

**ALÜMİNYUM VE ÇELİK MALZEMELERİN TIG VE  
SERT LEHİM YÖNTEMLERİYLE  
BİRLEŞTİRİLMESİ VE ÖZELLİKLERİNİN  
İNCELENMESİ**

**2018  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**Aydın KAN**

**ALÜMİNYUM VE ÇELİK MALZEMELERİN TIG VE SERT LEHİM  
YÖNTEMLERİYLE BİRLEŞTİRİLMESİ VE ÖZELLİKLERİNİN  
İNCELENMESİ**

**Aydın KAN**

**Karabük Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK  
Kasım 2018**

Aydın KAN tarafından hazırlanan “ALÜMİNYUM VE ÇELİK MALZEMELERİN TIG VE SERT LEHİM YÖNTEMLERİYLE BİRLEŞTİRİLMESİ VE ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi İbrahim ÇAYIROĞLU  
Tez Danışmanı, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı



Doç. Dr. Mehmet YETMEZ  
Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

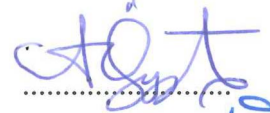


Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 20/11/2018

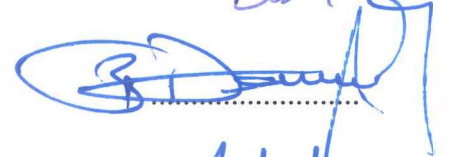
Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç.Dr. Hamdi Alper ÖZYİĞİT (ZBEÜ)



Üye : Prof. Dr. Bilge DEMİR (KBÜ)



Üye : Dr. Öğr. Üyesi İbrahim ÇAYIROĞLU (KBÜ)



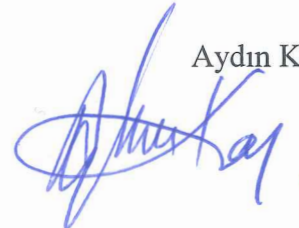
...../..... /2018

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

Prof. Dr. Filiz ERSÖZ  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü 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.”*

Aydın KAN  


## ÖZET

**Yüksek Lisans Tezi**

### **ALÜMİNYUM VE ÇELİK MALZEMELERİN TIG VE SERT LEHİM YÖNTEMLERİYLE BİRLEŞTİRİLMESİ VE ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**Aydın KAN**

**Karabük Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Dr. Öğr. Üyesi İbrahim ÇAYIROĞLU**

**Doç. Dr. Mehmet YETMEZ**

**Kasım 2018, 55 sayfa**

Bu çalışmada, DIN 17100 normlarına göre 1.0037 (St-37) kalite düşük karbonlu yapı çeliği ile 6061-T6 serisi alüminyum sac levhalar kullanılmış, farklı kalınlıklardaki numuneler TIG ve sert lehim birleştirme yöntemleriyle birleştirilmiştir. Birleştirme işlemleri 2 mm, 5 mm ve 10 mm kalınlıklara sahip numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. İşlem bölgesine kaynak ağzı açmak suretiyle alın kaynağı yöntemi uygulanmıştır. Birleştirme işlemi sırasında TIG kaynak için; özel olarak üretimi yapılan ALUMASTEEL alüminyum ve çelik birleştirme amaçlı kaynak telleri, koruyucu gaz olarak Argon (Ar) ile beraber kullanılmıştır. Sert lehimleme işlemi için; çelik parçaya ergiterek kalay (Sn) giydirme aşamasından sonra EN 18273 tipi alüminyum kaynak elektrodu ile oksitlenmiş kaynak yöntemine benzer birleştirme işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Elde ettiğimiz numunelerin kaynak bölgelerinin karakteristik özelliklerini tespit etmek ve dayanımlarını incelemek amacıyla titreşim analizi, sertlik testi ve çekme tesleri uygulanmıştır.

Sert lehimleme ve TIG kaynak yöntemlerine uygulanan sertlik testlerinde en yüksek değer her iki yöntem için de çelik levhanın ITAB bölgesinde ölçülmüştür. Bunu çelik ana metali, alüminyum ana metali ve Al ITAB bölgesi takip etmektedir. Çekme testleri sonucunda ise, sert lehimleme işlemi ile yapılan birleştirmelerin ince levhalar için daha dayanıklı olduğu, bununla beraber kalınlık arttıkça TIG kaynaklı numunelerin çekme dayanımlarının arttığı görülmüştür. Ayrıca genel olarak metal çiftlerin kalınlığı arttıkça çekme dayanımlarının azaldığı sonucuna ulaşılmıştır.

**Anahtar Sözcükler :** Alüminyum, Çelik, TIG Kaynağı, Sert Lehimleme, Mekanik Özellikler.

**Bilim Kodu** : 914.1.093

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

# **JOINING OF STEEL AND ALUMINIUM MATERIALS BY TIG WELDING AND BRAZING METHODS AND INVESTIGATION OF THEIR PROPERTIES**

**Aydın KAN**

**Karabük University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Department of Mechanical Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Dr. İbrahim ÇAYIROĞLU**

**Assoc. Prof. Dr. Mehmet YETMEZ**

**November 2018, 55 pages**

In this study, According to DIN 17100 norms 1.0037 (St-37) quality low carbon construction steel and 6061-T6 series aluminum sheets were used and different thicknesses of metal couples were welded with TIG and brazing joining methods. Welding operations were applied to by opening the welding mouth to the operation zone, to samples with thicknesses of 2 mm, 5 mm and 10 mm.

During joining process with TIG welding, especially produced ALUMASTEEL aluminum-steel welding wire were used together with protective Argon gas. For brazing process after the tin (Sn) cladding step to the steel part, they were welded with an aluminum welding electrode of type EN 18273 under protective Argon gas.

Hardness tests, tensile tests and vibration analysis were applied to determine the characteristics property of the weld zones and to examine their strength of samples.

In the other welding methods, the highest value was measured in steel plate, which is followed by ITAB and aluminum plate in hardness tests applied to materials. As a result of tensile tests, it was found that the welds made by brazing joining process are more strength. Also, reached end the result as the thickness of the metal couples increased, the tensile strengths decreased.

**Key Word** : Aluminum, Steel, TIG welding, Brazing Joining, Mechanical Properties.

**Science Code** : 914.1.093



## TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi. İbrahim ÇAYIROĞLU' na teşekkürlerimi sunarım.

Titreşim deneylerinin yapılmasında katkı sağlayan ve desteğini esirgemeyen, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Mühendislik Fakültesi öğretim üyesi Doç. Dr. Mehmet YETMEZ'e teşekkür ederim.

Sevgili aileme ve dostlarıma bu süreçte devamlı yanımda oldukları ve yalnız bırakmadıkları için en kalbi duygularıyla teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xiii
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	4
GENEL BİLGİLER .....	4
2.1. DENEYSEL ÇALIŞMADA UYGULANACAK OLAN KAYNAK YÖNTEMLERİ.....	5
2.1.1. Gazaltı Ark Kaynak Yöntemleri.....	5
2.1.1.1. Tungsten Inert Gaz (TIG) Kaynağı.....	6
2.1.2. Sert Lehim ile Birleştirme Yöntemi .....	8
2.2. TIG KAYNAĞINDA VE SERT LEHİMLEMEDE KULLANILAN KORUYUCU GAZLAR VE ÖZELLİKLERİ.....	8
2.3. TIG KAYNAĞINDA VE SERT LEHİMLEMEDE KULLANILAN KAYNAK TELLERİ .....	9
2.4. FARKLI METALLERİN ÇEŞİTLİ KAYNAK YÖNTEMLERİYLE BİRLEŞTİRİLMESİ İLE İLGİLİ YAPILAN ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	12
BÖLÜM 3 .....	17
DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	17
3.1. KAYNAK İŞLEMİNDE KULLANILAN MATERYALLER VE ÖZELLİKLERİ .....	17

3.2. KAYNATMA İŞLEMİNDE KULLANILAN ELEKTRODLAR VE KORUYUCU GAZLAR .....	18
3.3. KAYNAK HAZIRLIKLARI VE UYGULANAN KAYNAK YÖNTEMLERİ .....	19
3.3.1. Kaynak Yerinin Temizlenmesi ve Kaynak Ağızlarının Hazırlanması ...	19
3.3.2. Tungsten Inert Gaz (TIG) Kaynağı Uygulaması .....	20
3.3.3. Sert Lehim Uygulaması .....	20
3.3.4. Kaynağın Kontrolü ve Mikroyapı Fotoğrafları.....	22
3.4. MEKANİK TESTLER .....	23
3.4.1. Sertlik Testi.....	23
3.4.2. Çekme Testi .....	24
3.4.3. Titreşim Analizi .....	25
BÖLÜM 4 .....	27
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	27
4.1. MİKRO YAPI İNCELEMESİ VE SONUÇLARI .....	27
4.1.1. TIG Kaynağı Uygulamasının Mikroyapı Sonuçları .....	27
4.1.1.1. 2 mm Kalınlıktaki Deney Numunesi İçin Mikroyapı Sonuçları.....	27
4.1.1.2. 5 mm Kalınlığa Sahip Deney Numunesi İçin Mikroyapı Sonuçları	28
4.1.1.3. 10 mm Kalınlığa Sahip Deney Numunesi İçin Mikroyapı Sonuçları .....	33
4.1.2. Sert Lehim Uygulamasının Mikroyapı Sonuçları.....	34
4.1.2.1. 2 mm Kalınlıktaki Numuneye Ait Sonuçlar .....	34
4.1.2.2. 5 mm Kalınlıktaki Numuneye Ait Sonuçlar .....	34
4.1.2.3. 10 mm Kalınlıktaki Numuneye Ait Sonuçlar .....	36
4.2. SERTLİK TESTİ SONUÇLARI.....	37
4.3. ÇEKME TESTİ SONUÇLARI .....	41
4.4. TİTREŞİM ANALİZİ SONUÇLARI .....	44
BÖLÜM 5 .....	49
SONUÇLAR .....	49
KAYNAKLAR .....	51
ÖZGEÇMİŞ .....	55

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Şekil 2.1. Kaynağın yıllara göre gelişimi .....	4
Şekil 2.2. Gazaltı kaynağının prensibi .....	5
Şekil 2.3. TIG kaynağının donanım şeması .....	7
Şekil 2.4. TIG kaynağının şematik olarak gösterimi .....	7
Şekil 4.1. TIG kaynağı ile birleştirilmiş 2 mm kalınlıktaki numune. ....	28
Şekil 4.2. TIG kaynağıyla birleştirilmiş 5 mm kalınlıktaki numunenin SEM görüntüsü (500x). ....	29
Şekil 4.3. 1 numaralı bölgenin elementel analizi.....	30
Şekil 4.4. 2 numaralı bölgenin elementel analizi.....	31
Şekil 4.5. 3 numaralı bölgenin elementel analizi.....	31
Şekil 4.6. 4 numaralı bölgenin elementel analizi.....	32
Şekil 4.7. TIG kaynağıyla birleştirilmiş 10 mm kalınlıktaki numunenin SEM görüntüsü (500x). ....	33
Şekil 4.8. Sert lehim uygulaması yapılan 2 mm kalınlıktaki numunenin SEM görüntüsü (500x). ....	35
Şekil 4.9. Sert lehim uygulaması yapılan 5 mm kalınlıktaki numunenin SEM görüntüsü (500x). ....	35
Şekil 4.10. Sert lehim uygulaması yapılan 10 mm kalınlıktaki numunenin SEM görüntüsü (500x). ....	36
Şekil 4.11. Farklı kalınlıklara sahip numunelerin (5 mm, 10 mm) sertlik değerlerinin karşılaştırılması (TIG kaynak). ....	39
Şekil 4.12. Farklı kalınlıklara sahip numunelerin (2 mm, 5 mm ve 10 mm) sertlik değerlerinin karşılaştırılması (Sert lehimleme). ....	39

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 1.1. Kaynak yöntemlerinin sınıflandırılması. ....	2
Çizelge 2.1. Koruyucu gaz seçiminde dikkat edilmesi gereken hususlar .....	9
Çizelge 2.2. TIG kaynağı kaynak telleri standartları. ....	10
Çizelge 2.3. Gazaltı kaynak yöntemlerinde kullanılan gazların kimyasal ve fiziksel özellikleri. ....	11
Çizelge 3.1. Çeliğin kimyasal bileşimi. ....	17
Çizelge 3.2. Alüminyumun kimyasal bileşimi. ....	18
Çizelge 4.1. Kaynak işlemi öncesi malzemelerin sertlik değerleri. ....	37
Çizelge 4.2. Kaynatma işlemi sonunda oluşan sertlik değerleri. ....	38
Çizelge 4.3. Çekme testi sonuçları. ....	41
Çizelge 4.4. 5 mm numune için sayısal sonuçlar. ....	45
Çizelge 4.5. 10 mm numune için sayısal sonuçlar. ....	45
Çizelge 4.6. Farklı malzemelerden oluşan bazı plakaların doğal frekansları (Hz) ....	48

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

AC : Alternatif Akım

Al : Alüminyum

Ar : Argon

Au : Altın

C : Karbon

Ce : Seryum

Cr : Krom

Cu : Bakır

DC : Doğru Akım

Fe : Demir

H : Hidrojen

He : Helyum

Hz : Hertz

Mg : Magnezyum

Mn : Mangan

Mo : Molibden

MPa : Mega paskal

N : Azot

Ni : Nikel

nm : Nanometre

Si : Silisyum

Sn : Kalay

Ti : Titanyum

Zn : Çinko

Zr : Zirkonyum

## KISALTMALAR

TIG : Tungsten Inert Gas

WIG : Wolfram Inert Gas

EN : European Norm (Avrupa Normu)

DIN : Deutsches Institut für Normung (Alman Normu Enstitüsü)

ITAB : Isı Tesiri Altında Kalan Bölge

TS : Türk Standardı

SEM : Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)

EDS : Energy Dispersive Spektograph (Enerji Dağıtılım Spektrumu)



## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Gelişen teknoloji ile birlikte günümüz endüstrisinde kullanılmakta olan malzeme çeşitliliği de artış göstermektedir. Malzeme ve üretim yöntemlerindeki bu artış, farklı özelliklere sahip olan malzemelerin birbirleriyle birleştirilmesi ihtiyacını doğurmuştur. Bu malzemelerin birleştirilmesinde günümüzde kullanılan pek çok kaynak yöntemi bulunmaktadır [1-3,7].

Kaynak, metal ve alaşımlarının ısı etkisi veya ısı ile birlikte basınç altında birleştirilmesine verilen isimdir. Kaynak teknolojisinin gelişmesi ile birlikte birbirinden farklı olan metaller belirli şartlar altında kaynatılabilmektedir. Kaynak işlemlerinde en temel amaç, kaynak işleminin ekonomik ve kaliteli bir biçimde olmasıdır. Kaynak türleri yapılış biçimlerine birçok sınıfa ayrılmakta ve sanayide yaygın olarak kullanılmaktadır [4,5].

Günümüzde malzemelerin birleştirilmesinde kullanılan kaynak yöntemleri farklı şekillerde gruplandırılmaktadır. Bunlar; uygulandığı malzeme cinsine göre; metal kaynağı ve plastik malzeme kaynağı. Yapılış amacına göre; birleştirme kaynağı ve doldurma kaynağı. Uygulanış şekline göre; el kaynağı (manuel), yarı mekanize kaynak, tam mekanize kaynak ve otomatik kaynak. Yapılacak kaynak işleminin cinsine göre; basınç kaynağı ve eritme kaynağı olarak sınıflandırılabilir [4,6,7]. Aşağıdaki çizelgede kaynak yöntemlerinin sınıflandırılması tablo halinde gösterilmiştir (Çizelge 1.1).



Çizelge 1.1. Kaynak yöntemlerinin sınıflandırılması [4,6,7].

<b>Uygulandığı Malzeme Cinsine Göre Kaynaklar</b>	<b>Yapılış Amacına Göre Kaynaklar</b>	<b>Uygulanış Şekline Göre Kaynaklar</b>	<b>Yapılacak Kaynak İşleminin Cinsine Göre Kaynaklar</b>
Metal Kaynağı	Birleştirme Kaynağı	El Kaynağı	Basınç kaynağı
Plastik Kaynağı	Doldurma Kaynağı	Yarı Mekanik kaynak	Eritme Kaynağı
		Tam Mekanize Kaynak	
		Otomatik Kaynak	

Teknolojinin gelişmesi ile tüm mekanik yapılarda sağlamlık ile beraber hafiflik arayışına da gidilmiş ve nasıl geliştirilebilir sorusu üzerine araştırmalar yapılmaya başlanmıştır. Bu çalışmada, günümüz yapı sistemlerinde hafiflik temsil eden bir malzeme olan alüminyum (Al) ve dayanımı daha yüksek olan çelik kullanılmıştır.

Çelik, demir (Fe) ve karbon (C) alaşımıdır. Ayrıca çeliğin yapısında farklı oranlarda alaşım elementleri ve empürite (saf olmayan, kirlilik yaratan) elementlerde bulunmaktadır. Çeliğin içyapısı ve içerdiği elementlerin kimyasal bileşimi, çeliğe farklı özellikler kazandırmaktadır. Çelikler, metallerle kaplanabilir üzerine emaye yapılabilir, boyanabilir veya plastik maddelerle kaplanabilir. Çeliklerin pek çoğu ısı işlemlere karşı duyarlıdır. Isıl işlemler, çeliğin sertliğini, mekanik dayanımını, fiziksel ve elektriksel özellikleri ile korozyona dayanım özelliklerini değişime uğratabilmektedir. Belirli sıcaklıklara kadar ısıtıldıklarında şekillenme özelliğine kavuşurlar [8,9,24].

Çelikler, kullanım amaçlarına uygun olarak farklı özelliklerde üretilmektedirler. Bileşimlerine göre (C ve alaşımlı çelik), üretim yöntemlerine göre, son üretim yöntemine göre, ürün şekline göre, kullanım yerlerine göre, üretim programları ve deoksidasyon durumlarına göre pek çok farklı şekilde sınıflandırılabilirler [8,9].

Karbon oranına göre çelikler: az C'lu, orta C'lu ve yüksek C'lu çelikler olmak üzere üç gruba ayrılmaktadırlar. Çeliklerin yapısındaki C miktarı arttıkça içyapılarındaki yumuşak ferrit faz ile birlikte sert ve gevrek olan Fe-karbür fazın miktarı da artar. Bu nedenle şekil değiştirme zorlaşır, sertlik ve mukavemet artar [10].

Çelikten sonra günümüz endüstrisinde en fazla kullanılan metalik malzeme Al ve alaşımlarıdır. Al ve alaşımlarının kullanımının yaygınlaşması ile birlikte savunma, otomotiv ve havacılık endüstrisine de büyük bir katkı sağlanmıştır [11].

Alüminyum, yer kabuğunda en çok bulunan ikinci elementtir ve 19. yy sonlarına doğru mühendislik alanlarındaki uygulamalarda ekonomik olması sebebiyle ön planda olan bir metal olmuştur. Al elde edilmesi zor bir metaldir, çünkü Al içeren mineraller genelde karmaşık ve kararlı yapıdadır. Bu minerallerden Al metalinin indirgenmesi için çok yüksek oranda enerji ve sıcaklık gerekmektedir. Al'un ergime sıcaklığı düşüktür. Bu nedenle Al şekillendirilirken saf Al yerine genellikle Al alaşımları tercih edilmektedir [11-13,25].

Alüminyum ve alaşımları, hafif olmaları, ısıyı ve elektriği iyi iletmeleri, mukavemet özellikleri ve korozyona karşı dirençleri nedeniyle günümüzde pek çok alanda kullanılmaktadır. Gıda, kimya, otomotiv ve gemi yapımı endüstrisinde, ayrıca taşıt, uçak, makina ve cihaz yapımında, mimari alanlarda, inşaat sektöründe de çok geniş kullanım alanına sahiptirler [13-15].

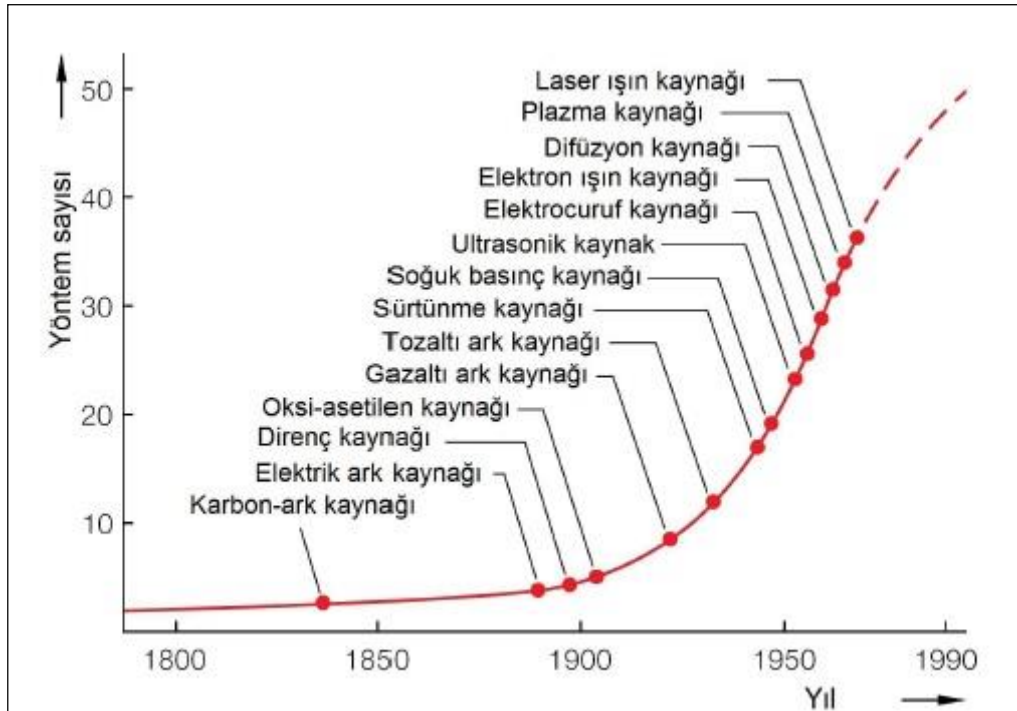
Bu deneysel çalışmada, alüminyum ve çelik malzemelerin birleştirilmesi işleminde alışla gelen birleştirme yöntemleri içerisinde yer alan TIG (Tungsten Inert Gas) ve sert lehimleme yöntemleri kullanılmıştır. Kaynatma işlemi gerçekleştirilen metal çiftleri, mekanik özellikleri ve kaynak dikişi kalitesini belirlemek amacıyla aşağıdaki testlere tabi tutulmuştur.

- SEM görüntüsü ve elementel analiz
- Sertlik testi
- Çekme testi
- Titreşim analizi

## BÖLÜM 2

### GENEL BİLGİLER

Kaynağın tarihsel gelişim süreci çok eski çağlara dayanmaktadır. Günümüzden yaklaşık 3500 yıl kadar önce insanoğlu iki metal parçasını çekiçleyerek kaynak edip birleştirmiştir. Mısır Firavunları ve Romalılar zamanından kalan bazı süs eşyaları bunu doğrulamaktadır. Pek çok süs eşyasını altın (Au) ve altın alaşımlarını kullanarak lehimle birleştirdikleri bilinmekte ve bazı örnekler Londra'da British Museum'da sergilenmektedir [6,16]. Kaynak yönteminin endüstriyel uygulamaları ilk olarak 1880-1885 yılları arasında Amerika ve Rusya'da uygulanmıştır. Amerika'da Coffin, Rusya'da ise Bernardo tarafından C elektrodlar kullanılarak oluşturulan ark sayesinde ilk kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir [7]. Aşağıdaki şekilde kaynağın yıllara göre gelişimi gösterilmiştir (Şekil 2.1).

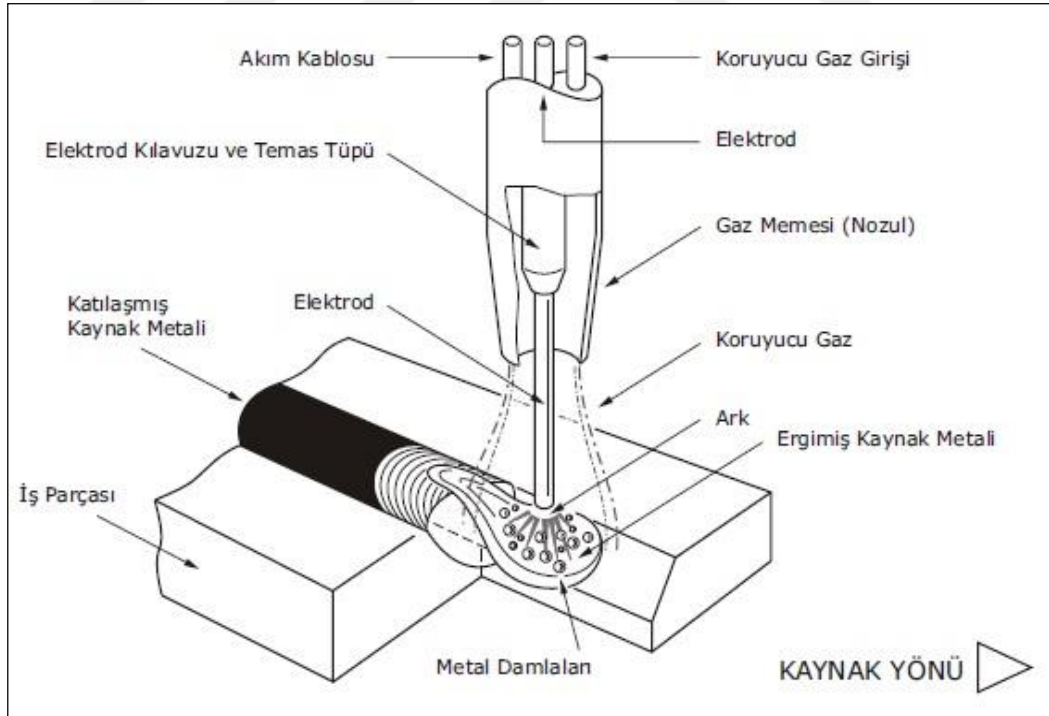


Şekil 2.1. Kaynağın yıllara göre gelişimi [17].

## 2.1. DENEYSEL ÇALIŞMADA UYGULANACAK OLAN KAYNAK YÖNTEMLERİ

### 2.1.1. Gazaltı Ark Kaynak Yöntemleri

Gazaltı kaynağı fikri 1920'lerde ortaya atılmıştır fakat ticari olarak 1948'den itibaren kullanılmaya başlanmıştır. Gazaltı Ark Kaynak yönteminde, kaynak için gerekli olan ısı, sürekli beslenen ve eriyen bir tel elektrodla kaynak banyosu arasında oluşturulan ark yoluyla ve elektrodla geçen kaynak akımının elektrodla oluşturduğu direnç ısıtması aracılığı ile üretilmektedir. Elektrod çıplak bir teldir. Elektrod besleme tertibatıyla kaynak bölgesine sabit bir hızla sevk edilmektedir. Çıplak elektrod, kaynak banyosu, ark ve esas metalin kaynak bölgesine komşu bölgeleri, atmosfer kirlenmesine karşı dışarıdan sağlanan ve bölgeye bir gaz memesinden iletilen uygun bir gaz veya gaz karışımı tarafından korunmaktadır [18]. Gazaltı kaynağının prensibi şematik olarak aşağıda gösterilmiştir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Gazaltı kaynağının prensibi [18].

### 2.1.1.1. Tungsten Inert Gaz (TIG) Kaynağı

Bu kaynak yöntemi ‘‘Tungsten Inert Gas’’ kelimelerinin baş harfleri ile anılmaktadır. Bu yöntem sıklıkla TIG kaynağı adıyla ifade edilmektedir. Bazı kaynaklarda WIG (Wolfram Inert Gas) olarak da isimlendirilebilmektedir. Yüksek kalitede kaynak metali elde etmek için kullanılan bir ark kaynak yöntemidir [7,19-22].

TIG kaynağı 1940-1960 yılları arasında geliştirilmiş ve günümüzde önemli bir kaynak yöntemi olarak geçerli hale gelmiştir. TIG kaynağı ile genellikle diğer kaynak yöntemleriyle oluşturulan kaynaklara göre daha üstün özellikte dikişler elde edilmektedir. Bu kaynak yönteminde tükenmeyen tungsten elektrot ile kaynak edilen parça arasında elektrik arkı oluşmaktadır. Isı enerjisi bu elektrik arkından sağlanmaktadır. Bu kaynakta ark soy gazlar tarafından korunmaktadır. Koruyucu gaz olarak argon (Ar), helyum (He) veya bunların karışımları kullanılmaktadır. Bu yöntem düşük yığıma hızı nedeniyle ince ve hassas parçaların kaynağı ve tamirinde kaynak yapan kişiye büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Ek malzeme, kaynak banyosuna önden, yandan, elle sevk edilen çubuk telle veya ayrıca bir sevk aparatı ile verilebilmektedir [23].

TIG kaynak yöntemi çok geniş bir kullanım ve uygulama alanına sahiptir. TIG kaynağı ile genel olarak, paslanmaz çelikler, bakır (Cu) ve alaşımları, Al ve alaşımları gibi pek çok malzeme çeşidinin kaynak işlemi yapılabilmektedir. Ayrıca havacılık, gıda ve özel uygulamalarda da TIG kaynağının tercih edilebilmektedir. Bu sektörlerde diğer genel uygulamalardan farklı olarak daha çok Al, magnezyum (Mg), titanyum (Ti), pirinç ve Cu alaşımları gibi hafif metaller kullanılmaktadır [2]. TIG kaynağının donanımı ve şematik olarak gösterimi Şekil 2.3 ve Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



### **2.1.2. Sert Lehim ile Birleştirme Yöntemi**

Birbirinden farklı iki veya daha fazla malzemenin birleştirilmesi ile yeni ürünler elde edilebilmektedir. Bu malzemeleri birleştirme yöntemleri, birleştirilecek olan malzemelerin cinsine, birleştirmenin amacına ve kaynak yöntemine göre değişiklik gösterebilmektedir. Bu lehimleme yöntemleri daldırma lehimleme, indüksiyon lehimleme, lazer lehimleme, direnç lehimlemesi, fırın lehimleme ve oksisasetilen lehimleme olarak uygulanmaktadır [26,27]. Sert lehim ile birleştirme yöntemi iki metalin bir üçüncü dolgu metalle birbirlerine birleştirilmesi ile gerçekleştirilmektedir. Birleştirilecek olan ana malzemelerin arasında küçük bir açıklık bulunmaktadır. Bu açıklık ilave dolgu metali adı verilen lehim alaşımının ergimesi ve kapiler etkiyle ana iki malzemenin arasında bulunan küçük boşlukları doldurması esasına dayanmaktadır [28,29].

### **2.2. TIG KAYNAĞINDA VE SERT LEHİMLEMEDE KULLANILAN KORUYUCU GAZLAR VE ÖZELLİKLERİ**

Gazaltı kaynak yöntemlerinde üç tür sarf malzeme vardır. Bunlar; elektrik enerjisi, koruyucu gaz ve kaynak metalidir. Kaynak telinin kimyasal bileşimi ve koruyucu gazın türü kaynak metalinin bileşimini ve mekanik özelliklerini belirleyen en önemli faktörlerdir [11].

Kaynak işleminde kullanılacak olan gazın seçiminde çeşitli faktörlerin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Aşağıdaki çizelgede gaz seçiminde dikkat edilmesi gereken hususlar belirtilmiştir (Çizelge 2.1).

Kaynak işlemlerinde kullanılan koruyucu gazlar inert, aktif veya bu iki tür gazın karışımı olabilmektedir. Genel olarak inert gazlar Fe dışı metal ve alaşımların kaynağında, aktif gazlar veya karışım gazlar farklı kimyasal bileşimde ve özellikteki çeliklerin kaynağında kullanılmaktadır [23].

Çizelge 2.1. Koruyucu gaz seçiminde dikkat edilmesi gereken hususlar [11,23].

Kaynatılan metal veya alaşımın türüne göre reaksiyonu uygun olmalı
İstenilen ark karakteristiği ve metalin damla geçişini sağlamalı
Kaynak hızına uygun olmalı
Parça kalınlığı, gereken nüfuziyet ve kaynak dikişinin biçimine uygun olmalı
Kolay tedarik edilebilirlik ve gazın maliyetinin ucuz olması
Kaynak dikişinden beklenen mekanik özelliklerin oluşumuna katkıda bulunmalı
Kaynak bölgesini tamamen örtmeli
Kaynak metalinin soğuma hızının ayarlanmasına katkıda bulunmalı

TIG kaynağında genellikle asal gazlar kullanılır. Bu gazlar Ar, He ve Ar-He karışımlarıdır. He ve Ar tek atomlu ve inert gazlardır. Bu nedenle diğer elementlerle birleşmezler; renksiz ve kokusuz olup yanmazlar. Ar gazı havadan ağır, He ise havadan daha hafiftir. He uçucu ve koruma kabiliyeti düşük bir gazdır. Ancak Ar, havadan ağır olması nedeniyle erimiş metali daha iyi korumaktadır. Yüksek akım şiddeti kullanılması gereken hallerde, daha yüksek ark gerilimi sağlayan He gazı kullanılır [7,23].

### **2.3. TIG KAYNAĞINDA VE SERT LEHİMLEMEDE KULLANILAN KAYNAK TELLERİ**

TIG kaynağında kullanılan elektrotlar; seryum (Ce) elektrotlar, saf tungsten veya tungstenin toryum ve zirkonyum (Zr) ile alaşımlandırılmasıyla elde edilen elektrotlardır. Bu elektrotlar, toz haldeki malzemenin sinterlenmesiyle elde edilmektedir. Saf tungsten elektrotlar, düşük akım şiddetlerinde ve ark daha kararlı olduğu için alternatif akımda kullanılırlar ve maliyet olarak en ucuz elektrotlardır. Tungsten-toryum elektrotlar, yüksek akım şiddetlerine dayanıklıdır. Arkın başlaması kolaydır ve ark kararlıdır. Bu elektrotlar çeliklerin doğru akım düz kutuplamalarında tercih edilmektedir. Tungsten-Zi elektrotlar, Al, Mg ve alaşımlarının düşük ve orta akım şiddetlerindeki el ile yapılan (manuel olarak) kaynaklarda tercih edilir. Ce elektrotlar ise yüksek elektron yayılımı ve iyi nüfuziyet sağlayan, aşınma dirençli elektrotlardır [16].



TIG kaynağında farklı metaller için onlara has değişkenlik gösteren kaynak telleri kullanılmaktadır. Kaynatma işleminde kullanılan kaynak teli standartları aşağıda çizelgede gösterilmiştir (Çizelge 2.3).

Çizelge 2.2. TIG kaynağı kaynak telleri standartları [23].

TS EN 1668	Alaşımız ve düşük alaşımlı çelikler için
TS 5671	Cu ve Cu alaşımları için
TS 6204	Al ve Al alaşımları için
TS 6206	Ni ve Ni alaşımları için
TS 7708	Ti ve Ti alaşımları için
TS 11197	Paslanmaz ve yüksek sıcaklığa dayanıklı çelikler için

Çeliklerin kaynağında kullanılan elektrodlara silisyum (Si), mangan (Mn), Al, Ti, Zr, C, nikel (Ni), Krom (Cr) ve molibden (Mo) ilave edilebilmektedir. Bu elektrodların bileşiminde bulunan bu alaşım elementleri ve bunların kaynak dikişine olan etkileri aşağıda belirtilmiştir. Bu alaşımların etkilerini bilmek kaynak işleminde kullanılacak olan elektrodun seçiminde kolaylık sağlamaktadır.

Si, çeliklerin eriyen elektrodla gazaltı kaynağında en yaygın şekilde kullanılan elementidir. Genel olarak, çelik gazaltı telleri % 0,40-1,2 arasında değişen bir oranda Si içermektedir. Bu bileşim aralığında Si çok iyi bir dezoksidasyon özeliğine sahiptir.

Mn'da Si gibi, kaynak metalinin mukavemet özelliklerinin geliştirilmesi ve kaynak banyosunun dezoksidasyonu için ilave edilmektedir. Mn içeriğinin artması kaynak dikişinin mukavemetini Si'dan daha şiddetli olarak yükseltir ve aynı zamanda kaynak metalinin çatlama hassasiyetini de azaltmaktadır. Çeliklerin kaynağında kullanılan kaynak tellerinin Mn içeriği % 1-2 arasında değişmektedir. Al, Ti ve Zr, bu elementlerin tümü de çok kuvvetli dezoksidanlardır. Kaynak teline % 0,20'ye kadar ilave edildiklerinde aynı zamanda mukavemeti artırıcı yönde de etki ederler.

Çizelge 2.3. Gazaltı kaynak yöntemlerinde kullanılan gazların kimyasal ve fiziksel özellikleri [30,31].

Gaz tipi	Havadaki içerik (% hacim)	1.013 bar'da kaynama noktası (°C)	Atomik ağırlık ve ortalama molekül ağırlığı	15 °C ve 1 bar'da yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	15 °C ve 1 bar'da havaya (-1) göre bağıl yoğunluk	Ayrılma ve iyonizasyon enerjisi (eV) <sup>c</sup>	Kimyasal davranış
<b>Hidrojen (H<sub>2</sub>)</b>	0.5×10 <sup>-6a</sup>	-252.9	2.016	0.085	0.06	4.48 13.59 -	İndirgeyici
<b>Argon (Ar)</b>	0.934	-185.9	39.948	1.669	1.38	- 15.76 27.50	İnert
<b>Helyum (He)</b>	5.2×10 <sup>-6a</sup>	-268.9	4.002	0.167	0.14	- 24.56 54.10	İnert
<b>Azot (N<sub>2</sub>)</b>	78.084	-195.8	28.013	1.170	0.91	9.76 14.55 29.60	Reaktif
<b>Karbondioksit (CO<sub>2</sub>)</b>	0.033 <sup>a</sup>	-78.5 <sup>b</sup>	44.011	1.849	1.44		Oksitleyici
<b>Oksijen (O<sub>2</sub>)</b>	20.946	-183.0	31.998	1.337	1.04	5.08 13.62 35.20	Oksitleyici

a : Atmosferden elde edilmemiştir.

b : Buharlaşma sıcaklığı.

c : 1 eV = 1.6×10<sup>-6</sup> J; 6 ve 9 eV arasındaki değerlerde başlıca metallerin iyonizasyon enerjisi.

C, çeliklerin yapısal ve mekanik özelliklerini diğer bütün alaşım elementlerinden çok daha şiddetli bir şekilde etkiler. C'un çelik kaynak tellerinde miktarı % 0,05-0,12 arasında değişiklik gösterebilmektedir.

Bu miktar kaynak metalinin mukavemetini gerektiği kadar yükseltebilmektedir. Esas metal veya telde C miktarının artması, koruyucu gaz olarak CO<sub>2</sub> kullanılması halinde porozite (taneler arasında boşluk) oluşumuna neden olmaktadır.

Ni, Cr ve Mo gibi diğer alaşım elementleri, mekanik özellikleri geliştirmek ve korozyon dayanımını arttırmak amacıyla çeşitli çelik kaynak tellerine katılan alaşım elementleridir. Bu elementler az miktarda kaynak metalinin mukavemet ve tokluğunu arttırmak amacıyla kullanılmaktadır. Paslanmaz çeliklere ise oldukça yüksek miktarlarda katılarak paslanmayı önlemek için kullanılmaktadırlar [11].

#### **2.4. FARKLI METALLERİN ÇEŞİTLİ KAYNAK YÖNTEMLERİYLE BİRLEŞTİRİLMESİ İLE İLGİLİ YAPILAN ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR**

Çelik vd. yapmış oldukları çalışmada [32]; dökme Fe ile çelik gibi farklı metallerin kaynağında gerilme yığılmalarını incelemişlerdir. Bu iki metali saf Ni elektrodu kullanarak kaynak etmişlerdir. Çekme deneyi sonucunda kaynaklı parçaların hepsinde dökme Fe'in ITAB (ısı tesiri altındaki bölge) bölgesinden kırıldıklarını gözlemlemişlerdir. Ayrıca kaynak edilen parçalar sertlik taramasından da geçirilmiştir. Bu sertlik taramasına göre dökme Fe bölgesinde oluşan sertlik değerlerinin çelikten daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Kahraman vd. yapmış oldukları çalışmada [33]; ostenitik paslanmaz çelik ile düşük C'lu çelik levhaları elektrik ark kaynak yöntemini kullanarak farklı elektrotlar ile birleştirmişlerdir. Kaynak bölgesine çekme, eğme ve sertlik gibi mekanik testler uygulayarak mikroyapılarını incelemişlerdir. Çekme deneyi sonuçlarına göre AS P 347 elektrodunun kullanıldığı birleştirmelerin AS P 316L elektrodunun kullanıldığı birleştirmelere göre daha iyi dayanım gösterdiğini ortaya koymuşlardır. 180° olarak yapılan eğme deneyleri sonuçlarına göre, göz ile yaptıkları muayenede hiçbir numunede çatlak, yırtık vb. hata gözlemlememişlerdir. Sertlik deneyi sonuçlarına

göre ise, her iki kaynakta da paslanmaz çelik ve düşük C'lu çelik malzemelerin sertlik değerlerinin birbirine yakın olduğunu tespit etmişlerdir.

Yılmaz ve Barlas yapmış oldukları çalışmada [31]; östenitik paslanmaz çeliklerin gazaltı kaynak yöntemleri ile birleştirilmesinde kullanılan koruyucu gazların, birleştirilen paslanmaz çelik parçalarının mikroyapı ve mekanik özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Çalışmalarında koruyucu gaz olarak kullanılan Ar gazı içerisine karıştırılan hidrojen (H<sub>2</sub>), karbondioksit (CO<sub>2</sub>) ve azot (N<sub>2</sub>) gazlarının, kaynak metalinin mekanik özelliklerine önemli derecede etki ettiğini belirtmişlerdir.

Durgutlu vd. yapmış oldukları çalışmada [22]; düşük C'lu çelik ile Cu levhaları örtülü elektrod ark ve TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmiş ve kaynak bağlantılarının mekanik ve mikroyapı özelliklerini araştırmışlardır. Kaynağı yapılan malzemelere çekme, eğme ve sertlik testleri uygulanarak optik mikroskop ve SEM altında mikroyapıları incelenmiştir. Çekme testleri sonucunda kopmanın bütün numunelerde kaynak bölgesi dışında ve birleşmenin Cu tarafında meydana geldiği, eğme testleri sonucunda kaynaklı bölgede gözle görülebilir herhangi bir hataya rastlanılmadığı, sertlik testleri sonucunda, örtülü elektrod ile birleştirilmiş numunelerde ölçülen sertlik değerlerinin TIG kaynağı ile birleştirilmiş numunelerde ölçülen sertlik değerlerinden daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca her iki kaynak yönteminde de kaynak metali sertliklerinin çelik malzemedan düşük, Cu malzemedan ise daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir.

Şık yapmış olduğu çalışmada [34]; sürtünme karıştırma kaynak yöntemiyle, AA 1050 Al levhaları birleştirerek, oluşan bağlantı bölgesinin eğmeli yorulma dayanımının özelliklerini incelemiştir. AA 1050 Al alaşımının, 1000 dev/dak-120 mm/dak, 1500 dev/dak-120 mm/dak, 2500 dev/dak-120 mm/dak ve 2500 dev/dak-200 mm/dak yorulma dayanımı deneylerini yapmıştır. Çalışmanın sonucuna göre, yüksek ilerleme ve düşük dönme hızı kullanıldığında kaynak bölgesinde sertlik düşüşünün daha az olduğunu belirtmiştir. Eğme deneyi sonucuna göre ise, hiçbir deney numunesinin kök kısmında gözle görünür çatlamanın olmadığını ve bununda gerçekleştirilen bağlantıların hatasız olduğunu bir göstergesi olduğunu vurgulamıştır.

Çaligülü vd. yapmış oldukları çalışmada [35]; sürtünme kaynak yöntemiyle birleştirilmiş AISI 420/AISI 1010 çelik çiftinde çevresel hızın (devir sayısı) mikroyapı özelliklerine etkisini SEM ve EDS analizleri ile belirlemişlerdir. Yapılan deney ve incelemeler sonucunda bütün kaynaklı malzemelerde, artan devir sayısına paralel olarak malzemelerin mikroyapı özelliklerinin değiştiğini gözlemlemişlerdir. 2200 dev/dak'lık devir sayısı uygulanarak yapılan sürtünme kaynağının, mikroyapı açısından kaynak kalitesi en yüksek birleştirme olduğu sonucuna varmışlardır.

Meriç vd. yapmış oldukları çalışmada [1]; AISI 304–SAE 1040, AISI 304–SAE 1020, ETİAL F1–SAE 1040, SAE 1040–SAE 1020, AISI 304–ETİAL F1, ETİAL F1-BS EN Cu-OF malzeme çiftleri sürtünme kaynağı birleştirilip kaynak bölgeleri incelenmiştir. Çalışmanın sonucuna göre, Kaynak bölgesindeki mikrosertlik değerlerinin esas malzemenin mikrosertlik değerinden daha fazla olduğu belirtilmiştir.

Kaya yapmış olduğu çalışmada [2]; 3 mm kalınlığında AISI 304 ostenit paslanmaz çelik levha ile aynı kalınlıkta AISI 430 ferritik paslanmaz çelik levhalar TIG, MIG ve Örtülü Elektrod Ark Kaynak yöntemleri ile birleştirilmiştir. Birleştirilen malzemelerin çekme dayanımı, çentik darbe dayanımı, mikrosertlik ve mikroyapı özellikleri incelemiştir. Çekme testleri sonucuna göre, tüm numunelerde kopmanın birleştirmenin ferritik paslanmaz çelik esas metal tarafında ve kaynak metaline yakın olan ITAB bölgesinde gerçekleştiğini ifade etmiştir. Kaynaklı bağlantılarda en yüksek çekme dayanımı ise TIG kaynağı ile birleştirilmiş bağlantılardan elde edildiğini belirtmiştir. Çentik darbe testlerinde, TIG ve MIG kaynağı ile birleştirilmiş bağlantıların çentik darbe kırılma enerjileri, ark kaynağı ile birleştirilmiş bağlantılardan daha yüksek derece ölçüldüğünü, ayrıca mikroyapı incelemelerinde, AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin ITAB bölgesinde belirgin bir tane irileşmesinin meydana geldiğini tespit etmiştir.

Taban vd. yapmış oldukları çalışmada [36]; benzer olmayan 6061-T6 serisi Al ve AISI-1018 standartlarındaki çeliğin sürtünme kaynağı ile birleştirilmesini gerçekleştirmişlerdir.

Ayrıca kaynağın mikroyapısal karakterizasyonu incelenerek, mekanik ve metalurjik testlere tabii tutulmuştur. Mikroyapısal analizlerde, metalografi, mikrosertlik testi, SEM ve X-ray elementel haritalama teknikleri kullanılmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre, bağlantı gerilmesinin 250 MPa civarında olduğu, buna ek olarak da plastik deformasyonun bağlantının Al tarafında oluştuğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca kaynak bölgesi karakterizasyonu olarak yüzeyde 250 nm inceliğinde ince bir Al-Fe metallar arası form oluştuğu belirtilmiştir.

Zhang vd. yapmış oldukları çalışmada [37]; paslanmaz çelik ve Al TIG-MIG ile çift kenarlı kaynatma lehimleme çalışması gerçekleştirmişlerdir. MIG-TIG çift kenarlı ark kaynatma lehimleme sürecinde öncelikle akışkan dolgu metali olarak Al-Si dolgu metali kullanmışlardır. Bağlantılar farklı kaynak parametreleriyle gerçekleştirilmiştir. Çalışma sırasında kaynak arayüzünün mikroyapısı ve formunu incelemişlerdir. Kaynak dikiş kalitesi standart çekme testleri yardımıyla gerçekleştirmişlerdir. Çalışmanın sonuçlarına göre, T/M-GSAW, geleneksel kaynak ile karşılaştırıldığında daha küçük ve daha üniform kaynak kalınlığına ulaşmışlardır. Isı girdili kaynak yönteminde intermetalik yüzey kalınlığı daha ince ve daha değişik olduğuna ulaşmışlardır. Çekme gerilmesi sonucunda ise 80 MPa değeri tespit edilmiş ve malzemenin Al tarafında kırılmanın meydana geldiği belirtilmiştir.

Sun vd. yapmış oldukları çalışmada [38]; farklı elektrotlar ile direnç nokta kaynağı yapılan Al 6063-T6 ve 16 Mn çeliğinin mikroyapısı ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Benzer olmayan 16 Mn yüksek sertlikte çelik ve 6063-T6 serisi Al direnç nokta kaynağı ile farklı elektrotlar ve kaynak parametreleri kullanılarak birleştirilmesi üzerine çalışma yapmışlardır. Kaynatma işlemi sonuçlarına göre, malzemenin çelik tarafında yüzeyde  $Fe_2Al_5$  intermetalik tabakanın oluştuğu, Al tarafında da  $Fe_4Al_{13}$  intermetalik arayüzey formu oluştuğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca uygun elektrod seçiminin daha verimli sonuçlar verdiği, kaynağın akım değeri ve kaynak zamanı da bağlantı noktası üzerinde oluşan gerilmeyi etkilediği belirtilmiştir.

Yürük ve Kahraman yapmış oldukları çalışmada [3]; farklı AA1050 Al alaşımı ile AA5754 AlMg alaşımlarını kullanarak MIG kaynağı ile kaynak edilebilirliklerini

araştırmışlardır. Yapılan çekme deneyi sonucu elde edilen verilere göre kaynak parametrelerinin çekme dayanımını ve % uzama değerini değiştirdiği belirtilmiştir. Çekme deneyi sonucunda en düşük çekme dayanımı 100 Amper kaynak akımı ve 2 mm/sn tel hızında 264 MPa olarak ölçülürken, en yüksek çekme dayanımı 135 Amper kaynak akımı ve 3 mm/sn tel hızında 298,71 MPa olarak ölçülmüştür. Sertlik ölçümü sonuçlarına göre, her iki taraftaki ITAB bölgesi ile kaynak metalinin sertliklerinin her iki ana metalden de yüksek olduğu belirtilmiştir. Ayrıca en yüksek sertlik ölçümü 5754 AlMg alaşımının ITAB bölgesinden elde edilmiştir.



## BÖLÜM 3

### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

#### 3.1. KAYNAK İŞLEMİNDE KULLANILAN MATERYALLER VE ÖZELLİKLERİ

Metal sektöründeki gelişmeler, tek tip metal ile oluşturulan basit metalurjik özelliklere sahip yapılardan daha kullanışlı ve farklı metalleri bir arada bulunduran hibrit özellikte yapılara doğru evrilmektedir. Çalışmamızın detayında Al ve çelik metal çiftinin şase ve konstrüksüyon gibi yapısal olarak kullanımını esas alınmıştır. Bunun için çelik numuneler kaynak kabiliyeti yüksek 1.0037 (St-37) kalite yapı çeliği kullanılmıştır. Al numuneler için de yine kaynak edilebilirliği yüksek ve kullanım alanına uygun 6061-T6 serisi malzeme kullanılmıştır. Malzemelerin ebatları; 2x60x100 mm, 5x60x100 mm, 10x60x100 mm olarak farklı kalınlıklarda her iki metal için de temin edilmiştir. Çizelge 3.1’de çelik malzemenin içeriğindeki kimyasal bileşim verilmiştir. Çizelge 3.2’de de Al’a ait kimyasal oranlar verilmiştir. Kaynatılacak olan parçalara 40°’lik kaynak ağzı açılmıştır. Ayrıca çelik malzemenin yüzeyindeki oksitli tabaka zımparalanarak kaynağa hazır hale getirilmiştir.

Çizelge 3.1. Çeliğin kimyasal bileşimi.

Mal	Kimyasal Bileşim (% ağırlık)													
	C	Si	Mn	P	S	Mg	Cr	Ni	Mo	Cu	Al	V	W	Fe
Çelik(St 37)	0.217	0.001	0.426	0.026	0.022	0.0001	0.064	0.001	0.001	0.001	0.017	0.001	0.003	Kalan

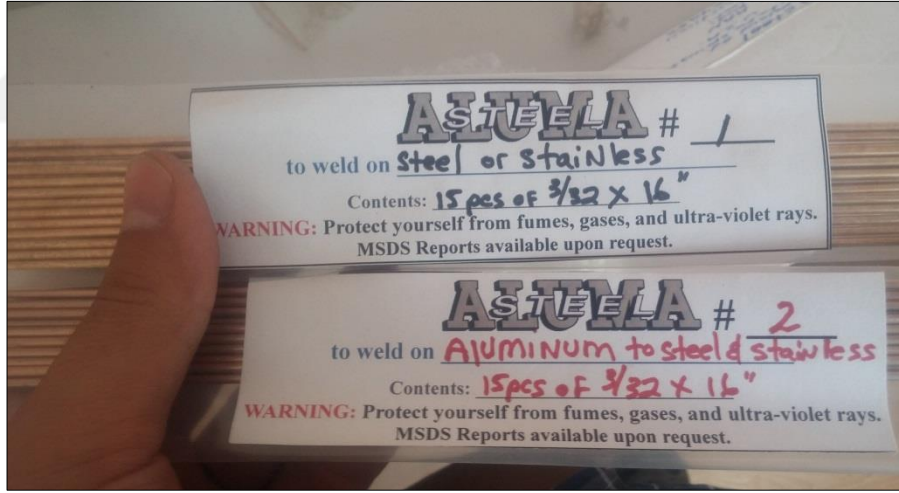


Çizelge 3.2. Alüminyumun kimyasal bileşimi.

Malzeme	Kimyasal Bileşim (% ağırlık)									
	Fe	Si	Cr	Mn	Mg	Zn	Cu	Ti	Diğer	Al
Alüminyum 6061-T6	0.5	0.6 - 1.0	0.1	0.2 - 0.8	0.8 - 1.2	0.25	0.6 - 1.1	0.1	0.15	Kalan

### 3.2. KAYNATMA İŞLEMİNDE KULLANILAN ELEKTRODLAR VE KORUYUCU GAZLAR

TIG kaynağı için her biri 3/32''x 16'' (2.4 mm x 405 mm) çap ve boy ölçülerine sahip Alumasteel #1 ve Alumasteel #2 elektrodları ile birleştirme yapılmıştır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. TIG kaynakta kullanılan #1 ve #2 no'lu elektrotlar.

Bu kaynak işleminde iki elektrod kullanılmıştır. #1 ile belirtilen elektrod, çelik metalinin üzerine kaynatılmıştır. Sonra Al'u çelik parçaya kaynatabilmek için de #2 ile belirtilen elektroddan faydalanılmıştır. Koruyucu gaz olarak saf Ar gazı ( % 99.9 Ar) kullanılmıştır. 9 lt/dak. gaz akış hızı ile işlem gerçekleştirilmiştir.

Sert lehimleme yönteminde kullanılan EN ISO 18273 standartlarında Si Al 4047 Al kaynak teli kullanılmıştır. Çizelge 3.4’de kimyasal ve mekanik özellikleri verilmiştir. Malzemelerin birleştirilme işlemi oksii-asetilen kaynak ile sağlanmıştır. Kaynak esnasında malzeme yüzeylerinde oluşabilecek oksit tabakasının önüne geçmek için dekapan kullanılmıştır.

Çizelge 3.3. “Si Al 4047” Al kaynak telinin kimyasal ve mekanik özellikleri.

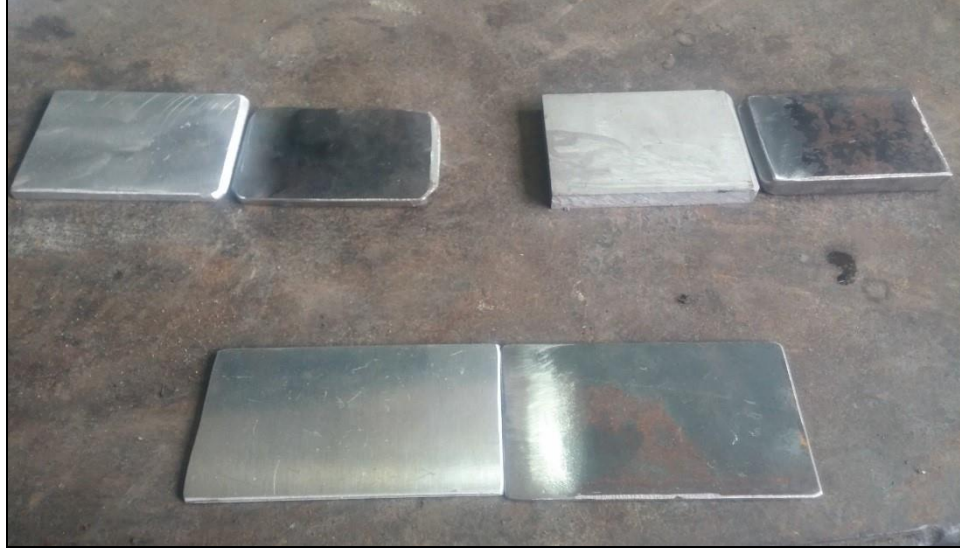
Kaynak Metalinin Kimyasal Bileşimi (%)					Akma Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	Çekme Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	Uzama (%)
Si	Mn	Cu	Zn	Fe			
12	0.15	0.30	0.20	0.8	55	124	min. 12

### 3.3. KAYNAK HAZIRLIKLARI VE UYGULANAN KAYNAK YÖNTEMLERİ

Tüm deney boyunca DIN 17100 normlarına göre 1.0037 (St-37) kalite düşük karbonlu yapı çeliği ile 6061-T6 serisi Al sac plakalar kullanılmıştır. Deney çalışmasında TIG kaynak ile birlikte kalay kaplama yardımıyla uygulanan sert lehimleme yöntemi de kullanılmıştır. Her bir kaynatma işlemi için 2 mm, 5 mm ve 10 mm kalınlıklara sahip metal çiftleri hazırlanmıştır.

#### 3.3.1. Kaynak Yerinin Temizlenmesi ve Kaynak Ağzlarının Hazırlanması

Metal çiftlerin birleştirme işlemi öncesinde kaynak iş parçaları ile en uygun çalışma değerlerini elde edebilmek için ön alıştırmalar yapılmıştır. Malzemeler 60x100 mm ebatlarında ve her kalınlık için “X” kaynak ağzı açılarak hazırlanmış ve kaynatılacak bölgeler zımpara ile temizlenmiştir. Şekil 3.2’de kaynak işlemine hazır hale getirilen numuneler yer almaktadır.



Şekil 3.2. Kaynatma işlemi için hazırlanmış numuneler.

### 3.3.2. Tungsten Inert Gaz (TIG) Kaynağı Uygulaması

TIG kaynağında 2.4 mm çapında özel kaynak rodları (alumasteel #1 ve alumasteel#2) kullanılmıştır. Öncelikle #1 numaralı elektrod ile sadece çelik parçanın kaynak ağzı açılan bölgesi DC akımda, 160 Amper akım şiddetinde, 15 bar argon gaz basıncında kaynatılmıştır. Ardından çelik ve Al parça ağız ağıza getirilerek #2 nolu elektrod ile kaynatılmıştır. “Miller-Dynasty 350” marka pedallı TIG kaynak makinesinde, AC akımda, 140-170 Amper arasında değişen akım şiddeti ve 15 bar eşit gaz basınç değerleri uygulanmıştır. Şekil 3.3’de #1 ve #2 no’lu elektrod ile yapılan kaynak gösterilmiştir.

### 3.3.3. Sert Lehim Uygulaması

Şekil 3.4.’te çelik malzeme, Al’a yakın ve etkileşebilir bir forma dönüştürülmüştür. Bu uygulamada öncelikle çelik malzeme yüzeyi asit ile temizlenmiş daha sonra şaloma yardımıyla saf çubuk Kalay (Sn) eritilerek nüfuz etmesi sağlanarak bir nevi kaplama işlemi yapılmıştır.



#1 Nolu



#2 Nolu

Şekil 3.3. #1 ve #2 No'lu kaynak elektrodu ile yapılan kaynaklar.

“OK Tigrod 4047” marka Al kaynak teli ile “Al-Flux 726” marka dekapan yardımıyla ağız ağıza getirilen Al ve çelik malzeme kaynatılmıştır (Şekil 3.5). Dekapan kullanarak, kaynak sırasında Al parça üzerinde oksit tabaka oluşmasının önüne geçilmiştir. Bu işlemler, 2.5 bar O<sub>2</sub>, 0.5 bar asetilen tüpleri çalışma basıncı altında gerçekleştirilmiştir.



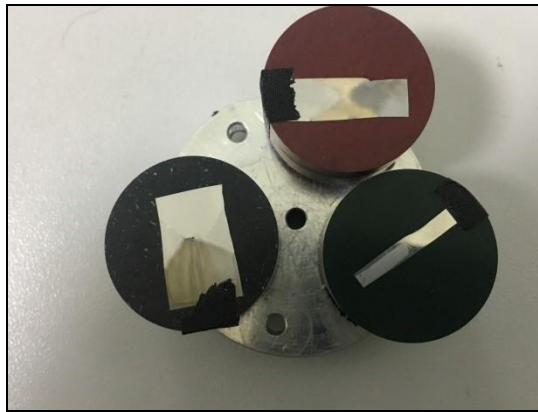
Şekil 3.4. Çeliği çubuk kalay ile kaplama işlemi.



Şekil 3.5. Numunelerin birleştirilmesi işlemi.

#### 3.3.4. Kaynağın Kontrolü ve Mikroyapı Fotoğrafları

Farklı kalınlıklarda temin ettiğimiz TIG ve sert lehimleme yöntemleriyle birleştirilmiş deney numuneleri mikroyapı fotoğraflarının çekimi ve elementel kompozisyonunu belirlemek için “CARL ZEISS ULTRA PLUS GEMINI FESEM” marka 50x-2000x büyütme özelliğine sahip SEM (taramalı elektron mikroskopu) kullanılmıştır. Labaratuvar ortamında yapılacak olan SEM ve edx analizleri için deney malzemeleri frezede işlenerek istenilen boyutlara getirilmiş ve taşlama tezgâhında taşlanmıştır. Daha sonra kesit parçaları alınarak hazırlanan numuneler zımparalama işlemine tabi tutularak parlatılmış ve dağlanmıştır (Şekil 3.6, 3.7).



Şekil 3.6. Farklı kalınlıklara sahip numunelerin SEM analizlerinin yapılması.



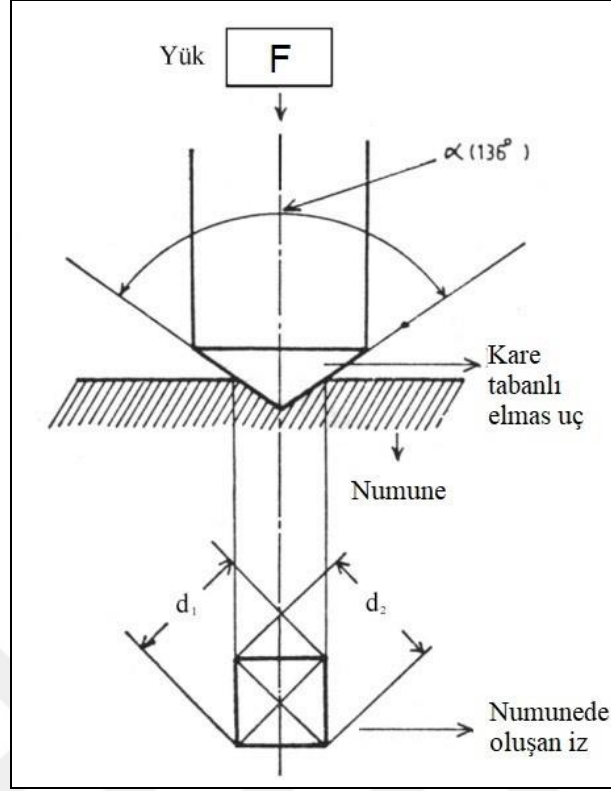
Şekil 3.7. Farklı kalınlıklara sahip numunelerin SEM analizlerinin yapılması.

### 3.4. MEKANİK TESTLER

#### 3.4.1. Sertlik Testi

Metalografik inceleme için hazırlanmış olduğumuz numunelere, QNESS+Q10 A marka sertlik ölçme cihazı yardımıyla ASTM E92 (Metalik Materyaller için Vickers Sertlik Ölçme Standartı) standartlarına göre Vickers (HV 0.5) sertlik testi uygulanmıştır. Sertlik ölçümü esnasında kullanılan bilyenin uygulanan yükten dolayı malzemeye ne çok batarak iz ağzının kabarması ne de az dalıp belirsiz iz oluşturması istenir. En uygun bilye izini oluşturacak yük miktarı ve bilye çapı seçilmelidir [10]. Şekil 3.8’de sertlik testi şematik olarak gösterilmiştir.

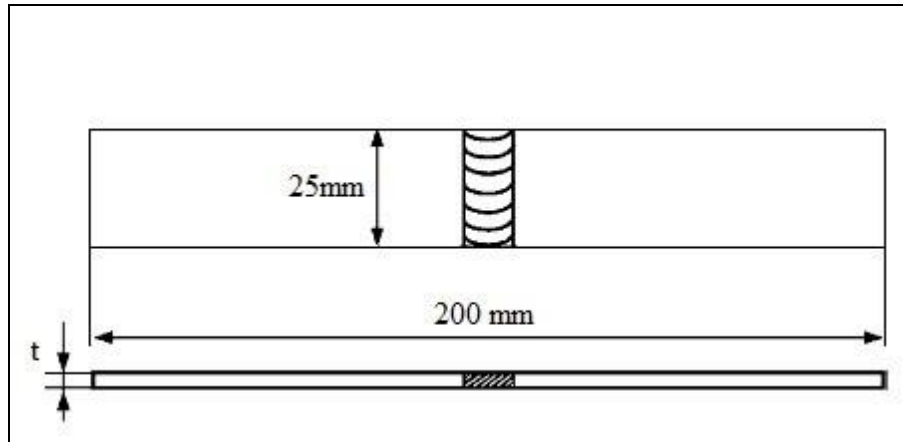
Belirtilen nedenlerle deney numunelerimizin incelik ve yumuşaklık gibi fiziksel özellikleri birlikte değerlendirilerek Vickers sertlik testi uygulanması tercih edilmiştir. Test esnasında kare tabanlı elmas uç kullanılarak 500 gr deney yükü uygulaması ile esas metallerin yüzeyleri, ve kaynak bölgesi baz alınarak oda sıcaklığında veriler toplanmıştır. Devamında, numune yüzeyinde oluşan izler optik olarak ölçülerek sertlik değerlerine ulaşılmıştır.



Şekil 3.8. Vickers Sertlik testinin şematik gösterimi.

### 3.4.2. Çekme Testi

Numuneler, çekme testinin yapılabilmesi için takım tezgahlarında işlenerek kaynak dikişi tam ortada kalacak şekilde Şekil 3.9'da belirtilen ölçülere getirilmiş,



Şekil 3.9. Çekme deney numunesinin boyutlandırılması ve gösterimi.

Düz lama haline getirilen  $t=2$  mm,  $t=5$  mm,  $t=10$  mm kalınlıklara sahip numuneler “MTS Landmark“ marka servohidrolik dinamik test cihazı ile 0,067 mm/sn hızla oda sıcaklığında çekme deneyine tabi tutulmuştur (Şekil 3.10). Tüm deney boyunca numuneler, kalınlıklarına ve kaynak çeşitlerine göre ayrı ayrı kategorize edilerek; çekme, uzama ve akma verileri elde edilmiştir.



Şekil 3.10. Çekme test cihazı ve numunenin bağlantısı.

### 3.4.3. Titreşim Analizi

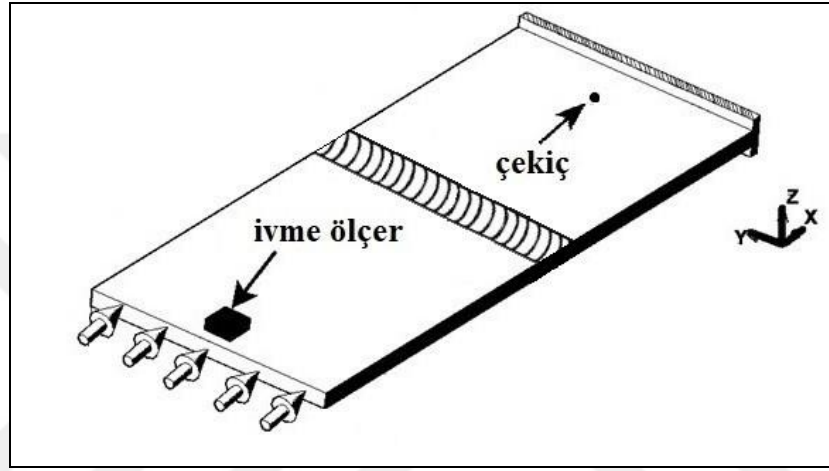
Titreşimi, cisimlerin sabit bir denge konumuna göre tekrarlanan hareketi olarak ifade edebiliriz. Titreşim tüm mekanik sistemlerde mevcut olan bir fiziksel olaydır. Ancak mekanik sistemler üzerinde titreşim oluşması, malzeme yorulmalarına ve deformasyonlara yol açarak sistemin çalışmasına engel olur.

Yapmış olduğumuz çalışmaya ait numunelerin hangi doğal frekans değerlerinde ne ölçüde gerilmeler meydana getireceği ve bu durumda oluşacak olan yer değiştirme miktarlarının bilgisayar ortamında analizi yapılmıştır. Kaynaklı ve lehimli birleştirmelerini yaptığımız hibrit plakanın, tekil malzeme yapısına sahip hangi plakaya daha yakın titreşim davranışı sergilediğini bulmak amaçlanmıştır.

“Dytran 5800B2” marka impuls çekiçi, buna bağlı güç dönüştürücü ve “Dytran 3093” marka ivmeölçer kullanılarak oda sıcaklığında farklı kalınlıklarda deney malzemeleri için gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde, çekiç yardımıyla titreşim etki



değerleri, ivmeölçer yardımıyla da salınım halindeki numunenin titreşime verdiği tepki değerleri toplanmıştır. Toplanan bu veriler mikro işlemci tabanlı veri toplama sistemi “SoMat™ eDAQ-lite” ve “nCode GlyphWorks” yazılımı kullanılarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Bir ucundan sabitlenmiş olan deney materyalinin üzerinde konumlandırılan test cihazlarının gösterimi Şekil 3.11’deki gibidir. Veri toplama işlemi gerçekleştirildikten sonra “MSC. Marc Software, v2014” programı kullanılarak sonlu elemanlar metodu kullanılarak titreşimin analizi yapılmıştır.



Şekil 3.11. Titreşim ölçümünün şematik gösterimi.

## BÖLÜM 4

### DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Yapılan bu deneysel çalışma ile alüminyum ve düşük karbonlu çelik malzemeler, piyasada yaygın kullanılan TIG kaynak ve sert lehimleme yöntemleri kullanılarak kaynatılmış ve mekanik özellikleri incelenmiştir.

TIG kaynak ve sert lehimleme usullerine göre birleştirilen numuneler takım tezgâhlarında istenilen boyutlara getirilmiştir. Tahribatlı ve tahribatsız testlere tabi tutulmuştur. Alınan sonuçlar incelenip analiz edilerek en yüksek mekaniksel özelliklerin hangi kaynak türünde ve hangi kalınlıklarda olduğu tespit edilmiştir.

#### 4.1. MİKRO YAPI İNCELEMESİ VE SONUÇLARI

##### 4.1.1. TIG Kaynağı Uygulamasının Mikroyapı Sonuçları

###### 4.1.1.1. 2 mm Kalınlıktaki Deney Numunesi İçin Mikroyapı Sonuçları

Metal çiftleri TIG kaynağıyla birleştirme işleminde 2 mm kalınlığa sahip olan numuneler birbirine kaynatılmış fakat kaynak bölgesi temizlenirken kırılma meydana gelmiştir. Şekil 4.1’de belirtilen kalınlık için olumsuz sonuçlanan kaynatma işleminin detayı gösterilmiştir. 1 numara Al malzemeyi, 2 numara kaynak bölgesini, 3 numara ise çelik malzeme bölgelerini belirtmektedir.



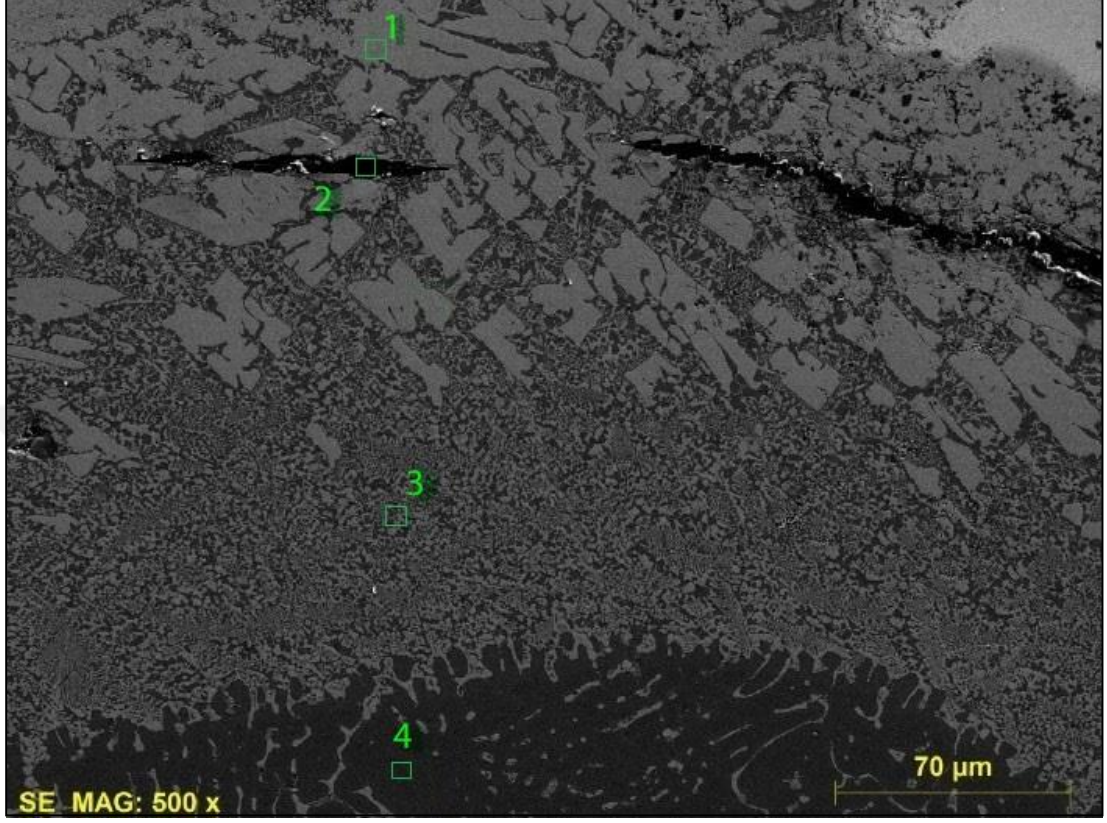
Şekil 4.1. TIG kaynağı ile birleştirilmiş 2 mm kalınlıktaki numune.

Şekilde de görüldüğü gibi kaynak metali ve Al arasında istenilen birleşme sağlanmıştır. Ancak her ne kadar kaynak metali çelik malzemeye doğru yönelim gösterip homojen bir yapı oluşturmaya çalışsa da bunun sınırlı düzeyde olduğu görülmüştür. Ayrıca deney numunesinin ince olmasının, ısı iletiminin hızlı olmasına bağlı olarak çabuk ısınıp soğumaya sebep olduğu düşünülmektedir. Bu durum hızlı soğumadan kaynaklı çatlamalara ve kırılmalara sebep olmuştur.

#### 4.1.1.2. 5 mm Kalınlığa Sahip Deney Numunesi İçin Mikroyapı Sonuçları

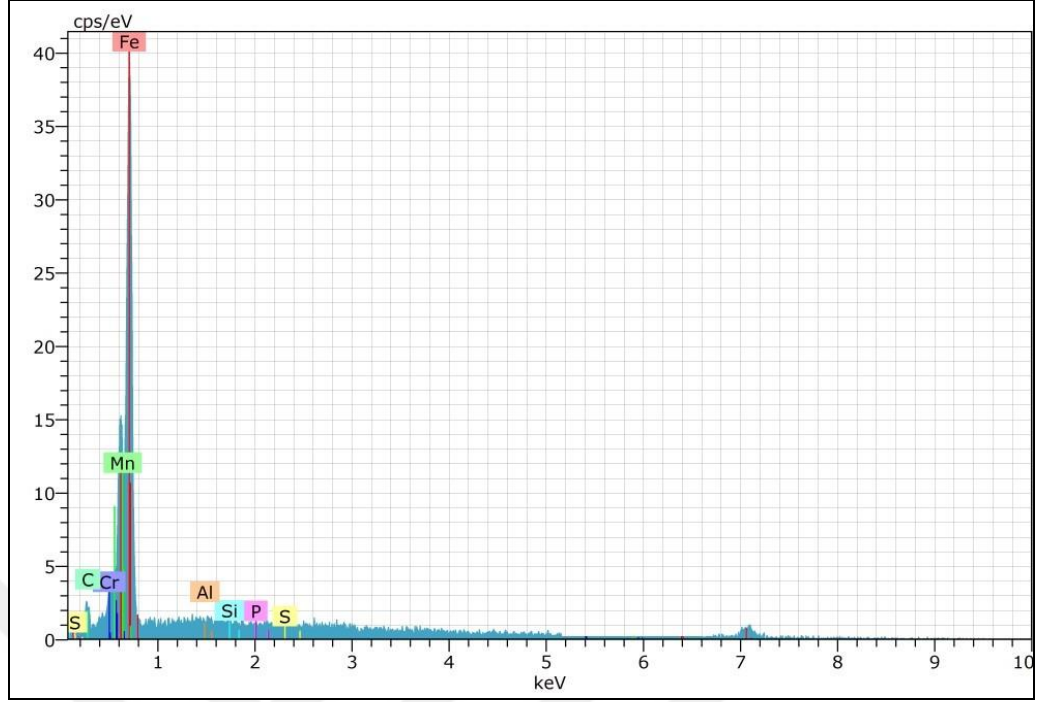
5 mm kalınlığa sahip deney numunelerinin TIG kaynağıyla birleştirme işleminde başarı sağlanmıştır. Şekil 4.2’de mikroyapı görüntüsü verilen numunenin kaynak bölgesinde bazı kısımlarda çatlak oluşumu gözlemlenmiştir. Ayrıca kaynak metali

ana malzeme ve kaynak yönü doğrultusunda yönelme göstermemektedir. Her iki geçiş bölgesinde de kaynak metalinin homojen bir yapı sergilediği görülmektedir.



Şekil 4.2. TIG kaynağıyla birleştirilmiş 5 mm kalınlıktaki numunenin SEM görüntüsü (500x).

Homojen birleşme ve çatlak oluşumu gibi kaynak sonrası efektif sonuçları bir arada bulunduran bu numune üzerinde numaralandırılan bölgeler seçilerek yapılan elementel analizin grafik halinde detayları Şekil 4.3, 4.4, 4.5 ve 4.6'da verilmiştir. 1 numara çelik malzeme tarafında kaynağın geçiş bölgesi, 2 numara oluşan çatlak bölgesi, 3 numara Al tarafında kaynağın geçiş bölgesi ve 4 numaralı bölge Al malzemeyi ifade etmektedir. Her numara yanında işaretli olan bölgeyi temsil etmektedir. Elementel analiz grafiklerinde görülen, malzemelerin atomik karakteristikleri bu noktaların temsil ettiği bölgeleri doğrulamaktadır.

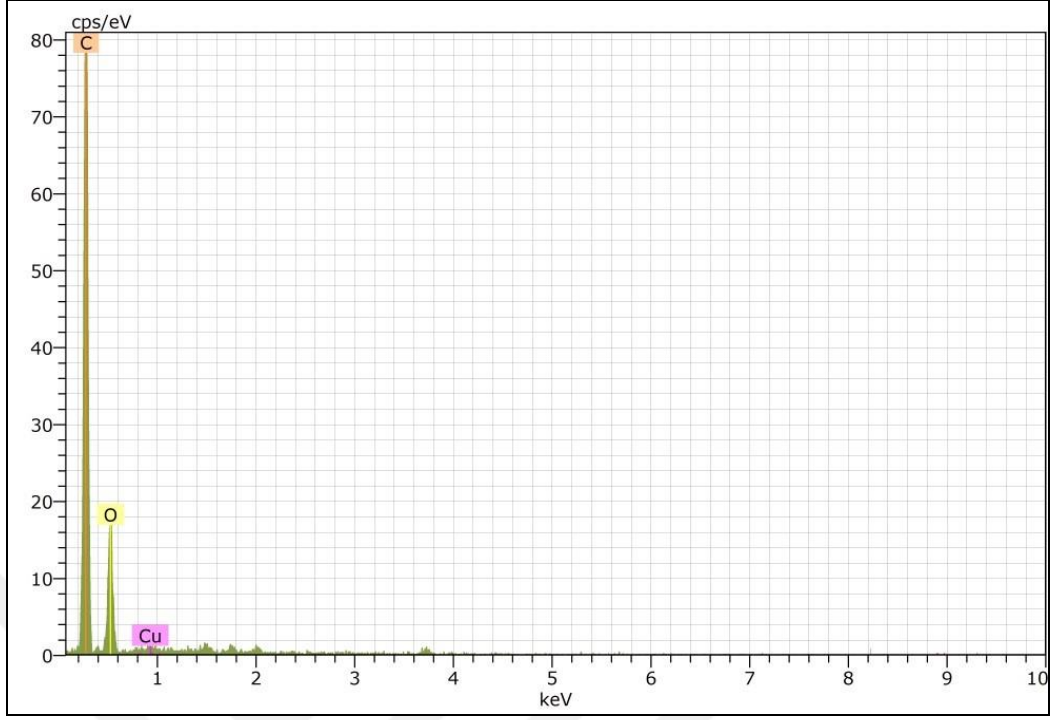


Şekil 4.3. 1 numaralı bölgenin elementel analizi.

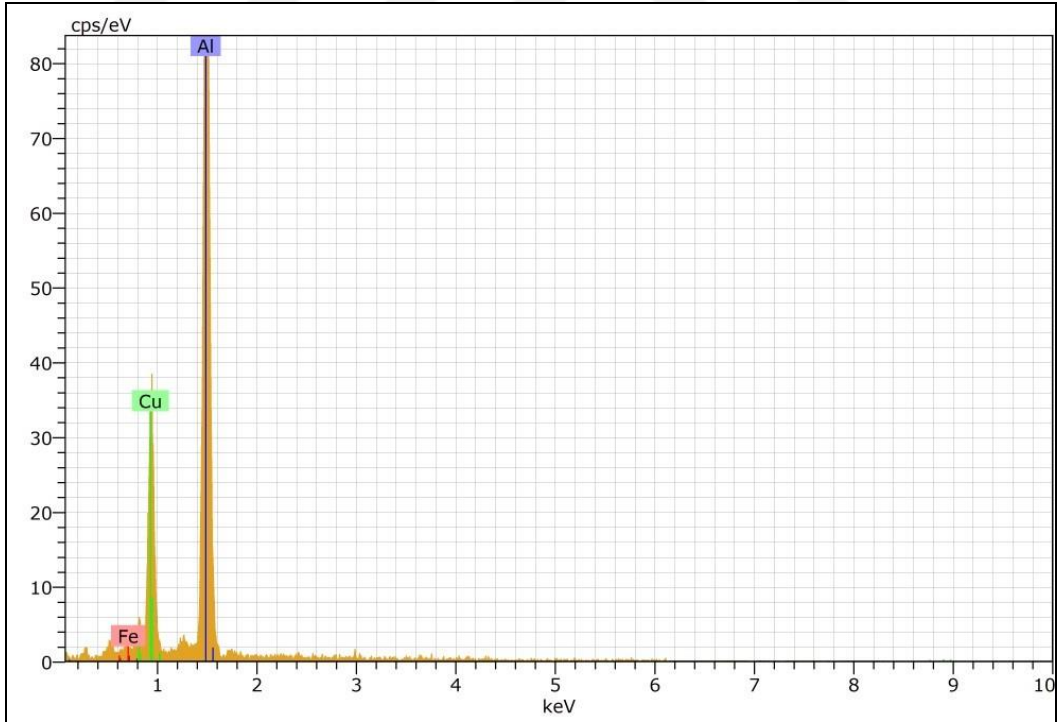
Bu grafikler okunurken; x eksenini, ışınım için malzemeye yollanan elektronların enerjisini ifade etmektedir ve birimi keV (kilo elektron volt) dir. y eksenini, ışınım meydana getiren elementin eV başına oranını ifade etmektedir. Gönderilen enerji ve koparılan elementin ışınımına ait enerji ne kadar fazlaysa numune içinde o elementin oranı da o kadar fazladır.

1 numaralı bölge, farklı elementlerden oluşan bir kimyasal kompozisyona sahiptir. Bu durum çelik metalinin tek elementli bir yapıya sahip olmamasıyla ifade edilebilir. Burada çeliğin yapısında bulunan demir (Fe), karbon (C), mangan (Mn), krom (Cr) gibi elementler tespit edilmiştir. Oransal olarak Fe miktarı diğer elementlere göre fazla olmasına rağmen yoğunluğu azdır.

2 numaralı bölge, kaynak sırasında oluşan çatlakı ifade etmektedir. Bu sebeple kaynatma işlemine tabi tutulan metallerin içeriğinde bulunan herhangi bir elemente rastlanmamıştır. Bunun yerine serbest halde karbon (C) ve oksijen (O) atomları tespit edilmiştir. Serbest halde C atomlarına rastlanması, çeliğin yapısal elementlerinden olması sebebiyle çatlamanın çelik tarafında oluştuğu sonucunu vermektedir.



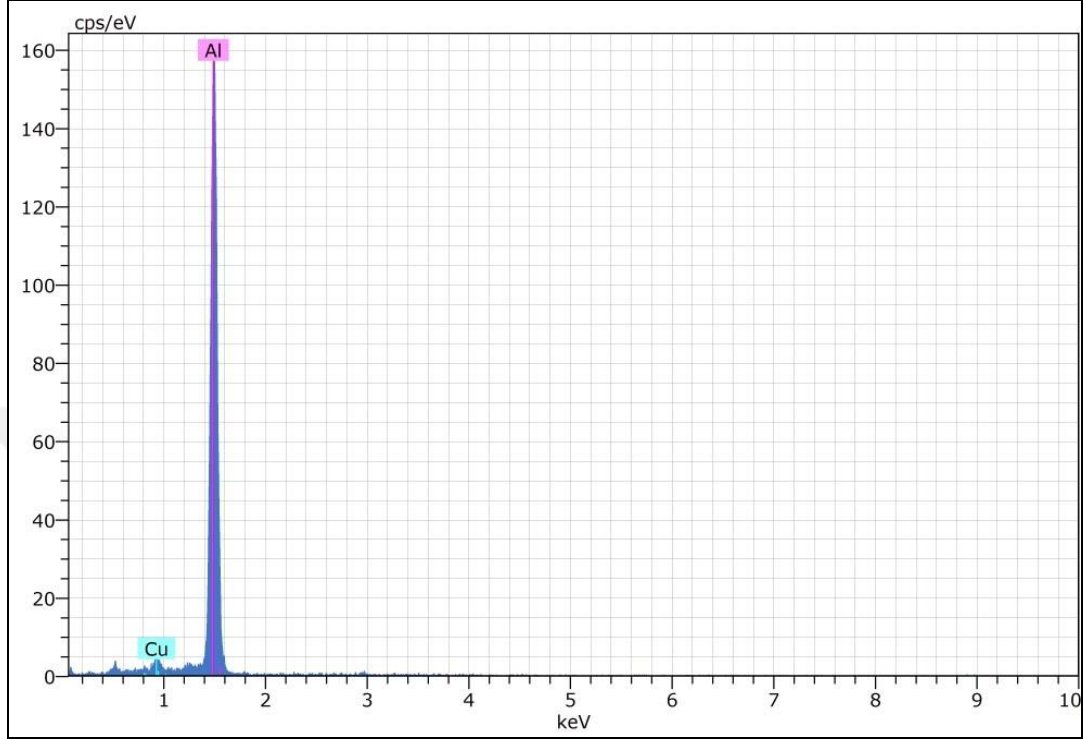
Şekil 4.4. 2 numaralı bölgenin elementel analizi.



Şekil 4.5. 3 numaralı bölgenin elementel analizi.

3 numaralı bölge, kaynağın çelik tarafında geçiş bölgesini ifade etmektedir. Al miktarının yüksekliğinin nedeni, verilerin Al tarafından alınmasıdır. Öte yandan

yine belirgin miktarda bakır (Cu) elementi bulunması kaynak metalinin elementel kompozisyonu sebebiyledir.



Şekil 4.6. 4 numaralı bölgenin elementel analizi.

4 numaralı bölge, kaynatma işlemi sonunda analiz için Al tarafında bulunan elementleri ve değerlerini ifade etmektedir. Bu bölgede yüksek miktarda Al bulunması yapmış olduğumuz elementel analizi desteklemektedir.

Bu analizler bize birleştirme işleminin hangi bölgelerinde hangi element atomlarının mevcut olduğunu, yoğunluklarını ve kaynağın hangi metale doğru yönelim gösterdiği hakkında bilgi vermektedir. Buna göre; kaynak ergiyiğinin Al metaline doğru yönelim gösterdiği ve çelik metalinin sınırlı miktarda yönelime sahip olduğu, ancak nüfuziyeti kaynak metaliyle sağladığı sonucuna ulaşılmaktadır. Elementel grafikler, mikroyapı görüntüsünü daha iyi yorumlamamızı sağlayarak yapmış olduğumuz kaynatma işleminin daha önceki çalışmalarla benzerliğini ortaya koymaktadır.

#### 4.1.1.3. 10 mm Kalınlığa Sahip Deney Numunesi İçin Mikroyapı Sonuçları

Şekil 4.7’de SEM görüntüsü verilen 10 mm kalınlığa sahip deney numunesi baŐarıyla birleştirilmiştir. Görüntü verilerinin analizi için 500 kez yakınlılaŐtırma yeterli görülmüŐ ve numaralandırmalar yapılarak kaynak bölgeleri detaylandırılmıştır.



Şekil 4.7. TIG kaynağıyla birleştirilmiş 10 mm kalınlıktaki numunenin SEM görüntüsü (500x).

1 numara; deney malzemesinin elik tarafını ifade etmektedir. Kaynak bölgesi ile elik geçiş bölgesi arasında kısmen çatlak oluŐturma eğilimi gözlenmiŐtir. 5 mm kalınlığa ait görsele kıyasla çatlak oluŐumunun azalma eğilimine geçtiği ve büyük lde yok olduğu belirtilebilir. Buna ilave olarak ana metal ile kaynak metali homojen bir yapı oluŐturarak nüfuziyet sađlamıŐtır.

2 numara; kaynak bölgesini belirtmektedir. Yoğunlukla kaynak metalini içeren bu bölgede homojen yapı korunmuŐ ve çatlak oluşumu gözlemlenmemiŐtir.



3 numara; kaynağın Al tarafında geçiş bölgesini ifade etmektedir. Kaynak malzemesi, kaynak doğrultusunda değil ana metale doğru yönelim göstermiş ve homojen birleşim buarada da korunmuştur. Çatlak oluşumu gibi kaynak sorunlarına rastlanılmamıştır.

4 numara; verilerin Al tarafından toplandığı bölgedir. Bu bölgede az da olsa kaynak metaline de rastlanmaktadır.

#### **4.1.2. Sert Lehim Uygulamasının Mikroyapı Sonuçları**

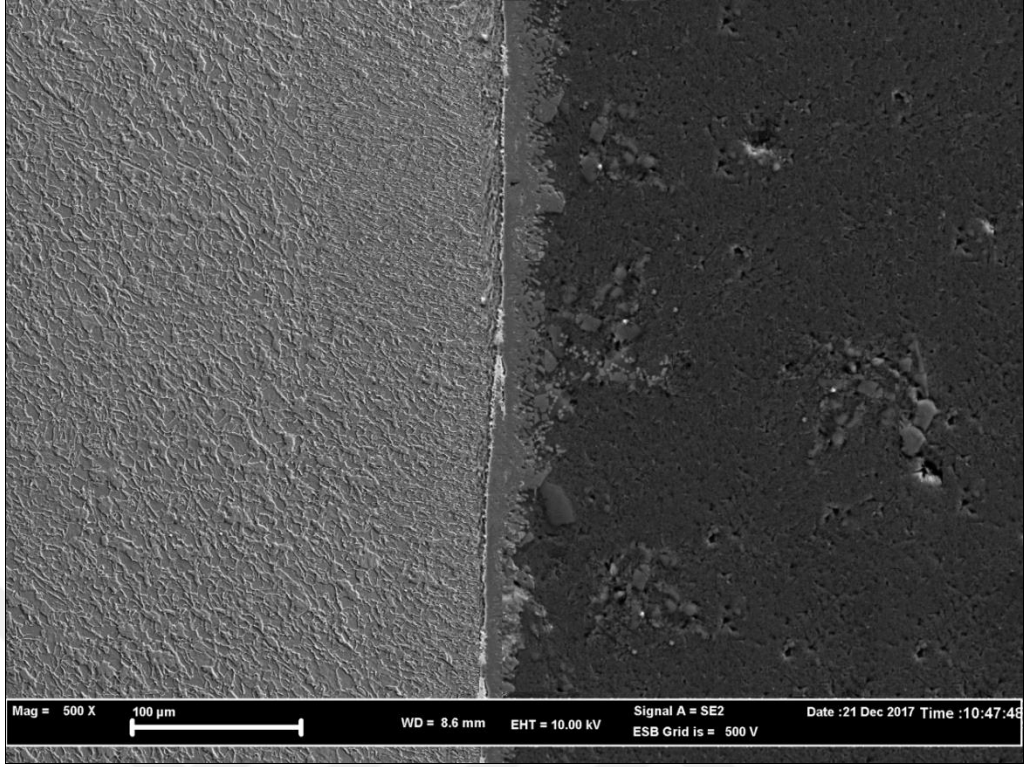
Sert lehim uygulanırken çelik malzeme yüzeyine Sn kaplama yapılmış, sonrasında her iki metal alüminyum kaynak teli ile birleştirilmiştir. Bu işleme ait mikroyapı görüntü sonuçları aşağıda verilmiştir.

##### **4.1.2.1. 2 mm Kalınlıktaki Numuneye Ait Sonuçlar**

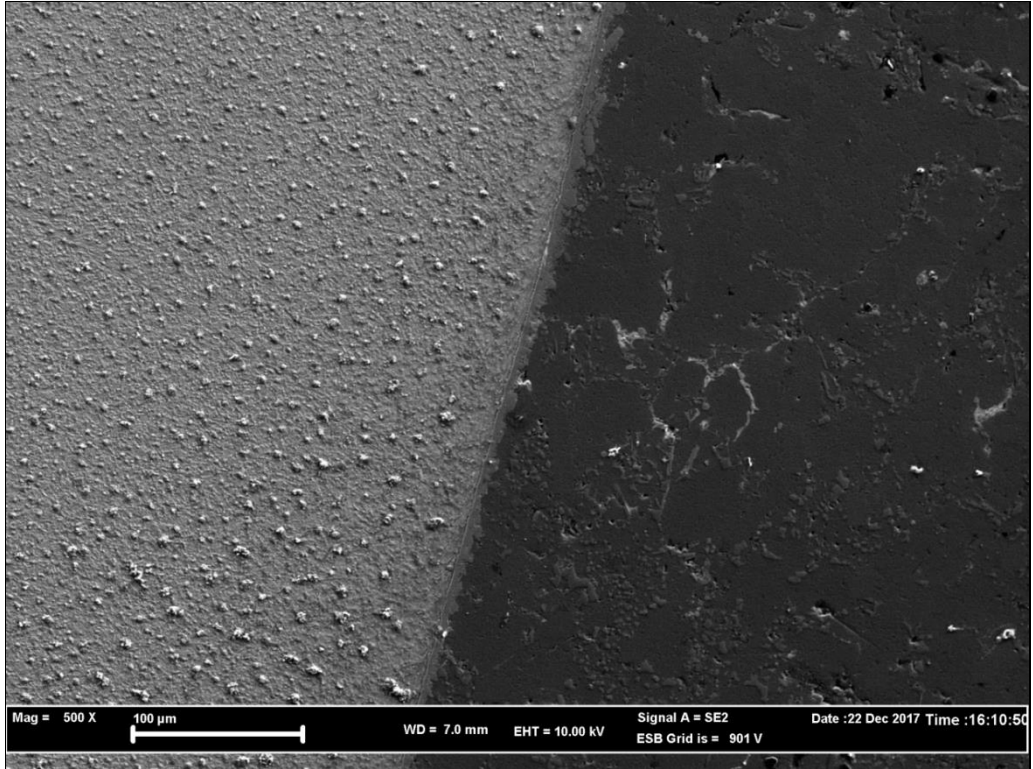
Uygulanan bu kaynak yönteminde 2 mm kalınlıktaki numunelerin kaynaklı birleşiminin mikroyapı görseli yan yüzeyden görüntü alınarak Şekil 4.8’de verilmiştir. İlave metal Al tarafına doğru yönelim göstermiştir. İki metal arasındaki ara tabaka belirgin ve düzgün bir çizgi halinde oluşum sergilemiştir. Açık gri renkte olan bölgeler çelik, koyu gri renkte olan bölgeler ise alüminyumu ifade etmektedir.

##### **4.1.2.2. 5 mm Kalınlıktaki Numuneye Ait Sonuçlar**

Şekil 4.9’da sert lehim uygulamasına ait 5 mm kalınlıktaki numunenin mikro yapısı incelendiğinde; ara tabakanın Al tarafına doğru kısıtlı da olsa yönelim gösterdiği ve çelik metalinin devamı gibi bir davranış sergilediği belirtilebilir. Bir önceki görselde olduğu gibi iki metalin geçiş bölgesi arasında yarı belirgin düzgün bir hat oluştuğu da gözlemlenmektedir. Ayrıca Al metal yüzeyinde de küçük çatlaklar ve çukurcuklar oluşmuştur. Açık gri renkte olan bölgeler çelik, koyu gri renkte olan bölgeler ise alüminyumu ifade etmektedir.



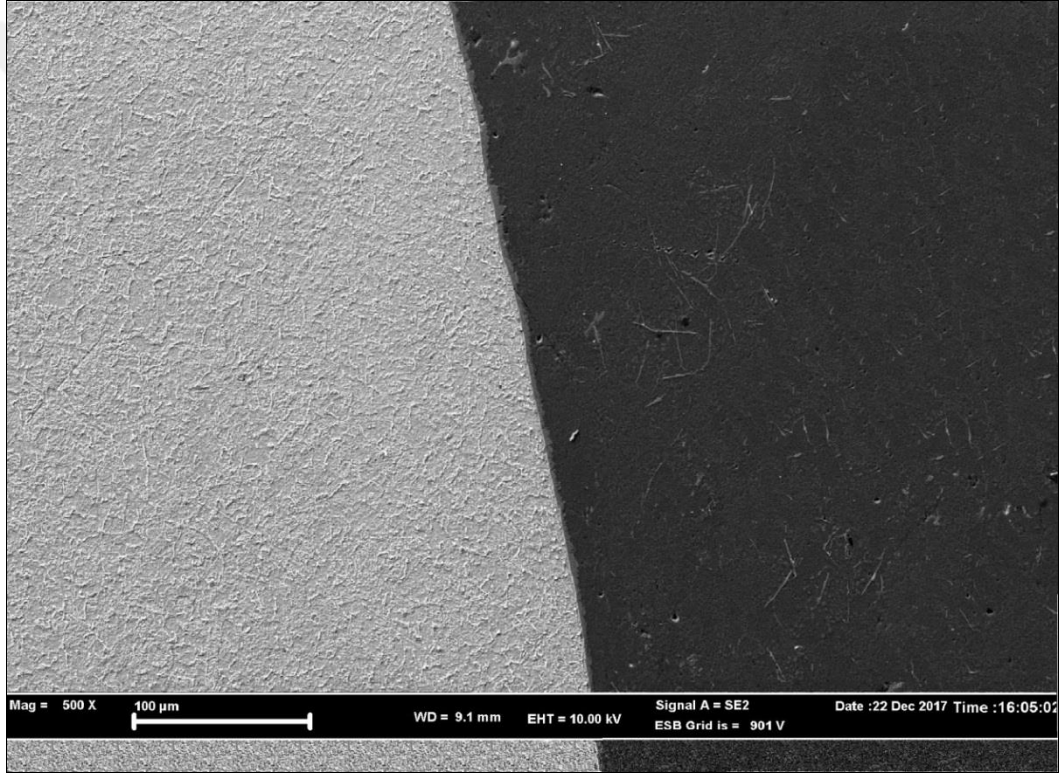
Şekil 4.8. Sert lehim uygulaması yapılan 2 mm kalınlıktaki numunenin SEM görüntüsü (500x).



Şekil 4.9. Sert lehim uygulaması yapılan 5 mm kalınlıktaki numunenin SEM görüntüsü (500x).

#### 4.1.2.3. 10 mm Kalınlıktaki Numuneye Ait Sonuçlar

Mikro yapı görüntülemesi yapılan 10 mm kalınlığa sahip numune için de benzer sonuçlar ortaya çıkmıştır (şekil 4.10). Kaynak ara tabakası, elik devamı gibi davranarak Al yönüne doğru eğilim göstermiştir. Sert lehim yönteminde gözlemediğimiz geçiş bölgesinde oluşan belirgin ve düzgün hat bu görselde de mevcuttur. Ayrıca birleştirme işlemi yapılan malzemelerin kalınlığı arttı ara tabaka kalınlığının azaldığı gözlemlenmiştir. Açık gri renkte olan bölgeler elik, koyu gri renkte olan bölgeler ise alüminyumu ifade etmektedir.



şekil 4.10. Sert lehim uygulaması yapılan 10 mm kalınlıktaki numunenin SEM görüntüsü (500x).

Durmuş vd [39], AA6061 Al ve galvanizli elik saçları soğuk metal transfer kaynağıyla birleştirmişler, SEM incelemeleri sonucu Al-elik kaynaklı parçalarında intermetalik ara tabakanın Al metaline doğru yönelim gösterdiğini tespit etmişlerdir. Bu durumun difüzyon mekanizmaları ile yani Al ve Fe'in difüzyon katsayıları ile açıklanabileceğini savunmuşlardır.

Hussein vd. [40], sürtünme kartrma kaynağıyla birleştirilen Al ve çeliğin karakteristik özelliklerini incelemişlerdir. Kaynak sırasında kullanılan sıcaklık ve srenin intermetalik ara tabaka oluşumuna etki eden iki ana faktör olduğunu belirtmişlerdir.

Taban vd. [36], Al ve elik malzemeleri sürtünme kaynağıyla birletirmiler ve mikroyapı karakteristikleri hakkında çalışma yapmışlardır. Mikroskopi sonuçlarına göre bağlantının Al tarafına doğru yönelen ince, kesintili bir ara tabaka oluştuğu sonucuna varmışlardır.

Zhang vd. [37], Al ve paslanmaz eliğin TIG-MIG ift kenarlı kaynaklama-lehimleme çalışmasını yapmışlar; bağlantıların her iki tarafında düşük ve düzgün ısı girişi sağlandığını belirtmişlerdir. Dolayısıyla ara kaynak tabakasının sınır boyunca hemen hemen eşit kalınlıkta bir çizgi halinde ve aynı desene sahip olduğunu ifade etmişlerdir. Bu alıma, düşük ısı girdisi ve sonucunda oluşan ara tabaka görüntüleri karşılaştırıldığında bizim yapmış olduğumuz sert lehimleme yöntemiyle benzerlik göstermektedir.

## 4.2. SERTLİK TESTİ SONUÇLARI

Malzemelerin kaynatılmadan önceki sertlik değerleri izelge 4.1’de verilmiştir. 500gr yük, Vickers sertlik metodu ile kare tabanlı elmas u kullanılarak 15 saniye süreyle uygulanmıştır.

Çizelge 4.1. Kaynak işlemi öncesi malzemelerin sertlik değerleri.

Malzeme	Sertlik Değerı
<b>elik (St-37)</b>	192 HV
<b>Al (6061-T6)</b>	95 HV

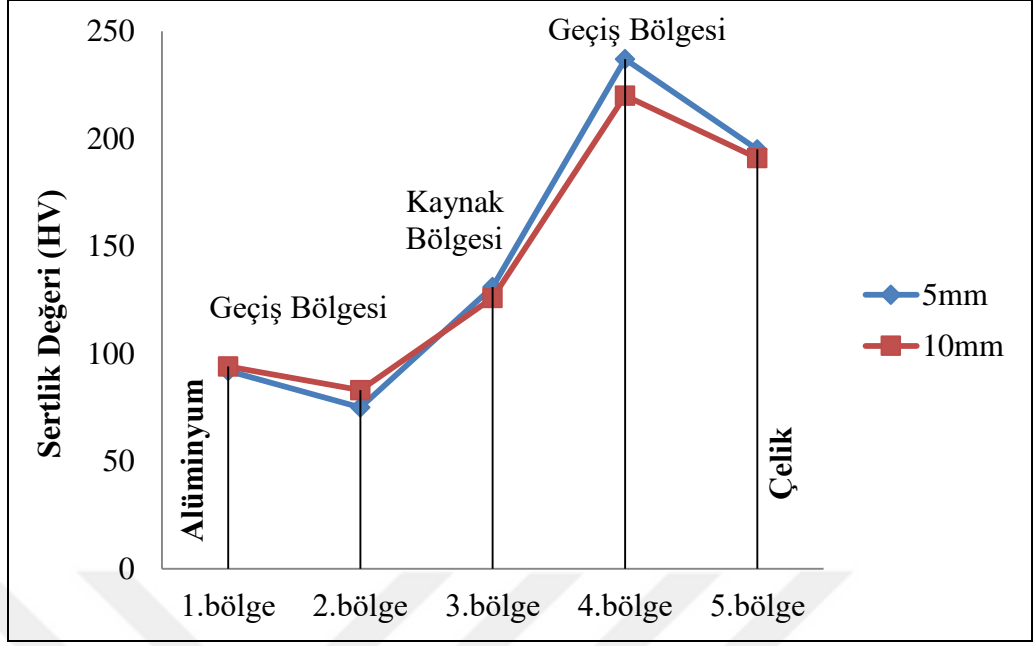
Numuneler takım tezgâhlarında ilenip sertlik testi standartlarına uygun boyutlandırılarak testlere hazır hale getirilmiştir. Sertlik değerleri; Al ana metali, Al tarafında ısıdan etkilenen bölge (ITAB), kaynak dikii, elik tarafında ısıdan

etkilenen bölge (ITAB) ve çelik ana metali olmak üzere beş noktadan alınmıştır. Test işlemi sırasında toplanan veriler Çizelge 4.2’de aktarılmıştır.

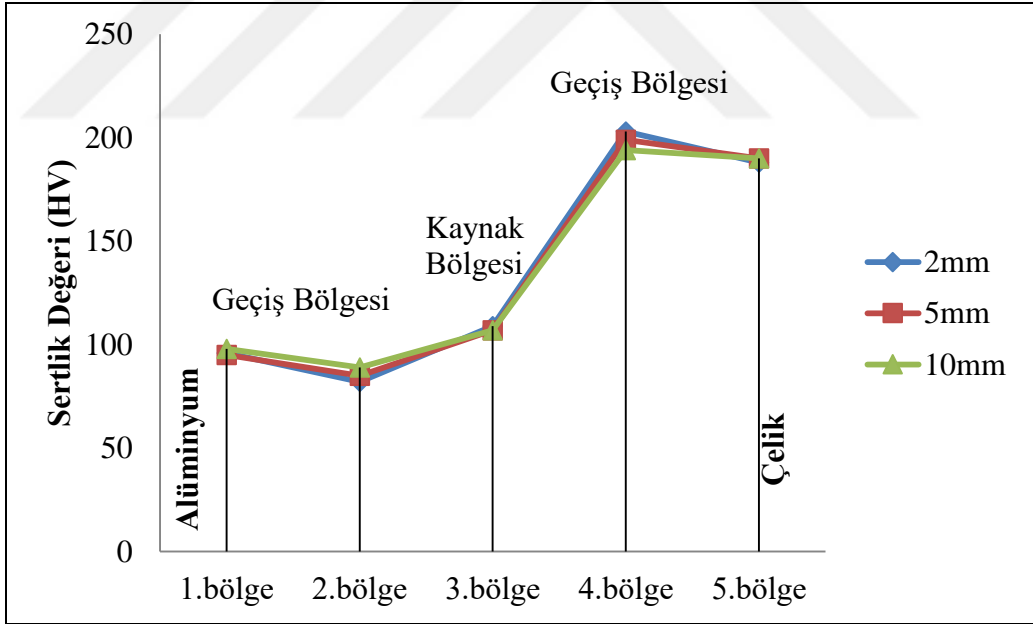
Çizelge 4.2. Kaynatma işlemi sonunda oluşan sertlik değerleri.

Verilerin Toplandığı Noktalar	Kalınlık	Sert Lehimleme	TIG Kaynağı
<b>1 No’lu Bölge</b> (Ana Metal – Al)	t = 2 mm	96 HV	-
	t = 5 mm	95 HV	92 HV
	t = 10 mm	98 HV	94 HV
<b>2 No’lu Bölge</b> (ITAB)	t = 2 mm	82 HV	-
	t = 5 mm	85 HV	75 HV
	t = 10 mm	89 HV	83 HV
<b>3 No’lu Bölge</b> (Kaynak Dikişi)	t = 2 mm	109 HV	-
	t = 5 mm	107 HV	131 HV
	t = 10 mm	107 HV	126 HV
<b>4 No’lu Bölge</b> (ITAB)	t = 2 mm	203 HV	-
	t = 5 mm	199 HV	237 HV
	t = 10 mm	194 HV	220 HV
<b>5 No’lu Bölge</b> (Ana Metal – Çelik)	t = 2 mm	188 HV	-
	t = 5 mm	190 HV	195 HV
	t = 10 mm	190 HV	191 HV

Kaynak öncesi ve sonrası ölçülen değerler karşılaştırıldığında (Çizelge 4.1- 4.2); sert lehimleme için kalınlığa bağlı yüksek bir değişim görülmemektedir. TIG kaynak değerlerinde ise ısıdan etkilenen bölgedeki kalınlığa bağlı değişim daha yüksektir. Her iki kaynak yönteminde de Al tarafında ITAB bölgesinde sertlik değerlerinin düştüğü, çelik tarafında ITAB bölgesinde yükseldiği görülmektedir. Buna ek olarak ana metal sertliklerinde belirgin bir değişim bulunmamaktadır.



Şekil 4.11. Farklı kalınlıklara sahip numunelerin (5 mm, 10 mm) sertlik değerlerinin karşılaştırılması (TIG kaynak).



Şekil 4.12. Farklı kalınlıklara sahip numunelerin (2 mm, 5 mm ve 10 mm) sertlik değerlerinin karşılaştırılması (Sert lehimleme).

Şekil 4.11 ve 4.12’de her iki kaynaklı birleştirme yöntemi için kaynak dikişi sertliğinin Al’dan yüksek, çelikten düşük olduğu görülmektedir. ITAB bölgesindeki sertlik değişimleri TIG kaynakta ve ince numunelerde en yüksek değerdedir.

Durgutlu vd. [22], düşük C'lu çelik ile Cu levhaları örtülü elektrod ark ve TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmiş ve kaynak bağlantılarının mekanik ve mikroyapı özelliklerini araştırmışlardır. Cu ve Al yumuşak karakterli metaller olduğu için kıyas edilebilirliği düşünüldüğünde yaptığımız deneyle benzer olarak; TIG kaynak yönteminde kaynak metali sertliklerinin çelik malzemeden düşük, Cu malzemeden ise daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir.

Meriç vd. [1], birbirinden farklı malzemeleri sürtünme kaynağı ile birleştirmiş ve kaynak bölgesi özelliklerini incelemişlerdir. (AISI 304) paslanmaz çelik ve (ETİAL F1) Al malzemelerin kaynağında Al tarafından kaynak bölgesine doğru sertliğin arttığını belirtmişlerdir. Al malzemenin paslanmaz çeliğe oranla plastik deformasyonunun daha fazla olduğunu ifade etmişlerdir. Yine aynı çalışmada (SAE 1040) çelik ile (ETİAL F1) Al'u birleştirmişler ve benzer sonuçlar bulmuşlar ayrıca her iki malzeme de ısı etkisinde kalan bölgede sertleşmeye rastlamışlardır. Bizim sonuçlarımızda da en sert bölge kaynağın çelik tarafıdır. Fakat ısı etkisine maruz kalan Al malzeme bizde yumuşarken bu çalışmada sertleştiği belirtilmiştir.

Zhang vd. [37], MIG kaynak ile yapılan paslanmaz çelik ve Al alaşımın birleştirme işlemine yardımcı TIG ark kaynağın mikroyapıya etkisini araştırmışlardır. Sertlik testleri sonucunda Al'un ITAB bölgesinde sertliğinin düştüğünü, çeliğin sertliğinin ise intermetalik tabakanın çelik tarafında en yüksek değere ulaştığını tespit etmişlerdir.

Taban [13], 5XXX serisi Al alaşımlarını TIG, MIG ve sürtünen elemanla birleştirmiş, mekanik ve mikroyapı özelliklerini incelemiştir. Çalışmasında TIG ve MIG kaynaklı bağlantılarda kaynak ısı girdisinin malzeme üzerinde deformasyona sebep olduğunu belirtmiştir. Vickers sertlik taraması neticesinde bizim sonuçlarımızda da belirttiğimiz gibi esas metal olan Al'un sertliğinin düşmesi durumuyla karşılaşmıştır.

Elde ettiğimiz sonuçlara göre malzemenin çelik tarafındaki ITAB bölgesinde sertliğin en yüksek değerde olması literatürdeki sonuçlarla uyumaktadır. Sertliğin en

düşük olduğu Al tarafında ITAB bölgesi olarak tespit edilmiş, literatürde benzer sonuçlarla karşılaşılmıştır.

### 4.3. ÇEKME TESTİ SONUÇLARI

Deney malzemelerinin TIG ve sert lehim yöntemi ile farklı kalınlıktaki numunelerin çekme testi sonuçları Çizelge 4.3’de, grafik gösterimi de Şekil 4.13’de verilmiştir. Numune kodu belirlemede; Sert lehimleme işlemi için “E”, TIG kaynak işlemi için “T” simgesi kullanılmıştır. Sayısal değerler numunelerin kalınlık-en ölçüleri olarak kullanılmıştır. Ayrıca daha detaylı karşılaştırma yapılabilmesi için esas metallerin çekme değerleri de tabloda verilmiştir.

Çizelge 4.3. Çekme testi sonuçları.

Numune Kodu	Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Uzama (%)
Çelik (St-37)	242	365	23
Alüminyum (6061-T6)	236	310	12
E 2 mm x 25 mm	173,3	251	5,7
E 5 mm x 25 mm	156,4	229,6	5,3
T 5 mm x 25 mm	117	160,2	2,4
E 10 mm x 25 mm	148	218,5	5
T 10 mm x 25 mm	161,2	260,7	5,4

Yapılan çekme testleri sonucunda T5 kodlu numunede kaynak bölgesinden kopma meydana gelirken, diğer numunelerde kopma kaynak bölgesinin Al tarafında olmuştur. Özellikle TIG kaynaktaki malzemenin inceliğine bağlı yüksek ısı dağılımı gerilmelere neden olmuş ve bu bölgede koparak ayrılmaya sebebiyet vermiştir. Diğer numuneler için kaynak sırasında ısı girdisi nedeniyle Al tarafında yeniden kristalleşme oluşması yumuşamaya sebebiyet vermesi ve dayanımı düşürmesinden ötürü kopmanın Al tarafında olduğu görülmüştür. Çekme testi sonunda kırılan numunelerin görüntüleri Şekil 4.13’de verilmiştir. “E” kodlu numuneler sert lehim



ile birleştirme işlemini, T kodlu numuneler ise TIG kaynak işlemine ait sonuçlar. Sayısal değerler malzemenin kalınlıklarıdır.



E-2

E-5



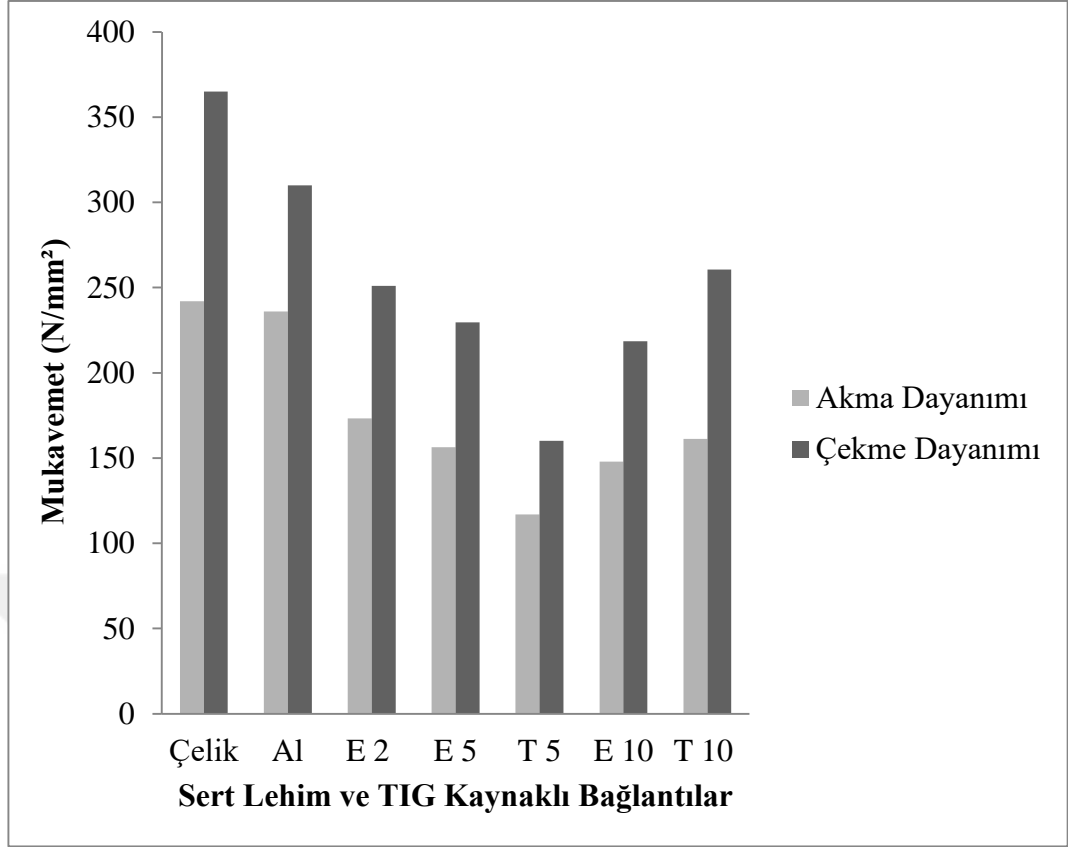
T-5

E-10



T-10

Şekil 4.13. Çekme testi sonunda kırılan deney numuneleri.



Şekil 4.14. Çekme dayanımının grafik gösterimi.

Sert lehim yönteminde kalınlık arttıkça dayanım azalırken, TIG kaynak yönteminde çekme dayanımı kalınlıkla doğru orantılı bir şekilde artış göstermiştir.

Sun vd. [38], benzer olmayan 16 Mn yüksek sertlikte çelik ile 6063-T6 serisi Al'u direnç nokta kaynağı ile farklı elektrotlar ve kaynak parametreleri kullanarak birleştirmiş ve uygun elektrod seçiminin daha verimli sonuçlar verdiği, kaynağın akım değeri ve kaynak zamanının da kaynak bağlantı gerilmesini etkilediğini belirtmişlerdir.

Taban vd. [36], yapmış oldukları çalışmada; benzer olmayan 6061-T6 serisi Al ve AISI-1018 standartlarındaki çeliğin sürtünme kaynağı ile birleştirmişler ve plastik deformasyonun bağlantının Al tarafında oluştuğunu gözlemlemişlerdir.

Zhang vd. [37], paslanmaz çelik ve Al'un TIG-MIG ile çift kenarlı kaynatma lehimleme çalışmasını gerçekleştirmişler ve çekme testi sonunda kırılarak kopmanın malzemenin Al tarafında olduğu sonucuna varmışlardır.

Bir numune hariç (T5) çekme testi neticesinde kopmanın Al tarafında olması literatür ile paralellik göstermiş olup yapılan deneyi sağlıklı olduğunu göstermektedir.

#### **4.4. TİTREŞİM ANALİZİ SONUÇLARI**

Titreşim, elde ettiğimiz malzemenin yapısal olarak kullanımı durumunda büyük sıkıntılara sebep olan fiziki bir olumsuzluktur. Malzeme üzerinde yorulma meydana getirmesi ve zamanla deformasyona yol açmasından dolayı titreşim analizi yapılmıştır. Gerilim ve yer değiştirme değerleri incelenmiş, hesapları ve analizleri yapılmıştır.

Yapılan titreşim analizinin sayısal sonuçları, bir ucu ankastre koşuluna bağlı olarak plakanın serbest ucundan elde edilmiştir. Sınır şartı modellenirken kaynakla birleştirilen plakanın bir ucu sabit tutulmuştur. Malzeme özellikleri olarak da; gerekli olan elastik modülü, poisson oranı ve yoğunluk gibi mekanik değerler girilmiştir. Bu değerler belirlenirken titreşim etkisine maruz kalan taraftaki metalin cinsi baz alınmıştır. TIG kaynağıyla birleştirilen 5 mm ve 10 mm kalınlıklarda numuneler için çalışma yapılmıştır. Titreşimin doğal frekans değerleri, eşdeğer gerilim değerleri ve x ekseninde yer değiştirme değerlerine yer verilmiştir. Sayısal sonuçlar, Marc Software programının vermiş olduğu nümerik analizlerdir. Bu değerler sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak 5 farklı modda detaylandırılmıştır.

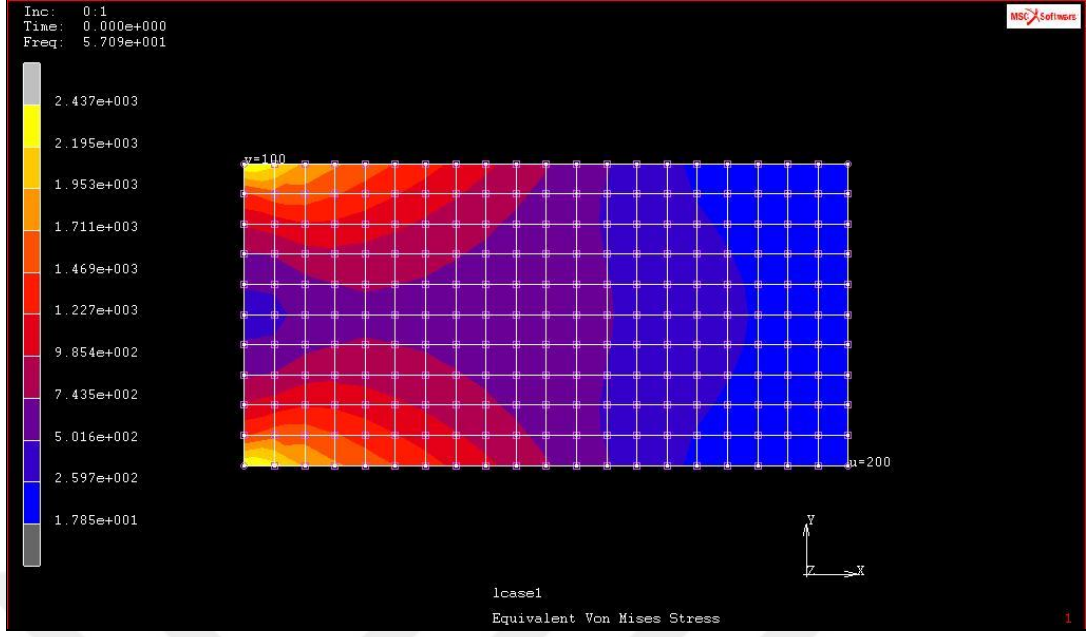
Çizelge 4.4. 5 mm numune için sayısal sonuçlar.

Mod	Doğal Frekans (Hz)	Eş Değer Gerilim -Von Misses- (MPa)	Yer Değiştirme (mm)
1	57,09	17,85	0,93
2	207,9	126,8	2,537
3	215,5	285,6	2,475
4	451,9	1090	3,446
5	572,5	268,5	2,845

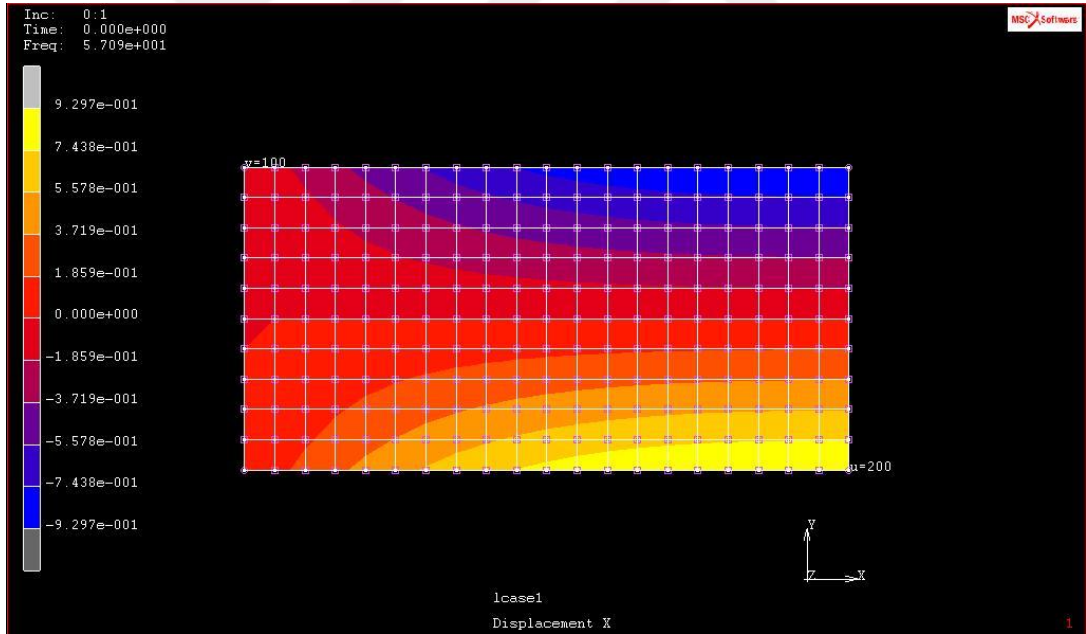
Çizelge 4.5. 10 mm numune için sayısal sonuçlar.

Mod	Doğal Frekans (Hz)	Eş Değer Gerilim -Von Misses- (MPa)	Yer Değiştirme (mm)
1	57,09	14,57	0,76
2	207,9	103,6	2,071
3	215,5	233,2	2,021
4	451,9	890,2	2,814
5	572,5	219,2	2,323

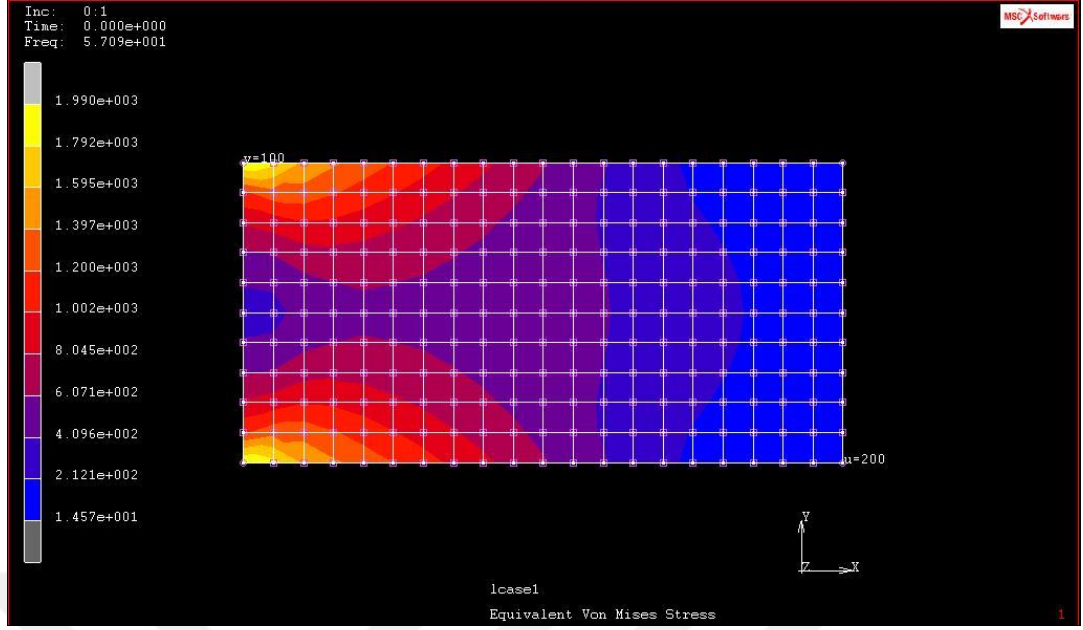
Mod 1 için von Misses eş değer gerilim değerleri ve x yönündeki yer değiştirme dağılımları TIG kaynaklı 5 mm ve 10 mm kalınlıkta numuneler için malzeme boyları sabit tutularak (200 mm) alınan sonuçlar görselleştirilmiştir (Şekil 4.13, 4.14, 4.15, 4.16).



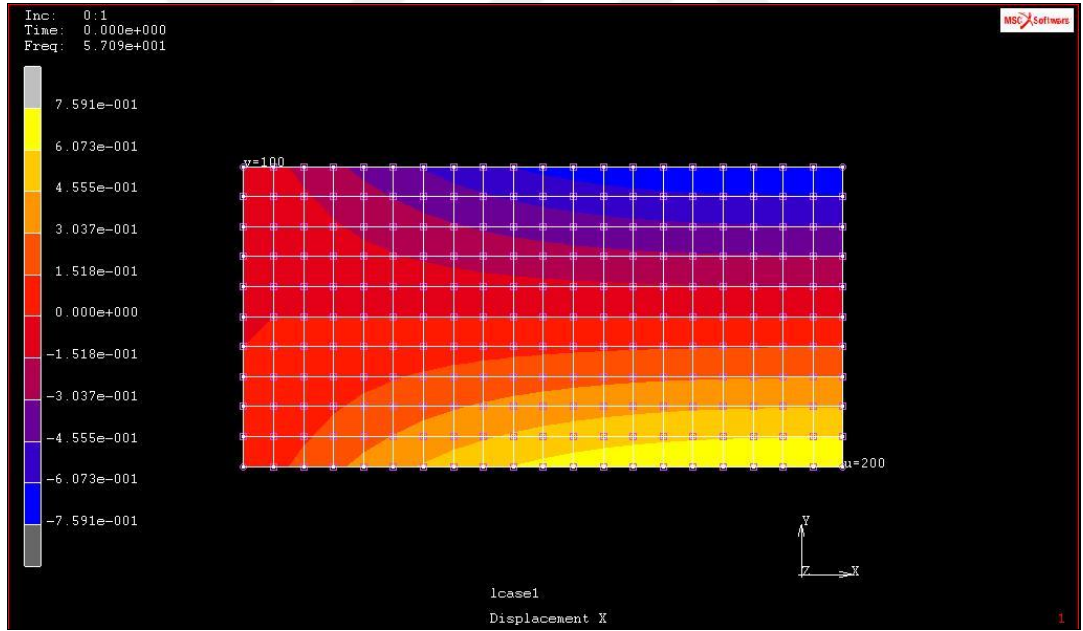
Şekil 4.15. 5 mm kalınlık için von Mises dağılımı.



Şekil 4.16. 5 mm kalınlık için x yönünde yer değiştirme dağılımı.



Şekil 4.17. 10 mm kalınlık için von Misses dağılımı.



Şekil 4.18. 10 mm kalınlık için x yönünde yer değiştirme dağılımı.

Sınır koşulları ve malzemenin mekanik özellikleri sabit tutulduğu için doğal frekans değerleri her iki kalınlık için de aynıdır. Doğal frekans her modda yükselirken, eş değer gerilim değerleri 4. modda en yüksek değere ulaşır ve tekrar azalma eğilimine girmektedir. Malzemenin deformasyonu ile alakalı olarak da aynı durum söz konusu olup, en yüksek yer değiştirme değerlerine 4. modda oluşmaktadır.

5 mm kalınlığa sahip malzemenin gerilim ve yer değiştirme değerleri 10 mm kalınlıktaki numuneye göre daha yüksek ölçülmüştür.

Sun ve Genç [41], büküm Al plakanın dinamik ykler altındaki sayısal ve deneysel dinamik analizlerini yapmışlar. İlk 4 mod için doğal frekans değerlerini bulmuşlardır. Bu değerler Aşağıdaki izelgede Al plaka başlığı altında verilmiştir (izelge 4.6).

Kuyumcuoğlu [42], alışma şartlarında ve geleneksel yöntem ile yapılan modal analiz hakkında veri toplamıştır. Düz elik bir plakanın doğal frekans değerlerini karşılaştırmıştır. Kendi deneyimizle geleneksel modal analiz verileri daha verimli bir karşılaştırma olması adına izelge 4.6'da elik plaka başlığı altında tablo halinde ele alınmıştır.

Özben ve Kılıç [43], belirli sıcaklık ve sürelerde kürlenen hibrid tabakalı kompozit plakaların titreşim davranışlarını incelemişler. Farklı kombinasyonlarla elde edilen hibrid kompozit materyallerin doğal frekans değerlerini bulmuşlardır. Çizelge 4.6'da karbon-epoksi kompozit plakanın 6 modda frekans verileri gösterilmiştir.

Çizelge 4.6. Farklı malzemelerden oluşan bazı plakaların doğal frekansları (Hz).

<b>Mod</b>	<b>Alüminyum Plaka</b>	<b>elik Plaka</b>	<b>Karbon-Epoksi Kompozit Plaka</b>
<b>1</b>	47,27	100,48	57
<b>2</b>	48,92	152,62	127
<b>3</b>	148,5	276,52	168
<b>4</b>	277,34	317,41	197
<b>5</b>	-	503,88	265
<b>6</b>	-	526,07	322
<b>7</b>	-	545,78	-
<b>8</b>	-	583,07	-
<b>9</b>	-	777,37	-

## BÖLÜM 5

### SONUÇLAR

Yapılan çalışmada, alüminyum (6061-T6) ve çelik (St-37) malzemelerinin farklı kalınlıklarda (2 mm, 5 mm, 10 mm) TIG kaynak ve sert lehimleme yöntemleriyle birleştirilip mekanik karakteristiklerin incelenmesi amaçlanmıştır. Mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla sertlik testi, çekme testi ve titreşim analizi gerçekleştirilmiş ayrıca kaynak bölgesinden SEM ile elde edilen mikroyapı görüntü analizleri ışığında şu sonuçlara varılmıştır.

1. Mikroyapı ve makroyapı incelemeleri sonucunda TIG kaynak ile yapılan birleştirme işleminde malzeme kalınlığı azaldıkça kaynak bölgesinde çatlama ve kırılma meydana gelmiştir. TIG kaynağına göre daha düşük kaynak ısı girdisi sağlayan sert lehimleme için herhangi bir yapısal deformasyon söz konusu olmamıştır. Daha önce yapılan çalışmalarda yüksek ısı girdisinin malzemelerde çarpılma meydana getirdiğini deney sonuçlarını karşılaştırırken belirtilmiştik. Bu durumun bizim çalışmamızda, düşük kalınlıklara sahip Al-çelik metal çiftlerinde çatlama/kırılmaya sebebiyet verdiği, kalınlık artışıyla etkisini yitirdiği şeklinde savunulabilir.
2. Sertlik testlerine göre her iki kaynak yönteminde de en yüksek sertlik değerleri tüm numuneler için çelik tarafında ITAB'dan, en düşük değerler de alüminyum tarafında ITAB'dan ölçülmüştür.
3. Sert lehimleme için malzeme kalınlığına bağlı sertlik değerlerindeki değişimler göz ardı edilebilecek seviyededir ancak TIG kaynak yöntemi için yüksek ısı girdisi sebebiyle çelik ve Al metalin sertlik değerlerindeki artış ve azalış daha fazla miktarda olmuştur.



4. Tüm numunlerde kopma, kaynağın Al tarafında gerçekleşmiş fakat T5 ile ifade edilen numunede kaynak içi çatlak oluşumundan dolayı kopma burada meydana gelmiştir. TIG kaynak yönteminde kalınlık arttıkça çekme dayanımı artmış, sert lehim uygulamasında da kalınlık arttıkça çekme dayanımı azalmıştır.
5. Titreşim analizinde sabit uzunluktaki numunelerde kalınlığı arttıkça eş değer gerilme ve x yönünde yer değiştirme değerleri de artmıştır ancak 4. modda en yüksek değer okunurken 5. modda azalmıştır. Numunelerin, doğal frekans değerleri bakımından çelik metaline daha yakın bir karakteristiğe sahip olduğu görülmüştür.
6. Elde edilen verilere göre Al ve çeliğin kaynatılması işleminde en uygun kaynak yönteminin TIG kaynak olduğu sonucuna varılmıştır. Ancak bu yöntemde 5 mm'nin üzerinde kalınlığa sahip malzemeler kullanılması daha verimli olacaktır.

## KAYNAKLAR

1. Meriç, C., Köksal, N. S., Erdoğan, M. T., ve Okur, A., “Sürtünme Kaynağı ile Birleştirilmiş Farklı Malzemelerin Kaynak Bölgesinin İncelenmesi”, *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 4 (2): 135-144 (2008).
2. Kaya, Y., “AISI 304 ve AISI 430 Paslanmaz Çeliklerin TIG, MIG ve Örtülü Elektrod Ark Kaynağıyla Birleştirilebilirliğinin Araştırılması”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25 (3): 549-557 (2010).
3. Yürük, A., ve Kahraman, N., “Farklı Alüminyum Alaşımlarının MIG Kaynak Yöntemi İle Kaynak Edilebilirliğinin İncelenmesi”, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4 (3): 894-901 (2016).
4. Kaluç, E., (2004) “Kaynak Teknolojisi El Kitabı (Ergitme Esaslı Kaynak Yöntemleri), Cilt 1”, *TMMOB Makina Mühendisleri Odası*, Yayın No: MMO/2004/356, Ankara (2004).
5. Aslanlar, S., “Kaynak Teknolojisi ve Uygulamaları, Elektrik Ark Kaynak ve Gaz Eritme Kaynak Teknolojisi Ders Notu”, *Sakarya Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü*, 212 s. (2009).
6. Tama, Y. S., “Çelik Yapı Uygulamalarında Kullanılan Kaynak Yöntemleri, Üstünlükleri ve Sakıncalı Yönleri”, *Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü*, Denizli, 1-10 (2011).
7. Jeffus, L., “*Welding: Principles and Applications*”, 8<sup>th</sup> ed., Cengage Learning, Boston, USA (2015).
8. Güleç, Ş., ve Aran, A., “Malzeme Bilgisi Kitabı, Cilt II”, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi Ofset Atölyesi*, 182 s. (1995).
9. Pekgöz, B., Sarıdemir, S., Uygur, İ., ve Aslan, Y., “Sementasyon İşleminin Farklı Çeliklerin Mikroyapı ve Sertlik Değerlerine Etkileri”, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 10 (1): 19-24 (2013).
10. Onaran, K., “Malzeme Bilimi”, *Bilim Teknik Yayın Evi*, İstanbul (2003).
11. Tülbentçi, K., “MIG-MAG Eriyen Elektrod ile Gazaltı Kaynağı”, *Gedik Eğitim Vakfı, Kaynak Teknolojisi Eğitim Araştırma ve Muayene Enstitüsü*, 208 s. (1990).
12. Anık, S., and Dorn L., “Schweisseignung Metallischer Werkstoffe”, *Düsseldorf DVS-Verl*, 204-252 (1995).

13. Taban, E., “5XXX Serisi Alüminyum Alaşımlarının TIG, MIG ve Sürtünen Eleman ile Birleştirme Kaynaklı Bağlantılarının Mekanik ve Mikroyapısal Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi. **Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kocaeli, 1-36 (2004).
14. Anderson, T., “The Advancement of Al within the Welding Fabrication Industry and Its Many Product Design Applications”, **Svetsaren**, 3-5 (2000).
15. Mathers, G., “The Welding of Aluminium and Its Alloys, 1st ed.”, **Woodhead Publishing Limited**, Cambridge, England 1-10 (2002).
16. Anık, S., “Kaynak Tekniği El Kitabı, Yöntemler ve Donanımlar”, **Gedik Eğitim Vakfı, Kaynak Teknolojisi Eğitim Araştırma ve Muayene Enstitüsü**, 250 s. (1991).
17. Groover, M. P., “Fundamentals of Modern Manufacturing, Materials, Processes and Systems, 4<sup>th</sup> ed.”, **John Wiley & Sons, Inc.**, 1025 p. (2010).
18. Eryürek, İ. B., “Kaynak Teknolojisi, 2. Baskı”, Eczacıbaşı Lincoln Electric, Kaynak Tekniği Sanayi ve Ticaret A.Ş., **Askaynak, Veritas Basım Merkezi**, 272 s. (2007).
19. Cary, H. B., “Modern Welding Technology, AWS 2<sup>nd</sup> ed.”, **USA**, 82-85 (1981).
20. Wu, C. S., Ushio, M., and Tanaka, M., “Analysis of The TIG Welding Arc Behavior”, **Computational Materials Science**, 7 (3): 308-314 (1997).
21. Juang, S. C., and Tarng, Y. S., “Process Parameter Selection for Optimising The Weld Pool Geometry in The Tungsten Inert Gas Welding of Stainless Steel”, **Journal of Materials Processing Technology**, 122 (1) 33-37 (2002).
22. Durgutlu, A., Kahraman, N., ve Gülenç, B., “Bakır ve Çelik Levhaların Örtülü Elektrod ve TIG Kaynak Yöntemleri ile Birleştirilmesi ve Arayüzey Özelliklerinin İncelenmesi”, **Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi**, 20 (2): 183-189 (2005).
23. Anık, S., ve Vural, M., “Gazaltı Ark Kaynağı (TIG-MIG-MAG)”, **Gedik Eğitim Vakfı, Kaynak Teknolojisi Eğitim Araştırma ve Muayene Enstitüsü**, Yayın No: 3, (1991).
24. Kalpakjian, S., and Schmid, S., R., “**Manufacturing engineering and technology**”, 6<sup>th</sup> ed., Pearson, Prentice Hall, New Jersey, USA (2009).
25. Kissell, J. R., Pantelakis, S. G., and Haidemenopoulos, G. N., “Chapter 9: Aluminum And Aluminum Alloys”, In: **Handbook of Advanced Materials** Edited by Wessel J. K., John Wiley & Sons, Inc., USA (2004).
26. Woods, R. A., and Robinson, I. B., “Flow of Aluminum Dip Brazing Filler Metals”, **Welding Research Supplement**, 440-445 (1974).

27. Sharma, A., Lee, S. H., Ban, H. O., Shin, Y. S. and Jung, J. P., “Effect of Various Factors on the Brazed Joint Properties in Al Brazing Technology”, *Journal of Welding and Joining*, 34 (2): 30-35 (2016).
28. Gülenç, B., “Difüzyon Sert Lehimlemesi ile Titanyum ve Düşük Karbonlu Çelik Malzemelerin Birleştirilmesi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, *Makine Tasarım ve İmalat Dergisi*, 5 (1): 22-28 (2003).
29. Jajidi, A., “Karbonlu Çelik Malzemelerin Lehim Pastası Kullanarak Fırında Sert Lehimlemesine Etki Eden Parametrelerin Deneysel Olarak Optimizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi. *Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 1-3 (2013).
30. Tusek, J., and Suban, M., “Experimental Research of The Effect of Hydrogen in Argon as a Shielding Gas in Arc Welding of High-Alloy Stainless Steel”, *International Journal of Hydrogen Energy*, 25 (4): 369-376 (2000).
31. Yılmaz, R., ve Barlas, Z., “Paslanmaz Çeliklerin Gazaltı Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmesinde Koruyucu Gaz Kompozisyonunun Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisi”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11 (3): 391-400 (2005).
32. Çelik, A., Özel, A., ve Karadeniz, S., “Farklı Metallerin Kaynağında Gerilme Yığılımlarının İncelenmesi”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2 (1): 55-60 (1996).
33. Kahraman, N., Gülenç, B., ve Akça, H., “Ark Kaynak Yöntemi ile Birleştirilen Ostenitik Paslanmaz Çelik ile Düşük Karbonlu Çeliğin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 17 (2): 75-85 (2002).
34. Şık, A., “Sürtünme Karıştırma Kaynağı ile Birleştirilen Alimünyum Levhaların Eğme ve Yorulma Özelliklerinin İncelenmesi”, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9 (2): 12-17 (2005).
35. Çalığülü, U., Orhan, A., ve Gür, A. K., “Sürtünme Kaynak Yöntemiyle Birleştirilmiş AISI 420/AISI 1010 Çelik Çiftinde Çevresel Hızın Mikroyapı Özelliklerine Etkisi”, *Firat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19 (4): 583-592 (2007).
36. Taban, E., Gould, J. E., and Lippold, J. C., “Dissimilar Friction Welding of 6061-T6 Aluminum and AISI 1018 Steel: Properties and Microstructural Characterization”, *Materials and Design*, 31: 2305-2311 (2010).
37. Zhang, Y., Huang, J., Cheng, Z., Ye, Z., Chi, H., Peng, L., and Chen, S., “Study on MIG TIG Double-Sided Arc Welding-Brazing of Aluminum and Stainless Steel”, *Materials Letters*, 172: 146-148 (2016).

38. Sun, D., Zhang, Y., Liu, Y., Gu, X., and Li, H., “Microstructures and Mechanical Properties of Resistance Spot Welded Joints of 16Mn Steel and 6063-T6 Aluminum Alloy With Different Electrodes”, *Materials and Design*, 109: 596-608 (2016).
39. Durmuş, H., Çömez, N., ve Yurddaşkal, M., “Soğuk metal transfer kaynağı ile birleştirilmiş AA6061-galvanizli çelik sacların karakterizasyonu”, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 8 (4): 835-844 (2017).
40. Hussein, S, A., Tahir, A, S., and Hadzley, A, B., “Characteristics of aluminum-to-steel joint made by friction stirwelding: A review”, *Materials Today Communications*, 5: 32-49 (2015).
41. Sun, E., ve Genç, C., “Büküm Alüminyum Plakanın Dinamik Yükler Altındaki Sayısal Ve Deneysel Dinamik Cevap Analizleri”, *V. Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı*, Kayseri, 1-19 (2014).
42. Kuyumcuoğlu, A., “Çalışma Şartlarında Modal Analiz”, Yüksek Lisans Tezi. *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 35-100 (2008).
43. Özben, T., ve Kılıç, H., “Belirli sıcaklık ve sürelerde kürlenmiş hibrid tabakalı kompozit plakalarının titreşim davranışlarının incelenmesi”, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 6 (1): 61-72 (2015).

## ÖZGEÇMİŞ

Aydın KAN 1991 yılında Antalya’da doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. 75. Yıl Cumhuriyet Lisesi Fen Bilimleri Bölümü’nden mezun oldu. 2009 yılında Bülent Ecevit Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü’nde öğrenime başlayıp 2015 yılında mezun oldu. 2015 yılında Kdz. Ereğli’de Emin Makina şirketinde makine mühendisi olarak mesleğe başladı. 2016 yılında Akersan Endüstri Makina şirketine girmesiyle çalışma hayatına Sakarya’da devam etti. 2015 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda başlamış olduğu yüksek lisans programına halen devam etmektedir.

### **ADRES BİLGİLERİ**

Adres : Gaziler Mahallesi, 281 Sokak, No:65

Kepez / ANTALYA

Tel : +90 (538) 653 28 27

E-posta : aydnkan09@gmail.com