

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TAM OTOMATİK METAL İNERT GAZ YÖNTEMİ İLE ALÜMİNYUM ALAŞIMI
YAKIT DEPOLARININ İMALATINDA KAYNAK PARAMETRELERİNİN
ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

CAN CİVELEK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
İMAL USULLERİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DOÇ.DR. TOLGA MERT**

İSTANBUL, 2019

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TAM OTOMATİK METAL İNERT GAZ YÖNTEMİ İLE ALÜMİNYUM ALAŞIMI
YAKIT DEPOLARININ İMALATINDA KAYNAK PARAMETRELERİNİN
ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

Can CİVELEK tarafından hazırlanan tez çalışması 23.05.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç.Dr. Tolga MERT
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç.Dr. Tolga MERT
Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Binnur SAĞBAŞ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa TÜMER
Kocaeli Üniversitesi

ÖNSÖZ

Tez çalışmasında alüminyum alaşımı yakıt tankı imalatında kullanılan MIG kaynak parametrelerinin etkileri incelenmiştir. Çalışmanın konusunun belirlenmesinde ve çalışmada bilgi, tecrübe ve yardımlarını esirgemeyen hocalarım Prof. Dr. Selahattin YUMURTACI ve danışman hocam Doç. Dr. Tolga MERT'e teşekkürü borç bilirim. Işık Üniversite'sinden Sadettin OZAN'a tez çalışması kapsamında testlerin gerçekleştirilmesi için verdiği emek ve yardımlarından dolayı teşekkürlerimi sunuyorum.

Lisans ve yüksek lisans öğrenimim boyunca arkadaşlığı ve desteği için Öğr. Gör. Olcay TÜRKOĞLU'na, hayatın her alanında ve her zaman yanımda olan Burçin YILDIRIM'a, son olarak da beni yetiştiren ablam Cansu CİVELEK, babam Muammer CİVELEK ve annem Hatice CİVELEK'e sonsuz teşekkürler.

Mayıs, 2019

Can CİVELEK

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vi
KISALTMA LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT.....	xiii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	2
1.3 Hipotez	3
BÖLÜM 2	
TEORİ.....	4
2.1 Gazaltı Ark Kaynağı	4
2.1.1 Gazaltı Metal Ark Kaynağı (GMAK)	5
2.1.2 MIG Kaynağı Donanımı ve Prensibi.....	5
2.1.3 MIG Kaynağı Prensibi ve Avantajları-Dezavantajları.....	7
2.2 Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları.....	9
2.2.1 Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması	9
2.2.2 Alüminyum Alaşımlarına Uygulanan Isıl İşlemler	12
2.2.3 Alüminyum ve Alüminyum Alaşımlarının Kaynağı	13
2.3 Yakıt Tankı Tasarımı	15

BÖLÜM 3

DENEYSEL TASARIM ve DENEYSEL ÇALIŞMA.....	16
3.1 Yakıt Tankı Geometrisi ve Malzemesi	16
3.1.1 Yakıt Tankı Geometrisi ve Özellikleri	16
3.1.2 Yakıt Tankı Malzemesi	17
3.2 Kaynak İşlemi	19
3.2.1 Kaynak Parametreleri	19
3.2.2 Kaynak Makinası	20
3.2.3 Tel Elektrod	21
3.2.4 Koruyucu Gaz	22
3.3 Deneysel Tasarım	23
3.3.1 Taguchi Yöntemi	25
3.3.2 ANOVA Yöntemi ve Varyans Analizi.....	27
3.4 Mekanik Testler	28
3.4.1 Sertlik Ölçümü.....	29
3.4.2 Çentik Darbe Deneyi	32
3.4.3 Enine Çekme Deneyi	35
3.4.4 Eğme Testi.....	37

BÖLÜM 4

DENEY SONUÇLARI.....	41
4.1 Kaynak Numuneleri ve Görsel İnceleme	41
4.2 Sertlik Ölçümü.....	43
4.2.1 Kaynak Dikişi Sertlik Ölçüm Sonuçları	44
4.2.2 ITAB Sertlik Ölçüm Sonuçları.....	46
4.3 Çentik Darbe Deneyi	49
4.4 Enine Çekme Deneyi	51
4.5 Eğme Deneyi	56

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER	59
KAYNAKLAR	62
EK-A.....	65
A-1 Gerilme Birim Şekil Değişirme Grafikleri.....	65
ÖZGEÇMİŞ.....	69

SİMGE LİSTESİ

A	Amper
Al	Alüminyum
Ar	Argon
B	Kalınlık
C	Karbon
C	Celcius
cm ³	Santimetreküp
CO ₂	Karbondioksit
Cr	Krom
Cu	Bakır
dak	Dakika
ε	Birim şekil değiştirme
Fe	Demir
g	Gram
He	Helyum
Hz	Hertz
J	Joule
K	Kelvin
L	Uzama, uzunluk
lt	Litre
m	Metre
Mg	Magnezyum
mm	Milimetre
Mn	Mangan
MPa	Megapaskal
n	Deney sayısı
N	Newton
Ni	Nikel
R _{p0,2}	Akma Dayanımı
R _m	Çekme Dayanımı
s	Standart sapma
s ²	Varyans
Sn	Kalay
SN _L	Sinyal gürültü oranı- düşük
SN _T	Sinyal gürültü oranı- yüksek

SN_U	Sinyal gürültü oranı- nominal
Ti	Titanyum
V	Volt
W	Wolfram
W	Watt
w	Genişlik
$\bar{y}$	Performans karakteristiği
Zn	Çinko
σ	Gerilme
Ω	Ohm
°	Derece



KISALTMA LİSTESİ

DC	Doğru akım
ITAB	Isı tesiri altındaki bölge
GMAK	Gazaltı metal ark kaynağı
MAG	Metal aktif gaz kaynağı
MIG	Metal inert gaz kaynağı
SIGMA	Shielded inert gas metal arc
S/N	Sinyal gürültü oranı
TIG	Tungsten inert gaz kaynağı

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1 MIG kaynağı donanımı [9].....	6
Şekil 2. 2 Darbeli akım	14
Şekil 3. 1 Yakıt tankının şasiye montajı	17
Şekil 3. 2 Cloos Qineo Pulse 350 kaynak makinası	20
Şekil 3. 3 Otomatik kaynak makinası tertibatı	21
Şekil 3. 4 Argon gazı (koruyucu gaz tüpü)	23
Şekil 3. 5 Mekanik testler için numune alma yerleri	28
Şekil 3. 6 Çekme numunelerinin lazer kesim ile çıkartılması	29
Şekil 3. 7 Sertlik ölçümü için kesilen numuneler.....	30
Şekil 3. 8 Sertlik ölçümü yerleri	30
Şekil 3. 9 Soğuk bakalite alınmış 1 nolu sertlik ölçme numunesi	31
Şekil 3. 10 Zımpara ve parlatma cihazı.....	31
Şekil 3. 11 Wilson sertlik ölçüm cihazı	32
Şekil 3. 12 V-çentik darbe testi numunesi [37]	33
Şekil 3. 13 Çentik darbe test numuneleri.....	33
Şekil 3. 14 Çentik darbe test cihazı	34
Şekil 3. 15 Çekme testi numunesi [39].....	36
Şekil 3. 16 Çekme deneyi cihazı	36
Şekil 3. 17 Çekme testi numuneleri	37
Şekil 3. 18 Kep eğme testi numunesi boyutları [40]	38
Şekil 3. 19 Kök eğme testi numunesi boyutları [40]	38
Şekil 3. 20 Enine eğme test cihazı	39
Şekil 3. 21 Enine eğme test numunesinin yerleştirilmesi	39
Şekil 4. 1 Kaynak dikişi sertliğinin S/N oranı için etki grafiği	45
Şekil 4. 2 ITAB sertliğinin S/N oranı için etki grafiği	47
Şekil 4. 3 Darbe dayanımının S/N oranı için etki grafiği	50
Şekil 4. 4 2 numaralı numunelerin çekme deneyi.....	52
Şekil 4. 5 9 numaralı numunelerin çekme deneyi.....	53
Şekil 4. 6 Maksimum çekme dayanımının S/N oranı için etki grafiği	54
Şekil 4. 7 Doğrulama numunelerinin çekme deneyi	56
Şekil 4. 8 Eğme testi sonrası 1 nolu numuneler	56
Şekil 4. 9 Eğme testi sonrası 2 nolu numuneler	57
Şekil 4. 10 Eğme testi sonrası 3 nolu numuneler	58

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2. 1 Alüminyum ve demir özellikleri [16]	9
Çizelge 2. 2 Döküm alaşımlarının sınıflandırılması [18]	10
Çizelge 2. 3 Dövme alaşımlarının sınıflandırılması [19].....	10
Çizelge 2. 4 Alüminyum alaşımlarında kullanılan kaynak yöntemleri [20, 24]	13
Çizelge 3. 1 Yakıt tankı özellikleri	16
Çizelge 3. 2 EN AW-5754 fiziksel ve mekanik özellikleri [29]	17
Çizelge 3. 3 EN AW-5754 kimyasal bileşimi [30]	18
Çizelge 3. 4 Referans kaynak parametreleri.....	19
Çizelge 3. 5 Kaynak makinası özellikleri	20
Çizelge 3. 6 AlMg5 S Al 5356 mekanik özellikleri [31].....	22
Çizelge 3. 7 AlMg5 Tel elektrod kimyasal bileşimi [31].....	22
Çizelge 3. 8 Faktörlerin (kaynak parametrelerinin) tasarım seviyeleri	24
Çizelge 3. 9 L9 Taguchi ortogonal dizisi.....	25
Çizelge 3. 10 S/N oranı ve kalite karakteristikleri [33]	26
Çizelge 4. 1 Gerçekleşen akım ve gerilim değerleri.....	41
Çizelge 4. 2 Akım için sinyal gürültü oranına (S/N) göre cevap tablosu.....	42
Çizelge 4. 3 Gerilim için sinyal gürültü oranına (S/N) göre cevap tablosu	43
Çizelge 4. 4 Kaynaklı numunelerin sertlik ölçümleri	44
Çizelge 4. 5 Kaynak dikişi sertliği için S/N oranına göre cevap tablosu.....	44
Çizelge 4. 6 Kaynak dikişi sertlik ölçümü için varyans analizi	46
Çizelge 4. 7 ITAB sertliği için S/N oranına göre cevap tablosu	46
Çizelge 4. 8 ITAB sertlik ölçümü için varyans analizi	48
Çizelge 4. 9 Optimum seviyelerle ITAB sertlik değeri için tahmini S/N oranı	48
Çizelge 4. 10 Kaynaklı numunelerin çentik darbe testi sonuçları	49
Çizelge 4. 11 Darbe dayanımı için S/N oranına göre cevap tablosu	49
Çizelge 4. 12 Darbe dayanımı için varyans analizi.....	51
Çizelge 4. 13 Kaynaklı numunelerin çekme testi sonuçları.....	52
Çizelge 4. 14 Maksimum çekme dayanımı için S/N oranına göre cevap tablosu	53
Çizelge 4. 15 Çekme testi için varyans analizi	55
Çizelge 4. 16 Optimum seviyelerle maksimum çekme dayanımı tahmini	55
Çizelge 4. 17 Çekme deneyi için doğrulama testi	55
Çizelge 4. 18 Eğme deneyi sonuçları	57

TAM OTOMATİK METAL INERT GAZ YÖNTEMİ İLE ALÜMİNYUM ALAŞIMI YAKIT DEPOLARININ İMALATINDA KAYNAK PARAMETRELERİNİN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Can CİVELEK

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Tolga MERT

Alüminyum ve alaşımları endüstride çok sık kullanılan ve kullanımı gittikçe artan malzemelerdir. Düşük yoğunluk, hafiflik ve korozyon dayanımı ve estetik görünüm özellikleri yanısıra uygun maliyet ve yüksek dayanım özellikleri ile özellikle otomotiv sektörü olmak üzere bir çok endüstri uygulamasında kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında alüminyum yakıt tanklarında kullanılan EN AW 5754 alüminyum alaşımının kaynağında tercih edilen metal inert gaz yönteminde, seçilen kaynak parametrelerinin mukavemet özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. MIG kaynak yöntemiyle, S Al 5356 ilave tel malzemesi ve argon koruyucu gazı kullanılarak darbeli akım kaynağıyla elde edilen numunelerin kaynağında dört bağımsız değişken kaynak parametresi olarak seçilmiştir. Kaynak hızı, tel besleme hızı, frekans ve tel besleme hızı sapmasının oluşturduğu dört faktörün üç farklı seviyede seçilmesiyle oluşturulan deney tasarımı kullanılarak parametrelerin mekanik özellikler üzerindeki etkileri incelemeye tabi tutulmuştur. Toplam 9 farklı deney seti hazırlanmış, testler standartlara uygun olarak yapılmıştır. Taguchi yöntemi ile oluşturulan deney setleriyle enine çekme deneyi, enine eğme testi, Charpy çentik darbe testi ve sertlik ölçümleri yapılarak her bir kaynak parametresinin etkisi ve deneysel tasarımda oluşturulan numunelerin mekanik özellikleri karşılaştırılmıştır. Testlerden alınan sonuçlar doğrultusunda Taguchi yöntemi kullanılarak yakıt tanklarının gövde malzemesi olarak kullanılan 2,5 mm kalınlığındaki sac malzeme için en uygun kaynak parametreleri bulunmuş, ANOVA varyans analiziyle

faktörlerin etki dereceleri Taguchi yöntemiyle karşılaştırılmış ve doğrulama testleri gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: MIG kaynağı, kaynak parametreleri, alüminyum yakıt deposu, Taguchi, Anova



**EXAMINING THE EFFECTS OF WELDING PARAMETERS IN
MANUFACTURING OF ALUMINUM ALLOY FUEL TANKS WITH AUTOMATIC
METAL INERT GAS METHOD**

Can CİVELEK

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assoc. Prof. Dr. Tolga MERT

Aluminium and its alloys are materials which have been used ever increasingly in industry. Besides its properties like low density, aesthetic appearance, lightness and corrosion resistance, the lower cost and high strength makes it a further desirable material for several industrial applications, especially for automotive industry. In this thesis study, EN AW 5754 aluminium alloy, which is used in aluminium fuel tanks, has been investigated. The effects of the selected welding parameters in metal inert gas method which have been preferred for the welding of the aluminium alloy and fuel tank manufacturing, on mechanical properties have been investigated. Four independent welding parameters have been selected to obtain samples welded with 5356 welding wire using pulsed current and argon shielding gas. The experiments have been designed by choosing three different levels for these four parameters, namely welding speed, wire feed speed, frequency and the deviation of wire feed speed. By using this experimental design, the effects of the parameters on the mechanical properties have been subjected to the investigation. 9 experimental sets have been prepared in total and all the tests have been performed in accordance with the standards. By using the experimental sets prepared with the Taguchi method, transverse tensile tests, transverse bending tests, Charpy impact tests and hardness measurements have been performed; then the effects of different levels of each welding parameter on the

mechanical properties of the samples have been compared. In the light of the results taken from the tests, the most appropriate welding parameters for the 2.5 mm thick sheet metal material, used as the body material of the fuel tanks have been found by using the Taguchi method and the verification tests have been performed.

Keywords: MIG welding, welding parameters, aluminum fuel tank, Taguchi, Anova



1.1 Literatür Özeti

Alüminyum ve alaşımları, yüksek dayanım, düşük yoğunluk ve korozyon dayanımı özellikleri ve de uygun maliyetleri sebebiyle özellikle otomotiv sektörü olmak üzere, savunma sanayi ve havacılık sektörlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Günümüzde güvenlik, dayanım, hafiflik ve bu şartlara göre ucuzluk sağlayabilen malzemelere olan yönelimle birlikte hafif ve ağır ticari araçlarda alüminyum ve alaşımlarının kullanımı gitgide artmaktadır. Otomotiv sektöründe maliyet azaltma çalışmalarıyla birlikte ağırlık azaltma çalışmalarına da verilen önem, alüminyum alaşımlarının tercih edilmesinde büyük rol oynamaktadır. Ağırlık azaltma genellikle daha küçük parçalar tasarlayarak veya malzeme değişikliği yapılarak; yoğunluğu daha fazla olan malzemeler yerine magnezyum, titanyum ve alüminyum alaşımları gibi çeliklere göre daha hafif malzemeler kullanılarak da sağlanabilmektedir [1].

Ağır ticari kamyonların çoğunda da maliyet, hafiflik ve dayanım özelliklerinden dolayı alüminyum yakıt tankları kullanılmaktadır. Çoğu ağır ticari araç ve otobüs firmalarında kullanılan yakıt tankının gövdesinde de 5XXX serisi EN AW-5754 alüminyum sac kullanılmaktadır. Dikdörtgen geometrili yakıt tanklarının içinde aynı malzemeden yapılan iki adet dalgakıran bulunur. Dalgakıranlar yakıt tankı içindeki çalkalanmadan kaynaklı yüklerin etkisini azaltmak ve tankın şasi ile bağlantısında kullanılan braket ve kuşakların temas noktalarında rijitlik sağlamak amacıyla kullanılır. Gövdenin her iki yanında D formunda kapaklar bulunur. Yakıt tankının çevreye açık olması ve de şasi üstünden iletilen titreşim ve yükler sebebiyle, tankın malzemesi, tasarımı, birleştirme

yöntemi güvenlik ve kalite açısından ticari araç firmaları için büyük önem taşımaktadır. Tek bir alüminyum düz sac parçanın tank formuna bükülmesi sonrasında gövde boyunca kaynak işlemiyle birleştirme yapılır. Gövdenin birleşim kısmı görsellik ve dış etkilerden daha az etkilenmesi sebebiyle yakıt tankının şasiye yakın olan arka kısmında yer almaktadır. Yapılan birleştirme işlemi ile yakıt tankının araç ömrü boyunca deforme olmaması, görsel olarak estetik görünmesi, sızdırmaz ve çözölemeyen bir bağlantı elde edilmesi beklenmektedir. Bu birleştirme ise sadece kaynak ile elde edilebilmektedir.

İki veya daha fazla metalik malzemeyi ısı, basınç veya hem ısı hem basınç kullanarak ilave veya yardımcı malzemeler kullanılarak yapılan birleştirme işlemine kaynak denmektedir [2]. Kaynak, havacılık, enerji, savunma sanayi ve otomotiv başta olmak üzere birçok endüstri alanında imalat ve tamir amaçlı olarak sıklıkla kullanılmaktadır. Uygulama yerine, sıklığına, birleştirilecek parçaların malzemesine ve uygulama alanına göre birçok farklı kaynak metodu mevcut bulunmaktadır. Kaynak, birleştirme yöntemleri arasında metalleri birleştirmenin en ucuz ve etkili yolu olmaktadır. Özellikle yüksek kalitede çıktı vermesi ve düşük maliyetli olması sebebiyle gazaltı metal ark kaynağı (GMAK) sıklıkla tercih edilmektedir. Gazaltı metal ark kaynağı kullanılan gaza göre ikiye ayrılmaktadır. Asal (soy) gazların kullanıldığı kaynak yöntemine metal inert gaz kaynağı (MIG), aktif gazların kullanıldığı kaynak yöntemine ise metal aktif gaz (MAG) kaynağı adı verilmiştir [3]. Alüminyum alaşımı malzemelerin kaynağında MIG kaynağı kullanılmaktadır.

1.2 Tezin Amacı

Bu tez çalışmasında 5XXX serisi alüminyum alaşımı olan EN AW-5754 alüminyum sac malzemesinden imal edilen yakıt tanklarının gövde kaynağında kullanılan parametrelerin mekanik mukavemet üzerine etkileri incelenmiştir. Alüminyum yakıt tankı imalatı yapan firmaların da kullandığı kaynak parametreleri göz önünde bulundurularak L9 Taguchi ortogonal tablosu ile deney tasarımı oluşturulmuş ve yapılan tahribatlı ve tahribatsız testlerle kaynak parametrelerinin mukavemet değerleri üzerine etkileri incelenmiş ve optimum kaynak parametreleri belirlenmeye çalışılmıştır. Deney tasarımı neticesinde çıkartılan parametrelerle yapılan kaynaklardan sonra standartlara uygun olarak deney numuneleri işlenmiş; tahribatlı olarak çekme testi, sertlik testi, çentik-darbe testi ve eğme testi; tahribatsız olarak görsel inceleme yapılmıştır.

1.3 Hipotez

Alüminyum alaşımı EN AW-5754 sac malzeme ile imal edilen yakıt tanklarında kullanılan gövde kaynak parametrelerinin mukavemet üzerine etkileri incelenmiş, 2,5 mm kalınlığındaki sac malzemenin birleştirilmesinde kullanılan kaynak hızı, tel besleme hızı, darbe frekansı ve tel besleme değişim hızının ağırlıklı etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Alüminyum alaşımlarının kaynağında kullanılan MIG kaynak yöntemi ile imal edilen yakıt tanklarında kaynak kalitesinde iyileştirme yapılabilmesi için kaynak parametrelerinin seçiminin kaynak dikişi ve mekanik özellikleri üstündeki etkileri deneysel yöntemlerle açıklanmaya çalışılmıştır.



2.1 Gazaltı Ark Kaynağı

Kaynak banyosunu havanın olumsuz etkilerinden korumak için koruyucu atmosfer oluşturmak gerekmektedir. İlk olarak 1926 yılında Alexandar yöntemi olarak ortaya çıkmış olan bu yöntemde metanol gazı ile kaynak dikişi korunmuş; daha sonra kaynak bölgesini korumak için hidrojen gazının kullanıldığı Ark Atom yöntemi uygulanmıştır [4]. 1928 yılında da Arcogen yönteminde elektrot ve oksijen-asetilen aleviyle birlikte korunma sağlanmıştır fakat günümüzde Arcogen ve Alexander yöntemleri artık kullanılmamaktadır [5].

Koruyucu gaz olarak asal bir gazın kullanılması 1920lerin sonunda başlamıştır. 1920lerin sonlarında koruyucu gaz olarak H.M. Hobert tarafından helyum, P.K. Devers tarafından ise argon kullanılmıştır [6]. 1942 yılında Linde Air Products şirketinde argon ve helyum gazlarının ikisi de kullanılarak hafif metal ve alaşımlarının kaynağı yapılmıştır [5].

Günümüzde kullanılan gazaltı kaynak yöntemleri elektrot malzemesi ve koruyucu gaza göre aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

Ergimeyen elektrotla yapılan gazaltı kaynağı;

- Ergimeyen iki elektrotla yapılan gazaltı kaynağı (ark atom kaynağı)
- Ergimeyen bir elektrotla yapılan gazaltı kaynağı (TIG veya plazma arkı)

Ergiyen elektrotla yapılan gazaltı kaynağı;

- Ergiyen elektrotla soygaz atmosferi altında gazaltı kaynağı (MIG)

- Ergiyen metal elektrod ile aktif gaz altında yapılan gazaltı kaynağı (MAG) [4].

2.1.1 Gazaltı Metal Ark Kaynağı (GMAK)

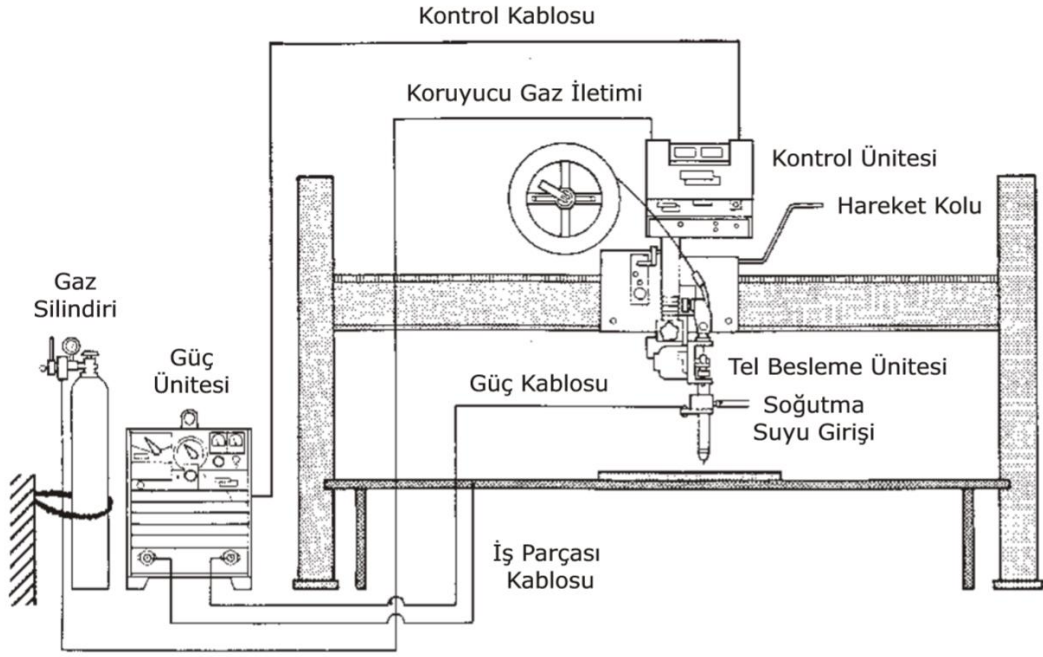
Gazaltı metal ark kaynağı 1948 yılında Air Reduction şirketi sponsorluğunda Battelle Memorial Enstitü'sünde başarıyla geliştirilmiştir. Bu yöntemde tungsten ark kaynağına (TIG) benzer olarak koruyucu gaz kullanımından faydalanılmasıyla birlikte, ergiyen bir elektrot kullanılmıştır [6]. Gazaltı metal ark kaynağı olarak (GMAK) adlandırılan bu yöntemde ergiyen elektrod ark taşınmasını sağlar ve birleştirilecek metalle genellikle aynı bileşime sahiptir [5].

Gazaltı metal ark kaynağı kullanılan koruyucu gazın cinsine göre ikiye ayrılır; inert (soy) gazların kullanıldığı ergiyen elektrotlu kaynak yöntemine metal inert gaz kaynağı (MIG), aktif gazların kullanıldığı ergiyen elektrotlu kaynak yöntemine ise metal aktif gaz (MAG) kaynağı adı verilmiştir.

2.1.2 MIG Kaynağı Donanımı ve Prensibi

Sürekli beslenen ve dolgu metali görevi gören elektrod ve metal iş parçası arasında ark oluşturan ve inert (soy) gaz atmosferi altında yapılan gazaltı kaynak türüne MIG kaynağı denmektedir [7]. Aynı zamanda SIGMA (Shielded Inert Gas Metal Arc) kaynağı olarak da bilinmektedir [8].

Ark boyunun kaynakçı yerine kaynak makinası ile kontrol edildiği yöntem "Yarı Otomatik Kaynak Yöntemi"; aynı zamanda koruyucu gazın da kaynak makinası tarafından otomatik olarak kontrol edilebildiği "Tam Otomatik Kaynak Yöntemi" adı verilen MIG kaynak yönteminin donanımı Şekil 2.1'de gösterilmiştir [9].



Şekil 2.1 MIG kaynağı donanımı [9]

MIG kaynağı donanımı dört temel gruba ayrılmaktadır:

- Kaynak torcu ve kablo grubu
 - Kaynak torcu
 - Bağlantı kabloları ve hortumları
 - Su sirkülasyon hortumu (su soğutmalı torçlarda)
- Elektrot besleme ünitesi
 - Elektrod ünitesi
 - Elektrod besleme ünitesi
- Güç ünitesi
 - Kaynak güç ünitesi
 - Primer güç girişi
- Koruyucu gaz ünitesi
 - Kontrollü koruyucu gaz iletimi
 - Koruyucu gaz silindiri

Kaynak torcu ve kablo grubunun temel üç görevi vardır. Güç ünitesinden gelen akım kablosunun, ergiyen elektrodun kaynak torcundan iletimi ve de ark bölgesine koruyucu gazın iletilmesi kaynak torcunun görevleridir. Kaynak işlemi otomatik kaynak makinası tarafından başlatıldığında veya manuel kaynak esnasında kaynak torcunun tetiğine basıldığı zaman, ark oluşumu için iş parçasına koruyucu gaz, güç ve elektrod iletilir.

Ergiyen elektrod tel besleme mekanizması ile tel makarasından kaynak torcu içindeki kontak tüpüne (kontak borusuna) iletilir. Aynı anda iş parçasına ve elektroda kaynak makinasının kutupları bağlanır ve ergiyen elektrod ve iş parçası arasından ark oluşumu sağlanır. Alüminyum ve alaşımları kaynak edilirken kaynak banyosundaki oksit tabakasının giderilebilmesi için pozitif kutbun elektroda bağlanması, yani ters kutuplama yapılması gereklidir [10]. Burada ergiyen elektrod enerji taşıma görevini üstlenirken aynı zamanda da kaynak için gerekli olan ilave metal görevini de gerçekleştirmiş olmaktadır. Ergiyen elektrod tel besleme ünitesi tarafından önceden belirlenmiş bir hızla sürekli beslenmektedir.

MIG kaynağı yapılırken üç kalem tüketim girdisi bulunmaktadır. Kaynak ilave metali görevini üstlenen elektrod, enerji ve de koruyucu gaz kullanımı ile kaynak işlemi gerçekleştirilir. Koruyucu gazın doğru bir şekilde seçilmesi kaynak kalitesi açısından çok kritik bir rol oynamaktadır [11]. Koruyucu gazın ana işlevi; tüm ark kaynağı yöntemlerinde olduğu gibi oksijen ve diğer atmosfer gazlarının ergiyik kaynak metalinin üstündeki olumsuz etkilerinden korumak ve kaynak hatalarının engellenmesidir [12]. MIG kaynağında argon ve helyum soy gazları kullanılmasına rağmen, genel olarak en fazla kullanılan gaz argondur. Bakır, titanyum, magnezyum ve alüminyum alaşımlı metallerde koruyucu gaz olarak 100% argon kullanılır. Argon MIG/MAG kaynağında kullanılan gaz bileşimlerinin de ana bileşenidir.

2.1.3 MIG Kaynağı Prensibi ve Avantajları-Dezavantajları

MIG kaynağının diğer kaynak yöntemlerine göre avantajları ve dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

Demir esaslı ve demirdışı malzemelerde de kullanılabilen MIG kaynağı, her pozisyonda kullanılabildiğinden ve düşük maliyetli yüksek kalitede kaynak yapabilme kabiliyetine

sahip olduğundan dolayı çok farklı alanlarda tercih edilmekte ve de uygulanabilmektedir. Taşınabilir ve hafif olması sayesinde şantiyelerde dahi kullanılmaktadır. Tozaltı ark kaynağı gibi diğer yöntemlerle kıyaslandığında birçok üstünlüğü bulunmaktadır. Elektrod, kaynak makinası tarafından sürekli beslenmektedir ve örtülü elektrod ark kaynağında olduğu gibi yeni elektrod kullanımı için ek süre harcanmadığı için daha hızlı bir kaynak yöntemi olmaktadır. Aynı zamanda cüruf oluşmadığından dolayı cüruf temizleme işlemi yapılmasına da gerek kalmamaktadır. Yine örtülü elektrod ark kaynağına göre daha küçük çaplı elektrodlar kullanıldığı için metal yığılma hızı daha yüksektir ve elektrod verimliliğinin yüksek olması sebebiyle kaynak metalinin birim maliyeti daha düşük olmaktadır. Derin nüfuziyet sağlanabildiği için boyutsal olarak küçük köşe kaynağında düzgün bir kök nüfuziyeti sağlamaktadır. İnce malzemelerin birleştirilmesinde TIG kaynak yöntemiyle birlikte MIG kaynağı da tercih edilmektedir. Robotik, yarı otomatik ve otomatik kaynak sistemlerinin kullanımı kolaydır. Kaynak dikişinin görünümü çok iyi olduğu için, estetik kaygıların öne çıktığı alanlarda sıkça tercih edilmektedir.

Her imal usulünde olduğu gibi kaynak yöntemlerinin de belirli sınırlamaları mevcuttur. MIG kaynağının da dezavantajları ve sınırlamaları olduğu için kaynak yöntemi seçilirken avantajları ve üstünlükleriyle birlikte göz önünde bulundurulmalıdır. Örtülü elektrod ark kaynağına göre görece karmaşık ve pahalı ekipmanlara sahiptir. Ulaşılması zor bölgelerde kaynak işlemi yaparken kaynak torcunun iş parçasına yakın olması gerektiği için kaynak işlemi daha zor yapılmaktadır. Koruyucu gaz kullanılması gerektiği için gaz korumasını engelleyecek iklimsel koşullar ve hava akımlarına önlem almadan kaynak yapılamamaktadır. Farklı transfer modlarında kullanımı sınırlı kalmaktadır [11]:

- MIG kaynağının kısa devre metal transfer modunun düşük ısı girdisi karakteristiği kullanımı ince malzemelerle sınırlı tutmaktadır.
- MIG kaynağının eksenel sprej transferdeki yüksek ısı girdisi nedeniyle kullanımı genellikle kalın malzemelerle ve kaynak işlemi yatay pozisyonla sınırlar.
- Argon temelli koruyucu gazların eksenel sprej ve darbeli transfer modlarındaki kullanımı, 100% karbondioksit (CO₂) kullanımına nazaran daha pahalıdır.

2.2 Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları

Günümüzde, alüminyum ve alüminyum alaşımları çeşitli endüstrilerde sıklıkla kullanılır ve önemli bir yere sahiptirler. Düşük yoğunluk ve yüksek dayanıma sahip olan alüminyum ve alüminyum alaşımları havacılık ve otomotiv sektöründe geniş ölçüde kullanılmaktadır [13]. Kalay, kurşun, çinko ve bakırın da içinde bulunduğu diğer demirdışı metallerle göre alüminyumun hacimsel olarak kullanımı daha fazladır. 1825 yılında Hans Christian Oersted ilk kez küçük bir miktar alüminyum üretmiş, 1854 yılında ise Henry Deville ise alüminyumun ticari olarak ilk üretim prosesini oluşturmuştur [14]. Alüminyumun ilk olarak ticari üretimi 19. yüzyıl sonlarında olmasına ve endüstride diğer metallerle göre daha sonradan kullanılmasına rağmen endüstride geniş bir kullanım alanına sahip olmuştur [15].

Alüminyum ve alaşımlarının hafiflik, mekanik özellikler ve maliyeti göz önünde bulundurulduğunda demir esaslı malzemelere göre birçok uygulama alanında daha uygun bulunduğu görülmektedir. Özellikle korozyon direnci ve yoğunluğu tercih edilmesinde büyük rol oynamaktadır. Çizelge 2.1’de alüminyum ve demirin özellikleri karşılaştırılmıştır:

Çizelge 2.1 Alüminyum ve demir özellikleri [16]

Özellikler	Alüminyum	Demir
Atom Ağırlığı [g/mol]	26,98	55,84
Yoğunluk [g/cm ³]	2,7	7,87
Elastiklik Modülü [MPa]	67x10 ³	210x10 ³
Genleşme Katsayısı [1/K]	24x10 ⁻⁶	12x10 ⁻⁶
Ergime Noktası Sıcaklığı [°C]	660	1536
Isıl İletkenlik [W/m °K]	235	75

2.2.1 Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması

Alüminyum da diğer metaller gibi alaşım olarak kullanılmakta ve alaşım elementlerine göre mekanik, fiziksel ve kimyasal özellikleri değişmektedir. Alüminyum alaşımlarında en

sık kullanılan alaşım elementeri magnezyum, bakır, mangan, silisyum ve çinko olarak sıralanabilir. Alüminyum alaşımlarının sınıflandırması genel olarak döküm ve dövme alaşımları olarak yapılır. Isıl işlem yapılabilir ve ısıl işlem yapılamaz alaşımlar olarak iki ana sınıf için de iki alt gruba ayrılmaktadırlar [17]. Döküm alüminyum alaşımlarının gösterimi Çizelge 2.2’de verilmiştir [18]

Çizelge 2.2 Döküm alaşımlarının sınıflandırılması [18]

Sınıf	Ana alaşım elementi
1xxx	Saf alüminyum, maksimum %99.00
2xxx	Bakır (Cu)
3xxx	Bakır (Cu) ve/veya Mangan (Mn) eklenmiş Silisyum (Si)
4xxx	Silisyum (Si)
5xxx	Magnezyum (Mg)
6xxx	Kullanılmayan seriler
7xxx	Çinko (Zn)
8xxx	Kalay (Sn)
9xxx	Diğer elementler

Çizelge 2.3’de 5XXX serisi EN AW-5754 alüminyum alaşımının da bulunduğu dövme alaşımlarının sınıflandırması verilmiştir.

Çizelge 2.3 Dövme alaşımlarının sınıflandırılması [19]

Sınıf	Ana Alaşım Elementi	Özellikler
1xxx	%99’dan fazla alüminyum bulunur	Isıl işlem uygulanamaz. Genellikle elektrik ve kimya sanayiinde kullanılır.
2xxx	Bakır (Cu)	Isıl işlem uygulanabilir. Genellikle havacılık sanayiinde kullanılır.
3xxx	Mangan (Mn)	Isıl işlem uygulanamaz. İyi korozyon direnci, kaynaklanabilirlik ve şekil verilebilirlik özelliklerine sahiptir. Mimari ve genel kullanıma uygundur.

Çizelge 2.3 Dövme alaşımlarının sınıflandırılması [19] (devamı)

Sınıf	Ana Alaşım Elementi	Özellikler
4xxx	Silisyum (Si)	Isıl işlem uygulanamaz. İyi döküm kabiliyeti ve korozyon direncine sahiptir. Genellikle lehim ve kaynak sarf malzemesi olarak kullanılır.
5xxx	Magnezyum (Mg)	Isıl işlem uygulanamaz. İyi kaynaklanabilirlik ve korozyon direncine sahiptir. Deniz ortamına maruz kalan birçok yerde kullanılabilir.
6xxx	Silisyum-Magnezyum (Si-Mg)	Isıl işlem uygulanabilir. İşlenebilirlik ve korozyon direnci nedeniyle yapısal uygulamalarda kullanılabilir.
7xxx	Çinko (Zn)	Isıl işlem uygulanabilir. Yüksek çekme dayanımı, düşük korozyon direncine sahiptir.
8xxx	Lityum (Li)	Isıl işlem uygulanabilir. İyi yorulma direnci, iyi tokluk özelliklerine sahiptir ve diğer alüminyum alaşımlarına göre daha maliyetlidir.

Dövme alüminyum alaşımlarında kullanılan dört haneli numaralandırma sisteminde ilk rakam temel alaşım elementini ifade etmektedir. İkinci rakam ise alaşımda yapılan modifikasyonlarını belirtmektedir. Son iki rakam 1XXX serisinde alüminyum saflığını, diğerlerinde ise aynı sınıflandırmadaki farklı alüminyum alaşımlarını ayırmak için kullanılır. Çizelge 2.2’de de belirtildiği gibi farklı alanlarda kullanılmak üzere farklı alaşımlar elde edilmiştir. Alüminyum alaşımlarında kullanılan temel alaşım elementlerinin etkileri aşağıdaki gibi sıralanabilir [20].

- Bakır; çökelme sertleşmesinin uygulanabilirliğini artırır, süneklik, kaynaklanabilirlik ve korozyon direncinde düşüşe neden olur.
- Mangan, mukavemet ve katı çözelti sertleşmesinde artış sağlar ve soğuk işlem uygulanabilirliğini artırır.
- Silisyum; süneklik ve dayanım özelliklerini artırır ve magnezyumla birlikte alaşımında çökelme sertleştirmesine uygunluk artar.
- Magnezyum; alüminyum alaşımında mukavemet ve katı çözelti sertleşmesinde artış sağlamaktadır.

- Çinko; alaşımın mukavemetinde artışa neden olur ve korozyon direncini düşürür.

2.2.2 Alüminyum Alaşımlarına Uygulanan Isıl İşlemler

Alüminyum alaşımlarına uygulanan ısı işlemleri birlikte malzemenin mekanik özelliklerinde iyileştirme, korozyon dayanımında artış, ısı ve elektriksel iletkenlik gibi özelliklerinde geliştirmeler yapmak mümkündür. Isıl işlem uygulanamaz olarak sınıflandırılan, uygulandığında ise dayanımında ve sertliğinde önemli bir iyileşme görülmeyen alüminyum alaşımları soğuk deformasyon ile sertleştirilebilir [21].

Malzemeye uygulanan mekanik ve ısı işlemleri, alüminyum alaşımlarının temel temper tasarımlarını belirlemektedir. Temper işlemleri aşağıda sıralanmıştır [22]:

F: Üretildiği haliyle, herhangi bir ısı işlem ya da deformasyon sertleştirilmesi uygulanmayan dövme ve döküm alüminyum alaşım sınıfını simgelemektedir.

O: Üretim sonrasında malzemenin dayanımını düşürmek ve işlenebilirliğini artırmak amacıyla tavlama işlemi uygulanan dövme alüminyum alaşımlarını simgelemektedir.

H: Deformasyon sertleştirilmesi uygulaması ile malzemenin dayanımının artırıldığı alüminyum alaşımlarını simgelemektedir.

W: Çözündürme ısı işlemi uygulanarak kendiliğinden yaşanan kararsız temper işlemi uygulanmış alüminyum alaşımlarını simgelemektedir. W'dan sonra doğal yaşlandırma süresi belirtilir, örneğin: W ½ saat.

T: F, O ve H dışında ısı işlem uygulanarak kararlı temper oluşturulmuş ve ek soğuk şekillendirilme uygulanan veya uygulanmayan alüminyum alaşımlarını simgelemektedir.

H ve T simgelerinden sonra kullanılan rakam temel temper tasarımlarının alt basamaklarını gösterir.

Soğuk işlem ile sertleştirilmeyi ifade eden H işlemi alt bölümlere ayrılmaktadır [23]:

H1; Sadece soğuk işlem uygulanmıştır.

H2; Soğuk işlem uygulanmış ve kısmen tavlansmıştır.

H3; Soğuk işlem uygulanmış ve kararlı yapılmıştır.

2.2.3 Alüminyum ve Alüminyum Alaşımlarının Kaynağı

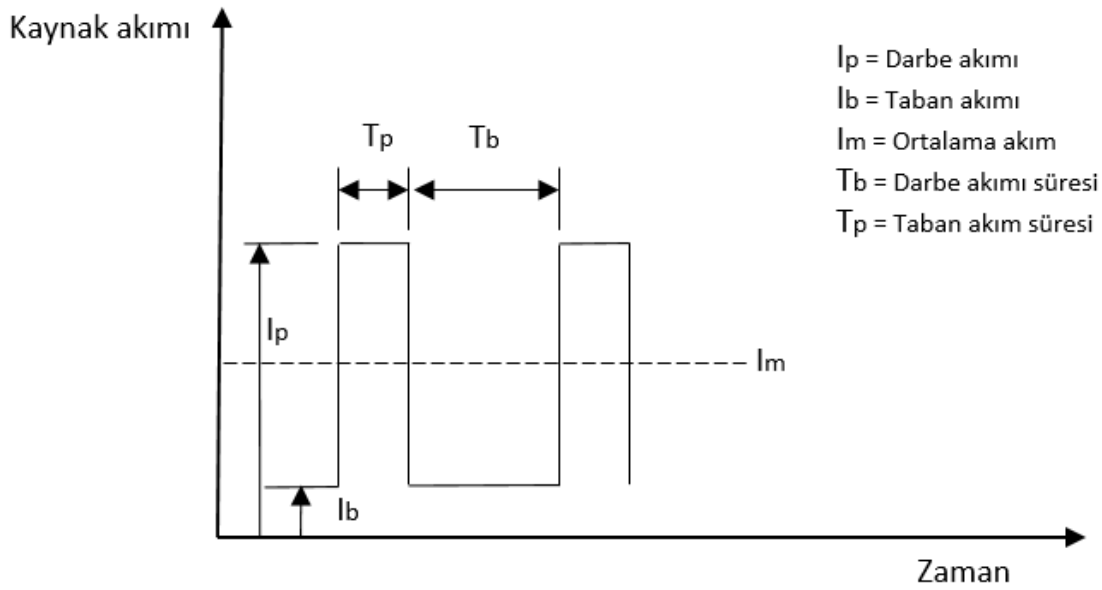
Birleştirilecek malzemenin sınıfına, kaynak işlemi uygulanmış parçanın uygulama alanına, çalışma şartlarına ve istenen özelliklerine göre birçok kaynak yöntemi alüminyum ve alaşımlarının kaynağında başarıyla uygulanabilmektedir. Alüminyum alaşımlarının birleştirilmesinde kullanılabilen kaynak yöntemleri, avantaj ve dezavantajları Çizelge 2.4’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.4 Alüminyum alaşımlarında kullanılan kaynak yöntemleri [20, 24]

Kaynak Yöntemi	Özellik
Elektrik ark kaynağı	Uygulama alanı sınırlıdır ve dayanımı düşük kaynak bağlantıları yapılabilir.
MIG kaynağı	Yüksek kaynak hızı ve yüksek kalitede kaynak dikişi sağlar.
TIG kaynağı	Yüksek dayanımlı kaynak bağlantıları elde edilebilir ve otomatik veya manuel uygulama yapılabilir.
Oksijen kaynağı	Kaynak kalitesi düşüktür.
Lazer kaynağı	Yüksek yatırım maliyeti gerektirir fakat kaliteli kaynak dikişi sağlar.
Nokta dikiş kaynağı	Yüksek yatırım maliyeti vardır fakat yüksek verim sağlar.
İndüksiyon dikiş kaynağı	Yüksek kaynak hızı sağlar. Yatırım maliyeti yüksektir.
Sürtünme kaynağı	Farklı metaller kaynak edilebilir. Yatırım maliyeti yüksektir.
Ultrasonik kaynak	Folyo kaynağında ve Al-Cu kaynağında kullanılır.

Kolay uygulanabilmesi, ekonomik olması sebebi ve yüksek kaynak kalitesi sağlandığı için alüminyum alaşımlarının kaynağında MIG ve TIG kaynakları tercih edilmektedir [25]. Çizelge 2.4’de de görüldüğü üzere günümüzde alüminyum alaşımlarının birleştirilmesinde kullanılan birçok kaynak yöntemi vardır. MIG kaynak yöntemi, diğer kaynak yöntemleriyle karşılaştırıldığında daha iyi nüfuziyet, yüksek verimlilik ve daha az sıçrama özellikleri ile ön plana çıkmaktadır [26]. Aynı zamanda farklı kalınlıktaki alüminyum sac, levha ve parçanın birleştirilmesinde MIG kaynağı kolaylıkla kullanılabilir.

Alüminyum alaşımlarının kaynağında iyi bir nüfuziyet ve sınırlı ısı girdiği istendiği koşullarda darbeli doğru akım yöntemi kullanılmaktadır [10]. Bu yöntemde kaynak akımı belirli bir frekansta taban ve tepe akımları arasında değişmektedir. Böylece kaynak edilen parçada oluşan ısı girdisi azaltılarak özellikle ince parçalarda çarpılmalar önlenabilmektedir [10]. Darbeli akım yöntemi doğru akımla kullanılmaktadır. Bazı kaynak makinalarında taban ve tepe akımı önceden belirlenebilirken, bazı makinalarda ise tel besleme hızının değişimi sayesinde darbeli akım oluşturulmaktadır. Tel besleme hızının maksimum olduğu noktada tepe akımı, minimum olduğu noktada ise taban (temel) akımı oluşmaktadır. Tepe (darbe) akımı sırasında elektrod ergimektedir ve kaynak banyosuna sprengi ark olarak taşınmaktadır. Taban akımı sırasında ise elektrodun ergimesi azaltılarak ısı girdisi azalır. Taban akımı sırasında arkın söndürülmeden tekrar tepe akımına çıkması gerekmekte, böylece arkın tekrar tutuşturulması önlenmektedir.



Şekil 2.2 Darbeli akım

Taban ve tepe akım değerleri, süreleri ve darbe frekansından oluşan darbeli akım parametreleri, dikiş görünümü ve geometrisi, ark kararlılığı ve de kaynak kalitesi üstünde önemli bir rol oynamaktadır [27]. Bu parametrelerin kaynakçı tarafından ayarlanması gerekse bile son yıllarda çıkan sinerjik kaynak makinaları ile bu ayarlamalar makina tarafından kontrol edilebilmektedir [28].

2.3 Yakıt Tankı Tasarımı

Otomotiv sektöründe kullanılan yakıt tanklarının araştırma ve geliştirmesine verilen önem ve otomotiv firmalarının yakıt sistemlerine ayırdıkları bütçeler her sene gelişen emisyon değerlerinin tutturulması, güvenlik, hafiflik gibi kritik nedenlerden dolayı artmaktadır. Yakıt tanklarının tasarımında düşük ağırlık, yakıt ve katkı maddelerine dayanıklılık, maliyet, tank kapasitesi, korozyon dayanımı ve kolay imal edilebilirlik rol oynayan önemli kısıtlardır. Araçların segmentine, kullanım yerine, müşteriye, kullanım amacına, pazar gerekliliklerine ve homologasyon kriterlerine, benzin veya dizel (motorin) motor tipine göre farklı malzeme ve tasarımlarda yakıt tankları kullanılmaktadır. Hafif ticari ve binek araçlarda sıklıkla çok katlı plastik yakıt tankları kullanılırken, ağır ticari araçlarda genellikle metal yakıt tankları tercih edilmektedir. Bunun en büyük sebebi binek ve hafif ticari araçlarda araç parçalarının karmaşık yerleşimi ve montaj problemleri nedeniyle yakıt tanklarının karmaşık tasarımlara ihtiyaç duyması ve ağırlık azaltma çalışmalarına verilen önemdir. Kamyon gibi ağır ticari araçlarda ise yakıt tankı şasi üstünde dışarıdan erişilebilir ve karmaşık olmayan bir tasarıma sahiptir.

Ağır ticari araçlarda dizel tank hacmi yaklaşık olarak 250 litre ve 1200 litre arasında değişmektedir. Bu hacimdeki yakıt ağırlığında ve ağır yol şartlarında çalışabilecek dayanıma sahip olması için çelik ve alüminyum alaşımı yakıt tankları kullanılmaktadır. Görece daha büyük hacimli ve asfalt yolda kullanılacak olan araçlarda ağırlık azaltımı ve görsellik sebebi ile daha çok alüminyum alaşımları kullanılmaktadır.

Genellikle dikdörtgen, yuvarlak ve D formunda üretilen yakıt tankları şasiye braket ve yakıt tankı kuşakları yardımıyla sökülebilir birleştirme yoluyla montajlanmaktadır.

DENEYSEL TASARIM ve DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu kısımda ağır ticari araç yakıt tankının geometrisi ve malzeme özellikleri açıklanmıştır.

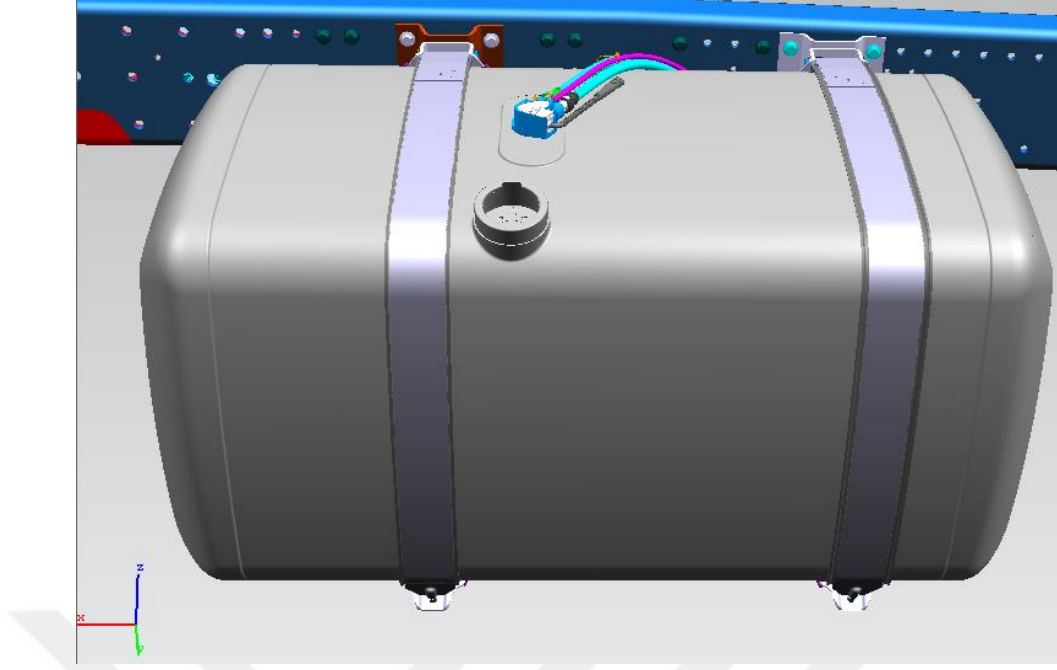
3.1 Yakıt Tankı Geometrisi ve Malzemesi

3.1.1 Yakıt Tankı Geometrisi ve Özellikleri

Ağır ticari araçlarında kullanılan dikdörtgen geometrili 700x700 mm kesitindeki alüminyum alaşımı yakıt tankının şasiye monte edilmesi Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Deneysel çalışmalarda referans alınan yakıt tankının özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir. Yakıt tankı toplam uzunluğu 1398 mm olup 144 mm uzunluğunda iki adet yan kapağa sahiptir. Kaynak parametrelerinin incelendiği gövde ise 1110 mm uzunluğundadır.

Çizelge 3.1 Yakıt tankı özellikleri

Kullanıldığı araç tipi	Yol kamyonu ve çekici kamyon
Tank hacmi	600 litre
Tank gövde malzemesi ve kalınlık	EN AW-5754 H22: 2,5 mm
Tank kapak malzemesi ve kalınlık	EN AW-5754 H111: 2 mm



Şekil 3.1 Yakıt tankının şasiye montajı

3.1.2 Yakıt Tankı Malzemesi

Bu tez kapsamında kaynak parametrelerinin etkilerinin incelendiği yakıt tankı gövdesinin malzemesi EN AW-5754 (AlMg3) alüminyum alaşımıdır. En önemli özelliklerinden biri mükemmel korozyon dayanıma sahip olmalarıdır. Endüstriyel olarak kirli ortamlarda, yağmur ve deniz suyuna maruz kalan uygulama alanlarında kullanılabilirler. Soğuk şekillendirmeye uygunluk ve yüksek kaynak kabiliyeti özelliklerinden dolayı otomotiv sektöründe sıklıkla kullanılmaktadırlar. Genel kullanım alanları gemi ve yat endüstrisi, otomotiv araç gövdesi, otobüs kapı ve bagaj kapakları, ısı kalkanları ve yakıt tanklarıdır. 1,5 – 3 mm arasındaki kalınlıklar için mekanik ve fiziksel özellikleri Çizelge 3.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2 EN AW-5754 fiziksel ve mekanik özellikleri [29]

Mekanik özellikler	H111	H22
Akma Dayanımı ($R_{p0,2}$)	80-90 MPa	130-150 MPa
Çekme Dayanımı (R_m)	190-240 MPa	220-270 MPa
Uzama (A_{50})	14-18 %	8-11 %

Çizelge 3.2 EN AW-5754 fiziksel ve mekanik özellikleri [29] (devamı)

Mekanik özellikler	H111	H22
Sertlik	55 HV	75 HV
Fiziksel Özellikler	Değerler	
Yoğunluk	2,67 g/cm ³	
Elastisite Modülü	70,000 N/mm ²	
Elektrik İletkenliği	19-21 m/Ω.mm ²	
Isı İletkenliği	130-150 W/m. °K	
Isıl Genleşme Katsayısı	23,7 K ⁻¹ .10 ⁻⁶	
Spesifik Isı Kapasitesi	900 J/kg. °K	

Deneylerde kullanılan EN AW-5754 alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi Çizelge 3.3’de gösterilmiştir [30].

Çizelge 3.3 EN AW-5754 kimyasal bileşimi [30]

Element	% Bileşim
Mangan (Mn)	0,0- 0,50
Demir (Fe)	0,0- 0,40
Magnezyum (Mg)	2,60- 3,60
Silisyum (Si)	0,0- 0,40
Krom (Cr)	0,0- 0,30
Bakır (Cu)	0,0- 0,10
Titanyum (Ti)	0,0- 0,15
Çinko (Zn)	0,0- 0,20
Aluminyum (Al)	Kalan miktar

3.2 Kaynak İşlemi

3.2.1 Kaynak Parametreleri

Alüminyum alaşımı sac parça ile üretilen yakıt tankının gövdesinin birleştirilmesinde kullanılan referans kaynak parametreleri Çizelge 3.4’de gösterilmiştir. Kaynak işlemi MIG kaynağı ile Sinerjik Duopuls modunda yapılmaktadır. Tel besleme hızı, darbe frekansı, tel besleme hızı değişimi ve kaynak hızı ayarları bağımsız olarak yapılabilir. Aynı zamanda serbest tel uzunluğu belirlenebilirken, sinerjik mod sayesinde akım ve gerilim otomatik olarak kaynak makinası tarafından ayarlanmaktadır.

Çizelge 3.4 Referans kaynak parametreleri

Kaynak Parametreleri	Değerler
Tel besleme hızı	7 m/dak
Kaynak hızı	740 mm/dak (12,3 mm/s)
Isı girdisi	0,252 kJ/mm
Gaz akış debisi	15-16 lt/dak (EN14175)
Koruyucu gaz	l1 (ISO14175)
Serbest tel uzunluğu	15 mm
Elektrod türü/çapı	1,2 mm (AlMg5 – Al 5356)
Paso sayısı	1
Akım	130 A (DC (+) Pulse)
Gerilim	20,4 V
Darbe frekansı	2,2 Hz
Tel besleme sapması	+1,8 m/dak
Kalınlık	2,5 mm (EN AW-5754 H22)
Kaynak pozisyonu/ Kaynak Tipi	PA / BW
Yöntem	131

3.2.2 Kaynak Makinası

Alüminyum yakıt tankının gövde kaynağında ve deneysel çalışmalarda Cloos marka Qineo Pulse 350 model kaynak makinası kullanılmıştır. Kaynak makinasının fotoğrafı Şekil 3.2'de, özellikleri ise Çizelge 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.2 Cloos Qineo Pulse 350 kaynak makinası

Çizelge 3.5 Kaynak makinası özellikleri

Akım aralığı	40 A- 350 A
Kaynak akımı (60 % çevrim)	350 A / 31,5 V
Kaynak akımı (100 % çevrim)	270 A / 27,5 V
Boşta çalışma gerilimi	75 V
Besleme gerilimi	400 V / 50 Hz / 3-phase
Sigorta değeri	25 A

Çizelge 3.5 Kaynak makinası özellikleri (devamı)

IP koruma sınıfı	IP 23
Soğutma tipi	F
Boyutlar (L/W/H)	1226 x 630 x 942 mm
Ağırlık	193 kg

Cloos Qineo Pulse 350 kaynak makinası; MIG lehimleme, normal MIG/MAG kaynağı ve aynı zamanda darbeli ark kaynağı yapabilme kabiliyetinde olup, sinerjik, otomatik, elle kaynak, nokta kaynağı gibi farklı seçeneklerde kullanıma imkân sağlamaktadır. Deneylerde referans alınan yakıt tanklarının gövde kaynağı bu kaynak makinası ile yapılmıştır.



Şekil 3.3 Otomatik kaynak makinası tertibatı

3.2.3 Tel Elektrod

Yapılan deneylerde 1,2 mm çapında AlMg5 S Al 5356 tel elektrod kullanılmıştır. Çizelge 3.6'da alüminyum alaşımı tel elektrodun mekanik özellikleri belirtilmiştir.

Çizelge 3.6 AlMg5 S Al 5356 mekanik özellikleri [31]

Akma dayanımı (N/mm ²)	110
Çekme dayanımı (N/mm ²)	240
Uzama (L=5d) (%)	17
Darbe dayanımı (Joule)	20
Ergime aralığı (°C)	565- 635
Yoğunluk (gr/cm ³)	2,65

Al 5356 ilave malzemesi 5XXX serisi alüminyum alaşımlarının kaynağında sıklıkla kullanılmaktadır. Az oranda sahip olduğu titanyum elementi sayesinde iyi bir mikroyapı ve mekanik özelliklerde bir miktar iyileşme sağladığından dolayı 5XXX ve 6XXXX serisi alüminyum alaşımlarının kaynağında Al 5356 ilave malzemesi iyi bir seçenek olarak ortaya çıkmaktadır [9]. AlMg5 Al 5356 tel elektrodun kimyasal bileşimi Çizelge 3.7’de verilmiştir.

Çizelge 3.7 AlMg5 Tel elektrod kimyasal bileşimi [31]

Kimyasal bileşim elementleri								
Si	Mg	Mn	Fe	Cr	Cu	Zn	Ti	Al
<0,25	4,5-5,5	0,05-0,20	<0,40	0,05-0,20	<0,10	<0,10	<0,06-0,20	Kalan

3.2.4 Koruyucu Gaz

Deneyler sırasında kullanılan koruyucu gaz tipi ISO 14175:2008 standardına göre referans kaynak işleminde olduğu gibi I1 olarak seçilmiştir. Koruyucu gaz 100% argon gazından oluşmaktadır. I grubunu oluşturan gazlar asal gazlardır. Bu grup içinde helyum gazı (He), argon gazı (Ar) ve argon- helyum karışımı bulunmaktadır.



Şekil 3.4 Argon gazı (koruyucu gaz tüpü)

3.3 Deneysel Tasarım

EN AW-5754 alüminyum sac malzemesinden üretilen yakıt tanklarındaki gövde kaynağında kullanılan kaynak parametrelerinin etkilerini incelemek için L9 Taguchi tablosu ile deney tasarımı oluşturulmuştur.

Taguchi yöntemi sayesinde ürün ve üretim yönteminde kullanılan proseslerin kalitesini artırmak amaçlanmaktadır. Diğer kalite yaklaşımlarına göre farkı yönetim felsefesi veya istatistiğine odaklanmaktan çok teknik olarak sonuç odaklı olmasıdır. Etkilerinin incelenmesi planlanan faktörlerin, kontrol etmesi zor veya imkânsız olan faktörlerden ayırıp sonuç üstündeki etkisini incelemeyi sağlamaktadır. Taguchi yöntemi ortogonal dizileri de kullanarak kontrol edilemeyen faktörlerin tasarım üstündeki etkisini azaltarak kalite ve maliyet faktörleri için uygun bir tolerans aralığı belirlemeyi ve avantaj sağlamayı hedeflemektedir [32]. Klasik deney tasarım yöntemlerinde uygulanması gereken deney sayısı arttıkça malzeme, iş gücü, zaman ve maliyetlerin de artmasına neden olmaktadır. Taguchi yöntemi sayesinde deney sayıları azaltılarak verimlilik artırılırken, deney maliyetleri de düşürülmektedir.

Taguchi yönteminde izlenmesi gereken adımlar aşağıda verilmiştir:

- Deneysel tasarımda kullanılacak faktörlerin belirlenmesi,
- Her bir faktör için seviye sayısı ve seviyelerin belirlenmesi,
- Seçilen faktör ve seviyeleri için uygun ortogonal matrisin seçilmesi,
- Ortogonal diziye faktörlerin ve seviyelerin uygun şekilde kolonlara girilmesi,
- Deneylerin yapılması ve kayıt altına alınması,
- Deney sonuçların analiz edilmesi,
- Gerekli durumlarda doğrulama testlerinin yapılması ve değerlendirilmesi.

Bu çalışma kapsamında geleneksel bir deneysel tasarıma göre dört kaynak parametresi üçer seviyeli olmak üzere $3^4 = 81$ adet deney yapılması gerekmektedir. Taguchi deneysel tasarımı ve ortogonal dizilerin kullanılmasıyla birlikte toplam 81 deney setini 9'a düşürerek, deneylerde kullanılacak olan malzeme, iş gücü ve zamandan tasarruf edilmiştir. Deneysel tasarımı oluşturmak için kaynak hızı, tel besleme hızı, frekans ve tel besleme sapması faktörleri (kaynak parametreleri) için üçer seviye (ayar değeri) belirlenmiştir. Toplam 9 deney-parametre seti ile yapılacak testler sonrasında kaynak parametrelerinin etkisi incelenmiştir.

Çizelge 3.8 Faktörlerin (kaynak parametrelerinin) tasarım seviyeleri

Tasarım Seviyesi	Kaynak Hızı (mm/s)	Tel Besleme Hızı (m/dak)	Frekans (Hz)	Tel Besleme Sapması (m/dak)
1	12,3	6,5	1,6	1,6
2	13	7	2,2	1,8
3	14	7,5	2,8	2

Üç seviyeli dört parametre için L9 Taguchi ortogonal dizisi (OA_9) tablosuna göre deney tasarımı oluşturulduktan sonra 9 farklı kaynak parametre setiyle elde edilmiş numuneler, standartlara göre test edilmiştir. Taguchi tablosunun oluşturulmasında ve analizlerde Minitab 18.1 programı kullanılmıştır.

Çizelge 3.9 L9 Taguchi ortogonal dizisi

Numune No	Kaynak Hızı (mm/s)	Tel Besleme Hızı (m/dak)	Frekans (Hz)	Tel Besleme Sapması (m/dak)
1	12,3	6,5	1,6	1,6
2	12,3	7	2,2	1,8
3	12,3	7,5	2,8	2
4	13	6,5	2,2	2
5	13	7	2,8	1,6
6	13	7,5	1,6	1,8
7	14	6,5	2,8	1,8
8	14	7	1,6	2
9	14	7,5	2,2	1,6

3.3.1 Taguchi Yöntemi

Taguchi yönteminde sonuçlar değerlendirilirken Sinyal/Gürültü (S/N) oranı kontrol edilmektedir. Deney sonucunun büyük, küçük veya nominal çıkması beklendiği durumlarda S/N oranının büyük, küçük ve nominal çıkmasına göre faktörlerin her birinin deney sonuçlarını nasıl etkilediği bulunabilmektedir. Daha büyük daha iyi, daha küçük daha iyi ve nominal daha iyi olmak üzere üç kalite karakteristiği bulunan Taguchi analizinde deney çıktısıyla deney faktörleri arasındaki sinyal gürültü oranları bulunurken bu karakteristikler kullanılmaktadır. Dayanım, sertlik, tokluk gibi değeri arttıkça iyileşen mekanik özellikler göz önünde bulundurulduğunda deney sonuçlarının değerlendirilmesinde kullanılacak olan kalite karakteristiği “daha büyük daha iyi” olarak seçilmektedir. Sinyal gürültü oranının seçilmesiyle Minitab programı aşağıdaki denklemler yoluyla hesaplama yapmaktadır [33]:

Çizelge 3.10 S/N oranı ve kalite karakteristikleri [33]

S/N oranı	Deney amacı	Data karakteristiği	S/N oranı formülü
Daha küçük daha iyi	Çıktıyı minimize etmek	Negatif olmayan	Denklem (3.1)
Nominal daha iyi	Çıktıyı belirli bir değerde elde etmek	Negatif olmayan	Denklem (3.2)
Daha büyük daha iyi	Çıktıyı maksimize etmek	Pozitif	Denklem (3.3)

Kalite karakteristiğinin kayıp fonksiyon değeri (sinyal gürültü oranı) aşağıdaki gibi ifade edilmektedir [34]:

$$SN_L = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_i^2 \right) \quad (3.1)$$

SN_L (Signal to Noise): Daha küçük daha iyi karakteristiği için sinyal gürültü oranı (desibel),

L_i : Verilen faktör seviye kombinasyonu için ölçülen değer,

n : Deney sayısı.

$$SN_t = -10 \log \left(\frac{\bar{y}^2}{s^2} \right) \quad (3.2)$$

SN_T (Signal to Noise): Nominal daha iyi karakteristiği için sinyal gürültü oranı (desibel),

$\bar{y}$: Verilen faktör seviye kombinasyonu için çıktıların ortalaması, performans karakteristiği,

s : Verilen faktör seviye kombinasyonu için standart sapma.

$$SN_U = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{U_i^2} \right) \quad (3.3)$$

SN_U (Signal to Noise): Daha büyük daha iyi karakteristiği için sinyal gürültü oranı (desibel),

U_i : Verilen faktör seviye kombinasyonu için ölçülen değer,

n : Deney sayısı.

3.3.2 ANOVA Yöntemi ve Varyans Analizi

Taguchi analizinde elde edilen sonuçların ve yapılan testlerin istatistiki olarak değerlendirmesinde ANOVA (varyans analizi) kullanılabilmektedir. ANOVA yöntemi, Taguchi yöntemiyle belirlenen test veya deneysel verilerin yorumlanması ve belirlenen ana faktörlerin sonuç üstündeki etkisini belirlemeye yarar. Taguchi ortogonal dizileri iki veya daha fazla seviyeye sahip olduğunda ANOVA yöntemi kullanılmaktadır [35]. Yöntem aynı zamanda istatistikçi Fisher'ın ilk harfi ile F-test olarak da anılmaktadır. Fisher bu yöntemi 1930'lu yıllarda geliştirmiştir. Varyans analizinde kullanılan faktörlerin sonuç üstündeki etkilerinin belirlenmesinde kullanılan tanımlar aşağıda gösterilmiştir:

df: Serbestlik derecesi

$$df = k - 1 \quad (3.4)$$

k : Faktörün seviye sayısı

V_T : Toplam serbestlik derecesi

$$V_T = V_x + V_e \quad (3.5)$$

V_x : X faktörünün serbestlik derecesi

V_e : Hata serbestlik derecesi

SS_T : Tüm değerlerin kareleri toplamı

SS_x : X faktörü için kareler toplamı

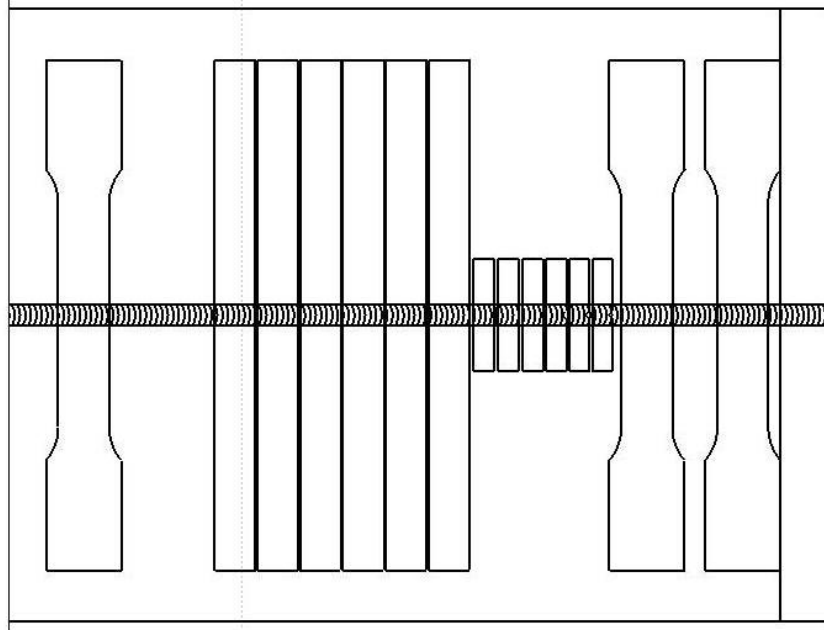
SS_e : Hata kareleri toplamı

SS_m : Ortalama kareler toplamı

N : Elde edilen toplam veri sayısı

3.4 Mekanik Testler

Testlerde kullanılacak olan numuneler 150x500x2,5 mm AlMg3 EN AW-5754 alüminyum sac malzemeden ISO 15614-2 standardına göre hazırlanmıştır. Deneysel tasarımda oluşturulan farklı kaynak parametreleriyle elde edilen numunelere tahribatlı ve tahribatsız testler uygulanmıştır. Sırasıyla görsel inceleme ve penetrant testi, sertlik ölçümü, çentik darbe (Charpy) deneyi, çekme testi ve eğme testi uygulanmış, deneysel tasarıma uygun olarak sonuçlar incelenmiştir.



Şekil 3.5 Mekanik testler için numune alma yerleri

Kaynak edilen numunelerin baş ve son taraflarından çekme numuneleri; arada kalan kısımlardan ise çentik darbe, sertlik ve eğme numuneleri çıkartılmıştır. Numune alınacak kısımlar arasında, düzeltme imkânı kalması ve ısı etkisinden etkilenmemek için 2 mm boşluk bırakılmıştır. Kaynak başlangıç ve bitiş kısımlarında 25 mm'lik kısım atılmıştır. Çekme deneyi numuneleri lazer kesim yöntemi ile kesilmiş (Şekil 3.6), diğer numuneler mekanik yöntemlerle kesilmiştir.



Şekil 3.6 Çekme numunelerinin lazer kesim ile çıkartılması

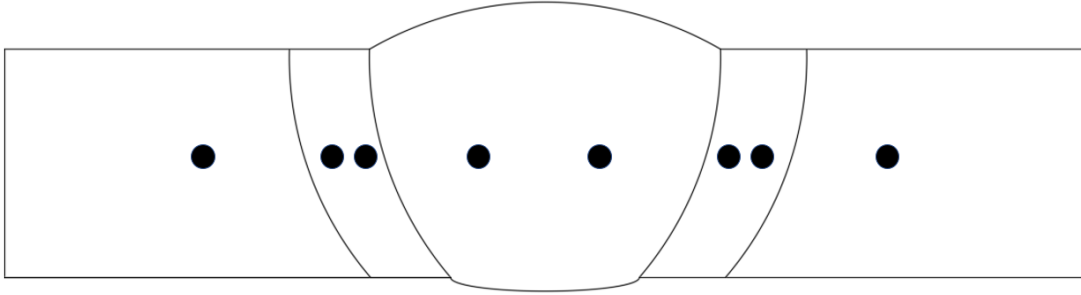
3.4.1 Sertlik Ölçümü

Numuneler ISO 9015-1 :2011 (Destructive tests on welds in metallic materials – Hardness testing – Part 1: Hardness test on arc welded joints) standardına uygun olarak üretilmiştir. Numune kalınlığı 4 mm'den az olduğu durumlarda standartta belirtildiği üzere ölçümler numunenin ortasından tek sıra olarak alınmıştır.

55x10x2,5 mm boyutlarında hazırlanan numuneler mekanik yöntem ile kesilmiş ve numaralandırılmıştır. 9 parametre seti için üçer adet numune hazırlanmış ve ölçüm alınabilmesi için soğuk bakalite alınmıştır.



Şekil 3.7 Sertlik ölçümü için kesilen numuneler

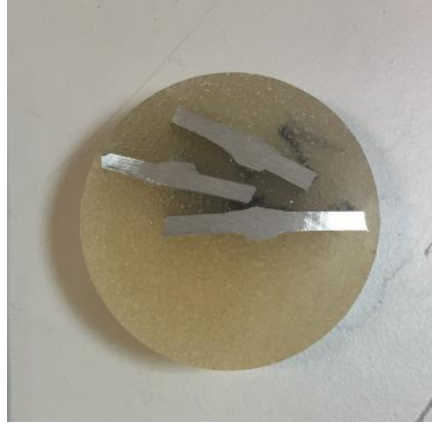


Şekil 3.8 Sertlik ölçümü yerleri

Uygun boyutlarda kesilen numuneler metilmetakrilat kullanılarak soğuk monteye alınmıştır (Şekil 3.9). Sertlik ölçümü alınacak yüzeyler sırasıyla 400, 800 ve 1000, 1200 kumluk zımpara ile zımparalanmıştır. Zımpara için Metkon Forcipol 2V metalografik zımparalama cihazı (Şekil 3.10) kullanılarak numuneler zımparalanmıştır. Zımparalama işlemleri sonrasında parlatma işlemine tabi tutulmuştur. Parlatma işleminde 6 µm ve 1µm elmas pasta süspansiyonları kullanılmıştır. Parlatma sonrasında Keller çözeltisi ile 45 saniye boyunca dağlama işlemi yapılmıştır. Tüm numuneler dağlama yapıldıktan sonra alkol ve saf su ile temizlenmiş ve kurutma makinesi ile kurutulmuştur.

Alüminyum dağlama (Keller) çözeltisi:

1 ml %40 HF+ 1,5 ml %37 HCl + 10 ml %70 HNO₃ + 100 ml saf su



Şekil 3.9 Soğuk bakalıte alınmış 1 nolu sertlik ölçme numunesi



Şekil 3.10 Zımpara ve parlatma cihazı

Deney numunleri HVS-1000 sertlik ölçme cihazında (Şekil 3.11) test edilirken deneyde, 10 saniye boyunca 100 gr yük uygulanmış ve elmas piramit uç kullanılmıştır. Deney sonucunda sertlik değeri Vickers (HV) cinsinden elde edilmiştir. Kaynak dikişi, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve ana metalden sertlik ölçümleri alınmıştır. Ölçümler her 9 numune seti için üçer farklı numuneden, 8 ölçüm ile ortalama alınarak hesaplanmıştır. ITAB'dan alınan ölçümlerin arasında 0,05 mm; kaynak dikişinden alınan ölçümler arasında 0,025 mm aralık bırakılmıştır. Yapılan sertlik ölçümlerinde ITAB'dan alınan sertlik değerlerinde bir düşüş meydana gelmesi beklenmektedir. Isıl işlem yapılamayan alüminyum alaşımlarda deformasyon sertleşmesinden dolayı ısı tesiri altındaki bölge ana metale göre daha düşük dayanıma sahip olduğundan aynı zamanda daha düşük sertliğe sahip olması beklenmektedir [36].



Şekil 3.11 Wilson sertlik ölçüm cihazı

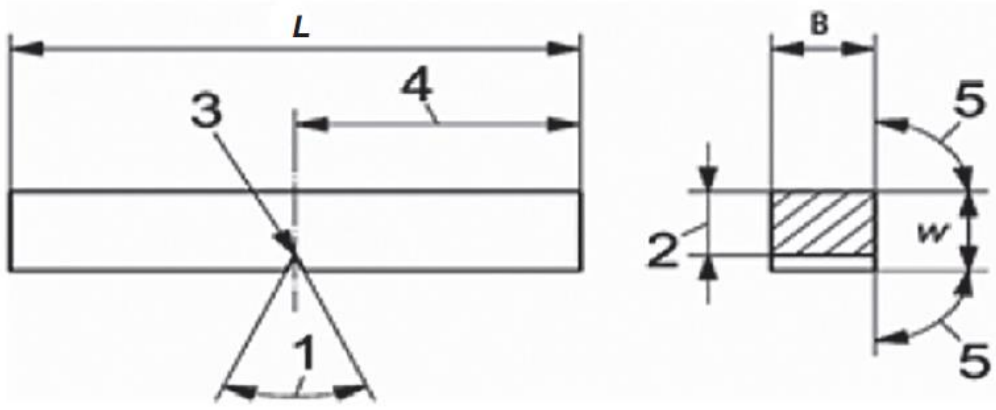
3.4.2 Çentik Darbe Deneyi

Numuneler ISO 148-1:2016 (Metallic materials — Charpy pendulum impact test) ve ISO 9016:2012 (Destructive tests on welds in metallic materials – Impact tests – Test specimen location, notch orientation and examination) standardına uygun şekilde üretilmiş ve test edilmiştir.

Çentik darbe deneyinde genel olarak amaç, malzemelerin ani kuvvete maruz kalması durumunda kırılması için gereken enerji miktarının belirlenmesidir. Deney sonucunda elde edilen değer numunenin darbe enerjisi olarak adlandırılmaktadır.

Çentik darbe deney numuneleri iki tipte hazırlanabilmektedir. Numunelerde açılan çentikler U-çentik tipi ve V-çentik tipi şeklinde açılmaktadır. Bu çalışmada kullanılan

çentik tipi V tipi olarak belirlenmiştir. Yüzeyler ve numune boyutları mekanik yöntemlerle kesilmiş ve sırasıyla 600 ve 800 kumluk zımpara ile zımparalanmıştır. Deneyler oda sıcaklığında Charpy test ekipmanı ile gerçekleştirilmiştir. Numunenin boyutları Şekil 3.12’de gösterilmiştir. Çentik test öncesinde broşla açılmıştır.



Şekil 3.12 V-çentik darbe testi numunesi [37]

Uzunluk (L): 55 mm

Genişlik (W): 10 mm

Kalınlık (B): 2,5 mm

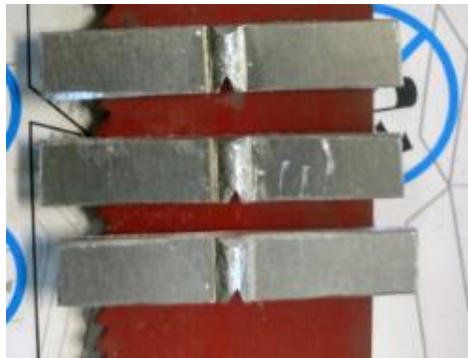
Çentik açısı (1): 45°

Çentik harici yükseklik (2): 8 mm

Çentik yarıçapı (3): 0,25 mm

Çentik lokasyonu (4): 27,5 mm

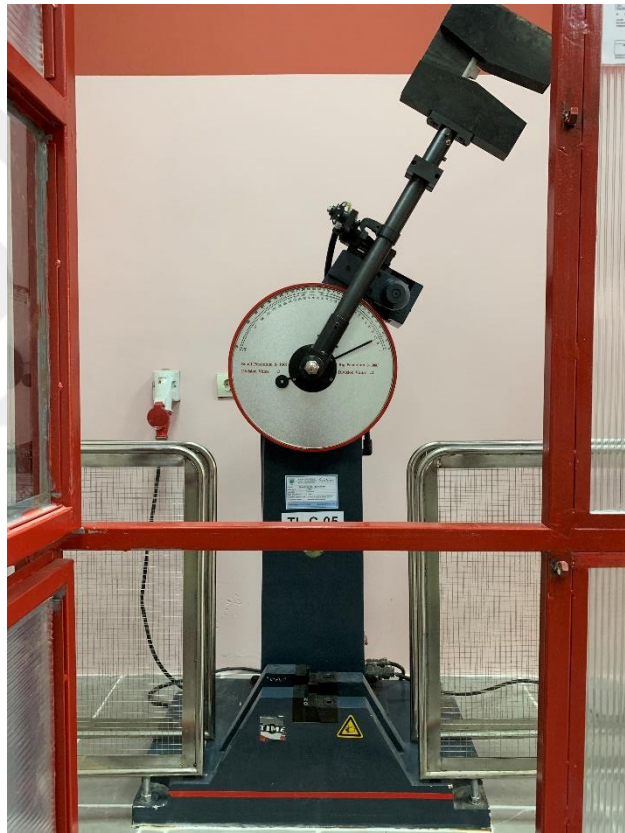
Kenarlar arası açı (5): 90°



Şekil 3.13 Çentik darbe test numuneleri

55x10x2,5 mm boyutlarında hazırlanan numuneler (Şekil 3.13) test ekipmanındaki tablaya bağlanmış, numunenin çentik açılan kısmı darbenin geleceği yüzeyin arkasında kalacak şekilde yerleştirilmiştir. Time marka JB-300B model çentik darbe test cihazında, 300 Joule kapasiteye sahip olan bir çekiç, 150° başlangıç açısıyla bırakıldıktan sonra 5,2 m/s hızla numuneye çarpmaktadır. Numuneye çarpan çekiç ters tarafta belirli bir yüksekliğe çıkmakta, ilk yükseklik ve son yükseklik arasındaki potansiyel enerji değişimi darbe enerjisini vermektedir [38].

Çentik darbe deneyinde kullanılan Time marka çentik darbe test cihazı Şekil 3.14’de gösterilmiştir.



Şekil 3.14 Çentik darbe test cihazı

Darbe dayanım formülü:

$$a_{cn} = \frac{W \times 10^3}{h \times b_n} \quad (3.6)$$

a_{cn} : Darbe dayanımı (kJ/m²)

W : Kırılma enerjisi (J)

h : Malzeme kalınlığı (mm)

b_n : Malzeme kenarı ile çentik ucu arası mesafe (mm)

3.4.3 Enine Çekme Deneyi

Numuneler ISO 4136:2012 (Destructive tests on welds in metallic materials – Transverse tensile test) standardına uygun olarak işlenmiş ve testi gerçekleştirilmiştir. Standart, enine çekme testi ile kaynaklı parçaların çekme dayanımının ve yerinin belirlenmesi için test numunesi ve prosedürünü tanımlamaktadır [39]. Enine çekme deneyinde numuneler sabit bir hızla kopuncaya kadar çekilmektedir. Çekme testi ile numunenin kopma dayanımı, çekme dayanımı, akma dayanımı ve yüzde uzama özellikleri belirlenebilmektedir. Çekme testi sonucunda kaynaklı numunenin ana malzeme ile aynı mekanik özelliklerde olması ve kopmanın kaynak dikişinden olmaması beklenmektedir.

Deneyde kullanılacak sac malzemeler kaynakla birleştirildikten sonra kenarları eğelenmiş, böylece çekme testinin sonucunu etkileyebilecek süreksizlikler giderilmiştir. Daha sonra standarda uygun olarak kesilmiş ve Şekil 3.15’de gösterilen numune boyutlarına getirilmiştir.

$$L_t = 250 \text{ mm}$$

$$t_s = 2,5 \text{ mm}$$

$$b_1 = 37 \text{ mm}$$

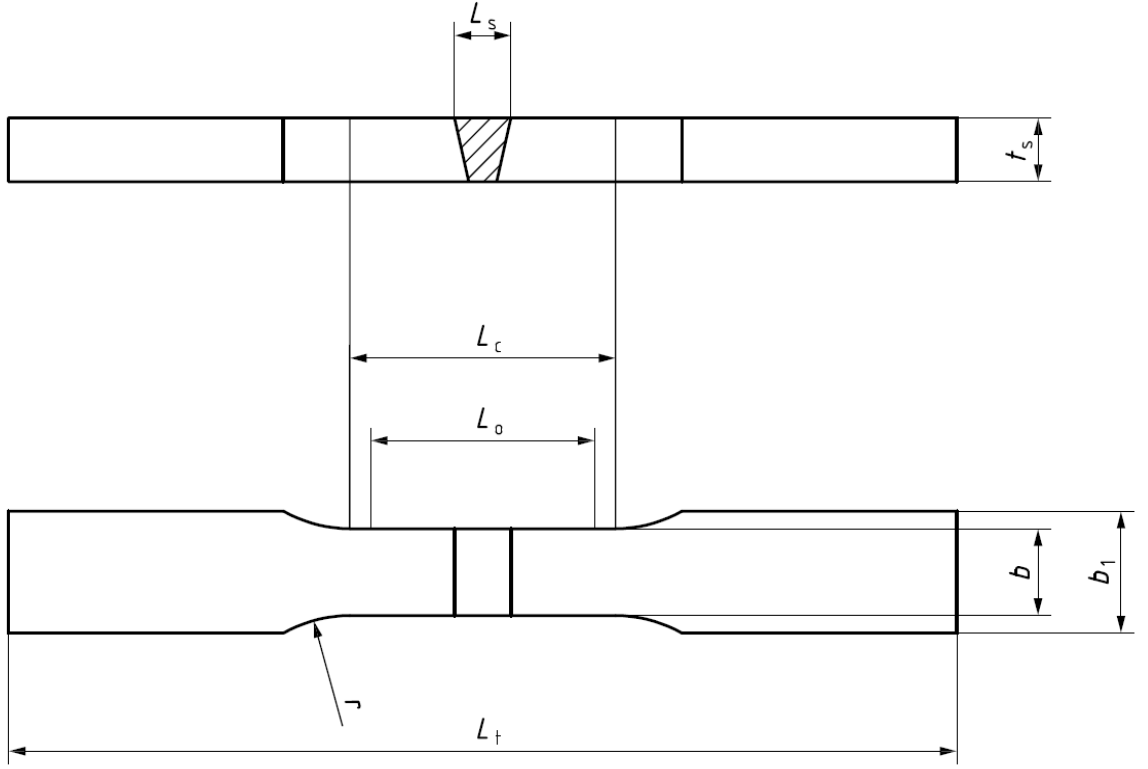
$$b = 25 \text{ mm}$$

$$L_c = 110 \text{ mm}$$

$$L_0 = 100 \text{ mm}$$

$$r = 25 \text{ mm}$$

Deneyler 2 tonluk Testometric M500-30CT çekme deneyi cihazında (Şekil 3.16) yapılmıştır.



Şekil 3.15 Çekme testi numunesi [39]



Şekil 3.16 Çekme deneyi cihazı

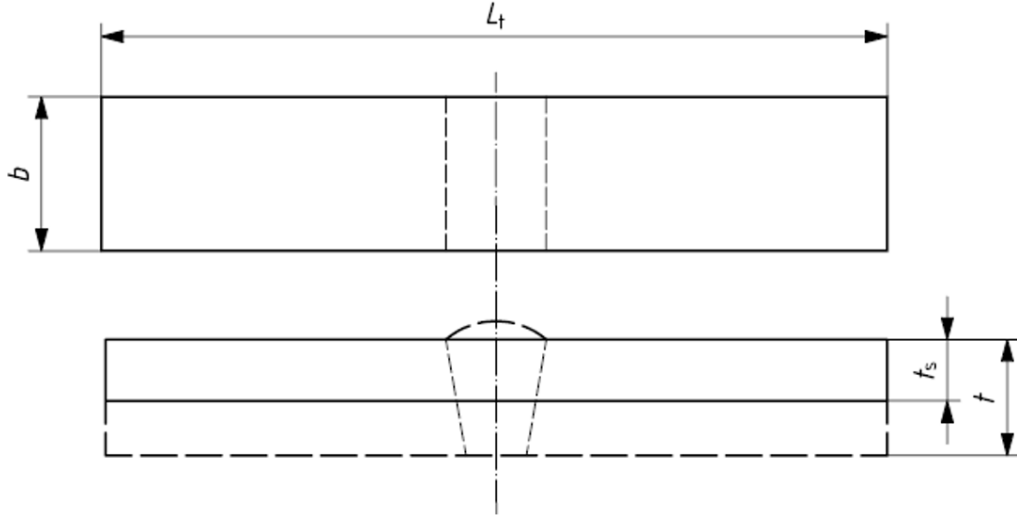
Hazırlanan numuneler şekil 3.17’de gösterildiği gibi her deney seti için 1, 2 ve 3 olarak numaralandırılmıştır. Örnek olarak, 2.1 ve 2.2 numaralı numuneler kaynak başlangıcından kesilmiş, 2.3 numaralı numune Şekil 3.5’de belirtildiği gibi kaynaklı parçaların sonundan çıkartılmıştır.



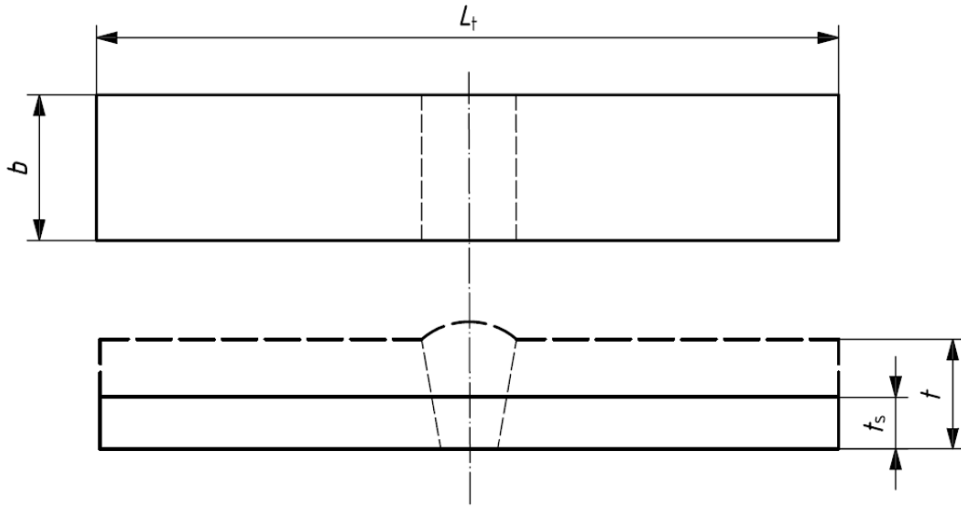
Şekil 3.17 Çekme testi numuneleri

3.4.4 Eğme Testi

Numuneler ISO 5173:2009: Destructive tests on welds in metallic materials -- Bend tests standardına göre elde edilmiş ve 3 noktalı eğme testi yapılmıştır. Numunelerin et kalınlığı 12 mm’den daha küçük olduğundan dolayı kök eğme ve kep eğme testleri yapılmıştır. 2,5 mm kalınlık için yan eğme testi gerçekleştirilmemektedir. Kök eğme ve kep eğme için deney numune boyutları Şekil 3.18’de ve Şekil 3.19’da gösterilmiştir.



Şekil 3.18 Kep eğme testi numunesi boyutları [40]



Şekil 3.19 Kök eğme testi numunesi boyutları [40]

Her iki test numunesi için de numune kalınlığı (t_s) ve parça kalınlığı (t) eşit olarak seçilmiştir. Numune genişliği kalınlığın en az 4 katı seçilmelidir.

L_t : 250 mm

b : 20 mm

$t=t_s$: 2,5 mm



Şekil 3.20 Enine eğme test cihazı

Deneyler 2 tonluk Testometric M500-30CT çekme deneyi cihazında (Şekil 3.20) eğme testi aparatları takılarak (Şekil 3.21) yapılmıştır. Mandrel çapları %5 uzamadan fazla uzama gösteren malzemeler için standarda uygun olarak 18 mm olarak seçilmiştir.



Şekil 3.21 Enine eğme test numunesinin yerleştirilmesi

Test süresi maksimum iki dakika olacak şekilde test edilmektedir. Test sonrasında numune kenarlarında oluşan süreksizlikler göz ardı edilebilir fakat test esnasında ve sonrasında parça üstünde herhangi bir yönde 3 mm'den büyük bir süreksizlik gözlenmemelidir.

Enine eğme testinde kullanılacak mandrel çapının doğru seçilmesi önemlidir. Mandrel çapı, malzemenin yüzde birim şekil değişimi %5'ten büyük olduğu durumlarda Denklem 3.7'de verildiği gibi seçilmelidir [41].

$$d = \frac{100 \times t}{A} - t \quad (3.7)$$

d : En büyük mandrel çapı

t : Test numunesi et kalınlığı

A : En düşük çekme uzaması

BÖLÜM 4

DENEY SONUÇLARI

4.1 Kaynak Numuneleri ve Görsel İnceleme

2,5 mm kalınlığa sahip EN AW 5754 H22 alüminyum sac malzeme ile deneysel tasarımda oluşturulan deneyler gerçekleştirilmiştir.

Taguchi L9 ortogonal dizisinde oluşturulan deneysel tasarımındaki dokuz kaynak parametre seti kullanılarak yapılan kaynak işlemlerinde ortaya çıkan ortalama akım ve gerilim değerleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Kaynak işlemi sonrasında 6, 8 ve 9 numaralı numunelerde kaynak başlangıcı ve sonunda gözenek oluşumu gözlemlenmiştir ve makinadaki sıçrama kalıntıları temizlenip, tel değişimi yapıldıktan sonra düzgün kaynak dikişi elde edilebilmiştir.

Deneylerde kullanılan kaynak cihazı manuel kullanılmadığı takdirde akım ve gerilim seçmeye izin vermemektedir ve gerçekleşen değerler kaynak işlemi sırasında gösterge paneli üstünden ortalama olarak okunmuştur. Bilindiği üzere tel besleme hızı arttıkça kaynak işlemi için çekilen akım artmaktadır.

Çizelge 4.1 Gerçekleşen akım ve gerilim değerleri

No	Kaynak Hızı (mm/s)	Tel Besleme Hızı (m/dak)	Frekans (Hz)	Tel Besleme Sapması (m/dak)	Gerçekleşen Ortalama Akım (A)	Gerçekleşen Ortalama Gerilim (V)	Isı girdisi (J/mm)
1	12,3	6,5	1,6	1,6	121	19,8	194,8
2	12,3	7	2,2	1,8	133	20,6	222,7

Çizelge 4.1 Gerçekleşen akım ve gerilim değerleri (devamı)

No	Kaynak Hızı (mm/s)	Tel Besleme Hızı (m/dak)	Frekans (Hz)	Tel Besleme Sapması (m/dak)	Gerçekleşen Ortalama Akım (A)	Gerçekleşen Ortalama Gerilim (V)	Isı girdisi (J/mm)
3	12,3	7,5	2,8	2	141	20,8	238,4
4	13	6,5	2,2	2	124	18	171,7
5	13	7	2,8	1,6	129	18,1	179,6
6	13	7,5	1,6	1,8	139	19,1	204,2
7	14	6,5	2,8	1,8	123	17,9	157,3
8	14	7	1,6	2	132	18,8	177,3
9	14	7,5	2,2	1,6	137	18,9	185,0

Taguchi analizi uygulanarak akım ve gerilim üstünde en çok etkisi bulunan parametreler sırasıyla belirlenmiştir. Sinyal gürültü oranı belirlenerek her bir faktörün akımın değişkenliği üstündeki etkisi delta olarak verilmiş ve en yüksek farka sahip olan tel besleme hızının birincil etkiye sahip olduğu gösterilmiştir. Tel besleme sapması da daha önce belirtildiği üzere tepe akımının belirlenmesinde rol oynadığı için ikincil olarak akımı etkilemektedir. Kaynak hızı ve frekans bu iki faktöre göre çok düşük bir etkiye sahiptir. Çizelge 4.2’de her faktörün her üç seviyesi için de sinyal gürültü oranları ve farkları görülmektedir.

Çizelge 4.2 Akım için sinyal gürültü oranına (S/N) göre cevap tablosu

Seviye	Kaynak Hızı (mm/s)	Tel Besleme Hızı (m/dak)	Frekans (Hz)	Tel Besleme Sapması (m/dak)
1	42,37	41,77	42,31	42,20
2	42,31	42,37	42,36	42,38
3	42,31	42,86	42,33	42,42
Delta	0,06	1,09	0,05	0,22
Sıra	3	1	4	2

Gerilimi etkileyen faktörleri bulmak amacıyla Taguchi analizi uygulandığında en yüksek etkiye kaynak hızının sahip olduğu görülmektedir. Frekans ve tel besleme sapması tepe akım değişiminde etken rol oynarken delta 0,16 ve 0,11 S/N oranı ile gerilim üstünde etkisi çok azdır. Kaynak hızı en yüksek etkiye sahipken, tel besleme hızındaki değişimin de gerilim üstünde etkili olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.3 Gerilim için sinyal gürültü oranına (S/N) göre cevap tablosu

Seviye	Kaynak Hızı (mm/s)	Tel Besleme Hızı (m/dak)	Frekans (Hz)	Tel Besleme Sapması (m/dak)
1	26,19	25,37	25,68	25,54
2	25,29	25,64	25,64	25,65
3	25,36	25,84	25,52	25,65
Delta	0,90	0,47	0,16	0,11
Sıra	1	2	3	4

4.2 Sertlik Ölçümü

Vickers sertlik ölçümleri her bir deneysel tasarım seti için üç numune üstünden alınarak ortalamaları hesaplanmıştır. Kaynak dikişi, ITAB ve ana malzemeden alınan sertlik ölçümlerinin sonucu Çizelge 4.4’de gösterilmiştir.

ITAB ve kaynak dikişinde olması muhtemel sertlik düşüşüne karşın sertlik ölçümünü sonuçlarının Taguchi analizinde S/N oranı belirlenirken “daha büyük daha iyi” kalite karakteristiği kullanılmıştır.

Çizelge 4.4 Kaynaklı numunelerin sertlik ölçümleri

NO	Dikiş	ITAB	Ana Malzeme
1	70,4	67,2	73,5
2	71,6	69,6	79,0
3	70,2	67,6	76,8
4	72,7	65,2	75,4
5	68,4	64,9	77,1
6	68,3	64,0	75,6
7	69,1	65,0	75,2
8	72,7	65,1	76,8
9	69,2	59,8	74,6

4.2.1 Kaynak Dikişi Sertlik Ölçüm Sonuçları

Çizelge 4.5’de kaynak dikişi sertliği için S/N oranına göre tepki tablosu verilmiştir. Hesaplamalar Minitab 18 programında gerçekleştirilmiş ve her faktör için ayrı S/N gürültü oranları “daha büyük daha iyi” karakteristiğine göre belirlenmiştir.

Taguchi analizinde kaynak dikiş sertliğini etkileyen en önemli faktör 0,31 delta S/N oranına sahip olan tel besleme sapması faktörüdür. Faktörlerin önem sıralaması Çizelge 4.5’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.5 Kaynak dikişi sertliği için S/N oranına göre cevap tablosu

Seviye	Kaynak Hızı (mm/s)	Tel Besleme Hızı (m/dak)	Frekans (Hz)	Tel Besleme Sapması (m/dak)
1	36,98	36,99	36,95	36,81
2	36,87	36,99	37,02	36,85
3	36,93	36,80	36,80	37,12
Delta	0,12	0,19	0,22	0,31
Rank	4	3	2	1

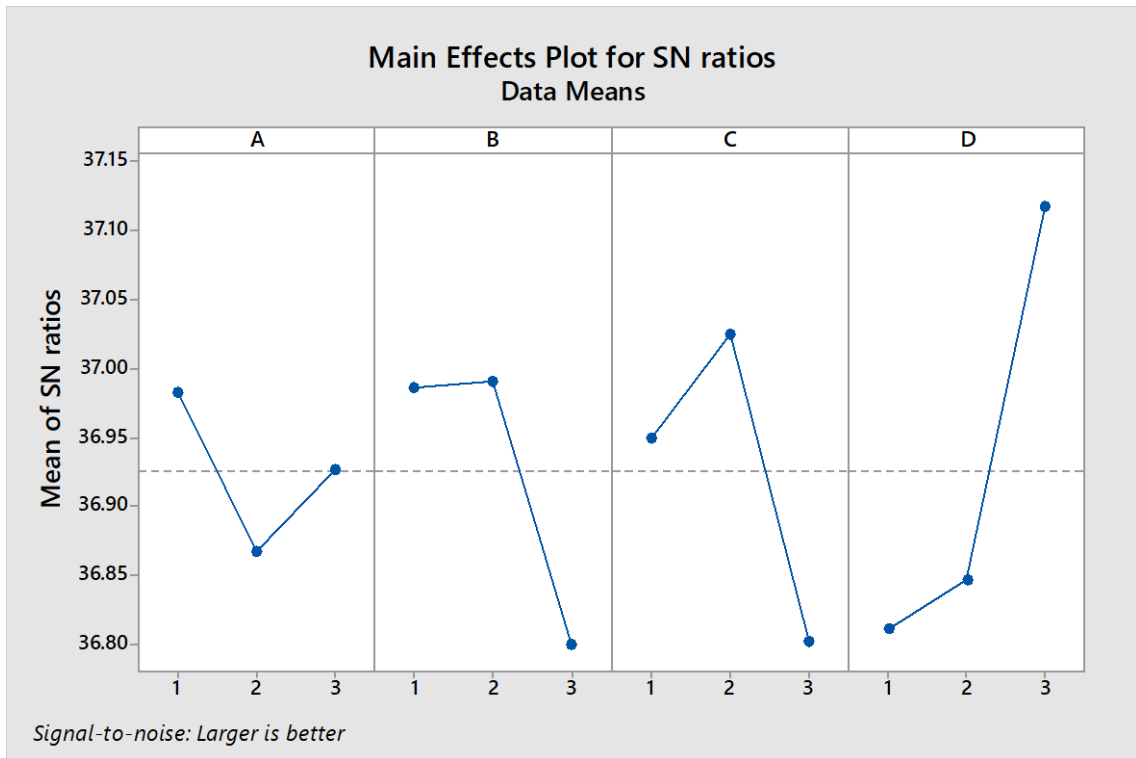
Kaynak dikişinde maksimum sertlik elde etmek için kullanılması gereken kaynak parametreleri deneysel tasarıma göre;

Kaynak hızı: 12,3 mm/s,

Tel besleme hızı: 7 m/dak,

Frekans: 2,2 Hz,

Tel besleme sapması: 2 m/dak olarak bulunmuştur.



Şekil 4.1 Kaynak dikişi sertliğinin S/N oranı için etki grafiği

ANOVA yöntemi kullanılarak elde edilen istatistiki sonuçlar, Taguchi yönteminde kullanılan analizle karşılaştırıldığında tutarlı olduğu görülmüştür. Taguchi analizinde sertlik üzerine en etkili faktör olarak çıkan tel besleme sapması ANOVA yönteminde de sonuçlar üstünde en etkili faktör olarak bulunmuştur. İkinci en etkili faktör ise frekanstır. Faktörlerin seçilen seviyelerde yapılan kaynak dikişi sertliği üstünde %95 güvenilirlik derecesinde anlamlı bir etkisi olmadığı görülmüştür.

Çizelge 4.6 Kaynak dikişi sertlik ölçümü için varyans analizi

	Serbestlik derecesi	Karelerin toplamı	Ortalama kareler toplamı	F değeri	Pr (>F)
Kaynak hızı	2	4,41	2,205	0,385	0,6860
Tel besleme hızı	2	15,38	7,689	1,342	0,2862
Frekans	2	17,70	8,851	1,545	0,2403
Tel besleme sapması	2	34,97	17,185	3,000	0,0751
Hata	18	103,11	5,729		

P değerlerinin 0,05'den büyük çıkmasıyla birlikte faktörlerin sonuç üstünde bir etkisi olmadığı %95 güvenilirlikte Sıfır Hipotezi kabul edilerek kanıtlanmıştır. Aynı zamanda F-test tablosundan seçilen F kritik değeri 3,55 olup hesaplanan F değerinden büyük olduğu için Sıfır Hipotezi reddedilememektedir. Fakat tel besleme sapmasının sonuç üstündeki anlamlı derecede etkisinin olduğu %90 güvenilirlikte söylenebilmektedir.

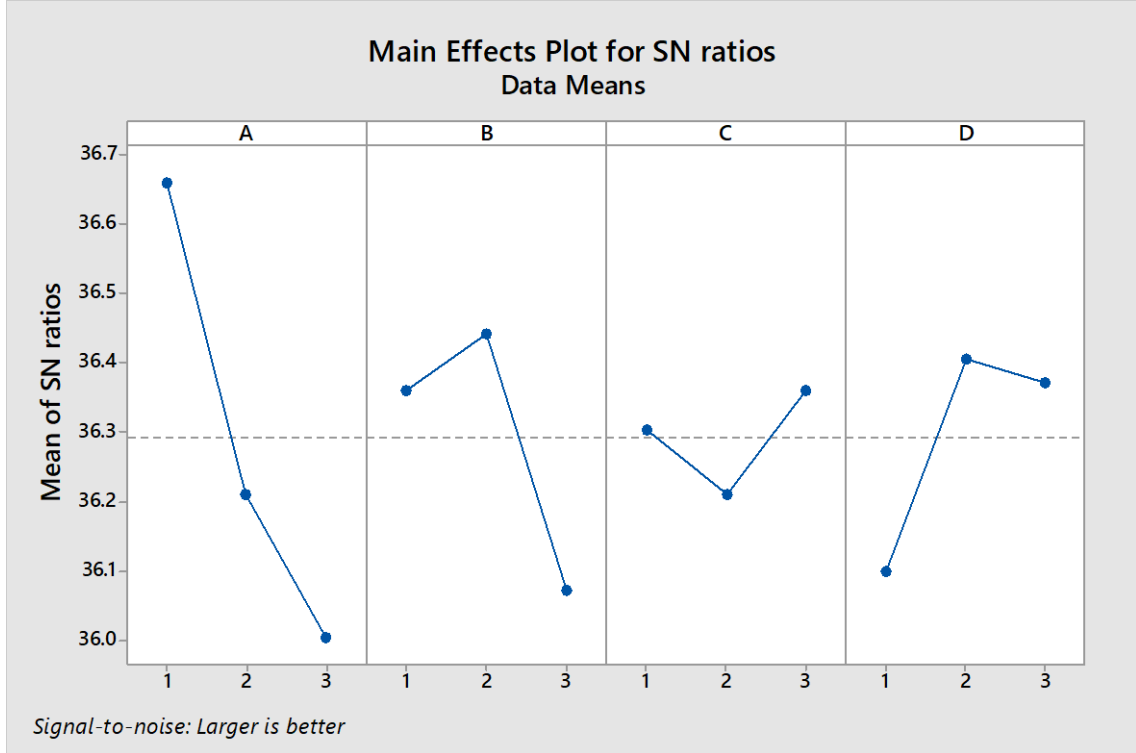
4.2.2 ITAB Sertlik Ölçüm Sonuçları

Çizelge 4.7'de ise çıktı olarak ITAB'dan alınan sertlik ölçümlerin kaynak parametreleriyle (seçilen faktörlerle) olan ilişkisi gösterilmiştir. S/N gürültü oranları “daha büyük daha iyi” karakteristiğine göre belirlenmiştir.

Çizelge 4.7 ITAB sertliği için S/N oranına göre cevap tablosu

Seviye	Kaynak Hızı (mm/s)	Tel Besleme Hızı (m/dak)	Frekans (Hz)	Tel Besleme Sapması (m/dak)
1	36,66	36,36	36,30	36,10
2	36,21	36,44	36,21	36,41
3	36,00	36,07	36,36	36,37
Delta	0,66	0,37	0,15	0,31
Rank	1	2	4	3

Taguchi analizinde kaynak ITAB sertliğini etkileyen en önemli faktör 0,66 delta S/N oranına sahip olan kaynak hızıdır. Analize göre ikinci sırada 0,37 S/N oranı ile en etkili faktör tel besleme hızı, üçüncü olarak ise 0,31 S/N oranı ile tel besleme sapması çıkmıştır. Frekans değişimi tek başına ITAB sertliği üstünde en az role sahip olduğu sonucu çıkarılmıştır.



Şekil 4.2 ITAB sertliğinin S/N oranı için etki grafiği

Taguchi analiziyle elde edilen, ITAB'da maksimum sertlik elde etmek için kullanılması gereken kaynak parametreleri deneysel tasarıma göre;

Kaynak hızı: 12,3 mm/s,

Tel besleme hızı: 7 m/dak,

Frekans: 2,8 Hz,

Tel besleme sapması: 1,8 m/dak olarak bulunmuştur.

ANOVA yöntemi kullanılarak elde edilen istatistiki sonuçların, Taguchi yönteminde kullanılan analizle karşılaştırıldığında tutarlı olduğu görülmüştür. Taguchi deneyinde olduğu gibi ANOVA analizinde de ITAB sertliği üstünde en etkili faktör kaynak hızı çıkmıştır. İkinci en etkili faktör ise tel besleme hızıdır.

Frekans için P değerinin 0,05'den küçük çıkmasıyla birlikte sonuç üstünde %95 güvenilirlikte bir etkisi olmadığı Sıfır Hipotezi kabul edilerek kanıtlanmıştır. Aynı zamanda F-test tablosundan seçilen F kritik değeri 3,55 olup hesaplanan F değerinden büyük olduğu için Sıfır Hipotezi (H_0) reddedilememiştir.

Çizelge 4.8 ITAB sertlik ölçümü için varyans analizi

	Serbestlik derecesi	Karelerin toplamı	Ortalama kareler toplamı	F değeri	Pr (>F)
Kaynak hızı	2	110,64	55,32	13,289	0,000285
Tel besleme hızı	2	36,66	18,33	4,404	0,027745
Frekans	2	4,04	2,02	0,485	0,623615
Tel besleme sapması	2	26,56	13,28	3,190	0,065191
Hata	18	74,93	4,16		

Taguchi analizi sonrası istatiki olarak bu seviyelerle üretilmiş bir numuneden alınacak sertlik ölçümünün tahmini sonucu bulunabilmektedir.

Çizelge 4.9 Optimum seviyelerle ITAB sertlik değeri için tahmini S/N oranı

Kaynak Hızı (mm/s)	Tel Besleme Hızı (m/dak)	Frekans (Hz)	Tel Besleme Sapması (m/dak)	Tahmini S/N Oranı (dB)	Tahmini Ortalama Sertlik (HV)
12,3	7	2,8	1,8	36.85	69,71

Minitab analizinde bulunan tahmini S/N oranı ve optimum kaynak parametreleri için doğrulama testi yapılmamıştır. %95 güvenilirlikte ITAB sertliği üstüne etkisi olmayan Frekans faktörü çıkarıldığında, optimum olarak belirlenen seviyeler ile 2. deney setinde test gerçekleştirilmiş ve 69,6 HV ITAB sertliğine sahip olduğu görülmüştür.

4.3 Çentik Darbe Deneyi

Çentik darbe testleri L9 ortogonal dizisiyle oluşturulan deneysel tasarımdaki dokuz deney seti için üçer numune ile gerçekleştirilmiş ve darbe dayanımı ortalamaları hesaplanmıştır.

Çizelge 4.10 Kaynaklı numunelerin çentik darbe testi sonuçları

NO	Darbe dayanımı (kJ/m ²)				Ortalama darbe enerjisi (J)
	Numune 1	Numune 2	Numune 3	Ortalama	
1	694,6	679,8	744,2	706,2	14,3
2	736,8	691,4	585,4	671,2	13,3
3	691,4	642,0	759,5	698,4	14,0
4	829,3	735,6	682,9	749,3	15,7
5	731,7	878,0	850,0	819,9	16,7
6	708,9	626,5	642,0	660,3	13,3
7	839,5	731,7	634,1	735,1	15,0
8	780,5	740,7	615,4	712,2	14,3
9	731,7	780,5	691,4	734,3	15,0

Darbe dayanımı için faktörlerin S/N gürültü oranları “daha büyük daha iyi” karakteristiğine göre belirlenmiştir.

Çizelge 4.11 Darbe dayanımı için S/N oranına göre cevap tablosu

Seviye	Kaynak Hızı (mm/s)	Tel Besleme Hızı (m/dak)	Frekans (Hz)	Tel Besleme Sapması (m/dak)
1	56,60	57,13	56,66	57,44
2	57,19	57,17	56,95	56,56
3	57,08	56,57	57,26	56,87
Delta	0,59	0,61	0,60	0,89
Rank	4	2	3	1

Taguchi analizinde darbe dayanımını etkileyen en önemli faktör 0,89 delta S/N oranına sahip olan tel besleme sapmasıdır. Analize göre 0,59, 0,61 ve 0,60 S/N oranı ile diğer faktörlerin etkisinin birbiriyle benzer seviyede olduğu görülmüştür.

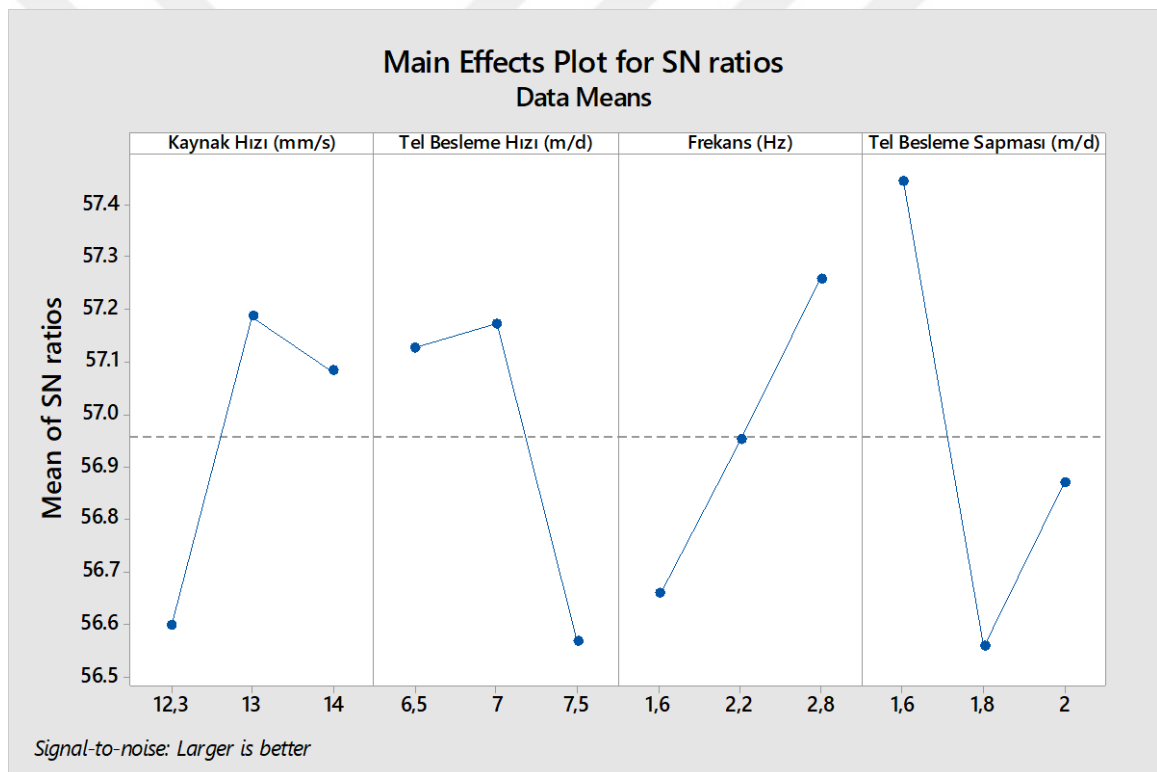
Taguchi analizi sonucunda elde edilen, maksimum darbe dayanımı elde etmek için kullanılması gereken kaynak parametreleri deneysel tasarıma göre;

Kaynak hızı: 13 mm/s,

Tel besleme hızı: 7 m/dak,

Frekans: 2,8 Hz,

Tel besleme sapması: 1,6 m/dak olarak bulunmuştur.



Şekil 4.3 Darbe dayanımının S/N oranı için etki grafiği

ANOVA yöntemi kullanılarak elde edilen istatistiki sonuçlarda Taguchi deneyinde olduğu gibi en etkili faktör tel besleme sapması çıkmıştır. Fakat faktörlerin seçilen seviyelerinin darbe dayanımı üstünde %95 güvenilirlik derecesinde anlamlı bir etkisi olmadığı görülmüştür.

F-test tablosundan seçilen F kritik değeri 3,55 olup, hesaplanan F değeri 3,55'den küçük olduğu için Sıfır Hipotezi (H_0) reddedilememektedir.

Çizelge 4.12 Darbe dayanımı için varyans analizi

	Serbestlik derecesi	Karelerin toplamı	Ortalama kareler toplamı	F değeri	Pr (>F)
Kaynak hızı	2	12352	6176	1,261	0,307
Tel besleme hızı	2	7520	3760	0,768	0,479
Frekans	2	15398	7699	1,572	0,235
Tel besleme sapması	2	19062	9531	1,946	0,172
Hata	18	88143	4897		

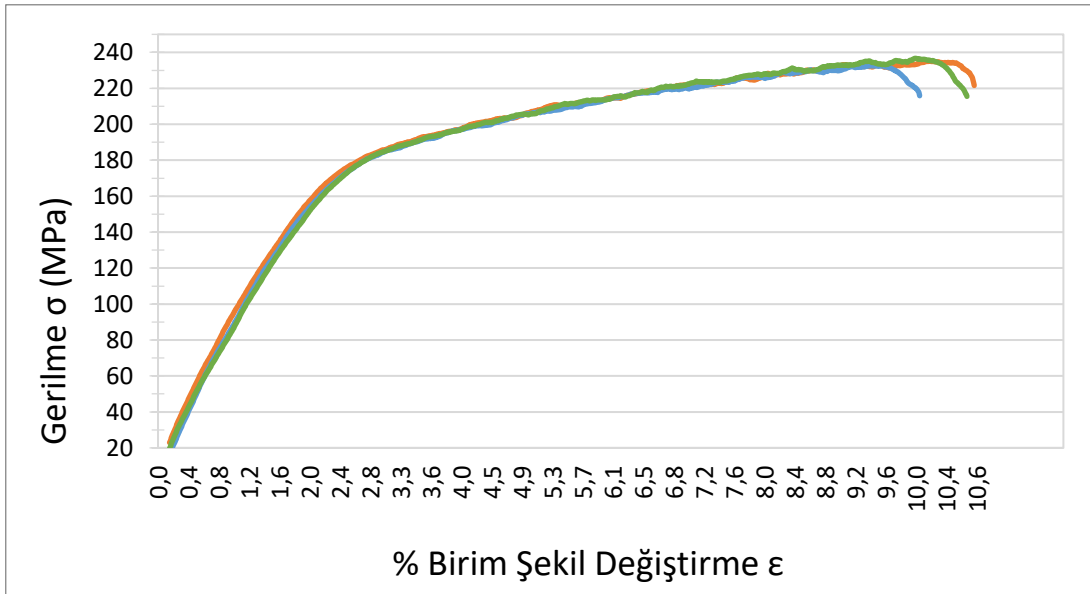
4.4 Enine Çekme Deneyi

Enine çekme deneyi sonuçları da sertlik ölçümünde olduğu gibi her bir deneysel tasarım seti için üç numune ile gerçekleştirilmiş ve ortalamaları hesaplanmıştır. Numunelerin hiçbirinde kaynak dikişinden kopma meydana gelmemiştir. Sertlik ölçümlerinde de görülen ITAB'daki sertlik düşümünden kaynaklı olarak kopmalar bu bölgeden gerçekleşmiştir.

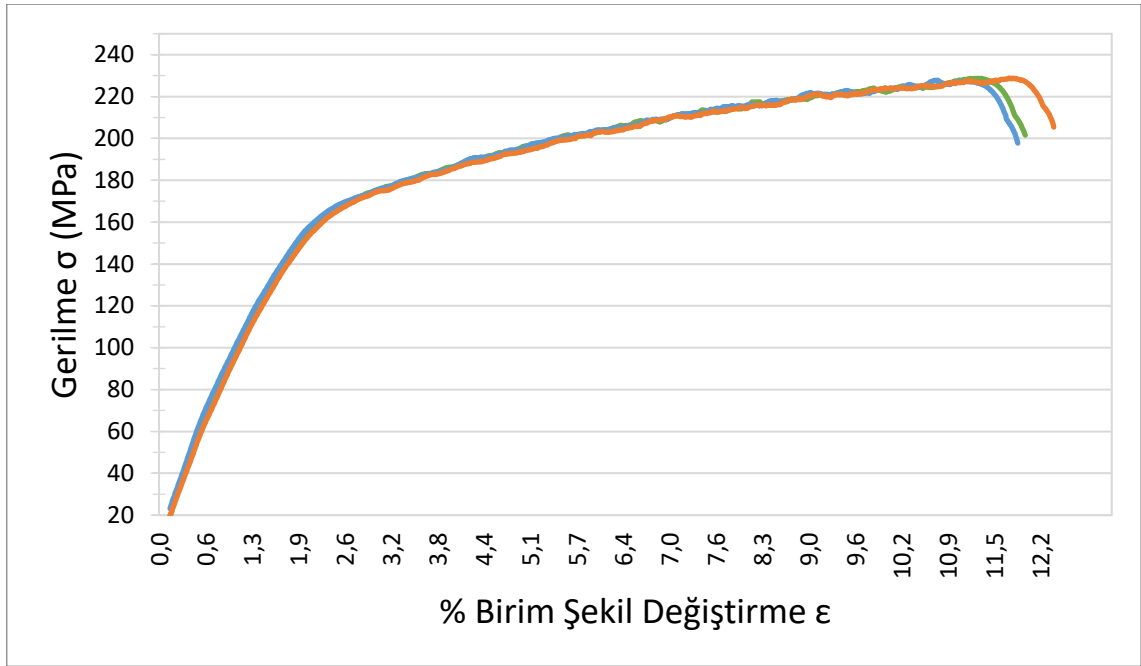
Çizelge 4.13 Kaynaklı numunelerin çekme testi sonuçları

NO	Çekme dayanımı (MPa)				Ortalama uzama (mm)
	Numune 1	Numune 2	Numune 3	Ortalama	
1	237,29	239,05	240,84	239,06	11,28
2	237,56	234,94	238,59	237,03	11,38
3	240,60	237,84	238,94	239,13	11,31
4	237,18	238,22	235,63	237,01	11,32
5	238,06	237,29	237,45	237,60	11,19
6	238,14	241,56	238,53	239,41	12,02
7	240,33	238,75	239,27	239,45	11,41
8	237,12	242,83	236,60	238,85	11,76
9	230,61	229,79	230,72	230,37	13,32

9 numaralı deney seti haricinde tüm deneyler benzer sonuçlar vermiştir. Referans alınan 2 numaralı deney seti için çekme deneyinden elde edilen gerilme ve yüzde uzama grafikleri, üç farklı numunenin deney sonucu Şekil 4.4’de gösterilmiştir. Şekil 4.5’de ise 9 numaralı deney seti için gerilme ve uzama grafiği gösterilmiştir. Diğer 7 deneyin grafikleri Ek A’da verilmiştir.



Şekil 4.4 2 numaralı numunelerin çekme deneyi



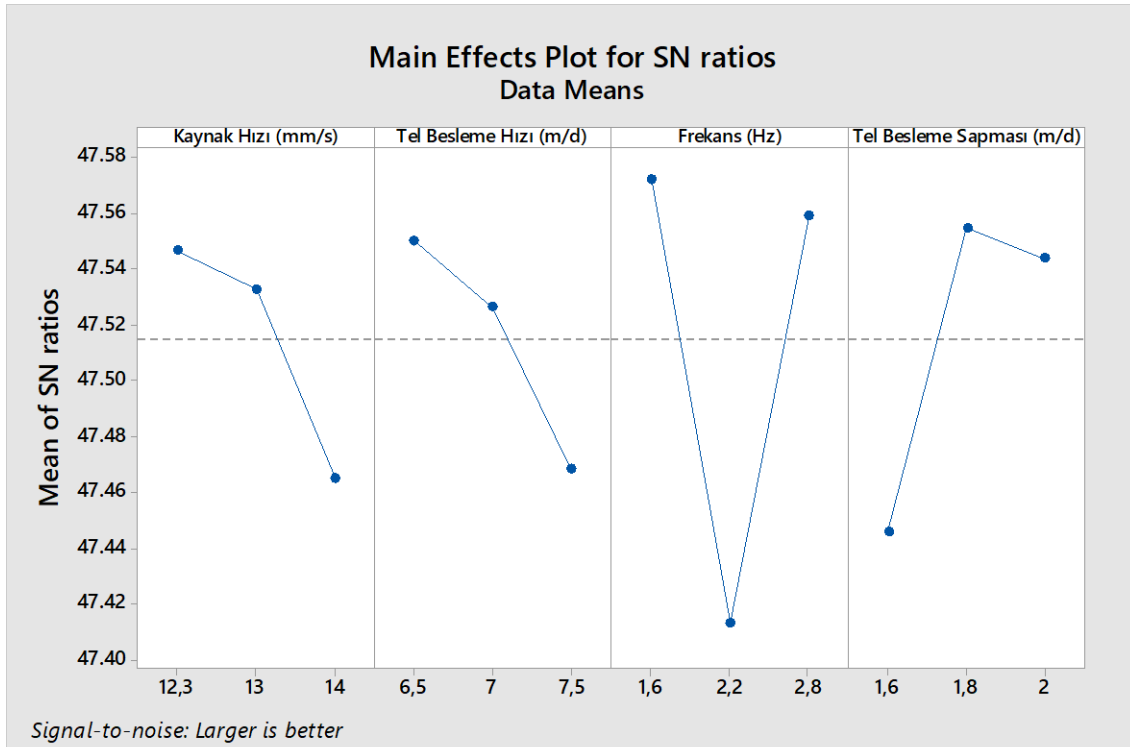
Şekil 4.5 9 numaralı numunelerin çekme deneyi

Çekme deneyinde elde edilen maksimum çekme dayanımı için yapılan Taguchi analizinde S/N oranı belirlenirken “daha büyük daha iyi” kalite karakteristiği kullanılmıştır. Çizelge 4.14’de ortalama maksimum çekme dayanımlarına göre deney tasarımı faktörlerinin S/N oranı, Şekil 4.6’da ise S/N oranı için maksimum çekme dayanımının grafiği verilmiştir.

Çizelge 4.14 Maksimum çekme dayanımı için S/N oranına göre cevap tablosu

Seviye	Kaynak Hızı (mm/s)	Tel Besleme Hızı (m/dak)	Frekans (Hz)	Tel Besleme Sapması (m/dak)
1	47,55	47,55	47,57	47,45
2	47,53	47,53	47,41	47,55
3	47,47	47,47	47,56	47,54
Delta	0,08	0,08	0,16	0,11
Rank	3	4	1	2

Taguchi analizinde maksimum çekme dayanımını en çok etkileyen ilk iki faktör sırasıyla, frekans ve tel besleme sapmasıdır.



Şekil 4.6 Maksimum çekme dayanımının S/N oranı için etki grafiği

Maksimum çekme dayanımı elde etmek için kullanılması gereken kaynak parametreleri deneysel tasarıma göre;

Kaynak hızı: 12,3 mm/s,

Tel besleme hızı: 6,5 m/dak,

Frekans: 1,6 Hz,

Tel besleme sapması: 1,8 m/dak olarak bulunmuştur.

Taguchi yöntemi ve ANOVA yöntemi kullanılarak elde edilen istatistiki sonuçlar karşılaştırıldığı zaman her iki yöntemin sonuçlarının tutarlı olduğu görülmektedir. Taguchi deneyinde olduğu gibi ANOVA analizinde de sonuçlar üstünde en etkili faktör frekans çıkmış, ikinci en etkili faktör ise tel besleme sapması olarak çıkmıştır. P değerinin 0,05'den küçük çıkmasıyla %95 güvenilirlikte tüm faktörlerin sonuç üstünde bir etkisi olduğu Sıfır Hipotezi reddedilerek kanıtlanmıştır. Aynı zamanda F-test tablosundan seçilen F kritik değeri 3,55 olup hesaplanan F değerinden küçük olduğu için Sıfır Hipotezi reddedilmiştir.

Çizelge 4.15 Çekme testi için varyans analizi

	Serbestlik derecesi	Karelerin toplamı	Ortalama kareler toplamı	F değeri	Pr (>F)
Kaynak hızı	2	24,28	12,14	4,070	0,03482
Tel besleme hızı	2	22,91	11,46	3,841	0,04082
Frekans	2	102,09	51,04	17,112	6,86e-05
Tel besleme sapması	2	47,50	23,75	7,963	0,00333
Hata	18	53,69	2,98		

Taguchi analizi sonrası istatiki olarak bu tasarım seviyeleri ile imal edilmiş bir numune ile yapılacak olan çekme dayanımı testinin sonucunun tahmini aşağıda gösterilmiştir.

Çizelge 4.16 Optimum seviyelerle maksimum çekme dayanımı tahmini

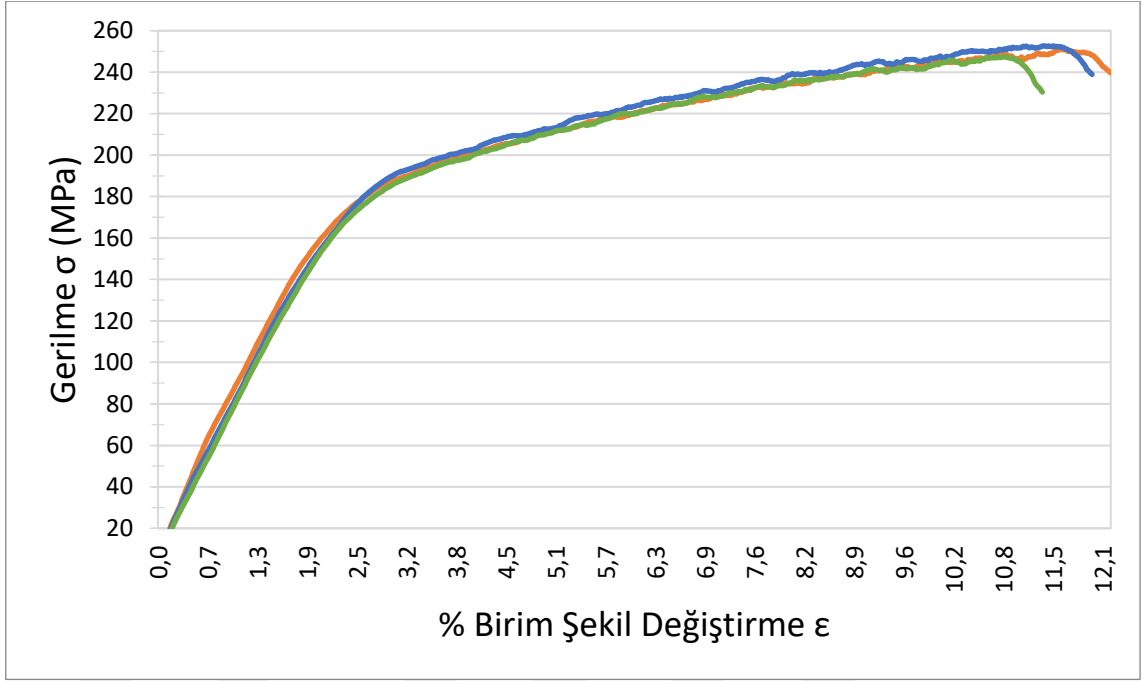
Kaynak Hızı (mm/s)	Tel Besleme Hızı (m/dak)	Frekans (Hz)	Tel Besleme Sapması (m/dak)	Tahmini S/N Oranı (dB)	Tahmini Ortalama (MPa)
12,3	6,5	1,6	1,8	47,68	241,98

Minitab analizinde bulunan tahmini S/N oranı ve optimum kaynak parametreleri için doğrulama testi yapılmıştır. Önerilen kaynak parametreleriyle üretilen numunelerle yapılan enine çekme deneyi sonuçları (Çizelge 4.17 ve Şekil 4.7), ortalama birim şekil değişimi ve hesaplanan S/N oranı aşağıda gösterilmiştir.

Çizelge 4.17 Çekme deneyi için doğrulama testi

Çekme dayanımı (MPa)				Ortalama birim şekil değişimi
Numune 1	Numune 2	Numune 3	Ortalama	
253,94	255,82	249,34	253,03	12,93

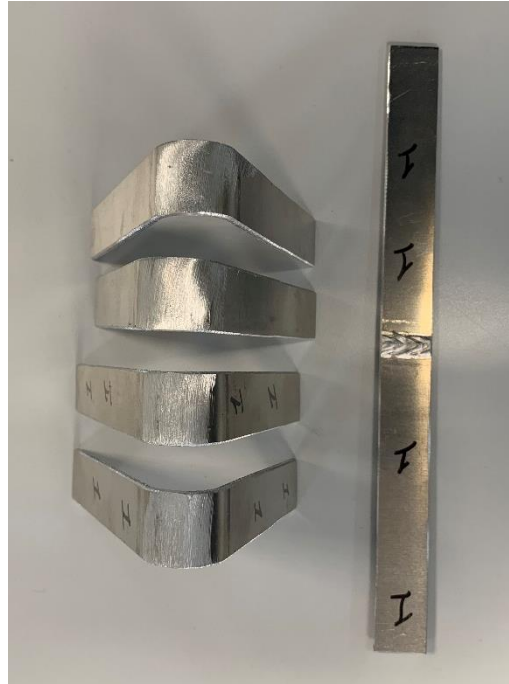
Yapılan çalışma sonrasında referans alınan 2 numaralı deney setine oranla maksimum çekme gerilmesi için %7'lik bir iyileşme sağlanmıştır.



Şekil 4.7 Doğrulama numunelerinin çekme deneyi

4.5 Eğme Deneyi

3 noktalı eğme deneyi Taguchi yöntemine göre oluşturulmuş 9 parametre setinden çıkarılmış deney numuneleri ile yapılmıştır. Her sette iki kök eğme ve iki kep eğme deneyi yapılmıştır. Deneyler sonrasında numunelerde çatlak oluşumu incelenmiştir.



Şekil 4.8 Eğme testi sonrası 1 nolu numuneler

Çizelge 4.18 Eğme deneyi sonuçları

NO	Kep eğme		Kök eğme	
	Numune 1	Numune 2	Numune 3	Numune 4
1	Ok	Ok	Ok	Ok
2	Ok	Ok	Ok	Çatlak gözlendi
3	Ok	Ok	Çatlak gözlendi	Çatlak gözlendi
4	Ok	Ok	Ok	Ok
5	Ok	Ok	Ok	Ok
6	Ok	Ok	Ok	Ok
7	Ok	Ok	Ok	Ok
8	Ok	Ok	Ok	Ok
9	Ok	Ok	Ok	Ok

Deney sonrasında yapılan incelemelerde tüm test numunelerinin kep eğme testinden geçtiği görülmüştür. Fakat 2 ve 3 numaralı numunelerde kök eğme testi sonrasında 3 mm'den büyük yüzey çatlaklarının oluştuğu gözlemlenmiştir. Çatlaklar kök ile ITAB arasında oluşmuştur.



Şekil 4.9 Eğme testi sonrası 2 nolu numuneler

Ayrıca 2 ve 3 numaralı numunelerin kaynağında ısı girdisinin diğer numunelerin kaynağındakilere oranla görece yüksek olduğu Çizelge 4.1'de görülebilir. Yüksek ısı girdisi

nedeniyle tane büyümesi ihtimali yüzeylerde çatlak oluşumuna neden olabilir. Şekil 4.9'da 2 ve Şekil 4.10'da 3 numaralı numunelerdeki kök eğme testi sonrası yüzeylerde oluşan çatlaklar görülmektedir.



Şekil 4.10 Eğme testi sonrası 3 nolu numuneler

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında alüminyum yakıt tanklarında kullanılan 2,5 mm et kalınlığına sahip EN AW-5754 sac malzemenin 5356 ilave tel ile darbeli (puls) akım kullanılarak tam otomatik metal inert gaz yöntemiyle kaynağında, kaynak parametrelerinin mekanik özelliklere etkileri incelenmiştir. Taguchi deneysel tasarımında kullanılan faktörler, birbirinden bağımsız olarak kaynak hızı, tel besleme hızı, frekans ve tel besleme sapması olarak seçilmiş; her bir parametre için 3 seviyeli bir deneysel tasarım oluşturulduktan sonra numunelerin mekanik özellikleri incelenmiştir. Seçilen faktörlerin seviyeleri literatür ve alüminyum yakıt tankı imalatı yapan firmalardan alınan referans kaynak parametreleri göz önünde bulundurularak seçilmiştir. Kaynak hızı için 12,3, 13, 14 mm/s; tel besleme hızı için 6,5, 7, 7,5 m/dak; frekans için 1,6, 2,2, 2,8 Hz ve tel besleme sapması için 1,6, 1,8, 2 m/dak seviyeleri seçilmiştir. Deney tasarımı, literatürde de sıkça kullanılan Taguchi ve L9 ortogonal diziler yardımıyla kurulmuştur.

Klasik deney tasarımı uygulamaları deney sayısının çokluğu nedeniyle endüstri ve literatürde git gide daha az kabul görmektedir. Mühendislik problemlerinin çözümünde sıklıkla kullanılan Taguchi yöntemi kaynak parametrelerinin etkilerinin incelenmesinde de literatürde sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışmada, tasarım aşamasında Taguchi deney tasarımı yönteminin alüminyum MIG kaynak yönteminde kaynak parametrelerinin seçiminde kullanılabileceği görülmüştür. Bu sayede fiziksel olarak imal edilmemiş olan iş parçaları hakkında bilgi sahip olmanın mümkün olduğu, böylece zaman ve maliyetten tasarruf elde edilip daha verimli bir tasarım çalışması yapılabileceği ortaya çıkmaktadır.

Dört faktör ve üçer seviyesi bulunan tam faktöriyel deney tasarımında toplam $3^4= 81$ adet deney yapılması gerekirken, L9 ortogonal dizisinin kullanılmasıyla deney seti sayısı 9'a indirilmiştir.

Yapılan deneysel çalışmalar kapsamında çekme testi sonucunda Taguchi yöntemi ile optimum parametreler kaynak hızı için 12,3 mm/s, tel besleme hızı için 6,5 m/dak, frekans için 1,6 Hz ve tel besleme sapması için 1,8 m/dak olduğu sonucuna varılmıştır. Seçilen faktörlerin deney sonuçları üstündeki etkisi ANOVA yöntemi kullanılarak Taguchi yöntemiyle karşılaştırılmış ve tutarlı bulunmuştur. Doğrulama testleri sonucunda ise bu parametrelerle elde edilen numuneler üstünde testler gerçekleştirilmiş ve sonuçlar doğrulanmıştır. Çekme testleri sonucunda kopmaların ITAB'ın en düşük sertliğe sahip olduğu ana metale yakın kısımdan olması da bu sonucu doğrulamaktadır.

Sertlik ölçümleri sonucunda kaynak dikişi ve kaynak dikişi sertliği için farklı optimum sonuçlar olduğu görülmüştür. Fakat kaynak dikişi sertliği üstünde seçilen faktörlerin %95 güvenilirlikte etkisi olmadığı görülmektedir. Yapılan ölçümler sonucunda kaynak dikişi sertliği 68,3 ve 72,7 HV sertlik değerleri arasında değişmektedir. ITAB sertliği ölçümleri sonucunda ise Taguchi yöntemi ile optimum parametreler kaynak hızı için 12,3 mm/s, tel besleme hızı için 7 m/dak, frekans için 2,8 Hz ve tel besleme sapması için 1,8 m/dak olduğu sonucuna varılmıştır. ANOVA analizi ile frekansın ITAB sertliği üstünde etkisi olmadığı sonucuna varılmış ve diğer faktörler için optimum olarak elde edilen seviyelerle aynı seviyelere sahip olan deneysel tasarımdaki 2. deney numunelerinin sertlik ölçümünde 69,6 HV bulunmuştur.

Çentik darbe dayanım testi sonucunda ise darbe enerjisi için optimum parametreler kaynak hızı için 13 mm/s, tel besleme hızı için 7 m/dak, frekans için 2,8 Hz ve tel besleme sapması için 1,6 m/dak sonucuna ulaşılmıştır. Seçilen faktörlerin deney sonuçları üstündeki etkisi ANOVA yöntemi kullanılarak Taguchi yöntemiyle karşılaştırılmış ve seçilen faktör seviyelerinin %95 güvenilirlik seviyesinde anlamlı bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

Her numune için yapılan eğme testleri sonucunda yüksek ısı girdisi nedeniyle tane büyümesi ihtimaliyle yüzeylerde çatlak oluşumuna neden olabilmektedir. Fakat hiç bir numunede 2 ve 3 numaralı numuneler hariç (yüzeysel çatlaklar haricinde) kopma veya

süreksizlik meydana gelmemesi kaynak parametrelerinin kullanılabileceğini ve uygun olduğunu göstermiştir.

Bu çalışma kapsamında elde edilen optimum kaynak parametreleriyle imal edilmiş numuneler, yakıt tankı imalatı yapan firmadan alınan referans kaynak parametreleriyle elde edilenlerle kıyaslandığında, ayrı ayrı olarak çekme dayanamında %7, çentik darbe dayanımında %22 iyileşme sağlanabileceği görülmüştür.



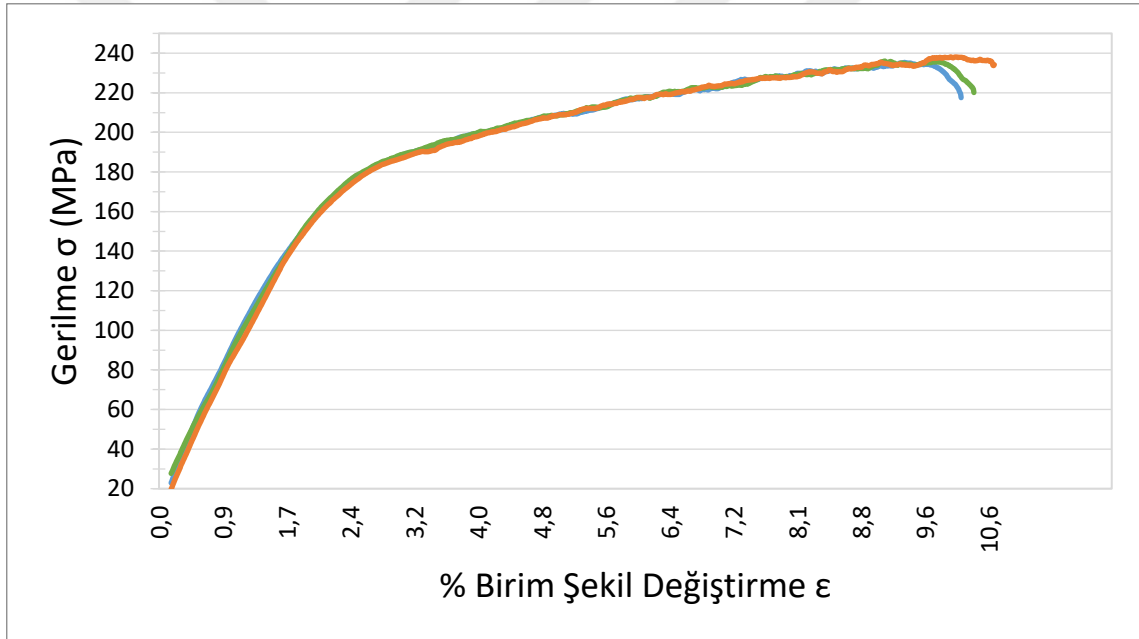
-
- [1] Pinglung, S.B., (2015). 7xxx Aluminum Sheets for Automotive Applications, Master of Applied Science, University of Windsor, Windsor
- [2] AWS A3.0M/A3.0, (2010). Standard Welding Terms and Definitions- Including Terms for Adhesive Bonding, Brazing, Soldering, Thermal Cutting, and Thermal Spraying, American Welding Society, 12th Edition, Miami.
- [3] Eryürek, İ.B. (2007). Gazaltı Ark Kaynağı, Kaynak Tekniği ve Ticaret, İstanbul.
- [4] Kaluç, E., (2004). Kaynak Teknolojisi El Kitabı, Cilt 1, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Kocaeli.
- [5] Anık, S. ve Vural, M., (1998). Gazaltı Ark Kaynağı (TIG, MIG, MAG), Yayın no:3, Gedik Eğitim Vakfı, İstanbul.
- [6] Pires, J. N. ve Loureiro, A. ve Bolmsjö, G., (2006). Welding robots: Technology, system issues and applications, First Edition, Springer, London.
- [7] Aluminium Federation of Southern Africa (AFSA), (2004). The Welding of Aluminium- MIG & TIG fusion: pocket guide, 2nd Edition.
- [8] Anık, S., (1991). Kaynak Tekniği El Kitabı – Yöntemler ve Donanımlar, Gedik Eğitim Vakfı, İstanbul.
- [9] Eryürek, İ.B. ve Odabaş, C. ve Sevük, A., (2007). Kaynak Teknolojisi, 2. baskı, Veritas, İstanbul.
- [10] Tülbentçi, K., (1990). MIG-MAG Eriyen Elektrod ile Gazaltı Kaynağı, Gedik Eğitim Vakfı, İstanbul.
- [11] The Lincoln Electric Company, (2014). Gas Metal Arc Welding, Yayın No: C4.200, Cleveland.
- [12] Praxair Direct, (2003). Shielding Gases Selection Manual, Danbury.
- [13] Bakes, H. ve Benjamin, D., (1979). Metals Handbook- Volume 2, 9th Edition, American Society for Metals, Ohio.
- [14] Schlesinger, M.E., (2006). Aluminum Recycling, 1st Edition, Taylor & Francis Inc, Bosa Roca.
- [15] Altenpohl, D.G., (1998). Aluminum: Technology, Applications and Environment, 6th Edition, Aluminium Association; Warrendale, Pa.: Minerals, Metals & Materials Society, Washington, D.C.
- [16] Okay, S., (2016). Investigation of Mechanical Property Changes After Mig Welding Of (7xxx) Series Aluminum Alloys, Degree of Master of Science, Middle East Technical University, The Graduate School of Natural And Applied Sciences, Ankara.
- [17] Askeland, D.R., (2010). The Science of Engineering of Materials, 6th Edition, Cengage Learning, Stamford.

- [18] Al Saadi, H. I. A, Tunay, R. F. (2017). "Sunı Yaşlandırma İşleminin Alüminyum Alaşımının Sertliği Üzerine Etkisi", Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 5 (3): 525-532.
- [19] Davis, J.R., (1993). Specialty Handbook Aluminum and Aluminum Alloys, ASM International, Ohio.
- [20] Akıncı, S., (2008). 5754 Alüminyum Alaşımının Kaynak Davranışının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [21] ASM International, (1991). ASM Handbook Vol. 4: Heat Treating, ASM International, USA,
- [22] Kaufman, J. G., (2000). Introduction to Aluminum Alloys and Tempers, ASM International, USA.
- [23] Sarıtaş, S., (1995). Engineering Metallurgy and Materials, Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Ankara.
- [24] Patterson, R. A. and Mahin, K. W., (1990). Weldability of Materials, ASM International, Ohio.
- [25] Ravindra, B., Kumar T. S. ve Balasubramanian V., (2011). "Fatigue Life Prediction of Gas Metal Arc Welded Cruciform Joints of AA7075 Aluminum Alloy Failing From Root Region", Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 21 (6): 1210- 1217.
- [26] Kahraman, N. ve Yürük, A., (2016). "Farklı Alüminyum Alaşımlarının Mıg Kaynak Yöntemi İle Kaynak Edilebilirliğinin İncelenmesi", Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 4: 894-901
- [27] Durgutlu, A., (2008). "Alüminyum TIG kaynağında Akım Türünün Kaynak Metali Mikroyapısı ve Darbe Dayanımına Etkisi", Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., 24 (1): 155-160.
- [28] Rajasekaran S., (1999). "Weld Bead Characteristics in Pulsed GMA Welding of Al –Mg Alloys, Weld J., 78 (12): 397-407.
- [29] Empo Alüminyum, EN AW 5754, www.empo.com.tr/aluminyum-levha/en-aw-5754.html, 16 Şubat 2019.
- [30] ASTM B209M, 2014. Standard Specification for Aluminum and Aluminum- Alloy Sheet and Plate (Metric), ASTM International, West Conshohocken.
- [31] AWS A5.10/A5.10M, 2017. Welding Consumables–Wire Electrodes, Wires and Rods for Welding of Aluminum and Aluminum-Alloys–Classification, American Welding Society, Danvers.
- [32] Şırvancı, M. (1997). Kalite İçin Deney Tasarımı, Literatür Yayıncılık, İstanbul.
- [33] Minitab, Minitab 18 Support, support.minitab.com/en-us/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/doe/supporting-topics/taguchi-designs/what-is-the-signal-to-noise-ratio/, 16 Şubat 2019.
- [34] Taguchi, G., Chowdhury, S. ve Wu, Y., (2005). Taguchi's Quality Engineering Handbook, John Wiley and Sons. New Jersey.

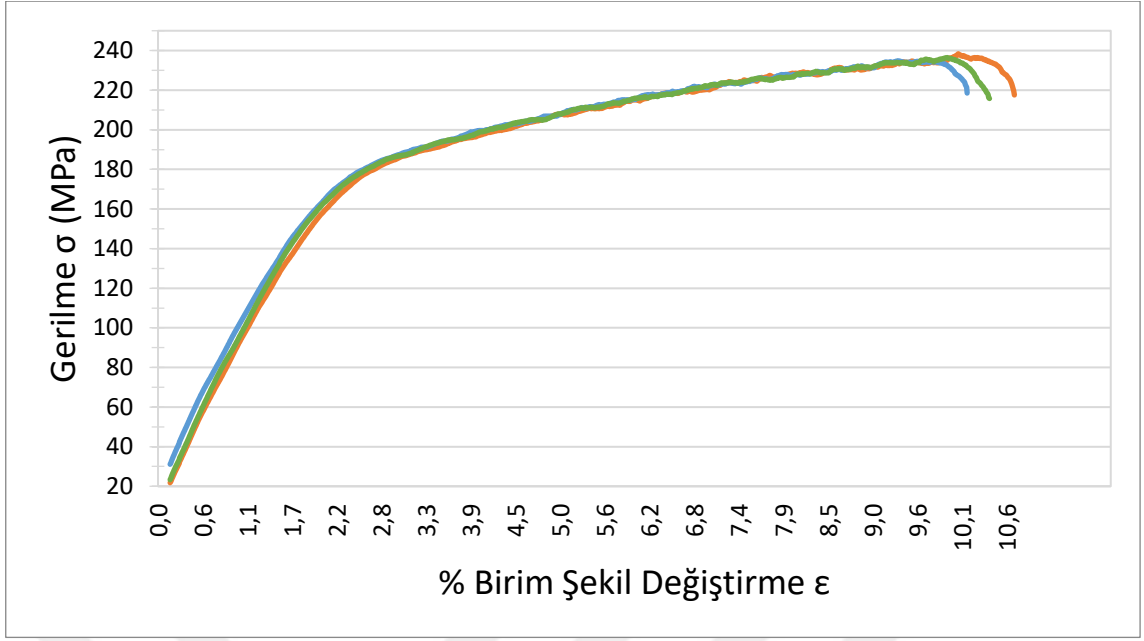
- [35] Şirin, S. M., (2018). R ile Uygulamalı Analiz Yöntemleri – I, Selahattin Murat Şirin, Ankara.
- [36] Kobe Steel, (2015). Arc Welding of Nonferrous Metals, 5-912, Tokyo.
- [37] ISO 148-1, (2016). Metallic materials — Charpy pendulum impact test — Part 1: Test method, ISO, Geneva.
- [38] Biner, İ., (2015). “Kaynaklı Numunelerin Tahribatlı Testlerinin Güvenilirliği ve Cihaz Kalibrasyonu”, Kaynak Kongresi IX. Ulusal Kongre ve Sergisi, 20 Kasım 2015, Ankara.
- [39] ISO 4136, (2012). Destructive tests on welds in metallic materials- Transverse tensile test, ISO, Geneva.
- [40] ISO 5173, (2009). Destructive tests on welds in metallic materials -- Bend tests, ISO, Geneva.
- [41] TS 15614-2, (2007). Metalik malzemeler için kaynak prosedürlerinin şartnamesi ve vasıflandırılması- Kaynak prosedürü deneyi- Bölüm 2: Alüminyum ve alaşımlarının ark kaynağı, TSE, Ankara.

A-1 Gerilme Birim Şekil Değişirme Grafikleri

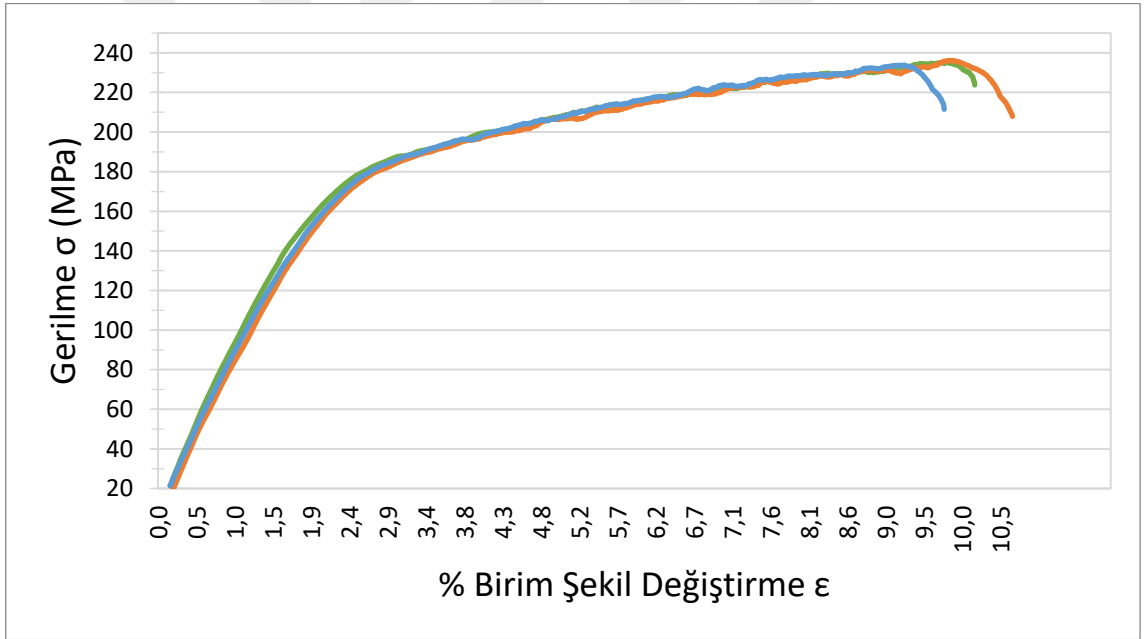
1 no



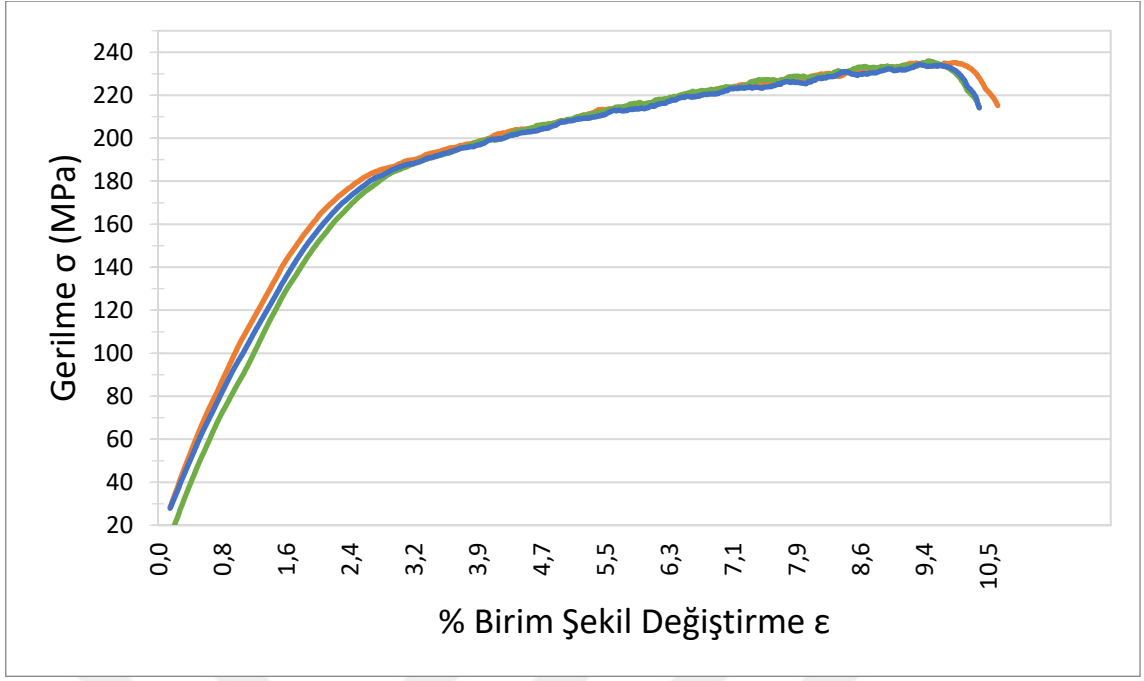
Şekil A.1 1 numaralı çekme testi



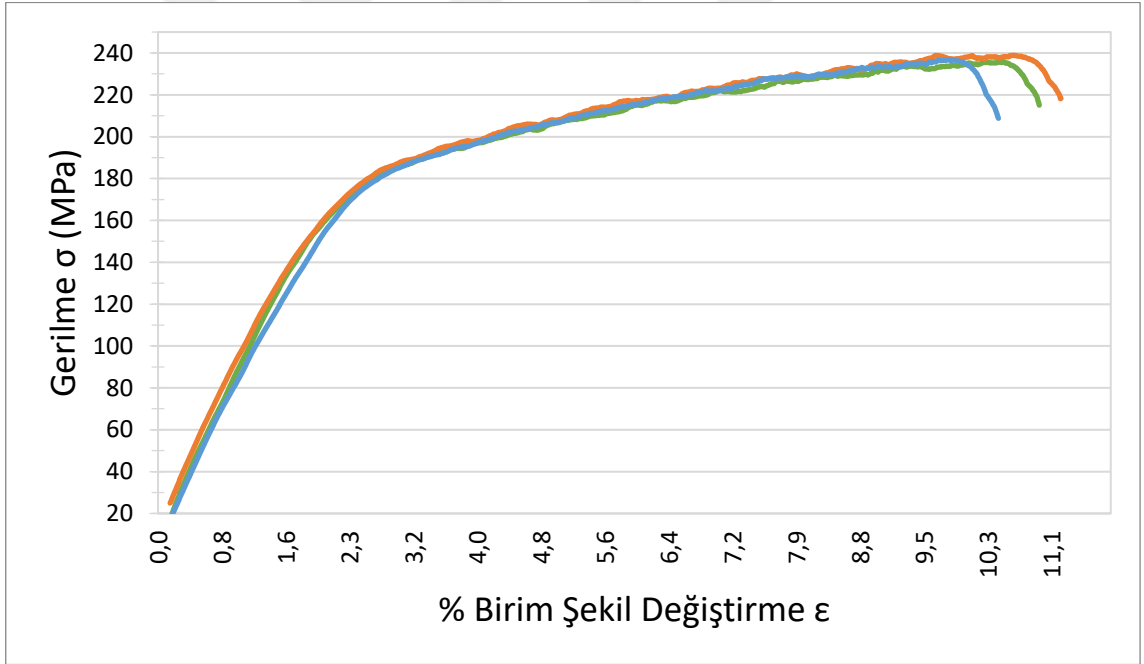
Şekil A.2 3 numaralı çekme testi



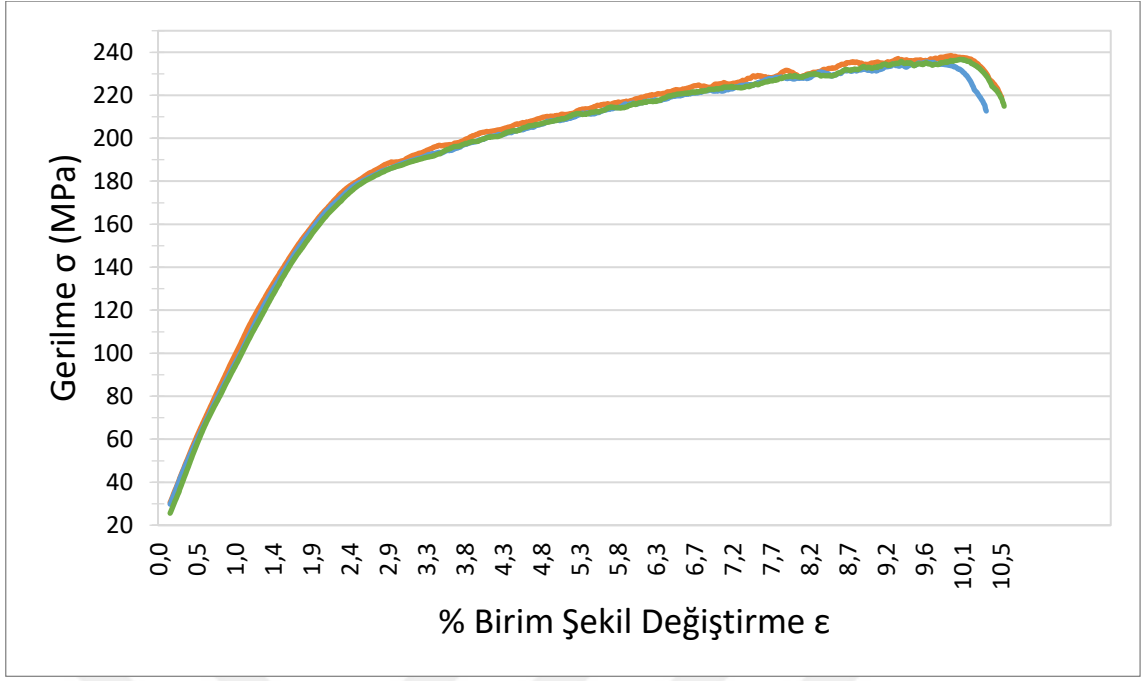
Şekil A.3 4 numaralı çekme testi



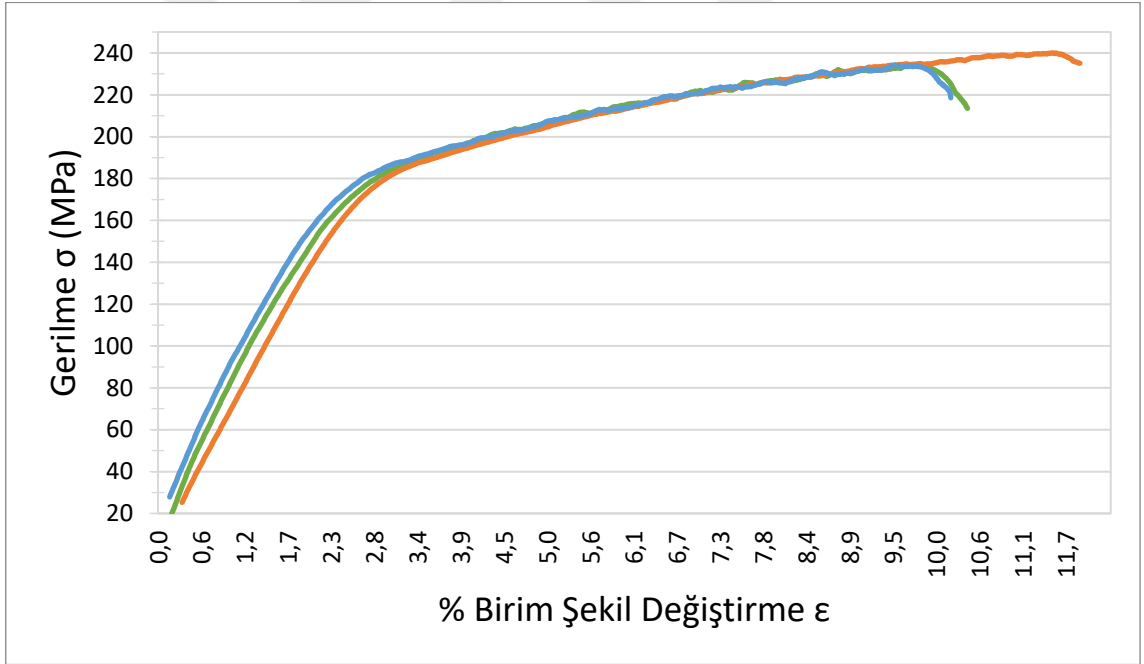
Şekil A.4 5 numaralı çekme testi



Şekil A.5 6 numaralı çekme testi



Şekil A.6 7 numaralı çekme testi



Şekil A.7 8 numaralı çekme testi

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Can CİVELEK
Doğum Tarihi ve Yeri :06.03.1990, Eskişehir
Yabancı Dili :İngilizce
E-posta :ccivele@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Makina Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	
Lisans	Makina Mühendisliği	İstanbul Teknik Üniversitesi	2014
Lise		Eskişehir Anadolu Lisesi	2008

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2014	Ford Otosan	Arge Mühendisi

YAYINLARI

Bildiri

1. Civelek, C. ve Mert, T., (2019). “ Tam Otomatik Metal Inert Gaz Kaynak Yöntemi ile Alüminyum Alaşımı Yakıt Depolarının İmalatında Kaynak Parametrelerinin Mukavemet Üzerine Etkilerinin İncelenmesi”, III. Uluslararası Avrasya Multidisipliner Çalışmalar Kongresi, 4-7 Nisan 2019, Gaziantep.

