcak şekillendirme, dövme, döküm vs)
O	Tavlanmış (mümkün olan en yumuşak şartlarda)
H	Soğuk şekillendirilmiş.
H1	Sadece soğuk şekillendirilmiş (x soğuk şekillendirme miktarına ve mukavetlenmeye işaret eder).
x	
H12	Soğuk şekillendirme, O ve H14 temperleri arasında ortalarda bir çekme dayanımı sağlar.
H14	Soğuk şekillendirme, O ve H18 temperleri arasında bir çekme dayanımı sağlar.
H16	Soğuk şekillendirme, H14 ve H18 temperleri arasında ortalarda bir çekme dayanımı sağlar.
H18	Soğuk şekillendirme, yaklaşık %75 azalma sağlar.
H19	Soğuk şekillendirme, H18 temper ile elde edilen çekme dayanımından 20000 Psi fazla dayanım sağlar.
H2x	Soğuk şekillendirilmiş ve kısmen tavlanmış.
H3x	Düşük sıcaklıkta yapının yaşlanmasını önlemek için soğuk şekillendirilmiş ve dengelenmiş.
W	Çözündürülmüş.
T	Yaşlandırılmış.
T1	İmalat sıcaklığında soğutulmuş ve doğal olarak yaşlandırılmış.
T2	İmalat sıcaklığında soğutulmuş, soğuk şekillendirilmiş ve doğal yaşlandırılmış.
T3	Çözündürülmüş, soğuk şekillendirilmiş ve doğal yaşlandırılmış.
T4 (TB)	Çözündürülmüş ve yaşlandırılmış.
T5 (TE)	İmalat sıcaklığında soğutulmuş ve yapay yaşlandırılmış.
T6 (TF)	Çözündürülmüş ve yapay yaşlandırılmış.
T7	Çözündürülmüş ve aşırı yaşlandırma ile dengelenmiş.
T8	Çözündürülmüş, soğuk şekillendirilmiş ve yapay yaşlandırılmış.
T9	Çözündürülmüş, yapay yaşlandırılmış ve soğuk şekillendirilmiş.
T10	İmalat sıcaklığından soğutulmuş, soğuk şekillendirilmiş ve yapay yaşlandırılmış.

## 2.5.ALAşIM ELEMENTLERİNİN ALÜMİNYUMA ETKİSİ

Alüminyumun iyi olan birçok özelliğinin bulunmasının yanı sıra döküm ve mekanik özellikleri zayıftır [13]. Zayıf olan özelliklerin iyileştirilmesi için alüminyuma ilave katılan başlıca alaşım elementleri bakır, silisyum, demir, nikel, titanyum, magnezyum, çinko, krom, kalay, manganez, zirkonyum, fosfor, sodyum ve lityumdur. Alaşımların kullanım yerlerine göre seçimleri yapılması, alaşım elementlerinin alüminyum üzerindeki etkisi ile saptanmaktadır. Si, Fe, Ti, Cu ve Zn mukavemetlerini değerlerini

artırmakta, sıvı alüminyuma titanyum ve bor bileşikleri katılarak küçük taneli yapılar elde edilmektedir [26].

### **2.5.1.Bakır**

Döküm alüminyuma % 12 oranında kadar katıldığında, dayanımı artırır. Ancak fazlası alüminyum üzerinde gevreklik etkisi yaratır. Yüksek sıcaklık özelliği ile işlenebilirliği artırır [27]. Alaşımın içindeki bakır miktarı arttıkça alaşımın akıcılığı, çekme dayanımı ile sertliği artar. Bakır, alaşımın iç büzülmesi ile işlenebilme kabiliyetini artırır. Dövme alaşımlarda bakır %3-5 oranında kullanılır. %5'ten fazla kullanıldığı zaman malzemenin mekanik olarak işlenmesi güçleşir. Ayrıca bakır elektrik iletkenliğini ile korozyon direncini azaltır [13]. Yüksek korozyon dirençleri deniz işlerinde alüminyum alaşımlarını faydalı kılmaktadır. Al-Cu alaşımlarından biraz daha hafif olmaları ise bu malzemelerin havacılık ve otomotiv endüstrilerinde de yer almalarını sağlamıştır [28].

### **2.5.2.Silisyum**

En önemli ticari döküm alaşımı, üstün döküm özelliklerinden dolayı ana alaşım elementi silisyum olan alüminyum alaşımıdır [29]. Alüminyuma %20'ye kadar ilave edilebilir. Alüminyumun içinde silisyum elementi çok az ergir (%1-1,5). Silisyum %12 oranında alüminyuma ötektik birleşim yapar. Kristalleri incelterek iyi özellik kazandırır. Ergime derecesi düşer (565 °C), mekanik özellikleri ile sıcak dayanımı yükseltir. Silisyum miktarı artınca işlemeye karşı sertlik meydana gelir [30]. Korozyon dirençleri ile ısı ve elektrik iletkenlikleri yüksek, fakat genleşmeleri düşüktür. İşlenebilmesi zordur [31].

### **2.5.3.Magnezyum**

% 33 oranında alüminyum ile ötektik birleşim verir. Özgül ağırlığı düşük olduğu için girdiği alaşımın özgül ağırlığını azaltır. İçeriğinde % 6'yı aşkın Mg elementi bulunduran alaşımlarda çökeltme sertleşmesi oluşur [30]. Magnezyum curuflaşma için etken madde olmasından kaynaklı olarak alüminyum alaşımlarının dökümünü

zorlaştırır.  $Mg_2Si$  bileşimini oluşturup Al-Si alaşımlarının dayanımını artırır. Alaşımların tokluk ve süneklik özelliklerini iyileştirir.

#### **2.5.4.Çinko**

Alüminyum alaşımlarının bazılarında istenmeyen element olarak bulunur. Çinko miktarlarının artması ile alüminyum alaşımının akıcılığı artar beraberinde ise yüksek sıcaklık dayanımı azalır [31]. %10'dan fazla çinko alaşımı bulunduran alaşımlar zayıf gerilmeli korozyon direnci gösterirler. Çinko alüminyumun dökülebilirliğini artırır. Yüksek çinkolu alaşımlar soğuma çekme ve sıcak çatlama gösterirler [30]. Çinko ilavesi bütün alüminyum alaşımlarının haddeleneme kabiliyetini iyileştirir. Özellikle magnezyum da ilave edilirse haddelenme kabiliyeti artar. Bu durum oluşan alaşımda yüksek çekme ve darbe mukavemeti sağlar [31].

#### **2.5.5.Krom**

Krom alaşımı % 0,1-0,6 değeri oranlarında eklenir. Tane küçültücü görevi görür. Titanyum ile beraber kullanılır. Korozyon direncini artırmak ve gerilim çatlaklarını azaltmak için Al-Zn-Mg alaşımlarına ilave edilir. Kromun çözünürlüğü alüminyum içinde çok düşüktür. Al-Cr alaşımlarına ısıl işlem uygulanmaz. Cr-Al bileşikleri yüksek sıcaklıklarda mukavemeti artırır ve korozyona dayanıklı hale getirir. Alaşımın ergime sıcaklığını yükseltir [31].  $Cr_2Al_7$  şeklinde metaller arası bileşik oluşturur [32].

#### **2.5.6.Kalay**

Kalay miktarı %20- %30 oranında bulunur. Yüksek yük taşıma yetenekleri, yorulma direncinin fazla olmasından dolayıdır [33]. Bakır ile nikel elementleri kullanıldığında çok dayanıklı bir alaşım ortaya çıkmaktadır. Alaşım içinde miktarı % 0,5-1,0 arasında olan kalay miktarı gevrekliği artırır. Alüminyuma göre daha katodik olan kalay korozyon direncini olumsuz etkiler. Alüminyum içerisindeki kalayın erirliği çok düşüktür [31].



### **2.5.7.Manganez**

Alüminyum içinde % 0,3 oranına ergir. Alaşımların dökülebilirliği artırmak için demir ile birlikte kullanılır. Manganez elementi alaşımların tokluk ile süneklik özelliklerini artırır [30]. Metaller arası bileşiklerin özelliğini değiştirir, çekmeyi azaltır [32].

### **2.5.8.Demir**

Alaşım içerisinde az oranda demir bulunması durumunda dökümlerin sıcak çatlama eğilimlerini azaltırken, bazı alaşımların sertlik ve mukavemetini artırır [32]. Demir alüminyum içerisinde iğneli doku şeklinde kristallenir. İğneli doku kristalleri oluşumu, alaşımın mekanik dayanımı azaltır.

### **2.5.9.Nikel**

Yüksek sıcaklıklarda sürünme dayanımını artırır [32]. Korozyon dayanımını artırır ve parçalara kalıcı parlaklık verir [30]. Yüksek sertlik ve dayanım istenen alaşımlara yüksek sıcaklıklarda katılır. Nikel miktarı alaşım içerisinde %0.5-3.0 oranlarında bulunmaktadır [31].

### **2.5.10.Titanyum**

Alüminyum alaşımlarına bor ile birlikte katıldığında tane inceltici görevi görür ve dayanımını artırır. Alaşıma titanium %0.05-0.2 oranlarında ilave edilir [32]. Basınçlı döküm alaşımlarına titanyum ilavesi akışkanlığı azalttığı için zararlıdır. Soğuma hızlı olduğundan basınçlı dökümde küçük taneler kendiliğinden oluşur. Titanyum ısı iletkenliğini azaltı ve çekme mukavemetiyle sünekliği artırır [31].

### **2.5.11.Fosfor**

Al-Si alaşımlarında, ötektik üstü parçacıklarını küçültürken, ötektik silisyum parçacıklarını irileştirir [32].

## **2.5.12.Lityum**

En önemli uçak malzemesi olarak kullanılan alüminyum-bakır alaşımlarından sonra, gelecekte alüminyum-lityum alaşımlarının kullanılması malzemede %15 hafifleme sağlamasından dolayı daha fazla talep olmasını mümkün kılacaktır [32].

## **2.6.ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARININ KAYNAK EDİLEBİLİRLİĞİ**

Alüminyum, kaynak yöntemi, birleştirme şekli ve ilave metali belirlendikten sonra kaynak edilebilen bir metal türüdür. Alüminyum kaynağında yoğun olarak kullanılan MIG ile TIG metodunun dışında gaz kaynağı, plazma ark kaynağı, örtülü elektrot kaynağı ve direnç kaynağı yöntemleri kullanılmaktadır. Maliyet açısından düşük olması sebebi ile saf alüminyumu ve bazı alüminyum alaşımlarının kaynağını yapmak için gaz (oksi-asetilen) kaynağı kullanılmaktadır [34]. Alüminyum alaşımlarının ergitme kaynağı genellikle MIG kaynak yöntemi ile gerçekleştirilmektedir. MIG yöntemi, her kalınlıkta alüminyum alaşımlarına, genellikle 3 mm'den daha kalın parçalara uygulanan kaynak yöntemidir. Darbeli akım metodu kullanılarak çok ince levhalar (0.8 mm) birleştirilebilmektedir. Hava ile temas sonucu oluşan alüminyum üzerindeki refrakter oksit tabakası, alüminyum alaşımlarının kaynağını güçleştirmektedir. Alüminyum ile alaşımlarının birleştirilmesinde malzemenin boyutları göz önüne alınmaksızın sprej ark ile kaynak yapmak her zaman tercih edilmektedir. Sürekli olarak sola kaynak yöntemi uygulanarak ve dik kaynakta ise aşağıdan yukarıya doğru kaynak işlemi yapılarak oksit tabakasının temizlenebilmesi sağlanmaktadır. El ile yapılan yarı otomatik MIG yönteminde ince parçalarda saf argon, kalın parçalarda helyum ve helyum- argon koruma gazı kullanılmaktadır [26].

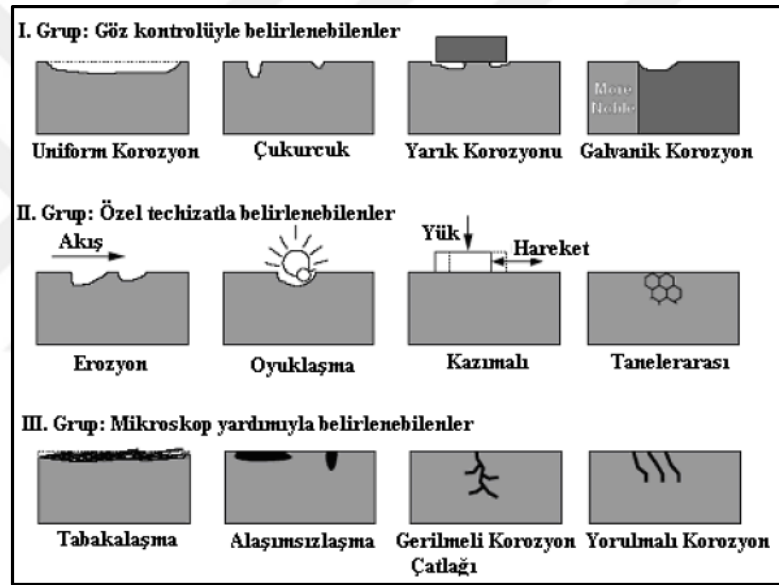
## **2.7.ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARININ KOROZYON DAVRANIŞI**

Alüminyum, alkali ve toprak alkali metaller haricinde bütün elementlere karşı anodik etki yapması gereken, pratikte korozyona dayanıklı metallerdir. Korozyonlu ortamlarda alüminyum yüzeyi oksit tabakası ile kaplanarak, alüminyum korozyona dayanıklı olmasını sağlar. Bu özelliğin sayesinde alüminyum pek çok korozyonlu

ortamda kullanılabilir. Alüminyum içerisindeki yabancı elementler korozyon pili oluşturdukları için alüminyumun mümkün olduğu kadar saf olması gerekmektedir [23].

### 2.7.1.Korozyon Çeşitleri

Günümüzde malzemelerin çok çeşitli korozyon etkilerine maruz kaldığı bilinen bir gerçektir. Bu nedenle malzemelerin kullanıldıkları ortamlara ve maruz kaldıkları şartlara göre korozyon türlerini aşağıdaki resimde ayrıntılı bir şekilde verilmiştir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Korozyon türleri.

#### 2.7.1.1.Homojen Dağılımlı (Üniform) Korozyon

En yaygın korozyon türü olup korozyon hızlarının her bölgede eşit olduğu kabul edilmektedir. Eşit dağılımın sebebi anodik ve katodik bölgelerin sürekli yer değiştirmesidir [26]. Bu tür korozyonlar genelde atmosfere açık yerlerde veya homojen ortamlarda bulunan alaşım-sız çelikler ve az alaşım-lı çelikler ile belirli ölçülerdeki bakır ve bakır alaşımlarında görülür. Homojen dağılımlı korozyon çeşidi farklı korozyon türlerinden daha çok metal kaybına yol açar [35]. Üniform korozyonun hızı basit laboratuvar deneyleri ile bulunabilir. Böylece metal parçanın faydalı ömrü

büyük bir yaklaşıkla tahmin edilebilir. Mesela sulu sülfirik aside daldırılmış bir çelik veya çinko parçası bu şekilde korozyona uğrar. Uniform korozyon ile uygun yüzey kaplamaları, ortalama ilave edilen inhibitörler ile ve katodik koruma ile kontrol edilebilir [36].

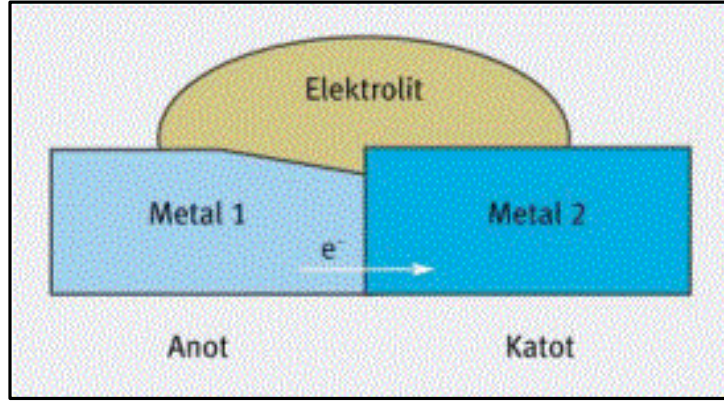
### **2.7.1.2.Çukurcuk Korozyonu**

Metal yüzeylerin bazı noktalarında çukur meydana gelmesi ile oluşan korozyonlardır. Korozyonun, çok dar bölgelerin üzerinde yoğunlaşması sonucu ortaya çıkan korozyon türüdür. Çukurların çap derinliği ile sıklığı malzeme ve ortama bağlı olarak değişir [37]. Toplam malzeme kaybı çukurcuk korozyon sonucunda, homojen dağılımlı korozyon sonucundan çok daha azdır. Fakat çukurcuk korozyonuna uğrayan malzemeler daha az zamanda delinerek kullanılmaz hale gelebilirler. Çukurcuk korozyonu genellikle klor ile brom iyonları içeren nötr ortamlarda görülür. Deniz suyu sodyum klorür ile oksijen bakımından zengin olduğundan dolayı çukurcuk korozyonu için en uygun ortamı oluşturur [35].

Aralıklarda kir ile korozyon ürünleri altında çözelti durgunlaşır. Bölgesel çözünmüş oksijen fakirleşmesi yaşanır. Bu bölgelerde oluşan korozyona ise aralık korozyonu denir. Aralık korozyonu dayanıklı malzemelerin ve perçinlenme yerine kaynakla birleştirilmiş levhaların kullanılması halinde önlenebilir [38].

### **2.7.1.3.Galvanik Korozyonu**

Temas halinde bulunan değişik türden metal ile alaşımların aynı ortama bırakılması halinde karşılaştığımız korozyon türüdür [37]. Ortamdaki malzemelerden daha soy olanı katot ise diğeri anot olarak davranır. Korozyona uğrayanlar ise anot olarak davranan malzemelerdir [39]. Galvanik hücrede yürütücü kuvvet olan anot ile katot arasındaki potansiyel fark korozyonun hızına bağlıdır (Şekil 2.3) [36].



Şekil 2.3. Galvanik korozyonun meydana gelmesi için gereken koşullar ve mekanizması [40].

#### 2.7.1.4.Erozyon Korozyonu

Ortamdaki akışkan ile metal malzeme arasında bağıl hızın çok olduğu durumlarda meydana gelen korozyon türüdür. Akmakta olan sıvının yön değiştirdiği yerlerde, boru hatlarında, dirseklerde ve pompalarda sık sık meydana gelen korozyon çeşididir [31]. Yaygın olarak kurşun ile bakır alüminyum alaşımlarında görülür. Akış yönünde ise çukurlar meydana gelir [41].

#### 2.7.1.5.Oyuklanma Korozyonu

Malzeme yüzeyinin bazı noktalarında çukur oluşması sonucu meydana gelen korozyon çeşididir. Oyuklanma korozyonu, pasifleşebilen metaller olarak nitelenen paslanmaz çelik ve alüminyum alaşımlarında gözlenir. Farklı noktasal derin oyuklar halinde gözlemlenir [36]. Oyuklanma korozyonu olabilmesi için klor ve bromür iyonlarının olması gerekir. Malzeme kaybı azdır ancak tehlikeli bir korozyon çeşididir. Çoğunlukla parça delindikten sonra korozyon oluşumu fark edilmektedir [41].

#### 2.7.1.6.Kazımalı Korozyon

Birbirine temas halinde olan ve belirli yük altında çalışan metaller arasında gerçekleşmektedir. Metallerin sürtünmesi ile ortama giren O<sub>2</sub> malzemelerdeki

korozyon oluşumuna sebep olmaktadır [39]. Birbirine temas eden iki yüzeyin sürtünmesi sonucunda yüzeyde oyulmalar ve kırılmalar meydana gelmektedir [42].

#### **2.7.1.7.Tanelerarası Korozyonu**

Tane sınırlarının amorf yapıda olması, potansiyel farktan dolayı tane içine göre daha büyük ve soy yapıda korunur. Fakat tane sınırları korozyona uğrar. Çok küçük ağırlık kaybına karşı korozyon hızının tane sınırları yakınında çok yüksek değerlere ulaşması tane sınırı korozyonunun en belirgin özelliğidir. Bu da parçalarına az zamanda tüm kesit alanının korozyona uğrayarak bozunmasına sebep olur [39].

#### **2.1.7.8.Alaşımızlaşma Korozyonu**

Galvanik korozyonun bir türüdür. Katı alaşım malzemesinin aktif olmayan elementin üzerinden ayrılması sonucu oluşur. Örneğin, pirinçteki çinkonun uzaklaşması ve bronzdaki alüminyumun ayrılması gibi. Böylece malzeme üzerinde pürüzlük, mekanik zafiyet gözlemlenecek ve fiziksel etkilere maruz kalacaktır [43].

#### **2.7.1.9.Gerilmeli Korozyonu**

Saldırgan ortam ile temas halinde bulunan metal yapıların çoğu ve makine parçaları mekanik gerilmeler altındadır. Yüksek basınçlı kaplar, buhar kazanları, içten yanmalı motorların silindir gömlekleri, pompa mili ile rotoru verilebilecek çok sayıdaki örneklerdendir. Gerilimli korozyon, aşındırıcı ve mekanik etmenlerin yol açtığı bozulma olarak tanımlanabilir [44].

#### **2.7.1.10.Yorulmalı Korozyonu**

Yorulmalı korozyonun oluşması için ortam korozif olmalıdır. Çelikler, titanyum ve alüminyum alaşımları gibi yüksek mukavemetli malzemelerin yorulmalarında çevre faktörü çok önemli rol oynar [41]. Dinamik yükler altında çalışan malzemeler ise yorulma nedeniyle dayanabilecekleri gerilmelerden daha küçük gerilmelerin etkisi altında dahi çatlayabilirler [44].

### **2.7.1.11.Kaplama Altı (Tabakalaşma) Korozyonu**

Denizel ve endüstriyel ortamlarda alüminyum ve alaşımlarında görülür. Metal tabakalar arasındaki nem sonucunda birbirinden ayrılması ile ortaya çıkar. Malzemede oluşan hasarlar ise haddeleme yönünde uzamış tane sınırlarında meydana gelmektedir [44].

## **2.8.ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARININ KULLANIM ALANLARI**

### **2.8.1.İnşaat Sanayinde Kullanımı**

Dünya alüminyumunun %20'si inşaat sektöründe kullanılmaktadır [45]. Son zamanlarda inşaat sektöründe mimari tarzda meydana gelen gelişmeler alüminyum ve alaşımları lehinedir. Alüminyum ve alaşımlarının kullanılma alanlarının fazlalığı düşük maliyeti ile iyi görünümlülüğü ve inşasının hızlı olması sebebi iledir [31]. Alüminyum metali kötü hava şartlarına uygun, korozyona karşı olan direnci ise avantajdır. Çeliğe alternatif olarak alüminyumun; köprülerin bazı önemli yerlerinde yapı elemanı olarak köprülerin kullanım kapasitelerini arttırmaktadır. Alüminyum köprünün yük taşıma kapasitesini artırırken, köprünün kendi ağırlığını azaltmaktadır [26].

### **2.8.2.Uçak Endüstrisinde Kullanımı**

Alüminyum ve alaşımları 1908 yılında, uçak sanayinde yaşlanma sertleşmesinin bulunmasıyla kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde uçakların gövde kısmı alüminyum alaşımlarından yapılmaktadır [31]. Uçak sanayisinde kullanılan alüminyumların mukavemeti çok yüksektir. Uçaklarda yaygın olarak kullanılan 2024, 7075, 5052, 6061 alaşımlarıdır [46]. Uçağın ortalama %70'e kadar olan ağırlığı alüminyum malzemelerden oluşmaktadır. Hafif ve sağlam olması sebebi ile alüminyum alaşımları havacılık sektörünün gelişmesine büyük katkı sağlamıştır [47].

### **2.8.3.Gemi Sanayinde Kullanımı**

Denizin korozif etkisine dayanıklı olan alüminyum alaşımları yaklaşık 50 yıl öncesinde yapılmıştır. Bu alaşımlar % 2.5-6 magnezyum ile az miktarda manganez, krom, Berilyum ve Titanyum içermektedirler. Çekme mukavemetleri yüksek olan ve süneklilik ile işlenebilme özellikleri iyi derecede olan bu alaşımların dökümleri zordur [31]. Deniz araçlarında, kamaraları başta olmak üzere gezinti tekneleri, kuru yük gemilerinin gövde kompartımanlarını üst bina inşası ve pervanelerin üretiminde ise yoğun olarak kullanılmaktadır.

Gemi inşaatında kullanılan malzemeler deniz tipi alüminyum alaşımlarıdır. Alüminyumun en önemli özelliği hemen hemen aynı akma gerilmesine sahip olmasına rağmen yoğunluğunun yumuşak çeliğin ortalama üçte biri değerine sahip olmasıdır. Üretim yönünden alüminyumun en büyük dezavantajı fiyatı ile kaynak işleminde malzemenin yüzeyindeki oksit tabakasının kaynak dolgusuna karışmaması için özel koruyucu gaz kullanılarak kaynak yapma zorunludur [48].

### **2.8.4.Elektrik Sanayinde Kullanımı**

Alüminyum iletken olması ve düşük yoğunluğu nedeniyle bakır iletkeninden daha hafiftir [31]. Alüminyum kullanımının Avrupa'da % 10'u, ABD'de % 9'u, Japonya'da ise % 7'si elektrik ve elektronik sektörüne kullanılmaktadır. Çelik özlü alüminyumlar, yüksek voltajlı elektrik nakil hatlarında kullanılan tek malzemedir. Alüminyum, yeraltı kabloları, elektrik boruları, motor bobin sarımı, şase, transistör soğutucuları, veri kayıt diskleri ve cihaz kasaları kullanım alanlarıdır [49].

### **2.8.5.Ambalaj ve Konserve Sanayinde Kullanımı**

Alüminyum, en kullanışlı ambalaj malzemelerinden birisidir. Alüminyum, konteyner imalatı ve ilaç ambalaj sektöründe çok çeşitli ambalaj uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Alüminyumun homojen yapısı ve ince folyo şeklinde üretilmesi, hava geçirmezliği ile kolay şekillenebilmesi açısından onu ideal bir ambalaj malzemesi yapar. Alüminyum folyo, hava ile ultraviyole ışınları geçirmediğinden,



gıdaları doğal renk ve tatlarda korur. Alüminyumun en yaygın kullanıldığı alanlar içecek kutularıdır. Dünyada kullanılan içecek kutularının %80'i alüminyumdur. Hafif olması, kolay açılması, darbeye dayanıklı olması, çabuk soğutma özelliği ile tekrar kullanılabilir olması sayesinde kullanım alanı artırmaktadır. Kullanılmış alüminyum içecek kutularının yüksek hurda değeri, bu kutuların tüketiciden satın alınması ile başlayan geri kazanma işlemi ile yeni ürünler üretilmektedir [50].

Gün geçtikçe alüminyum folyo üretimi ve tüketimi artmaktadır. Folyo ilk yıllarda paketlenme ile şeker sarma işlerinde kullanılmış sonrasında kullanım alanları genişlemiştir. İlaç muhafazasında da alüminyum folyo kullanılmaktadır. Seydişehir alüminyum işletmesinde yılda 3000 ton folyo imali yapılabilecek kapasite vardır. Nüfus artışı konserveciligi geliştirmiş ve alüminyumdan yapılmış kutular ön plana geçmiştir. Bunlar diğer malzemelere göre daha iyi özellik ve düşük maliyet sağlarlar. [31].

#### **2.8.6. Taşıt Araçlarında Kullanımı**

Al, Mg ile Ti gibi hafif yapı metaller, otomotiv imalatında yakıt tasarrufu için gerekli hafif malzeme seçiminde önemli kullanım alanına sahiptirler. Fakat bu alaşımlar içerisinde alüminyumun maliyet, işlenebilirlik, korozyon direnci ve geri dönüşüm yönünden avantajları, hızla gelişmekte olan otomotiv endüstrisinde kullanımının her geçen yıl daha da artmasına neden olmuştur. Alüminyum alaşımları bu özellikler nedeniyle otomotiv sektöründe yakıt tasarrufu için gerekli hafif malzeme seçiminde önemli bir kullanım alanına sahiptir. Alüminyumun tercih edilmesinin diğer bir nedeni, araç tasarımı alanında en önemli konu olan yolcu güvenliğidir. Çarpma sırasında ortaya çıkan enerji yolcular tarafından değil darbe emiciler tarafından absorbe edilmelidir [51].

Otomobil ile kamyon taşıtı gibi nakliye araçlarında döküm ve dövme alüminyum alaşımlar kullanılmaktadır. Alüminyumun yaklaşık %25'i taşıt araçlarının üretimine aittir [52]. Otobüs, kamyon gibi kara araçlarında alüminyum kullanımı ile önemli yakıt tasarrufu sağlanmaktadır [53]. Taşıt araçları ne kadar hafif olursa, hareket etmeleri için daha az enerjiye gerek duyulur. Günümüzde bir otomobilde yaklaşık 50 kg Al kullanılmaktadır [54].

### **2.8.7.Demiryolu Araçlarında Kullanımı**

Alüminyum ve alaşımları pahalı olmasına karşın işletme masraflarının az olması, korozyona dayanıklılığı ile hafif olması demiryolu araçlarında tercih edilme sebebini artırmaktadır. Son yıllarda ise vagon, treyler ve lokomotif yapımında alüminyum alaşımları yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır [31].

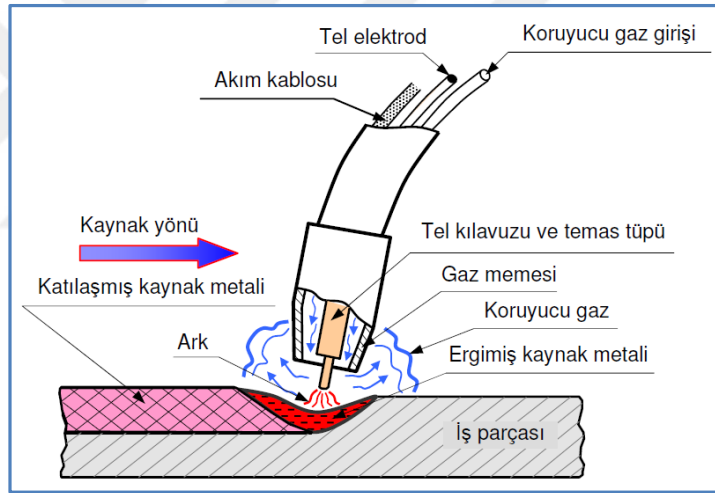
### **2.8.9.Diğer Kullanım Alanları**

- Su arıtma ve dayanıklı tüketim aletlerinde (mutfak araç gereçleri vs.),
- Makine imalatında ve medikal tıp sektöründe cihaz ile araçların yapımı,
- Yüksek safiyette alüminyum
- Boyalara gümüşümsü renk vermede kullanılan toz haline getirilmiş alüminyum,
- Kolay şekillendirilebilir oluşu ile yüksek ısı iletkenliğinden ötürü, yeni bilgisayarların CPU'larının ısı uzaklaştırıcılarında,
- Alüminyum oksit, doğada corundum (rubi ve safir) halinde bulunur. Sentetik rubi ile safir, lazerlerde koherent ışık ve cam yapımında,
- Alüminyumun çok hızlı oksitlenme özelliği, katı roket yakıtı olarak ve diğer piroteknik kompozisyonların üretiminde,
- Alüminyum tuzları, sağlık sektöründe aşı yapımında kullanılır [55].

## BÖLÜM 3

### MIG-MAG KAYNAĞI

MIG-MAG kaynak yönteminde ısı, ergiyen ve daimi beslenen tel elektrod yardımıyla iş parçası ile arasında ark yoluyla oluşan ve elektrottan geçen kaynak akımının elektrotta oluşturduğu direnç ile ısıtması yoluyla üretilir. Kaynak yapılacak bölgenin havanın olumsuz etkilerinden gaz ortamı ile korunduğu için “Gazaltı Kaynak Yöntemi” diye nitelendirilmiştir [56]. Yöntemin şematik görüntüsü Şekil 3.1’de gösterilmiştir.

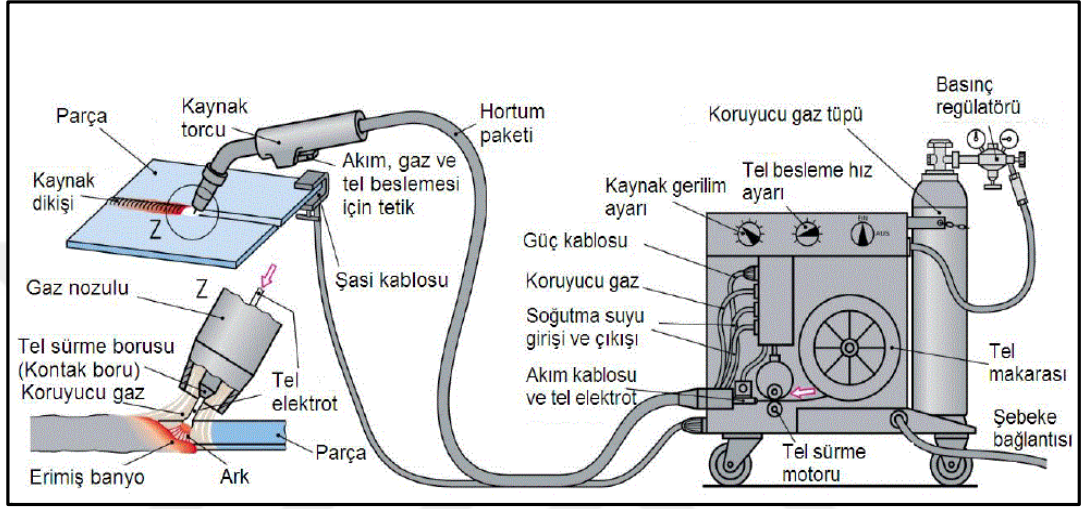


Şekil 3.1. MIG-MAG kaynağının prensibi.

Bu kaynak yöntemi ile alüminyum, karbonlu çelikler, bakır, düşük alaşımlı çelikler, nikel, paslanmaz çelik ve titanyum malzemeler kolaylıkla kaynaklanabilirler [7]. Koruyucu gazın özelliğine göre iki şekilde adlandırılır. Kaynak işlemi esnasında asal gaz kullanılıyorsa MIG (Metal Inert Gas), aktif gaz kullanılıyorsa MAG (Metal Active Gas) olarak adlandırılır [12].

Bu kaynak yönteminde değişkenler doğru (gaz debisi, tel besleme hızı, tel türü v.b.) seçildikten sonra uygulaması çok basittir [8]. Kaynakçı ilk ayarları yaptıktan sonra, arkın elektriksel karakteristiğini kaynak makinası otomatik olarak sağlar. Yarı

otomatik kaynakta ise kaynakçının gerçekleştiği elle kontroller, kaynak hızı, doğrultusu ile torcun pozisyonundan ibarettir. Uygun donanım seçilip ve ayarlar yapıldığında ark boyu ile akım şiddeti (elektrod besleme hızı) otomatik olarak sabit değerde kaynak makinası tarafından tutulur [12]. Şekil 3.2’de MIG-MAG kaynağı için gerekli donanım gösterilmiştir.



Şekil 3.2. MIG kaynak donanımı.

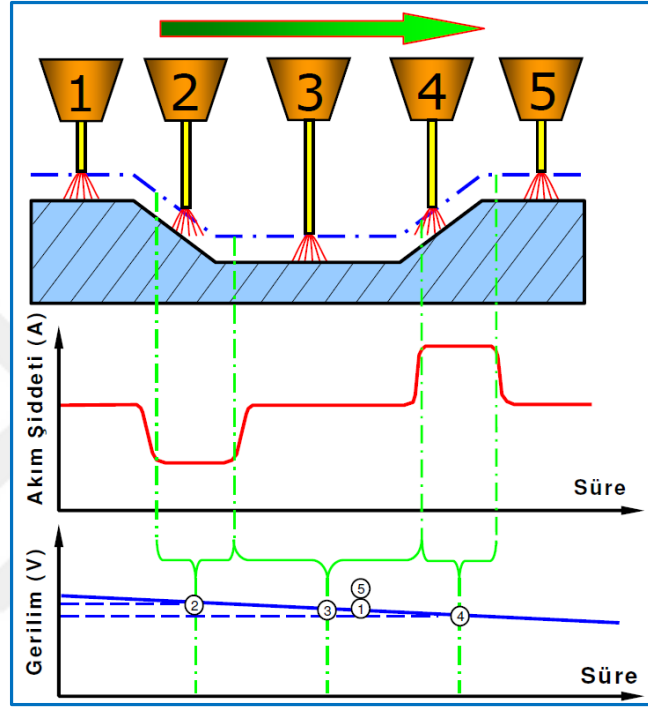
### 3.1.KAYNAK DONANIMI

#### 3.1.1.Güç Ünitesi (Kaynak Akım Üreteci)

Kaynak güç üniteleri, ark oluşturma bilmek için elektrik gücünü elektroda ve iş parçasına gönderirler [12]. MIG-MAG kaynağında kullanılan akım üreteçleri yatay karakteristiktir. Bu karakteristiğe sahip akım üreteçleri kullanıldığında ise ark boyunun değişmesi sonucu ark boyunu sabit tutabilmek için ve ark boyundan kumanda alan bir elektronik düzenek yardımı ile tel sürme tertibatının motor devri değiştirilir [12].

MIG-MAG kaynağı akım üreteçlerinde içten ayar diye nitelendirilen ark boyu ayarı vardır. Bu makinelerde tel ilerleme hızı, ark gerilimi ve buna bağlı olarak akım şiddeti ayarlanır. Seçilen bir devirde tel ilerleme motorunun hızı döneceğinden tel ilerleme hızı sabittir. Herhangi bir nedenden ark boyu uzadığı zaman kaynak işlemi esnasında akım şiddeti fazla miktarda azalır. Şematik olarak Şekil 3.3’de gösterilmiştir. Ark

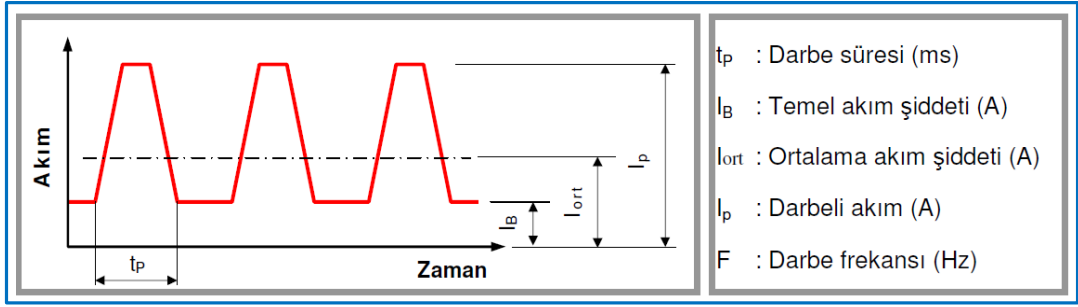
boyunun artması ise akım şiddetinin düşmesine, dolayısıyla tel ergime miktarının da azalmasına neden olur. Bu esnada sabit hızla gelen tel, arkı normal konumuna döndürür. Ark boyu kısaldığında tel ergime miktarı artar, akım şiddeti yükselir, sabit gelen tel hızı arkı normal boyuna döndürdüğü içinde akım ve gerilim değerleri uygun değerlere seyreder.



Şekil 3.3. Ark uzunluğunu içten ayar yardımı ile ayarlanması [12].

### 3.1.1.1.Sinerjik Darbeli Akım Üreteçleri

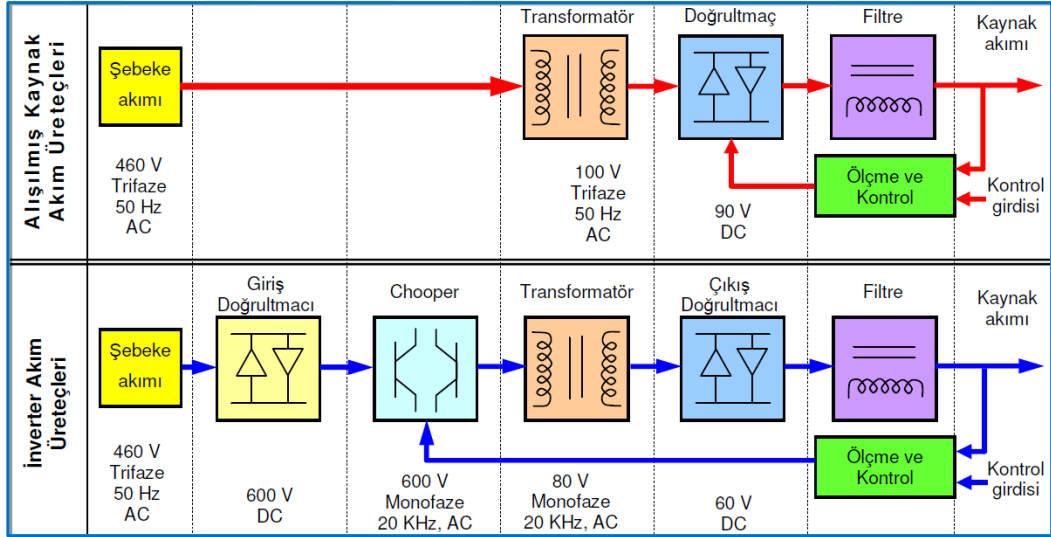
İyi bir nüfuziyetin parçaya ısı girdisinin sınırlı tutulması istendiğinde, darbeli doğru akım yöntemi uygulanarak sinerjik darbeli akım üreteçleri kullanılır. Darbeli doğru akımda, akım şiddeti ise belirli bir değer arasında ve istenen frekansta değişmektedir. Şekil 3.4’de MIG-MAG kaynağında darbeli akımın zamana bağlı değişimi verilmiştir [57].



Şekil 3.4. MIG kaynağında darbeleri akımın zamana bağlı değişimi.

### 3.1.1.2.İnverter Tipi Akım Üreteçleri

Teknolojinin son gelişmelerinden birisi olan ve en mühimi inverter türü akım üreteçlerinin uygulamaya konulmuş olmasıdır. Bu makinalar daha önce kontrol devrelerinde doğru akım üretiminde ve uçak endüstrisinde kullanılmaya başlanmıştır. Geleneksel ve inverter türü akım üreteçlerinin prensip şemasında Şekil 3.5'da gösterilmiştir [57].



Şekil 3.5. Alışılmış ve inverter türü akım üreteçlerinin prensip şeması [57].

### 3.1.2.Kaynak Torcu ve Kablo Grubu

MIG-MAG kaynağında torcun görevi elektroda akımın yüklenmesi ile ark bölgesine koruyucu gazın gönderilmesi işlemidir [6]. Kaynak torcunun tetiğine basıldığında, önce ayarlanmış debide koruyucu gaz akışı sağlanır. Kısa bir süre sonra ark oluşumu gerçekleşir ve ark oluşuktan kısa bir zaman sonra tel sürme tertibatı devreye girer. Birleştirme işlemi sonlanması durumunda, bu sıralamanın tersi meydana gelmektedir. Soğutma suyunun devreye giriş işlemi ile çıkışı büyük güçlü makinalarda kumanda tertibatı ile gerçekleşmektedir.

Standart bir torçta bulunan elemanlar;

**Nozul:** Torcun uç tarafında kullanılan ve kaynak bölgesinde gazın koruma yapması için gazı bir arada tutan saf malzemedir.

**Meme Tutucu:** Boyun ve kontak meme arasındaki bağlantı ile iletimi sağlayan malzemedir.

**Kontak Meme/Temas Tüpü:** MIG-MAG kaynağında tel elektrod daima ilerlediği için tele elektrik iletimi bir kayar kontakla sağlanmaktadır. Tel torcu terk etmeden önce bakır esaslı bir kontak lülesi içirisinden geçerken kaynak akımı ile yüklenir. Kaynaktaki arkın düzgün oluşmasındaki ve arkın en son iletildiği en önemli malzeme kontak memedir.

**Gaz Difüzörü/ Gaz Dağıtıcısı:** Kaynak bölgesine gazın düzenli olarak dağıtılması işlemini gören sarf malzemedir. Kompozit (standart), seramik ve karbon olarak farklı özelliklerde bulunur.

**Spiraller:** Kaynak telinin düzenli olarak kullanım yerine iletilmesine yarar.

**Akım Kabloları:** Kaynak kabloları ile elektrik bağlantılarının maksimum akım şiddetinde bile aşırı derecede ısınmayacak bir boyutta seçilmesi gereken malzemelerdir [12,58].

### **3.1.3.Koruyucu Gazlar**

Koruyucu gazın temel görevi, havada bulunan kaynak açısından zararlı gazların (oksijen, azot vb.) ergimiş kaynak metaline girmesine engelleyerek sağlam bir kaynak dikişi oluşturulmasını sağlamaktadır [59].

#### **3.1.3.1.Argon**

Atmosferde %0,934 oranında bulunduğundan, argon gazı havadan elde edilir. Atmosferden damıtılarak elde edilir. Arkın tutaşması kolaydır ve alternatif akım ile alüminyum ve magnezyum kaynağından çok üstün oksit temizleme etkisi gösterirler [57]. Negatif kutupta argon koruyucu gaz olarak alüminyum, bakır, nikel ile titanyum kaynağı dışında genelde az kullanılmaktadır [12].

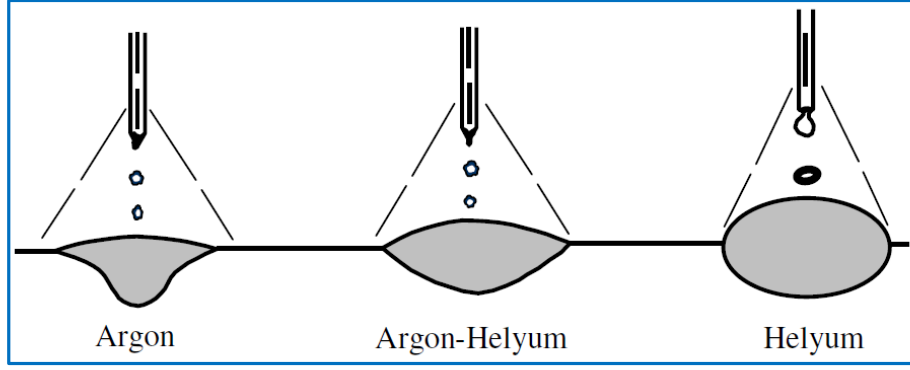
#### **3.1.3.2.Helyum**

Atmosferde çok az miktarlarda bulunan helyumu ayırtmak endüstriyel olarak imkânsızdır; günümüzde doğalgazdan ayrıştırılarak helyum elde edilmektedir [12]. En hafif monoatomik gazlardan olan helyum, argon gazına göre 10 kat daha hafiftir ve bu özelliği ile de kaynak esnasında etkin bir korumanın gerçekleşmesi için gerekli sarfiyatını artırmaktadır. Helyum atmosferi ise yüksek ısı iletme yeteneğine sahiptir. Bu sebepten derin nüfuziyetli kaynak dikişleri elde edilir. Kalın kesitli ve ısıyı iyi ileten metallerin kaynağında kullanılır [60].

#### **3.1.3.3.Argon-Helyum**

Her iki gazın avantajlarından faydalanmak için hazırlanan koruyucu gaz karışımıdır [59]. Saf argon, çelik ve demirdışı metallerin kaynağında yaygın olarak kullanılır [61]. Başlıca argon, helyum ve argon-helyum karışımı dikiş profilleri Şekil 3.6'de gösterilmiştir. Helyum, argon gazına oranla daha yüksek ark gerilimi oluşturur. Kısa devre geçişinde, argon gazı ile helyum gazları, %60-90 helyum oranına kadar farklı oranlarda karıştırılarak kullanılırlar [12].





Şekil 3.6. Argon ve helyum gazlarının kaynak dikiş şekilleri.

### 3.1.4. Tel Sürme Tertibatı

Tel sürme tertibatı, teli makaradan sağarak eriyen tel miktarını ark bölgesine gönderen bir mekanizmadır. Elektrod besleme ünitesi (tel besleyici) bir elektrod motoru ile elektrod makaraları, elektrod doğrultusunu ve basıncını ayarlayan aksesuarlardan oluşmaktadır. Elektrod besleme motoru çoğunlukla doğru akımla çalışır [58].

### 3.2. KAYNAK İLAVE TELLERİ

MIG-MAG kaynak yönteminde kullanılan elektrotların çaplarının ince olması sebebi ile akım yoğunluğu elektrik ark kaynak yöntemine göre yüksektir ( $100-300 \text{ A/mm}^2$ ). Akım yoğunluğunun yüksekliği; metal transfer formunu, kaynak hızını ve nüfuziyet profilini olumlu yönde etkilemektedir [12]. Elektrotların ise çapları (0.6), 0.8, 0.9, 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 2.0, 2.4 ve (3.2) mm arasında değişmektedir. MIG kaynak yönteminde kullanılan tel elektrotların yüzeyleri pürüzsüz ve hassas olmalıdır [58].

### 3.3. KAYNAK PARAMETRELERİ

Kaynak parametreleri, kaynak işlemi ile daha sonrasında kaynaklı birleştirmenin kalitesini belirleyen önemli unsurlardandır. Kaynak parametreleri; kaynaklanan metal yâda alaşımı ile kaynak metalin çeşidi, ebetları, kaynak ağzı çeşidi ve geometrisi, kaynak pozisyonu ile kaynaklı bağlantıdan beklenen mekanik özelliklere göre belirlenir. Bu parametrelerin tercihi, kaynakçının çalışma imkânlarını kolaylaştırır [12].

Kaynak parametreleri, kaynak öncesi belirlenir. Kaynak esnasında değiştirilmesi mümkün olmayan parametreler, birinci derece ayarlanabilir. İkinci derecede ayarlanabilir parametreler olacak şekilde üç ayrı grupta incelenir [58].

İlk gruba giren parametreler, kaynak işlemi öncesi belirlenen koruyucu gaz çeşidi, elektrod çapı ve çeşidini belirler. İkinci gruba giren ve de birinci derece ayarlanabilen kaynak parametreleri, kaynak dikişini kontrol altında tutan akım şiddeti (tel hızı), ark gerilimi ile kaynak hızıdır. Üçüncü grup olan ikinci derece ayarlanabilir kaynak parametreleri kaynak işlemi esnasında sürekli değişen kaynak dikişinin biçimini oldukça etkili olacak şekilde değiştiren parametrelerdir. Kaynak dikişinin şeklini etkileyen bu parametreler torç eğimi, serbest tel uzunluğu, nozul mesafesi, kaynak yönü, koruyucu gaz miktarı ile kaynak pozisyonu olarak sıralanabilir. Çizelge 3.1’de kaynak parametrelerinin dikiş boyutlarına etkisi verilmiştir [12].

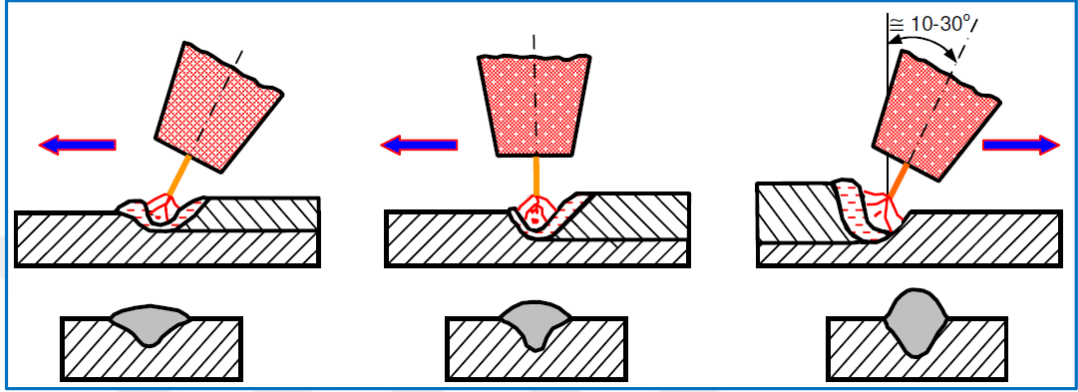
Çizelge 3.1. Kaynak parametrelerinin dikiş boyutlarına etkisi.

Kaynak parametreleri	D İ K İ Ş B O Y U T L A R I							
	Nüfuziyet		Ergime gücü		Dikiş yüksekliği		Dikiş genişliği	
	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓
Tel ilerleme hızı (Akım şiddeti)	↑	↓	↑	↓	↑	↓	*	*
Gerilim	+	+	*	*	*	*	↑	↓
Kaynak hızı	+	+	*	*	↓	↑	↑	↓
Serbest tel uzunluğu	↓	↑	↑	↓	↑	↓	↓	↑
Tel çapı	↓	↑	↓	↑	*	*	*	*
Koruyucu gaz CO <sub>2</sub>	↑	↓	*	*	*	*	↑	↓
Torç açısı	Sağa kaynak	Sola kaynak	*	*	*	*	Sola kaynak	Sağa kaynak
*: Etkisi yok		+: Etkisi az		↑: Artar		↓: Azalır		

**Torç Açısı:** Kaynak elektrodunun ya da torcunun iş parçasına nazaran konumu ile kaynak esnasındaki hareketi kaynak dikişinin biçimini etkileyen etmenlerden birisidir [62].

MIG-MAG kaynağında, sağa ve de sola kaynak yöntemi uygulanabilir. Torcun kaynak yapılacak bölgeye tam dik olarak tutulması halinde, koruyucu gazın kaynak banyosu

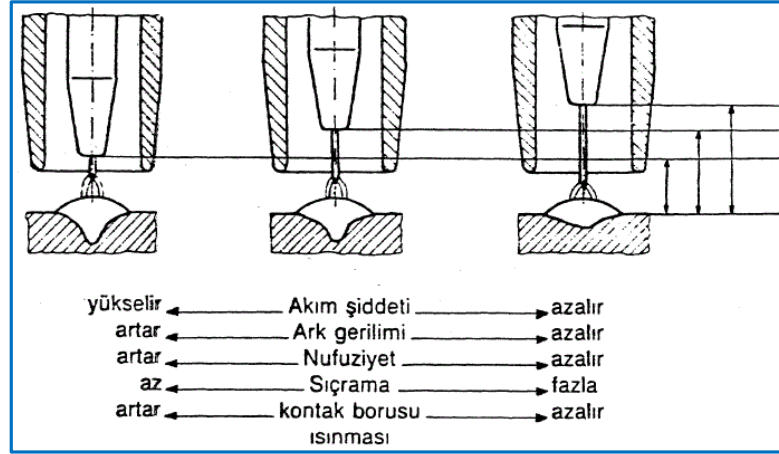
ile elektrod ucunu en iyi biçimde korunması sağlamış olur. Fakat kaynakçı, kaynak banyosunu ile elektrod ucunun ergimesini kontrollu bir şekilde tutabilmek için torcu kaynak yönünde ya da ters yönde yaklaşık 10-30° kadar yatırmaya gerek duyulur [58]. Şekil 3.7’de MIG-MAG yönteminde sağa ve sola kaynak halinde dikiş formunun değişimi verilmiştir.



Şekil 3.7. MIG-MAG yönteminde sağa ve sola kaynak halinde dikiş formu.

Sağa kaynak yöntemiyle (pozitif hareket açısı) daha dar, daha yüksek ve de daha derin nüfuziyetli dikiş elde edilir. Ark daha stabildir ve sıçrama daha azdır. Sağa kaynak daha ziyade çeliklerin kaynağında tercih edilmektedir. Sola kaynak (hareket açısı negatif) ise kontaminasyona engel olmak ve ana metale intikal eden ısı miktarını azaltmak için alüminyum kaynağında tercih edilen bir yöntemdir [62].

**Serbest Tel Uzunluğu:** Elektrot serbest tel uzunluğu, torç içerisindeki kontak borusunun en uç noktası ve tel elektrodun uç kısmı arasındaki mesafe olarak adlandırılır [62]. Serbest tel uzunluğunun, uzaması veya kısalması sonucu direncin değişmesi ile akım şiddeti azalır ya da artar. Nüfuziyet derinliği ise de buna bağlı olarak değişir (Şekil 3.8) [12].



Şekil 3.8. Serbest tel uzunluğunun dikiş formuna etkisi [62].

**Nozul Mesafesi:** Gaz nozulunun iş parçasına olan mesafesi, yeterli gaz korunmasını sağlayacak kadar kısa ve gaz çıkışını engellemeyecek uzunlukta olmalıdır. Nozulun iş parçasına uzaklığı ise akım şiddetine bağlı olarak belirlenir. Genellikle akım şiddetinin artması ile nozul mesafesi artmaktadır. Nozul iş malzemesine uzak ise kaynak banyosu yeterli gaz koruması sağlayamaz. Şayet nozul iş parçasında yakın ise kaynakçının kaynak banyosunu görmesi engellenebilir. Bu durumda nozul fazla ısınır ve sıçramaların nozula yapışmasında artacaktır [58].

**Koruyucu Gaz Debisi:** Kullanılan koruyucu gazın yoğunluğuna, ark türlerine, ergime gücüne ve kaynaklama yapılacak malzemeye, gaz memesinin iş parçasına olan uzaklığına; gaz memesinin iç çapına, birleştirme biçimine, kaynak ağzının büyüklüğüne, kaynak pozisyonu ile kaynak yapılan çevredeki havanın sirkülasyonuna bağlıdır [12].

**Kutuplama:** Gazaltı kaynağında doğru akım ile yatay karakteristikli kaynak akım üreteçleri kullanılmalıdır. Alüminyum ve alaşımlarının kaynağında ise banyo üzerinde oluşan oksit tabakasının parçalanması için elektrodun mutlaka pozitif kutba (ters kutuplama-DCEP) bağlanması gereklidir [63].

**Kaynak Ağızı Açma:** Kaynak ağzının biçimlendirilmesinde birleştirilecek parçanın şekli ile malzemenin türü ve ilgili hususlar göz önünde bulundurulmalıdır. Kaynak ağzı hazırlamadaki en önemli özellik, gereken sağlamlıkta ve kalitede kaynak dikişini

gerçekleştirmektedir. 5 mm kalınlığına kadarki malzemelerin küt ek kaynağında, kaynak ağzına gerek duyulmamaktadır. Lakin kalınlığı 5 mm'den çok olan parçalarda, duruma göre farklı kaynak ağzı çeşidi ve geometrisinde kaynak ağzı açılması gerekmektedir.

**Puntalama:** MIG-MAG kaynağından önce genellikle iş parçalarının puntalanması gerekmektedir. Kaynak işlemi yapılmadan önce puntalama yerleri taşlanmazsa, kaynak yapılan punta yerlerinde kaynak hataları ortaya çıkabilir.

### **3.4.KAYNAK POZİSYONLARI**

MIG-MAG kaynağı uygulamalarında, özellikle kullanılan elektrot ile akım üreteçlerinin gelişmesiyle her pozisyonda kaynak yapmaya olanak sağlamaktadır. Yöntem otomatik veya robot kaynağına uygun olduğundan, seri üretimde birden fazla yerde direnç kaynağının yerinde kullanılabilir [58].

**Yatay Oluk Pozisyonu:** Tek paso yapılan kaynakta hafif geri adım yöntemi uygulanmaktadır. Çok pasolu kaynak bağlantısı halinde ise kök pasolarda, kök aralığını doldurmak için hafif sarkaç hareketi, dolgu ile ara pasolarında ise yine aynı hareket daha geniş bir şekilde uygulanır. Bu durum kenarlarda olması gereken ergimeyi yapacak ve bu kısımların iyi bir şekilde dolmasını sağlayacak biçimde durulur [12].

**Yukarıdan Aşağıya ve Aşağıdan Yukarıya Kaynak:** Dikey pozisyon yapılan kaynak işlemlerinde ince sacların birleştirilmesinde daima yukarıdan aşağıya doğru yapılmalıdır. Yukarıdan aşağıya doğru kaynak yapılırken ise ergiyik metal banyosunun arkın önüne geçmesi için torç kaynak ilerleme yönünde 70-75° açı ile tutulur [58].

**Tavan ve Korniş Pozisyonunda Kaynak:** Sacların tavan kaynağında yüksek hızlı ve kısa ark boyuyla kaynak işlemi salınım hareketi olmaksızın yapılmalıdır. Bu zor pozisyon ise için kaynak akımının mümkün olan en düşük ayarında olması gerekir.

**Boru Birleştirmelerinde Pozisyon Kaynağı:** Ergimiş kaynak banyosu yer çekimi etkisiyle bağlantının dışına doğru akmaya çalışır ve bu durumu yenmek için uygun kaynak tekniği kullanmak gerekmektedir. Bu sebeple pozisyon kaynaklarında küçük çaplara sahip elektrotlar ve darbeli veya kısa devre ark tercih edilmektedir [12].

### **3.5.MIG-MAG KAYNAĞININ AVANTAJ VE DEZAVATAJLARI**

#### **3.5.1.Avantajları**

- Demir esaslı ve demirdışı tüm metal ve alaşımlarına uygulanabilen bir kaynaklı birleştirme yöntemidir.
- Sınırlı uzunlukta elektrod kullanma ile ilgili problem yoktur.
- Her pozisyonda kaynak işlemleri yapılır ve uygulanması kolaydır.
- Kaynak işlemleri esnasında curuf tabakası oluşmamaktadır (özlü tel ile kaynak hariç).
- Kullanılan tel elektrodun diğer kaynak yöntemlerindekiğine göre daha ince oluşu ve daha dar bir kök aralığı bırakılmasında ise dar bir kaynak yapılmasına olanak vererek aynı kalınlıkta bir malzemenin birleştirilmesinde daha az elektrod tüketimi mümkündür.
- Fazla curuf oluşmaması sebebiyle pasolar arası temizlik için harcanan vakit azdır.

#### **3.5.2.Dezavantajları**

- Kaynak donımı, elektrik ark kaynağına göre karmaşık, ilk aşamada yatırım maliyetleri daha yüksek ve taşınması daha zordur.
- Elektrik ark kaynağı pensesine göre kaynak torcu daha büyük olması dolayısıyla kaynak metalinin koruyucu gazla aktif bir şekilde korunması amacıyla, torcun bağlantıya 10-19 mm arasında değişken bir mesafeden tutulması gerekmesi sebebi ile ulaşılması güç olan yerlerde işlem yapılması çok mümkün değildir.
- Yüksek şiddette ısı yayılması ile ark yoğunluğu sebebiyle gerekli önlemler alınarak çalışılmalıdır [12,64].

### 3.6.ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARININ MIG KAYNAĞI

İlk kez alüminyum ve alüminyum alaşımlarında MIG kaynak yöntemi 1948 yılında ABD’de uygulanmaya başlanmıştır. Alüminyum ve alaşımlarının kullanımından sonra MIG kaynak yöntemi bakır alaşımlarının, yüksek alaşımlı ve karbonlu çeliklerin, kaynağında geniş bir uygulama alanına sahip olup, demir esaslı ve demirdışı metal ve alaşımlarının kaynağına uygulanabilmektedir [8]. MIG kaynağı; dolgu metalinin kaynak havuzuna otomatik olarak eklendiği ve asal bir gaz tarafından kaynak bölgesinin korunduğu bir kaynak yöntemidir [13]. Günümüzde alüminyum alaşımların birleştirilmesinde MIG kaynak yöntemi en çok kullanılan tekniktir.

Kaynaklanacak malzeme ve aynı zamanda ilave metal olarak kullanılan tel elektrod arasında oluşur ve doğru akım ile yapılır. Oluşan oksit tabakasının parçalanabilmesi içinde elektrod pozitif kutupta bağlanır. Alüminyum alaşımlarının kaynağında sola kaynak yöntemi tercih edilmektedir. İnce damlalı metal damla geçişi, spreyci damla geçişi olarak adlandırılır. Korucuyu gaz olarak soy gaz atmosferi (Ar veya He veya Ar/He karışımı) altında korunur. MIG kaynak yöntemi kalın çaplı tel elektrodlar ile kaynaklı birleştirme yapılarak daha kararlı hale getirilebilir. Tel elektrodun düzgün olarak kaynak bölgesine iletilebilmesi için teflon spiral kullanılmalıdır. Kılavuzlar ile tel sürme makaraların yuvaları U şeklinde olmalı, kontakt memenin daha uzun olması ve iç çap toleransında daha fazla olması gerekmektedir. 4 mm’den büyük kesit kalınlığına sahip malzemeleri alın kaynağını ya da köşe kaynağını tek pasoda yapmak mümkündür. Yüksek kaynak akımı ve güçlü bir nüfuziyet nedeniyle 6 mm’ye kadar olan kalınlığa sahip malzemelerde kaynak banyosunu desteklemek için kaynak altlığı kullanılması gerekmektedir [65].

Alüminyum alaşımı kaynak telinin esas alaşımları magnezyum, çinko, mangan, silisyum ve bakırdır. Bu elementler alaşımın mekanik özelliklerinin artırılmasını, birleştirme işlemi yapılırken ortaya çıkan alaşımın korozyon direnci ile kaynak kabiliyeti de gözönünde bulundurulur. Alüminyum ve alaşımlarının MIG kaynağında kullanılan kaynak telleri AWS 5.10’a ve DIN 1732’ e göre standartlaştırılır (Çizelge 3.2 ve 3.3).

Çizelge 3.2. AWS 5.10'a göre alüminyum kaynak ilave telleri.

Tür	Kimyasal Bileşim (%)								
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
1100	1.0 Si+Fe		0.05-0.20	0.05	-	-	0.10	-	Mim 99.0
4043	4.5-6.0	0.80	0.30	0.05	0.05	-	0.10	0.20	Kalan
5154	0.45 Si+Fe		0.10	0.10	3.1-3.9	0.15-0.35	0.20	0.20	Kalan
5154	0.45 Si+Fe		0.05	0.01	3.1-3.9	0.15-0.35	0.20	0.05	Kalan
5652	0.45 Si+Fe		0.04	0.01	2.2-2.8	0.15-0.35	0.10	-	Kalan
5554	0.45 Si+Fe		0.10	0.50-1.0	2.4-3.0	0.05-0.20	0.25	0.05-0.20	Kalan
5356	0.50 Si+Fe		0.10	0.05-0.20	4.5-5.5	0.05-0.20	0.10	0.06-0.20	Kalan
5183	0.40	0.40	0.10	0.50-1.0	4.3-5.2	0.05-0.25	0.25	0.15	Kalan
5556	0.45 Si+Fe		0.10	0.50-1.0	4.7-5.5	0.04-0.35	0.25	0.05-0.20	Kalan
6061	0.40-0.80	0.70	0.15-0.40	0.15	0.80-1.2	0.04-0.35	0.25	0.15	Kalan

Çizelge 3.3. DIN 1732'ye göre alüminyum ve alaşımları için kaynak ilave telleri.

Simge	Malzeme No	Kimyasal bileşim (%)	Erime sıcaklığı (°C)	Yoğunluk (kg/cm <sup>3</sup> )	D N 1712 Batt 3 ve D N 1725 Batt 1 ve Batt 2'ye Göre uygun alaşımları
S Al99-8	3,0286	Al min 99,8	658	2.70	Al99,8 Al99,7 Al99,5 E-Al
S Al99-8	3,0286	Al min 99,8	658	2.70	Al99,8 Al99,7 Al99,5 E-Al
S Al99,5	3,0259	Al min 99,5	647 ila 658	2.70	Al99,5 Al99 E-Al
S Al99-5Ti	3,0805	Al+Ti min. 99,5 Ti 0.1 -0.2	647 ila 658	2.71	Al99,5 Al99 Al99,8 Al99,7
S AlMn	3,0516	Mn 0,9-1,1 Mg 0-0,3 Gerisi Al	648 ila 658	2.73	AlMn
S AlMg3	3,3536	Mg 2,6-3,4 Mn0-0,5 Cr0,10-0,25 Ti0,10-0,25 Gerisi Al	500 ila 642	2.66	AlMg3, AlMg3, AlMgMn AlMg1, AlMg2, AlMgSi0,5 AlMgSi08 G- Al Mg3 G- Al Mg3 (Cu) G- Al Mg3Si
A AlMg5	3,3556	Mg 4,5-5,5 Mn0-0,5 Cr0,-0,3 Ti0,10-0,25 Gerisi Al	562 ila 633	2.61	AlMg5, AlMgMn AlMg3 AlMgMn AlMgZn G AlMg3, G-AlMg3Si G AlMg5, G-AlMg5Si G-AlMg10 GAlMg3 (Cu) AlMgSi1
S AlMg4.5Mn	3,3548	Mg 4,3-5,2 Mn0,60-10 Cr0,05-0,25 Ti0,10-0,25 Gerisi Al	568 ila 638	2.4	AlMg4.5Mn, AlMg5 AlZnMg1 G AlMg3, G-AlMg3Si G AlMg5, G-AlMg5Si G-AlMg10 GAlMg3 (Cu) AlMgSi
S AlSi5	3,2245	Si 4,5-5,5 Gerisi Al	573 ila 625	2.68	AlSi5, AlMgSi0.5 AlMgSi0.8, AlMgSi
S AlSi12	3,2586	Si 11,0-13,5 Mn0-0,5 Gerisi Al	573 ila 585	2.65	%7'den fazla Si



Alüminyum alaşımlarının ısı iletkenliklerinin yüksek olması sebebi ile kalın kesitli parçalarda kaynak bölgesinde şiddetli soğuma gerçekleşir. Bu nedenle kalın kesitli ve döküm alüminyum alaşımlı parçalarda ön tav gerekmektedir. 15 mm'den kalın parçalara 200 °C dolaylarına kadar ön tav işlemi uygulanabilir. Dövme alüminyum alaşımlarında genelde ön tav yerine akım şiddeti ve ark gerilimi yüksek değerleri ile ısı girdisi sağlayarak kaynaklama işlemi gerçekleştirilir [57]. Alüminyum malzemelerin MIG kaynağında 3 mm'den fazla olan kalınlıktaki parçalar üzerinde ve bütün kaynak pozisyonlarında kullanılır [66]. Alüminyum ve alaşımları için ergitmeli kaynak yöntemlerinde uygulanması gereken ağız biçimleri EN ISO 9692-3 standartında verilmiştir (Şekil 3.9).

Referans No.	Malzeme kalınlığı t mm	Kaynak ağız tipi	Sembol (ISO 2553'e göre)	Enine kesit	Boyutlar				Tavsiye edilen kaynak işlemi (ISO 4063'e göre referans no)
					Açı <sup>a)</sup> α,β	Aralık <sup>b)</sup> b mm	Kök yüzeyi kalınlığı c mm	Nüfuziyet derinliği h mm	
1.1	≤ 2	Kenet alın kaynağı			-	-	-	-	3 111 141 512
1.2.1	≤ 4	Küt alın kaynağı			-	≈ t	-	-	3 111 141
1.2.2	3 < t ≤ 8					6sbs8	-	-	13
	≤ 15					≈ t	-	-	141 <sup>d)</sup>
						≤ 1 <sup>d)</sup>	-	-	52
					0				

Şekil 3.9. Alüminyum ve alaşımlarının kaynağında kullanılan kaynak ağızları.

## BÖLÜM 4

### LİTERATÜR TARAMASI

Literatür taramasındaki amaç, tez konusu olan çalışmanın daha önce yapılmış çalışmalarla benzerliğin incelenmesidir. Benzer araştırma olması durumunda, benzer çalışma ile bu araştırma sonuçları tartışma bölümünde kıyaslanacaktır. Bu amaçla 5xxx ve 6xxx ile yapılmış çalışmalar, mekanik test (çekme, eğme, çentik darbe, korozyon) uygulanmış çalışmalar, sertlik ölçümleri yapılmış çalışmalar ve MIG kaynağı üzerinde yapılmış çalışmalar incelenmiş ve özetler halinde verilmiştir.

Tatlı ve Köse [67], AA 5754 alüminyum alaşımının robot (MIG) kaynağı ile birleştirilmesi ve mikroyapısının incelenmesi başlıklı çalışmalarında, 2 mm kalınlığa sahip AA 5754-H22 alüminyum alaşımı levhalar kullanılmıştır. Kaynaklı birleştirme işlemleri MIG yöntemiyle ve robot yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Birleştirilen numuneler çekme ve eğme testleri, mikrosertlik ölçümleri, mikroskop ile makroyapı görüntüleri ve ışık mikroskobu ile mikroyapı görüntüleri elde edilmiştir.

Çalışmaları sonucunda, darbeli DC kullanılması sonucu düşük ısı girdisi sağlandığında bu numunelerde çarpılma gözlenmediği ancak numunelerin kaynak dikişinde gözle görülebilir bir hataya rastlandığını belirtmişlerdir. Ayrıca çekme deneyi sonucunda deney numunelerindeki kopmaların ITAB ve civarından sünek kopma şeklinde gerçekleştiğini ve deney numunelerinde kaynak bölgesinde aşırı derece mekanik uyumsuzluğa ve de aşırı derecede mukavemet düşüşüne rastlanılmadığı rapor edilmiştir.

Lakshminarayanan et al. [68], kaynak işleminin AA6061 alüminyum alaşımı bağlantılarının çekme dayanımı özelliklerine etkisi konusunu araştırmışlardır.

Çalışmalarında gaz altı ark kaynağı, gaz tungsten ark kaynağı ve sürtünme karıştırma kaynağı olmak üzere üç farklı kaynak yöntemiyle birleştirilmiş numuneler kullanmışlardır. Üç farklı yöntem ile birleştirilen bağlantıların çekme dayanımı özelliklerini, sertliğini ve yüzey kırılma morfolojisini değerlendirip sonuçları birbiriyle kıyaslamışlardır.

Çalışma sonucunda sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilen AA6061 alüminyum alaşımı bağlantıları diğer yöntemlere göre üstün mekanik özellikler göstermiştir. Bu durumu temel olarak kaynak bölgesinin çok iyi oluşmuş eş eksenli yapıya sahip olmasına bağlamışlardır. Bağlantıların en düşük sertlik değerini gaz altı ark kaynağında en yüksek değerini ise sürtünme karıştırma kaynağında bulmuşlardır.

Ahmad and Bakar [69], AA6061 alüminyum alaşımına kaynak işleminden sonra uygulanan ısıtma işleminin mekanik ve mikroyapı özelliklerine olan etkisini araştırmışlardır. 10 mm kalınlığında 6061 alüminyum alaşımı soğuk metal transfer tekniğiyle gaz metal ark yöntemi kullanarak birleştirmişlerdir. Dolgu metali olarak ise 1.2 mm çapında ER4043 teli kullanmışlardır. Kaynaklı numuneleri işlem yapılmamış ve kaynak sonrası ısıtma işlemi uygulanmış numuneler olarak iki gruba ayırmışlardır. Numuneler çözeltiliye alma ısıtma işlemi, su verme işlemi, yapay yaşlandırma işlemine tabi tutulmuştur. Sonrasında çekme testleri uygulanmış, bu işlemin ardından çatlak deseni taramalı elektron mikroskop ile incelenmiştir. Kaynaklı bağlantıların Vickers mikrosertlik değerlerinin ölçümünü gerçekleştirmişlerdir.

Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre kaynak sonrasında uygulanan ısıtma işlemi mekanik özellikler ve mikroyapı karakteristiği konusunda kaynak sonrası işlem yapılmamış numunelere göre üstünlük sağlamıştır. Kaynak sonrası ısıtma işlemi uygulanmış numunelerde çekme dayanımı ve sertlik değerinde artış görmüşlerdir. Taramalı elektron mikroskopundan elde edilen bulgulara göre bu numunelerde daha küçük tane boyutu, taneler arasında küçük boşluklar oluşmuştur.

Arunkumar et all. [70], gaz metal ark, gaz tungsten ark kaynak yöntemleri kullanılarak hazırlanan AA2219 alüminyum alaşımı kaynaklı bağlantılarının enine çekmesi mekanik ve metalürjik özelliklerinin karşılaştırılması üzerine bir çalışmada

bulunmuşlardır. Çalışmalarında 25 mm kalınlığında AA2219 sac levhaya gaz metal ark (GMAK) ve gaz tungsten ark (GTAK) kaynak yöntemleriyle alın birleştirme işlemi uygulamışlardır.

Çalışmalarının sonucunda GTAK yönteminde, GMAK yöntemine göre elde edilen kaynaklı bağlantılar daha az enine çekme dayanımı göstermiştir. EDS sonuçlarına göre GTAK işlemi için ısı tesiri altındaki bölge ve kaynak banyosunun içinde şiddetli termal döngüleri azalttığını gözlemlemişlerdir. GTAK işleminde elde edilen kaynaklı bağlantıların çekme dayanımı GMAK işlemindekilere göre daha yüksek çıkmıştır. GTAK ve GMAK işlemi uygulanan kaynaklı bağlantıların sertlik değeri ana metalden ve ısı tesiri altındaki bölgeden daha az değerdedir. Uyguladıkları X ışını difraksiyon işlemi XRD elde edilen bulgulara göre Al'nin temel faz olduğunu ve düşük miktarda metaller arası Al<sub>2</sub>Cu oluştuğunu gözlemlemişlerdir. Taramalı elektron mikroskop (SEM) işleminden elde ettikleri resimlere göre ise GTAK işleminin çekme kırık yüzeyinde daha iyi çukurlar oluştuğu sonucuna varmışlardır.

Ilman et all. [71], gerilim giderme ortamında kaynak işlemi uygulanmış AA5083 alüminyum alaşımının %3.5 NaCl çözeltisinde çevresel destekli yorulma davranışı konusunda bir araştırma yapmışlardır. Kaynak işlemi ER5356 dolgu metaliyle birlikte MIG kaynak yöntemi kullanmışlardır. Kaynak süresince gerilme giderme amacıyla numunelere statik termal germe işlemi uygulamışlardır. Bu işlem uygulanan numunelerin çekme ve akma dayanımları işlem uygulanmadan kaynak edilen numunelere göre daha yüksek sonuçlara ulaşmıştır. Sonrasında yorulma çatlak yayılma testlerini, kromat önleyici kullanarak ve kullanmadan %3.5 NaCl çözeltisi içerisinde gerçekleştirmişlerdir. Tamamlayıcı testler için kalıntı gerilme ölçme, korozyon çevre etkisini değerlendirmek için ise potansiyodinamik polarizasyon tekniğini kullanmışlardır. Statik termal germe yöntemiyle uygulanan gerilim giderme işlemi düşük akım yoğunluklarının beraberinde gelen potansiyodinamik polarizasyon eğrileri içinde pasif bölgelerin varlığında gösterildiği gibi pasif tabaka dönüşümünü artıran basma kalıntı gerilmeleri üretebilmiştir. Basma kalıntı gerilmelerinden ayrı olarak tekrar pasifleştirme yeteneği kromat gibi önleyicinin eklenmesiyle artmıştır. Gerilim giderme işlemi uygulanan kaynak metallerinde çevresel destekli yorulma çatlak ilerlemesinin önlenmesi düşük  $\Delta K$  (gerilme yoğunluğu faktörü aralığı) ve kaynak

metalini yeniden pasifleştirme yeteneğine sahip olan basma kalıntı gerilmesinin sinerjik etkisiyle ilişkili olduğu sonucuna varmışlardır.

Yüksel [72], farklı derecede sıcaklık ve zaman aralıklarında yapılan yapay yaşlandırma işlemlerinin 6063 alaşımının sertliği ile korozyon davranışına olan etkisini incelemek amacıyla, 20 mm çapında çubuk şeklinde ticari AA 6063 alaşımı kullanılmıştır. Alüminyum alaşımları 535 °C’de 2 saat süre ile çözeltiye alınmış ve sonrasında numunelere su verilmiştir. Aşırı doymuş katı eriyik numunelerin korozyon davranışını tespit etmek için su verilmiştir. Daha sonra numunenin doğal ve suni yaşlanma etkisinin en az düzeyde olabilmesi için -5 °C tutulmuştur. Vickers sertlik ölçümleri 500 g yük altında 15 saniye süresince yapılmıştır. Alüminyum 6063 malzemelerine sertlik ve korozyon incelemeleri yapılmıştır.

Çalışma sonucunda, suni yaşlandırma işlemi için belirlenen sıcaklık değeri arttıkça,  $\beta^{11}$  fazının çökmesi tamamlanmasının daha kısa sürede gerçekleştiği görülmüştür. Tüm yaşlandırma sıcaklıkları için  $\beta^{11}$  fazının çökmesi tamamlanmaya kadar malzemelerin sertliklerinde artış gözlemlenirken  $\beta^{11}$  fazının  $\beta^1$  ve  $\beta$  fazına dönüşüm evresinde sertlik değerlerinde düşüş gözlemlenmiştir. Suni yaşlandırma  $\beta^{11}$  fazının çökmesi tamamlanmaya kadarki süreçte alaşımın tanelerarası korozyon hassasiyeti azalarak devam etmiştir. Çökelen fazın ebatları arttıkça tanelerarası korozyon direnci artarken, alaşımın oyuklanma korozyonuna karşı hassasiyeti artış göstermiştir.

Çetinkaya ve arkadaşları [73], ticari saflıktaki E3 (1030 serisi), E5 (1050 serisi) ve E30 (3003 serisi)’dan meydana gelen farklı alüminyum alaşımlarının, TIG ve MIG gazaltı kaynak yöntemi ile Ar ve Ar+%25 He karışımlarında Sg- $AlMg_5$  ve Sg- $AlSi_5$  ilave kaynak telleri kullanılarak birleştirilmiştir. Kaynaklı birleştirme yapılan malzemelerde mikroyapı incelemesi, sertlik ölçümü, çekme ve çentik darbe deneyi incelemeleri yapılmıştır.

Çalışma sonucunda, ITAB’ın geniş bir alana yayılmadığı, kaynak bölgesinde çekme dayanımının düşük ancak geçiş bölgesinde yüksek, ana malzemede ise her ikisi arasında bir değer sergilediği görülmüştür. Sertlikte ise ana malzemedeki kaynak bölgesine doğru sürekli bir yükselişin gözlemlendiği, bu değerlerin kaynak metalinde en

yüksek değere ulaştığı, mukavemet değerleri ilave tel ve koruyucu gaza göre değişiklik sergilediği şeklinde rapor edilmiştir.

Yürük ve Kahraman [74], farklı alüminyum alaşımlarının AA1050 ve AA5754 kaynak işleminde kaynak teli olarak çapı 1,2 olan AWS A510: ER5356 ilave dolgu metali ve Fronius TransSynergic 4000 Comfort tipi sinerjik gaz altı kaynak makinesi kullanılarak MIG kaynak uygulaması gerçekleştirmişlerdir. Numuneler 250×120×2 mm ölçülerinde kesilerek aralarında 1 mm kalacak şekilde puntalanmıştır. Kaynaklı numunelerin ise mekanik özelliklerini belirlemek için mikroyapı incelemeleri, çekme ve sertlik deneyleri gerçekleştirilmiştir

Çalışma sonucunda değişen kaynak parametreleri ile ısı girdisi etkilenmiş dolayısıyla kaynaklı bağlantıların çekme dayanımları farklılık göstermiştir. Kaynaklı numunelerin % uzama değeri belli bir akım değerine kadar artarken, kaynak akım değerinin daha da artması bu değeri düşürmüştür. Çekme testleri sonucunda kaynaklı numunelerde kopma AA1050 ITAB'ında meydana gelmiş ve % uzama değerleri ana malzemelere göre oldukça düşük değerde bulunmuştur. Tel ilerleme hızının artışına bağlı olarak kaynak hızı sabit olduğu için kaynak metali miktarının arttığı tespit edilmiştir. Sertlik sonucunda birleştirmenin her iki taraftaki ITAB ile kaynak metalinin sertliklerinin her iki ana metalden de yüksek olduğu görülmüştür. Mikroyapı çalışmaları sonucunda kaynak metalinin, hem ana metallere, hem de ITAB'a oranla daha ince taneli yapıya sahip olduğu bulunmuştur. 1050 alüminyum alaşımı ile 5754 AlMg alüminyum alaşımının MIG kaynağı ile belirlenen parametreler ve ilave metal kullanılarak birleştirilmesi başarılı bir şekilde gerçekleştiği rapor edilmiştir.

Kıratlı ve arkadaşlar [75], 10×50×3000 mm<sup>3</sup> boyutlarında imal edilmiş AA 6351 alüminyum alaşımlı malzemeye T6 ısıl işleme tabi tutulmuştur. Isıl işlem görmüş malzemeye TIG ve MIG kaynak yöntemi uygulaması yapılmıştır. Kaynak işleminde ER 4043 (AlSi-5) ilave tel olarak seçilmiş ve koruyucu olarak argon gazı kullanılmıştır. Birleştirilen numunelere sertlik deneyi, çekme deneyi ve mikroyapı incelemeleri ile sonuçlar elde edilmiştir.

Çalışma bulguları olarak, TIG ve MIG kaynak yöntemleri arasında karşılaştırma yapıldığında numunelerin mekanik özellikleri için akma gerilmelerinde istatistiksel olarak önemli bir fark çıkmamıştır. Kaynak yöntemi, çekme gerilmesi değerleri üzerinde etkili olmuştur. Geçiş bölgesindeki sertlik değeri ise esas metal ve kaynak metalinden yüksektir. TIG ve MIG kaynak yöntemleri ile yapılan birleştirmelerde, kaynak metalinin sertlik değeri birbirine yakın çıkmıştır. İki kaynak yönteminde de ITAB'ın sertlik değeri en yüksek değer olarak ölçülmüştür. TIG kaynağında, MIG kaynağına göre daha ince tane boyutunun olduğu gözlemlenmiştir.

Kumar et all. [76], vario teli kullanarak 6082 alüminyum alaşımının kaynak işlemi konusunda bir çalışmada bulunmuşlardır. Kaynak işleminde 1 mm kalınlığında 6082 alüminyum alaşımı malzeme, kaynak yönteminde ise darbeli DC pulsed gaz altı ark kaynak yöntemini vario teliyle beraber kullanmışlardır. “Vario teli” gaz altı ark kaynağının yeni bir değişkeni olup ince tel elektrod kullanımına izin vermektedir. Başlangıçta 1 mm çapında olan 4047 alaşımlı tel vario teli konsepti ile kullanılmak üzere  $1.2 \text{ mm} \times 0.4 \text{ mm}^2$  boyutlarına dönüştürülmüştür. Bu işlem sayesinde tel kesitinde meydana gelen azalış uzunluk başına düşen enerjiyi azaltmakta ve ince sacların gaz altı ark kaynağında kullanım aralığını genişletmektedir. Ayrıca bu işlem yüksek biriktirme oranı, düşük enerji girdisi ve iyi boşluklu köprü kapasitesi sağlamaktadır.

Çalışmalarında uyguladıkları kaynak işlemleri sonucunda bu yeni yöntemin ince alüminyum sacların kaynağında iyi işlem kararlılığına sahip olduğunu ancak kaynak kaçıklığının ısı girdisinin artmasıyla arttığını gözlemlemişlerdir. Bu durumun ısıdan etkilenen bölge ve ana metalde meydana gelen yüksek termal genişleme farklılığından kaynaklandığını belirtmişlerdir. Dikiş boyu, dikiş eni ve dışbükeylik gibi kaynak dikişi geometrisi parametreleri artan ısı girdisiyle artmıştır. Isı girdisindeki artışın sertliği azalttığını, kaynaklı bağlantıların çekme dayanımının gözenekli yapı dolayısıyla esas 6082 alüminyum alaşımına göre az olduğu sonucuna varmışlardır.

Taban ve Kaluç [77], EN AW-5083-H321 dövme alüminyum alaşımlı levhaların mekanik ve mikroyapısal özelliklerini incelemek için ergitme esaslı kaynak yöntemlerinden TIG, MIG ve katı hal yöntemlerinden ise sürtünme karıştırma kaynağı

(SKK) yöntemini kullanmışlardır. Alüminyum alaşımlı deney malzemesi 6,45 mm kalınlığında kesilmiş. Kaynak işleminde 1.6 mm çapında ER 5356 (EN AW- AlMg5Cr (A)) alüminyum alaşımlı tel elektrod kullanılmıştır. Kaynaklı birleştirme yapılan malzemelere görsel inceleme, çekme deneyi, kırılma yüzeylerinin incelenmesi, eğme deneyi, metalografik inceleme ve mikrosertlik ölçümleri yapılmıştır.

Çalışma sonucu olarak; SKK yapılmış levhada çarpılma gözükmezken kaynak ısı girdisi nedeniyle MIG ve TIG kaynağı uygulanmış levhaların çarpılmaları oldukça fazla olmuştur. SKK kaynaklı bağlantıda kaynak işleminde bir taşlama işlemi gerekmezken MIG, TIG işlemi yapılan levhalarda kaynak sırasında tel elektrod ve gaz sarfiyatının yanı sıra dikiş taşkınlıklarının giderilmesi gibi maliyeti artırıcı etkenler oluşmuştur. Sürtünen eleman ile kaynak edilmiş levhanın mekanik özelliklerini MIG ve TIG kaynağı uygulanmış levhaların mekanik özelliklerine yakın ve bir kaynaklı bağlantıdan istenen düzeyde ortaya çıkmıştır. Bir katı faz yöntemi olan SKK yöntemiyle oluşturulan bağlantının kaynak metali boyutların MIG ve TIG kaynaklılarda oluşanlara göre küçüktür. Malzeme ergime sıcaklığına ulaşmadığından kaynak bölgesinde bağlantı performansını olumsuz yönde etkileyecek metalürjik dönüşümler ve çökeltiler bulunmadığı rapor edilmiştir.

Erdoğan ve arkadaşları [78], 6013 alüminyum malzeme 20 mm çapında ve 10 mm yükseklikte tasarlanıp  $Al_2O_3$  ile parlatma işlemi uygulanmış, 530 °C'de 20 dakika süre ile fırında bekletilerek su verme işlemine tabi tutulmuştur. Su verme işleminden sonra mikrodalga fırında 190 °C'de suni yaşlandırma işlemi yapılmıştır. Alüminyum malzemelere mikroyapı analizi, sertlik, XRD analizi ve korozyon analizi incelemeleri testleri uygulanmıştır.

Çalışma sonucunda, yapay yaşlandırılan 6013 alüminyum alaşımının, içyapısında saf argon atmosferi ortamında mevcut FeAl intermetalik fazların artışı gerçekleşmiştir. 6013 alüminyum alaşımında yapay yaşlandırma esnasında FeAl intermetalik fazların çökeldiğini XRD analizleriyle tespit edilmiştir. 530° C'de suverilmiş ve 5 saat yapay yaşlandırılmış numunelerin içyapısında mevcut olan FeAl intermetalik faz miktarının azlığından dolayı vickers sertlik ile korozyon direncini düşürdüğü gözlemlenmektedir. Su verme işlemi sonrası yapılan 190 °C'de 3 saat suni yaşlandırma esnasında vickers



sertlik ve korozyon direnci eğrilerinde görüldüğü gibi artış gözlenmektedir. 5 saat yapay yaşlandırılmış 6013 alüminyum malzemede ise FeAl intermetalik fazların termodinamik dengelerini kaybetmeleri sonucu ergimeleri nedeni ile azalarak vickers sertlik ile korozyon direncinin azaldığı görülmektedir. 190 °C’de 3 saat yaşlandırılmış numunede oluşan FeAl intermetalik fazı mekaniksel özellik değerlerini arttırılmıştır. Yani, deney numunesinin vickers sertlik değeri ile korozyon direncinin arttığı gözlemlenmektedir. 6013 alüminyum alaşımında, mikrodalga fırında saf argon gazı atmosferinde yapay yaşlandırma ve mevcut olan FeAl intermetalik faz miktarları çoğaltılarak mekaniksel özellik ile korozyon dirençlerinin arttırılabileceği rapor edilmiştir.

Garg et all. [79], MIG kaynak yöntemiyle birleştirilen alüminyum alaşımı sacların mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Deney numunesi olarak 6 mm kalınlığında 6101 alüminyum alaşımı sac levha kullanmışlardır. Belirlenen temel kaynak parametrelerinden kaynak akımı, ark voltajı ve kaynak hızı parametrelerinin 2<sup>3</sup> faktöriyel tasarımını kullanarak deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Belirledikleri 8 farklı kombinasyonla bu parametrelerin kaynaklı parçaların çekme ve akma dayanımı özellikleri üzerine etkisini araştırmışlardır. 8 farklı kombinasyonla her birinde 2 numune olmak üzere toplamda 16 birleştirme işlemi uygulamışlardır. Kaynak işleminde MIG kaynak yöntemi, dolgu metali için ticari 1.2 mm çapında alüminyum tel, koruyucu gaz olarak ise argon gazı seçmişlerdir. Kaynak akımının 150-200 A, kaynak hızının 3-5 mm/s ve kaynak geriliminin 20-30 V olduğu aralıkta kusursuz kaynaklar elde edilmiştir. Kaynaklı numunelerin çekme dayanımı ve akma dayanımı ana metal ile kıyaslanabilir olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Temel kaynak parametrelerinden kaynak akımı, ark voltajı ve kaynak hızı parametrelerinin birer birer dikkate alındığında çekme dayanımını düşürdüğünü belirtmişlerdir.

Mutombo and Toit [80], bir başka çalışmada kaynak işlemi uygulanmış 6061-T651 alüminyum alaşımının korozyonlu yorulma davranışını incelemişlerdir. Çalışmalarında malzeme olarak sac levha biçiminde 6061-T651 alüminyum alaşımı kullanmışlardır. Birleştirme işlemleri için tam otomatik darbeli gaz metal ark kaynak makinesi, dolgu metali olarak ise ER5183 alüminyum-magnezyum alaşımlı dolgu telini seçmişlerdir. Birleştirilen kaynaklı parçaları atmosfer ortamında ve ayrıca %3.5

NaCl içeren korozyon ortamında yorulma testine tabi tutmuşlardır. İki farklı ortamda elde ettikleri deney bulgularını, kaynak edilmemiş malzemenin yorulma ömrü değerleriyle de kıyaslanmışlardır.

Çalışma sonucunda kaynak edilmemiş 6061-T651 alüminyum alaşımının %3.5 NaCl içeren korozyon ortamında yorulma ömrü atmosfer koşullarına göre dikkat çekici bir azalış göstermiştir. Bu durumun NaCl çözeltisi içerisinde numunelerde meydana gelen yüzeylerde çukurcuk korozyonu (pitting) durumundan kaynaklandığını düşünmüşlerdir. Kaynak edilen 6061-T651 alüminyum alaşımı değerlendirildiğinde atmosfer ortamında ve %3.5 NaCl çözeltisinde yorulma ömrünün önemli ölçüde azaldığını gözlemlemişlerdir. Bu durumun sebebini ise deney numunelerinin yorulma testlerinden önce temizleme ve parlatma işlemine tabi tutulmasından dolayı yapıdaki düzensizlikler ve ısıdan etkilenen bölgenin yüksek derecede yumuşamasından kaynaklandığını belirtmişlerdir. NaCl ortamında yapılan testlerin oyuklaşma etkisinden dolayı yorulma ömrünün daha şiddetli bir şekilde azaldığını vurgulamışlardır.

Yapılan literatür çalışması sonucunda 5XXX ve 6XXX alüminyum malzemelerde MIG kaynak uygulamalarına dair fazla bir çalışma yer almamaktadır. Bunun nedeni ise farklı kimyasal kompozisyondaki malzemelerin kaynaklı işlemlerinin ortaya çıkaracağı farklı sonuçlar olduğu düşünülmektedir. Farklı kimyasal yapıya sahip alüminyum malzemeler birleştirilmesi ile ilgili çok detaylı incelemeler bulunmamaktadır.

Bu çalışmada 5XXX ve 6XXX alüminyum malzemelerin kullanım alanlarının geliştirilmesi hedeflenmektedir. Bu amaçla alaşımın ana metal, kaynak bölgesi ve ITAB da meydana gelen mikroyapı değişimleri incelenecek, çekme, eğme testleri, sertlik değerleri ve korozyon dayanımı sonuçlarına göre değerlendirme yapılacaktır. Böylece alüminyum alaşımlarının mekanik ve korozyon özelliklerinin incelenmesi tamamlanacak ve sonuçlar değerlendirilecektir.

## BÖLÜM 5

### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

#### 5.1.DENEY ÇALIŞMALARINDA KULLANILAN MALZEMELER

Bu çalışmada, AA 5754 H111 ve AA 6013 T6 türü dökme alüminyum alaşımlı malzemeler, MIG kaynak yöntemi ile farklı parametrelerde ve argon koruyucu gazı kullanılarak birleştirilmiştir. Kaynak işlemleri farklı parametre koşulları altında, alın altına şeklinde ve iki farklı alüminyum malzemenin otomatik MIG kaynak yöntemi ile birleştirilmesi biçiminde gerçekleştirilmiştir. Kaynak işlemi esnasında kullanılan değişkenler ise, üç farklı kaynak ilerleme hızı ile üç farklı tel ilerleme hızıdır. Kaynak teknolojisi ve metalürjisi ile ilgilenen herkesin bilmesi gereken en önemli konunun ilave metal seçimi olduğu bir gerçektir. Özellikle de farklı metallerin kaynağında bu seçim çok daha önem kazanmaktadır. En temel manada iki farklı malzemenin gerçek manada metalürjik olarak birleşebilmesi için kullanılan ilave metalin ana malzeme/malzemelere uygun olması gerekmektedir. Bunun için kaynak sarf malzemesi üreten firmaların kataloglarına bakılarak seçim yapılması gerekmektedir. Farklı malzemelerin birleştirme işlemlerinde kullanılacak ilave metal seçimindeki temel mantık, seçilen ilave metalin her iki malzeme ile iyi bir ıslatma yapmasıdır. Böylelikle kaynaklı bağlantıdan, ana malzemelerden dayanımı düşük olana yakın ve/veya eşit bir mukavemet sağlanmış olacaktır. Tüm bu bilgiler ışığında kaynak işlemlerinde kullanılacak ilave tel olarak 1,2 mm çapında ve AWS A510: ER5356 standardında ilave dolgu metali seçilmiştir.

Deneysel çalışmalar için seçilen alüminyum malzemelerin (5754-H111 ve 6013-T6) kimyasal bileşimleri Çizelge 5.1’de, yine aynı malzemelere ait mekanik özellikler ise Çizelge 5.2’de verilmiştir. Çizelge 5.3 ve 5.4’de kullanılan ilave alüminyum tele ait kimyasal ve mekanik özellikler sırasıyla verilmiştir

Çizelge 5.1. AA 5754 ve AA 6013 malzemeye ait kimyasal özellikler.

AA	Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti	Al
5754 AlMg	0,4	0,4	0,1	0,5	2,6-3,6	0,2	0,3	0,15	Kalan
6013 AlSi	0,5	0,6-1,0	0,8	0,6	1,0	0,25	0,1	0,1	Kalan

Çizelge 5.2. AA 5754-H111 ve AA 6013-T6 malzemelere ait mekanik özellikler.

Temper	Akma Dayanımı (MPa) Min-Max	Çekme Dayanımı (MPa) Min-Max	Uzama (%50) Min-Max	Sertlik (HB) Min-Max
0/H111	80-100	190-215	24	50-55
T6	350	400	5	130

Çizelge 5.3. Alüminyum alaşımlı tele ait kimyasal özellikler.

Mg	Mn	Cr	Ti	Al
4.50 - 5.50	0.05 - 0.20	0.05 - 0.20	0.06 - 0.15	Kalan

Çizelge 5.4. Alüminyum alaşımlı tele ait mekanik özellikler.

Test Şekli	%0.2 Akma Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	Çekme Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	Uzama A5 (%)
Kaynak Sonrası	> 110	> 235	> 17

## 5.2.KAYNAK PARAMETRELERİ

Öncelikle kaynak işlemlerinden doğru sonuçlar alınabilmesi için kaynak öncesi yapılması gereken iki yol mevcuttur. Bunlardan biri önceden yapılan benzer çalışmalarda verilen bilgiler referans olarak alınabilir. İkincisi ise benzer özelliklerdeki malzemeler farklı parametrelerde kaynatılarak çalışma aralığı belirlenmelidir. Bu çalışmada da kaynak işlemleri öncesinde pilot çalışmalar yapılmış ve değişken olarak tel ilerleme (kaynak akımı) ve kaynak hızı belirlenmiştir. Bu amaç doğrultusunda kaynak gerilimi (20 V), koruyucu gaz cinsi (argon) ve debisi (12 lt/dk) sabit tutularak kaynak işlemleri Çizelge 5.5’de verilen parametreler dâhilinde gerçekleştirilmiştir. Isı girdisi (J/mm)=

$$\text{Isı girdisi (J/mm)} = \frac{\text{Akım (A)} \times \text{Gerilim (U)} \times 60}{\text{Kaynak ilerleme hızı (mm/sn)}} \eta$$

formülüyle hesap edilmiş olup, MIG kaynağı için verim  $\eta = 0.8$  alınmıştır.

Çizelge 5.5. Kaynak parametreleri.

Numune kodu	Akım (A)	Kaynak hızı (mm/sn)	Gerilim (V)	Tel ilerleme hızı (m/dk)	Isı girdisi (J/mm)	Gaz cinsi	Gaz debisi (lt/dk)
1	125	2.5	20	3	800	Argon	12
2	125	3		3	666,4		
3	125	3.5		3	571.2		
4	140	2.5	20	3.5	896	Argon	12
5	140	3		3.5	746,4		
6	140	3.5		3.5	640		
7	155	3.5	20	4	692,8	Argon	12

Birleştirilecek malzemelerin boyutu 250×100×5 mm olacak şekilde ve her birinden 7’şer adet olacak şekilde toplam 14 adet parça giyotin makasla kesilmiştir. Kaynak yapılacak malzeme yüzeylerindeki giyotin makasın deformasyon etkisinin giderilmesi için bu yüzeyler freze ile işlenerek kaynağa hazır hale getirilmiştir. Freze ile işlenen numuneler aralarında 1 mm boşluk kalacak şekilde puntalanmıştır. Puntalan malzemeler otomatik tezgâha bağlanarak sabitlenmişlerdir. Kaynak işlemleri esnasında paslanmaz çelikten yapılmış bir kalıp fikstür olarak kullanılmış ve bu kalıp üzerinde orijinal bir kaynak altlığı görevi göreceğ 5 mm genişliğinde 3 mm derinliğinde bir kanal mevcuttur. Bu kanal kaynak esnasında altlık vazifesi görmektedir. Kaynak esnasında ayrıca bir altlık malzeme kullanılmamıştır. Otomatik makinaya bağlanan malzemelere kaynak öncesi yağ, nem, gres gibi kirliliklerden arındırılmıştır. Kaynak esnasında tablo sabit, kaynak torcu hareketli olacak şekilde düzenlenmiştir. Kaynak işlemi tek pasoda sola kaynak yöntemi ile yapılmıştır. Kaynak sonrası numuneler açık havada soğumaya bırakılmıştır. Kaynak işleminde Fronius TransSynergic 4000 Comfort tipi sinerjik gazaltı kaynak makinası kullanılmıştır (Şekil 5.1). Çizelge 5.6’da kaynak makinasının bazı özellikleri verilmiştir.

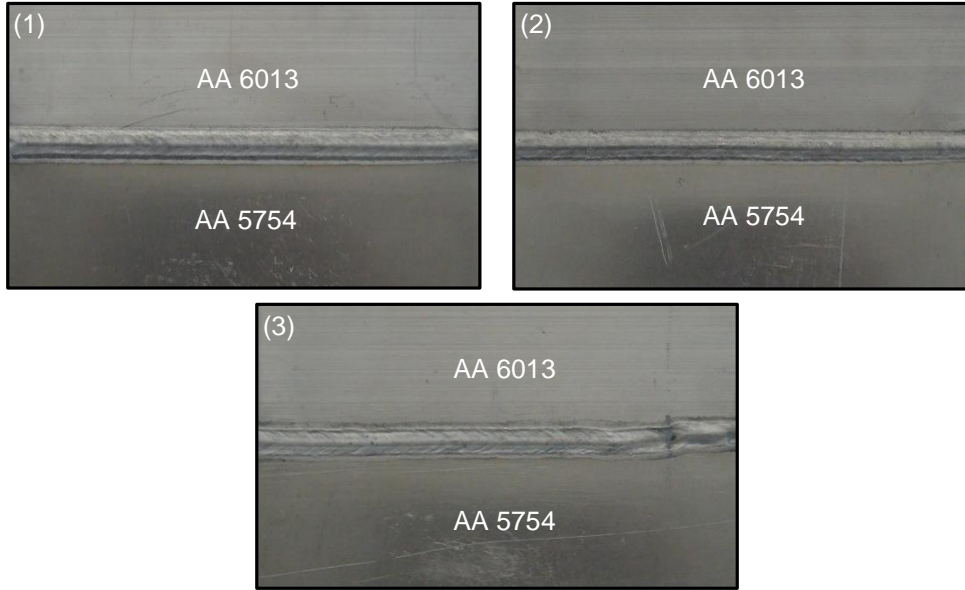


Şekil 5.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan kaynak makinası.

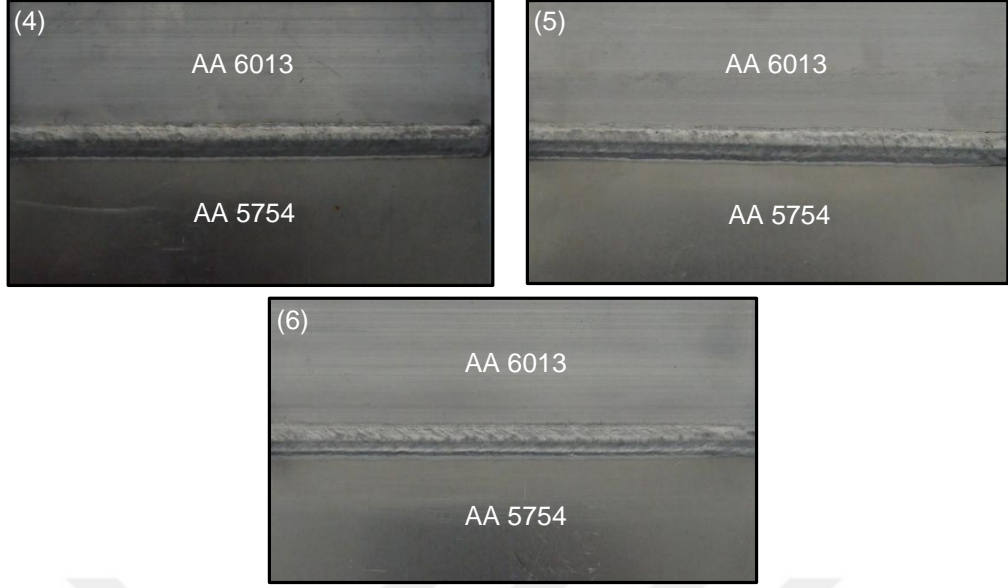
Çizelge 5.6. Kaynak makinasının bazı özellikleri.

Giriş Voltajı: 50/60 Hz	3x400 V
Akım Ayar Aralığı	10-500 A
Kaynak Akımı (x=50% - 40°C / 10 dk.)	365 A.
Kaynak Akımı (x=60% - 40°C / 10 dk.)	320 A.
Kaynak Akımı (x=100% - 40°C / 10 dk.)	70 V.
Açık Devre Voltajı	14,2-34 V.
Çalışma Voltajı	IP 23

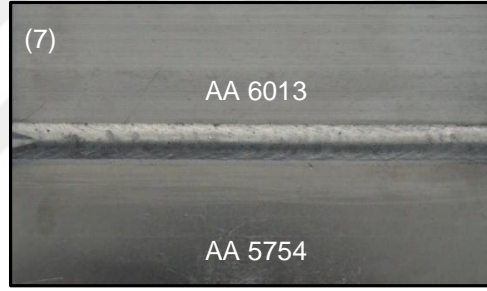
Deneysel çalışmalar sonucu birleştirilen kaynaklı numunelerin makro görüntüleri Şekil 5.2-5.4'de gösterilmiştir.



Şekil 5.2. 125 A kaynak akımında birleştirilmiş kaynaklı numune görüntüleri.



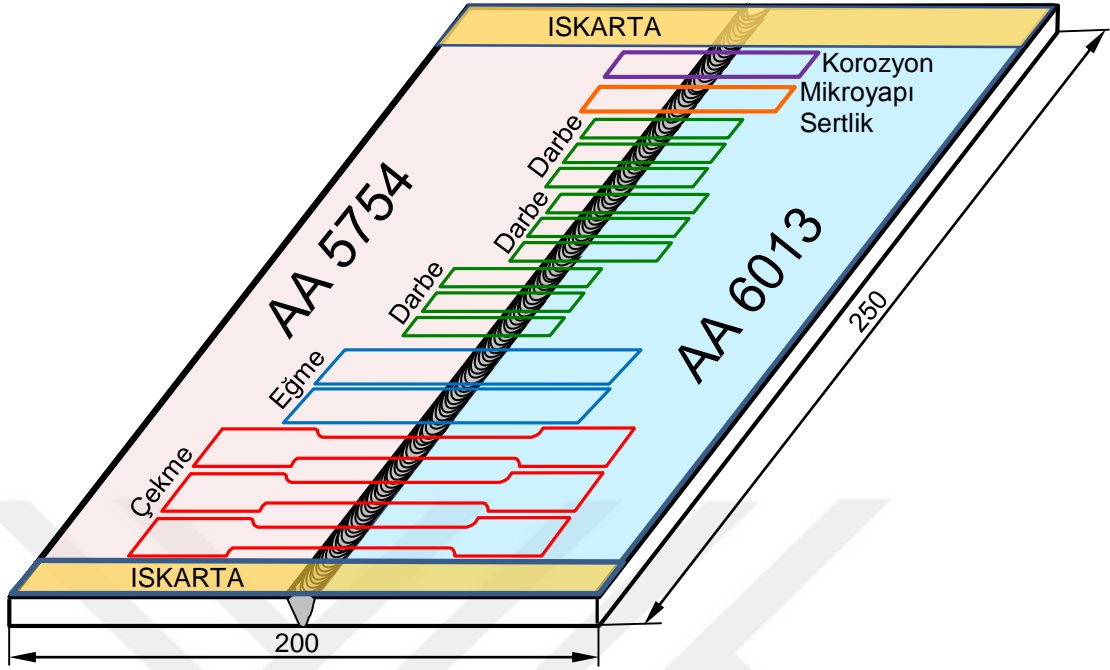
Şekil 5.3. 140 A kaynak akımında birleştirilmiş kaynaklı numune görüntüleri.



Şekil 5.4. 155 A kaynak akımında birleştirilmiş kaynaklı numune görüntüsü.

### 5.3.TEST NUMUNELERİNİN HAZIRLANMASI

Çalışmalar sonucu elde edilen kaynaklı bağlantıların kaynak bölgelerinin (kaynak metali ve ısıdan etkilenen bölge) dayanımlarını, ana malzemeler ile kıyaslamak ve proses değişkenlerinin (kaynak parametreleri) kaynak özelliklerine etkisini belirlemek amacıyla birtakım testler yapılmıştır. Bu bilgiler ışığında kaynaklı bağlantılara çekme, eğme, çentik darbe, mikrosertlik, korozyon ve mikroyapı testleri uygulanmıştır. Öncelikle kaynaklı numunelerin başlangıç ve bitiş kısımlarından 20'şer mm'lik kısımlar kesilerek ıskartaya çıkarılmıştır. Test numunelerinin tamamının kesim işlemleri, ısısal bozunum ve soğuk deformasyon oluşmaması için su jeti ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.5'de alın kaynaklı numunelerden hazırlanan karakterizasyon numuneleri ve şekilleri şematik olarak verilmiştir.



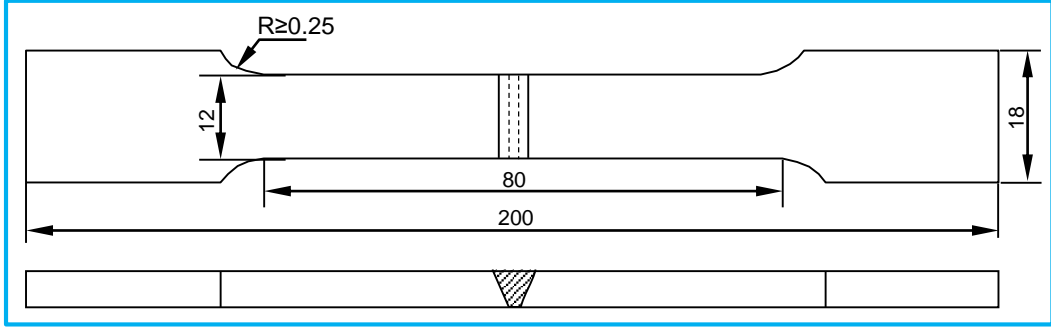
Şekil 5.5. Test numunelerinin hazırlanması (şematik).

### 5.3.1.Çekme Deneyi

Kaynaklı numunelerde çekme deneyi için TS EN ISO 4136 standartlarına uygun olarak, Şekil 5.6’da verilen ölçülerde ve malzemelerin zarar görmemesi için su jeti ile kesme işlemi uygulanmıştır. Öncelikle ana malzemelerin (AA 5754 ve AA 6013) çekme dayanımlarını belirlemek için her bir malzemedan 3’er adet olmak üzere toplam 6 adet çekme numunesi hazırlanmıştır. Ayrıca kaynaklı bağlantıların kaynak bölgesinin dayanımını belirlemek için her kaynaklı parçadan 3’er adet olmak üzere toplamda 21 adet çekme numunesi çıkartılmıştır. Şekil 5.7’de örnek olması açısından her bir ana malzemedan hazırlanan çekme numuneleri, Şekil 5.8’de ise her bir parametrede birleştirilmiş kaynaklı numunelerden çıkartılan numunelerin makro görüntüleri gösterilmiştir.

Çekme deneyleri Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Malzeme Laboratuvarında bulunan 5 ton kapasiteli Shimadzu marka çekme test cihazında ve 2 mm/dk çekme hızda gerçekleştirilmiştir. Çekme işlemlerinin tümü oda sıcaklığında yapılmış ve tüm sonuçlar bilgisayara aktarılarak otomatik grafiğe dönüştürülmüştür.

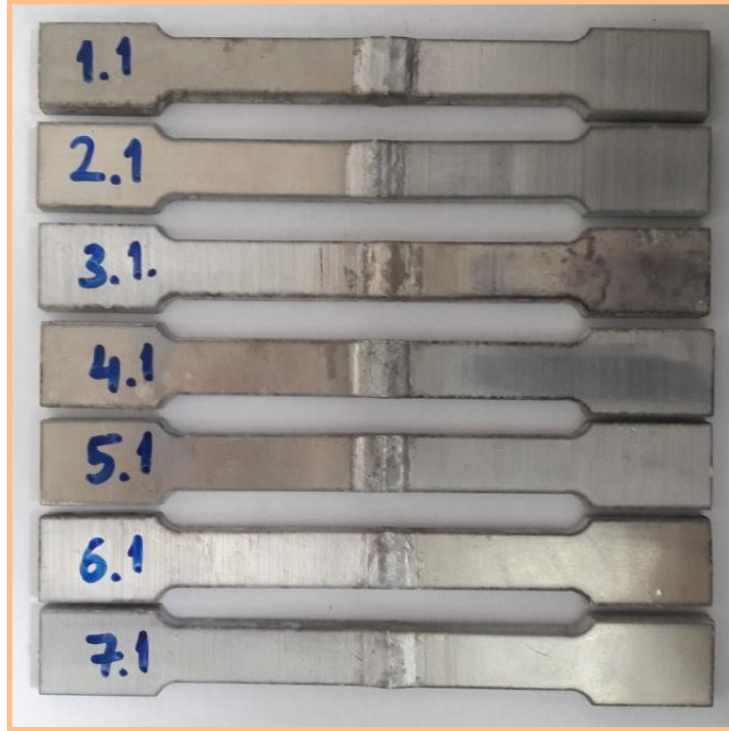




Şekil 5.6. TS EN ISO 4136'ya göre hazırlanmış çekme deney parçasının boyutları.



Şekil 5.7. Ana malzemelerden hazırlanan çekme numuneleri.



Şekil 5.8. Kaynaklanmış çekme deneyi numunelerinin görüntüleri.

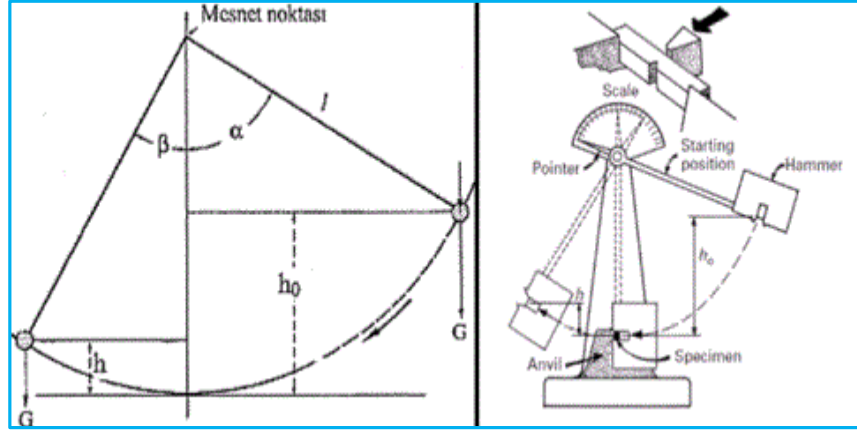
### 5.3.2. Üç Nokta Eğme Deneyi

Deneysel çalışmaların gerçekleştirildiği farklı parametrelerin (kaynak hızı ve tel ilerleme hızının (kaynak akımı) numunelerin eğilme dayanımına etkileri ile kaynaklı bağlantılarda meydana gelen eğilme karakteristiklerini belirlemek için 180° de eğme testleri gerçekleştirilmiştir. Kaynaklı bağlantılarda üç nokta eğme deneyleri TS EN ISO 5173 standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Eğme testleri için her kaynaklı birleştirmeden 2'şer adet deney numunesi hazırlanmıştır. Eğme testleri sadece kep eğme testine tabi tutulmuş olup kök eğme testi yapılmamıştır. Test numune genişliği 20 mm, boyu 150 mm olarak su jetinde kesilmiş ve eğme işlemi kaynak kep ve köküne herhangi bir talaşlı işlem yapılmaksızın olduğu haliyle yapılmıştır. Testler için 20 mm mandrel çapı seçilmiş olup, eğme işlemlerinde, çekme testinde kullanılan aynı cihaz kullanılmış ve eğme hızı 5 mm/dk olarak belirlenmiştir.

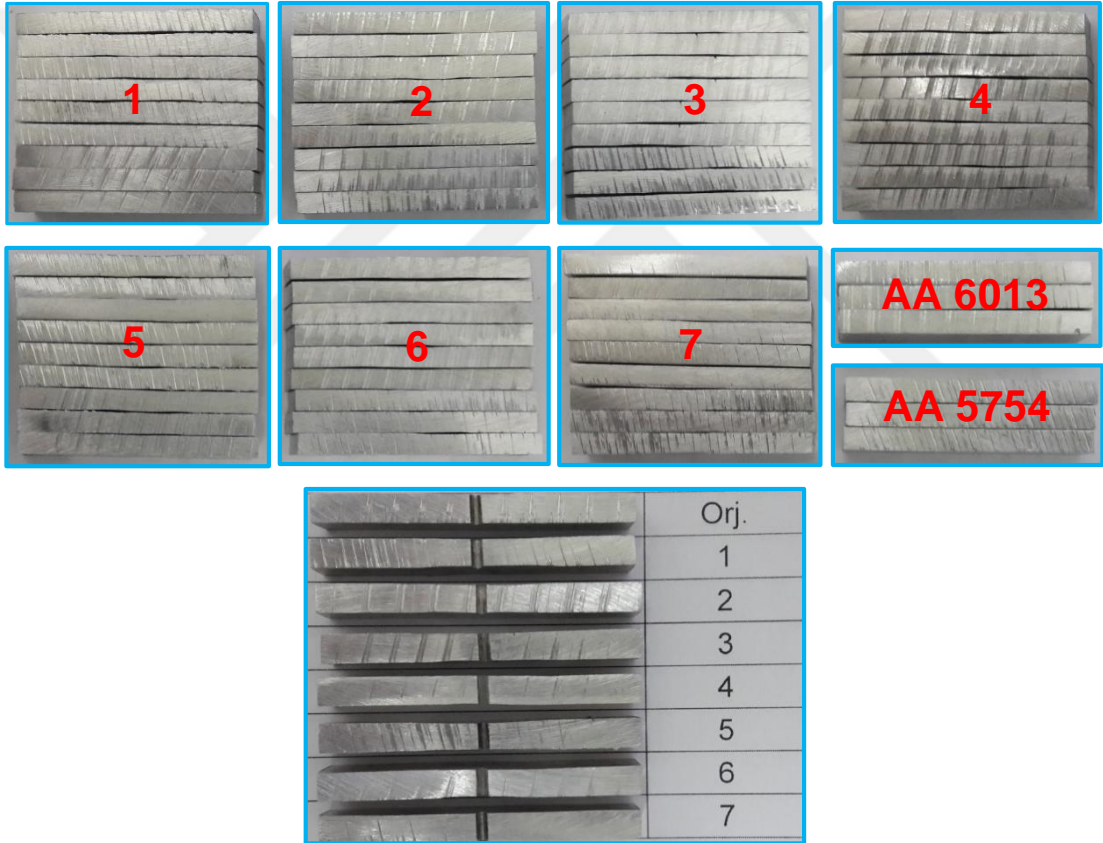
### 5.3.3.Çentik Darbe Deneyi

AA 5754 ve AA 6013 alüminyum alaşımlı numunelerin MIG kaynak yöntemi ile birleştirilmesinin ani kuvvet altında kırılması için gereken enerji miktarının bulunması için çentik darbe deneyleri yapılmıştır. Deneylerde TS EN ISO 9016 standardından yararlanılmıştır. Darbe deneyi Charpy yönteminde yapılmıştır. Charpy deneyi basit ve yatay kiriş şeklinde 2 mesnede yaslanan deney için hazırlanmış malzemenin çentik tabanına sarkacın ucundaki çekiçle darbe yapılması ile çentik tabanında meydana gelen çok eksenli gerilimler etkisi ve numunenin kırılması için harcanan enerjiyi tayin işlemidir. Şekil 5.9'da çentik darbe deneyinin şematik gösterimi verilmiştir.

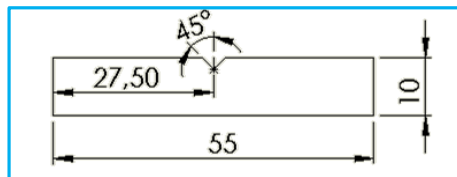
Çentik darbe deneyi için her bir ana malzemedan (AA 5754 ve AA 6013) 3'er adet olmak üzere toplam 6 adet ve her bir kaynaklı birleştirmeden 9'ar adet (3 kaynak metali, 3 AA 5754 ITAB ve 3 AA 6013 ITAB) olmak üzere toplam 63 adet numune şerit testere ile kesirilerek, çentik açılacak kısmın karşısı kısmı freze ile düzeltilerek hazırlanmıştır. Şekil 5.10'da kesme sonrası tüm numuneler ve her gruptan 1'er adet çentik açılmış numune görüntüleri, Şekil 5.11'da ise standart çentik darbe deneyi numune ölçüleri verilmiştir.



Şekil 5.9. Çentik darbe deneyinin şematik gösterimi.



Şekil 5.10. Çentik darbe numuneleri.



Şekil 5.11. Standart çentik darbe deneyi ölçüleri

Çentik darbe deneyleri Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi laboratuvarında bulunan Devotrans marka 48 J çentik darbe deney cihazında yapılmıştır. Şekil 5.12’de çentik darbe deneyi cihazı görülmektedir. Tüm testler oda sıcaklığında yapılmış olup test sonuçları 3 sonucun ortalaması alınarak değerlendirilmiştir.



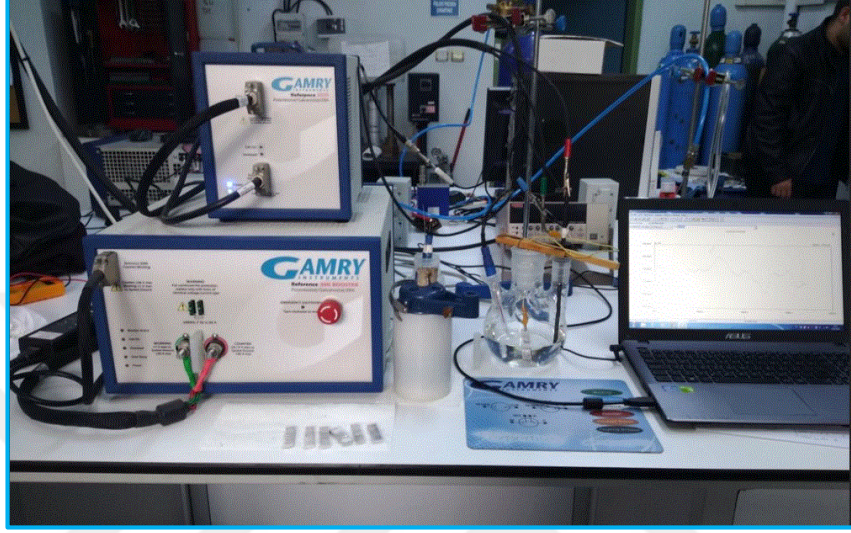
Şekil 5.12. Devontras marka çentik darbe cihazı.

#### 5.3.4.Korozyon Deneyi

Yapılan çalışmada ASTM G71 standartına göre elektrokimyasal korozyon deneyi uygulaması gerçekleştirilmiştir. Korozyon deneylerine başlamadan önce tüm numunelerin yüzey alanı hesapları yapılmıştır. Yüzey alanı hesaplanan korozyon numunesi, misina ipi ile huninin altına sabitlenir. Huni belirli bir seviyeye getirilerek pH'ı 7 olan  $K_2HPO_4$  çözeltisi ile dolu behere daldırılır. Beher kap içerisinde belli bir değer çizgisine kadar çözelti doldurulur. Beherdeki çözelti seviyesinde düşme, her 3 dakikada bir ölçülür. Beherdeki çözelti seviyesi sıfıra geldiğinde süre kaydedilir.

%3.5 NaCl içeren sulu çözelti hazırlanır, korozyon testi yapılacak metal yüzeyi yüksek mesh numarasına sahip zımparalama kâğıdı ile zımparalama işlemine tabi tutulur ve elektrot olarak bağlantısı yapılarak düzenek içerisine yerleştirilir. Ag/AgCl referans elektrodu ve platin katot kullanılarak belirlenen potansiyel aralığında tarama yapılarak tafel eğrileri çıkartılır. Çıkartılan bu eğrilerden  $I_{corr}$  ve  $E_{corr}$  değerleri belirlenir ve bu

verilere dayanarak korozyon hızı hesaplaması yapılır. Korozyon testi Gamry Reference 3000 marka korozyon makinesi ile yapılmıştır (Şekil 5.13). Empedans dataları ile potansiyodinamik tafel yaklaşımları, Gamry Echem Analyst programı kullanılarak belirlenmiştir.



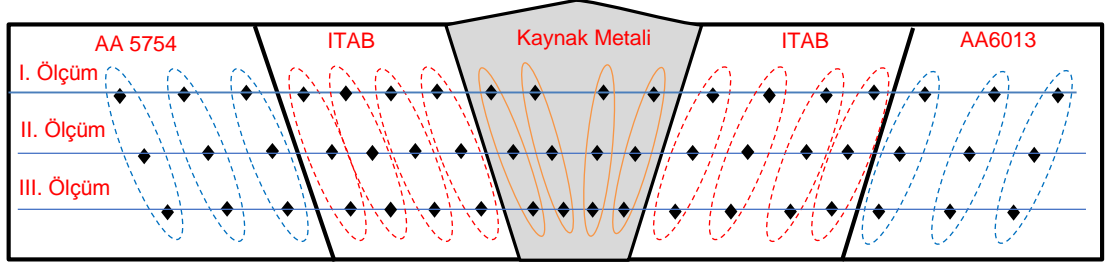
Şekil 5.13. Gamry Reference 3000 marka korozyon ölçüm cihazı.

### 5.3.5. Mikrosertlik Testi

Sertlik göreceli bir ölçü olup malzemelerin plastik deformasyona karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanabilir. Sertlik ölçümü, metalik ve metalik olmayan malzemelere uygulanan çok genel bir testtir. Bu test yardımıyla bir malzemenin sertliği ile diğer mekanik özellikleri arasında bir ilişki kurulabilir.

MIG kaynak yöntemi ile birleştirilmiş kaynaklı numunelerin kaynak bölgelerine (kaynak metaline ile ITAB), ana malzemeyi de kapsayacak şekilde sertlik ölçümleri yapılmıştır. Sertlik ölçümleri bir numune üzerinde 3 sıra halinde gerçekleştirilmiş ve bu 3 ölçümün ortalaması alınarak grafiğe dönüştürülmüştür. Ölçümler sırasıyla AA 5754, AA 5754 ITAB, kaynak metaline, AA 6013 ITAB ve AA 6013 ana malzeme üzerinden gerçekleştirilmiştir. Ölçümler kaynak metalinden ve ITAB'lardan 4, ana malzemedeki 3'er adet yapılmıştır. Sonuç itibarıyla bir numune üzerinden (kaynak metaline  $4 \times 3 = 12$ , ana malzemeler  $3 \times 3 \times 2 = 18$  ve ITAB'lar  $4 \times 3 \times 2 = 24$ ) toplam 54 ölçüm yapılmıştır (Şekil 5.14). Sertlik ölçümlerinde SHIMADZU marka mikrosertlik cihazı

kullanılmış olup ölçümler Vickers cinsinden yapılmış ve 300 g yük uygulanmıştır. Şekil 5.15’de sertlik ölçümlerinin yapıldığı cihaz resmi verilmiştir.



Şekil 5.14. Kaynaklı malzemenin sertlik ölçüm noktaları.



Şekil 5.15. Shimudzu marka sertlik ölçme cihazı.

### 5.3.6. Makroyapı ve Mikroyapı İncelemeleri

AA 5754 ve AA 6013 alüminyum alaşım malzemelerin MIG kaynaklı birleştirmelerine ait mikroyapı incelemesi yapılabilmesi için, SiC zımpara kâğıdı ile (80, 120, 220, 320, 500, 800, 1000, 1200) ve elmas parlatma solüsyonları ile 3 aşamalı parlatma (3 $\mu$ , 1 $\mu$  ve 1 $\mu$  altı) basamakları takip edilerek numune yüzeyi hazırlanmıştır. Malzeme yüzeyi görüntü alabilmek için Keller solüsyonu (190 ml saf su, 5 ml nitrik asit (HNO<sub>3</sub>), 3 ml hidroklorik asit (HCl) ve 2 ml hidroflorik asit (HF)) ile dağlanmıştır. Dağlama işlemi 40 sn uygulanmıştır.

Mikroyapı çalışmaları Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakóltesi İmalat Mühendisliği laboratuvarında bulunan Nikon Epiphot 200 optik mikroskop ile geręekleřtirilmiřtir. Çalışmalar esnasında kaynak bölgesinin tamamında (kaynak metali, ITAB ve ilave olarak ana malzemenin bir kısmı) ve her bir bölgedeki farklılıkların kolaylıkla gözlemlenebilmesi için farklı büyükmelerde çalışmalar yapılmıştır.



## BÖLÜM 6

### DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Yapılan bu çalışmada AA 5754-H111 ve AA 6013-T6 alüminyum alaşımlarının otomatik MIG kaynağı yöntemi ile birleştirilmiş ve kaynak parametrelerinin bu kaynaklı numuneler üzerindeki mekanik, mikroyapı ve korozyon özellikleri incelenmiştir.

AA 5754-H111 ve AA 6013-T6 alüminyum alaşımlı numunelerin birleştirilmesinde farklı tel ilerleme hızı (akım), ve kaynak hızı parametrelerinde alın kaynağı ile birleştirme gerçekleştirilmiştir. Kaynaklı birleştirme yapılan malzemelerin esas metal, ITAB ve kaynak metali üzerinde; çekme, çentik darbe, eğme, korozyon, mikrosertlik ile mikro ve makroyapı deneyleri uygulanmıştır.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda ise ısı girdisinin mikroyapı, korozyon hızı ve kaynak genişliğinde etkili olduğu gözlemlenmiştir. Kaynak akımının ve ısı girdisinin kaynak numuneleri üzerindeki etkileri göz önünde bulundurulduğunda çekme deneyinde akımın fazla ya da az olması uygun görülmemiştir. Çentik darbe deneyinde de buna bağlı olarak ısı girdisinin az olması sonucu yeterli kaynak havuzunun oluşturulamaması kaynak metalinin yeterince sağlamlık göstermediğini ortaya koymuştur. Korozyon testlerinde kaynak esnasındaki ısı girdisinin etkileri, sertlik ve mikroyapı sonuçlarında ise ısı işlemin etkileri gözlemlenmiştir.

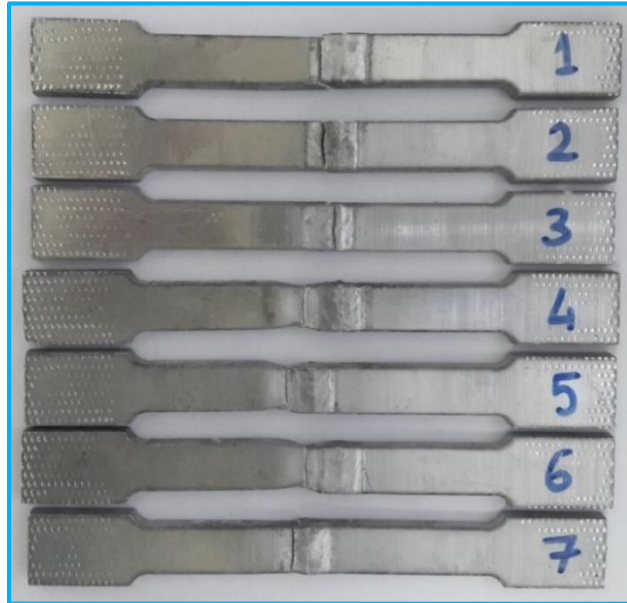
#### 6.1.ÇEKME DENEYİ

Kaynaklı bağlantılarda özellikle benzer malzemelerin kaynağında uygun ilave metal ve uygun parametreler seçildiğinde kaynaklı bağlantıların mukavemetinin en az ana malzeme kadar dayanıklı olması gerektiği gerçektir. Farklı malzemelerin kaynağında ise durum biraz farklıdır. Farklı malzemelerin kaynağında kaynak mukavemeti, dayanımı düşük olan malzeme kadar veya daha düşük olabilir. Bunun için ilave metal

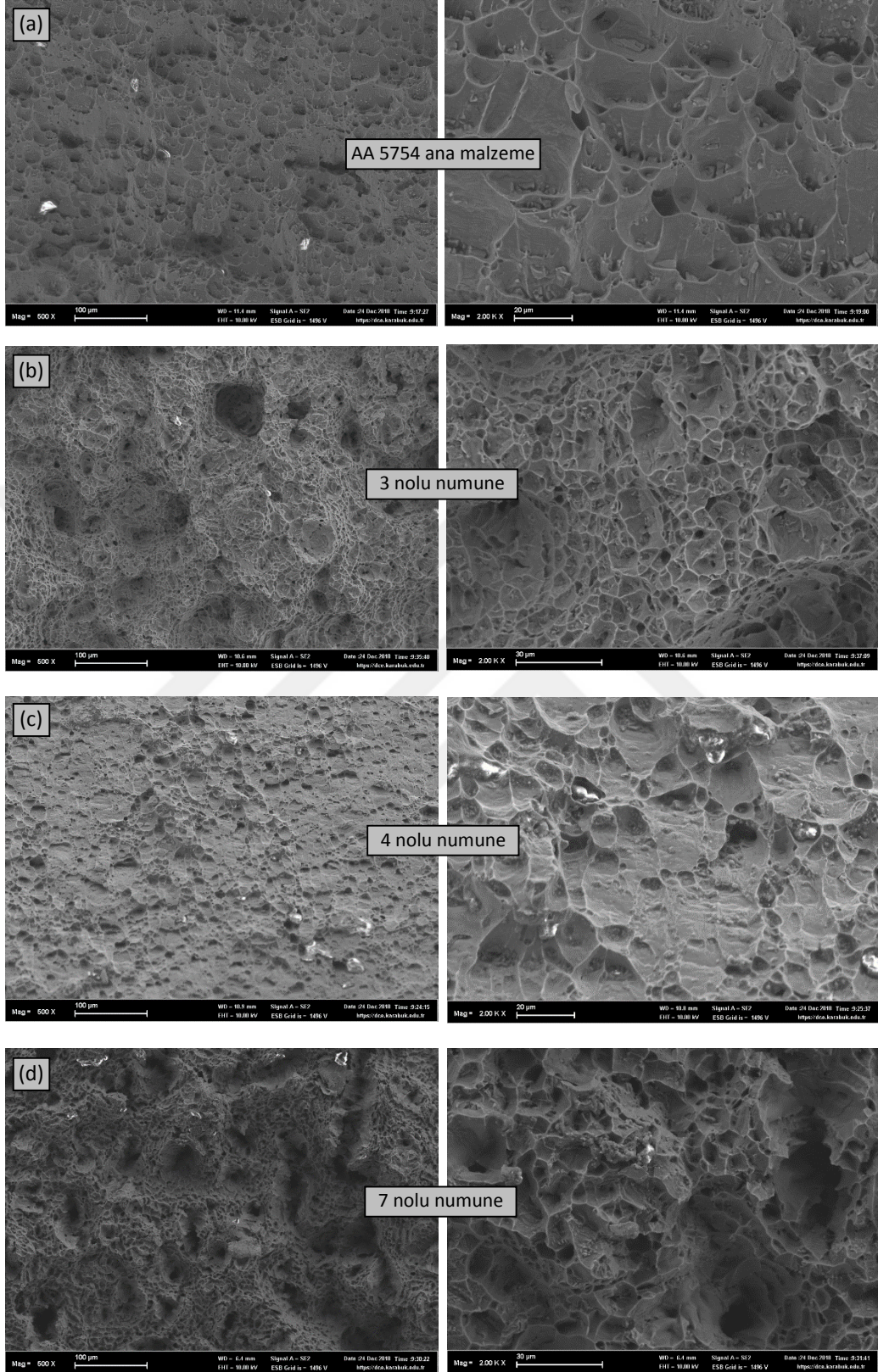


seçimi son derece önem arz etmektedir. Bu çalışmada sonucunda, kaynak parametreleri değişimi ile numunelerde meydana gelen kopmalar incelendiğinde, dolaylı olarak ısı girdisinin düşük olduğu kaynaklı birleştirmelerde kopmanın genellikle kaynak metalinde olduğu gözlemlenmiştir. Genel itibarla kaynak ısı girdisi az olan numunelerde yetersiz nüfuziyet sağlamıştır.

3 numaralı numunede yetersiz nüfuziyetten (ısı girdisinin az olması) kaynaklı olarak çekme deneyinde ana malzeme ile kaynak metalinin birleştiği noktadan kopma gerçekleşmiştir. 2 ve 7 numaralı numunelerde tam birleşme yetersizliklerinden dolayı AA 5754 esas metal tarafındaki ITAB bölgelerinde gevrek kopma, 1, 4, 5 ve 6 numaralı numunelerde ise kaynak parametrelerinin daha uygun olmasından dolayı yine aynı malzemenin (AA 5754) esas metal tarafında çekme deneyi sonucunda sünek kopma meydana gelmiştir. Lakshminarayanan ve arkadaşları [68], AA 6061 alüminyum alaşımının birleştirilmesinde kaynak yönteminin etkilerini incelemişler MIG ve TIG yöntemleri ile birleştirilmiş numunelerde kopmanın kaynak metalinden, sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilmiş numunelerde ise kopmanın ITAB'dan olduğunu rapor etmişlerdir. Şekil 6.1'de kaynaklı numunelerde çekme deneyi sonucu kopmaların gerçekleştiği alanlar, Şekil 6.2'de ise AA 5754 ana malzeme ile kopma yüzey görüntüleri verilmiştir.



Şekil 6.1. Farklı parametrelerde birleştirilmiş kaynaklı numunelerin kopma bölgeleri.



Şekil 6.2. Kırık yüzey görünümleri a) AA 5754 ana malzeme, b) 3 nolu, c) 4 nolu ve d) 7 nolu numune.

Çekme numunelerinin kırık yüzeylerinin karakterizasyonu için dayanımı düşük olan ana malzeme AA 5754, ITAB'dan kopan 4 nolu numune ve kaynak metalinden kopan 3 ve 7 nolu numuneler örnek olarak seçilerek değerlendirilmiştir. Şekil 6.2'de görüldüğü üzere ana malzeme yarı sünek davranış sergilemiş olup, 4 nolu numunede ise ITAB'dan kopma gerçekleşmiş ve bu sebepten biraz daha gevrek davranış sergilemiştir. 3 nolu numune ise kaynak metali ağırlık olması sebebi ile gevrek davranış sergilemiş ve 7 nolu numunenin ise 3 nolu numuneye göre ısı girdisi yüksek olması sebebi ile daha sünek davranış sergilediği tespit edilmiştir.

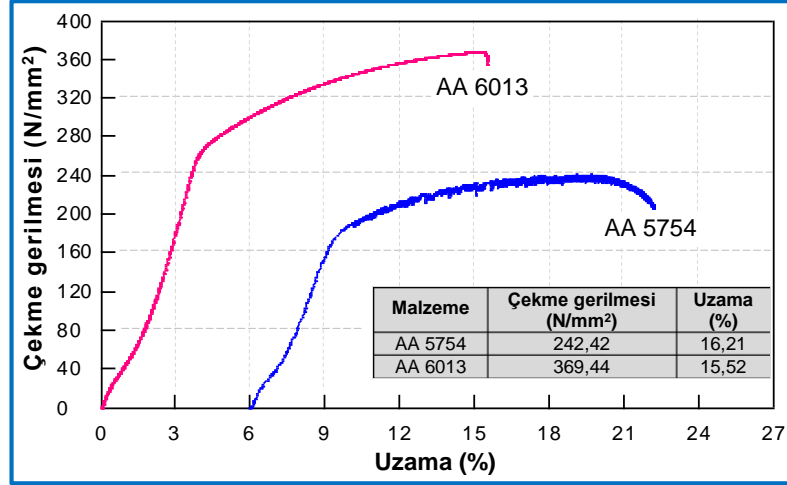
Çizelge 6.1'de ana malzemeler (AA5754 ve AA 6013) ile kaynaklı numunelerden elde edilen çekme ve % uzama değerleri ile bu üç değerlerin ortalamaları verilmiştir.

Çizelge 6.1. Çekme sonuçları.

	Çekme Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )				Uzama (%)			
	I. Ölçüm	II. Ölçüm	III. Ölçüm	Ortalama	I. Ölçüm	II. Ölçüm	III. Ölçüm	Ortalama
<b>AA 5754</b>	244,21	241,65	241,41	242,42	16,49	16,22	15,93	16,21
<b>AA 6013</b>	370,28	368,72	369,32	369,44	15,36	15,68	15,54	15,52
<b>1 numara</b>	215,93	214,98	216,97	215,96	6,88	6,89	6,77	6,84
<b>2 numara</b>	191,33	190,18	192,14	191,21	4,4	4,51	4,39	4,43
<b>3 numara</b>	120,89	119,82	121,9	120,87	2,61	2,71	2,7	2,67
<b>4 numara</b>	221,14	222,24	220,14	221,17	7,71	7,81	7,72	7,74
<b>5 numara</b>	219,64	219,31	220,2	219,72	7,61	7,72	7,71	7,68
<b>6 numara</b>	215,18	217,05	216,2	216,14	7,4	7,52	7,52	7,48
<b>7 numara</b>	177,65	177,89	179,41	178,31	4,11	4,12	4,07	4,1

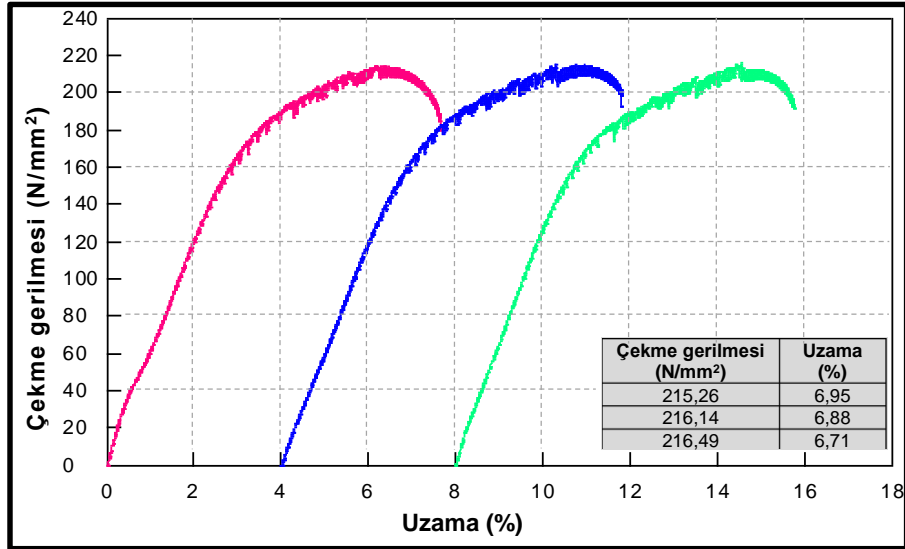
AA 5754 alüminyum alaşımlı esas metalin çekme dayanımı 242,42 MPa ve çekme sonrası uzaması ise %16,21, AA 6013 alüminyum alaşımlı esas metalin çekme dayanımı ise 369,44 MPa çekme sonrası uzaması ise %15,52 olarak ölçülmüştür.

Çekme deneyi sonunda görülen AA 6013 alüminyum alaşımlı numunenin çekme dayanımının daha fazla ancak, AA 5754 alaşımlı alüminyumun uzama değerinin daha fazla olduğu bir gerçektir. Şekil 6.3'de AA 5754 ve AA 6013 alüminyum alaşımlı esas metalin çekme dayanımı ve uzama değerleri grafiği görüntülenmiştir.

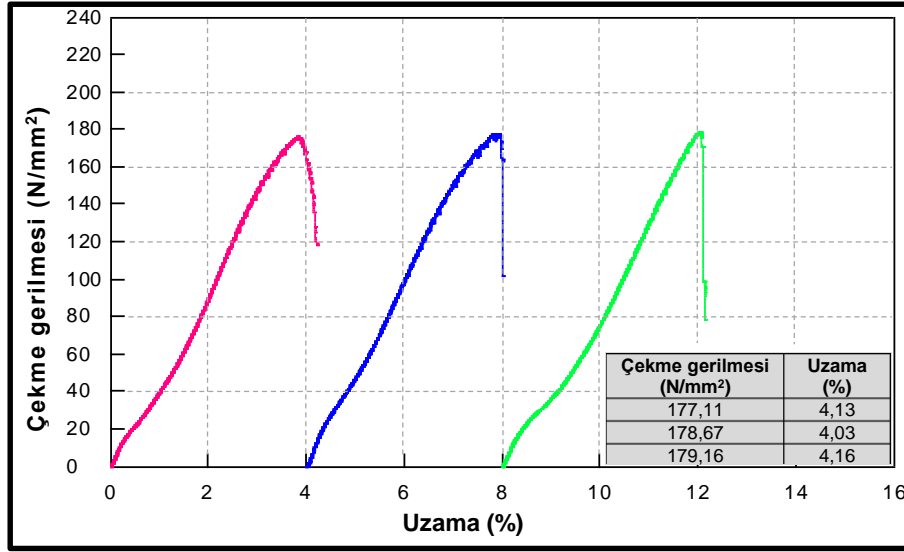


Şekil 6.3. AA 5754 ve AA 6013 alüminyum alaşımlı esas metalin çekme dayanımı ve uzama değerleri grafiği.

Yapılan kaynaklı birleştirmelerde her numuneye 3 ayrı çekme testi uygulaması yapılmıştır. Bu deneyler sonrasında parametre değerleri en düşük olan 1 nolu numune ve en yüksek olan 7 nolu numuneye ait çekme testi sonuçlarının grafiği Şekil 6.4 ve 6.5'te sırasıyla verilmiştir. Bütün kaynaklı numunelere ait ortalama çekme dayanımı ve uzama grafiği de Şekil 6.6'te grafiklendirilmiştir.

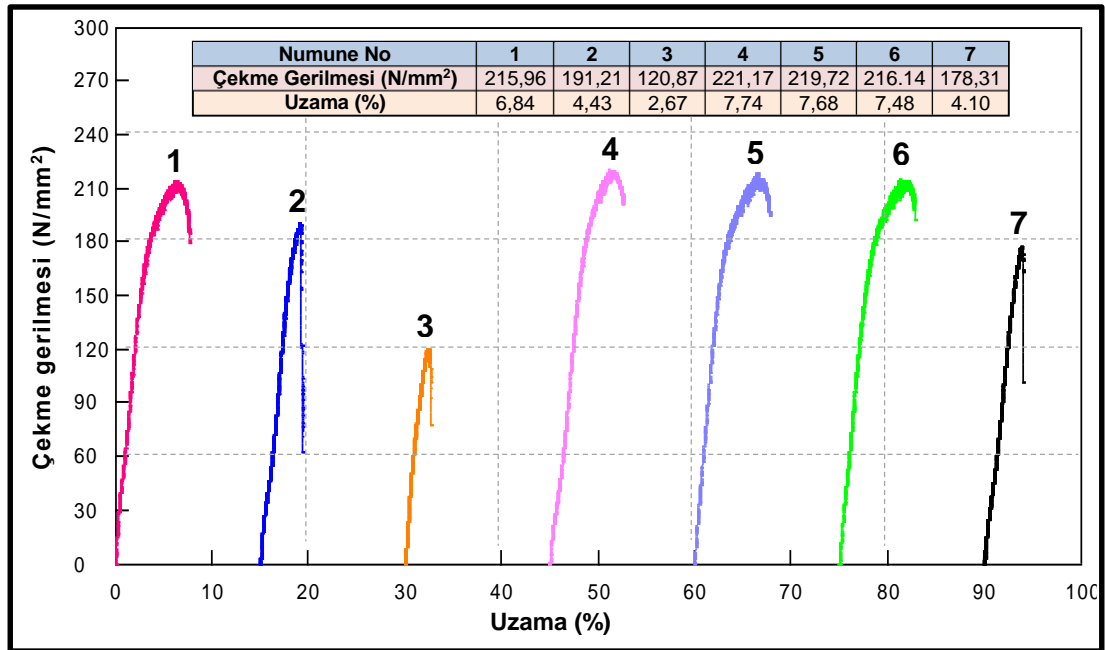


Şekil 6.4. 1 nolu numune grafiği (3 ayrı çekme grafiği).



Şekil 6.5. 7 nolu numune grafiği (3 ayrı çekme grafiği).

Şekil 6.4 ve Şekil 6.5'de verilen çekme grafikleri incelendiğinde, aynı kaynak parametre ile birleştirilmiş numunelerden hazırlanan çekme numunelerinin birbirlerine çok yakın çekme dayanımı (< % 1) ve % uzama değerleri (< % 4) verdiği belirlenmiştir. Kaynaklı numunelerdeki bu dar tolerans aralığı, bu deneysel çalışma açısından memnuniyet verici olarak değerlendirilebilir. Bu durum; kaynaklı bağlantılardaki parametre kontrolünün düzenli yapıldığının ve çekme numunelerinin standartlara uygun olarak hazırlandığının bir göstergesidir.



Şekil 6.6. Kaynaklı birleştirmelere ait ortalama çekme dayanımı ve % uzama grafiği.

Şekil 6.6’de verilen çekme deneyi sonucunda, en düşük çekme dayanımı 125 Amper kaynak akımı ve 3,5 mm/sn kaynak hızında 120,87 MPa olarak ölçülürken, en yüksek çekme dayanımı 140 Amper kaynak akımı ve 2,5 mm/sn kaynak hızında 221,17 MPa olarak ölçülmüştür. Bu değerler göz önüne alındığında kaynaklı birleştirmelerin tamamının ana malzemelerden mukavemeti düşük olan AA 5754 malzemeden daha düşük dayanım sergiledikleri bir gerçektir. Literatürde [68] alüminyum malzemelerde kaynaklı birleştirmelerin ana malzemelerin altında bir dayanım sergiledikleri ve bunun sebebinin de ITAB’ın diğer bölgelere nazaran daha düşük plastik deformasyon özelliğine sahip olmasının neden olduğu belirtilmiştir

Kaynak işleminin çekme mukavemeti verimliliği (performansı): Benzer malzemelerin kaynağında kaynaklı numunenin maksimum çekme mukavemetinin, ana malzemenin maksimum çekme mukavemetine oranı olarak tanımlanabilir. Farklı malzemelerin kaynağında ise kaynaklı numunenin maksimum çekme mukavemetinin, dayanımı düşük olan ana malzemenin maksimum çekme mukavemetine oranı olarak tanımlanmıştır. Bu durum göz önüne alındığında kaynaklı numunelerde en yüksek çekme mukavemeti verimliliği yaklaşık 4 numaralı numunede %91, en düşük ise 3 numaralı numunede yaklaşık %50 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar, kaynaklı bağlantı performanslarının uygun kaynak parametreleri seçilerek ana malzemeye yakın değerlere çıkabildiğini göstermektedir.

Şekil 6.6 dikkatli bir biçimde incelendiğinde, uygun tel ilerleme hızı (dolayısıyla kaynak akımı) seçildiğinde kaynak hızının değişiminin mekanik özellikleri düşük oranda etkilemesidir. Örneğin 140 A akım şiddetinde ve 2,5 mm/sn en düşük kaynak hızında birleştirilen numunede (4 nolu numune) çekme dayanımı 221,17 MPa olarak ölçülürken, aynı akım şiddetinde 3,5 mm/sn en yüksek kaynak ilerleme hızında birleştirilen numunede (6 nolu numune) çekme dayanımı 216,14 MPa olarak ölçülmüştür. Uygun tel ilerleme hızı (dolayısıyla kaynak akımı) değerlerinin seçilmemesi durumunda ise kaynak hızının değişimi mekanik özellikleri yüksek oranda etkilemektedir. Örneğin 125 A akım şiddetinde ve 2,5 mm/sn en düşük kaynak hızında birleştirilen numunede (1 nolu numune) çekme dayanımı 215,96 MPa olarak ölçülürken, aynı akım şiddetinde 3,5 mm/sn en yüksek kaynak hızında birleştirilen numunede (3 nolu numune) çekme dayanımı 120,87 MPa olarak ölçülmüştür.

Kaynaklı numunelerden ölçülen bu sonuçlar değerlendirildiğinde, uygun tel ilerleme hızı seçildiğinde (akım) en düşük ve en yüksek kaynak hızlarında mukavemet farkı  $< \%2$ 'nin altında iken, uygun olmayan ilerleme hızında bu değer yaklaşık  $\%45$  değerlerine ulaşmaktadır. Bir başka açıdan kaynaklı numunelerden ölçülen %uzama değerleri incelendiğinde benzer sonuçların elde edildiği Şekil 6.6'den kolaylıkla görülebilir.

Kaynaklı birleştirmelerde en önemli konunun kaynak esnasındaki ısı girdisi olduğu konu ile ilgilenen herkes tarafından bilinmektedir. Şekil 6.6 genel olarak ısı girdisi açısından değerlendirildiğinde, kaynak ısı girdisinin artışına veya azalışına dair çekme ve uzama değerlerinde bir artış veya azalış olduğuna dair bulguya rastlanmamıştır. Ancak aynı tel ilerleme hızında (akım) birleştirilmiş numuneler arasında kaynak hızına bağlı olarak değerlendirme yapıldığında, ısı girdisinin artmasıyla çekme ve uzama değerlerinin bir miktar arttığı söylenebilir. Bu artış 140 amperde birleştirilmiş numunelerde çok belirgin değil iken, 125 amperde birleştirilmiş numunelerde çok belirgindir.

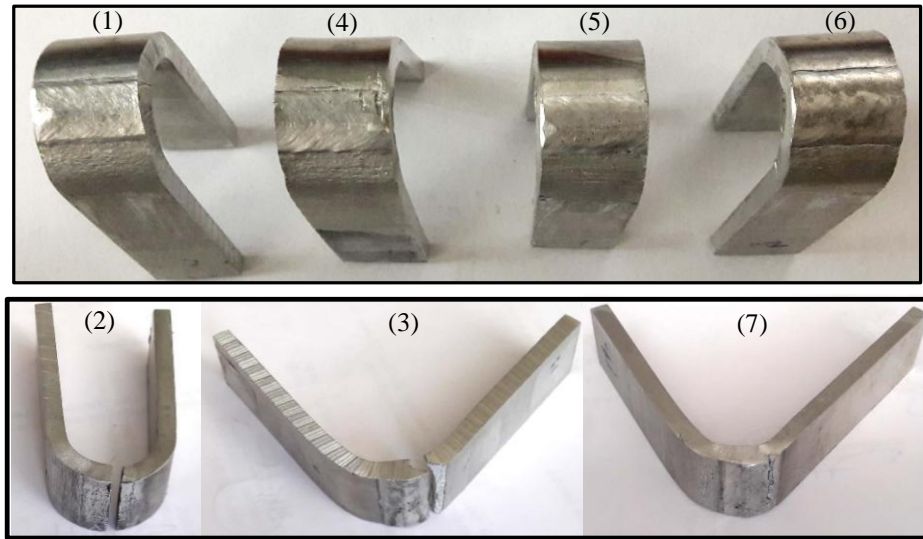
Kaynaklı numunelerin çekme testleri sonucunda en göze çarpan özelliğin, kaynaklı bağlantılardaki uzama miktarlarının ana malzemelere göre oldukça düşük olmasıdır. Literatürde, bazı alüminyum alaşımlarında kaynak bölgeleri, tane sınırı ergimesi veya dikişin hemen komşu ergime bölgesindeki çekme nedeniyle çok düşük süneklik sergiledikleri rapor edilmiştir [73]. Kaynaklı numunelerdeki % uzama değerlerinin bir başka özellikleri ise çekme dayanımları ile paralellik göstermiş olmalarıdır. Bir başka ifade ile kaynaklı bağlantılardan en yüksek çekme mukavemetine sahip 4 nolu numune yine en yüksek %uzama değeri gösterir iken, en düşük çekme mukavemetine sahip 3 nolu numune en düşük %uzama değeri sergilemiştir.

Yürük ve Kahraman [74], çalışmada AA1050 Al alaşımı ile AA5754 AlMg alaşımını MIG kaynağı ile birleştirmişler ve çekme testleri sonucunda kaynaklı numunelerde kopmanın AA1050 ITAB'ında meydana geldiğini ve % uzama değerlerinin ana malzemelere göre oldukça düşük değerlerde bulunduğunu rapor etmişlerdir.

Yavuz [81] alüminyum malzemelerin MIG kaynağı üzerine yaptığı çalışmada, çekme dayanımı açısından en zayıf bölgenin ısının tesiri altında kalan bölge olduğunu, çekme dayanımının kaynak bölgelerinde düşük, ITAB bölgelerinde yüksek, esas metalde ikisinin arasında bir değer olarak tespit edildiği belirtmiştir. Kaynaklı bölgenin çekme mukavemetindeki bu düşüşün, kaynak ilave metalinin özelliğinden ve kaynak banyosundaki değişimlerden gözlemlendiği rapor edilmiştir.

## 6.2. ÜÇ NOKTA EĞME DENEYİ

Bilindiği gibi kaynaklı bağlantılar kullanıldıkları yere göre şekil verilip kullanılabilirler. Şekil verme işlemi kaynak öncesi olabileceği gibi kaynak sonrası da olabilmektedir. Bu yüzden özellikle de farklı malzemelerin birleştirilmesinde şekil verme işlemi genellikle kaynak işleminden sonra yapılmaktadır. Bazen servis şartlarında benzer veya farklı bir kaynaklı konstrüksiyon malzemesinin kaynak sonrasında şekil verilerek kullanılması zorunluluğu olabilir. Bu durumlarda kaynaklı bağlantıların kaynak bölgelerinin (kaynak metali ve ITAB) şekil verme kabiliyetlerinin belirlenmesi için eğme testleri yapılır. Bu çalışmada da yukarıdaki gerekçelerden dolayı kaynaklı numunelere sadece kep eğme testi uygulanmış ve kaynaklı bölgelerinin şekil değiştirme özellikleri hakkında bilgi edinilmeye çalışılmıştır. Kaynaklı numunelere TS EN ISO 5173 satandardına göre testler yapılmıştır. Kaynaklı numunelerin üç nokta eğme testi sonrası makro görüntüleri Şekil 6.7’de verilmiştir.



Şekil 6.7. Üç nokta eğme sonrası numune görüntüleri.

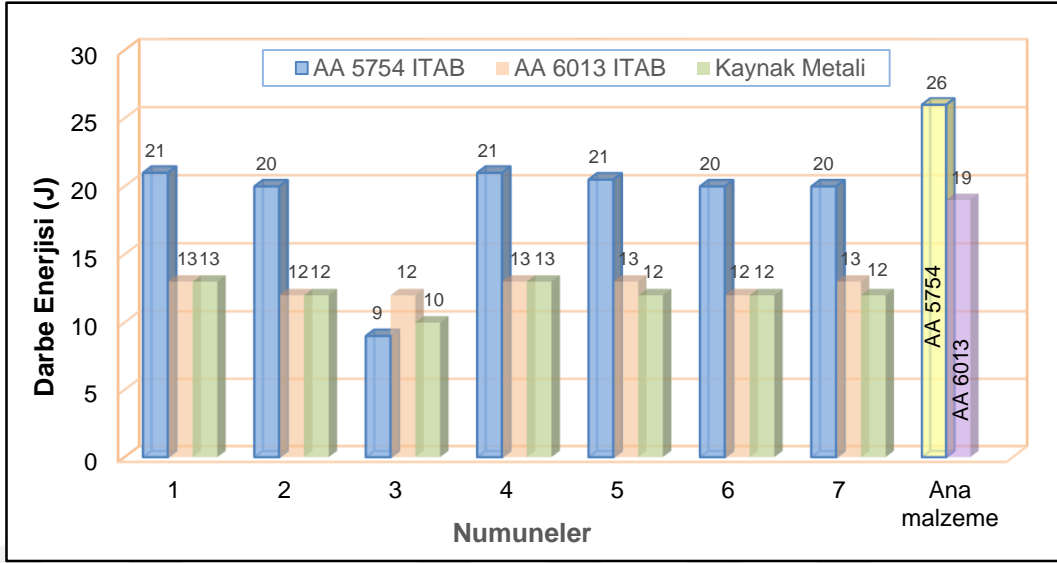


Eğme deneyi sonucunda Şekil 6.7’de görüldüğü üzere 1, 4, 5 ve 6 nolu numuneler 180° eğildiğinde herhangi bir kırılma ve çatlama hatası tespit edilmemiştir. Dolayısıyla bu parametreler ile birleştirilmiş kaynaklı numuneler bu tür konstrüksiyonlarda güvenle kullanılabilirler. 2 numaralı numunede yaklaşık 150° civarında çatlak başlangıcı tespit edilmiş, teste devam edilmiş ve test sonunda (yaklaşık 180°) kırılma gerçekleşmiştir. Bu numunede kırılma birleştirmenin AA 5754 ergime sınırı/kaynak metal merkezi arasında meydana gelmiştir. 3 ve 7 nolu numunelerde ise yaklaşık 110° civarında çatlama görülmüş ve teste devam edilerek yaklaşık 120°’de kırıldığı tespit edilmiştir. Bu numunelerde kırılma birleştirmenin AA 5754 ergime sınırında meydana gelmiştir. Eğme testi sonucu tespit edilen bu bilgiler, çekme testleri ile kıyaslandığında sonuçların birbirleri ile benzerlik gösterdikleri ve iki test sonucunun birbirlerini doğruladığı söylenebilir. Bu şartlar altında kaynaklı numunelerin kaynak sonrasında şekil verilerek kullanılabilmesi için kaynak parametrelerinin seçiminde son derece titiz olunması gerekliliği kanısına varılmıştır.

Kırlı [34] AA 5754 seri alaşımı MIG kaynağı ile AlMg5 ilave metal lullanarak birleştirmiş ve eğme testi sonucunda en yüksek dayanımın akım şiddeti değişimlerinde olduğu, kaynak akımının azaltılması veya arttırılmasının eğme deney sonuçlarının değerlerini değiştirdiğini rapor etmiştir. Başka çalışmalarda Taban [8] ve Taban ve Kaluç [77], farklı 5xxx serisi (AA 5083 ve 5086) alüminyum alaşımlarını TIG, MIG ve sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile birleştirmiş ve eğme numunelerinin yüz ve kök sonuçlarının gazaltı kaynak yöntemlerinde gazın etkisi ile oluşan gözeneklerin teşvik ettiği tekil çatlamlar dışında normal olduğunu raporlandırmıştır.

### **6.3.ÇENTİK DARBE DENEYİ**

Farklı kaynak parametrelerinde MIG kaynak yöntemi ile birleştirilmiş kaynaklı numunelerin ve bu numuneleri ana malzemeler ile kıyaslayabilmek için AA 5754 ve AA 6013 alüminyum alaşımı malzemelerin çentik darbe deney sonuçları Şekil 6.8’de verilmiştir. Darbe testleri kaynak metali, AA5754 ITAB ve AA 6013 ITAB olmak üzere üç farklı bölgeden yapılarak birbirleriyle mukayese edilmiştir.



Şekil 6.8. Çentik darbe deney sonuçları grafiği.

Şekil 6.8 incelendiğinde, en yüksek çentik darbe mukavemetinin 26 J ile AA 5754 esas metalden ölçüldüğü, diğer ana malzeme olan AA 6013'ün ise 19 J darbe emme enerjisi sağladığı görülmektedir. Farklı kaynak parametrelerinde birleştirilmiş ve kaynaklı numunelerin kaynak metallerinin çentik darbe dayanımlarına bakıldığında, en yüksek değer 21 J ile 1, 4 ve 5 nolu numunelerin AA 5754 esas metal ile kaynak metali arasındaki ITAB bölgelerisinden elde edilmiştir. Bu numuneleri 20 J ile 2, 6 ve 7 nolu numuneler takip etmektedir. Bu bölgeden ölçülen değerler incelendiğinde sonuçların bir numune hariç (3 nolu numune) birbirlerine çok yakın değerler verdiği bir gerçektir. Burada 3 nolu numune ergime sınırındaki yetersiz ergimeden dolayı düşük darbe tokluk değeri sunmuş bulunmaktadır. Kaynaklı bağlantıların kaynak metallerinden ölçülen tokluk değerleri incelenecek olursa yine 3 nolu numune hariç diğer birleştirmelerin birbirlerine yakın 12 ve 13 J tokluk değeri sundukları görülmektedir. 3 nolu kırılmış çentik darbe deney numuneleri üzerinde (3 adet numune) gözle yapılan muayenede kırılmanın kaynak metali çentiğinden değil de birleştirmenin AA 5754 ITAB'ından olması bu değer diğerlerinden düşük çıkmasına sebep olmuştur. Bir başka ifade ile ölçülen 10 J'lük değer birleştirmenin AA 5754 ITAB'ının çentik açılmamış halinin değeri olarak değerlendirilebilir. Şekil 6.8'de verilen grafikteki birleştirmelerin AA 6013 ITAB'ları incelenecek olursa, tüm birleştirmelerde değerlerin birbirlerine yakın olduğu (12, 13J) görülmektedir.

Çentik darbe deney sonrasında kırık yüzeylerde gözle yapılan muayenede, birleştirmenin AA 5754 malzeme ITAB'ının genellikle sünek tipte bir kırılma sergilediği, birleştirmenin diğer ITAB'ının ve kaynak metallerinin ise daha gevrek kırılma bir yapı sergiledikleri gözlenmiştir.

Çentik darbe sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde tel ilerleme hızı (dolayısıyla kaynak akımı) ve kaynak hızı parametrelerinin artışına veya azalışına bağlı olarak kaynak metali ve ITAB'larda çentik darbe tokluğunun arttığı veya azaldığına ait bir veri elde edilememiştir.

Kaya ve arkadaşları [82] alüminyum malzemeleri MIG kaynağı ile farklı parametrelerde birleştirmişler ve yaptıkları darbe testleri sonucunda, tüm numunelerdeki kırılma tiplerinin birbirlerine benzer ve sünek kırılma tipinde oldukları belirtmişlerdir. Bazı birleştirmelerde, yetersiz birleşme bölgesindeki boşluğun, darbe testinde direkt olarak çentik etkisi gösterdiğini ve tokluğun düşük çıkmasına neden olduğunu ayrıca kaynak metalinin çentik darbe kırılma enerjisinin ITAB'dan daha yüksek ölçüldüğünü rapor etmişlerdir.

Yavuz [81], alüminyum alaşımlarında silisyumun kaynak dikişi mekanik özelliklerine etkisini incelediği çalışmada, ısıdan etkilenmeyen ana malzemelerin çentik darbe dayanımının, ITAB ve kaynak metalinden daha yüksek olduğunu, ayrıca alaşımdaki silisyum miktarı arttıkça buna paralel olarak kırılma dayanımının da arttığını yani sünekliğin düştüğünü belirtmiştir.

Durgutlu [83] AA 6063 malzemeyi TIG kaynak yöntemi ile hem geleneksel alternatif akımda hem de darbeli akımda birleştirmiş ve her iki akım türünde de ana malzemenin darbe dayanımının kaynak metallerinden daha yüksek olduğunu ayrıca darbeli akımda birleştirilmiş kaynak metallerinin daha yüksek dayanım sergilediklerini tespit etmiştir.

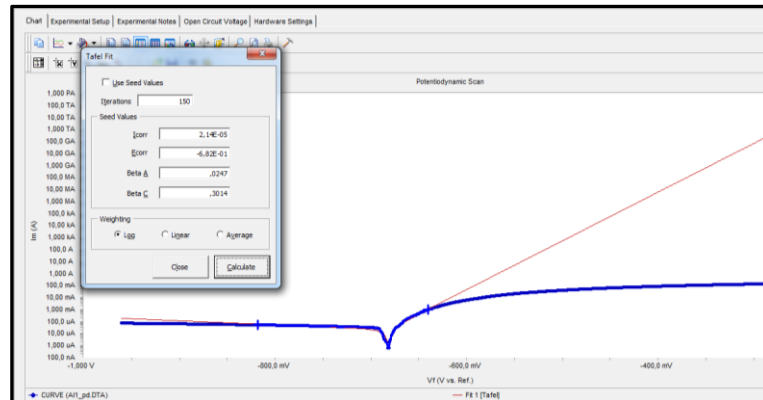
## 6.4. KOROZYON DENEYİ

AA 5744 ve AA 6013 alüminyum alaşımlı malzemelerin otomatik MIG kaynak yöntemi ile, ilave tel olarak 1,2 mm çapında AWS A510: ER5356 dolgu metali kullanarak farklı tel ilerleme hızlarında (akım), ve kaynak hızlarında birleştirmelere ait korozyon ölçümleri Gamry Echem Analyst programı ile yapılan ölçümlerin ve şekillerin Ecorr ve Icorr sonuçları Çizelge 6.2’de ve sonuçlara ait diyagramlar ise Şekil 6.9-6.15’de aralığında verilmiştir.

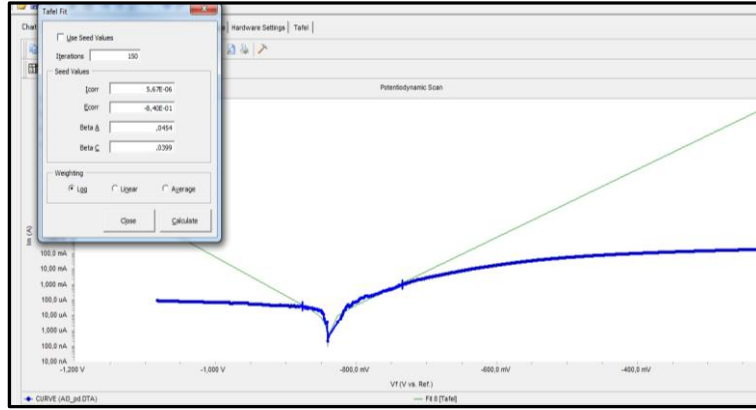
Çizelge 6.2. Korozyon sonrası ölçülen Ecorr ve Icorr sonuçları.

	Icorr	Ecorr
1	$2,14 \times 10^{-5}$	$-6,82 \times 10^{-1}$
2	$5,67 \times 10^{-6}$	$-8,40 \times 10^{-1}$
3	$9,53 \times 10^{-6}$	$-8,20 \times 10^{-1}$
4	$4,87 \times 10^{-5}$	$-7,30 \times 10^{-1}$
5	$4,26 \times 10^{-5}$	$-7,26 \times 10^{-1}$
6	$1,35 \times 10^{-5}$	$-6,96 \times 10^{-1}$
7	$3,70 \times 10^{-5}$	$-7,49 \times 10^{-1}$

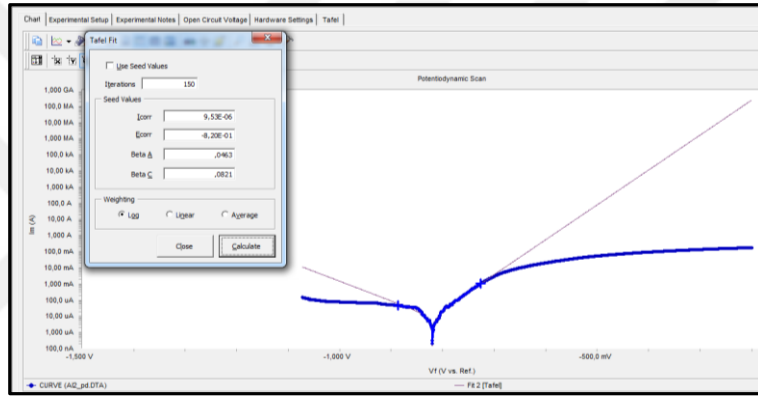
İncelenen Tafel eğrilerinde Icorr değerinin (korozyon hızının) 2 nolu ve 3 nolu numunede daha belirgin olması buda malzemelerin korozyon uğrama potansiyeli yetilerini göstermektedir.



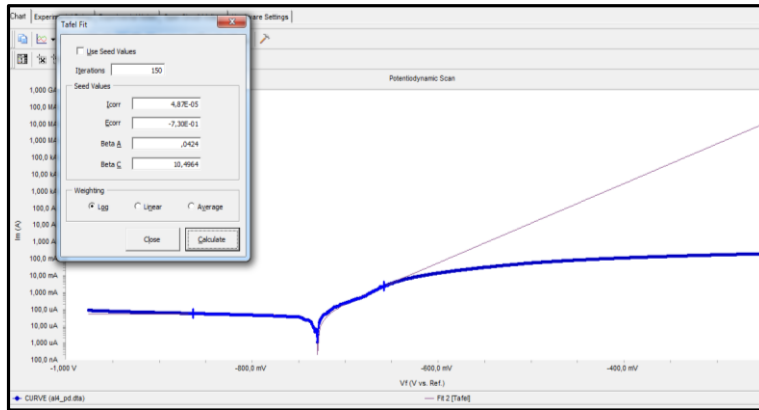
Şekil 6.9. 1 nolu numuneye ait korozyon ölçümü.



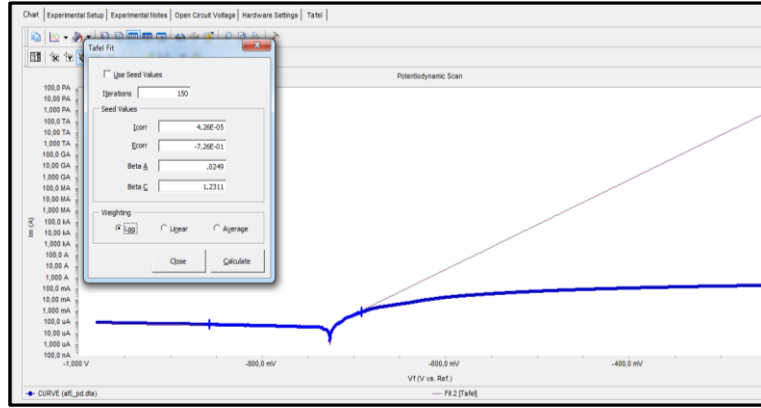
Şekil 6.10. 2 nolu numuneye ait korozyon ölçümü.



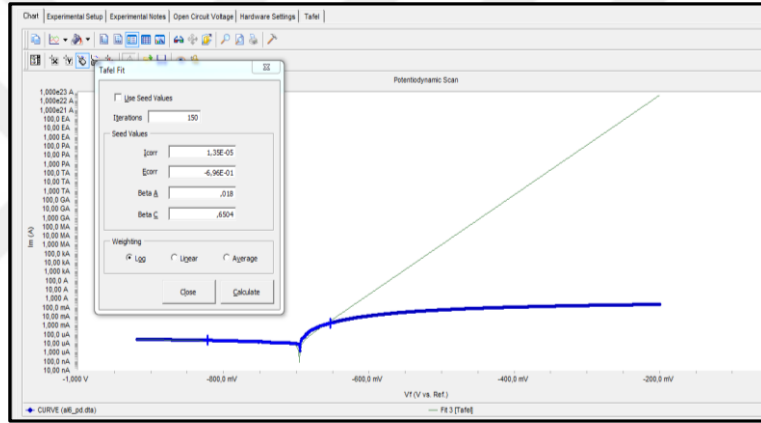
Şekil 6.11. 3 nolu numuneye ait korozyon ölçümü.



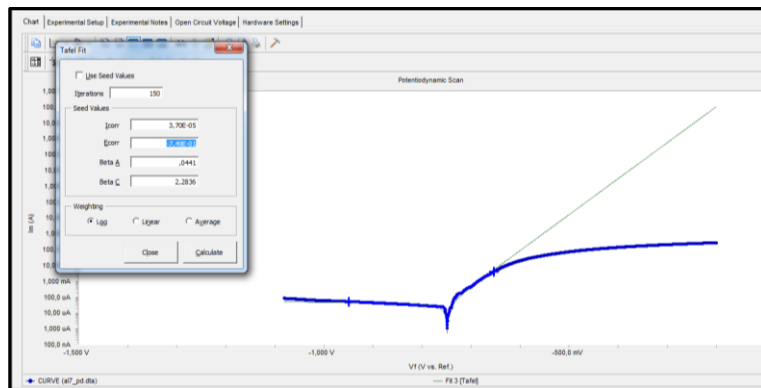
Şekil 6.12. 4 nolu numuneye ait korozyon ölçümü.



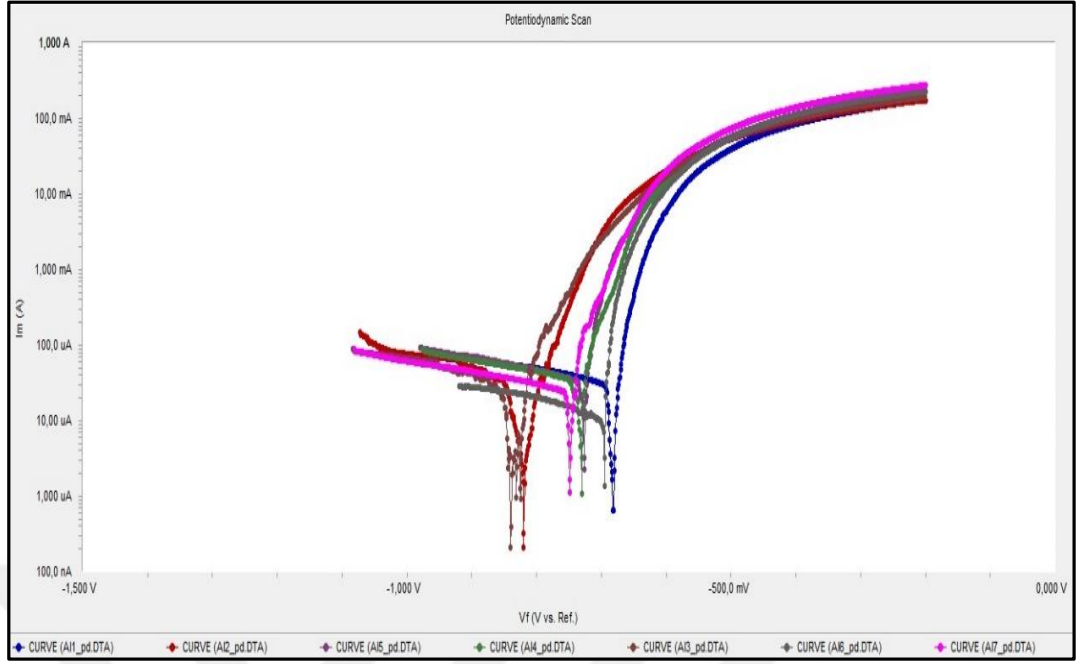
Şekil 6.13. 5 nolu numuneye ait korozyon ölçümü.



Şekil 6.14. 6 nolu numuneye ait korozyon ölçümü.



Şekil 6.15. 7 nolu numuneye ait korozyon ölçümü.



Şekil 6.16. Korozyon testi sonucundaki toplu malzeme analisti.

İncelenen korozyon deneyleri sonucu itibari ile Şekil 6.16'deki tafel eğrisi incelendiğinde 2 ve 3 nolu numunelerin daha fazla korozyona uğrama potansiyeli gözlemlenmiştir. Bunun sebebi ise 2 ve 3 nolu numunelerde yetersiz nüfuziyetten kaynaklanan ve çentik etkisi yapan kısım, kaynak yüzey alanını arttırmakta ve ısıya maruz kalan bu kısım hızla oksitlenerek korozyonu hızlandırmaktadır. Çalışmada kaynak parametrelerinin değişmesi sonucu değişen ısı girdisinin artışına bağlı olarak korozyon potansiyelinde bir artma veya azalmaya dair bir bulguya rastlanılmamıştır.

Literatürde [84], artan ısı girdisinin kaynaklı bağlantının korozyon direncini azalttığı, AA 5754 alaşımının kaynak işlemi sonrasında yeterli korozyon direncine sahip olabilmesi için 85 J/mm ısı girdisinin altındaki değerlerde birleştirilmesi gerektiği önerilmiştir. Ayrıca korozyon dayanımını azaltan  $\beta$  fazı ise oluşumunun sınırlandırılması için Mg içeriği daha düşük olan kaynak tellerinin kullanımı tavsiye edildiği belirtilmiştir.

Yüksel [72], yapay yaşlandırma prosesi sırasında  $\beta$  11 fazının çökmesi tamamlanmaya kadar ki zamanda alaşımın tanelerarası korozyon hassasiyeti ise azalarak devam etmekte ve çökelen fazın boyutları arttıkça, tanelerarası korozyon

direnci artar iken alaşımın oyuklanma korozyonuna karşı hassasiyeti artış gsterdiği rapor edilmiştir.

## 6.5.MİKROSERTLİK ÖLÇÜMÜ

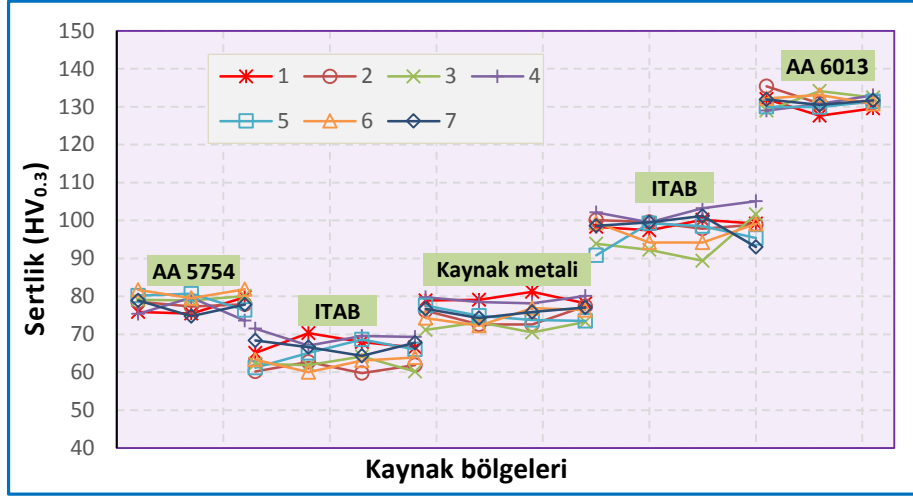
Sertlik ölçümü farklı kimyasal bileşime sahip alüminyum ana malzemeler (AA 5754 ve AA 6013) ve farklı kaynak parametrelerinde birleştirilmiş kaynaklı malzemelerin kaynak bölgelerindeki değişimleri belirlemek amacıyla uygulanmıştır.

AA 5744 ve AA 6013 alüminyum alaşımlı malzemelerin otomatik MIG kaynak yöntemi ile ilave tel olarak 1,2 mm çapında AWS A510: ER5356 dolgu metali kullanarak farklı tel ilerleme hızları (akım) ve farklı kaynak hızlarında birleştirmelere ait sertlik ölçüm noktaları şekil 5.14’de verildiği üzere alınan sonuçlarının elde edilen ölçü değerleri izelge 6.3’ de, bu değerlere ait sertlik dağılımı ise şekil 6.17’de grafik olarak gsterilmiştir.

Çizelge 6.3. Kaynaklı bölgenin sertlik sonuçları.

Numune No	AA 5754			ITAB (AA5754/kaynak metali)				Kaynak Metali				ITAB (AA6013/kaynak metali)				AA 6013		
1	75,9	75,5	79,8	65,1	70,3	68	66,5	78,9	79,1	81,2	78,2	98,3	97,4	100,2	99,2	132	127,6	129,6
2	78,6	77,3	77,9	60,2	62,7	59,8	61,9	76,2	72,6	72,6	77,4	100,1	99,6	97,8	98,9	135,4	130,8	131,1
3	79,1	78,9	80,1	62,2	61,9	64,2	60,2	71,2	73,2	70,5	73,3	93,9	92,3	89,4	101,6	129	134,1	132,4
4	75,4	79,7	73,6	71,5	67	69,6	69,3	79,8	78,5	78,2	78,1	102,1	99,5	103,2	105,1	129	130,7	133
5	80,2	80,7	76,4	61,2	65,1	68,6	66	77,6	74,9	75,8	73,5	90,8	99,3	98,5	95,4	130	129,9	131,4
6	81,7	79,5	81,9	63,3	60	63,1	63,9	74,3	72,4	73,7	75,4	99,4	94,2	94,2	99,1	132,2	133,1	130,7
7	78,9	74,8	77,8	68,4	66,6	64,3	67,8	76,7	74,3	75,9	77,1	98,6	99,5	101,2	93	131,9	130,5	131,7



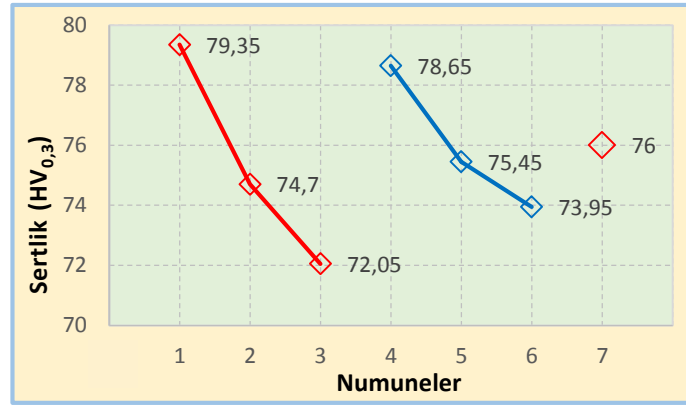


Şekil 6.17. Kaynak bölgesi sertlik grafiği.

Şekil 6.17’de verilen grafik genel olarak incelendiğinde; AA 6013 esas metalinde sertlik değerinin en yüksek olduğu, kaynak metaline doğru sertlikte bir düşüş seyrettiği, AA 5754 ana malzeme ile kaynak metali arasındaki ITAB’ın ise en düşük sertliğe sahip olduğu gözlemlenmiştir. Tüm kaynaklı numunelerde ve birleştirmelerin her iki tarafındaki ITAB’larda kaynak esnasındaki ısı işlem etkisi ile sertliklerde bir düşüş meydana geldiği belirlenmiştir.

Kaynak esnasında tel ilerleme hızının (akım) sabit, kaynak hızının değiştirildiği numunelerin kaynak metallere ölçülen sertlik değerleri incelendiğinde ısı girdisinin düşmesine bağlı olarak sertliklerde bir miktar düşme meydana geldiği tespit edilmiştir (Şekil 6.18).

Bunun sebebi ise artan kaynak hızı ile azalan ısı girdisinin alüminyum alaşımlarında soğuma hızını artırmasıdır. Soğuma hızı artması ile mikroyapıda taneler küçülmektedir ve yeniden kristallenmiş ince taneler meydana gelmesidir.



Şekil 6.18. Kaynak metali ortalama sertlik değerleri.

Literatürde [82], kaynak bölgelerinin sertlik değerleri arasındaki farkın ise önemli olduğu ve bunun sebebinin, kaynak sırasında meydana çıkan yüksek ısıdan dolayı malzeme içyapısındaki dislokasyon hareketleri ve kristal yapıda oluşan değişmelerin sebep olduğu bildirilmiştir.

Alan [85], AA5754 serisi alüminyum alaşımını farklı koruyucu gaz ortamlarında TIG yöntemiyle birleştirmiş ve kaynak bölgesini değişik testler ile karakterize etmiştir. Sertlik test sonuçlarına göre, bütün koruyucu gaz ortamında ise en yüksek sertlik değerlerinin ana metalde ölçüldüğünü ve sırasıyla ITAB ve kaynaklı metalinin takip ettiğini rapor etmiştir.

Atik ve arkadaşları [86] AA 2024 alüminyum alaşımını TIG kaynak yöntemi ile birleştirmişler yaptıkları sertlik testinde kaynak yapılırken oluşan ısının kaynak bölgesinde içyapıyı bozduğunu bu yüzden ana malzeme ile ITAB sertliklerinin farklı olduğunu belirtmişlerdir.

Yavuz [81] %1 bakır ve %2, 3, 4, 5 silisyum ilavesi yapılmış Etial 7 alüminyum MIG kaynak yöntemi ile birleştirmiş ve bağlantıların kaynak bölgesi sertlik dağılımını incelemiştir. Sertlik testlerinde, kaynak bölgesinden uzaklaştıkça sertliğin yükseldiğini; kaynak metalinin düşük, geçiş bölgesinin yüksek, ana malzemenin ise daha yüksek sertlikte olduğunu belirtmiştir. Ayrıca alüminyum alaşımlarının ısıyı yüksek hızla iletmesi özelliğinden dolayı kaynağın etkisinin kaynaklı bölgeden

uzaklaştıkça değiştiğini ve kaynak bölgesinin ısıdan etkilenme derecesine göre sertlik değerlerinde değişimler gözlemlendiğini rapor etmiştir.

Köse [29] çalışmasında AA 5754 alüminyum alaşımı malzemeleri robotik MIG kaynağı ile birleştirmiş ve sertlik testleri sonucunda ana metalin en sert olduğunu, ana metal sertliğine yakın değer olarak kaynak metali, daha sonrada ITAB olduğunu belirtmiştir. Deney numunelerindeki farklı sertlik değerlerine ulaşılmasının sebebinin farklı kaynak hızları, farklı amper ve ısı girdisinin oluşturduğu etkiler olduğu ayrıca kaynak sırasında oluşan yüksek ısıdan dolayı malzeme içyapısındaki dislokasyon hareketleri ile kristal yapıda oluşan değişimler sebebiyle ITAB ve çevresinde sertliğin düştüğünü rapor etmiştir.

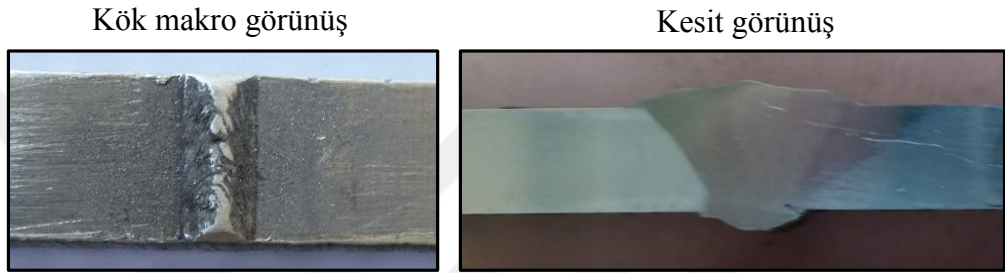
Lakshminarayanan ve arkadaşları [68], AA6061 alüminyum alaşımını farklı kaynak yöntemleri ile birleştirmişler ve kaynak yöntemine bakılmaksızın tüm yöntemlerde (TIG, MIG ve SKK) kaynak metali sertliğinin ITAB ve ana malzemedan düşük olduğunu rapor etmişlerdir. Kaynak metali sertliğinin düşük olmasının sebebinin, ilave malzeme sertliğinin düşük olması ile ısı girdisine bağlamışlardır.

## **6.6.MAKROYAPI ve MİKROYAPI**

Genellikle metalografide malzemelerin yapısını inceleme/değerlendirme işlemleri makro ve mikro olarak gerçekleştirilmektedir. Kaynaklı bağlantıların kaynak bölgesi (kaynak metali ve ITAB) makro olarak göz yada büyüteçle incelenebilir. Benzer şekilde farklı mikroskoplar kullanılarak kaynak bölgelerinin içyapıları hakkında inceleme/değerlendirme yapılabilir. Makro inceleme sadece malzemenin yüzeyleri için yapılırken, mikro inceleme hem yüzey hem de yüzey altı içyapıları incelemek için yapılmaktadır.

### 6.6.1.Makroyapı

Farklı kaynak parametreleri ile birleştirilmiş kaynaklı numunelerin yüzeyleri makro olarak gözle incelenmiş ve örnek olması açısından bir sağlam, bir de kaynak hatası bulunan bir numune örnek olarak resimlenmiştir. Burada 1 nolu numune sağlam, 3 nolu numune ise hatalı olarak değerlendirilmiştir. Şekil 6.19'da 1 numaralı numuneye ait makro kök ve makro kesit görüntüleri, Şekil 6.20'de ise 3 numaralı numuneye ait makro kök ve makro kesit görüntüleri verilmiştir.



Şekil 6.19. 1 nolu numunenin makro kök ve makro kesit görüntüsü.



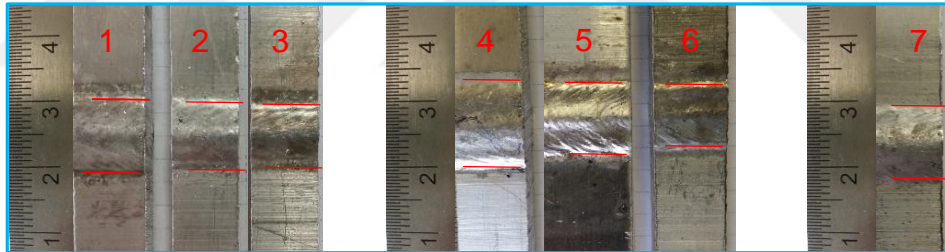
Şekil 6.20. 3 nolu numunenin makro kök ve makro kesit görüntüsü.

Şekil 6.19'da verilen ve sağlam olarak değerlendirilen görüntü incelendiğinde, kaynak kökünün simetrik olduğu ve kaynak esnasında ark ısısının her iki ana malzeme yüzeylerini eşit miktarda ertiterek hatasız ertime sınırı oluşumuna katkı sağladığı görülmektedir. Şekil 6.20'de verilen ve hatalı kaynak olarak sunulan görüntü incelendiğinde ise, birleşme hatası hem kök görüntüden hem de kesit görüntüden net olarak görülebilmektedir. Burada kaynak ısısının her iki malzemeyi eşit miktarda ertitmediği, dolayısıyla birleşmenin bir tarafında tam bir nüfuziyet sağlanırken, diğer yanında yetersiz ertime sonucu birleşme noksanlığı hatasının olduğu gözlemlenebilmektedir. Şekilde verilen bu kaynak hatası, kaynak esnasındaki yetersiz

ısı girdisinden meydana gelebileceği gibi, kaynak esnasında torcun yanlış konumlandırılmasından da kaynaklanmış olabilir. Yüzeylerin temiz olmaması ve iki malzeme arasında yeterli boşluk bırakılmaması da bu hatanın oluşma sebepleri olarak sayılabilir.

Çekme deneyi sonuçları ile görsel/makroyapı sonuçları birlikte değerlendirildiğinde, sonuçların birbirlerini ile son derece uyumlu olduğu bir gerçektir. 3 nolu numunenin düşük çekme dayanımı sergilemesinin sebebi bu numune kökünde oluşan birleşme noksanlığı hatasından kaynaklanmıştır. Çekme testinde bu hata çentik etkisi göstermekte dolayısıyla mukavemet değerleri düşük olmaktadır.

Farklı kaynak parametreleri ile birleştirilmiş kaynaklı numuneler üzerindeki parametrelerin kaynak metali genişliğine etkilerini belirlemek için kaynak metali genişlikleri ölçülmüştür. Şekil 6.21’de kaynak dikişleri makro görüntüleri, Çizelge 6.4’de ise bu dikişlerin genişlikleri verilmiştir.



Şekil 6.21. Kaynak dikişi makro görüntüleri.

Çizelge 6.4. Kaynak metali genişlikleri (mm).

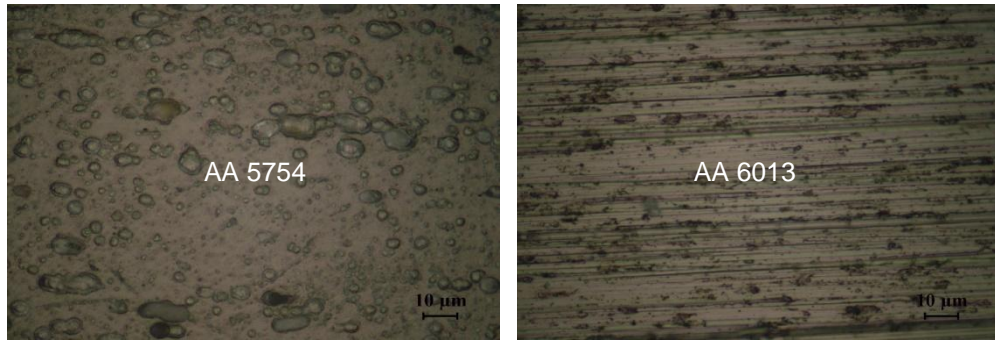
Numune no	Kaynak genişliği (mm)	Numune no	Kaynak genişliği (mm)	Numune no	Kaynak genişliği (mm)
1	11,2	4	12,0	7	10,9
2	10,2	5	11,1		
3	9,4	6	9,8		

Şekil 6.21’de verilen görüntüler ve Çizelge 6.4’de ölçüm sonuçları incelendiğinde tel ilerleme hızı (akım) sabit, kaynak hızı arttırıldığında kaynak metalinin daraldığı net bir biçimde görülmektedir.

## 6.6.2.Mikroyapı

AA 5754 ve AA 6013 alüminyum alaşımlı malzemelerin 1,2 mm çapında AWS A510: ER5356 dolgu metal kullanılarak otomatik MIG kaynağı ile birleştirilen malzemelerde tel ilerleme hızı (kaynak akımı) ve kaynak hızının kaynak mikroyapısı üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla numuneler optik mikroskop yardımı ile incelenmiştir.

İnceleme sırasında kaynak bölgesinde (kaynak metali ve ITAB) karşılaştırma yapabilmek için her iki ana malzeme (AA 5754 ve AA 6013) ile 3 farklı tel ilerleme hızı (akım) ve 3 farklı kaynak hızında birleştirilen numunelerin mikroyapı görüntüleri alınmıştır. Ayrıca ana malzemeler ile kaynak bölgesinin tamamını tek bir görüntüde görebilmek için küçük büyütme, kaynak esnasında oluşan her bir bölgeyi ayrı ayrı daha net bir şekilde inceleyebilmek için ise büyük büyütme görüntüleri alınmıştır. Özellikle tüm birleştirmelerde her iki ergime sınır hattının resmedilmesine özen gösterilmiştir. Şekil 6.22’de ana malzeme (AA 5754 ve AA 6013) mikroyapıları verilmiştir.

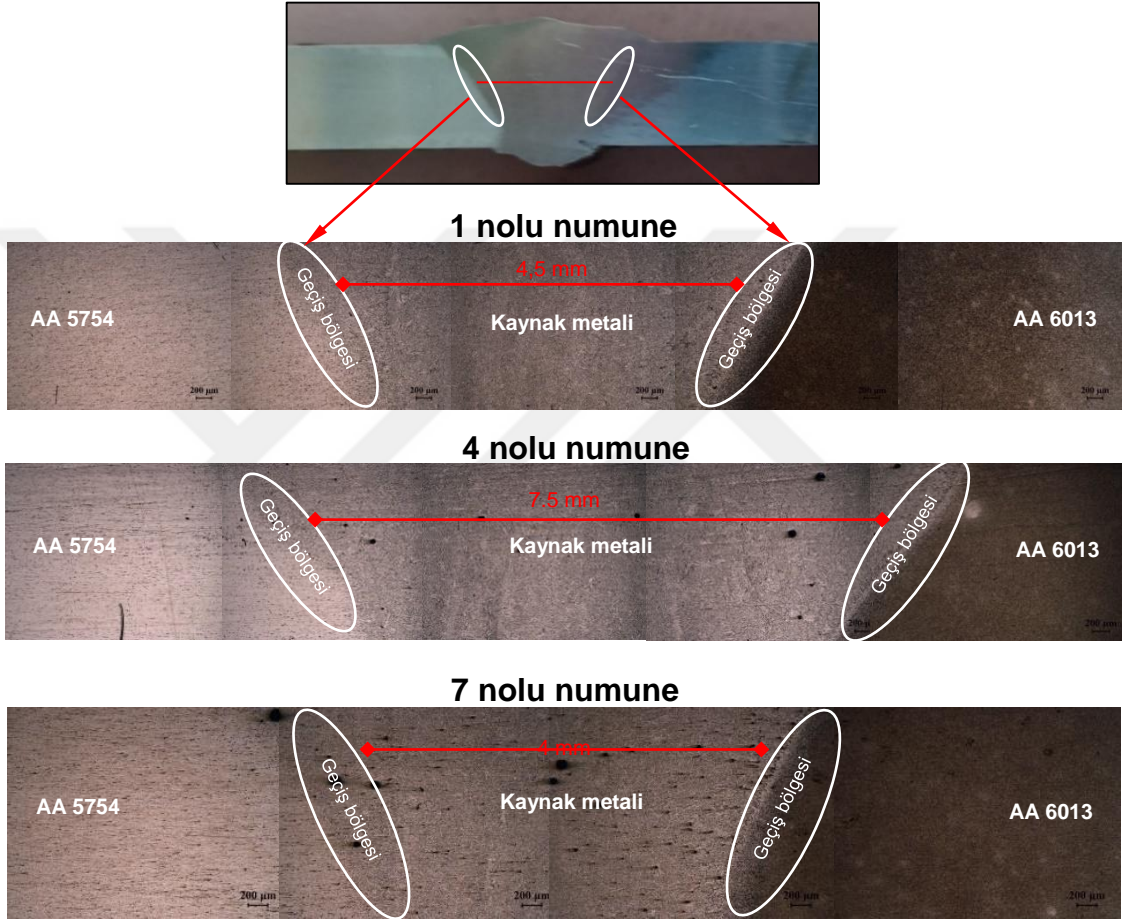


Şekil 6.22. Ana malzeme mikroyapıları.

Şekil 6.22’de AA 5754 ana malzeme mikroyapısının ince taneli homojen çökelti dağılımlı bir yapıda olduğu, AA 6013 ana malzemenin ise tanelerin/görünür fazların hadde doğrultusunda paralel uzamış olduğu gözlemlenmektedir. Ayrıca bu görüntüde çökelti partikülleri çok net bir biçimde görülmektedir.

Şekil 6.23’de yukarıda bahsedilen en küçük büyütmede elde edilen ve örnek olması açısından 3 farklı kaynak hızında birleştirilmiş numunelerden sadece 3 tanesinin (1, 4

ve 7 nolu numuneler) bir nevi makro sayılabilecek büyütmede tüm kaynak bölgesini ve ana malzemeleri de kapsayacak biçimde görüntüleri verilmiştir. Böylelikle ısı girdisine bağlı olarak kaynak bölgesinin genişliği hakkında kolaylıkla yorum yapılabilme fırsatı elde edilmiştir. Görüntüler optik mikroskopta seri çekimler yapılarak elde edilmiştir.



Şekil 6.23. Ana malzemeler, ITAB'lar ve kaynak metali görüntüleri.

Şekil 6.23 dikkatli bir biçimde incelendiğinde her üç parametrede de birleştirilmiş numunelerde kaynak metali genişliğinin birbirlerinden farklı olduğu görülmektedir. Yukarıda verilen görüntülerin numune kesitlerinden ve kaynak metali yüksekliğinin merkezinden alındığı düşünüldüğünde kaynak merkez genişliklerinin (1 nolu 4.5 mm, 4 nolu 7.5 mm ve 7 nolu 4 mm) Çizelge 6.4'de verilen kaynak dikişi yüzey genişlikleri ile uyum içerisinde olduğu söylenebilir. Şekil 6.24'de daha kolay anlaşılması açısından orta büyütmede kaynak metali ve ITAB'lar ayrı ayrı verilmiştir.



Şekil 6.24. Birleştirilmiş numunelerin kaynak metali ve geçiş bölgesi mikroyapıları.



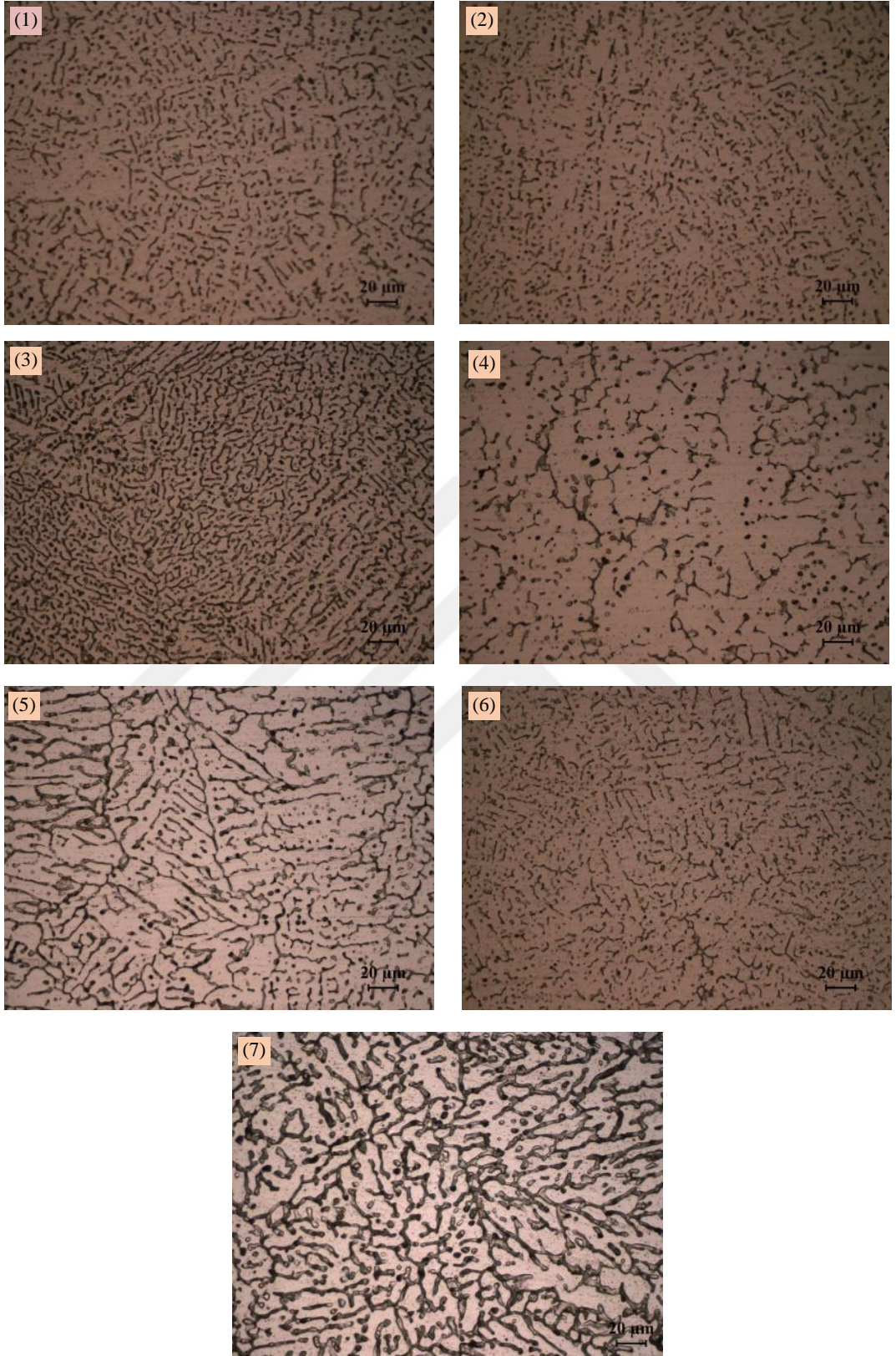
Şekil 6.24’de verilen farklı kaynak parametreleri (akım ve kaynak hızı) ile birleştirilen AA 5754 ve AA 6013 alüminyum alaşımlarının kaynak metali ve ITAB geçişleri incelendiğinde tane büyüklükleri hariç yapıların birbirlerine benzedikleri görülmektedir. Burada parametre değişimi sonucu ısı girdisi değişmekte dolayısıyla da ısı girdisinin bir bölgede uzun süre kalması tane büyüklüğünü etkilemektedir. Mikroyapılar incelendiğinde birleştirmelerin tamamında her iki ergime sınır hattında (AA 5754 ITAB kaynak metali geçişi ve AA 6013 ITAB kaynak metali geçişi) düzenli bir geçiş bölgesinin oluştuğu görülmektedir. Ayrıca ergime hattının bu düzenli görünümü, kaynak öncesinde yüzeylerden kirleticilerin uzaklaştırılması neticesinde meydana geldiği düşünülmektedir.

Şekil 6.24’de arayüzeyden elde edilen bu görüntüler, ana malzemeler ile ilave metalin son derece uyum içerisinde olduğunun bir göstergesi olarak değerlendirilebilir. Çalışma sonucunda AA 5754 ve AA 6013 alaşımlı farklı kimyasal bileşime sahip bu iki malzemenin birleştirilmesinde seçilen ilave metalin isabetli olduğu sonucu çıkarılabilir. Ayrıca geçiş bölgesinde gaz boşluğu vb kaynak hatalarının bulunmaması da kaynak esnasında seçilen gaz debisi, ark boyu ve serbet tel uzunluğunun doğru seçilmesinin bir sonucudur.

Şekil 6.24’de verilen görüntülerden çıkarılan bir başka sonuç da, birleştirmenin AA 6013 tarafında daha belirgin olmak üzere her iki ergime sınırına bitişik ITAB’da meydana gelen tane irileşmesidir. Birleşmenin AA 6013 tarafındaki iri taneli bölgenin genişliği ısı girdisine bağlı olarak 250-400 µm aralığında görülmektedir.

Literatürde, MIG kaynağı ile birleştirilmiş alüminyum malzemelerin mikroyapı görüntülerinde, farklı kaynak parametrelerinde değişik içyapı görüntülerinin elde edildiği, ana malzemeler daha düzenli homojen bir yapı sergilerken, ITAB’da bu yapının bozulduğu ve kaynak metalinde ise kaynağın soğuması esnasında oluşan dentritik yapılar gözlemlendiği rapor edilmiştir [29].

Şekil 6.25’de farklı parametrelerde birleştirilmiş kaynaklı numunelerin sadece kaynak metallerinin görüntüsü verilmiştir.



Şekil 6.25. Kaynak metali mikroyapıları.

Şekil 6.25’de verilen kaynak metalleri incelendiğinden yapıların tamamının dentritik olduğu görülmektedir. Literatürde bu dendritlerin oluşmasının kaynak bölgesinin yavaş soğuma hızına bağlanabileceği belirtilmiştir [87].

Şekil 6.25’de verilen görüntüler incelendiğinde en belirgin özelliğin kaynak metallere tane ebatlarının birbirlerinden farklı olması gösterilebilir. Tabiki bu sonuç kaynak esnasındaki yüksek ısı girdisinin kaynak metalinde ne kadar süre kaldığı ile alakalı olduğu bir gerçektir. Kaynak esnasındaki ısı girdisi hem kaynak metali hem de ITAB üzerinde etkilidir. Özellikle de ısı girdisinin ITAB’ın genişliğinde etkisi daha fazladır. Kaynak metalinde ise kaynak parametrelerinin etkisi daha ön plana çıkmakta dolayısıyla kaynak akımı veya kaynak hızının değişmesine bağlı olarak kaynak metali kesit alanını değişmektedir.

Çizelge 5.5’de verilen ısı girdisi değerlerine göre en iri taneli kaynak metali yapısının 4 nolu numunede, en ince tane yapısının ise 3 nolu numunede olması gerektiği açıktır (Çizelge 5.5; en yüksek 4 nolu numune 896 J/mm, en düşük ısı girdisi 3 nolu numune 571,2 J/mm). Ancak görüntülerden en iri tanenin 7 nolu numunede olduğu net bir biçimde görülmektedir. Bunun sebebinin kaynak esnasındaki değişken olan kaynak parametrelerinin etkilerinin (akım ve kaynak hızı) aynı olmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Zaten Çizelge 6.3’de verilen kaynak dikiş genişlikleri ve Şekil 6.23’de örnek olarak verilen üç numune görüntüleri bu sonucu doğrular niteliktedir. Bir başka ifade ile makroyapı çalışmaları sonucu belirlenen kaynak dikiş genişlikleri ve mikroyapı görüntülerinden elde edilen tane irileşmesi ısı girdisinden etkilenmekle birlikte daha çok kaynak değişkeninden (akım ve kaynak hızı) etkilendiği bir gerçektir.

Diğer taraftan tel ilerleme hızı (akım) sabit kaynak hızı arttırıldığında ısı girdisi azaldığı için tane ebatının küçüldüğü (1, 2 ve 3 nolu veya 4, 5 ve 6 numuneler) açık bir biçimde görülmektedir. Kaynak hızı sabit, tel ilerleme hızı (akım) arttırıldığında ise ısı girdisi arttığı için tane ebatının da arttığı (3, 6 ve 7 nolu numuneler) bir gerçektir. Tabiki tüm bu değerlendirmeler yapılırken, kaynak metalinden mikroyapı resminin alındığı bölgenin yerinin (normalde alınması gereken kısım kaynak metali merkezi) tane ebatı ve morfolojisi açısından çok önemli olduğu ve farklılık gösterdiğinde yanlış sonuçlar alınabileceği unutulmamalıdır.

Şekil 6.25’de verilen görüntülerde en belirgin mikroyapının 7 nolu numunede olduğu bir gerçektir. 155 amper kaynak akımında ve en yüksek kaynak hızında (3.5 mm/s) birleştirilen bu numunede yüksek akım yoğunluğu sebebi ile oldukça yüksek tepe ark sıcaklığına çıkılır ve böylelikle de yüksek sıcaklıkta kalınan süre haliyle artarak soğuma hızı yavaşlar. Soğuma hızının yavaşlaması da ergimiş/katılaşmış kaynak metalinde nispeten daha geniş dentritik boşluklara neden olmaktadır. Lakshminarayanan ve arkadaşları [68], alüminyum malzemeleri TIG, MIG ve SKK yöntemi ile birleştirmişler ve MIG kaynağı ile birleştirilmiş numunelerde, yüksek ısı üretiminin ve çok yüksek akım yoğunluğunun ark sıcaklığını ve ark kuvvetlerini arttırmak için birleştiğini belirtmişlerdir. Bu çok yüksek ark sıcaklığının, ergimiş kaynak havuzunun tepe sıcaklığını arttırdığını ve bu durumun yavaş soğutma hızına neden olduğunu, bu yavaş soğutma hızının, kaynak metalinde nispeten daha geniş dendritik boşluklara neden olduğunu rapor etmişlerdir. Ayrıca bu mikroyapıların genellikle girinti ve deformasyona karşı daha düşük direnç sergilemeleri nedeniyle bu kaynakların daha düşük sertlik ve düşük mukavemet sergiledikleri belirtilmiştir.

Mikroyapı görüntüleri genel olarak değerlendirildiğinde (Şekil 6.23-6.25) alüminyum alaşımlarının ısı iletim katsayılarının yüksek olması sebebi ile kaynağın etkisinin kaynak metalinden uzaklaştıkça değiştiği gözlemlenmiştir. Yavuz [81] alüminyum malzemeleri MIG kaynak yöntemi ile birleştirmiş ve mikroyapı çalışmaları sonucunda, alüminyumdaki yüksek iletkenliğin kaynak bölgesi üzerinde etkili olduğunu belirtmiştir. Ayrıca kaynak işlemleri sonucunda bölgeler arasında mikroyapısal değişimler meydana geldiğini, bu değişimler üzerinde kaynak hızı, süresi, parçaların boyutu ve geometrisi de etken olduğunu rapor etmiştir.

Bütün kaynaklı numunelerde kaynak metali mikroyapılarının dentritik olduğu ve ergime sınırından kaynak merkezine doğru sütunsal olarak uzadıkları ayrıca ısı girdisine bağlı olarak ergime sınırına bitişik ana malzemeler tarafında tane irileşmesinin belirginleştiği tespit edilmiştir. Çetinkaya ve arkadaşları da [73] kaynaklı alüminyum malzemeler üzerinde yaptıkları mikroyapı çalışmalarında, kaynak metalinin dentritik yapıya sahip tanelerden oluştuğu ve oldukça geniş bir alanın ergime sınırından kaynak merkezine doğru uzanan sütunsal bir yapı şeklinde oluştuğu rapor etmişlerdir.

## BÖLÜM 7

### SONUÇLAR

Bu çalışmada, AA 5754 ve AA 6013 serisi alaşımlı alüminyum malzemeler otomatik MIG kaynak yöntemi ile farklı parametrede argon koruyucu gazı kullanılarak birleştirilmiştir. Kaynaklı birleştirmelerin dayanımlarını belirlemek amacıyla çekme, üç nokta eğme ile çentik darbe ve sertlik testleri uygulanmıştır. Ayrıca, kaynaklı numunelerin kaynak bölgelerinde korozyon ve optik mikroskop çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda aşağıda verilen sonuçlara ulaşılmıştır.

- AA 5754 ve AA 6013 alaşımlı alüminyum malzemelerin MIG kaynak yöntemi birleştirilmesinde uygun ilave metal ve kaynak parametreleri (kaynak akımı ve kaynak hızı) seçildiğinde %90'ın üzerinde bir kaynak performansının (verim) sağlanabileceği tespit edilmiştir.
- Çekme testleri sonucunda kaynaklı numunelerin bir kısmında kopma yarı sünek davranışla ITAB'da meydana gelirken, diğer bir kısmında ise gevrek kırılma tipinde, kaynak metali ve ITAB'da meydana gelmiştir.
- Çekme test sonuçlarına göre aynı tel ilerleme hızı/akımda, kaynak hızı arttıkça mukavemet değerlerinde bir düşüş tespit edilmiştir.
- Eğme deneyi sonucunda 1, 4, 5 ve 6 nolu numuneler 180° eğildiğinde herhangi bir kırılma ve çatlama hatası tespit edilmezken 2, 3 ve 7 nolu numuneler bu testte başarısız olmuşlardır.
- Çentik darbe testleri sonucunda kaynak bölgesindeki en yüksek tokluk değerleri birleştirmenin AA 5754 ana metalinde ölçülürken, kaynak metali ve AA 6013 ITAB'ları birbirlerine yakın değerler sunmuşlardır.

- Kaynak metallerine uygulanan çentik darbe test sonuçlarına göre kaynak akımı ve kaynak hızının artış/azalışına göre tokluk değerlerinde bir artış/azalışa rastlanılmamıştır.
- Korozyon testleri sonucunda özellikle 2 ve 3 nolu numunedeki yetersiz birleşme hatasından dolayı oluşan çentik etkisinin bulunduğu kısım, korozyona maruz yüzey alanını arttırdığından bu numunenin korozyona karşı direncinin düşük olduğu belirlenmiştir.
- Kaynaklı numunelere uygulanan sertlik testi sonucunda en yüksek sertlik değeri 93-105.1 HV ile birleştirmenin AA 6013 ITAB'ından, birleştirmelerin en düşük sertlik değerleri ise 60.2-71.5 HV arasında birleştirmenin AA 5754 ITAB'ından ölçülmüştür. Birleştirmelerin kaynak metali sertlikleri ise 70.5-81.2 HV olarak ölçülmüştür.
- Kaynaklı numunelerde oluşan kaynak dikiş genişlikleri makro olarak incelenmiş, tel ilerleme hızı/akım ve kaynak hızının dikiş genişlikleri üzerinde etkili olduğu sonucuna varılmıştır.
- Mikroyapı çalışmaları sonucunda tüm kaynak metali yapılarının dentritik olduğu ve tanelerin ergime sınırından kaynak merkezine doğru sütunsal olarak yönlendikleri görülmüştür.

## KAYNAKLAR

1. Kartsonakis, I. A., Dragatogiannis, D., A., Koumoulos E. P., Karantonis, A. and Charitidis, C. A., "Corrosion behaviour of dissimilar friction stir welded aluminium alloys reinforced with nanoadditives", *Materials and Design*, 102, 56–67 (2016).
2. Smith, W. F., "Mühendislik Alaşımalarının Yapı ve Özellikleri: Demir Dışı Alaşımlar, 2 ", Mehmet Erdoğan, *Nobel Akademik Yayıncılık*, Ankara, 11-48, (2001).
3. Khotiyan, S. K. and Kumar, S., "Investigation of microstructure and mechanical properties of TIG and MIG welding using aluminium alloy", *International Journal of Education and Research Review*, 1 (5): 90-96 (2014).
4. Maisonnette, D., Wsuery, M., Nelias, D., Chauder, P. and Epicier, T., "Effects of heat treatments on the microstructure and mechanical properties of a 6061 aluminium alloy", *Material Science and Engineering*, 528: 2718-2724 (2011).
5. Prakash, J., Tewari, S. P. and Srivastava, B. K., "Shielding gas for welding of aluminium alloys by TIG/MIG welding A review", *International Journal of Modern Engineering Research (JMER)*, 1: 690-699 (2012).
6. Vargel, C., "Corrosion of Aluminium." 2nd ed. Kidlington, *UK. Elsevier*, (2004).
7. Cirik, E., "Anadik oksidasyon işleminin 7075-t6 alüminyum alaşımının yorulma davranışına olan etkisinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 5 (2007).
8. Taban, E., "5XXX serisi alüminyum alaşımlarının TIG, MIG ve Sürtünen Eleman ile Birleştirme kaynaklı bağlantılarının mekanik ve mikroyapısal özelliklerinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, 24 (2004).
9. Ulubaş, B., "Robot kaynakli birleştirmede mekanik ve mikroyapının İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1 (2009).
10. *Milli Eğitim Bakanlığı*, MIG İle Alüminyum ve Alaşımlarının Kaynağı, Metal Teknolojisi Mig Kaynağı 521mmi243, Ankara, 12 (2011)
11. Kurşun, T., "Alüminyum ve Alaşımlarının MIG Kaynağı", *Metal Makine Dergisi*, 158, (2006).

12. Kahraman, N. ve Gülenç, B., “Modern Kaynak Teknolojisi, Geliştirilmiş ve Genişletilmiş 2. Baskı”, *Epa- Mat Basım Yayın Ltd.Şti*, Ankara, 90-113 (2013).
13. Ünlü, B. S., Yılmaz, S. S., Uzku, M., Çivi, C., “MIG/MAG kaynağı ile farklı akımlarda birleştirilmiş FE 37 çeliğinin kaynak bölgesinin mikroyapı ve mekanik özellikleri”, 2. *Uluslararası Kaynak Teknolojileri Konferansı ve Serisi*, Ankara, Turkey, 383-391 (2012).
14. Alper, M. G., “Alüminyum sürekli döküm yöntemi ile üretilmiş 5052-5128 alüminyum alaşımlarının şekillendirilebilirlik kabiliyetlerinin belirlenmesi” Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 3 (2003).
15. Kasaplar, G., “Alüminyum yüzeyindeki oksit tabakasının okzalik asit anodizing yöntemiyle geliştirilmesi” Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 4 (2007).
16. İnternet: Kocaeli Döküm Sanayi ve Tic. Ltd. Şti., 2013 Alüminyumun Genel Özellikleri, [www.kocaelidokum.com/aluminyum-döküm/alüminyumun-genel özellikleri.html](http://www.kocaelidokum.com/aluminyum-dokum/aluminyumun-genel-ozellikleri.html)
17. <http://referansmetal.com/aluminyum.php>
18. Eker, A. A., “Alüminyum ve Alaşımları Ders Notları” *Yıldız Teknik Üniversitesi*, İstanbul, (2008).
19. Car, E., “İkincil Alüminyum Üretimine Genel Bakış”, Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği, *Metalürji Mühendisleri Odası*, 43-44
20. Çizmelioglu, Z., Özer, G., “Alüminyum Hurdadan Saf Alüminyum Üretimi” *Yıldız Teknik Üniversitesi, Üretim Metalurjisi Anabilim Dalı*, İstanbul, (2008-2009).
21. Günay, D., “Alüminyum Sektörleri Hakkında Bir Değerlendirme” *Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Müdürlüğü*, Ankara, 15 (2006).
22. Askeland, D. R., “Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri”, University of Missouri-Rolla (Çeviri Dr. Mehmet Erdoğan), *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara, (1998).
23. Can, C. A., “Tasarımcı Mühendisler için Malzeme Bilgisi”, *Birsan Yayın Evi*, İstanbul, (2006).
24. <https://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=AluminumGrades&LN>
25. <http://www.serdarkorkut.com/2017/05/08/aluminyum-alasimlari/>
26. Zeren, M., “Demir Dışı Düşük Sıcaklık Metal ve Alaşımları Ders Notu”, *Kocaeli Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği*, Kocaeli, (2008).



27. Dikeç, G., “Malzeme Bilgisi Ve İmal Usulleri”, 1. Baskı, **Gedik Üniversitesi Yayınları**, İstanbul, (2013).
28. Oğuz, B., “Demirdışı Metallerin Kaynağı Ders Notu”, Oerlikon Yayını, (1990).
29. Köse, C., “Robotik MIG ile birleştirilen AA 5754 alüminyum alaşımının mikroyapı ve mekanik özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, **Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya**, 1-143 (2011).
30. **MEGEP**, “Alüminyum Alaşımları Modülü”, Ankara (2005).
31. <http://www.sincast.info/alasim-elementlerinin-aluminyuma-etkisi/>
32. **Düzce University**, “Kaynaşlı vocational college corrosion research laboratory”, 81900, Kaynaşlı Düzce, (2013).
33. Er, M., “Yüksek frekanslı, genlik ayarlı eğilme yorulması test cihazı tasarımı ve 1100-H14 alüminyum levhasının eğilme yorulması davranışının incelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, **Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Balıkesir**, 21 (2006).
34. Kırılı, S., “Alüminyum malzemelerin MIG kaynağında kaynak parametrelerinin dikiş geometrisine ve mekanik özelliklere etkisi” Yüksek Lisans Tezi, **Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya**, 10 (2011).
35. Savaşkan, T., “Malzeme Bilimi ve Muayenesi”, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, **Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon** (2004).
36. [http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/66616/49601/7\\_hafta.pdf](http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/66616/49601/7_hafta.pdf)
37. <http://metalurji.kocaeli.edu.tr/files/DersNotlari/mmt309-041.pdf>
38. <http://web.deu.edu.tr/metalurjimalzeme/pdf/mmm2002Malzeme2/DERS5.pdf>
39. Erdoğan, A., “Alüminyum ve Alaşımları Ders Notu”, **Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği**, İstanbul, (2008).
40. Eken, E. A., Yılmaz, C. ve Tan, E., “Effect of Different Fastener Installation Methods to Prevent Galvanic Corrosion Aselsan A.Ş. Türkiye”, **IMMC 2016 18th International Metallurgy & Materials Congress**, 833 (2016)
41. <http://w3.balikesir.edu.tr/~ay/lectures/ha/lecture4.pdf>
42. Onat, A., “Korozyon Ders Notu”, **Sakarya Meslek Yüksekokulu Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü Metalurji Programı**, Sakarya (2015).
43. <https://dokumen.tips/documents/gemi-boyalari-ve-uygulamalari.html>

44. [http://www.yildiz.edu.tr/~akdogan/lessons/korozyonvekoruma/Korozyon\\_Korozyon\\_Mekanizmalari.pdf](http://www.yildiz.edu.tr/~akdogan/lessons/korozyonvekoruma/Korozyon_Korozyon_Mekanizmalari.pdf)
45. <http://www.aluminyumyapi.com/?sayfa=haberayrinti&no=98#.W463gezZdh>
46. <https://aviationwriter.wordpress.com/2012/04/19/Ucak-Yapi-Malzemeleri/>
47. <https://www.assanaluminyum.com/tr-tr/surdurulebilirlik/her-yonuyle-aluminyum>
48. file:///C:/Users/18208078004ana/Downloads/DERS7-3%20malzeme.pdf
49. TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası, “Alüminyum Raporu”, **24. Dönem çalışma raporu**, Ek-16
50. <http://Www.Metaluzmani.Com/Malzeme-Menusu/Aluminyum/>
51. Başer T. A, “Alüminyum alaşımları ve otomotiv endüstrisinde kullanımı”, **Mühendis ve Makine Dergisi** 53 (635), 51-58 (2012).
52. Tımaç, G., “Uçak endüstrisinde kullanılan alüminyum alaşımlarının TIG kaynak yöntemi ile kaynaklanabilirliğinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 7 (2006).
53. Ertuğ, B. ve Kumruoğlu L. C., “Alüminyum Alaşımlarının Otomotiv Endüstrisinde Uygulama Alanları, **Metal Dünyası**, (Yayın No: 3426668)
54. Alan, S., “Alüminyum raporu” **Orta Anadolu İhracatçı Birlikleri Genel Sekreterliği**, 8 (2008)
55. <https://www.delinetciler.org/showthread.php?t=149424>
56. Gülenç B., Candan İ. ve Kahraman N., “MIG-MAG kaynağı ile birleştirilen boruların tahribatlı ve tahribatsız muayenesi”, Gazi Üniversitesi, **Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi**, 21 (4), 631-637 (2006),
57. Tülbentçi, K. ve Kaluç, E., “Kaynak teknolojisi yeni nesil akım üreteçleri İnverterler”, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, **Kaynak Teknolojisi 1. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı**, Ankara, 93-101 (1997).
58. Kahraman, N. ve Gülenç, B., “Modern Kaynak Teknolojisi, Genişletilmiş 3. Baskı”, **Epa- Mat Basım Yayın Ltd.Şti**, Ankara, 100-123 (2016).
59. Yılmaz, R., “MIG-MAG Kaynak Yönteminde Kullanılan Koruyucu Gazlar Ders Notu”, Sakarya Üniversitesi, **Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü**, Sakarya.

60. Aydın, T., “Paslanmaz çeliklerin mığ kaynağında kullanılan gazlar ve etkileri” Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı*, İstanbul, 110 (2002)
61. Tülbentçi, K., “Gazaltı kaynağı MIG-MAG Kaynağı”, *İTÜ Kimya- Matalurji Makinası*, 225-226 (1993).
62. Polat, İ., “Geleneksel gaz altı kaynak yöntemleriyle robotik kaynağın kaynak özelliklerine etkilerinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı*, Ankara, 14-15 (2016).
63. Demirci, D., “Muhtelif kaynak yöntemlerinde doğru akımlı kaynakta kutuplanmanın kaynak dikiş formuna etkilerinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği, Konstrüksiyon İmalat Anabilim Dalı*, İzmir, 75-77 (2010).
64. Mansuroğlu, Y., “Gazaltı Kaynak Yöntemi ve Bu Yöntemde Kullanılan Koruyucu Gazlar”, 1-16, [www.xengineer.net](http://www.xengineer.net)
65. [http://www.hurdadaparavar.com/bilgibankasi\\_186-aluminyum-ve-aluminyum-alasimlarinin-kaynagi.html](http://www.hurdadaparavar.com/bilgibankasi_186-aluminyum-ve-aluminyum-alasimlarinin-kaynagi.html)
66. Odabaş, C., “Alüminyum ve Alaşımlarının Kaynağı”, *Kaynak Tekniği Sanayi ve Ticaret A.Ş.*, İstanbul, 14 (2007).
67. Tatlı, Z. ve Köse, C., “AA 5754 alüminyum alaşımının robot (mig) kaynağı ile birleştirilmesi ve mikroyapısının incelenmesi”, *6 th International Advanced Technologies Symposium (IATS II)*, Elazığ, 339-343 (2011).
68. Lakshminarayanan, A. K., Balasubramanian, V. and Elangovan, K.,” Effect of welding processes on tensile properties of AA6061 aluminium alloy joints” *Int J Adv Manuf Technol*, 40, 286–296 (2009).
69. Ahmad, R. and Bakar, M. A., “Effect of a post-weld heat treatment on the mechanical and microstructure properties of AA6061 joints welded by the gas metal arc welding cold metal transfer method”, *Materials and Design*, 32, 5120–5126 (2011).
70. Arunkumar, S., Rangarajan, P., Devakumaran, K. and Sathiya, P., “Comparative study on transverse shrinkage, mechanical and metallurgical properties of AA2219 aluminium weld joints prepared by gas tungsten arc and gas metal arc welding processes”, *Defence Technology*, 11, 262-268 (2015).
71. Ilman, M. N., Triwibowo, N.A., Wahyudianto, A. and Muslih, M. R., “Environmentally assisted fatigue behaviour of stress relieved metal inert gas (MIG) AA5083 welds in 3.5%NaCl solution”, *International Journal of Fatigue*, 100, 285–295 (2017).

72. Yüksel, B., “6063 alüminyum alaşımının sertliği ve tanelerarası korozyonu üzerine suni yaşlandırmanın etkisi” *Pamukkale Univ. Müh. Bilim Dergisi*, 23 (4), 395-398 (2017).
73. Çetinkaya, C., Tekeli, S. ve Kurtuluş, O., “Alüminyum alaşımlarının kaynaklanabilirliği ve kaynak parametrelerin mekanik özelliklere ve mikroyapıya etkisi”, *Politeknik Dergisi*, 5 (4), 321-333 (2002).
74. Yürük, A. ve Kahraman, N., “Farklı alüminyum alaşımlarının mig kaynak yöntemi ile kaynak edilebilirliğinin incelenmesi”, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4, 894-901 (2016).
75. Kıratlı, N., Yetgin, S. H. ve Inci, M., “Gazaltı kaynak yöntemleri ile birleştirilen 6351 alüminyum alaşımının metalurjik özelliklerinin incelenmesi”, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11, 165-178 (2016)
76. Kumar, R., Dilthey, U., Dwivedi, D. K., Sharma, S. P. and Ghosh, P. K., “Welding of thin sheet of Al alloy (6082) by using Vario wire DC P-GMAK”, *Int J Adv Manuf Technol*, 42, 102–117 (2009).
77. Taban, E. ve Kaluç, E., “EN AW-5083-H321 alüminyum alaşımının MIG, TIG ve Sürtünen Eleman ile Birleştirme (SKK) kaynaklı bağlantılarının mekanik ve mikroyapı özellikleri”, *Mühendis ve Makina*, 46 (541), 40-51 (2005).
78. Erdoğan, M., Tekin, R. ve Kaya, M., “Mikrodalga fırında suni yaşlandırılan 6013 alüminyum alaşımının korozyon davranışının incelenmesi”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20 (1), 25-30 (2014).
79. Garg, M. P., Singh, S. and Singh, J., “Experimental investigation of mechanical properties of MIG weldments of Aluminüm alloys plates”, *Journal of Engineering and Technology*, 2 (1), 100-106 (2011).
80. Mutombo, K. and Toit, M. D., “Corrosion fatigue behaviour of aluminium alloy 6061-T651 welded using fully automatic gas metal arc welding and ER5183 filler alloy” *International Journal of Fatigue*, 33, 1539–1547 (2011).
81. Yavuz, N., “Alüminyum alaşımlarında silisyumun kaynak dikişi mekanik özelliklerine etkisinin incelenmesi” *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 3 (3), 441-445 (1997).
82. Kaya, Y., Kahraman, N., Durgutlu, A., Gülenç, B., “Farklı Kaynak Parametreleri Kullanılarak Alüminyum Levhaların MIG Kaynak Yöntemi ile Birleştirilebilirliği ve Mikroyapı/Mekanik Özelliklerinin Araştırılması”, *3. Uluslararası Kaynak Teknolojileri Konferansı ve Sergisi (3rd International Conference on Welding Technologies and Exhibition)* Manisa, 1-10, 21-23 May 2014.
83. Durgutlu, A., “Alüminyumun TIG kaynağında akım türünün kaynak metali mikroyapısı ve darbe dayanımına etkisi”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 24 (1), 155-160 (2009).

84. Durmuş, H. ve Çömez, N., “Soğuk metal transferi ile birleştirilen AA5754 alaşımı ince sacların korozyon davranışı”, *Politeknik Dergisi*, (2018).
85. Alan, G., “Alüminyum Alaşımlarının Karışım Asal Gaz Ortamında TIG Yöntemiyle Kaynaklanması, Mekanik ve Mikroyapı Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 159, (2013).
86. Atik, E., Meriç, C. ve Şahan, A., “TIG kaynak yöntemiyle birleştirilmiş 2024 alüminyum alaşımının kaynak bölgesinin çökeltme sertleşmesi bakımından incelenmesi”, DEÜ Mühendislik Fakültesi, *Fen ve Mühendislik Dergisi*, 3 (3), 75-83 (2001).
87. Yılmaz, N. F., Kurt, H. İ., Oduncuoğlu, M. ve Yılmaz, M., “Ark Saplama Kaynak Parametrelerinin 6013-T6 Alüminyum Alaşımları Kaynak Bölgesi Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkileri”, *El-Cezerî Journal of Science and Engineering*, 4 (3), 578-583 (2017).

## ÖZGEÇMİŞ

Emine MERCAN 1988 yılında Eskişehir'in Sarıcakaya ilçesinde doğdu; ilköğrenimini Sarıcakaya Fatih İlköğretim okulunda tamamladı. 2005 yılında Eskişehir Cumhuriyet Lisesinden mezun oldu. 2008 yılında Bozok Meslek Yüksek Okulu Makine Resim ve Konstrüksiyon, 2012 yılında Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümünden, 2015 yılında Osmangazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 2014 yılında Anadolu Üniversitesinde TS EN ISO 17024 Personel Belgelendirme Standartlarına uygun olarak TÜRKAK ve MYK'dan akredite olan birim ANAPER'de Kalite Uzmanı olarak göreve başladı ve 2018 itibari ile Kalite Yönetim Temsilcisi olarak görevine devam etmektedir. 2014 yılında İş Sağlığı ve Güvenliği C Sınıfı Uzman'ı oldu ve yüksek lisans programına halen devam etmektedir.

### **ADRES BİLGİLERİ**

Adres : Yeni Bağlar Mahallesi  
Üniversite Caddesi  
Birlik Apartmanı B Blok  
No: 140/7 Tepebaşı/Eskişehir  
Tel : (541) 502 47 43  
E-posta : eminemercan@anadolu.edu.tr