# ELEKTRİKLİ ARAÇ BATARYA TAŞIYICILARINDA KULLANILAN FARKLI KAYNAK TÜRLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

**M. Fatih BAĞMANCI**

T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

# ELEKTRİKLİ ARAÇ BATARYA TAŞIYICILARINDA KULLANILAN FARKLI KAYNAK TÜRLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

M. Fatih BAĞMANCI

Prof. Dr. M. İhsan KARAMANGİL
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2022

**Her Hakkı Saklıdır**

# ÖZET


Yüksek Lisans Tezi

ELEKTRİKLİ ARAÇ BATARYA TAŞIYICILARINDA KULLANILAN FARKLI KAYNAK TÜRLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

M. Fatih BAĞMANCI

Bursa Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. M. İhsan KARAMANGİL

Son yıllarda taşıt kaynaklı emisyon değerlerinin azaltılmasına yönelik uygulamalar elektrikli araçlara yönelimi arttırmış, bu da mevcut ağırlık azaltma çalışmalarını daha da hızlandırmıştır. Bu durum özellikle elektrikli araç batarya taşıyıcılarında alüminyum alaşımlarının kullanımını getirmiştir. Çözülmesi gereken problemlerin başında alüminyumun en uygun bir biçimde kaynak edilebilmesi gelmektedir. Elektrikli araçlardaki batarya taşıyıcı kutusunun kaynaklama türleri arasında geleneksel yöntemlerin yanı sıra sürtünme karıştırma kaynağı da son yıllarda öne çıkmıştır.

Bu araştırmada ark kaynak ile sürtünme karıştırma kaynağının (SKK) karşılaştırılması, SKK kaynağında kullanılan takımın ilerleme hızlarının kaynağa etkisi ve levhaların kalınlığının SKK kaynağındaki parametrelere etkisi incelenmiştir. Ekstrüzyon ile üretilen levhaların mikro sertlik değerlerinin değişimi, mekanik özellikleri, penetrasyon incelenmesi ve porozite durumlarına bakılmıştır.

Bu incelemeler doğrultusunda SKK kaynağının ark kaynağa göre mekanik özelliklerinin yani çekme gerilmesi, uzama ve mikro sertlik değerlerinin daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Takım ilerleme hızının ise belirli bir sınır ile mekanik özelliklerine pozitif yönde etki ettiği gözlemlenmiştir. Et kalınlığının SKK yöntemine etkisi ise bindirme kuvvetinin artmasına ve kullanılacak takımın geometrisinin önemini göstermiştir.



Anahtar Kelimeler: Alüminyum Ekstrüzyon, Sürtünme Karıştırma Kaynağı, Ark Kaynağı, Elektrikli Araçlarda Batarya Kutusu, Kaynak Penetrasyon

**2022, x + 83 sayfa**

## ABSTRACT

MSc Thesis

COMPARISON OF DIFFERENT TYPES OF WELDING USED IN ELECTRIC VEHICLE BATTERY CARRIERS

M. Fatih BAĞMANCI

Bursa Uludağ University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Automotive Engineering

Supervisor: Prof. Dr. M. İhsan KARAMANGİL

In recent years, applications to reduce vehicle-related emission values have increased the tendency of electric vehicles, accelerating existing weight reduction efforts. This situation has brought the use of aluminium alloys, especially in electric vehicle battery carriers. The most suitable way to weld aluminium is at the beginning of the problems to be solved. In addition to traditional methods, friction stir welding has also come to the fore in recent years among the welding types of battery carrier boxes in electric vehicles.

In this research, the comparison of arc welding and friction stir welding (FSW), the effect of the speed of the tool used in FSW welding on the welding and the effect of the thickness of the plates on the parameters in the FSW welding were investigated. The change of microhardness values, mechanical properties, penetration analysis and porosity of the sheets produced by extrusion were examined.

In line with these investigations, it has been determined that the mechanical properties of FSW welding are better than arc welding, namely the tensile stress, elongation and microhardness values. It has been observed that the tool feed rate has a positive effect on the mechanical properties with a certain limit. The effect of the wall thickness on the FSW method showed the increase in the overlap force and the importance of the geometry of the tool to be used.



Key words: Aluminum Extrusion, Friction Stir Welding, Arc Welding, Battery Tray in Electric Vehicles, Penetration Welding

**2022, x + 83 pages**

## ÖNSÖZ VE/VEYA TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimimin başından itibaren ve tez çalışmam sürecinde, değerli fikir ve görüşleriyle beni aydınlatan, bana yön veren, sabırla bu süreci yöneten değerli danışman hocam Prof. Dr. M. İhsan Karamangil'e teşekkürlerimi sunarım.
Tez süresince deneysel ve sayısal çalışmalarımda imkân ve destek veren başta Yeşilova Holding Yönetimine, sonrasında ise mühendislik çalışmalarını harika bir ekip olarak iş birliği içinde yürüttüğümüz Yeşilova Holding Ar-Ge Merkezi çatısı altındaki çalışma arkadaşlarıma özellikle Barış Kara ve Köksal Kurt'a teşekkürlerimi sunarım. Ek olarak bu çalışmalarda desteği olan İspanya merkezli Lortek firmasına, NSK Otomotiv firmasına ve AKP Otomotiv firmalarına da ayrıca teşekkür ederim.
Bu çalışmayı, tüm zorlukları benimle göğüsleyen hayatımın her anında maddi ve manevi bana destek olan aileme ve kız arkadaşıma adıyorum.

M. Fatih BAĞMANCI

25/07/2022

# İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET ..... i
ABSTRACT ..... ii
ÖNSÖZ VE/VEYA TEŞEKKÜR ..... iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ ..... vi
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... vii
ÇİZELGELER DİZİNİ ..... x
1. GİRİŞ ..... 1
1.1. Elektrikli Araçların Gelişimi ..... 3
1.2. Elektrikli Araçlarda Batarya Taşıyıcısı Üretiminde Kullanılan Üretim Yöntemleri ..... 4
1.2.1. Ekstrüzyon Üretim Yöntemi ..... 4
1.3. Alüminyum Malzemenin Otomotiv Sektöründe Kullanımı ve Özellikleri ..... 7
1.3.1. Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması ve Özellikleri ..... 11
1.4. Otomotiv Sektöründe Kullanılan Kaynak Yöntemleri ..... 13
1.4.1. Mig-Mag Kaynağı Yöntemi ve Özellikleri ..... 14
1.5. Sürtünme Karıştırma Kaynağı ..... 15
2. KAYNAK ÖZETLERİ (KURUMSAL TEMELLER / GENEL BİLGİLER) ..... 21
3. MATERYAL ve YÖNTEM ..... 34
3.1. Deney Malzemesi ve Özellikleri ..... 35
3.2. Kupon Bazlı Kaynak Çalışmaları ..... 37
3.2.1. 3mm Kupon Bazlı ARK Kaynak Çalışmaları ..... 37
3.2.2. 3mm Kupon Bazlı SSK Kaynak Çalışmaları ..... 38
3.2.3. 8mm Kupon Bazlı ARK Kaynak Çalışmaları ..... 40
3.2.4. 8mm Kupon Bazlı SKK Kaynak Çalışmaları ..... 41
3.3. Mikro Sertlik Ölçüm Çalışmaları ..... 44
3.4. Çekme Testi Çalışmaları ..... 47
3.5. Analiz Çalışmaları ..... 49
4. BULGULAR ..... 50
4.1. 3mm Ark Kaynak Sonuçları ..... 50
4.2. 3mm SKK 5 Kaynak Sonuçları ..... 51
4.3. 3mm SKK 6 Kaynak Sonuçları ..... 52
4.4. 8mm Ark Kaynak Sonuçları ..... 53
4.5. 8mm SKK 5 Kaynak Sonuçları ..... 54
4.6. 8mm SKK 6 Kaynak Sonuçları ..... 55

4.7. 3mm Ark Kaynak Sertlik Sonuçları ..... 56
4.8. 3mm SKK 5 Kaynak Sertlik Sonuçları ..... 56
4.9. 3mm SKK 6 Kaynak Sertlik Sonuçları ..... 57
4.10. 8mm Ark Kaynak Sertlik Sonuçları ..... 58
4.11. 8mm SKK 5 Kaynak Sertlik Sonuçları ..... 58
4.12. 8mm SKK 6 Kaynak Sertlik Sonuçları ..... 59
4.13. 3mm Ana Metal ve Ark Kaynak Çekme Testi Sonuçları ..... 60
4.14. 3mm SKK 5 Kaynak Çekme Testi Sonuçları ..... 62
4.15. 3mm SKK 6 Kaynak Çekme Testi Sonuçları ..... 63
4.16. 8mm Ana Metal ve Ark Kaynak Çekme Testi Sonuçları ..... 64
4.17. 8mm SKK 5 Kaynak Çekme Testi Sonuçları ..... 66
4.18. 8mm SKK 6 Kaynak Çekme Testi Sonuçları ..... 67
4.19. Analiz Sonuçları ..... 69
5. SONUÇ (TARTIŞMA VE SONUÇ) ..... 74
KAYNAKLAR ..... 80
ÖZGEÇMİŞ ..... 83

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

| **Simgeler** | **Açıklama** |
|---|---|
| $CO_2$ | Karbon dioksit |
| Al | Alüminyum |
| Pb | Kurşun |
| Mg | Magnezyum |
| Cu | Bakır |
| CO | Karbon monoksit |
| F | Kuvvet |

| **Kısaltmalar** | **Açıklama** |
|---|---|
| AB | Avrupa Birliği |
| ABD | Amerika Birleşik Devletleri |
| EA | Elektrikli Araçlar |
| Ar-Ge | Araştırma ve Geliştirme |
| OEM | Orijinal Ürün Üreticisi |
| MIG/MAG | Gaz Metal Ark Kaynağı / Korumalı Metal Ark Kaynağı |
| FSW/SKK | Sürtünme Karıştırma Kaynağı |
| CAE | Bilgisayar Destekli Mühendislik |
| CMT/SMT | Soğuk Metal Transferi |
| TS | Türk Standardı |
| BIW | Beyaz Gövde |
| TIG | Argon Kaynağı |
| İT/GT | İlerleyen Taraf/Geri Çekilen Taraf |
| AA | Alüminyum Alaşımı |
| HAZ/ITAB | Isı Tesiri Altında Kalan Bölge |
| EN-AW | Avrupa Normu İşlenmiş Alüminyum |
| TMAB | Termo Mekanik Etki Altında Kalan Bölge |

# ŞEKİLLER DİZİNİ


| | | Sayfa |
|---|---|---|
| Şekil 1.1. | 2016-2020 yılında AB ve ABD ülkelerinin km başına düşen emisyon miktarları (Anonim 2016)…… | 1 |
| Şekil 1.2. | Elektrikli araçların gelişimi (Lixin Situ, 2009)…….... | 3 |
| Şekil 1.3. | Ekstrüzyon üretim döngüsü (Anonim 2019)…….. | 4 |
| Şekil 1.4. | Ekstrüzyon pres makinesinin gösterimi (Anonim 2021b)…….. | 5 |
| Şekil 1.5. | Direkt ekstrüzyon yöntemi (Anonim 2014b)…….. | 6 |
| Şekil 1.6. | Endirekt ekstrüzyon yöntemi (Anonim 2014b)…….. | 6 |
| Şekil 1.7. | Endirekt ekstrüzyon yöntemi (Anonim 2010a)…….. | 7 |
| Şekil 1.8. | Hidrostatik ekstrüzyon yöntemi (Anonim 2010a)…….. | 7 |
| Şekil 1.9. | Otomotiv sektöründe gelecek yıllarda kullanılacak malzemelerin yüzdesel dağılımı (Anonim 2018a)…… | 8 |
| Şekil 1.10. | Üreticilerin ağırlık ve CO emisyon grafiği (Anonim 2017a)…….. | 9 |
| Şekil 1.11. | Bir aracın ağırlık dağılımına etki eden parçaların oransal gösterimi (Anonim 2012a)……. | 10 |
| Şekil 1.12. | Alüminyum metalinin dünya geneli kullanım dağılımı (Başer 2012). | 11 |
| Şekil 1.13. | MIG-MAG kaynakları örnek şema gösterimi (Çiğdem 2006)…… | 14 |
| Şekil 1.14. | Sürtünme karıştırma kaynağı örnek şema gösterimi (ESAB)……. | 16 |
| Şekil 1.15. | Kullanılan farklı karıştırma uçları…….. | 16 |
| Şekil 1.16. | Sürtünme karıştırma nokta kaynağı işleminin şematik gösterimi (Al-Zubaidy 2016, değiştirilerek alınmıştır.)…… | 17 |
| Şekil 1.17. | İlerleme ve Geri Çekilme Yönlerinin Gösterimi (Li, 2017)…… | 19 |
| Şekil 1.18. | Yüksek tanecik ve düşük tanecik yoğunluğunun mikro yapıda gösterimi (Sutton ve ark., 2001 )…… | 19 |
| Şekil 1.19. | SKK kaynağı sertlik değişim grafiği (Gallais ve ark., 2007, değiştirilerek alınmıştır.)…… | 20 |
| Şekil 2.1. | Şekil 19: Eğme Test Görüntüleri (Subhashini ve ark. 2017)…….. | 22 |
| Şekil 2.2. | Çekme Numunesinin Ölçüleri (Abdulwadood ve ark. 2014, değiştirilerek alınmıştır.)…… | 23 |
| Şekil 2.3. | 1. Çalışmanın Kaynak Görüntüleri (Abdulwadood ve ark. 2014, değiştirilerek alınmıştır.)…… | 25 |
| Şekil 2.4. | Numunelerin Kopma Noktaları (Abdulwadood ve ark. 2014, değiştirilerek alınmıştır.)…… | 27 |
| Şekil 2.5. | Normal sürtünme karıştırma kaynağı tork değerleri (Rathinasuriyan ve ark. 2021.)…….. | 29 |
| Şekil 2.6. | 10 mm derinliğinde sürtünme karıştırma kaynağı tork değerleri (Rathinasuriyan ve ark. 2021.)……... | 29 |
| Şekil 2.7. | 20 mm derinliğinde sürtünme karıştırma kaynağı tork değerleri (Rathinasuriyan ve ark. 2021.)……... | 30 |
| Şekil 2.8. | Güç değerleri (Rathinasuriyan ve ark. 2021.)……. | 30 |
| Şekil 2.9. | Isı girdisi değerleri (Rathinasuriyan ve ark. 2021.)……. | 31 |
| Şekil 2.10. | Sertlik değerleri şeması: (a) geleneksel, (b) darbeli (Serindağ ve ark. 2020.)…… | 32 |
| Şekil 3.1. | AWS D17.3 standardı…… | 36 |
| Şekil 3.2. | Boy kesimi yapılan alüminyum ekstrüzyon profilleri…… | 36 |
| Şekil 3.3. | Ark alın kaynağı atılan 3mm levhalar…….. | 37 |

Şekil 3.4. Parametre belirlemek için yapılan 4 farklı deneme çalışma görseli (8mm)…… 39
Şekil 3.5. FSW05 (A) kaynağı ve FSW06 (B) kaynaklı görüntüler (3mm)…… 40
Şekil 3.6. Ark alın kaynağı atılan 8mm levhalar……. 41
Şekil 3.7. Parametre belirlemek için yapılan 4 farklı deneme çalışma görseli (8mm)…… 43
Şekil 3.8. FSW05 (A) kaynağı ve FSW06 (B) kaynaklı görüntüler (8mm)…… 43
Şekil 3.9. Parlatma işlemi anına ait görsel…….. 44
Şekil 3.10. Mikro sertlik ölçümleri için oluşturulan bakalitler……. 45
Şekil 3.11. Ölçüm noktalarının 3mm ark kaynağı için şematik gösterimi…… 45
Şekil 3.12. Metkon mikro sertlik cihaz görseli……. 46
Şekil 3.13. Sertlik ölçümü anına ait görsel……... 46
Şekil 3.14. Çekme numunesi ölçüleri……... 47
Şekil 3.16. Çekme numuneler görselleri…….. 48
Şekil 3.16. Çekme testi cihazı ve işlem anındaki görseli…….. 48
Şekil 3.17. Sanal ortamda modeli oluşturulan çekme çubuğu modeli…….. 49
Şekil 4.1. 3mm Ark kaynak penetrasyon inceleme görseli…….. 50
Şekil 4.2. 3mm SKK 5 kaynak penetrasyon inceleme görseli…… 52
Şekil 4.3. 3mm SKK 6 kaynak penetrasyon inceleme görseli…… 52
Şekil 4.4. 8mm Ark kaynaklı numunenin penetrasyon inceleme görseli…… 53
Şekil 4.5. 8mm SKK 5 kaynak penetrasyon inceleme görseli…… 54
Şekil 4.6. 8mm SKK 6 kaynak penetrasyon inceleme görseli…… 55
Şekil 4.7. 3mm Ark kaynaklı numunenin sertlik grafiği……. 56
Şekil 4.8. 3mm SKK 5 kaynak sertlik grafiği……. 57
Şekil 4.9. 3mm SKK 6 kaynak sertlik grafiği……. 57
Şekil 4.10. 8mm Ark kaynaklı numunenin sertlik grafiği……. 58
Şekil 4.11. 8mm SKK 5 kaynak sertlik grafiği……. 59
Şekil 4.12. 8mm SKK 6 kaynak sertlik grafiği……. 59
Şekil 4.13. 3mm Ana metal ve Ark kaynaklı numunelerin çekme sonuçları grafiği……. 61 61
Şekil 4.14. Çekme testi sonrası kopan 3mm ana metal ve Ark kaynaklı numunelerinin görselleri…… 62
Şekil 4.15. 3mm SKK 5 kaynaklı numunelerin çekme sonuçları grafiği…….. 62
Şekil 4.16. Çekme testi sonrası kopan 3mm SKK 5 numunelerinin görselleri…… 63 64
Şekil 4.17. 3mm SKK 6 kaynaklı numunelerin çekme sonuçları grafiği…….. 64
Şekil 4.18. Çekme testi sonrası kopan 3mm SKK 5 numunelerinin görselleri….. 65
Şekil 4.19. 8mm Ana metal ve Ark kaynaklı numunelerin çekme sonuçları grafiği……. 64
Şekil 4.20. Çekme testi sonrası kopan 8mm ana metal ve Ark numunelerinin görselleri…… 66
Şekil 4.21. 8mm SKK 5 kaynaklı numunelerin çekme sonuçları grafiği…….. 67
Şekil 4.22. Çekme testi sonrası kopan 8mm SKK 5 numunelerinin görselleri….. 67
Şekil 4.23. 8mm SKK 6 kaynaklı numunelerin çekme sonuçları grafiği…….. 68
Şekil 4.24 Çekme testi sonrası kopan 8mm SKK6 numunelerinin görselleri….. 69
Şekil 4.25. 3mm Ana metalin çekme analiz ile testi karşılaştırma grafiği…… 69
Şekil 4.26. 3mm Ark kaynaklı numunenin çekme analiz ile testi karşılaştırma grafiği……. 70

Şekil 4.27. 3mm SKK 5 numunenin çekme analiz ile testi karşılaştırma grafiği.. 70
Şekil 4.28. 3mm SKK 6 numunenin çekme analiz ile testi karşılaştırma grafiği.. 71
Şekil 4.29. 8mm Ana metalin çekme analiz ile testi karşılaştırma grafiği…… 71
Şekil 4.30. 8mm Ark kaynaklı numunenin çekme analizi ile testi karşılaştırma grafiği……. 72
Şekil 4.31. 8mm SKK 5 numunenin çekme analiz ile testi karşılaştırma grafiği.. 72
Şekil 4.32. 8mm SKK 6 numunenin çekme analiz ile testi karşılaştırma grafiği.. 73
Şekil 5.1. 3mm kaynaksız ve kaynaklı numunelerin toplu sertlik grafiklerinin gösterimi…… 75
Şekil 5.2. 3mm AA6063-T6 sertlik sonuç grafiği (Moreira, 2008)……... 75
Şekil 5.3. 8mm kaynaksız ve kaynaklı numunelerin toplu sertlik grafiklerinin gösterimi…… 76
Şekil 5.4. 3mm kaynaksız ve kaynaklı numunelerin toplu çekme grafiklerinin gösterimi…… 77
Şekil 5.5. 3mm AA6063-T6 çekme testi sonuç grafiği (Moreira, 2008)…….... 77
Şekil 5.6. 8mm kaynaksız ve kaynaklı numunelerin toplu çekme grafiklerinin gösterimi…… 78

# ÇİZELGELER DİZİNİ


| | | Sayfa |
|---|---|---|
| Çizelge 1.1. | Alüminyum alaşımların farklı işlemlere göre tanımları (Başer 2012) | 12 |
| Çizelge 2.1. | Kaynak parametreleri……. | 21 |
| Çizelge 2.2. | Kullanılan takımın alaşım özellikleri…… | 21 |
| Çizelge 2.3. | Kullanılan takımın ölçüleri…… | 21 |
| Çizelge 2.4. | Çekme test sonuçları……. | 22 |
| Çizelge 2.5. | Eğme test sonuçları…… | 22 |
| Çizelge 2.6. | Sertlik ölçme sonuçları……. | 23 |
| Çizelge 2.7. | Deney parametre tablosu……... | 24 |
| Çizelge 2.8. | Kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri…… | 24 |
| Çizelge 2.9. | 1. Çalışmanın çekme testi sonuçları…….. | 24 |
| Çizelge 2.10. | 1. Çalışmanın sertlik ölçüm sonuçları……... | 25 |
| Çizelge 2.11. | 2. Çalışmanın çekme testi sonuçları…….. | 26 |
| Çizelge 2.12. | 2. Çalışmanın sertlik sonuçları tablosu…….. | 26 |
| Çizelge 2.13. | 3. Çalışmanın çekme testi sonuçları…….. | 26 |
| Çizelge 2.14. | 2. Çalışmanın sertlik testi sonuçları……... | 27 |
| Çizelge 2.15. | Çalışma deney tablosu……... | 28 |
| Çizelge 2.16. | Kaynak işlemlerinde kullanılan kaynak parametreleri (Serindağ ve ark. 2020.)…….. | 32 |
| Çizelge 2.17. | Çekme deneyi sonuçları (Serindağ ve ark. 2020.)……. | 33 |
| Çizelge 3.1. | EN-AW AA6063-T6 alaşımının kimyasal bileşimi (Boldsaikhan)... | 35 |
| Çizelge 3.2. | 3mm Ark kaynak parametreleri……. | 37 |
| Çizelge 3.3. | SKK da kullanılan takımın kimyasal bileşenleri (ISO 4957:2018 standardından alınmıştır.)…….. | 38 |
| Çizelge 3.4. | 3mm SKK yönteminde kullanılan takımın bilgileri…….. | 38 |
| Çizelge 3.5. | Yapılan deneylerin parametre tablosu……... | 39 |
| Çizelge 3.6. | 8mm Ark Kaynak Parametreleri…… | 41 |
| Çizelge 3.7. | Kullanılan takımın kimyasal bileşenleri…… | 42 |
| Çizelge 3.8. | Takım Ölçüleri……... | 42 |
| Çizelge 3.9. | Yapılan deneylerin parametre tablosu……... | 42 |
| Çizelge 4.1. | 3mm Ark kaynak penetrasyon sonuç tablosu……..... | 51 |
| Çizelge 4.2. | 8mm Ark kaynak penetrasyon sonuç tablosu…… | 54 |
| Çizelge 4.3. | 3mm Ana metal ve Ark Kaynaklı numunelerin çekme sonuçları tablosu ……... | 60 |
| Çizelge 4.4. | 3mm SKK 5 kaynaklı numunelerin çekme sonuçları tablosu……... | 62 |
| Çizelge 4.5. | 3mm SKK 6 kaynaklı numunelerin çekme sonuçları tablosu……... | 63 |
| Çizelge 4.6. | 8mm Ana metal ve Ark kaynaklı numunelerin çekme sonuçları tablosu…… | 65 |
| Çizelge 4.7. | 8mm SKK 5 kaynak penetrasyon sonuç tablosu……... | 66 |
| Çizelge 4.8. | 8mm SKK 6 kaynak penetrasyon sonuç tablosu……... | 68 |

# 1. GİRİŞ

Günümüzde artan küresel ısınma sorunları, geri dönüştürülemez kaynakların azalması, karbon ayak izinin artması ve birçok etkenden dolayı elektrikli araçların kullanımının teşvik edilmesi için birçok ülkede hükümetler hem otomotiv firmalarını hem de vatandaşlarını teşvik etmektedir.

Otomotiv sanayisinde üretim yaparken birçok zorluklarla karşılaşılır. Bunlar; CO2 salınımı, üretilebilirlik, maliyet, gibi birçok etkenlerdir. Bu sebepler sürdürebilir yenilikçi ve hafif tasarımların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu sebeplerin en başında ise sera gazları ve CO2 salınımları gelmektedir.

Bu yıl ülkemizin de imzaladığı Paris Anlaşması Birleşmiş Milletler İklim değişikliği ve çevre sözleşmesi ile uzun vadeli sıcaklık hedefi, küresel ortalama sıcaklık artışını sanayi öncesi seviyelerden 2 -2,5° artış seviyesi ile sınırlı tutmak ve daha da aza indirerek 1,5 °C'nin altında tutmak amaçlanmaktadır. Sera gazı ve CO2 salınımını azalması sağlanmaz ve yenilenemeyen enerjilerin kullanımı artarsa önümüzdeki yıllarda hava sıcakları artışları fazla olup ekolojik dengeyi bozacaktır.
(Anonim 2022a)

Şekil 1.1'de görüldüğü üzere AB ve ABD ülkelerinin CO2 atığını azaltmak için bazı kararlar aldıkları görülmektedir. Avrupa'da 2016 yılında km başına 132 gram olan değerin 2020'de 95 grama indirgemesinin %26,92'ler oranında iyileştirme yapmayı hedeflemektedir. Öte yandan Avrupa tarafında ise bu oran %14,83 oranındadır. (Anonim 2016)

| Kirleticiler İçin Belirlenmiş Emisyonların İlgili Standartları (g/km) | Amerika | AB |
|---|---|---|
| Karbondioksit ($Co_2$, 2016 yılında) | 155 | 130 |
| Karbondioksit ($Co_2$, 2020 yılında) | 132 | 95 |

**Şekil 1.1.** 2016-2020 yılında AB ve ABD ülkelerinin km başına düşen emisyon miktarları (Anonim 2016)

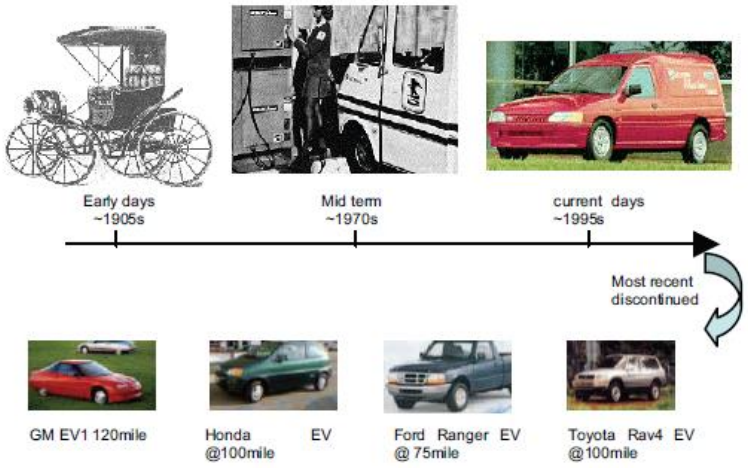
Bilindiği üzere günümüzde elektrikli araçlarda kullanılan batarya taşıyıcı kutularının ve pillerinin ağırlığının fazla olması kullanılan elektrikli araçların menzil problemine neden olmaktadır. Ağırlığın sebep olduğu problemlerden biri de CO2 emisyon ve sera gazı salınımlarının miktarıdır. Elektrikli araç üretici firmalarının bu problemleri en aza indirmek için batarya taşıyıcı kutuları hafifletme çalışmalarının olduğu bilinmektedir.

Bu sebeplerden dolayı batarya taşıyıcı kutularının ağırlığının azaltılması için AB'nin fonladığı birçok batarya taşıyıcı hafifletme projeleri mevcuttur. Bu projelerde üretilecek olan batarya taşıyıcı kutularının hafif olmasına ek olarak, tasarımsal, fonksiyonel ve güvenlikli olması en dar boğazlar olarak görünmektedir. Bu darboğazların çözümü için üretim metodu, tasarımsal değişiklikler ve malzeme değişiklikleri örnek olarak hibrit yapıya sahip profiller ile sağlanmaya çalışılmaktadır. Eğer üretilecek olan batarya taşıyıcı kutusunun dış ve iç konstrüksiyon elemanları daha hafif üretilebilirse elektrikli aracın hem menzil probleminin hem de emisyon miktarının azalacağı bilinmektedir. Elektrikli ve hibrit araçlarda hafifletilen her bir kg aracın her şarjında 3 km daha fazla yol gidebileceği öngörülüp yapılan analizler sonucu test edilmiştir. (Güven, 2017)

### 1.1. Elektrikli Araçların Gelişimi

Enerji bağımsızlığı ve çevre sorunu ile bağlantılı olarak alternatif yakıtlı araçlar, özellikle elektrikli ve hibrit elektrikli araçlar tüm dünyada devlet politikasının bir parçası haline geldi. Bu sebepten dolayı İngiltere, daha katı bir yakıt ekonomisi standardını zorunlu kılmaya başladı. Bu sadece Avrupa da değil aynı zamanda Orta Asya'da da zorunlu hale gelmeye başladı. Örneğin Çin geçtiğimiz yıllarda elektriğin dağıtımını hızlandırmak ve sübvanse etmek adına yeni bir enerji aracı politikası yayınladı ve 2011 için 500 bin hedef belirledi. Hong Kong ayrıca yakın gelecekte EA uygulaması için net bir vizyon belirledi. (Lixin Situ, 2009)

Elektrikli araçlar, elektrikli motorların icadından sonra ortaya çıkmıştır ve nerdeyse 150 yıldır vardır. Elektrikli araçların gelişimi geçmişten günümüze Şekil 1.2'de olduğu gibi 3 aşamada sınıflandırılabilir. (Lixin Situ, 2009)




**Şekil 1.2.** Elektrikli araçların gelişimi (Lixin Situ, 2009)

Elektrikli araçlar en eski otomobiller arasında ve içten yanmalı motorlu araçların önünde yer alıyordu. 1920'nin sonlarından 1930'lara kadar benzinli araçlara kıyasla 3 kat daha fazlaydı ve 1900'lerin başında kara aracı kullanımında birinci sırada yer alan önemli bir ulaşım aracıydı. Birçok etkende dolayı elektrikli araçların gelişimi içten yanmalı motorlar kadar belirli bir süre ilerlemedi. Bu etkenlerin başında maliyet, düşük menzil ve seri üretilebilirlik vardı. (Lixin Situ, ff2009)

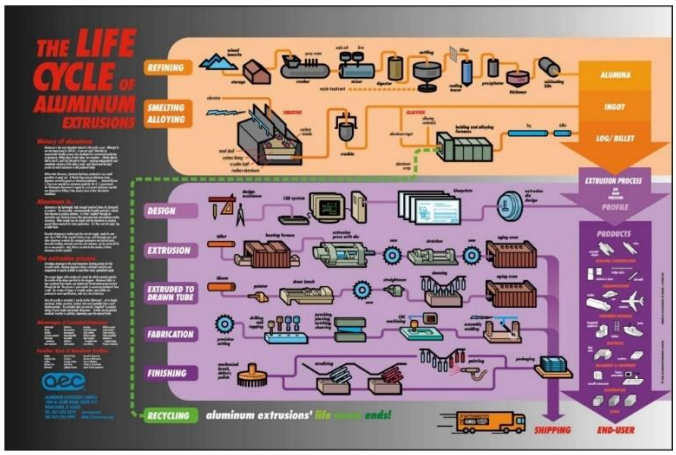
Geçmişten günümüze birçok otomotiv firması, Avrupa Birliği Fonu, TÜBİTAK elektrikli araçların daha yaygınlaşması ve maliyetinin düşürülmesi için bu konuda Ar-Ge çalışmaları ve yatırımları gerçekleştirmektedir. Bu firmalardan en fazla Ar-Ge yatırımı yapan firma ise Tesla Motors firmasıdır.
(Anonim 2022b)

## 1.2. Elektrikli Araçlarda Batarya Taşıyıcısı Üretiminde Kullanılan Üretim Yöntemleri

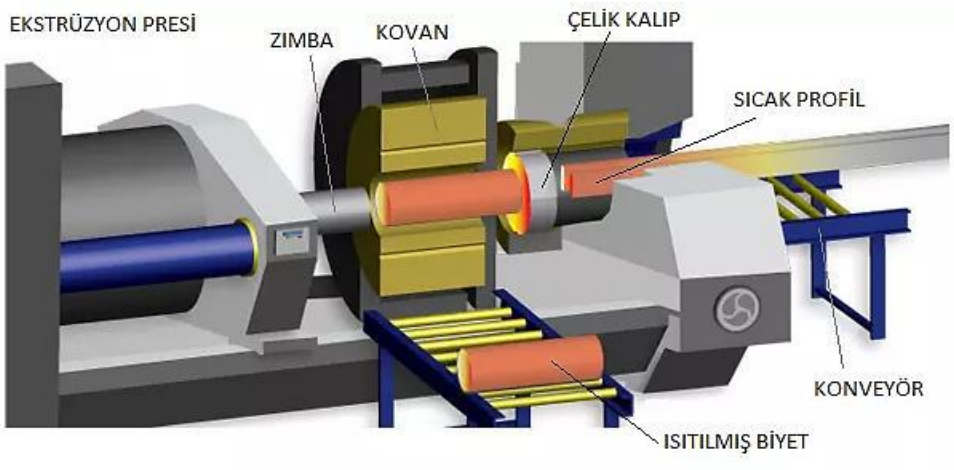
Elektrikli araçlardaki batarya kutuları bir diğer adıyla batarya taşıyıcıları profilleri günümüzde birçok farklı üretim yöntemi ile üretiliyor. Bunların başında ekstrüzyon olmak üzere, döküm, pultrüzyon, plastik termoform prosesi gibi üretim yöntemleri ile batarya taşıyıcılar üretilir.

### 1.2.1. Ekstrüzyon Üretim Yöntemi

Ekstrüzyon prosesi elde edilmek istenen federli karmaşık profilli parçaların oluşturulması amacıyla silindirik malzemenin sektördeki tanımıyla biletin ekstrüzyon için gerekli olan sıcaklığa ergiterek yarı akıcı hale getirilip belirlenen hız ve güç ile itilerek üretilme prosesidir (Şekil 1.3). Ekstrüzyon prosesi yöntemi belirli başlı avantajlara sahiptir. Bu avantajlar; zor karmaşık kesitler oluşturma ve ince federli yapıların herhangi bir ek işleme gerek duymadan farklı açılarda ekleyebilmesi ve üretilebilmesidir. Eriyik bilet malzemenin bir kalıp ve pres gücü kullanarak şekil verilmesi işlemidir.




**Şekil 1.3.** Ekstrüzyon üretim döngüsü (Anonim 2019)




**Şekil 1.4.** Ekstrüzyon pres makinesinin gösterimi (Anonim 2021b)

Dairesel malzeme yani ısıtılmış bilet kovan içerisine yerleştirildikten sonra pres gücü ile zımbanın kütüğü kalıptan geçirmesi sonucu sabit kesit alanlı profiller elde edilebilir (Şekil 1.4). Malzeme olarak alüminyum, bakır, paslanmaz çelik ve değişik plastik malzemeler kullanılabilir ancak en çok kullanılan malzeme alüminyum malzemesidir. Bunun sebebi ise alüminyum yüksek süneklilik özelliğine sahip olduğundan ekstrüzyon işlemlerinde en fazla kullanılan malzemedir. (Kalkan 2018)

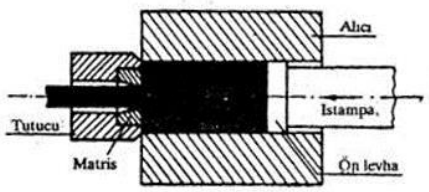
Alüminyum ekstrüzyon tarihine bakıldığında ise 100 yıl öncesine kadar çok fazla yenilikçi yöntem kullanılmıştır. Örneğin 1820'li yılların başında el ile yapılmaktaydı. Bunun sebebi hidrolik güç basıncının elde edilememesiydi. 1797 yılında ekstrüzyon yönteminin patenti alınmıştır. (Kalkan 2018)

Ekstrüzyon ile üretim yöntemi 4 farklı şekilde yapılmaktadır. Bu yöntemler:

1) Direkt Ekstrüzyon
2) İndirekt Ekstrüzyon
3) Darbeli Ekstrüzyon
4) Hidrostatik Ekstrüzyon

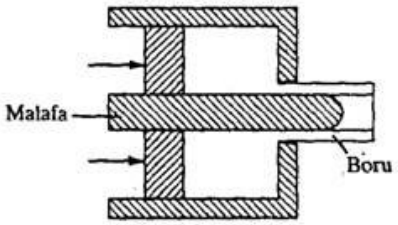
1) Direkt Ekstrüzyon Yöntemi : Eriyik bilet malzemenin kovan içerisine konularak pres gücü yardımı ile bastırılıp profilin kalıp şeklini alması yöntemidir. Uygulanan pres gücünün sürekliliğine ve üretim parametrelerine bağlı olarak istenilen ölçülerde ve

hassasiyette profiller elde edilir (Şekil 1.5). Bu yöntemle profile şekil verilirken kullanılan hammaddenin (billetin) bir kısmı basılamaz ve makas yardımı ile kesilip atılır. Ek olarak da hammaddenin belirli bir kısmı yani ilk başta basılan profillerin belli bir miktarı da artık malzeme olarak kullanılmaz. Bu da toplam hammaddenin oransal olarak %18-20'sine tekabül eden artık malzeme denir. (Anonim 2014b)



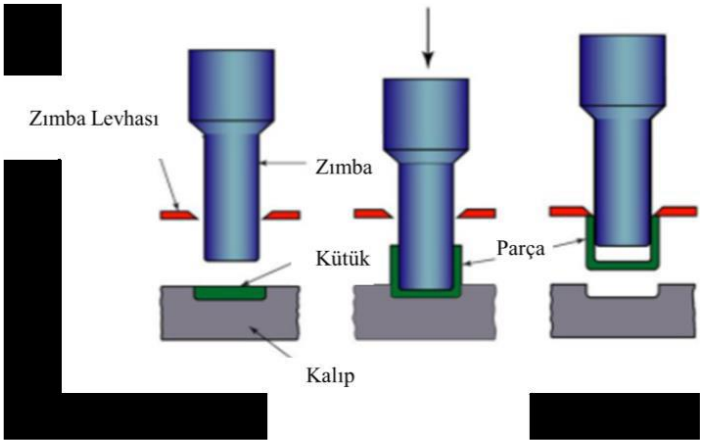

**Şekil 1.5.** Direkt ekstrüzyon yöntemi (Anonim 2014b)

2) Endirekt Ekstrüzyon Yöntemi: Direkt ekstrüzyon yönteminden farkı kovanın hareketsiz durmasıdır (Şekil 1.6). Bu üretim yönteminde billetin değilde kalıbın billete doğru ilerlemesidir. Kullanılan bu üretim yönteminde sürtünme diğer bir yöntem olan direkt ekstrüzyon yöntemine göre daha azdır. Atık hammadde oranı ise %5-6 oranındadır ve kuvvet gereksinimi %75 daha azdır.



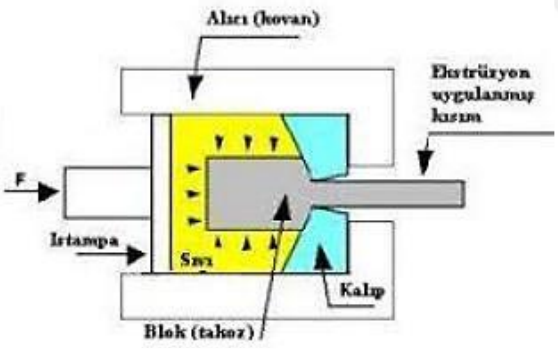

**Şekil 1.6.** Endirekt ekstrüzyon yöntemi (Anonim 2014b)

3) Darbeli Ekstrüzyon Yöntemi: Birçok hafif metallerin yani Al, Pb, Mg, Cu, ısıl işlem görmeden ekstrüze edilmesidir (Şekil 1.7). Darbeli ekstrüzyon yöntem ile parçaların et kalınlığı, kalıp ile zımbanın birbirlerine olan mesafe ile bağlantılıdır.




**Şekil 1.7.** Darbeli ekstrüzyon yöntemi (Anonim 2010a)

4) Hidrostatik Ekstrüzyon Yöntemi: Bu yöntem eriyik hammadde ile kalıp arasında oluşan sürtünmenin bir akışkan vasıtasıyla ortadan kaldırarak yapılması işlemidir (Şekil 1.8). Oda sıcaklığında bitkisel yağlar, polimerler veya mum kullanılırken, yüksek sıcaklıklarda ergimiş cam kullanılır (Anonim 2010a).




**Şekil 1.8.** Hidrostatik ekstrüzyon yöntemi (Anonim 2010a)

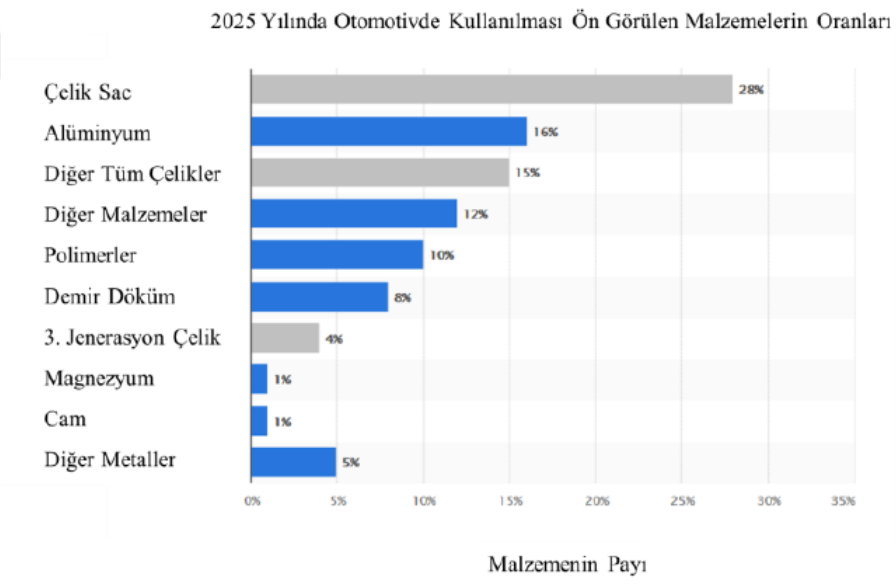
### 1.3. Alüminyum Malzemenin Otomotiv Sektöründe Kullanımı ve Özellikleri

1900'lerin başında Hall alüminyum malzemeyi ticarileştirilmesini kolaylaştırarak kullanımının artmasıyla başlayan alüminyumun, günümüzde de kullanımı trend bir

şekilde artmaktadır (Şahin 2008). Uzay ve havacılık endüstrisi, inşaat endüstrisi olmak üzere daha çok konstrüksiyon yapılarda kullanılmasının yanı sıra kaplamalar ve mutfak gereçlerinde de kullanıldığı görülmektedir.

Otomotiv endüstrisinde alüminyum alaşımları birçok farklı üretim metodunda kullanılmaktadır. Bunlar; döküm, ekstrüzyon ve soğuk alüminyum dövme gibi. Ek olarak alüminyum alaşımlarının kullanımı artarak önümüzdeki 30-35 yılda bir araçta 300 kg'a kadar ulaşacağı ön görülmektedir (Başer 2012).

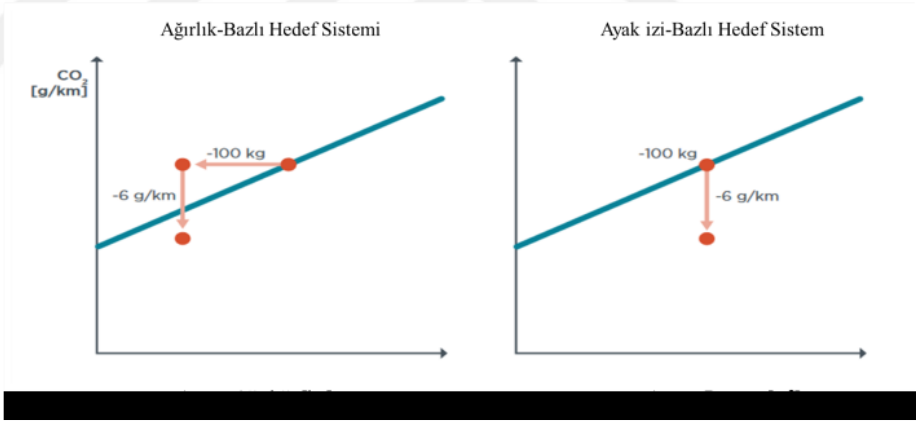
İstatistik şirketi olan Statisca firması otomotiv endüstrisinde 2025 yılında %28 oranlarında çelik sac kullanılacağını öngörmektedir. Fakat Şekil 1.9'da ise çelik sacın en büyük rakibi olan alüminyumum %18'lerde olacağı tahmin edilmektedir (Anonim 2018a). Günümüzde elektrikli araçların kullanılmasının yaygınlaşması sebebiyle alüminyum malzemenin önemi gittikçe artmaktadır. Bunun sebeplerinden biri de hafif ve işlenebilirliğinin kolay olmasıdır.




**Şekil 1.9.** Otomotiv sektöründe gelecek yıllarda kullanılacak malzemelerin yüzdesel dağılımı (Anonim 2018a**)**

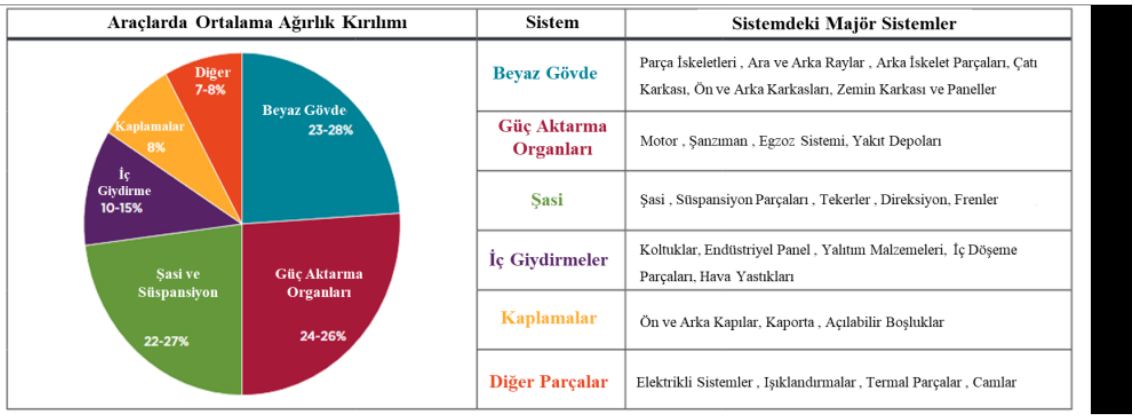
Otomotiv sanayisinde kullanılan ürün ve malzemelerde birçok farklı dar boğazlar vardır. Bunlar; işlevsellik, hafiflik ve yönetmelik şartlarına uyumlu olması çok önemlidir. Kyoto Protokolü, küresel ısınma ve iklim değişikliği ile mücadelede kararlar alan uluslararası topluluktur. Bu topluluğa giren ülkeler, karbon dioksit ve sera gazlarının artmasına etki eden gazları minimize etmeye yönelik çalışmalar yapmakla görevlidir (Anonim 2021a). KYOTO Protokolü ile Avrupa Birliği komitesi 2030 enerji prodüktivite ve emisyon amaçları doğrultusunda CO2 gazı salınımının minimum seviyeye indirilmesini amaçladıklarından yeni yönergeler sunmaktadır.

İşte bu kanunlara uyum için gerek OEM (Orijinal Ürün Üreticisi)'lerin gerekse bu OEM'lerin tedarikçileri yani tüm otomotiv ile ilgilenen kurumların çare bulması gerekmektedir. Bu çözüm yollarından biri de araçta hafifletme çalışmaları yapmaktır. Yapılan araştırmalarına bakıldığında ve Şekil 1.10'da görüldüğü üzere ortalama binek taşıtlarda km başına 6 gr CO2 azaltmak için araçların 100 kg hafifletilmesi gerekiyor.




**Şekil 1.10.** Üreticilerin ağırlık ve CO emisyon grafiği (Anonim 2017a)

Yapılabilecek hafifletme çalışmaları, Şekil 1.11'de gösterildiği üzere yaklaşık %23-28 'lik kısmı olan otomobilin dış görsel parçaları olan kapılar ve sac parçalar, iç parçaların ve motorunun dahil olmadığı yani koltuk yapılarının, ana karkasın yer aldığı BIW *(Body-In-White),* olan türkçe ismiyle beyaz gövde olan kısım ilk sıradadır. Ardından ise %22-27'lik pay ile şasi ve süspansiyon parçalarının hafifletilebilme potansiyellerinin olduğu gözlemlenmektedir. Günümüzde ise birçok otomotiv firması bu konular üzerinde Ar-Ge çalışmaları yapmaktadır (Anonim 2012a).

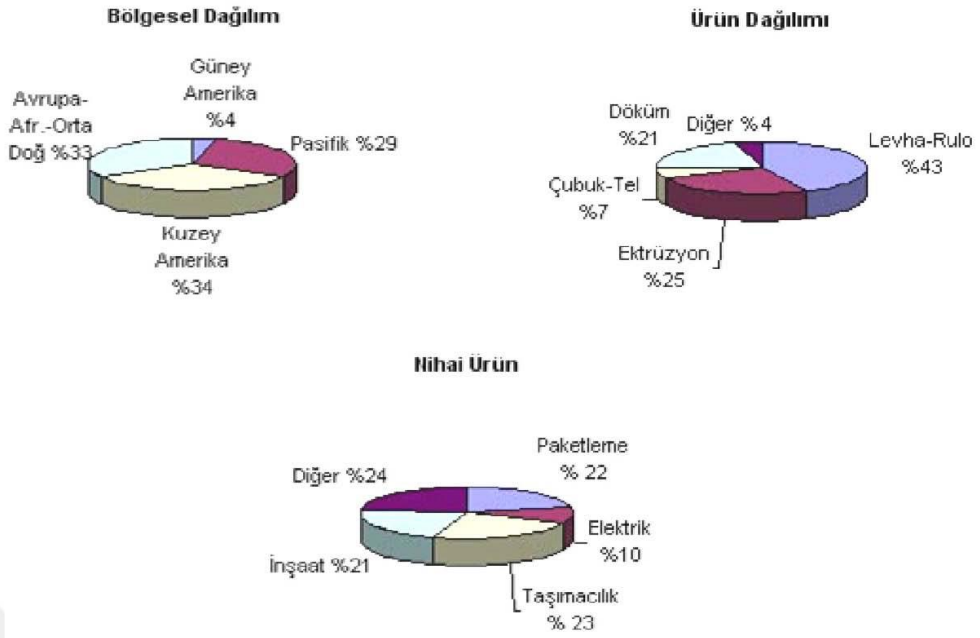



**Şekil 1.11.** Bir aracın ağırlık dağılımına etki eden parçaların oransal gösterimi (Anonim 2012a)

Alüminyum metali ve alaşımları çağımızda en çok kullanılan metallerin grubunun ilk ikisinde yer almaktadır. Bu metalin hem ekonomik hem de mekanik özellikleri iyi olmasından dolayı sektörde kullanımı günden güne artmaktadır. Alüminyum kullanımının artmasına neden olan özellikleri ise (Başer 2012);

1. Alaşımlarının sağlam ve yumuşaklık açısından birçok farklı çeşidinin olması
2. Korozyona dayanımının iyi olması
3. Yeterli mekanik dayanıklılığı ve hafiflik
4. Koku ve kimyasallara karşı dayanıklılık
5. Isı ve elektrik iletkenliğinin fazla yüksek seviyede olması
6. İşlenebilme ve şekillendire bilirliğinin olması
7. Farklı metotlarla yüzey işlemleri
8. Tekrar kullanılabilir olması
9. Parlama ve alev almazlık
10. Manyetik nötralite

Şekil 1.12' de alüminyum metalinin kullanımının dünya çapında dağılımı gösterilmektedir.




**Şekil 1.12.** Alüminyum metalinin dünya geneli kullanım dağılımı (Başer 2012)

### 1.3.1. Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması ve Özellikleri

Alüminyum alaşımları üretim şekillerine göre dövme ve döküm olarak iki farklı alt grup olarak üretilmektedirler. Bu üretim yöntemleri sektörde kullanılan alüminyum malzemesinin farklı ihtiyaçlara göre üretildiğini göstermektedir. Dövme üretim yöntemiyle üretilen alüminyum alaşımlarının yapıları döküme göre farklı özellikler barındırmaktadır. Bu iki üretim yöntemine ait alüminyum alaşımlar, ısıl işlem uygulanabilir ve uygulanamaz şeklinde iki ayrı alt gruba ayrılırlar. Bunlar aşağıdaki Çizelge 1.1' de gösterilmektedir (Başer 2012).

**Çizelge 1.1.** Alüminyum alaşımların farklı işlemlere göre tanımları (Başer 2012)

| Temper no | Açıklama |
|---|---|
| F | İmal edildiği şekilde |
| 0 | Tavlanmış (Mümkün olan en yumuşak şartlarda) |
| H | Soğuk şekillendirilmiş |
| H1X | Sadece soğuk şekillendirilmiş ( x soğuk şekillendirme miktarına ve mukavemetlendirmeye işaret eder) |
| H12 | Soğuk şekillendirme, 0 ve H14 temperleri arasında, ortalarda bir çekme dayanımı sağlar |
| H14 | Soğuk şekillendirme, 0 ve H18 temperleri arasında bir çekme dayanımı sağlar |
| H16 | Soğuk şekillendirme, H14 ve H18 temperleri arasında ortalarda bir çekme dayanımı sağlar |
| H18 | Soğuk şekillendirme, yaklaşık %75 azalma sağlar |
| H19 | Soğuk şekillendirme, H18 temperleme ile elde edilen çekme dayanımından 2000 psi fazla dayanım sağlar |
| H2X | Soğuk şekillendirilmiş ve kısmen tavlanmış |
| H3X | Düşük sıcaklıkta yapının yaşlanmasını önlemek için soğuk şekillendirilmiş ve dengelenmiş |
| W | Çözelti ısıl işlemi görmüş |
| T | Yaşlandırılmış |
| T1 | İmalat sıcaklığından soğutulmuş ve doğal olarak yaşlandırılmış |
| T2 | İmalat sıcaklığından soğutulmuş, soğuk şekillendirilmiş ve doğal yaşlandırılmış |
| T3 | Çözelti ısıl işlemi uygulanmış, soğuk işlenmiş ve esas olarak kararlı bir duruma doğal yaşlandırılmış |
| T4 | Çözelti ısıl işlemi uygulanmış ve esas olarak kararlı bir duruma doğal yaşlandırılmış |
| T5 | Yüksek sıcaklıktaki şekillendirme işleminden ve soğuduktan sonra yapay yaşlandırılmış |
| T6 | Çözelti ısıl işlemi görmüş ve yapay yaşlandırılmış |
| T7 | Çözelti ısıl işlemi görmüş ve kararlılaştırılmış |
| T8 | Çözelti ısıl işlemi uygulanmış, soğuk işlenmiş ve yapay yaşlandırılmış |
| T9 | Çözelti ısıl işlemi uygulanmış, yapay yaşlandırılmış ve soğuk işlenmiş |
| T10 | İmalat sıcaklığından soğutulmuş, soğuk şekillendirilmiş ve yapay yaşlandırılmış |

Isıl işlemler yapılabilen alüminyum da çökelme sertleşmesi meydana gelir, bu sayede ısıl işlemle ile hedeflenen mekanik dayanım elde edilir. Bu alaşımlar 2XXX, 6XXX ve 7XXX serileridir. Isıl işlem uygulanamayan alüminyum alaşımları ise 1XXX, 3XXX ve 5XXX alaşımlarıdır. Bu alaşımlarda ise ısıl işlem uygulanamadığı için soğuk işleme metotları ile mekanik dayanımları hedeflenen dayanımlara getirilir. Uygulanan yöntem ise katı eriyik pekleşme ve dağılım mukavemetleştirilmesidir. (Başer 2012).

Mukavemet dereceleri ısıl işlem görebilen veya pekleşebilenlerin temper tanımlamaları T ve H olarak tanımlanır. Diğer O, W ve F sembolleri ise sırasıyla tavlanma, çözündürme işlemi ve üretildiği gibi kullanıldığını tanımlar (Başer 2012).

### 1.4. Otomotiv Sektöründe Kullanılan Kaynak Yöntemleri

Bilindiği üzere otomotiv endüstrisinde kullanılan kaynak yöntemi çeşitleri, kullanıldıkları bölgeye, malzemeye veya uygulandıkları kalınlıklara göre değişmektedir. Bu kaynak yöntemleri ise;

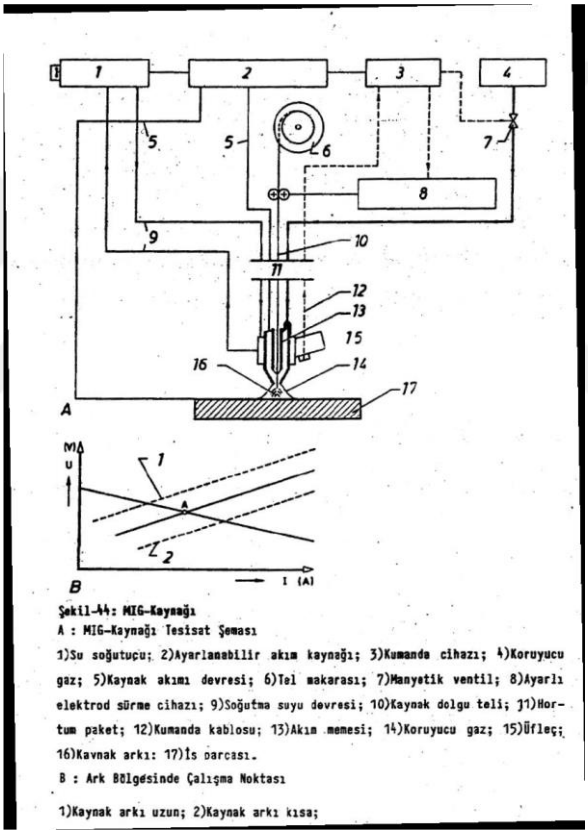
- MIG/MAG kaynağı
- Saplama kaynağı
- Lazer Işın kaynağı
- Sert lehimleme
- Yumuşak lehimleme
- Nokta direnç kaynağı
- Dikiş direnç kaynağı
- Özlü telle ark kaynağı
- Plastik kaynağı
- Projeksiyon dikiş kaynağı
- TIG kaynağı
- Sürtünme karıştırma kaynağı
- CMT kaynağı

Bu yöntemler otomotiv sektöründe OEM'ler veya yan sanayiler tarafından kullanılmaktadır. Ancak sadece yukarıda belirtilen yöntemler yoktur ve bunların dışında da üretim prosesi ve gerekliliklerine göre farklı kaynaklama yöntemleri kullanılmaktadır. (Yeşildal 2008)

Al-Mg alaşımlarından AA5083, AA5059 alaşımlarının korozyon direnci, düşük yoğunluk ve mekanik özellikleri tatmin edici değerlere sahiptir. Özellikle Al-Mg alaşımlarında sürtünme karıştırma kaynağı ve gaz metal ark kaynağı gibi yöntemler kullanılmaktadır. (Vorontsov 2022)

### 1.4.1. Mig-Mag Kaynağı Yöntemi ve Özellikleri

Bu yöntemde üfleç aparatının negatif kutbu iş parçasına bağlanır. Ark genelde pozitif kutbun bağlandığı eriyen tel elektrot (0,8 ile 2,4 mm çapları arasındadır) ile parça arasında asal gaz yanar. Bu asal gazlar argon, helyum veya bunların karışımı olarak kullanılır. Bu gazlar yüksek sıcaklıklara dayanıklı olduğu için herhangi bir bileşime girmez ve böylelikle kaynak banyosu için koruma oluşturur. Elektrot hızı, elektrotun ergime hızı ile doğru orantılıdır. Bu yöntemde sabit gerilimli akım makineleri kullanılır (Şekil 1.13) (Çiğdem 2006).




Şekil-44: MIG-Kaynağı
A : MIG-Kaynağı Tesisat Şeması
1)Su soğutucu; 2)Ayarlanabilir akım kaynağı; 3)Kumanda cihazı; 4)Koruyucu gaz; 5)Kaynak akımı devresi; 6)Tel makarası; 7)Manyetik ventil; 8)Ayarlı elektrod sürme cihazı; 9)Soğutma suyu devresi; 10)Kaynak dolgu teli; 11)Hortum paket; 12)Kumanda kablosu; 13)Akım memesi; 14)Koruyucu gaz; 15)Üfleç; 16)Kavnak arkı: 17)İş parçası.
B : Ark Bölgesinde Çalışma Noktası
1)Kaynak arkı uzun; 2)Kaynak arkı kısa;

**Şekil 1.13.** MIG-MAG kaynakları örnek şema gösterimi (Çiğdem 2006)

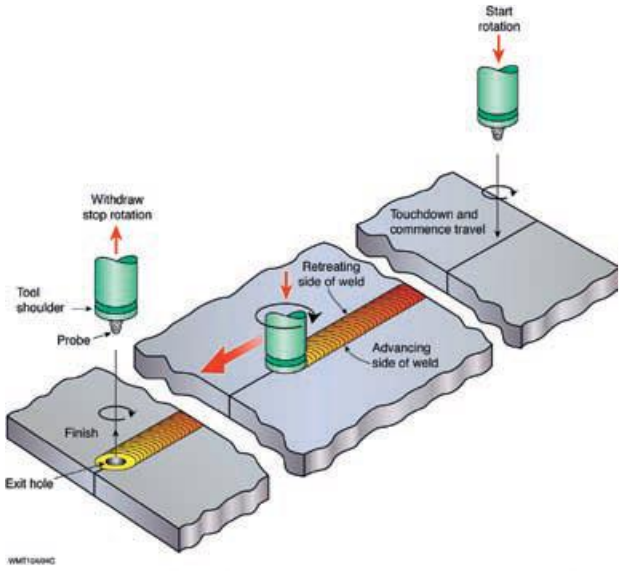
MIG kaynağının özellikleri ise; (Çiğdem, 2006)

1. Hızlı
2. Ekonomik
3. Elektrotun sık sık değiştirilmesine gerek yoktur.
4. Kaynak üzerinde cüruf oluşumu yok denecek kadar azdır.
5. Ara temizleme yok
6. Robotik uygulamalarda kullanılabilir.
7. Daha derin nüfuziyeti
8. Daha düşük ark ısısı.

### 1.5. Sürtünme Karıştırma Kaynağı

20. yüzyılın sonlarına doğru sürtünme karıştırma kaynağının ilk olarak geliştirilip kullanıldığı yer İngiltere'de The Welding Insitute isimli kurumdur ve patent hakları bu firmaya aittir. Sürtünme Karıştırma Kaynağı, nesnelerin erime noktasına ulaşmadan birleştirilmesi anlamına gelen bir katı hal işlemidir. Bu kaynak yöntemi ile alüminyum alaşımları 0,5 mm'den 65 mm kadar ful penetrasyon ile porozite ve iç boşluklar olmadan kaynaklanabilir.(ESAB)

Sürtünme karıştırma kaynağının uygulanma şekli diğer kaynak tiplerine göre farklı olup Şekil 1.14'te gösterilmiştir. Kaynaklanacak parçalar kaynak pozisyonlarına göre ayarlanır. Bu yöntem uygulanacak parçanın tasarımına, kaynak fikstürlerinin tasarımı ve üretile bilirliğine göre 2 farklı şekilde uygulanabilir. Bunlardan birincisi kaynaklanacak parçaların hareketli olabilmesi diğeri ise takımın dönme ilerleme hareketi ile mümkün olabilmesidir. Kaynaklama işlemi ise, geniş delme yapabilen karıştırıcı uç, freze tezgâhı ekipmanları ve tutucular ile yüksek devir hızında döndürülerek, kaynak yapılacak parçaya daldırılır. Uç malzemeye temas ettiği anda sürtünmeden dolayı meydana gelen ısı enerjisi ile malzemenin plastik değişimine neden olarak, karıştırıcı ucun malzemeyi ısıtıp yumuşatarak arka yüzeye doğru karıştırarak kaynaklama işlemini gerçekleştirir. Kullanılan karıştırma uçları ise şekil 1.15'te gösterilmiştir. (Şık, 2006)




**Şekil 1.14.** Sürtünme karıştırma kaynağı örnek şema gösterimi (ESAB)

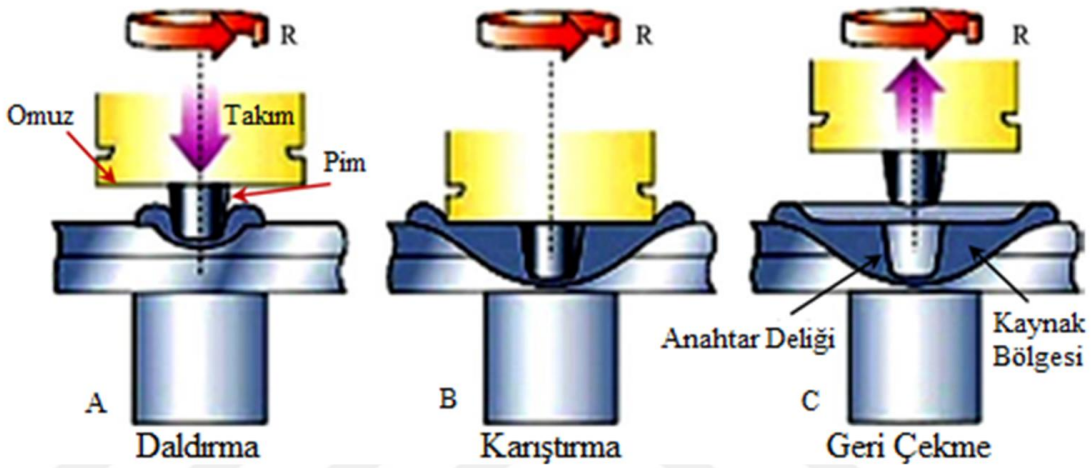
Sürtünme karıştırma kaynağında kullanılan bazı temel karıştırma uçları şekil 1.15'te gösterilmiştir.

| **Model Adı** | Cylindrical | Whorl™ | MX triflute™ | Flared triflute™ | A-skew™ | Re-stir™ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Şematik Görünüş** |  |  |  |  |  |  |
| **Takım Pim Şekli** | Vida Dişli Silindirik | Vida Dişli Konik | Üç Kanallı Vida Dişli Konik | Üç Kanallı Genişletilmiş Kanal Uçları | Vida Dişli Silindirik Eğimli | Vida Dişli Konik |

**Şekil 1.15.** Kullanılan farklı karıştırma uçları

Sürtünme karıştırma kaynağının özellikleri; (Şık, 2006)

1. Duman ve ışın yok
2. Koruyucu gaz, toz ve ilave tele ihtiyaç yok
3. Kaynak ağzı gerekliliği yok
4. Otomasyona yatkınlığı
5. Tüm pozisyonlarda kaynak yapılabilmesi.
6. Alüminyum 2XXX, 6xxx ve 7XXX serilerini kaynaklayabilme




**Şekil 1.16.** Sürtünme karıştırma nokta kaynağı işleminin şematik gösterimi (Al-Zubaidy 2016, değiştirilerek alınmıştır.)

Şekil 1.16' da gösterilen A,B ve C figürleri sürtünme karıştırma kaynağı operasyonu işlem sırasıdır. İlk olarak takım pimi daldırma operasyonu ile parçaya nüfuz eder, daha sonra malzemeleri birbirine karıştırarak kaynaklama işlemi gerçekleştirilir en son olarak da pimin parçadan ayrılması işlemidir.

Sürtünme karıştırma kaynağı metodu ile gerçekleştirilen kaynakları birden fazla parametre ve değişkenler etkilemektedir. Bu parametreler 3' e ayrılır ; Makine, takım tasarımı ve diğer değişkenlerdir.

Makine;

1. Takımın Tilt Açısı
2. Dönme Hızı
3. İlerleme Hızı
4. Kaynak Hızı
5. Daldırma Kuvveti ve Derinliği

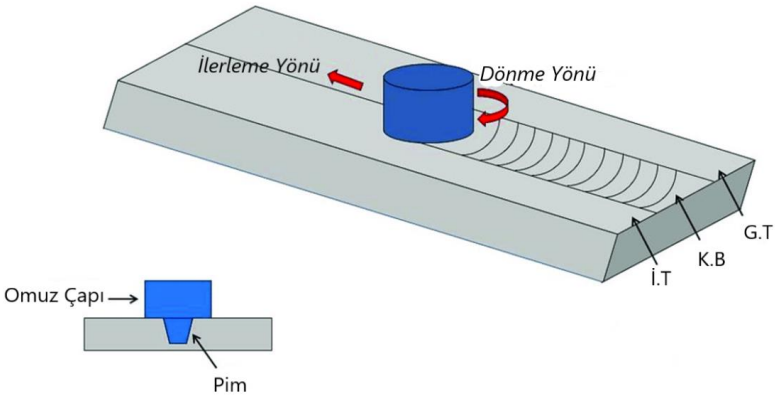
Takım Tasarımı;

1. Takımın Geometrik Özelliği
2. Diş Hatvesi
3. Pim Uzunluğu
4. Pim Çapı
5. Omuz Çapı
6. Omuz ve Pimin Malzeme Özellikleri

Diğer Değişkenler;

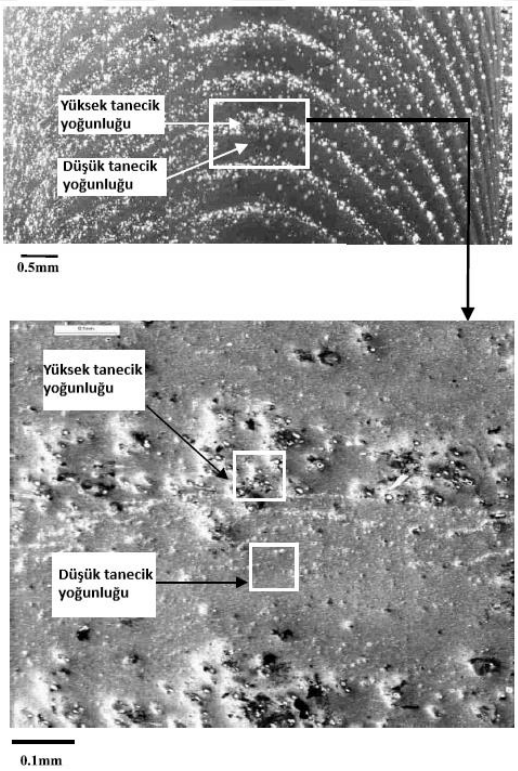
1. İş Parçasının Malzeme Özelliği
2. Örs Büyüklüğü
3. Örs Malzemesi
4. İş Parçasının Büyüklüğü

Sürtünme kaynağında belirlenmesi gereken 2 farklı taraf vardır (Şekil 1.17) bunlar; Advancing side (ilerleyen taraf (İ.T) ) ve retreating side (geri çekilme tarafı (G.T) ) şeklinde 2 bölgeden oluşur bu bölgeler farklı tür alüminyum alaşımlarında örneğin 6xxx ve 2xxx serisi kaynaklandığında dikkate alınması gerekmektedir. Bunun sebebi sürtünme karıştırma kaynağı yapılırken farklı tür alaşımların malzeme tanecik yoğunluklarının birbirinden farklı olması ve kaynak operasyonu sırasında ilerleme yönü ve dönme yönüne bağlı olarak malzeme yoğunluğunun belirlenen taraflara farklı şekilde aktarılmasıdır.




**Şekil 1.17.** İlerleme ve Geri Çekilme Yönlerinin Gösterimi (Li, 2017)

Kaynak parametrelerinin değiştirilmesine bağlı ve ek olarak ilerleme tarafının seçimi malzeme yoğunluğuna etki ettiği yapılan birçok çalışmada kendisini göstermiştir. Yapılan bu çalışmalarda ilerleme yönüne doğru malzeme yoğunluğunun daha fazla olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 1.18). (Sutton ve ark., 2001).




**Şekil 1.18.** Yüksek tanecik ve düşük tanecik yoğunluğunun mikro yapıda gösterimi (Sutton ve ark., 2001 )

Malzeme yoğunluğunun ilerleme yönüne doğru kaymasından dolayı, ilerleyen tarafın belirlenmesi, sürtünme kaynağı karıştırma işlemi sırasında parçadan beklenen mekanik özellikler ve farklı tür alaşımların mekanik özelliklerine bağlı bir parametredir.

SKK kaynağının mikro sertlik değişimi grafiği Şekil 1.19' da gösterilmiştir. ITAB bölgesini mikro tanecik yapı inceleme ile tespit etmek zor olduğundan, sertlik ile belirlemek daha efektif olmaktadır. Yani ITAB bölgesi, TMAB bölgesi sınırından sonraki yükselmeye başlayan sertlik değeri ile ana metal sertlik değerine kadar olan alan olarak kabul edilir.




**Şekil 1.19.** SKK kaynağı sertlik değişim grafiği (Gallais ve ark., 2007, değiştirilerek alınmıştır.)

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ (KURUMSAL TEMELLER / GENEL BİLGİLER)

Otomotiv endüstrisi ve havacılık endüstrisinde kullanılan alaşımlar örneğin 2xxx, 6xxx ve 7xxx serilerinde sürtünme karıştırma kaynağı metoduyla birçok akademik veya sanayi çalışmaları yer almaktadır.

Subhashini ve ark. (2017) 'Analysis and Optimization of Parameters for Friction Stir Welding' konulu makale çalışmalarında, sürtünme karıştırma kaynağı parametrelerinden dönme hızının sürtünme karıştırma kaynağına etkisini incelemişlerdir. Yapılan bu çalışmalarda kullanılan numune malzemesi Al 2014 malzemesi olup S1000 ve S1200 iki farklı devirde yapılan çalışmaların numunelerin mekanik ve sertlik özellikleri incelenmiştir. Kullanılan takım parametreleri ve kaynak parametreleri aynı olup (Çizelge 2.1, 2.2, 2.3) çekme, eğme ve sertlik testleri yapılarak hem kendi içlerinde hem de kaynaksız numuneler ile karşılaştırılması yapılmıştır. (Çizelge 2.4, 2.5, 2.6)

**Çizelge 2.1.** Kaynak parametreleri

| Çalışmalar | Kaynak Parametreleri | | |
|---|---|---|---|
| | Bindirme Yükü (kN) | İlerleme Hızı (mm/dk) | Takım Dönme Hızı (rpm) |
| 1 | 1,5 | 62,5 | 1000, 1200 |

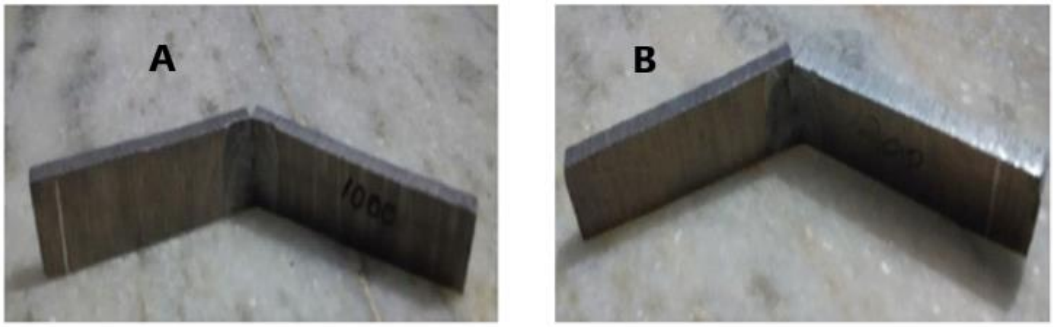
**Çizelge 2.2.** Kullanılan takımın alaşım özellikleri

| Çalışmalar | Takım Parametreleri (Takım Malzeme Bileşimleri) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Malzeme | C | Si | Mn | Cr | V | Fe |
| 1 | H13 | 0.45-0.55 | 0.40-0.60 | 0.10-0.40 | 3.50-4.00 | 0.65-0.85 | Remaining |

**Çizelge 2.3.** Kullanılan takımın ölçüleri

| Çalışmalar | Takım Parametreleri (Takım Ölçüleri) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Gövde Uzunluğu (mm) | Gövde Çapı (mm) | Omuz Uzunluğu (mm) | Omuz Çapı (mm) | Pin Uzunluğu (mm) | Pin Çapı (mm) |
| 1 | 100 | 22 | 15 | 18 | 5,5 | 4,6 |

Yapılan çalışmalarda çıkan sonuçlara göre devir hızı arttırıldıkça çekme gerilmesi ve uzama değerlerinin arttığı ve ayrıca kopma noktalarının kaynak birleşme alanlarından koptuğu gözlemlenmiştir. Eğme testlerinin sonuçlarında da devir arttıkça kaynaklı malzemenin iyi bir süneklik sunduğu ve yüksek bükülme açılarına izin verdiği görülmüştür. (Şekil 2.1). Sertlik değerleri incelendiğinde ise Isı tesiri altında kalan bölgelerdeki ve kaynak bölgesindeki sertlik değerleri devir arttıkça arttığı gözlemlenmiştir.




**Şekil 2.1.** Şekil 19: Eğme Test Görüntüleri (Subhashini ve ark. 2017)

**Çizelge 2.4.** Çekme test sonuçları

| Çalışmalar | Kaynak Sonuçları (Çekme Test) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Numune Kodu | Yük (N) | Çekme Mukavvemeti (MPa) | Kopma Yüzdesi | Kopma Pozisyonu |
| 1_0 | S1000 | 145,5 | 5 KN | 24 | Kaynak birleşme alanı |
| 1_1 | S2000 | 135 | 8 KN | 21,8 | Kaynak birleşme alanı |
| 1_2 | Kaynaksız Numune | 123,75 | 110 KN | 42 | Middle |

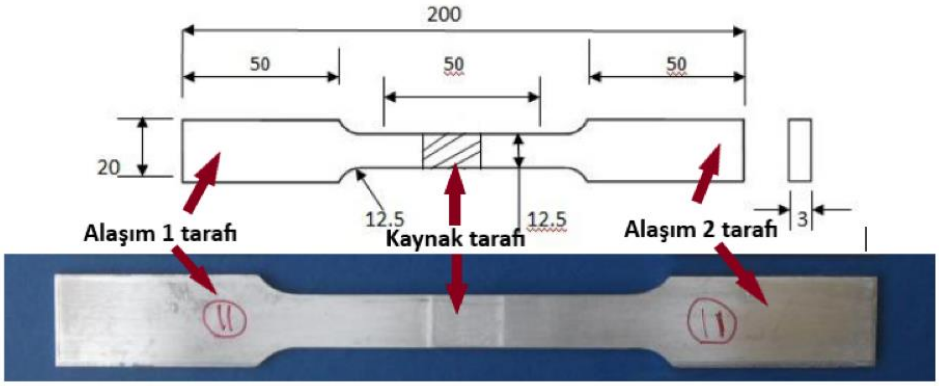
**Çizelge 2.5.** Eğme test sonuçları

| Çalışmalar | Kaynak Sonuçları (Eğme Test) | | |
|---|---|---|---|
| | Numune Kodu | Yük (kN) | Sapma % |
| 1_0 | S1000 | 8,4 | 25 |
| 1_1 | S2000 | 8,8 | 25 |
| 1_2 | Kaynaksız Numune | 8,2 | 25 |

**Çizelge 2.6.** Sertlik ölçme sonuçları

| Çalışmalar | Sertlik Testi | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Numune Kodu | ITAB Bölgesi | Kaynak Bölgesi | Yük |
| 1_0 | S1000 | 35,6 | 17,6 | 100kg |
| 1_1 | S2000 | 48 | 22,3 | 100kg |
| 1_2 | Kaynaksız Numune | | 56,33 | 100kg |

Abdulwadood ve ark. (2014) 'Effect Of Welding Parameters On The Mechanical Properties Of Dissimilar Aluminum Alloys 2024-T3 To 6061-T6 Joints Produced By Friction Stir Welding ' konulu makale çalışmalarında farklı alüminyum serilerinde ilerleme tarafının ve geri çekilme taraflarının sürtünme karıştırma kaynağı üzerinde etkilerini incelemişlerdir. Yapılan bu çalışmalarda kullanılan alüminyum alaşımları 2024-T3 ve 6061-T6 alaşımları olup 1. çalışmada ilerleyen taraf 2024 serisi, geri çekilen taraf ise 6061-T6, 2. çalışma da ise ilerleyen taraf 6061 serisi olup çekilen taraf ise 2024 serisidir. 3. çalışmada da ilerleyen taraf 6061 serisi olup geri çekilen taraf 2024 dür. İlk iki çalışmada hareket ilerleme hızları 50 mm/min olup farklı dönme hızlarının etkileri incelenmiştir. 3. Çalışmada ise dönme hızları 1000 rpm olup ilerleme hızlarının etkileri incelenmiştir. (Çizelge 2.7) Test numuneleri ise ASTM (E8M-04) standartlarına göre numuneler çıkarılmıştır. (Şekil 2.2)




**Şekil 2.2.** Çekme Numunesinin Ölçüleri (Abdulwadood ve ark. 2014, değiştirilerek alınmıştır, ölçü birimleri mm'dir.)

**Çizelge 2.7.** Deney parametre tablosu

| Numune Kodu | Hareket (İlerleme) Hızı mm/min | Dönme Hızı rpm | Kaynak Yönü |
|---|---|---|---|
| 1 | 50 | 600 | 2024 den 6061'e doğru |
| 2 | | 800 | |
| 3 | | 1000 | |
| 4 | | 1200 | |
| 5 | 50 | 600 | 6061 den 2024'e doğru |
| 6 | | 800 | |
| 7 | | 1000 | |
| 8 | | 1200 | |
| 9 | 25 | 1000 | 6061 den 2024'e doğru |
| 10 | 75 | | |
| 11 | 100 | | |

Kaynaksız numunelerin 2024-T3 ve 6061-T6 alaşımlarının akma, çekme ve uzama verileri Çizelge 2.8'de gösterilmiştir.

**Çizelge 2.8.** Kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri

| Malzeme | Akma Mukavvemeti MPa | Çekme Mukavvemeti MPa | Uzama % |
|---|---|---|---|
| 2024-T3 | 380 | 464 | 16 |
| 6061-T6 | 295 | 342 | 10 |

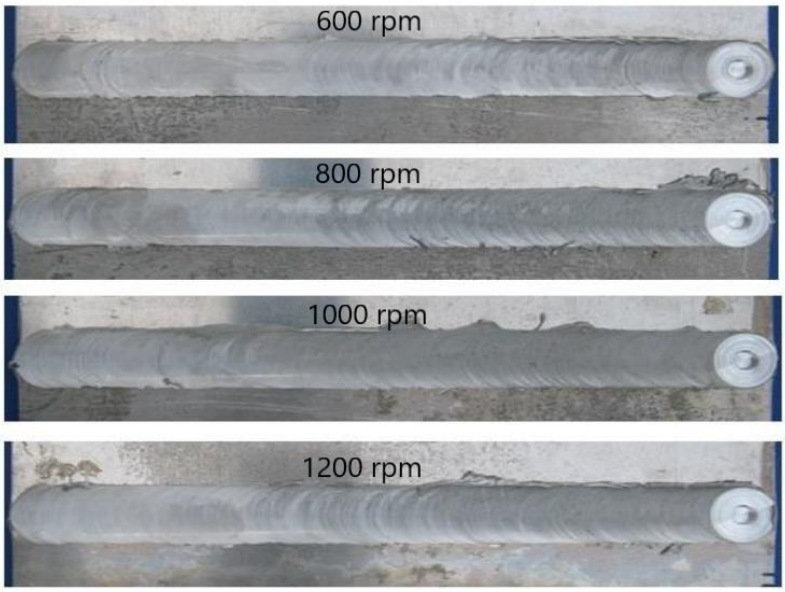
Yapılan 1. çalışmalarda ilerleyen taraf olarak AA 2024 seçilerek hareket hızını 50 mm/min değerinde sabit tutarak dönme hızlarını 600, 800, 1000, 1200 rpm şeklinde 4 farklı sürtünme karıştırma kaynağı yapılmıştır (Şekil 2.3). Sonuçlara bakıldığında akma ve çekme mukavemet ve sertlik değerleri rpm değeri arttığında doğrusal olarak artmadığı gözlemlenmiştir. En optimum sonuç 600 rpm dönme hızında gözlemlenmiştir. Diğer değerler Çizelge 2.10 ve 2.11'de gösterilmiştir.

**Çizelge 2.9.** 1. Çalışmanın çekme testi sonuçları

| Hareket (İlerleme) Hızı mm/dk | Dönme Hızı rpm | AA 2024'den İlerleme | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Akma Mukavvemeti MPa | Çekme Mukavvemeti MPa | Uzama % | Kopma Noktası | Kaynak Efekti |
| 50 | 600 | 165 | 195 | 8 | NZ/TMAZ of 6061 | 57 |
| | 800 | 148 | 184 | 8,8 | NZ/TMAZ of 6061 | 53 |
| | 1000 | 160 | 193 | 7,6 | NZ/TMAZ of 6061 | 56 |
| | 1200 | 144 | 193 | 8,5 | NZ/TMAZ of 6061 | 56 |

**Çizelge 2.10.** 1. Çalışmanın sertlik ölçüm sonuçları

| AA 2024 | | |
|---|---|---|
| Hareket (İlerleme) Hızı mm/min | Dönme Hızı rpm | Yaklaşık Sertlik Değeri HV |
| 50 | 600 | 130 |
| | 800 | 140 |
| | 1000 | 126 |
| | 1200 | 135 |
| 25 | 1000 | 132 |
| 75 | | 140 |
| 100 | | 128 |




**Şekil 2.3.** 1. Çalışmanın Kaynak Görüntüleri (Abdulwadood ve ark. 2014, değiştirilerek alınmıştır.)

Yapılan 2. çalışmalarda ilerleyen taraf olarak AA 6061 seçilerek hareket hızını 50 mm/min değerinde sabit tutarak dönme hızlarını 600, 800, 1000, 1200 rpm şeklinde 4 farklı sürtünme karıştırma kaynağı yapılmıştır. Sonuçlara bakıldığında akma ve çekme mukavemet değerleri ve sertlik değerleri rpm değeri arttığında doğrusal olarak artmadığı gözlemlenmiştir. En optimum sonuç 1000 rpm dönme hızında gözlemlenmiştir ancak uzama yüzdesinin ana metale göre azaldığı gözlemlenmiştir. Diğer değerler Çizelge 2.11 ve 12'de gösterilmiştir.

**Çizelge 2.11.** 2. Çalışmanın çekme testi sonuçları

| Hareket (İlerleme) Hızı mm/dk | Dönme Hızı rpm | AA 6061'den İlerleme | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Akma Mukavvemeti MPa | Çekme Mukavvemeti MPa | Uzama % | Kopma Noktası | Kaynak Efekti |
| 50 | 600 | 172 | 218 | 7 | TMAZ/HAZ of 6061 | 64 |
| | 800 | 176 | 212 | 8 | TMAZ/HAZ of 6061 | 62 |
| | 1000 | 179 | 220 | 6 | TMAZ/HAZ of 6061 | 64 |
| | 1200 | 176 | 215 | 7,5 | TMAZ/HAZ of 6061 | 63 |

**Çizelge 2.12.** 2. Çalışmanın sertlik sonuçları tablosu

| AA 6061 | | |
|---|---|---|
| Hareket (İlerleme) Hızı mm/min | Dönme Hızı rpm | Yaklaşık Sertlik Değeri HV |
| 50 | 600 | 100 |
| | 800 | 95 |
| | 1000 | 92 |
| | 1200 | 88 |

Yapılan 3. çalışmalarda ilerleyen taraf olarak AA 6061 seçilerek dönme hızını 1000 rpm değerinde sabit tutarak ilerleme hızlarını 25, 75, 100 mm/min şeklinde 3 farklı sürtünme karıştırma kaynağı yapılmıştır. Sonuçlara bakıldığında akma ve çekme mukavemet değerleri ve sertlik değerleri rpm değeri arttığında doğrusal olarak artmadığı gözlemlenmiştir. En optimum sonuç 75 mm/min hareket hızında gözlemlenmiştir ancak uzama yüzdesinin ana metale göre azaldığı gözlemlenmiştir. Diğer değerler Çizelge 2.13 ve 2.14'te gösterilmiştir.

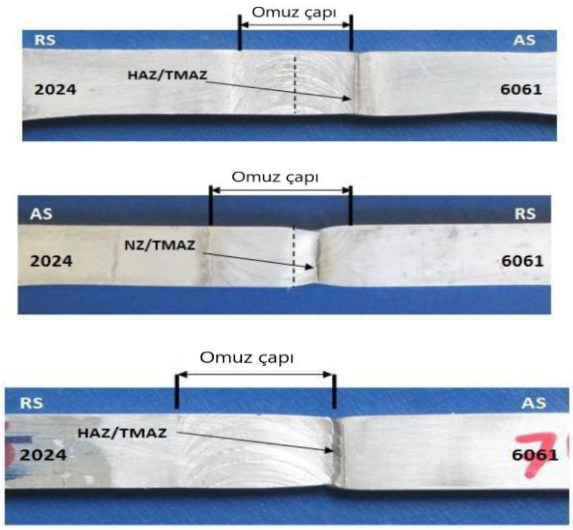
**Çizelge 2.13.** 3. Çalışmanın çekme testi sonuçları

| Hareket (İlerleme) Hızı mm/min | Dönme Hızı rpm | AA 6061'den İlerleme | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Akma Mukavvemeti MPa | Çekme Mukavvemeti Mpa | Uzama % | Kopma Noktası | Kaynak Efekti |
| 25 | 1000 | 144,5 | 190,3 | 6,1 | NZ/TMAZ of 6061 | 56 |
| 75 | | 154,2 | 206 | 4,4 | NZ/TMAZ of 6061 | 60 |
| 100 | | 150,7 | 206 | 4,4 | NZ/TMAZ of 6061 | 60 |

**Çizelge 2.14.** 3. Çalışmanın sertlik testi sonuçları

| AA 6061 | | |
|---|---|---|
| Hareket (İlerleme) Hızı mm/min | Dönme Hızı rpm | Yaklaşık Sertlik Değeri HV |
| 25 | 1000 | 95 |
| 75 | | 100 |
| 100 | | 90 |

Yapılan bu çalışmaların 6061 ana metal tarafına doğru koptukları gözlemlenmiştir. Ancak yapılan 2. çalışmada omuz çapının içinde olduğu gözlemlenirken, 1 ve 3. yapılan çalışmalardaki kopma noktası takımın omuz çapının sınırında koptuğu gözlemlenmiştir. 2. çalışmanın farklı bir noktadan kopmasının sebebi ise ilerleme yönü seçiminin etkisi olduğu gözlemlenmiştir. (Şekil 2.4)



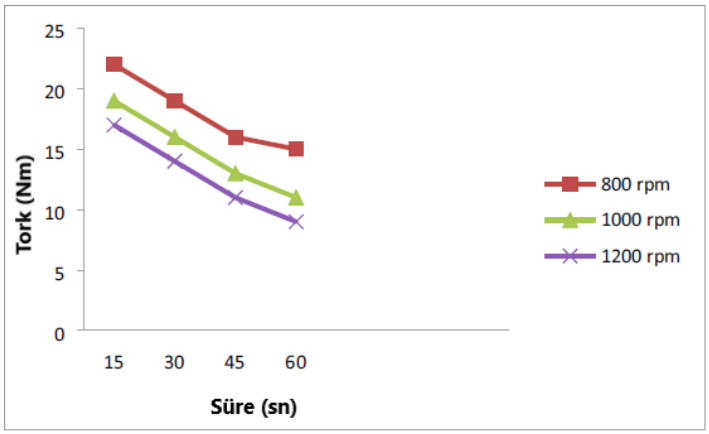

**Şekil 2.4.** Numunelerin Kopma Noktaları (Abdulwadood ve ark. 2014, değiştirilerek alınmıştır.)

Rathinasuriyan ve ark. (2021) ‘Investigation of heat generation during submerged friction stir welding on 6061-T6 aluminum alloy‘ konulu makale çalışmalarında sürtünme karıştırma kaynak çeşitlerinden biri olan sualtı sürtünme karıştırma kaynağı ile normal sürtünme karıştırma kaynağının soğutma şekillerine göre mekanik ve sertlik özelliklerinin farklarını incelemişlerdir. 1, 2 ve 3 numaralı numuneleri normal sürtünme karıştırma kaynağı ile farklı dönme hızlarının etkileri, 3, 4, 5 numaralı numuneleri 10mm derinliğinde tutarak farklı dönme hızlarının etkileri ve 7, 8, 9 numaralı numunelerde ise 20mm derinliğinde farklı dönme hızları etkilerinin tork, güç, sürtünme katsayısı ve ısı girdisi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bunlara ek olarak yapılan 3 farklı çalışmayı da birbirleri ile kıyaslayarak değerlendirme yapılmıştır (Çizelge 2.15).

**Çizelge 2.15.** Çalışma deney tablosu

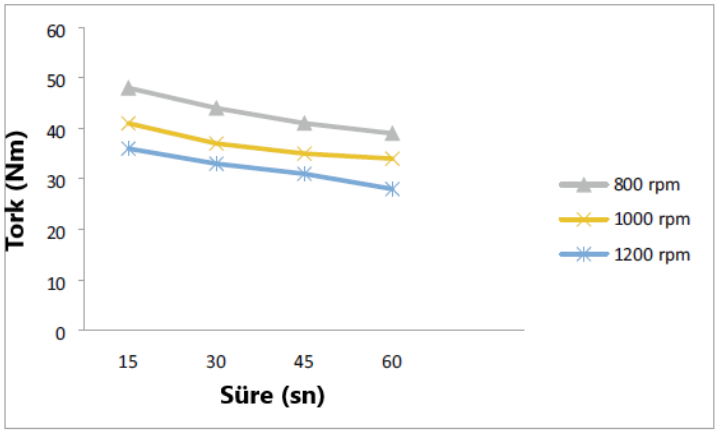
| Numune Kodu | Su Derinliği (mm) | Dönme Hızı (rpm) |
|---|---|---|
| 1 | 0 | 800 |
| 2 | 0 | 1000 |
| 3 | 0 | 1200 |
| 4 | 10 | 800 |
| 5 | 10 | 1000 |
| 6 | 10 | 1200 |
| 7 | 20 | 800 |
| 8 | 20 | 1000 |
| 9 | 20 | 1200 |

Gerçekleştirilen normal sürtünme karıştırma kaynakları incelendiğinde en optimum sonuç 800 rpm hızıyla kaynaklanan 22 Nm ile 1 numaralı numunedir, en düşük tork değeri ise 17 Nm ile 1200 rpm hızıyla kaynaklanan 3 numaralı numunedir (Şekil 2.5). Tam penetrasyon istendiğinden ve ayrıca malzeme yumuşak olduğundan en optimum sonucun 800 rpm ile olması beklenen durumdur.



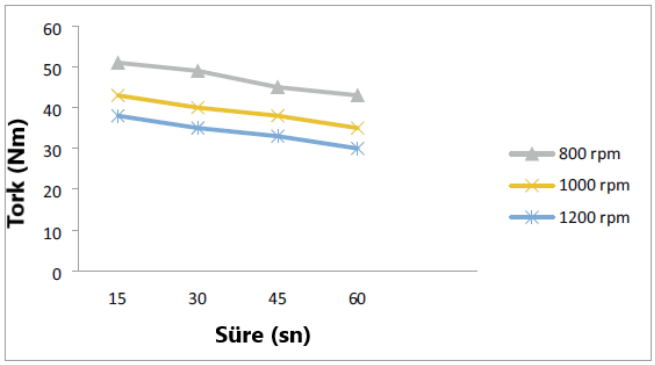

**Şekil 2.5.** Normal sürtünme karıştırma kaynağı tork değerleri (Rathinasuriyan ve ark. 2021.)

10 mm derinliğinde yapılan 2. çalışmada da 48 Nm değeri ile en yüksek 800 rpm hızında olan 4 numaralı numune, minimum tork değeri 36 Nm olan 1200 rpm hızındaki 6 numaralı numunedir (Şekil 2.6).




**Şekil 2.6.** 10 mm derinliğinde sürtünme karıştırma kaynağı tork değerleri (Rathinasuriyan ve ark. 2021.)

20 mm derinliğinde yapılan 3. çalışmada da 51 Nm değeri ile en yüksek 800 rpm hızında olan 7 numaralı numune, minimum tork değeri 38 Nm olan 1200 rpm hızındaki 9 numaralı numunedir (Şekil 2.7).




**Şekil 2.7.** 20 mm derinliğinde sürtünme karıştırma kaynağı tork değerleri (Rathinasuriyan ve ark. 2021.)

Kaynak gücü sonuçları incelediğinde güce etki eden parametrelerden biri tork değeri diğeri ise dönme hızı (rpm) değeridir. Bir önceki hesaplanan tork değerlerine göre 800 rpm hızda en fazla tork değerleri gözlemlenmişti ancak güç olarak hesaplandığında 2136, 4522 ve 4773 W güçler 1200 rpm dönme hızında gözlemlenmiştir. Bu değerler sırasıyla normal sürtünme karıştırma kaynağı, 10mm derinliğinde sualtı sürtünme karıştırma ve 20mm derinliğinde sualtı sürtünme karıştırma kaynağı olarak sıralanmıştır (Şekil 2.8).




**Şekil 2.8.** Güç değerleri (Rathinasuriyan ve ark. 2021.)

Isı girdisi sonuçları incelediğinde güce etki eden parametrelerden biri sürtünme katsayısı değeri diğeri ise dönme hızı (rpm) değeridir. Bir önceki hesaplanan ısı girdisi değerlerine göre 1200 rpm hızlarında yapılan 3 çalışma için sırasıyla yaklaşık 7, 15 ve 15,8 kJ olarak gözlemlenmiştir. Bu değerler sırasıyla normal sürtünme karıştırma kaynağı, 10mm derinliğinde sualtı sürtünme karıştırma ve 20mm derinliğinde sualtı sürtünme karıştırma kaynağı olarak sıralanmıştır (Şekil 2.9).




**Şekil 2.9.** Isı girdisi değerleri (Rathinasuriyan ve ark. 2021.)

Literatürde Cold Metal Transfer (CMT) kaynak metoduyla alakalı binlerce akademik ve arge çalışmaları bulunmaktadır. Araştırmacıların birçoğu CMT ile alüminyum alaşımlarının kaynak edilebilirliklerini ve proses parametrelerinin bağlantının mekanik ve metalürjik özelliklerine olan etkilerini incelendiklerine rastlanmıştır. Güngör ve ark. (2014) AA5083-H111 ve AA6082-T651 alaşımlarını birleştirdikleri kaynak çalışmalarında bağlantının, dayanımının geleneksel yöntemlere göre daha iyi sonuçlar verdiğini gözlemlemiştir.

Serindağ ve ark. (2020) 'CMT ve Darbeli CMT Ark Kaynaklı AA7075-T6 Al-Alaşımı Alın Bağlantıların Mekanik Davranışına Kaynak Hatalarının Etkisinin Araştırılması' konulu makale çalışmalarında AA7075-T6 Alüminyum alaşımının üzerinde CMT (Soğuk Metal Transferi) ark tekniği kullanarak levhanın mekanik özelliklerini ve oluşan

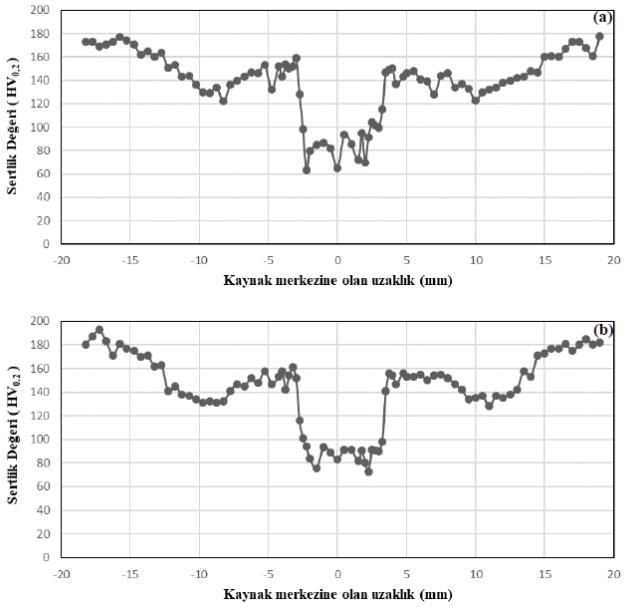
poroziteler incelenmiştir. Mekanik özellikleri incelenirken mikro sertlik ölçümleri ve çekme deneyi incelenmiştir.

2mm kalınlığında 7075-T6 alaşımı kullanılmıştır. Kaynaklar robotik CMT kaynak yöntemi ve darbeli CMT ark kaynak yöntemleri kullanmıştır. Kaynak işlemi sırasında 1.2 mm kalınlığında ER5356 besleyici tel kullanılmıştır. Yapılan çalışmalar ait çizelge aşağıda gösterilmiştir (Çizelge 2.16 )

**Çizelge 2.16.** Kaynak işlemlerinde kullanılan kaynak parametreleri (Serindağ ve ark. 2020.)

| Kaynak işlemi | Akım (A) | Gerilim (V) | Kaynak hızı (mm/dak) | Tel besleme hızı (m/dak) | Koruma gazı debisi (l/dak) |
|---|---|---|---|---|---|
| Robotik CMT | 120 | 15.2 | 900 | 11 | 15 |
| Darbeli CMT* | 103 | 18.3 | 900 | 8.3 | 15 |

Sertlik incelemesi yapıldığında 2 çalışmada da kaynak bölgelerinde sertlik değerinin daha az olduğu gözlemlenmiştir. Kaynak bölgesinde en düşük gözlemlenen değer ise 65 HV olarak kaynak dikişinde gözlemlenmiştir. 2 çalışma karşılaştırıldığında geleneksel CMT ark kaynağı yöntemindeki sertlik değerinin en düşük olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 2.10)




**Şekil 2.10.** Sertlik değerleri şeması: (a) geleneksel, (b) darbeli (Serindağ ve ark. 2020.)

Çekme sonuçları incelendiğinde ise darbeli CMT kaynaklı numunelerde çekme performansı daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Porozite değerlerini incelemek için referans olarak ana metalin uzaması üzerinden inceleme yapılmıştır. En düşük uzama miktarı yani porozite oluşumu en fazla gözlemlenen çalışma geleneksel CMT kaynaklı numunelerde gözlemlenmiştir.

Ergime bölgesinde meydana gelen porozite yani büyük boşlukların uzamaya etkisi olmasıdır yani kaynak bölgesinde meydana gelen boşluklar malzemenin mekanik özelliğini düşürdüğü gözlemlenmiştir. Çekme deneyi sonuçları aşağıdaki Çizelge 2.l7'de gösterilmiştir.

**Çizelge 2.17.** Çekme deneyi sonuçları (Serindağ ve ark. 2020.)

| Numune | 0.2% Akma Gerilmesi (MPa) | Çekme Gerilmesi (MPa) | Uzama (%) | Çekme Gerilmesi Performansı (%) |
|---|---|---|---|---|
| Baz Malzeme | 526; 550; 541 **(539)** | 589; 605; 597 **(597)** | 14.2; 14.7; 14.9 **(14,6)** | --- |
| Geleneksel CMT kaynaklı numune | --- | 304; 307; 315; 323 **(312)** | 0.002; 0.004; 0.005; 0.002 **(0.003)** | 52 |
| Darbeli CMT kaynaklı numune | ---- | 267; 263; 215; 258 **(251)** | 0.004; 0.004; 0.003; 0.004 **(0.004)** | 42 |

Elrefaey ve Ross (2015) yaptıkları çalışmalarda AA5356 tel kullanarak ve AA6082 alaşımının ısı tesiri altında kalan bölgenin (ITAB) ana metalden çok farklı olmadığını gözlemlemişlerdir. Durmuş ve Çömez (2017) yaptıkları çalışmalarda AA5754 alaşımını CMT kaynak yöntemi ile birleştirdikleri ısı girdisinin etkisini incelemişlerdir. Yüksek ısı girdisinin malzemenin mekanik özelliğini yani çekme dayanımını değiştirmediğini ama eğme mukavemetini olumsuz yönde etkilediğini gözlemlemişlerdir.

Moreira P. ve ark. (2008) ' Fatigue behaviour of notched specimens of friction stir welded aluminium alloy 6063-T6' adlı çalışmasında kaynaksız numune ile SKK kaynaklı numunelerin mekanik özelliklerini karşılaştırma yaparak, SKK numunelerindeki çekme gerilmesi değerinin yaklaşık %22 civarında düştüğünü gözlemlemiştir.

# 3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu tez çalışmasında kullanılan levhalar bir alüminyum batarya taşıyıcısına ait ekstrüzyon profilleridir. Bu profillerin bir kısmı Ark ile bir kısmı da SKK yöntemleri ile kaynaklanmıştır. Yapılan bu çalışmalar doğrultusunda çıkacak sonuçlara göre alt ekstrüzyon profillerin kaynaklanması Ark veya SKK yöntem ile kaynaklanacaktır.

Bu çalışmada sayısal çözüm yöntemleri kullanılmış olup, bu çalışmalar sonlu elemanlar analizi ile sanal ortamda simülasyon edilmiştir. Tasarımlar CATIA V5 yazılımı ile oluşturulup, Hyperwork yazılımı ile analizler gerçekleştirilmiştir.

Altair firmasına ait Hyperwork yazılımı sonlu elemanlar metotlarını kullanan, statik, dinamik, akışkanlar mekanik simülasyonları yapabilen bir programdır. Bu programda sonuçların hassasiyeti diğer firmalara ait yazılım programlarında da olduğu gibi mesh sayısının artmasıyla sonuçlara gerçek testlere daha yakın bulabilme imkânı sağlar. Bu çalışmalarda Hypermesh ve OptiStruct modülleri kullanılmıştır.

Kupon bazlı yapılan kaynak test ve simülasyon çalışmaları Ark kaynağı ve SKK kaynağının numunelere mekanik etkisi, HAZ (Heat-Affetced-Zone) kısımlarının belirlenmesi yani ITAB (Isı Tesiri Altında Kalan Bölge) sertlik değerlerinin farklılığı incelenmiştir.

Çalışmalarda 3mm EN-AW AA6063-T6 alaşımlı levhalar Ark kaynak metodu ve ek olarak 3mm EN -W AA6063-T6 ve EN-AW 8mm AA6063-T6 alaşımlı levhalar SKK metodu kullanılmıştır. Çalışmanın amaçlarından ilki 3mm levhalarda Ark metodu ile SKK metodunu karşılaştırmak, ikinci çalışmanın amacı SKK yönteminde parametrelerin değiştirilerek yani dönme hızları sabit ilerleme ve bastırma yükü değişen, levhaların kaynaklanması sonucunda parametrelerin mekanik etkileri ve sertlik etkileri, yapılan son üçüncü çalışmada ise 3mm ve 8mm EN-AW AA6063-T6 alaşımlı levhaların et kalınlıklarının SKK yöntemine etkileri incelenmiştir.

Çalışmalarda kullanılan makineler ve test cihazları;

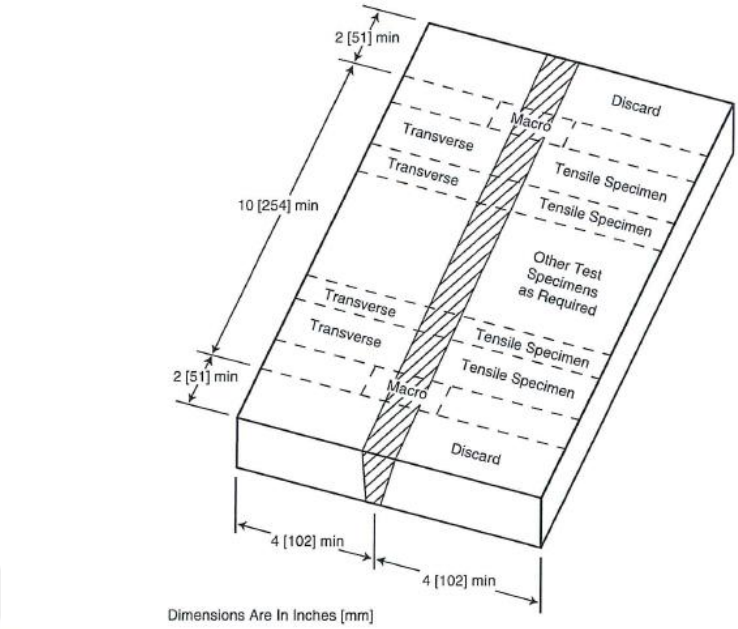
- Lortek K4 FSW makinesi (Firma özel cihaz)
- Fronius marka TransPuls kaynak cihazı
- Instron 34TM-50 çekme cihazı
- Metkon Vickers mikro sertlik cihazı
- Nikon Eclipse LV1500 Mikro Yapı İnceleme Cihazı
- Forcimat 102 parlatma cihazı
- 3 eksen dik kafalı cnc tezgâhı (Yeşilova)

### 3.1. Deney Malzemesi ve Özellikleri

Bu çalışmada yukarıda da bahsedilen 3mm ve 8mm EN-AW AA6063-T6 alaşımlı alüminyum ekstrüzyon profilleri kullanılmıştır. Kullanılan malzemenin kimyasal bileşeni Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

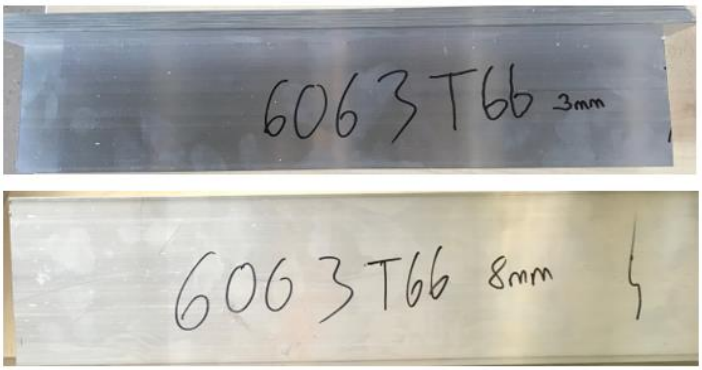
**Çizelge 3.1.** EN-AW AA6063-T6 alaşımının kimyasal bileşimi (Boldsaikhan)

| | Cu | Si | Fe | Cr | Mg | Ti | Mn | Zn | Diğer Elementleri | Al |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Kimyasal Bileşim %** | 0,1 | 0,2-0,6 | 0,35 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,45-0,90 | 0,1 | 0,15 | 98,9 |




**Şekil 3.1.** AWS D17.3 standardı

Kaynaklanan numuneler AWS D17.3/D17.3M:2010 standartlarına göre oluşturulmuştur (Şekil 3.1). Alüminyum ekstrüzyondan çıkarılıp boy kesme testeresi ile ilgili standardın ölçülerine getirilmiştir. 3mm'lik levhaların boyu 100x500x3mm 8mm'lik levhaların boyu ise 120x500x8mm'dir. (Şekil 3.2).




**Şekil 3.2.** Boy kesimi yapılan alüminyum ekstrüzyon profilleri

### 3.2. Kupon Bazlı Kaynak Çalışmaları

#### 3.2.1. 3mm Kupon Bazlı ARK Kaynak Çalışmaları

Standartlara göre oluşturulan kaynak numuneleri Ark kaynak cihazı ile 4043 1.2mm kalınlığında alüminyum tel kullanılarak kaynaklanmıştır. Kaynaklama operasyonları tam penetrasyon olacak şekilde olup kullanılan kaynak parametreleri Çizelge 3.2'de gösterilmiştir. 100x500x3mm olan L şeklinde levhalar daha kolay kaynaklanabilmesi için 100x250x3mm olarak testere ile kesildi.

**Çizelge 3.2.** 3mm Ark kaynak parametreleri

| Malzeme 1 | Malzeme 2 | Kaynak Geometrisi | Akım (A) | Voltaj (V) | Tel Besleme Hızı (m/dk) | İlerleme Hızı (m/dk) | Torç Açısı |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| EN-AW 6063 (3mm) | EN-AW 6063 (3mm) | Alın | 140 | 19,9 | 13,2 | 13 | Dik |

Kaynaklama operasyonlarında parçanın ısı girdisinden dolayı çarpılmasını engellemek amacıyla sabitlemek için fikstür kullanıldı. Kaynak dikişi uzunluğu yaklaşık 250mm olacak şekilde atıldı. Yukarıda verilen tablodaki parametrelerden sonra kaynaklanan numunenin görseli Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



**Şekil 3.3.** Ark alın kaynağı atılan 3mm levhalar

### 3.2.2. 3mm Kupon Bazlı SSK Kaynak Çalışmaları

Standartlara göre oluşturulan numuneler SKK tezgahlarında fikstürler yardımı ile sabitlenerek kaynaklama işlemleri yapılmıştır. Bu işlemlerde ISO 4957:2018 standartlarına uygun üretilen X153CrMoV12 takım çeliği kullanılmıştır. Takım çeliğinin kimyasal bileşenleri aşağıdaki Çizelge 3.3'te gösterilmiştir. Ayrıca 3mm için kullanılan takımın parametreleri ise Çizelge 3.4'te gösterilmiştir. Levhaların boyutları 100x500x3mm'dir.

**Çizelge 3.3.** SKK da kullanılan takımın kimyasal bileşenleri (ISO 4957:2018 standardından alınmıştır.)

| Takım Parametreleri (Takım Malzeme Bileşimleri) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Malzeme | C | Si | Mn | Cr | V | Fe |
| H13 | 0.45-0.55 | 0.40-0.60 | 0.10-0.40 | 3.50-4.00 | 0.65-0.85 | Geriye Kalan |

**Çizelge 3.4.** 3mm SKK yönteminde kullanılan takımın bilgileri

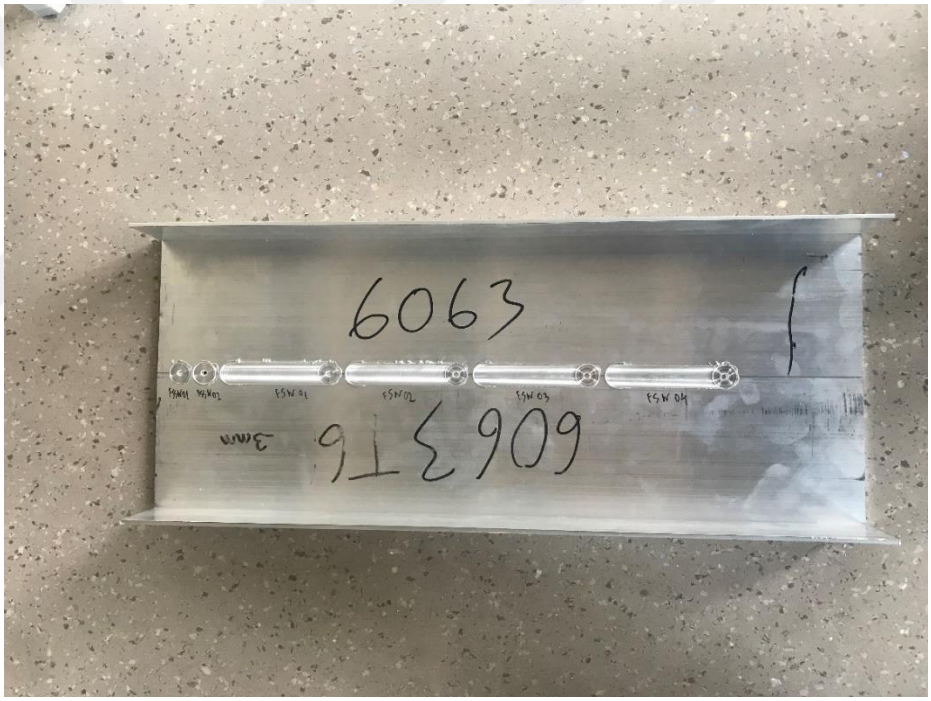
| | Takım Parametreleri (Takım Ölçüleri) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Takım Tipi | Omuz Tipi | Omuz Çapı (mm) | Pin Çapı (mm) | Pin Uzunluğu (mm) |
| Takım 1 | Dişli Silindirik | Düz | 16 | 4 | 2,75 |

3mm kupon bazlı çalışmalar sabit dönme hızı ve farklı ilerleme hızları şeklinde yapılarak Ark kaynak karşılaştırmasına ek kendi içerisinde de karşılaştırmaları yapılmıştır. Sürtünme karıştırma kaynağı çalışmalarında kullanılan parametreler dönme hızı (rpm), ilerleme hızı (mm/dk) ve bindirme yükü. Dönme hızları sabit tutularak diğer 2 parametre değiştirilmiştir (Çizelge 3.5).

**Çizelge 3.5.** Yapılan deneylerin parametre tablosu

| Çalışmalar | Dönme Hızı (rpm) | İlerleme Hızı (mm/dk) | Bindirme Yükü (kN) |
|---|---|---|---|
| FSW 05 (3mm) | 1000 | 254 | 4,5 |
| FSW 06 (3mm) | | 508 | 5 |

Atılan sürtünme karıştırma kaynağı öncesinde parametrelerin doğru bir şekilde tanımlana bilmesi için 4 farklı kısa kaynak dikişi ile denemeler yapılmıştır (Şekil 3.4). Yapılan bu 4 farklı çalışma sonucunda levhaların tam penetrasyon ile kaynaklanabileceği parametreler belirlenmiştir. Ayrıca 3mm kalınlığına sahip L şeklindeki levhaların sürtünme karıştırma kaynağı sonrası görüntüleri aşağıda Şekil 3.5'te gösterilmiştir.




**Şekil 3.4.** Parametre belirlemek için yapılan 4 farklı deneme çalışma görseli (8mm)




**Şekil 3.5.** FSW05 (A) kaynağı ve FSW06 (B) kaynaklı görüntüler (3mm)

### 3.2.3. 8mm Kupon Bazlı ARK Kaynak Çalışmaları

Standartlara göre oluşturulan kaynak numuneleri Ark kaynak cihazı ile 5356 1.2mm kalınlığında alüminyum tel kullanılarak kaynaklanmıştır (Şekil 3.6). Kaynaklama operasyonları tam penetrasyon olacak şekilde olup kullanılan kaynak parametreleri Çizelge 3.6'de gösterilmiştir. 100x500x8mm olan L şeklinde levhalar daha kolay kaynaklanabilmesi için 100x250x3mm olarak testere kesme işleminden sonra 6x45° kaynak ağzı plakalara açıldı.

**Çizelge 3.6.** 8mm Ark Kaynak Parametreleri

| Malzeme 1 | Malzeme 2 | Kaynak Geometrisi | Ark Darbe Değeri (mm) | Ark Başlangıç Ölçü (mm) | Kaynak Hızı (mm/dk) | Akım (A) | Tel Sürme Hızı (m/dk) | Boşluk Değeri (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| EN-AW 6063 (8mm) | EN-AW 6063 (8mm) | Alın | 5,5 | -1 | 390 | 250 | 14,1 | 1,2 |



**Şekil 3.6.** Ark alın kaynağı atılan 8mm levhalar

### 3.2.4. 8mm Kupon Bazlı SKK Kaynak Çalışmaları

Standartlara göre oluşturulan numuneler SKK tezgahlarında fikstürler yardımı ile sabitlenerek kaynaklama işlemleri yapılmıştır. Bu işlemlerde ISO 4957:2018 standartlarına uygun üretilen X153CrMoV12 takım çeliği kullanılmıştır. Takım çeliğinin kimyasal bileşenleri aşağıdaki Çizelge 3.7'de gösterilmiştir. Ayrıca 3mm için kullanılan takımın parametreleri ise Çizelge 3.8'de gösterilmiştir. Levhaların boyutları 100x500x3mm'dir.

**Çizelge 3.7.** Kullanılan takımın kimyasal bileşenleri

| Takım Parametreleri (Takım Malzeme Bileşimleri) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Malzeme | C | Si | Mn | Cr | V | Fe |
| H13 | 0.45-0.55 | 0.40-0.60 | 0.10-0.40 | 3.50-4.00 | 0.65-0.85 | Geriye Kalan |

**Çizelge 3.8.** Takım Ölçüleri

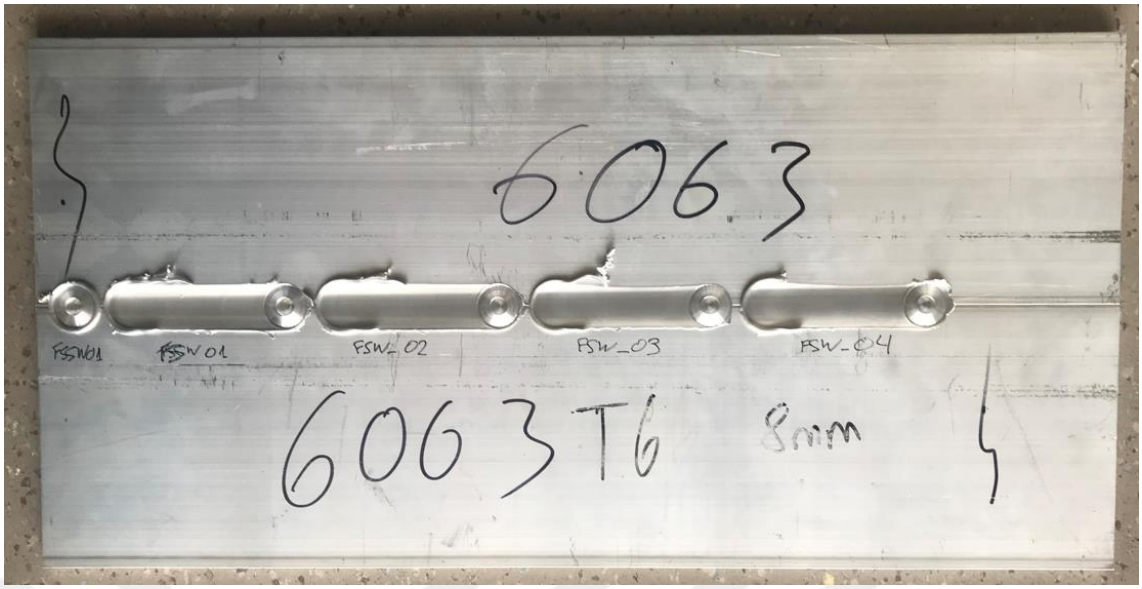
| | Takım Parametreleri (Takım Ölçüleri) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Takım Tipi | Omuz Tipi | Omuz Çapı (mm) | Pin Çapı (mm) | Pin Uzunluğu (mm) |
| Takım 2 | Dişli Silindirik | Konkav | 20 | 8 | 7,72 |

8mm kupon bazlı çalışmalar sabit dönme hızı ve farklı ilerleme hızları şeklinde yapılarak Ark ile kaynak karşılaştırmasına ek kendi içerisinde de karşılaştırmaları yapılmıştır. Sürtünme karıştırma kaynağı çalışmalarında kullanılan parametreler dönme hızı (rpm), ilerleme hızı (mm/dk) ve bindirme yükü. Dönme hızları sabit tutularak diğer 2 parametre değiştirilmiştir (Çizelge 3.9).

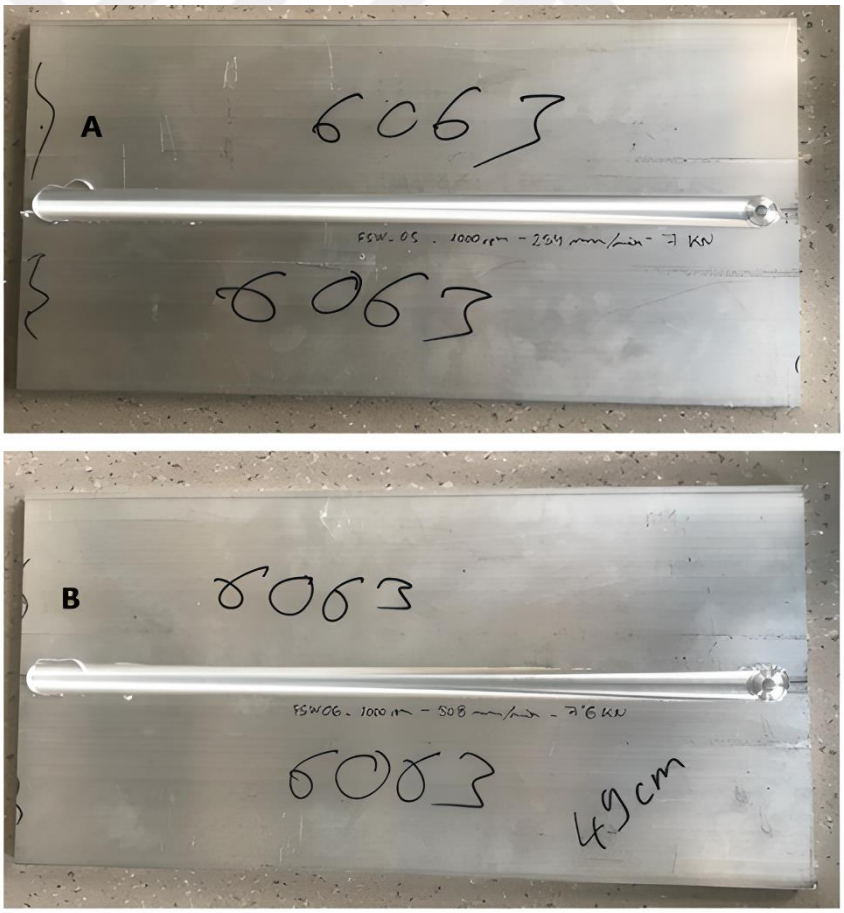
**Çizelge 3.9.** Yapılan deneylerin parametre tablosu

| Çalışmalar | Dönme Hızı (rpm) | İlerleme Hızı (mm/dk) | Bindirme Yükü (kN) |
|---|---|---|---|
| FSW 05 (8mm) | 1000 | 254 | 7 |
| FSW 06 (8mm) | | 508 | 7,6 |

Atılan sürtünme karıştırma kaynağı öncesinde parametrelerin doğru bir şekilde tanımlana bilmesi için 4 farklı kısa kaynak dikişi ile denemeler yapılmıştır (Şekil 3.7). Ayrıca 3mm kalınlığına sahip L şeklindeki levhaların sürtünme karıştırma kaynağı sonrası görüntüleri aşağıda Şekil 3.8'de gösterilmiştir.




**Şekil 3.7.** Parametre belirlemek için yapılan 4 farklı deneme çalışma görseli (8mm)

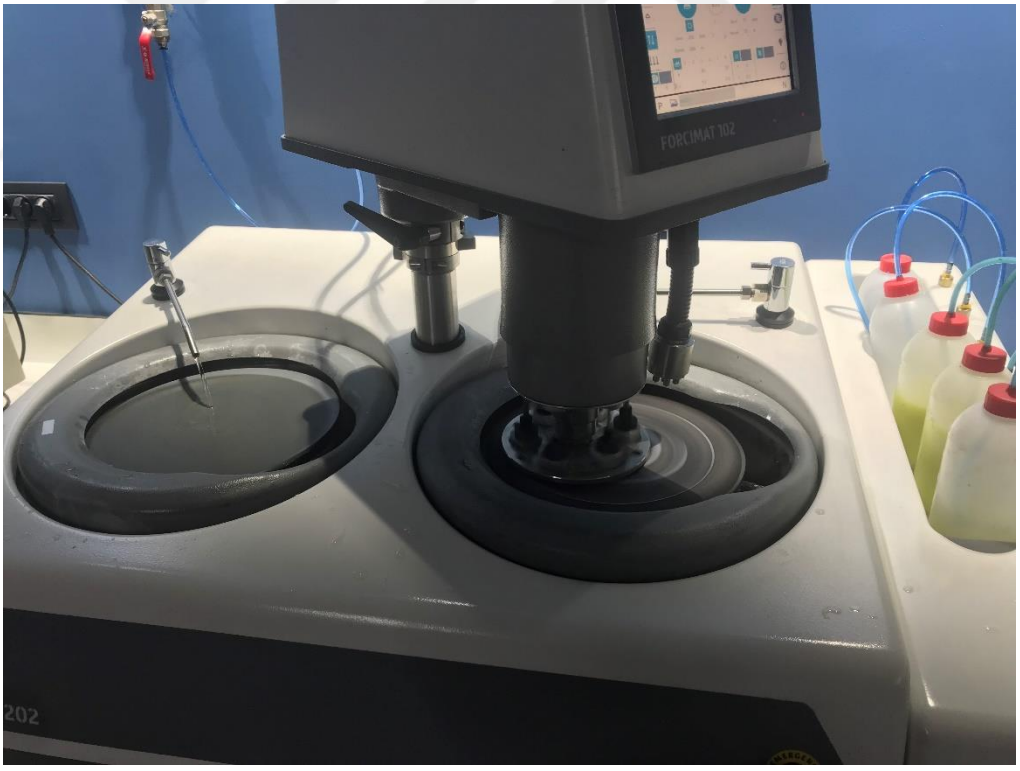



**Şekil 3.8.** FSW05 (A) kaynağı ve FSW06 (B) kaynaklı görüntüler (8mm)

### 3.3. Mikro Sertlik Ölçüm Çalışmaları

3mm , 8mm Ark kaynaklı ve 3mm, 8mm SKK kaynaklı numunelerden mikro sertlik değerleri incelenmesi için çalışmalar yapılmıştır.

Bu bakalitleri kaynaklı numunelerden çıkarmak için ilk olarak bakalit kalıplarına uygun kesim işlemi yapıldı ve yerleştirildi. Oluşturulan bakalitler ilk olarak zımpara işleminden geçirildi bu değerler 240 mikron dan başlayarak 400, 800, 1000, 1200 ve son olarak 2500 mikron seviyesinde zımparalama işlemleri gerçekleştirildi. Zımpara işleminden sonra parlatma işlemlerine geçilerek, 6 mikron seviyesinde daha sonra, 3 mikron ve en son olarak 1 mikron parlatma işlemi Forcimat cihazı yardımı ile yapıldı (Şekil 3.9). Oluşturulan bakalitlerin görselleri Şekil 3.10'da gösterilmiştir.

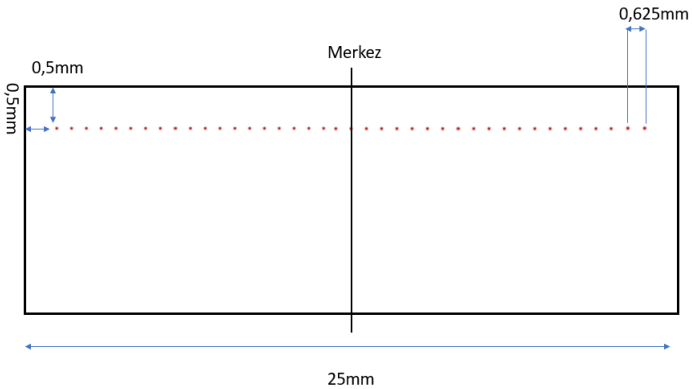



**Şekil 3.9.** Parlatma işlemi anına ait görsel



**Şekil 3.10.** Mikro sertlik ölçümleri için oluşturulan bakalitler

Sertlik ölçümleri 3mm Ark kaynaklı numuneler için merkezden 12mm sağ ve sol tarafa olacak şekilde, 3mm SKK numuneleri için 15mm, 8mm'lik numuneler için ise yaklaşık 18 mm olacak şekilde konumlandırılarak yapılmıştır. Ölçüm noktaları arası mesafe 3mm Ark kaynağı için yaklaşık 1mm şeklinde olarak toplamda 25 noktadan (Şekil 3.11), 8mm Ark kaynağı ve SKK numuneleri için 0,25mm, 0,50mm ve 1mm olacak şekilde değişken ölçümler alınmıştır.

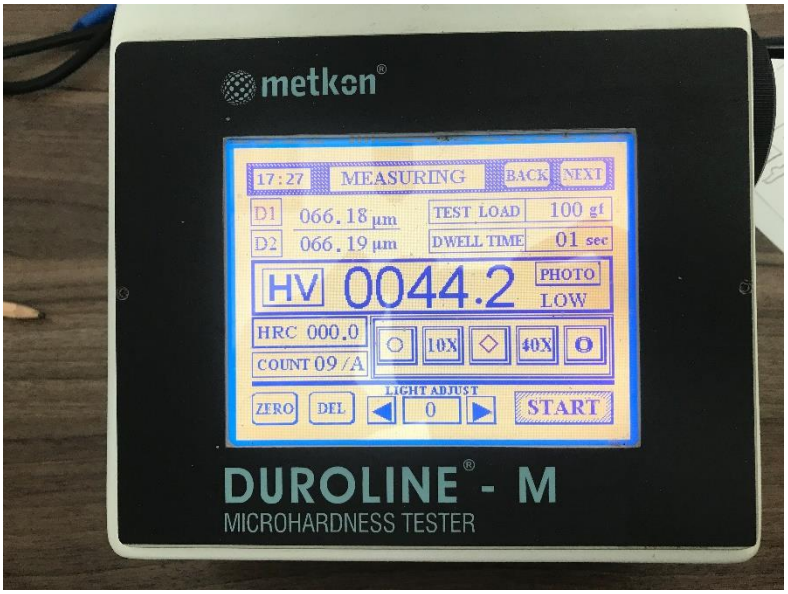



**Şekil 3.11.** Ölçüm noktalarının 3mm Ark kaynağı için şematik gösterimi

Mikro sertlik ölçümleri Metkon marka cihazla yapılmıştır (Şekil 3.12). Bir numunenin ölçüm anına ait görseli ise Şekil 3.13'te gösterilmiştir.



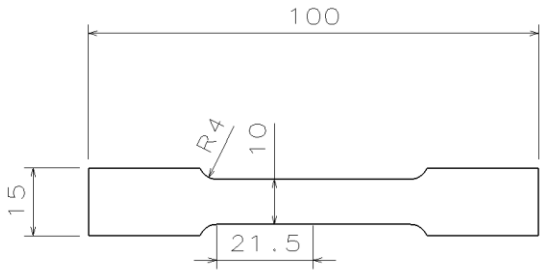

**Şekil 3.12** Metkon mikro sertlik cihaz görseli




**Şekil 3.13** Sertlik ölçümü anına ait görsel

### 3.4.Çekme Testi Çalışmaları

Literatür araştırmaları ve kaynaklanan numunelerin ölçü durumuna göre uygun çekme numuneleri oluşturulmuştur. Ana metal ve kaynaklı numuneler ekstrüzyon yönüne dik yani 90° olacak şekilde oluşturuldu (Şekil 3.14). Oluşturulan numune boyutları Moreira ve ark. 'Fatigue behaviour of notched specimens of friction stir welded aluminium alloy 6063-T6' isimli akademik çalışmadaki ölçülere uyumlu şekilde oluşturuldu.




**Şekil 3.14.** Çekme numunesi ölçüleri

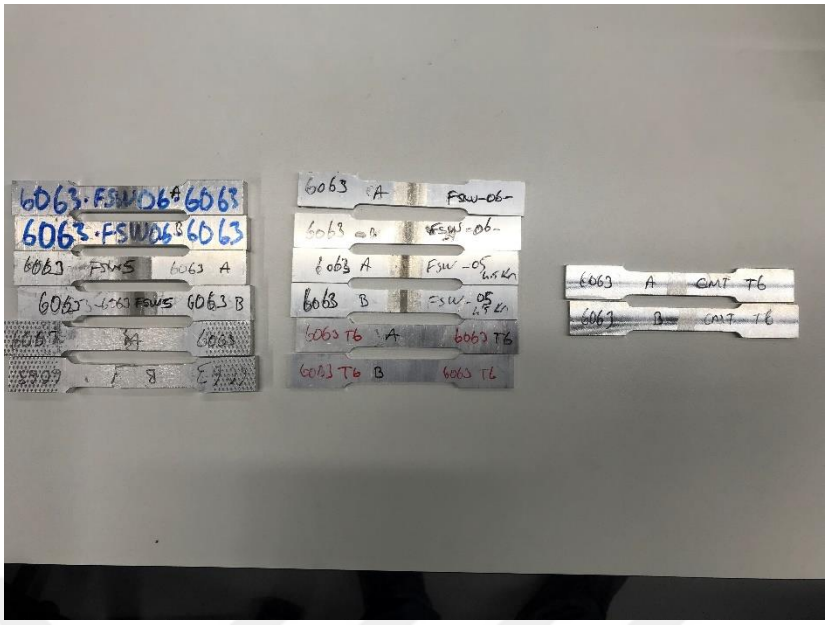
Her bir çalışma için 2'şer adet çekme olacak şekilde yani 2 adet 3mm Ark kaynaklı, 2 adet 3mm SKK 5 kaynaklı, 2 adet 3mm SKK6 kaynaklı, 2 adet 8mm Ark kaynaklı, 2 adet 8mm SKK 5 kaynaklı, 2 adet 8mm SKK6 kaynaklı, 2 adet 3mm ana metal ve 2 adet 8mm ana metal olmak üzere toplamda 16 adet çekme numunesi oluşturulmuştur (Şekil 3.15). Oluşturulan numunelerden 0.1mm kadar talaş kaldırıldı.

V$çekme$= 0,00025x43x60 = 0,64 mm/dk

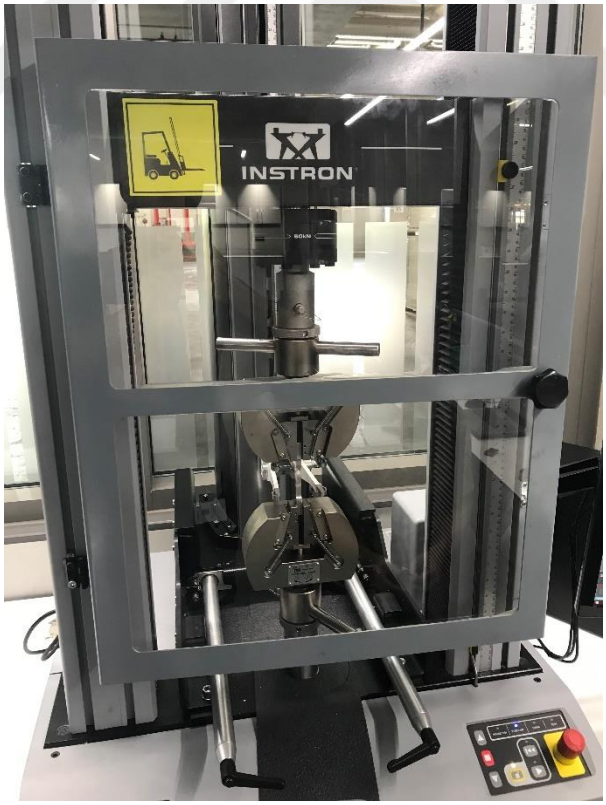
Çekme işlemleri;

- Çekme hızı 0,64 mm/dk olarak sabit hızda
- Ekstansometre aralığı 35mm
- Lc boyu 43mm
- Toplam L boyu 100mm

Yukarıdaki bilgiler ile Instron marka cihaz ile çekme testi işlemleri yapılmıştır (Şekil 3.16).




**Şekil 3.15.** Çekme numuneler görselleri




**Şekil 3.16.** Çekme testi cihazı ve işlem anındaki görseli

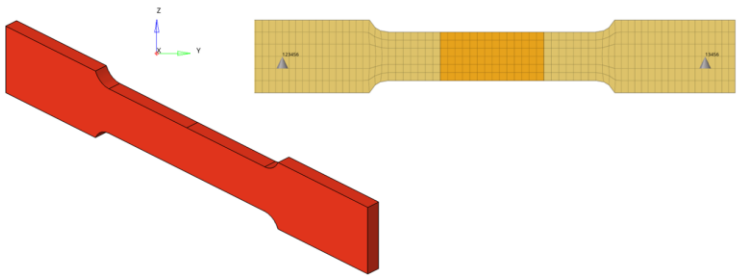
### 3.5. Analiz Çalışmaları

CatiaV5 de çizilen çekme numuneleri Hyperwork programında mesh (eleman) model yapısı ve sınır şartları oluşturularak yapılmıştır. Eleman boyutu 2mm'dir ve kare elemanlar kullanılmıştır. Çözücüsü olarak Radioss, malzeme kartı olarak Law36 (TAB) kullanılmıştır. Ana metal kısmı için ayrı kaynaklı kısım için ayrı malzeme kartları oluşturulmuştur. Ana metal ve kaynaklı kısımda tanımlanan malzeme kartına, çekme testinden elde edilen veriler ile plastik şekil değiştirme ($\varepsilon_p$)' ye karşılık gelen gerilme değerleri hesaplanıp girilmiştir. Bu değerlerin hesaplanmasında kullanılan yöntem ise Ramberg-Osgood denklemiyle hesaplanmıştır. Bu değerlere ek test verilerinden alınan akma, çekme gerilmeleri ve uzama değerleri girilmiştir. Ramber-Osgood denklemi şu şekildedir;

$$\varepsilon_p = \varepsilon - \varepsilon_e = \varepsilon - \sigma/E$$

Kaynaktan etkilenen bölge yani turuncu ile gösterilen kısmın genişliği, sertlik grafiklerinden ve penetrasyon incelemeleri yorumlanarak oluşturuldu. Model -y yönünde sabit tutularak +y yönünde kuvvet ile çekme testi gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.17).

Bu analiz çalışmasının amacı testlerde elde edilen sonuçların sayısal çözüm ortamında sanal olarak yapılabilmesidir. Böylelikle tüm batarya taşıyıcının sanal analizleri yapıldığında ısıdan etkilenen bölgelerin doğruluk derecesi ve değerlerini kontrol ederek çalışmaya yön vermektir.

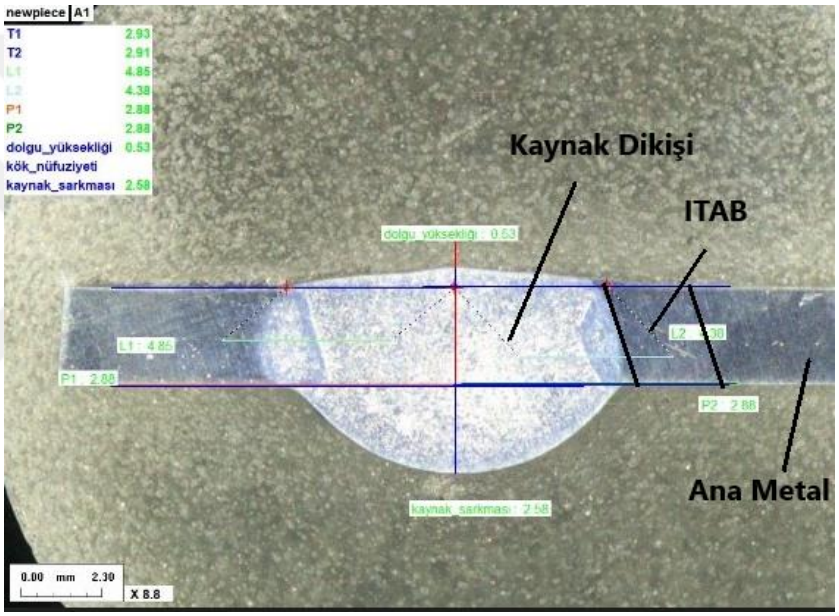


**Şekil 3.17.** Sanal ortamda modeli oluşturulan çekme çubuğu modeli

# 4. BULGULAR

## 4.1. 3mm Ark Kaynak Sonuçları

Atılan Ark kaynağın penetrasyon incelemesi laboratuvar da gerçekleştirildi. ISO10042 standartlarına göre incelendiğinde kabul edilebilir olduğu gözlemlenmiştir (Çizelge 4.1). L1 değeri kaynağın merkezinden sol tarafa boylamasına nüfuziyet değeridir. L2 ise kaynak merkezinden aşağı ve sağ tarafa olan değerlerdir. ITAB (Isı tesiri altında kalan bölge), kaynak dikişi ve ana metal Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



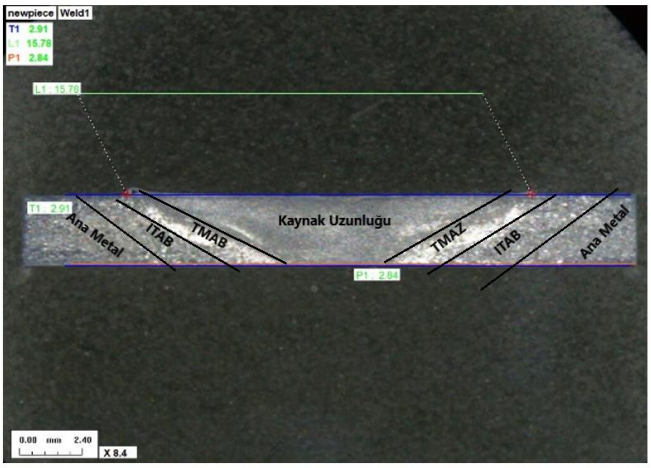

**Şekil 4.1.** 3mm Ark kaynak penetrasyon inceleme görseli

**Çizelge 4.1.** 3mm Ark kaynak penetrasyon sonuç tablosu (mm)

| | Sonuç *Result* | MİN | MAX | | Sonuç *Result* | MİN | MAX |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **T1** | | | | **P01** | | | |
| **T2** | | | | **P02** | | | |
| **a** | | 0 | | **Dolgu Yüksekliği** | 0,53 | | 4 |
| **G** | | | 1,5 | **Kök Nüfuziyeti** | | 4,25 | |
| **Gözenek** | | | 1,5 | **Kaynak Sarkması** | 2,58 | | 5,5 |
| **L1** | 4,85 | 3,5 | | **Açı 1** | | 125 | |
| **L2** | 4,38 | 3,5 | | **Açı 2** | | 125 | |
| **P1** | 2,88 | 1,5 | 5 | **Doğrusal Hizalama** | | | - |
| **P2** | 2,88 | 1,5 | 5 | **Kaynak Çentiği** | | | 0,5 |

## 4.2. 3mm SKK 5 Kaynak Sonuçları

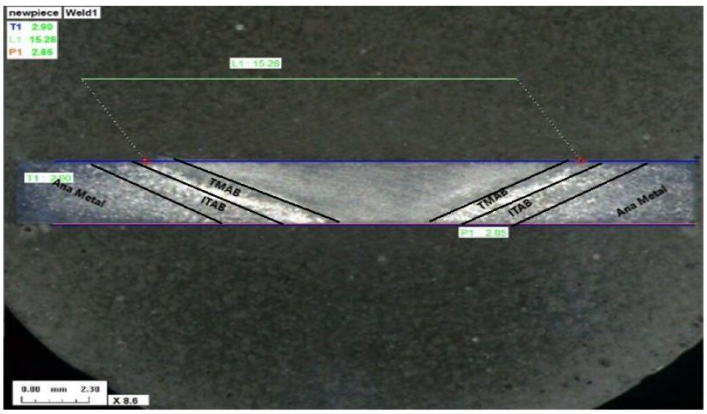
Yapılan SKK kaynağın penetrasyon incelemesi laboratuvar da gerçekleştirildi. ISO 25239-Part 5 standardına göre incelendiğinde kabul edilebilir olduğu gözlemlenmiştir. Dağlanmış numune incelendiğinde kaynak dikiş bölgesinin parçanın üst tarafından alt tarafına kadar penetre olduğu gözlemlenmiştir. TMAB (Termo mekanik etkisi altında kalan bölge), ITAB (Isı tesiri altında kalan bölge), kaynak uzunluğu ve ana metal Şekil 4.2'de gösterilmiştir.




**Şekil 4.2.** 3mm SKK 5 kaynak penetrasyon inceleme görseli

### 4.3. 3mm SKK 6 Kaynak Sonuçları

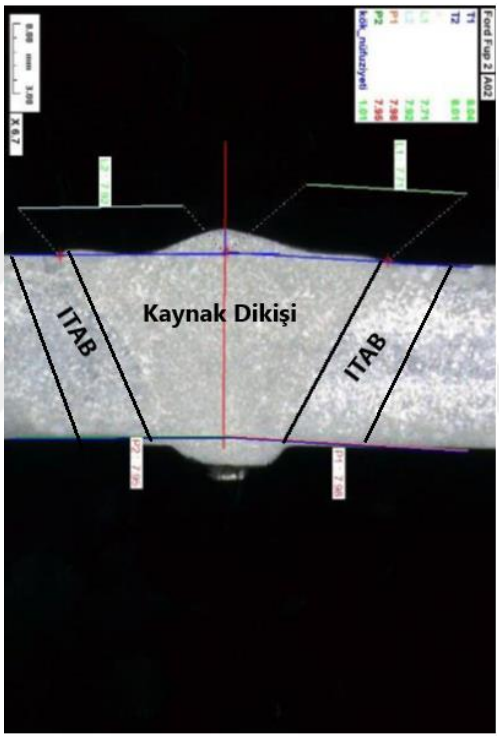
Yapılan SKK kaynağın penetrasyon incelemesi laboratuvar da gerçekleştirildi. ISO 25239-Part 5 standardına göre incelendiğinde kabul edilebilir olduğu gözlemlenmiştir. Dağlanmış numune incelendiğinde kaynak dikiş bölgesinin parçanın üst tarafından alt tarafına kadar penetre olduğu gözlemlenmiştir. TMAB (Termo mekanik etkisi altında kalan bölge), ITAB (Isı tesiri altında kalan bölge), kaynak uzunluğu ve ana metal Şekil 4.3'te gösterilmiştir.




**Şekil 4.3.** 3mm SKK 6 kaynak penetrasyon inceleme görseli

### 4.4. 8mm Ark Kaynak Sonuçları

Atılan Ark kaynağın penetrasyon incelemesi laboratuvar da gerçekleştirildi. ISO10042 standartlarına göre incelendiğinde kabul edilebilir olduğu gözlemlenmiştir (Çizelge 4.2). L1 değeri kaynağın merkezinden sol tarafa boylamasına nüfuziyet değeridir. L2 ise kaynak merkezinden aşağı ve sağ tarafa olan değerlerdir. ITAB (Isı tesiri altında kalan bölge), kaynak dikişi ve ana metal Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



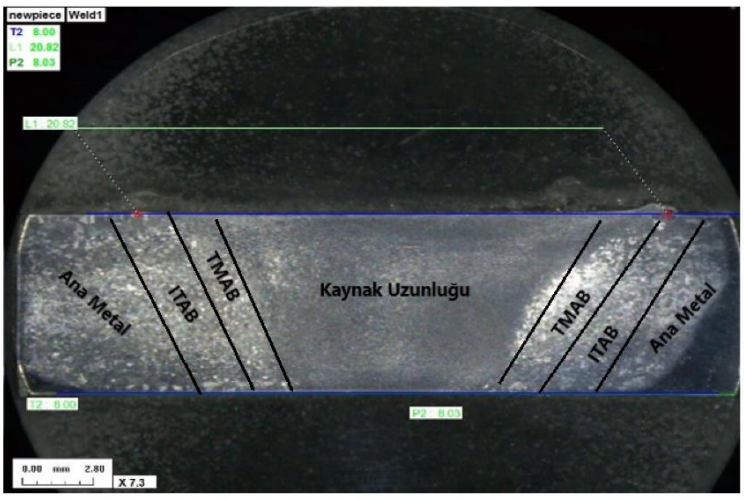

**Şekil 4.4.** 8mm Ark kaynaklı numunenin penetrasyon inceleme görseli

**Çizelge 4.2.** 8mm Ark kaynak penetrasyon sonuç tablosu

| | Sonuç *Result* | MİN | MAX | | Sonuç *Result* | MİN | MAX |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| T1 | | | | KökNüfuziyet *Root* | 1,01 | 0,4 | |
| T2 | | | | Kaynak Sarkması | | | 4,4 |
| a | | 2,8 | | Kaynak Çentiği *Weld Notch* | | | 0,4 |
| G | | | 1,5 | | | | |
| Gözenek | | | 1,5 | | | | |
| L1 | 7,71 | 6,5 | | | | | |
| L2 | 7,92 | 6,5 | | | | | |
| P1 | 7,98 | 7,5 | 4 | | | | |
| P2 | 7,95 | 7,5 | 6 | | | | |

## 4.5. 8mm SKK 5 Kaynak Sonuçları

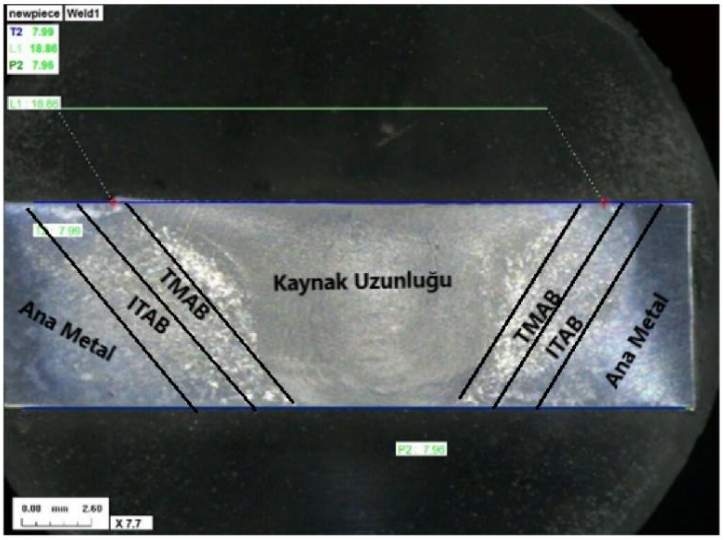
Yapılan SKK kaynağın penetrasyon incelemesi laboratuvar da gerçekleştirildi. ISO 25239-Part 5 standardına göre incelendiğinde kabul edilebilir olduğu gözlemlenmiştir Dağlanmış numune incelendiğinde kaynak dikiş bölgesinin parçanın üst tarafından alt tarafına kadar penetre olduğu gözlemlenmiştir. TMAB (Termo mekanik etkisi altında kalan bölge), ITAB (Isı tesiri altında kalan bölge), kaynak uzunluğu ve ana metal Şekil 4.5'te gösterilmiştir.




**Şekil 4.5.** 8mm SKK 5 kaynak penetrasyon inceleme görseli

### 4.6. 8mm SKK 6 Kaynak Sonuçları

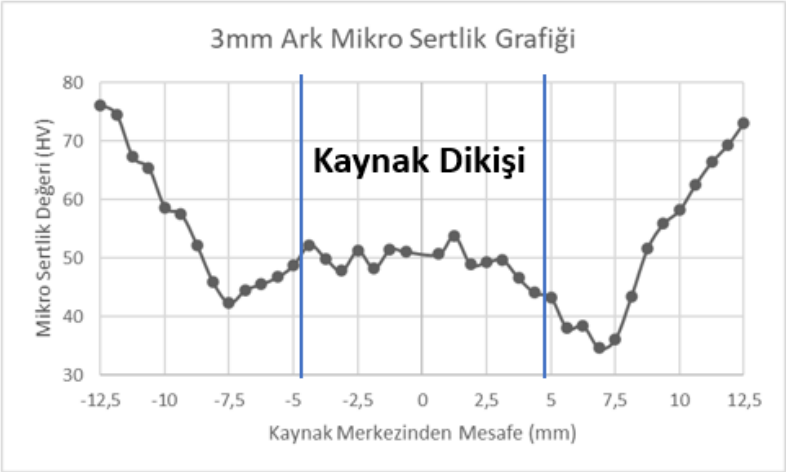
Yapılan SKK kaynağın penetrasyon incelemesi laboratuvar da gerçekleştirildi. ISO 25239-Part 5 standardına göre incelendiğinde kabul edilebilir olduğu gözlemlenmiştir. Dağlanmış numune incelendiğinde kaynak dikiş bölgesinin parçanın üst tarafından alt tarafına kadar penetre olduğu gözlemlenmiştir. TMAB (Termo mekanik etkisi altında kalan bölge), ITAB (Isı tesiri altında kalan bölge), kaynak uzunluğu ve ana metal Şekil 4.6'da gösterilmiştir.




**Şekil 4.6.** 8mm SKK 6 kaynak penetrasyon inceleme görseli

### 4.7. 3mm Ark Kaynak Sertlik Sonuçları

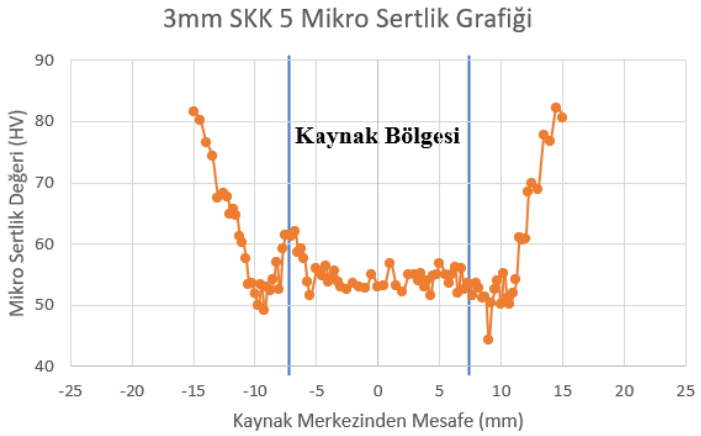
Mikro sertlik sonuçları incelendiğinde minimum sertlik değeri 34,7 HV olarak. Sertlik değeri grafiği Şekil 4.7'de gösterilmiştir.




**Şekil 4.7.** 3mm Ark kaynaklı numunenin sertlik grafiği

### 4.8. 3mm SKK 5 Kaynak Sertlik Sonuçları

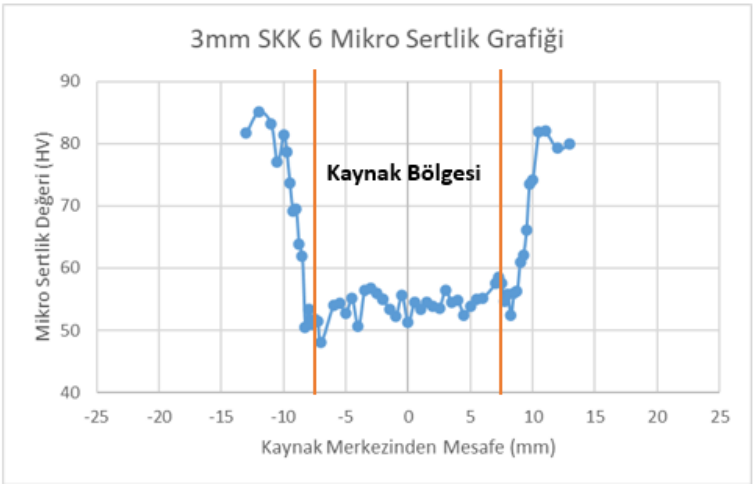
Mikro sertlik sonuçları incelendiğinde kaynak bölgesindeki minimum sertlik değeri 43,1 HV olarak gözlemlenmiştir. Sertlik değeri grafiği Şekil 4.8'de gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde ilerleme tarafı yani kaynak merkezinden negatif yönde olan kısımdaki sertlik değeri geri çekilme tarafından yani pozitif yönde olan kısımdan daha yüksek gözlemlenmiştir.




**Şekil 4.8.** 3mm SKK 5 kaynak sertlik grafiği

### 4.9. 3mm SKK 6 Kaynak Sertlik Sonuçları

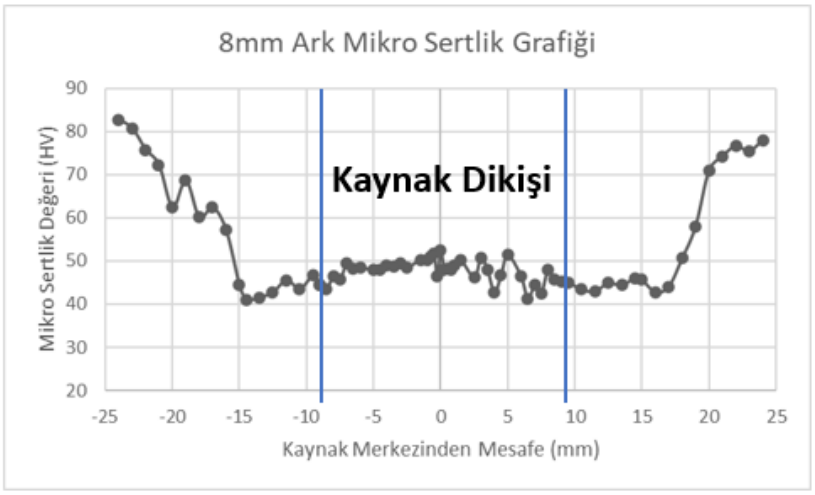
Mikro sertlik sonuçları incelendiğinde minimum sertlik değeri 48,5 HV olarak gözlemlenmiştir. Sertlik değeri grafiği Şekil 4.9'da gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde ilerleme tarafı yani kaynak merkezinden pozitif yönde olan kısımdaki sertlik değeri geri çekilme tarafından yani negatif yönde olan kısımdan daha yüksek gözlemlenmiştir.




**Şekil 4.9.** 3mm SKK 6 kaynak sertlik grafiği

### 4.10. 8mm Ark Kaynak Sertlik Sonuçları

Mikro sertlik sonuçları incelendiğinde minimum sertlik değeri 41,1 HV olarak. Sertlik değeri grafiği Şekil 4.10'da gösterilmiştir.




**Şekil 4.10.** 8mm ark kaynaklı numunenin sertlik grafiği

### 4.11. 8mm SKK 5 Kaynak Sertlik Sonuçları

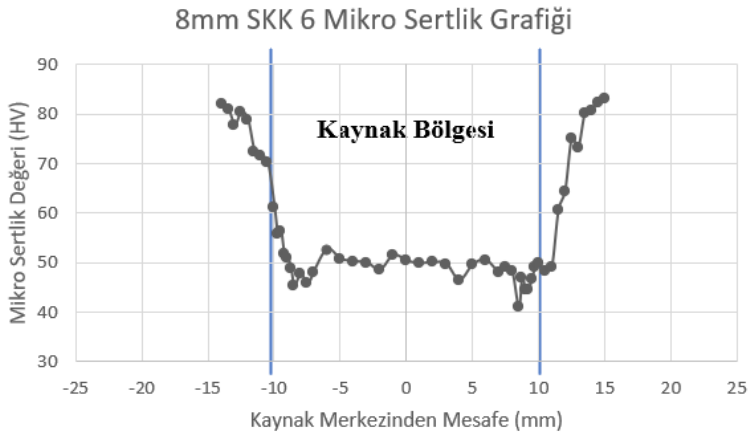
Mikro sertlik sonuçları incelendiğinde minimum sertlik değeri 44,3 HV olarak gözlemlenmiştir. Sertlik değeri grafiği Şekil 4.11'de gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde ilerleme tarafı yani kaynak merkezinden negatif yönde olan kısımdaki sertlik değeri geri çekilme tarafından yani pozitif yönde olan kısımdan daha yüksek gözlemlenmiştir.




**Şekil 4.11.** 8mm SKK 5 kaynak sertlik grafiği

## 4.12. 8mm SKK 6 Kaynak Sertlik Sonuçları

Mikro sertlik sonuçları incelendiğinde kaynak bölgesindeki minimum sertlik değeri 42,1 HV olarak gözlemlenmiştir. Sertlik değeri grafiği Şekil 4.12'de gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde ilerleme tarafı yani kaynak merkezinden negatif yönde olan kısımdaki sertlik değeri geri çekilme tarafından yani pozitif yönde olan kısımdan daha yüksek gözlemlenmiştir.



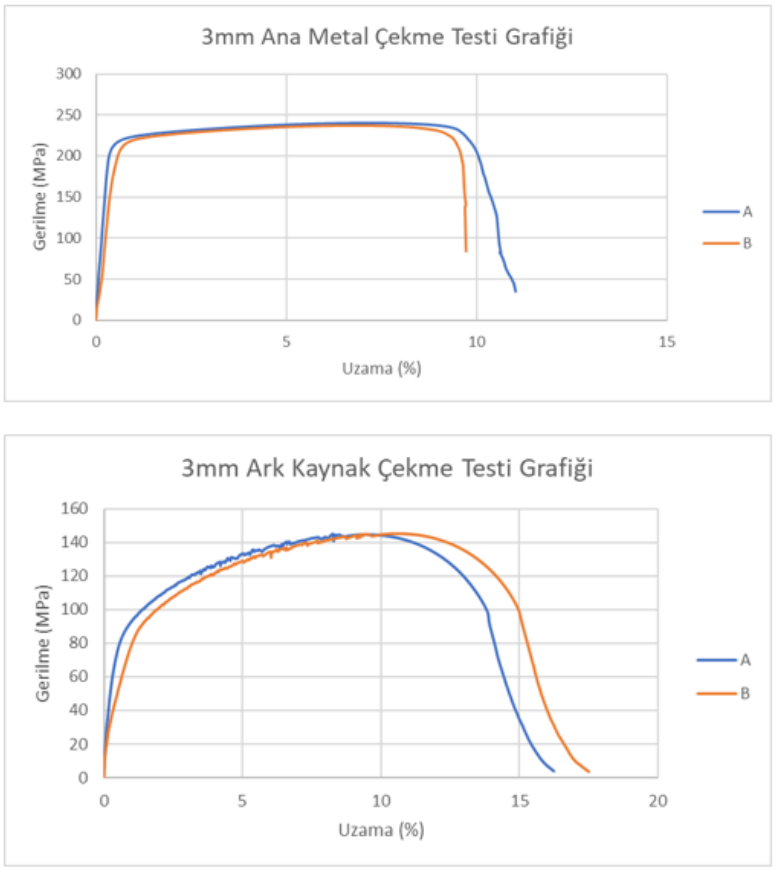

**Şekil 4.12.** 8mm SKK 6 kaynak sertlik grafiği

### 4.13. 3mm Ana Metal ve Ark Kaynak Çekme Testi Sonuçları

Aynı kaynaklı numune üzerinden 2 adet ekstrüzyon yönüne dik ana metal 2 adet 3mm Ark kaynaklı numuneler ile çekme işlemleri gerçekleştirildi. Ana metal için ortalama çekme mukavemeti yaklaşık 238MPa, uzama oranı %10 olarak gözlemlendi. Ark kaynaklı numunelerin ise çekme mukavemeti yaklaşık 145MPa, uzama oranı %18 olarak gözlemlendi. Numunelerin değerleri Çizelge 4.3'te çekme grafikleri ise Şekil 4.13'te gösterilmiştir.

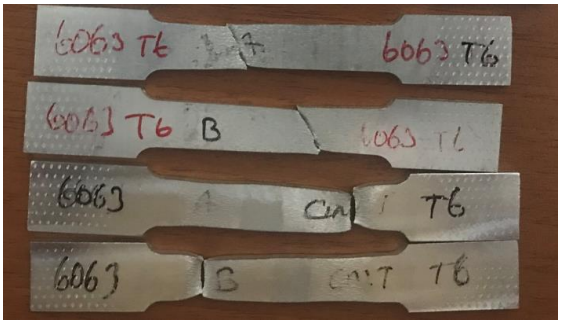
**Çizelge 4.3.** 3mm Ana metal ve Ark kaynaklı numunelerin çekme sonuçları tablosu

| | Numune Adı (Sample Name) | Kalınlık (Thickness) [mm] | Genişlik (Width) [mm] | Maksimum Kuvvet (Max Force) [kN] | Akma Mukavemeti (Yield Strength) (0.2 %) [N/mm^2] | Çekme Mukavemeti (UTS) [MPa] | Uzama ( Break Strain) [%] | Kopma Yeri Uygunluğu (Gauge Length In/Out) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 6063-T6 A | 2,64 | 10,10 | 6,41 | 215,59 | 240,279 | 11,03 | |
| 2 | 6063-T6 B | 2,66 | 10,08 | 6,36 | 209,98 | 237,142 | 9,72 | |
| 3 | 6063-T6 CMT-A | 2,58 | 10,16 | 3,80 | 72,16 | 145,107 | 17,55 | |
| 4 | 6063-T6 CMT-B | 2,60 | 10,14 | 3,83 | 54,33 | 145,335 | 19,60 | |




**Şekil 4.13.** 3mm Ana metal ve Ark kaynaklı numunelerin çekme sonuçları grafiği

Çekme testi işlemlerinden sonra yapılan incelemelerde ana metalin ve 3mm Ark kaynaklı numunelerin kopma noktaları Şekil 4.14'te gösterilmiştir.



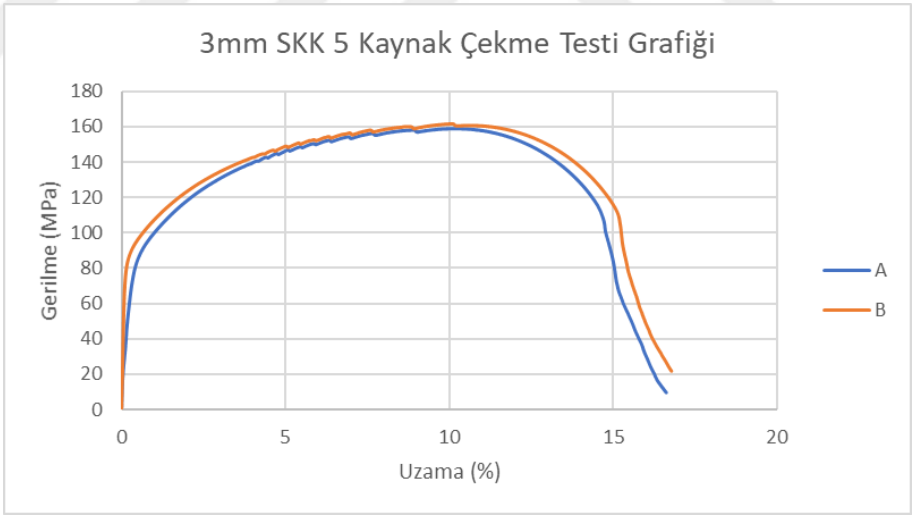

**Şekil 4.14.** Çekme testi sonrası kopan 3mm ana metal ve Ark kaynaklı numunelerinin görselleri

### 4.14. 3mm SKK 5 Kaynak Çekme Testi Sonuçları

Aynı kaynaklı numune üzerinden 2 adet ekstrüzyon yönüne dik 3mm SKK 5 numuneleri ile çekme işlemleri gerçekleştirildi. SKK 5 kaynaklı numunelerin çekme mukavemeti yaklaşık 160MPa, uzama oranı %17 olarak gözlemlendi. Numunelerin değerleri Çizelge 4.4'te çekme grafikleri ise Şekil 4.15'te gösterilmiştir.

**Çizelge 4.4.** 3mm SKK 5 kaynaklı numunelerin çekme sonuçları tablosu

| | Numune Adı (Sample Name) | Kalınlık (Thickness) [mm] | Genişlik (Width) [mm] | Maksimum Kuvvet (Max Force) [kN] | Akma Mukavemeti (Yield Strength) (0.2 %) [N/mm^2] | Çekme Mukavemeti (UTS) [MPa] | Uzama (Break Strain) [%] | Kopma Yeri Uygunluğu (Gauge Length In/Out) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | FSW05 A | 2,79 | 10,13 | 4,49 | 83,66 | 158,973 | 16,62 | |
| 2 | FSW05 B | 2,77 | 10,08 | 4,51 | 90,13 | 161,678 | 16,78 | |




**Şekil 4.15.** 3mm SKK 5 kaynaklı numunelerin çekme sonuçları grafiği

Çekme testi işlemlerinden sonra yapılan incelemelerde 3mm SKK 5 kaynaklı numunelerin kopma noktaları Şekil 4.16'da gösterilmiştir.



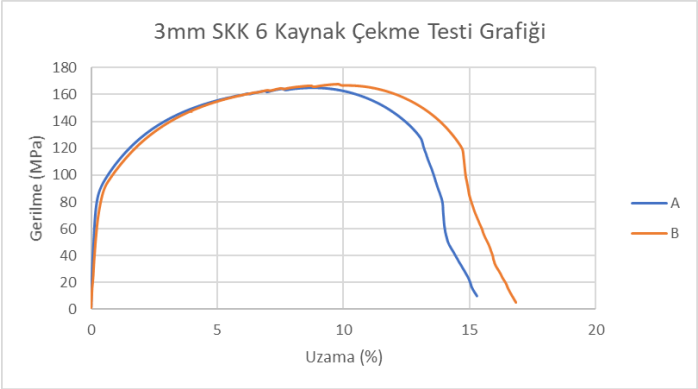
**Şekil 4.16.** Çekme testi sonrası kopan 3mm SKK 5 numunelerinin görselleri

### 4.15. 3mm SKK 6 Kaynak Çekme Testi Sonuçları

Aynı kaynaklı numune üzerinden 2 adet ekstrüzyon yönüne dik 3mm SKK 6 numuneleri ile çekme işlemleri gerçekleştirildi. SKK 5 kaynaklı numunelerin çekme mukavemeti yaklaşık 166MPa, uzama oranı %18 olarak gözlemlendi. Numunelerin değerleri Çizelge 4.5'te çekme grafikleri ise Şekil 4.17'de gösterilmiştir.

**Çizelge 4.5.** 3mm SKK 6 kaynaklı numunelerin çekme sonuçları tablosu

| | Numune Adı (Sample Name) | Kalınlık (Thickness) [mm] | Genişlik (Width) [mm] | Maksimum Kuvvet (Max Force) [kN] | Akma Mukavemeti (Yield Strength) (0.2 %) [N/mm^2] | Çekme Mukavemeti (UTS) [MPa] | Uzama (Break Strain) [%] | Kopma Yeri Uygunluğu (Gauge Length In/Out) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | FSW06 A | 2,80 | 10,11 | 4,67 | 89,14 | 165,079 | 17,12 | |
| 2 | FSW06 B | 2,78 | 10,09 | 4,71 | 90,10 | 167,744 | 19,40 | |




**Şekil 4.17.** 3mm SKK 6 kaynaklı numunelerin çekme sonuçları grafiği

Çekme testi işlemlerinden sonra yapılan incelemelerde 3mm SKK 6 kaynaklı numunelerin kopma noktaları Şekil 4.18'de gösterilmiştir.




**Şekil 4.18.** Çekme testi sonrası kopan 3mm SKK 5 numunelerinin görselleri

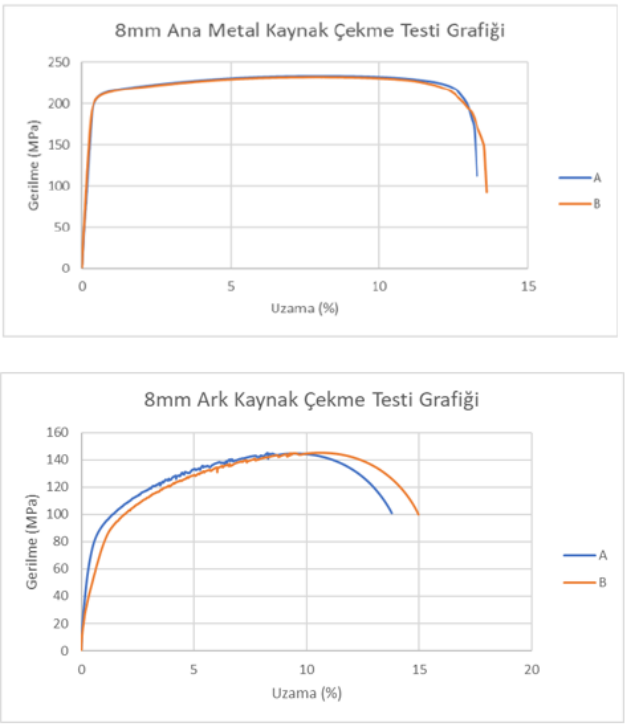
### 4.16. 8mm Ana Metal ve Ark Kaynak Çekme Testi Sonuçları

Aynı kaynaklı numune üzerinden 2 adet ekstrüzyon yönüne dik ana metal 2 adet 8mm Ark kaynaklı numuneler ile çekme işlemleri gerçekleştirildi. Ana metal için ortalama çekme mukavemeti yaklaşık 231MPa, uzama oranı %13 olarak gözlemlendi. Ark kaynaklı numunelerin ise çekme mukavemeti yaklaşık 146MPa, uzama oranı %13 olarak gözlemlendi. Numunelerin değerleri Çizelge 4.6'da çekme grafikleri ise Şekil 4.19'da gösterilmiştir.

**Çizelge 4.6.** 8mm Ana metal ve Ark kaynaklı numunelerin çekme sonuçları tablosu

| | Numune Adı (Sample Name) | Kalınlık (Thickness) [mm] | Genişlik (Width) [mm] | Maksimum Kuvvet (Max Force) [kN] | Akma Mukavemeti (Yield Strength) (0.2 %) [N/mm^2] | Çekme Mukavemeti (UTS) [MPa] | Uzama ( Break Strain) [%] | Kopma Yeri Uygunluğu (Gauge Length In/Out) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 6063-A | 7,85 | 10,11 | 18,46 | 205,84 | 232,614 | 13,30 | |
| 2 | 6063-B | 7,89 | 10,12 | 18,48 | 203,24 | 231,381 | 13,62 | |

| | Numune Adı (Sample Name) | Kalınlık (Thickness) [mm] | Genişlik (Width) [mm] | Maksimum Kuvvet (Max Force) [kN] | Akma Mukavemeti (Yield Strength) (0.2 %) [N/mm^2] | Çekme Mukavemeti (UTS) [MPa] | Uzama ( Break Strain) [%] | Kopma Yeri Uygunluğu (Gauge Length In/Out) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 7,82 | 10,01 | 11,56 | 70,70 | 147,665 | 11,34 | |
| 2 | 2 | 8,31 | 10,04 | 12,18 | 65,05 | 146,013 | 15,65 | |




**Şekil 4.19.** 8mm Ana metal ve Ark kaynaklı numunelerin çekme sonuçları grafiği

Çekme testi işlemlerinden sonra yapılan incelemelerde ana metalin ve 8mm Ark kaynaklı numunelerin kopma noktaları Şekil 4.20'de gösterilmiştir.



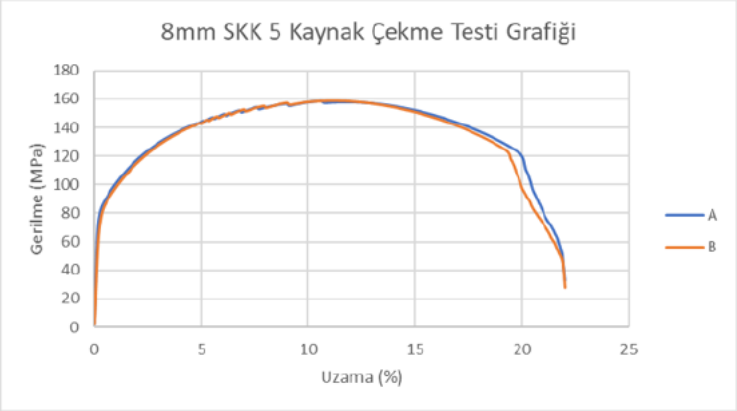

**Şekil 4.20.** Çekme testi sonrası kopan 8mm ana metal ve Ark numunelerinin görselleri

### 4.17. 8mm SKK 5 Kaynak Çekme Testi Sonuçları

Aynı kaynaklı numune üzerinden 2 adet ekstrüzyon yönüne dik 8mm SKK 5 numuneleri ile çekme işlemleri gerçekleştirildi. SKK 5 kaynaklı numunelerin çekme mukavemeti yaklaşık 158MPa, uzama oranı %22 olarak gözlemlendi. Numunelerin değerleri Çizelge 4.7'de çekme grafiği ise Şekil 4.21'de gösterilmiştir.

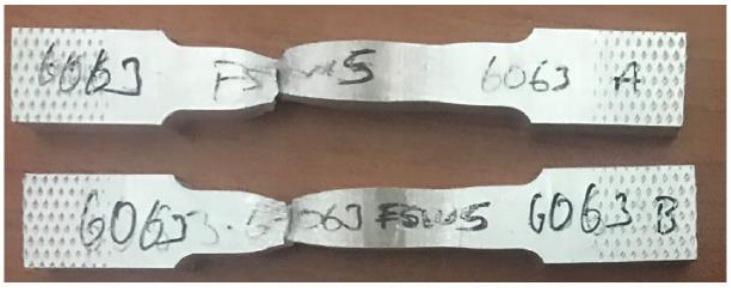
**Çizelge 4.7.** 8mm SKK 5 kaynaklı numunelerin çekme sonuçları tablosu

| | Numune Adı (Sample Name) | Kalınlık (Thickness) [mm] | Genişlik (Width) [mm] | Maksimum Kuvvet (Max Force) [kN] | Akma Mukavemeti (Yield Strength) (0.2 %) [N/mm^2] | Çekme Mukavemeti (UTS) [MPa] | Uzama ( Break Strain) [%] | Kopma Yeri Uygunluğu (Gauge Length In/Out) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | FSW-5 A | 7,88 | 10,13 | 12,66 | 85,44 | 158,560 | 21,99 | |
| 2 | FSW-5 B | 7,87 | 10,04 | 12,54 | 83,34 | 158,759 | 21,99 | |




**Şekil 4.21.** 8mm SKK 5 kaynaklı numunelerin çekme sonuçları grafiği

Çekme testi işlemlerinden sonra yapılan incelemelerde ana metalin ve 8mm Ark kaynaklı numunelerin kopma noktaları Şekil 4.22'de gösterilmiştir.



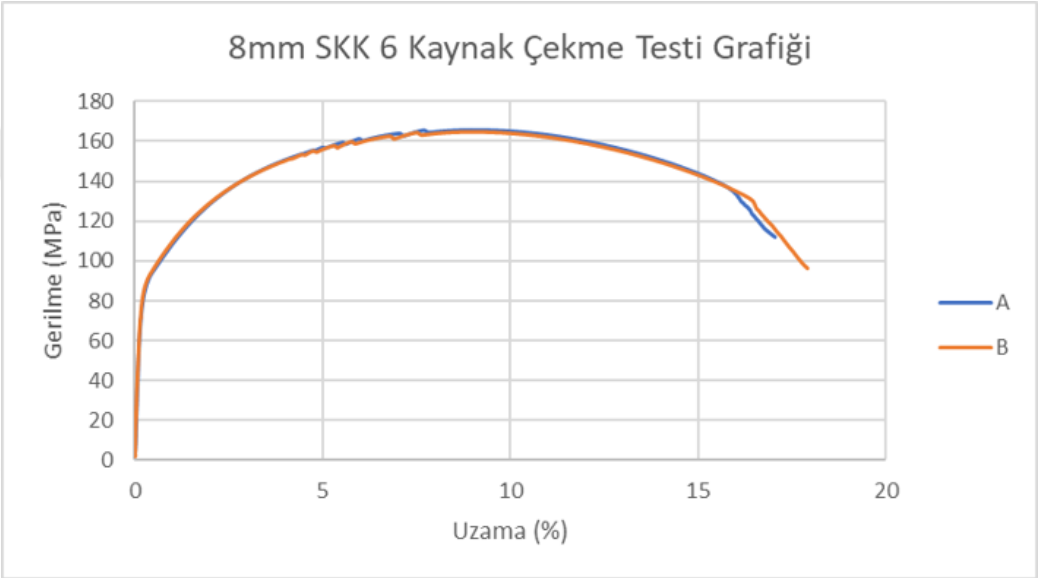
**Şekil 4.22.** Çekme testi sonrası kopan 8mm SKK 5 numunelerinin görselleri

### 4.18. 8mm SKK 6 Kaynak Çekme Testi Sonuçları

Aynı kaynaklı numune üzerinden 2 adet ekstrüzyon yönüne dik 8mm SKK 6 numuneleri ile çekme işlemleri gerçekleştirildi. SKK 6 kaynaklı numunelerin çekme mukavemeti yaklaşık 165MPa, uzama oranı %18 olarak gözlemlendi. Numunelerin değerleri Çizelge 4.8'de çekme grafikleri ise Şekil 4.23'te gösterilmiştir.

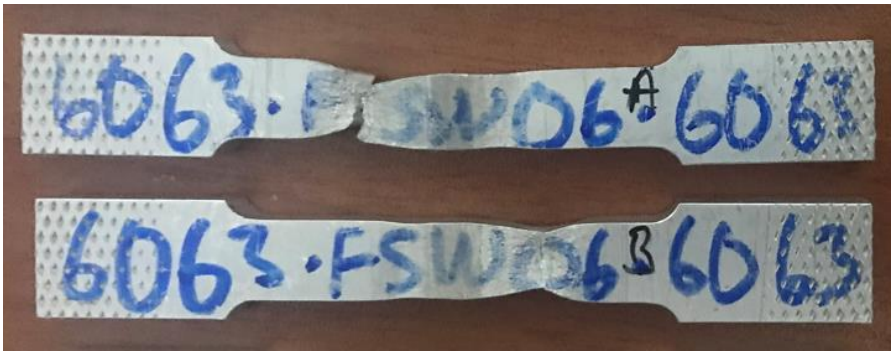
**Çizelge 4.8.** 8mm SKK 6 kaynaklı numunelerin çekme sonuçları tablosu

| | Numune Adı (Sample Name) | Kalınlık (Thickness) [mm] | Genişlik (Width) [mm] | Maksimum Kuvvet (Max Force) [kN] | Akma Mukavemeti (Yield Strength) (0.2 %) [N/mm^2] | Çekme Mukavemeti (UTS) [MPa] | Uzama ( Break Strain) [%] | Kopma Yeri Uygunluğu (Gauge Length In/Out) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | FSW-6 A | 7,88 | 10,15 | 13,26 | 90,65 | 165,726 | 17,06 | |
| 2 | FSW-6 B | 7,86 | 10,13 | 13,12 | 90,90 | 164,754 | 19,84 | |




**Şekil 4.23.** 8mm SKK 6 kaynaklı numunelerin çekme sonuçları grafiği

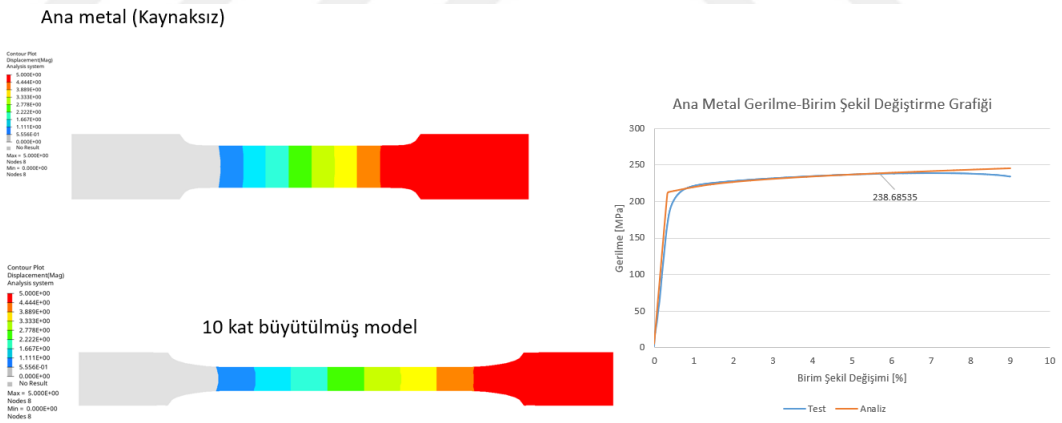
Çekme testi işlemlerinden sonra yapılan incelemelerde 8mm SKK 5 kaynaklı numunelerin kopma noktaları Şekil 4.24'te gösterilmiştir.



**Şekil 4.24.** Çekme testi sonrası kopan 8mm SKK 6 numunelerinin görselleri

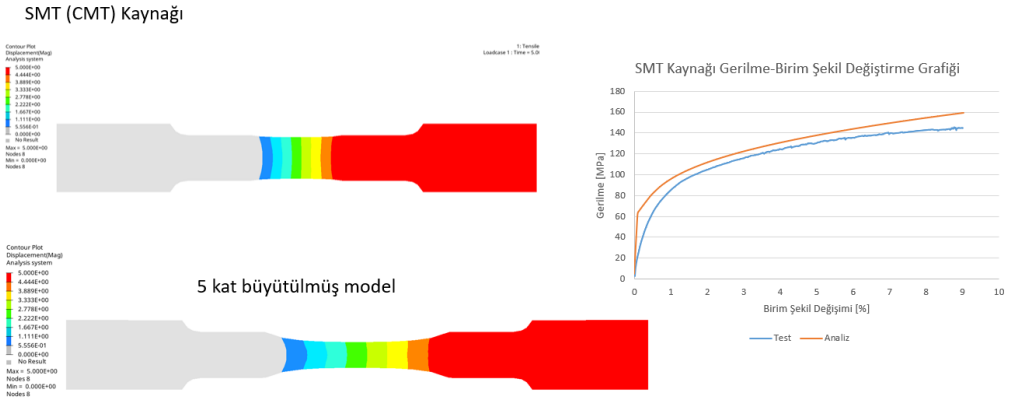
## 4.19. Analiz Sonuçları

Mesh modeli oluşturulan çekme numunesi işlemleri parçanın kopma noktasına kadar çekilerek analizler yapılmıştır. Ana metalin çekme değeri yaklaşık 238MPa olarak test numunesi ile benzer şekilde sonuç vermiştir (Şekil 4.25).



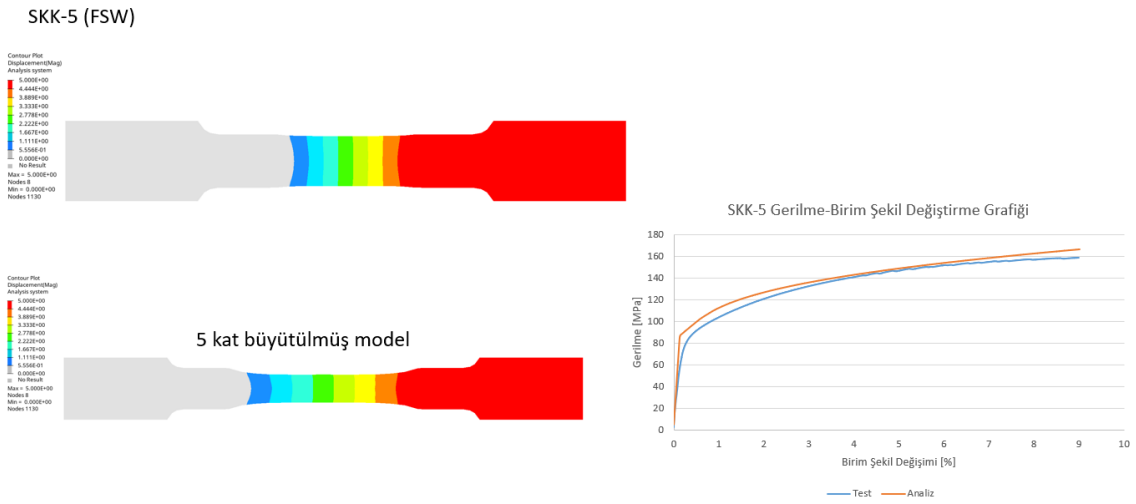

**Şekil 4.25.** 3mm Ana metalin çekme analiz ile testi karşılaştırma grafiği

3mm Ark kaynaklı numunenin çekme değeri yaklaşık 156MPa olarak test numunesi ile benzer şekilde sonuç vermiştir (Şekil 4.26)



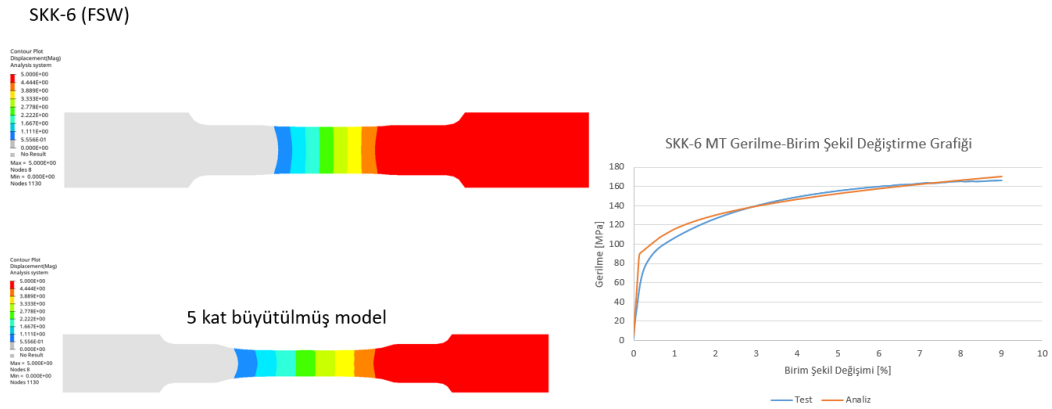

**Şekil 4.26.** 3mm Ark  kaynaklı numunenin çekme analiz ile testi karşılaştırma grafiği

3mm SKK 5 kaynaklı numunenin çekme değeri yaklaşık 161MPa olarak test numunesi ile benzer şekilde sonuç vermiştir (Şekil 4.27).



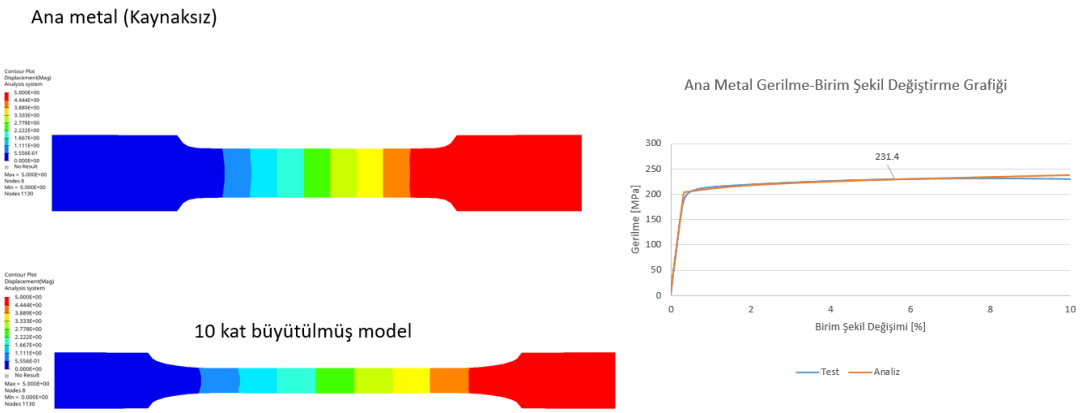

**Şekil 4.27.** 3mm SKK 5 numunenin çekme analiz ile testi karşılaştırma grafiği

3mm SKK 6 kaynaklı numunenin çekme değeri yaklaşık 166MPa olarak test numunesi ile benzer şekilde sonuç vermiştir (Şekil 4.28).



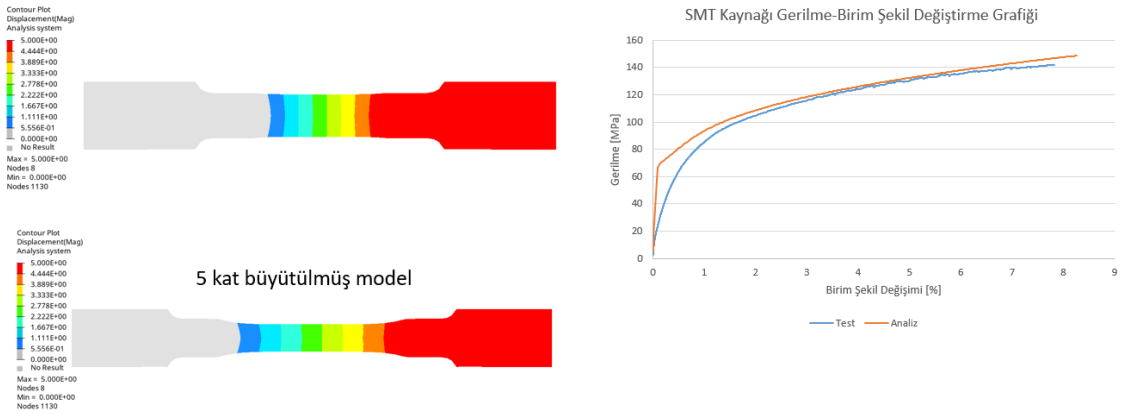

**Şekil 4.28.** 3mm SKK 6 numunenin çekme analiz ile testi karşılaştırma grafiği

8mm ana metal numunenin çekme değeri yaklaşık 231MPa olarak test numunesi ile benzer şekilde sonuç vermiştir (Şekil 4.29).



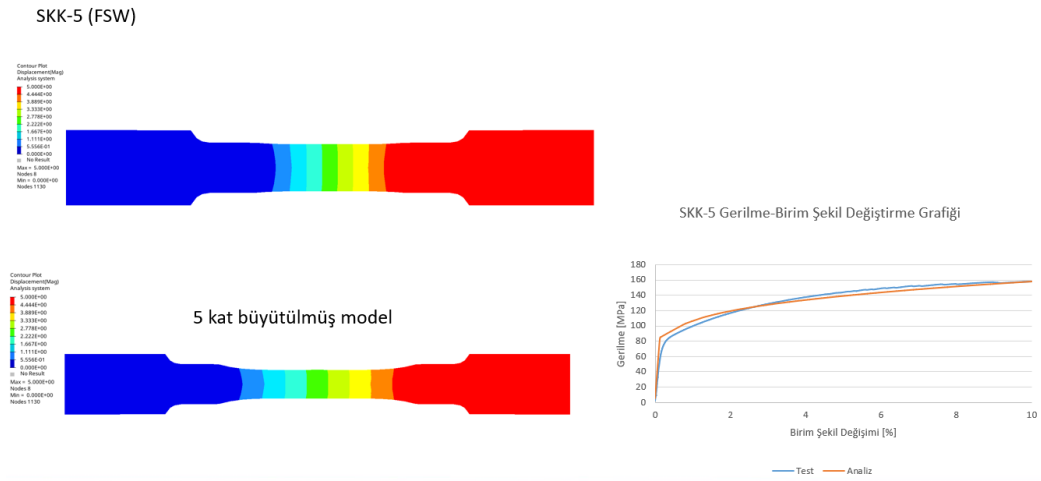

**Şekil 4.29.** 8mm Ana metalin çekme analiz ile testi karşılaştırma grafiği

8mm Ark kaynaklı numunenin çekme değeri yaklaşık 155MPa olarak test numunesi ile benzer şekilde sonuç vermiştir (Şekil 4.30).



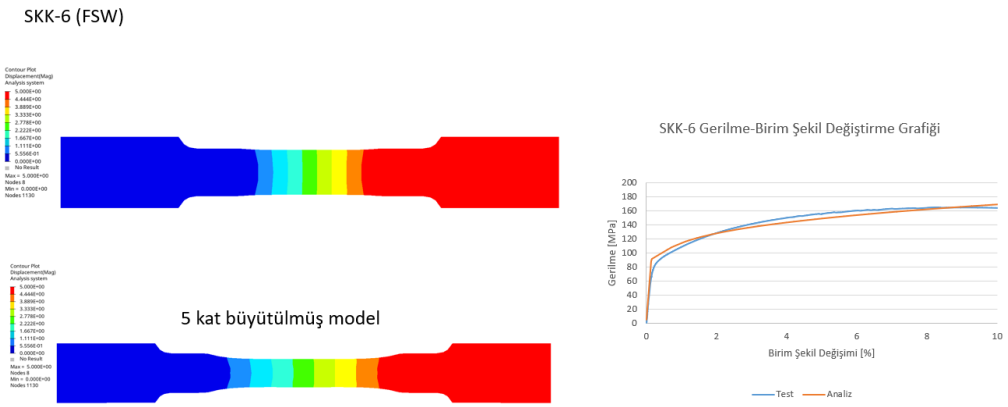

**Şekil 4.30.** 8mm Ark kaynaklı numunenin çekme analiz ile testi karşılaştırma grafiği

8mm SKK 5 kaynaklı numunenin çekme değeri yaklaşık 155MPa olarak test numunesi ile benzer şekilde sonuç vermiştir (Şekil 4.31).




**Şekil 4.31.** 8mm SKK 5 numunenin çekme analiz ile testi karşılaştırma grafiği

8mm SKK 6 kaynaklı numunenin çekme değeri yaklaşık 162MPa olarak test numunesi ile benzer şekilde sonuç vermiştir (Şekil 4.32).




**Şekil 4.32.** 8mm SKK 6 numunenin çekme analiz ile testi karşılaştırma grafiği

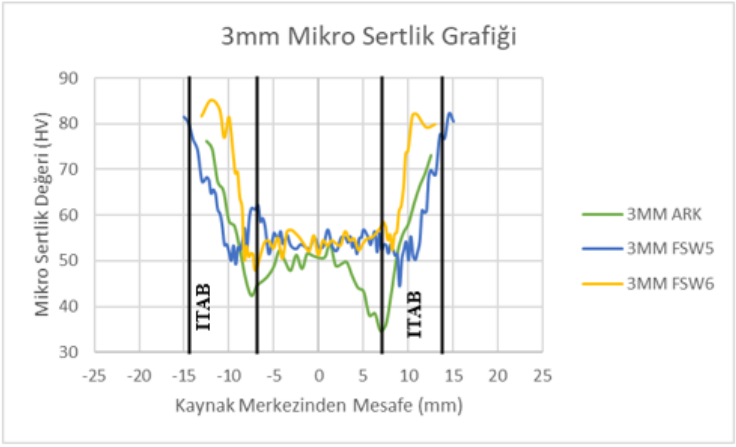
# 5. SONUÇ (TARTIŞMA VE SONUÇ)

Otomotiv sektöründe kullanılan EN-AW 6063-T6 alaşımının, alüminyum ekstrüzyon alaşımları kullanılarak üretilecek ev batarya kutusu tasarımında kullanılmak üzere belirlenen farklı kaynak türlerinin dayanımlarının karşılaştırılması bu çalışmada aşağıda sıralanan genel sonuçlar ve önerilere ulaşılmıştır.

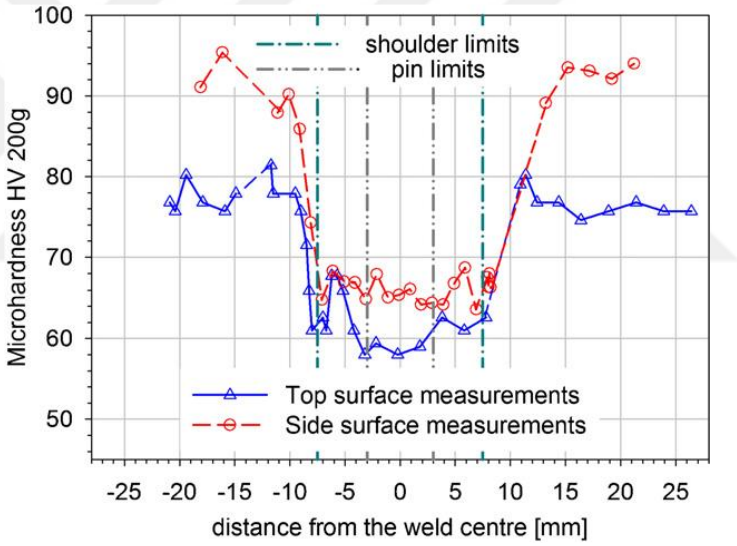
EN-AW 6063-T6 alaşımının 3mm, 8mm Ark kaynağı ile kaynaklanan numuneler ile 3mm, 8mm SKK ile yapılan kaynakların penetrasyon raporu incelendiğinde ISO10042 ve ISO25239-Part5 standartlarına göre atılan kaynaklar penetre olmuş olup standarda göre değerler pozitif çıkmıştır. Kaynak penetrasyonları karşılaştırıldığında tam penetre oldukları görülmüştür.

Kaynak işlemleri yapılırken Ark ile yapılan parçalarda çarpılmanın SKK ile yapılan çalışmalara göre daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bunun sebebinin ise ısı girdisinin fazla olduğu düşünülmektedir.

3mm'lik numunelerin mikro sertlik değerleri karşılaştırıldığında Ark ile yapılan kaynağın SKK5 ve SKK6'ya göre sertlik değerinin daha düşük olduğu gözlemlenmektedir. 3mm KK 5 ve 3mm SKK 6 çalışmalarında yapılan parametre değişikliğinin mikro sertlik değerlerine etkisinin çok fazla olmadığını, SKK 6 çalışmasının değerinin SKK 5'e göre yaklaşık 5HV değeri kadar fazla ve bölgelerinde olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 5.1). 3mm'lik numunelerin sertlik değerlerinin en fazla düştüğü yer ise ITAB bölgesinde görülmüştür. Moreira ve ark. (2008) yapmış olduğu çalışmalardaki grafiksel eğriliği ile aynı olmuştur (Şekil 5.2).

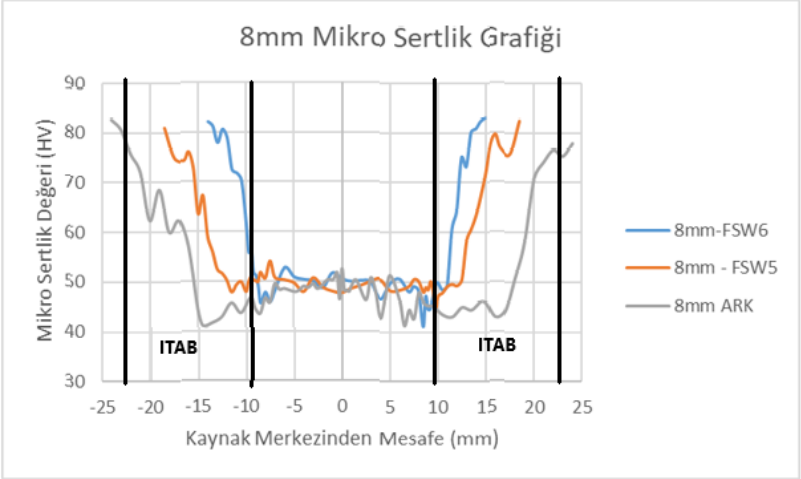



**Şekil 5.1.** 3mm kaynaksız ve kaynaklı numunelerin toplu sertlik grafiklerinin gösterimi




**Şekil 5.2.** 3mm AA6063-T6 sertlik sonuç grafiği (Moreira, 2008)

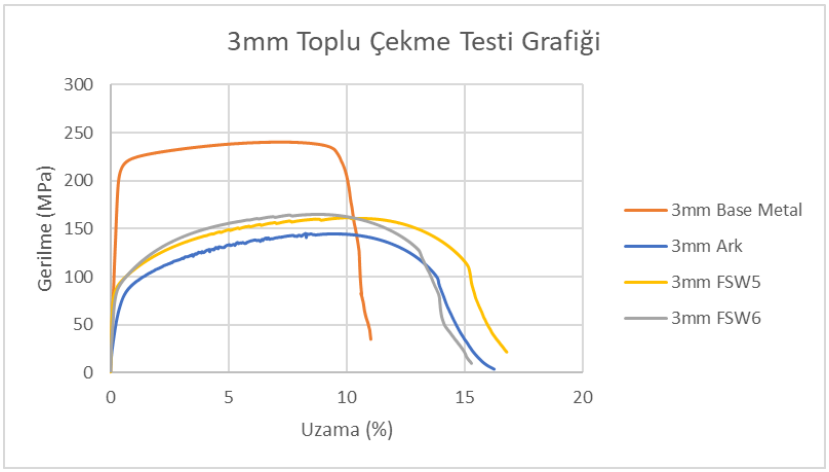
8mm'lik numunelerin mikro sertlik değerinde ise SKK6'nın yani ilerleme hızı fazla olanın SKK 5 den yaklaşık 2HV daha az olduğu gözlemlenmiş olup etkisinin fazla olmadığı gözlemlenmiştir. 8mm'lik numunelerin sertlik değerlerinin en fazla düştüğü yer ise ITAB bölgesinde görülmüştür (Şekil 5.3).



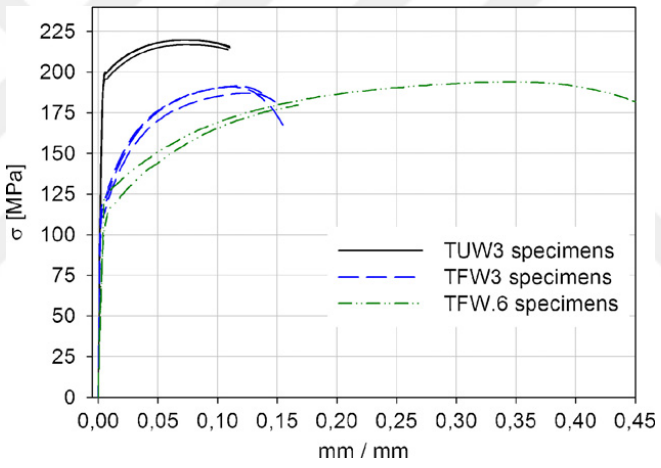

**Şekil 5.3.** 8mm kaynaksız ve kaynaklı numunelerin toplu sertlik grafiklerinin gösterimi

Isıdan etkilenen bölgenin (ITAB) yani Ark ile yapılan kaynağın SKK ile yapılan kaynağa göre ısı girdisi ve porozite oluşması daha fazla gözlemlenmiştir. Bu porozitelerin (boşlukların) fazla olması malzemenin çekme gerilmesini düşürdüğü gözlemlenmektedir ve bu oran ise yaklaşık %41. Bu durumun literatürde yapılan çalışmalar ile benzer olduğu, Kahraman ve ark. (2018) "Soğuk Metal Transfer (CMT) ve Darbeli Soğuk Metal Transfer (Darbeli CMT) Kaynak İşlemleri ile Birleştirilmiş AA5754 Alüminyum Alaşımının Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi) adlı çalışmada olduğu gibi gözlemlenmiştir.

SKK kaynakları ile yapılan çalışmalarda düşen çekme gerilmesi değeri yaklaşık %30 olarak gözlemlenmiş olup (Şekil 5.4), Moreira R. ve ark. (2008) yaptığı çalışmalardaki (Şekil 5.5) yaklaşık yüzdesel değer kadardır.



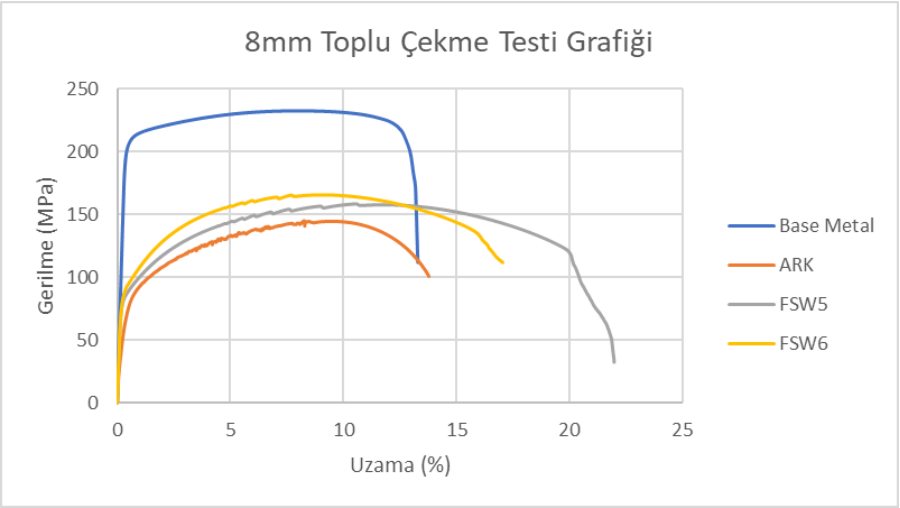

**Şekil 5.4.** 3mm kaynaksız ve kaynaklı numunelerin toplu çekme grafiklerinin gösterimi




**Şekil 5.5.** 3mm AA6063-T6 çekme testi sonuç grafiği (Moreira, 2008)

3mm'ye ait çalışmalar incelendiğinde SKK5 dönme hızını sabit tutulup ilerleme hızı yaklaşık 2 katına çıkarıldığında ilerleme hızı yüksek olan 3mm SKK 6 çalışmasının daha iyi olduğu uzama miktarının da SKK 6 çalışmasında daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Abdulwadood ve ark. (2014) da yaptığı çalışmada ilerleme hızının artmasının çekme gerilmesine etkisini benzer şekilde gözlemlemiştir. Ancak bu artışın belirli bir yere kadar olduğu, diğer parametrelerin birbiri ile bağlantılı olduğunu da söylemektedir. 8mm'ye ait çekme sonuçları ise 8 mm SKK6 çalışmasının yani ilerleme hızının daha yüksek olanının

daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmektedir (Şekil). Sertlik değerleri grafiğinde de görüldüğü üzere kopan numunelerin hepsi ITAB bölgesinden olduğu gözlemlenmiştir.




**Şekil 5.6.** 8mm kaynaksız ve kaynaklı numunelerin toplu çekme grafiklerinin gösterimi

Moreira P. ve ark. (2008) ‘ Fatigue behaviour of notched specimens of friction stir welded aluminium alloy 6063-T6’ adlı çalışmasında kaynaksız numune ile SKK kaynaklı numunelerin mekanik özelliklerini karşılaştırma yaparak, SKK numunelerindeki çekme gerilmesi değerinin yaklaşık %22 civarında düştüğünü gözlemlemiştir. Sertlik değerlerinin ise ITAB bölgelerinde daha düşük olduğu kaynak dikişinin olduğu yerde daha ITAB bölgesine göre daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. 3mm ve 8mm SKK5 ve SKK6 çalışmaları incelendiğinde de Moreira P. ve ark. yapmış olduğu çalışmadaki değerler gibi olduğu gözlemlenmiştir.

Malzemenin et kalınlığının SKK parametrelerine etkisi incelendiğinde parçanın et kalınlığının bindirme yüküne etki ettiği görülmüştür. 3mm’ lik parçalar için yaklaşık 4.5 kN olduğu, 8mm için ise 7-7.5 kN arasında bir değer olduğu gözlemlenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde parçanın et kalınlığı arttığında  bindirme yükünün arttığı gözlemlenmiştir.

Analiz sonuçları ile çekme testi sonuçları karşılaştırıldığında, analiz modelin ve sınır şartlarının doğru kurulduğu ve sonuçların birbirine yakın olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuçlardan yola çıkarak batarya kutusunun tamamı analiz edildiğinde ısıdan etkilenen alanların ve kaynak noktalarının belirlenmesi batarya taşıyıcı kutusunun tüm mesh modeli ve sınır şartları belirlenirken daha doğru tanımlamalar yapılabileceği ve çıkacak analiz sonuçlarının daha fazla gerçeğe yakın olacağı düşünülmektedir.

# KAYNAKLAR


Anonim, 2010a. Ekstrüzyon yöntemi. https://tr.esc.wiki/wiki/Extrusion (Erişim tarihi: 10.09.2021).

Anonim, 2012a. Final rulemaking for 2017-2025 light-duty vehicle greenhouse gas emission standards and corporate average fuel economy standards. Office of international policy, fuel economy, and consumer programs national highway traffic safety administration. https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.dot.gov/files/joint_final_tsd.pdf (Erişim tarihi: 21.06.2020).

Anonim, 2014a. Ekstrüzyon nedir ekstrüzyon çeşitleri nelerdir https://320volt.com/ekstruzyon-nedir-ekstruzyon-cesitleri/ (Erişim tarihi: 13.12.2021).

Anonim, 2016. Comparative study on the difference between the EU and US legislation on emissions in the automotive sector. Study for the EMIS committee. http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2016/587331/IPOL_STU(2016)587331_EN.pdf (Erişim tarihi: 23.10.2021).

Anonim, 2017a. Footprint versus mass: how to best account for weight reduction in the European vehicle CO2 regulation. The international council on clean transportation https://www.theicct.org/sites/default/files/CO2-reduction-technologies_fact-sheet_10102017_vF.pdf (Erişim tarihi:09.12.2020).

Anonim, 2018a. Automotive material mix of a typical vehicle in 2025. https://www.statista.com/statistics/270252/material-use-in-car-production/ (Erişim tarihi: 26.02.2021).

Anonim, 2019. Extrusion profiles. https://pcextrusions.com/extrusion-2/extrusion-process-2/ (Erişim tarihi 10.01.2021).

Anonim, 2021a. Kyoto protokolü. https://tr.wikipedia.org/wiki/Kyoto_Protokol%C3%BC (Erişim tarihi:23.06.2021).

Anonim, 2021b. Alüminyum ekstrüzyon. https://www.celikleraluminyum.com.tr/aluminyum-ekstruzyon/ (Erişim tarihi: 12.12.2021).

Anonim, 2022a. Paris Antlaşması. https://tr.wikipedia.org/wiki/Paris_Anla%C5%9Fmas%C4%B1 (Erişim tarihi: 15.11.2021).

Anonim, 2022b. Dünyada inovasyon ve arge'ye en çok harcama yapan şirketler. https://vergialgi.com/dunyada-inovasyon-ve-argeye-en-cok-harcama-yapan-sirketler (Erişim Tarihi: 01.07.2022).

Abdulwadood, N., Sahin, B., Yildirim, N., 2014, Effect Of Welding Parameters on The Mechanical Properties Of Dissimilar Aluminum Alloys 2024-T3 To 6061-T6 Joints Produced By Friction Stir Welding, Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 3, Sayı 1, 25-36.

Al-Zubaidy, B.M.M., 2016. Material Interactions in a Novel Refill Friction Stir Spot Welding Approach to Joining Al-Al and Al-Mg Automotive Sheets. *Doktora Tezi,* Manchester Üniversitesi Fen ve Mühendislik Fakültesi, Birleşik Kırallık.

Başer, T., 2012. Alüminyum alaşımları ve otomotiv endüstrisinde kullanımı. *Mühendis ve Makina,* 53 (635):51-58.

Çiğdem, M., 2006. İmal Usülleri, Çağlayan Kitabevi, İstanbul; 176-181,208-212.

Yeşildal, 2008. otomotiv sektöründeki birleştirmelerde seçilen kaynak parametreleri ve kullanılan teknolojiler: geleneksel yöntemler ve lazer tekniği. *Yüksek Lisans Tezi,* Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

Durmuş, H., Çömez, N., 2017. Mechanical properties of AA5754 Sheets welded by cold metal transfer method. *Technological Applied Sciences (NWSATAS),* 12(4):170-177.

Boldsaikhan, E., Corwin, E.M., Logar, A.M., Arbegast, W. J.İ 2011. The use of neural network and discrete fourier transform for real time evaulation of friction stir welding. Appl. Soft Comput. 11 (8), 4839-4846.

Elrefaey, A., Ross, G., 2015. Microstructure and mechanical properties of cold metal transfer welding similar and dissimilar aluminum alloys. *Acta Metallurgica Sinica (English Letters),* 28(6): 715-724.

ESAB, Technical Handbook Friction Stir Welding

Gallais, C., Simar, A., Fabregue, D., 2007. Multiscale Analysis of the strength and ductility of AA 6056 aluminium friction stir welds. Metals & Materials Society and ASM International, 38(5):964-981.

Gungor, B., Kaluc, E., Taban, E., Sık, A., 2014. Mechanical and microstructural properties of robotic Cold Metal Transfer (CMT) welded 5083-H111 and 6082-T651 aluminum alloys. *Materials and Design,* 54: 207–211.

Güven, F., Rende, H., 2017, Elektrikli araçların tasarımında malzeme seçiminin önemi, Mühendis ve Makine, Cilt 58, Sayı 689, S 81-95.

ISO 4957:2018 Takım çelikleri standardı. https://www.iso.org/standard/70646.html, (Erişim Tarihi: 11.2021)

Kahraman, F., Gençer, M., Yolcu, C., Kahraman, A., Dilbaz, Ege. 2017Soğuk Metal Transfer (CMT) ve Darbeli Soğuk Metal Transfer (Darbeli CMT) Kaynak İşlemleri ile

Birleştirilmiş AA5754 Alüminyum Alaşımının Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi, Dokuz Eylül Üni. Fen bilimleri ve Mühendislik Dergisi ,Cilt 20, Sayı59.

Kalkan, H., 2018. Alüminyum ekstrüzyonu üzerine sayısal ve deneysel bir inceleme. *Makina Tasarım ve İmalat Dergisi,* 16 (2): 60-65.

Li, Y., Qin, F., Liu, C., Wu, Z., 2017. Effect of Friction Stir Welding on Microstructure and Mechanical Properties of Magnesium Alloys, Metals, 7, 524.

Moreira, P., Oliveria, F., Castro, P., 2008, Fatigue behaviour of notched specimens of friction stir welded aluminium alloy 6063-T6, Journal of Material Processing Technology, 283-292

Rathinasuriyan, C., Muniamuthu, S., Mystica, A., Kumar, V.S.S., 2014, Investigation of heat generation during submerged friction stir welding on 6061-T6 aluminum alloy, Materials Today Proceedings, 46 (2021) 8320-8324.

Serindağ, H.T., Çam, G., 2020, CMT ve Darbeli CMT Ark Kaynaklı AA7075-T6 Al Alaşımı Alın Bağlantıların Mekanik Davranışına Kaynak Hatalarının Etkisinin Araştırılması, BŞEÜ Fen Bilimleri Dergisi, Cilt 7, 243-255.

Situ, 2009. Electric vehicle development: the past, present, future, 3rd International Conference on Power Electronics Systems and Applications 2009. (Erişim Tarihi: 01.07.2022).

Subhashini, P., Manas, N.C., 2017, Analysis and Optimization of Parameters for Friction Stir Welding, Materials Today Proceedings, 5 (2018) 12376-12383.

Sutton, M.A., Yang, B., Reynolds, A.P., Taylor., 2013, Microstructural studies of friction stir welds in 2024-T3 aluminum, Materials Science and Engineering, A323 (2002) 160–166.

Şahin, S., 2008.Boksitlerden alümina üretim sürecinde yer alan buharlaştırma işleminin teknolojik esasları. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 24 (1-2):291-307.

Şık. A., 2006. Sürtünme Karıştırma Kaynağı ile Yapılan Alüminyumun Kaynağında Kaynak Bölgesinin Eğmeli Yorulma Dayanımının İncelenmesi, Journal of Polytechnic, Vol: 9 No: 2 pp. 125-130.

Voronstov A., Zykova, A., Chumaevski, A., Kolubaev, E., 2021. Outstanding features of high-speed hybrid laser-arc welding compared to high-speed laser welding of AA5059 aluminum alloys. Vacuum 196 (2022) 110736.