



TARSUS ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

**FARKLI İKİ MALZEMENİN SÜRTÜNME KARIŞTIRMA  
KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLMESİNDE KAYNAK  
PARAMETRELERİNİN BAĞLANTININ MEKANİK  
ÖZELLİKLERİNE VE KOROZYON DİRENCİNE  
ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

**Şeref ÖCALIR**

İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

TARSUS-2019

TARSUS ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

**FARKLI İKİ MALZEMENİN SÜRTÜNME KARIŞTIRMA  
KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLMESİNDE KAYNAK  
PARAMETRELERİNİN BAĞLANTININ MEKANİK  
ÖZELLİKLERİNE VE KOROZYON DİRENCİNE  
ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

**Şeref ÖCALIR**




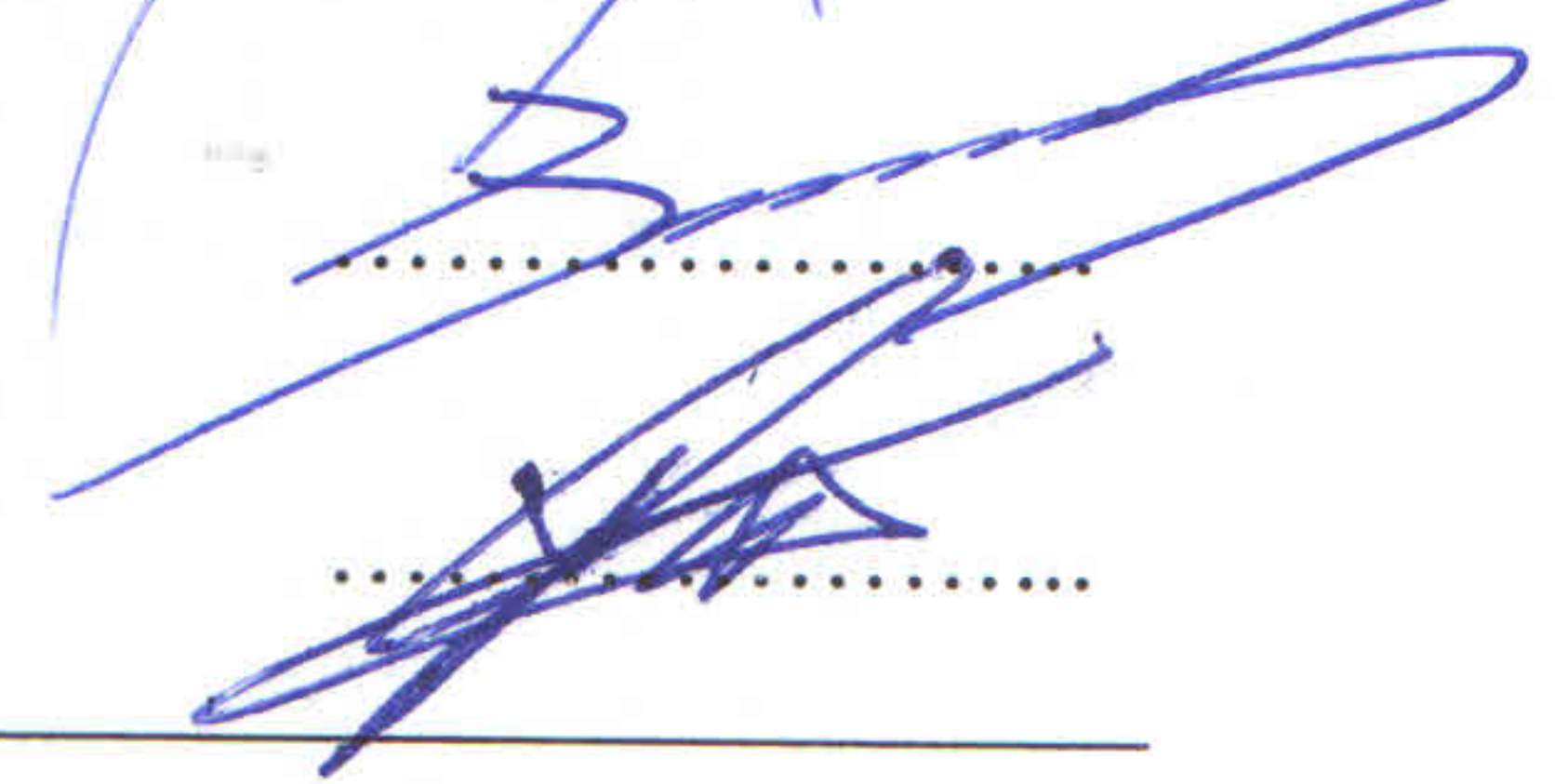

**Danışman  
Prof. Dr. Uğur EŞME**

İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

TARSUS-2019

## ONAY

Şeref ÖCALIR tarafından Prof. Dr. Uğur EŞME danışmanlığında hazırlanan “Farklı İki Malzemenin Sürtünme Karıştırma Kaynağı ile Birleştirilmesinde Kaynak Parametrelerinin Bağlantının Mekanik Özelliklerine ve Korozyon Direncine Etkilerinin İncelenmesi” başlıklı çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından 28/11/2019 tarihinde yapılan Tez Savunma Sınavı sonucunda oy birliği ile Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Görevi	Ünvanı, Adı ve Soyadı	İmza
Başkan	Prof. Dr. Uğur EŞME	
Üye	Prof. Dr. Mustafa Kemal KÜLEKÇİ	
Üye	Doç. Dr. Ahmet ÇAKAN	
Üye	Dr. Öğr. Üyesi Buğra SARPER	
Üye	Dr. Öğr. Üyesi Cem BOĞA	

Yukarıdaki Jüri kararı Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 04./12./2019 tarih ve 81/303 sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Doç. Dr. Osman Murat ÖZKENDİR  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü



*Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, tablo ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.*

## ETİK BEYAN

Tarsus Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğinde belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

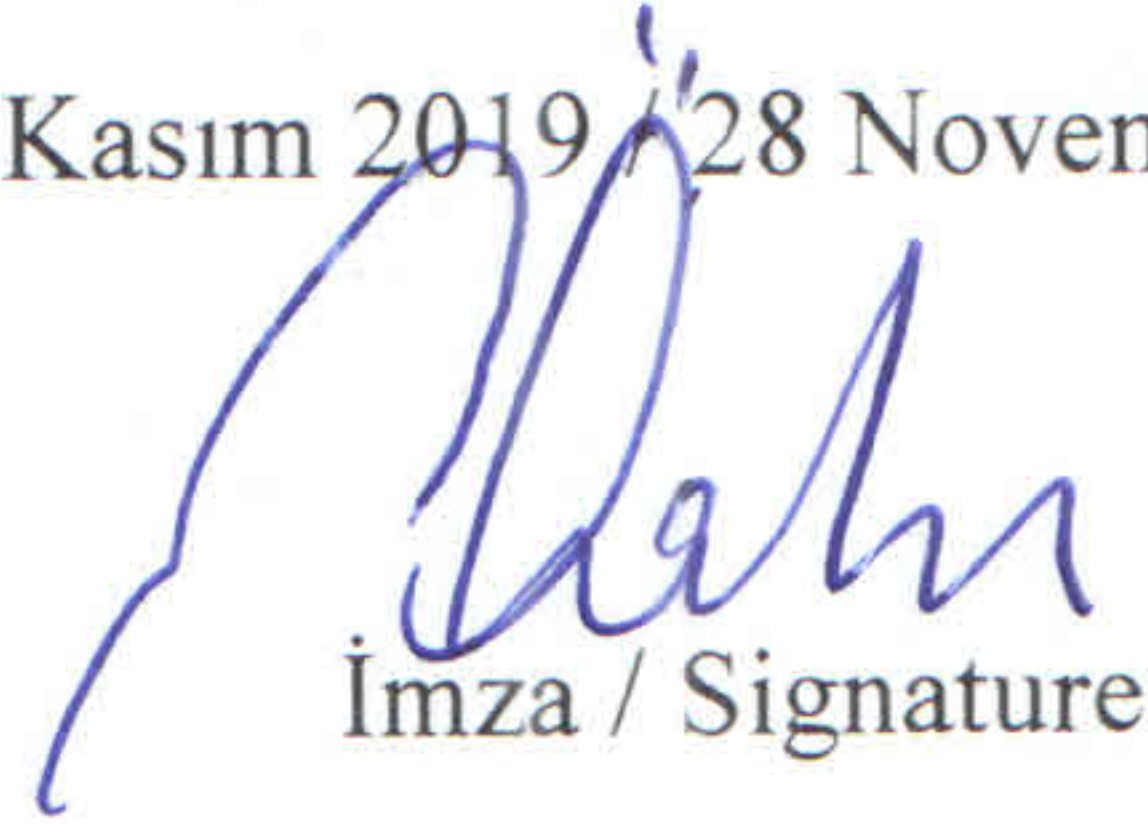
- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
  - Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlâk kurallarına uygun olarak sunduğumu,
  - Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
  - Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak kullandığımı,
  - Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
  - Bu tezin herhangi bir bölümünü Tarsus Üniversitesi veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı,
  - Tezin tüm telif haklarını Tarsus Üniversitesi'ne devrettiğimi
- beyan ederim.

## ETHICAL DECLARATION

This thesis is prepared in accordance with the rules specified in Tarsus University Graduate Education Regulation and I declare to comply with the following conditions:

- I have obtained all the information and the documents of the thesis in accordance with the academic rules.
- I presented all the visual, auditory and written informations and results in accordance with scientific ethics.
- I refer in accordance with the norms of scientific works about the case of exploitation of others' works.
- I used all of the referred works as the references.
- I did not do any tampering in the used data.
- I did not present any part of this thesis as an another thesis at Tarsus University or another university.
- I transfer all copyrights of this thesis to the Tarsus University.

28 Kasım 2019 / 28 November 2019

  
İmza / Signature

Şeref ÖCALIR

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
TABLolar DİZİNİ	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
KISALTMALAR ve SİMGELER	xi
<b>1. GİRİŞ</b>	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI</b>	<b>4</b>
2.1. Sürtünme Karıştırma Kaynak Yöntemi	4
2.2. Sürtünme Karıştırma Kaynak Yönteminin Avantajları	5
2.3. Sürtünme Karıştırma Kaynak Yönteminin Sınırlılıkları	6
2.4. Sürtünme Karıştırma Kaynak Yönteminin Uygulandığı Malzemeler	6
2.5. Sürtünme Karıştırma Kaynak Yönteminin Endüstriyel Uygulamaları	7
2.5.1. Gemi ve Denizcilik Endüstrisi	7
2.5.2. Havacılık ve Uzay Endüstrisi	7
2.5.3. Kara Taşımacılığı ve Demiryolu Endüstrisi	8
2.6. Sürtünme Karıştırma Kaynak İşlemi Parametreleri	8
2.6.1. Takım Dönme Hızının Etkisi (Takım Devri)	10
2.6.2. Takım İlerleme Hızının Etkisi (Kaynak Hızı)	10
2.6.3. Eksenel Kuvvetin Etkisi	10
2.7. Korozyon	11
2.7.1. Korozyon Türleri	11
2.7.1.1. Yüzey Görüntüsüne Göre Sınıflandırma	11
2.7.1.2. Korozyon Oluşum Koşullarına Göre Sınıflandırma	13
2.7.2. Korozyondan Korunma	14
2.7.3. Kaynak-Korozyon İlişkisi	14
2.8. Önceki Çalışmalar	14
<b>3. MATERYAL ve YÖNTEM</b>	<b>19</b>
3.1. Materyal	19
3.1.1. Alüminyum Alaşımı Malzemeler	19
3.1.2. Sürtünme Karıştırma Kaynak Makinesi	21
3.1.3. Sürtünme Karıştırma Kaynak Kalıbı	21
3.1.4. Sürtünme Karıştırma Kaynak Takımı	22
3.1.5. Kesme ve Zımparalama/Parlatma Cihazları	24
3.1.6. Sürtünme Karıştırma Kaynak Muayene Yöntemlerinde Kullanılan Teçhizatlar	24
3.1.6.1. Çekme Deneyi Cihazı	24
3.1.6.2. Eğme Deneyi Cihazı	25
3.1.6.3. Mikrosertlik Ölçüm Cihazı	26
3.1.6.4. Optik Mikroskop	26
3.1.6.5. SEM-EDS (Taramalı Elektron Mikroskobu) Cihazı	27
3.1.6.7. Hassas Terazı	27
3.2. Yöntem	28
3.2.1. Sürtünme Karıştırma Kaynak Yönteminin Uygulanması	28
3.2.2. Sürtünme Karıştırma Kaynak İşlemi Sonrası Numunelerin Hazırlanması	29
3.2.2.1. Çekme Deney Numunesi ve Deney Yöntemi	29
3.2.2.2. Eğme Deney Numunesi ve Deney Yöntemi	30
3.2.2.3. Optik Mikroskop ve Mikrosertlik Numune Hazırlık Yöntemi	31
3.2.2.4. Korozyon Deneyi	32
<b>4. BULGULAR ve TARTIŞMA</b>	<b>33</b>
4.1. Kaynaklı Levhaların Yüzey Yapıları	33
4.2. Çekme Deneyi Bulguları	40
4.3. Eğme Deneyi Bulguları	56

	<b>Sayfa</b>
4.4. Optik Mikroskop İnceleme Bulguları	69
4.5. Mikrosertlik İnceleme Bulguları	83
4.6. Korozyon Deneyi Bulguları	89
<b>5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER</b>	<b>105</b>
KAYNAKLAR	107
EKLER	116
ÖZGEÇMİŞ	158



## ÖZET

### FARKLI İKİ MALZEMENİN SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLMESİNDE KAYNAK PARAMETRELERİNİN BAĞLANTININ MEKANİK ÖZELLİKLERİNE VE KOROZYON DİRENCİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Bu çalışmada EN AW-5083-H111 ve EN AW-6082-T651 alüminyum alaşımı malzemeler Sürtünme Karıştırma Kaynak (SKK) yöntemiyle birleştirilmiştir. Takım omuz çapı, takım devri ve takım ilerleme hızlarından oluşan farklı parametrelerde kaynaklı bağlantılar üretilmiştir. Kaynaklı birleştirmelerin mekanik özellikleri (akma mukavemeti, çekme mukavemeti, kaynak sünekliliği, mikrosertlik), metalografik özellikleri (optik mikroskop ve SEM) ve korozyon davranışları birbirleri ile karşılaştırılarak incelenmiştir. Kaynaklı birleştirmelerin akma mukavemetleri 136-217 MPa, çekme mukavemetleri 159-230 MPa ve % uzama değerleri 2.28-5.44 arasında olduğu belirlenmiştir. Optik mikroskop incelemelerinde kaynak bağlantılarının genelinde kaynak hatası görülmemiştir. Korozyon deneyi sonuçlarında, ağırlık kaybının gözenekli kaynak içyapısında ve deforme olmuş yüzey yapılarında daha fazla olduğu görülmüştür. Kaynaklı bölgelerin genelinde sertlik değerleri EN AW-6082 esas metali tarafında daha yüksek değerlerde seyrederken, EN AW-5083 esas metali bölgesinde düşük değerlerde olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Alüminyum Alaşımı, Korozyon, Mekanik Özellikler, Sürtünme Karıştırma Kaynağı (SKK)

**Danışman:** Prof.Dr. Uğur EŞME, Tarsus Üniversitesi, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, Tarsus-Mersin.

## ABSTRACT

### THE INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF WELDING PARAMETERS ON MECHANICAL PROPERTIES AND CORROSION RESISTANCE OF JOINTS IN FRICTION STIR WELDING OF DISSIMILAR MATERIALS

In this study, EN AW-5083-H111 and EN AW-6082-T651 aluminum alloy materials were joined with Friction Stir Welding (FSW) method. Different parameters were obtained by using the tool shoulder diameter, tool rotation, and tool feed rate factors in welded connections. Mechanical properties (yield strength, tensile strength, weld ductility, microhardness), metallographic properties (optical microscope and SEM) and corrosion behavior of welded joints were examined by comparing. The yield strength of welded joints was found between 136-217 MPa, tensile strength 159-230 MPa, and elongation between 2.28-5.44 %. In the optical microscope examination, no welding defects were observed in the connections. Corrosion test results showed that weight loss was higher in porous weld internal structure and over deformed surface structures. The overall hardness values of welded regions were higher than those of EN AW-6082 base metal, while low values were observed in EN AW-5083 base metal region.



**Keywords:** Aluminium Alloy, Corrosion, Friction Stir Welding (FSW), Mechanical Properties

**Advisor:** Prof. Uğur EŞME, Department of Manufacturing Engineering, Tarsus University, Tarsus-Mersin.



## ÖNSÖZ

Doktora sürecimde bilgi ve deneyimleri ile bana kılavuzluk eden tez danışman hocam Prof. Dr. Uğur EŞME'ye teşekkürlerimi sunarım. Akademik hayatımın her safhasında yardım ve desteğini esirgemeyen hocam Prof. Dr. M. Kemal KÜLEKÇİ'ye ayrıca teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmamda teknik desteklerinden dolayı hocam Yüksel AYDIN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmama katkılarından dolayı Tektaş Makina Genel Müdürü Cumali TEKTAŞ'a, Kentpar Otomotiv Teknik Birimler Direktörü Cem GÜLEÇ'e, Özbal Çelik Boru ve Nefa Sera Teknolojileri firmalarına teşekkür ederim.

Eğitim hayatımın her sürecinde yanımda bulunan aileme ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.



## TABLULAR DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Tablo 2.1.SKK yönteminin genel avantajları	6
Tablo 3.1. EN AW-5083-H111 alaşımının kimyasal bileşenleri	19
Tablo 3.2. EN AW-5083-H111 alaşımının fiziksel ve mekanik özellikleri	19
Tablo 3.3. EN AW-6082-T651 alaşımının kimyasal bileşenleri	20
Tablo 3.4. EN AW-6082-T651 alaşımının fiziksel ve mekanik özellikleri	20
Tablo 3.5. Kaynak parametreleri ve parametre kodları	28
Tablo 4.1. Çekme deneyi sonuçlarına ait mukavemet değerleri ve % uzama miktarı	40
Tablo 4.2. Çekme deneyi sonrası numunelerin kopma bölgelerini	51
Tablo 4.3. 16 mm omuz çapı, 710 devir ve 56-160 mm/dk. ilerlemede eğme deneyi sonrası numune incelemeleri	57
Tablo 4.4. 16 mm omuz çapı, 1000 devir ve 56-160 mm/dk. ilerlemede eğme deneyi sonrası numune incelemeleri	58
Tablo 4.5. 16 mm omuz çapı, 1400. devir ve 56-160 mm/dk. ilerlemede eğme deneyi sonrası numune incelemeleri	59
Tablo 4.6. 20 mm omuz çapı, 710 devir ve 56-160 mm/dk. ilerlemede eğme deneyi sonrası numune incelemeleri	60
Tablo 4.7. 20 mm omuz çapı, 1000 devir ve 56-160 mm/dk. ilerlemede eğme deneyi sonrası numune incelemeleri	61
Tablo 4.8. 20 mm omuz çapı, 1400 devir ve 56-160 mm/dk. ilerlemede eğme deneyi sonrası numune incelemeleri	62
Tablo 4.9. 24 mm omuz çapı, 710 devir ve 56-160 mm/dk. ilerlemede eğme deneyi sonrası numune incelemeleri	63
Tablo 4.10. 24 mm omuz çapı, 1000 devir ve 56-160 mm/dk. ilerlemede eğme deneyi sonrası numune incelemeleri	64
Tablo 4.11. 24 mm omuz çapı, 1400. devir ve 56-160 mm/dk. ilerlemede eğme deneyi sonrası numune incelemeleri	65

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Sürtünme karıştırma kaynak işleminin uygulması	4
Şekil 2.2. SKK ile birleştirilen sac metal ve kalın plakalar a) 2 mm sac metal, b) 25 mm plaka, c) 38 mm plaka	5
Şekil 2.3. SKK işleminin sonrası oluşan mikroyapılar	5
Şekil 2.4. Güverte yan bölme ve zemin panelleri için SKK yöntemi ile birleştirilmiş parçalar	7
Şekil 2.5. SKK yöntemi kullanılarak üretilen uçak gövdesi	8
Şekil 2.6. SKK yöntemi kullanılarak üretilen yüksek hızlı tren gövdesi	8
Şekil 2.7. Faktörlerin katkı yüzdesi (ortalama)	9
Şekil 2.8. Neden ve sonuç diyagramı	9
Şekil 2.9. Genel korozyon a) Düzgün gelişen korozyon, b) Düzgün gelişmeyen korozyon	11
Şekil 2.10. Yerel korozyon çeşitlerine ait çizim ve korozyon yüzey görüntüleri a) Ülser, b) Krater, c) Çukur	12
Şekil 2.11. Seçimli korozyon mekanizması ve pirinç yüzeyinin çinko kaybı	12
Şekil 2.12. Oluşum şekillerine göre korozyona uğramış parçalar a) Galvanik korozyon, b) Filiform korozyon, c) Kavite korozyonu	13
Şekil 3.1. Kaynak işleminde kullanılan EN AW-5083-H111 ve EN AW-6082-T651 alüminyum alaşımı levhalar	20
Şekil 3.2. SKK işleminin için kullanılan freze tezgahı	21
Şekil 3.3. İmalatı yapılan sürtünme karıştırma kaynak kalıbı	22
Şekil 3.4. Levha kalınlıklarına göre omuz çaplarının değişimi	22
Şekil 3.5. a) Pim çapının numune kalınlığı ile değişimi b) Pim aralığının numune kalınlığı ile değişimi	23
Şekil 3.6. İmalatı yapılmış SKK takımları	23
Şekil 3.7. a) Kesme makinesi, b) Zımparalama/parlatma cihazları	24
Şekil 3.8. Çekme deneyi cihazı	25
Şekil 3.9. Çekme-bükme deneyi cihazı	25
Şekil 3.10. HV mikrosertlik ölçüm cihazı	26
Şekil 3.11. Optik mikroskop	26
Şekil 3.12. SEM-EDS (Taramalı Elektron Mikroskobu) cihazı	27
Şekil 3.13. Hassas terazi	27
Şekil 3.14. SKK işleminin uygulması	29
Şekil 3.15. TS EN ISO 6892-1 standardına göre hazırlanmış çekme deneyi numuneleri	30
Şekil 3.16. TS 5173 standardına göre hazırlanmış eğme deneyi numuneleri	30
Şekil 3.17. Eğme deneyinin uygulması	31
Şekil 3.18. Optik mikroskop incelemeleri ve mikrosertlik ölçüm numuneleri	32
Şekil 3.19. Mikrosertlik ölçüm işlemine ait şematik gösterim	32
Şekil 4.1. 16 mm takım omuz çapı ve 710 dev/dk. takım dönme hızında elde edilen kaynaklı numuneler a) Kaynak yüzeyi, b) Kaynak kökü	34
Şekil 4.2. 16 mm takım omuz çapı ve 1000 dev/dk. takım dönme hızında elde edilen kaynaklı numuneler a) Kaynak yüzeyi, b) Kaynak kökü	34
Şekil 4.3. 16 mm takım omuz çapı ve 1400 dev/dk. takım dönme hızında elde edilen kaynaklı numuneler a) Kaynak yüzeyi, b) Kaynak kökü	35
Şekil 4.4. 20 mm takım omuz çapı ve 710 dev/dk. takım dönme hızında elde edilen kaynaklı numuneler a) Kaynak yüzeyi, b) Kaynak kökü	36
Şekil 4.5. 20 mm takım omuz çapı ve 1000 dev/dk. takım dönme hızında elde edilen kaynaklı numuneler a) Kaynak yüzeyi, b) Kaynak kökü	36
Şekil 4.6. 20 mm takım omuz çapı ve 1400 dev/dk. takım dönme hızında elde edilen kaynaklı numuneler a) Kaynak yüzeyi, b) Kaynak kökü	37
Şekil 4.7. 24 mm takım omuz çapı ve 710 dev/dk. takım dönme hızında elde edilen kaynaklı numuneler a) Kaynak yüzeyi, b) Kaynak kökü	38

	<b>Sayfa</b>
Şekil 4.8. 24 mm takım omuz çapı ve 1000 dev/dk. takım dönme hızında elde edilen kaynaklı numuneler a) Kaynak yüzeyi, b) Kaynak kökü	39
Şekil 4.9. 24 mm takım omuz çapı ve 1400 dev/dk. takım dönme hızında elde edilen kaynaklı numuneler a) Kaynak yüzeyi, b) Kaynak kökü	39
Şekil 4.10. 16 mm takım omuz çapı ve 710 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin çekme deneyi grafikleri	42
Şekil 4.11. 16 mm takım omuz çapı ve 1000 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin çekme deneyi grafikleri	42
Şekil 4.12. 16 mm takım omuz çapı ve 1400 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin çekme deneyi grafikleri	43
Şekil 4.13. 20 mm takım omuz çapı ve 710 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin çekme deneyi grafikleri	43
Şekil 4.14. 20 mm takım omuz çapı ve 1000 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin çekme deneyi grafikleri	44
Şekil 4.15. 20 mm takım omuz çapı ve 1400 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin çekme deneyi grafikleri	44
Şekil 4.16. 24 mm takım omuz çapı ve 710 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin çekme deneyi grafikleri	45
Şekil 4.17. 24 mm takım omuz çapı ve 1000 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin çekme deneyi grafikleri	45
Şekil 4.18. 24 mm takım omuz çapı ve 1400 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin çekme deneyi grafikleri	46
Şekil 4.19. Çekme deneyi sonrası numune görüntüleri a) 1-O16-D710-İ56 kodlu numune, b) 2-O16-D710-İ112 kodlu numune, c) 3-O16-D710-İ160 kodlu numune	46
Şekil 4.20. Çekme deneyi sonrası numune görüntüleri a) 4-O16-D1000-İ56 numune, b) 5-O16-D1000-İ112 numune, c) 6-O16-D1000-İ160 numune	47
Şekil 4.21. Çekme deneyi sonrası numune görüntüleri a) 7-O16-D1400-İ56 numune, b) 8-O16-D1400-İ112 numune, c) 9-O16-D1400-İ160 numune	47
Şekil 4.22. Çekme deneyi sonrası numune görüntüleri a) 10-O20-D710-İ56 numune, b) 11-O20-D710-İ112 numune, c) 12-O20-D710-İ160 numune	48
Şekil 4.23. Çekme deneyi sonrası numune görüntüleri a) 13-O20-D1000-İ56 numune, b) 14-O20-D1000-İ112 numune, c) 15-O20-D1000-İ160 numune	48
Şekil 4.24. Çekme deneyi sonrası numune görüntüleri a) 16-O20-D1400-İ56 numune, b) 17-O20-D1400-İ112 numune, c) 18-O20-D1400-İ160 numune	49
Şekil 4.25. Çekme deneyi sonrası numune görüntüleri a) 16-O20-D1400-İ56 numune, b) 17-O20-D1400-İ112 numune, c) 18-O24-D1400-İ160 numune	49
Şekil 4.26. Çekme deneyi sonrası numune görüntüleri a) 22-O24-D1000-İ56 numune, b) 23-O24-D1000-İ112 numune, c) 24-O24-D1000-İ160 numune	50
Şekil 4.27. Çekme deneyi sonrası numune görüntüleri a) 25-O24-D1400-İ56 numune, b) 26-O24-D1400-İ112 numune, c) 27-O24-D1400-İ160 numune	50
Şekil 4.28. 4-O16-D1000-İ56 kodlu numuneye ait çekme deneyi sonrası EN AW-5083 bölgesinden alınan kırılma yüzeyi SEM görüntüsü a) 500× büyütme, b) 1000× büyütme, c) 2500× büyütme, d) 5000× büyütme	52
Şekil 4.29. 4-O16-D1000-İ56 kodlu numuneye ait çekme deneyi sonrası EN AW-6082 bölgesinden alınan kırılma yüzeyi SEM görüntüsü, a) 500× büyütme, b) 1000× büyütme, c) 2500× büyütme, d) 5000× büyütme	53
Şekil 4.30. 6-O16-D1000-İ160 kodlu numuneye ait çekme deneyi sonrası EN AW-5083 bölgesinden alınan kırılma yüzeyi SEM görüntüsü a) 500× büyütme, b) 1000× büyütme, c) 2500× büyütme, d) 5000× büyütme	54
Şekil 4.31. 6-O16-D1000-İ160 kodlu numuneye ait çekme deneyi sonrası EN AW-6082 bölgesinden alınan kırılma yüzeyi SEM görüntüsü a) 500× büyütme, b) 1000× büyütme, c) 2500× büyütme, d) 5000× büyütme	55
Şekil 4.32. 6-O16-D1000-İ160 kodlu numuneye ait EDS analiz sonucu	56

	<b>Sayfa</b>
Şekil 4.33. 16 mm takım omuz çapı ve 710 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin eğme deneyi sonrası görüntüleri a) Kök eğme, b) Kep eğme	57
Şekil 4.34. 16 mm takım omuz çapı ve 1000 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin eğme deneyi sonrası görüntüleri a) Kök eğme, b) Kep eğme	58
Şekil 4.35. 16 mm takım omuz çapı ve 1400 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin eğme deneyi sonrası görüntüleri a) Kök eğme, b) Kep eğme	59
Şekil 4.36. 20 mm takım omuz çapı ve 710 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin eğme deneyi sonrası görüntüleri a) Kök eğme, b) Kep eğme	60
Şekil 4.37. 20 mm takım omuz çapı ve 1000 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin eğme deneyi sonrası görüntüleri a) Kök eğme, b) Kep eğme	61
Şekil 4.38. 20 mm takım omuz çapı ve 1400 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin eğme deneyi sonrası görüntüleri a) Kök eğme, b) Kep eğme	62
Şekil 4.39. 24 mm takım omuz çapı ve 710 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin eğme deneyi sonrası görüntüleri a) Kök eğme, b) Kep eğme	63
Şekil 4.40. 24 mm takım omuz çapı ve 1000 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin eğme deneyi sonrası görüntüleri a) Kök eğme, b) Kep eğme	64
Şekil 4.41. 24 mm takım omuz çapı ve 1400 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin eğme deneyi sonrası görüntüleri a) Kök eğme, b) Kep eğme	65
Şekil 4.42. 4-O16-D1000-İ56 kodlu numuneye ait kök eğme deneyi sonrası EN AW-5083 bölgesinden alınan kırılma yüzeyi SEM görüntüsü a) 500× büyütme, b) 1000× büyütme, c) 2500× büyütme, d) 5000× büyütme	66
Şekil 4.43. 4-O16-D1000-İ56 kodlu numuneye ait kök eğme deneyi sonrası EN AW-6082 bölgesinden alınan kırılma yüzeyi SEM görüntüsü a) 500× büyütme, b) 1000× büyütme, c) 2500× büyütme, d) 5000× büyütme	67
Şekil 4.44. 4-O16-D1000-İ56 kodlu numuneye ait kep eğme deneyi sonrası EN AW-5083 bölgesinden alınan kırılma yüzeyi SEM görüntüsü a) 500× büyütme, b) 1000× büyütme, c) 2500× büyütme, d) 5000× büyütme	68
Şekil 4.45. 4-O16-D1000-İ56 kodlu numuneye ait kep eğme deneyi sonrası EN AW-6082 bölgesinden alınan kırılma yüzeyi SEM görüntüsü a) 500× büyütme, b) 1000× büyütme, c) 2500× büyütme, d) 5000× büyütme	69
Şekil 4.46. 1-O16-D710-İ56 parametre kodlu numuneye ait optik mikroskop görüntüleri a) İlerleme bölgesi TMEB, b) Kaynak merkezi, c) Yığılma bölgesi TMEB	70
Şekil 4.47. 2-O16-D710-İ112 parametre kodlu numuneye ait optik mikroskop görüntüleri a) İlerleme bölgesi TMEB, b) Kaynak merkezi, c) Yığılma bölgesi TMEB	70
Şekil 4.48. 3-O16-D710-İ160 parametre kodlu numuneye ait optik mikroskop görüntüleri a) İlerleme bölgesi TMEB, b) Kaynak merkezi, c) Yığılma bölgesi TMEB	71
Şekil 4.49. 4-O16-D1000-İ56 parametre kodlu numuneye ait optik mikroskop görüntüleri a) İlerleme bölgesi TMEB, b) Kaynak merkezi, c) Yığılma bölgesi TMEB	71
Şekil 4.50. 5-O16-D1000-İ112 parametre kodlu numuneye ait optik mikroskop görüntüleri a) İlerleme bölgesi TMEB, b) Kaynak merkezi, c) Yığılma bölgesi TMEB	72
Şekil 4.51. 6-O16-D1000-İ160 parametre kodlu numuneye ait optik mikroskop görüntüleri a) İlerleme bölgesi TMEB, b) Kaynak merkezi, c) Yığılma bölgesi TMEB	72
Şekil 4.52. 7-O16-D1400-İ56 parametre kodlu numuneye ait optik mikroskop görüntüleri a) İlerleme bölgesi TMEB, b) Kaynak merkezi, c) Yığılma bölgesi TMEB	73
Şekil 4.53. 8-O16-D1400-İ112 parametre kodlu numuneye ait optik mikroskop görüntüleri a) İlerleme bölgesi TMEB, b) Kaynak merkezi, c) Yığılma bölgesi TMEB	73
Şekil 4.54. 9-O16-D1400-İ160 parametre kodlu numuneye ait optik mikroskop görüntüleri a) İlerleme bölgesi TMEB, b) Kaynak merkezi, c) Yığılma bölgesi TMEB	74
Şekil 4.55. 10-O20-D710-İ56 parametre kodlu numuneye ait optik mikroskop görüntüleri a) İlerleme bölgesi TMEB, b) Kaynak merkezi, c) Yığılma bölgesi TMEB	74
Şekil 4.56. 11-O20-D710-İ112 parametre kodlu numuneye ait optik mikroskop görüntüleri a) İlerleme bölgesi TMEB, b) Kaynak merkezi, c) Yığılma bölgesi TMEB	75
Şekil 4.57. 12-O20-D710-İ160 parametre kodlu numuneye ait optik mikroskop görüntüleri a) İlerleme bölgesi TMEB, b) Kaynak merkezi, c) Yığılma bölgesi TMEB	75

	<b>Sayfa</b>
Şekil 4.58. 13-O20-D1000-İ56 parametre kodlu numuneye ait optik mikroskop görüntüleri a) İlerleme bölgesi TMEB, b) Kaynak merkezi, c) Yığılma bölgesi TMEB	76
Şekil 4.59. 14-O20-D1000-İ112 parametre kodlu numuneye ait optik mikroskop görüntüleri a) İlerleme bölgesi TMEB, b) Kaynak merkezi, c) Yığılma bölgesi TMEB	76
Şekil 4.60. 15-O20-D1000-İ160 parametre kodlu numuneye ait optik mikroskop görüntüleri a) İlerleme bölgesi TMEB, b) Kaynak merkezi, c) Yığılma bölgesi TMEB	77
Şekil 4.61. 16-O20-D1400-İ56 parametre kodlu numuneye ait optik mikroskop görüntüleri a) İlerleme bölgesi TMEB, b) Kaynak merkezi, c) Yığılma bölgesi TMEB	77
Şekil 4.62. 17-O20-D1400-İ112 parametre kodlu numuneye ait optik mikroskop görüntüleri a) İlerleme bölgesi TMEB, b) Kaynak merkezi, c) Yığılma bölgesi TMEB	78
Şekil 4.63. 18-O24-D1400-İ160 parametre kodlu numuneye ait optik mikroskop görüntüleri a) İlerleme bölgesi TMEB, b) Kaynak merkezi, c) Yığılma bölgesi TMEB	78
Şekil 4.64. 19-O24-D710-İ56 parametre kodlu numuneye ait optik mikroskop görüntüleri a) İlerleme bölgesi TMEB, b) Kaynak merkezi, c) Yığılma bölgesi TMEB	79
Şekil 4.65. 20-O24-D710-İ112 parametre kodlu numuneye ait optik mikroskop görüntüleri a) İlerleme bölgesi TMEB, b) Kaynak merkezi, c) Yığılma bölgesi TMEB	79
Şekil 4.66. 21-O24-D710-İ160 parametre kodlu numuneye ait optik mikroskop görüntüleri a) İlerleme bölgesi TMEB, b) Kaynak merkezi, c) Yığılma bölgesi TMEB	80
Şekil 4.67. 22-O24-D1000-İ56 parametre kodlu numuneye ait optik mikroskop görüntüleri a) İlerleme bölgesi TMEB, b) Kaynak merkezi, c) Yığılma bölgesi TMEB	80
Şekil 4.68. 23-O24-D1000-İ112 parametre kodlu numuneye ait optik mikroskop görüntüleri a) İlerleme bölgesi TMEB, b) Kaynak merkezi, c) Yığılma bölgesi TMEB	81
Şekil 4.69. 24-O24-D1000-İ160 parametre kodlu numuneye ait optik mikroskop görüntüleri a) İlerleme bölgesi TMEB, b) Kaynak merkezi, c) Yığılma bölgesi TMEB	81
Şekil 4.70. 25-O24-D1400-İ56 parametre kodlu numuneye ait optik mikroskop görüntüleri a) İlerleme bölgesi TMEB, b) Kaynak merkezi, c) Yığılma bölgesi TMEB	82
Şekil 4.71. 26-O24-D1400-İ112 parametre kodlu numuneye ait optik mikroskop görüntüleri a) İlerleme bölgesi TMEB, b) Kaynak merkezi, c) Yığılma bölgesi TMEB	82
Şekil 4.72. 27-O24-D1400-İ160 parametre kodlu numuneye ait optik mikroskop görüntüleri a) İlerleme bölgesi TMEB, b) Kaynak merkezi, c) Yığılma bölgesi TMEB	83
Şekil 4.73. 16 mm takım omuz çapı ve 710 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin mikrosertlik ölçüm grafiği	83
Şekil 4.74. 16 mm takım omuz çapı ve 1000 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin mikrosertlik ölçüm grafiği	84
Şekil 4.75. 16 mm takım omuz çapı ve 1400 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin mikrosertlik ölçüm grafiği	85
Şekil 4.76. 20 mm takım omuz çapı ve 710 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin mikrosertlik ölçüm grafiği	85
Şekil 4.77. 20 mm takım omuz çapı ve 1000 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin mikrosertlik ölçüm grafiği	86
Şekil 4.78. 20 mm takım omuz çapı ve 1400 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin mikrosertlik ölçüm grafiği	87
Şekil 4.79. 24 mm takım omuz çapı ve 710 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin mikrosertlik ölçüm grafiği	87
Şekil 4.80. 24 mm takım omuz çapı ve 1000 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin mikrosertlik ölçüm grafiği	88

	<b>Sayfa</b>
Şekil 4.81. 24 mm takım omuz çapı ve 1400 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin mikrosertlik ölçüm grafiği	89
Şekil 4.82. 16 takım omuz çapı ve 710 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin korozyon deneyi sonrası ağırlık kaybı grafiği	90
Şekil 4.83. 16 takım omuz çapı ve 1000 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin korozyon deneyi sonrası ağırlık kaybı grafiği	90
Şekil 4.84. 16 takım omuz çapı ve 1400 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin korozyon deneyi sonrası ağırlık kaybı grafiği	91
Şekil 4.85. 20 mm takım omuz çapı ve 710 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin korozyon deneyi sonrası ağırlık kaybı grafiği	92
Şekil 4.86. 20 mm takım omuz çapı ve 1000 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin korozyon deneyi sonrası ağırlık kaybı grafiği	92
Şekil 4.87. 20 mm takım omuz çapı ve 1400 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin korozyon deneyi sonrası ağırlık kaybı grafiği	93
Şekil 4.88. 24 mm takım omuz çapı ve 710 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin korozyon deneyi sonrası ağırlık kaybı grafiği	94
Şekil 4.89. 24 mm takım omuz çapı ve 1000 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin korozyon deneyi sonrası ağırlık kaybı grafiği	94
Şekil 4.90. 24 mm takım omuz çapı ve 1400 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin korozyon deneyi sonrası ağırlık kaybı grafiği	95
Şekil 4.91. 16 mm takım omuz çapı kullanılarak üretilen kaynaklı numunelere ait korozyon hızı grafiği	96
Şekil 4.92. 20 mm takım omuz çapı kullanılarak üretilen kaynaklı numunelere ait korozyon hızı grafiği	96
Şekil 4.93. 24 mm takım omuz çapı kullanılarak üretilen kaynaklı numunelere ait korozyon hızı grafiği	97
Şekil 4.94. 16 takım omuz çapı ve 710 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin korozyon deneyi sonrası görüntüleri a) Yüzey görüntüsü, b) Kesit görüntüsü	97
Şekil 4.95. 16 takım omuz çapı ve 1000 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin korozyon deneyi sonrası görüntüleri a) Yüzey görüntüsü, b) Kesit görüntüsü	98
Şekil 4.96. 16 takım omuz çapı ve 1400 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin korozyon deneyi sonrası görüntüleri a) Yüzey görüntüsü, b) Kesit görüntüsü	98
Şekil 4.97. 20 takım omuz çapı ve 710 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin korozyon deneyi sonrası görüntüleri a) Yüzey görüntüsü, b) Kesit görüntüsü	98
Şekil 4.98. 20 takım omuz çapı ve 1000 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin korozyon deneyi sonrası görüntüleri a) Yüzey görüntüsü, b) Kesit görüntüsü	99
Şekil 4.99. 20 takım omuz çapı ve 1400 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin korozyon deneyi sonrası görüntüleri a) Yüzey görüntüsü, b) Kesit görüntüsü	99
Şekil 4.100. 24 takım omuz çapı ve 710 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin korozyon deneyi sonrası görüntüleri a) Yüzey görüntüsü, b) Kesit görüntüsü	99
Şekil 4.101. 24 takım omuz çapı ve 1000 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin korozyon deneyi sonrası görüntüleri a) Yüzey görüntüsü, b) Kesit görüntüsü	100
Şekil 4.102. 24 takım omuz çapı ve 1400 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin korozyon deneyi sonrası görüntüleri a) Yüzey görüntüsü, b) Kesit görüntüsü	100
Şekil 4.103. 4-O16-D1000-İ56 parametre kodlu numuneye ait korozyon deneyi sonrası kaynak kesitinin SEM görüntüleri a) 500× büyütme, b) 1000× büyütme, c) 2500× büyütme, d) 5000× büyütme	101
Şekil 4.104. 6-O16-D1000-İ160 parametre kodlu numuneye ait korozyon deneyi sonrası kaynak kesitinin SEM görüntüleri a) 500× büyütme, b) 1000× büyütme, c) 2500× büyütme, d) 5000× büyütme	102
Şekil 4.105. 4-O16-D1000-İ56 kodlu numuneye ait EN AW-5083 bölgesinden alınan EDS analizi sonuçları	103





## KISALTMALAR ve SİMGELER

Kısaltma/Simgesi	Tanım
A.Ş.	Anonim şirketi
AA	Alüminyum alaşımı
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
Al	Alüminyum
°C	Santigrat
Cr	Krom
Cu	Bakır
dev.	Devir
dk.	Dakika
EDS	Enerji dispersiv spektrum
Fe	Demir
g	Gram
GPa	Giga paskal
HCl	Hidroklorik
HV	Vickers sertliği
ITAB	Isı tesiri altındaki bölge
°K	Kelvin
KM	Kaynak merkezi
l	Litre
Ltd.	Limitet
m	Metre
M	Metrik
mg	Miligram
Mg	Magnezyum
MIG	Metal inert gaz
ml	Mililitre
mm	Milimetre
Mn	Manganez
MPa	Mega paskal
N	Azot
NaCl	Sodyum klorür
O	Oksijen
Ø	Çap
PAW	Plazma ark kaynağı
San.	Sanayi
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
Si	Silisyum
SiC	Silisyum karbür
SKK	Sürtünme karıştırma kaynağı
Sn	Kalay
sn.	Saniye
Taah.	Taahhüt
TIG	Tungsten inert gaz
Ti	Titanyum
Tic.	Ticaret
TMEB	Termomekanik etkilenen bölge
TS	Türk Standart
TWI	Kaynak Enstitüsü
V	Volt
W	Watt
Zn	Çinko

## 1. GİRİŞ

Günümüzde teknoloji ekonomik kalkınmanın birincil kaynağı olarak kabul edilmekte ve az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin kalkınmasına da önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır. Teknolojik gelişmelerle beraber insan ihtiyaçlarında da değişimler kaçınılmaz olmuştur. İnsanoğlu bu ihtiyaçlarını karşılamak için tarihin her döneminde yeni icatlara ve bu icatların yapımında kullanılacak yeni malzemelere gereksinim duymuştur. Bu süreçte önceleri doğada hazır ve erişimi kolay malzemelerden araç-gereçler yapılmış ve artan ihtiyaçlar doğrultusunda sentetik ve teknolojik malzemeler üretilerek modern yaşamın gereksinimleri karşılanmaya çalışılmıştır.

Teknolojik gelişmeler fiziksel sınırlamalar çerçevesinde insana mikro boyutta ne kadar küçülebileceğinin yanı sıra makro boyutta da devasa yapılar inşa etme olanağı tanımıştır. Günümüzde taşıma, inşaat, depolama vb. alanlarda büyük yapılara ihtiyaç duyulmaktadır. Devasa boyutta bir yapının konstrüksiyon ve imalatında karşılaşılan temel sorunların başında ağırlık ve dayanım gelir. Bu nedenle kullanım amacına uygun yüksek dayanımlı ve hafif malzemelerin geliştirilmesi üzerinde çalışmalar devam etmektedir.

Alüminyum ( $4.61 \times 10^5$  mg/l), oksijen ( $4.61 \times 10^5$  mg/l) ve silisyumun ( $2.82 \times 10^5$  mg/l) ardından yer kabuğunda kütlece en fazla bulunan üçüncü kimyasal elementtir [1,2]. Yoğunluğu  $2.72 \text{ g/cm}^3$  olan alüminyum, katkı elementlerle alaşımlanması sonucunda çelikten sonra endüstride en fazla kullanılan ikinci malzemedir. Alüminyum doğada saf olarak bulunmayıp yer kabuğundan cevher halinde çıkarılmaktadır. Boksit, alüminyum metali üretiminde başlıca kullanılan cevherdir. Boksit, alüminyum oksit ve hidroksitlerden oluşan bir karışımdır [3,4]. Dünyada yaklaşık olarak toplam 55-75 milyar ton boksit rezervi olup, bunun 30 milyar tonu işletilebilir durumdadır. Dünyanın başlıca zengin boksit rezervleri sırayla 7.4 milyar ton Gine, 6 milyar ton Avustralya, 3.7 milyar ton Vietnam, 2,6 milyar ton Brezilya ve 2 milyar ton Jamaika bulunmaktadır. Endonezya ve Çin (1 milyar ton), Guyana (850 milyon ton), Hindistan (830 milyon ton) ve Rusya (500 milyon ton) ise yüksek rezerve sahip ülkeler sıralamasındadır [5].

Alüminyum endüstrisi son 15 yılda tüm segmentlerinde, başta çubuk boksit madenciliği ve alüminyum geri dönüşümü olmak üzere geniş bir payla, Çin'in lider üretici olarak yükselişinde büyük değişikliklere uğramıştır. Bu benzeri görülmemiş artış, yeni eritme kapasitesine yapılan büyük yatırımların yanı sıra, yeni boksit madenlerinin bulunması, alümina rafinerilerinin artması, kömür yakıtlı enerji santrallerinin ve yarı üretim faaliyetlerinin geliştirilmesinden kaynaklanmıştır [5,6].

2017 yılı verilerine göre alüminyumun dünya ekonomisindeki yeri, alüminyum ve alüminyum alaşımı ürünler bazında toplamda 173.5 milyar dolarlık ithalat ve 172.5 milyar dolarlık ihracat yapılmıştır. İthalatta 23.3 milyar dolarla ABD başta olmak üzere Almanya, Japonya, Fransa ve Çin ön sıralarda yer almaktadır. Türkiye ise bu listede 3.5 milyar dolarla on altıncı sıradadır. İhracatta lider ülke sıralaması ise 22.6 milyar dolarla Çin ilk sırada yer alırken onu Almanya, ABD, Kanada, Rusya takip etmiştir. Türkiye 2.3 milyar dolarlık ihracat yaparak listenin yirminci sırasında yer almıştır [5].

Alüminyum içeren bileşikler yüzyıllardır kullanılmasına rağmen metal olarak üretimine yaklaşık 170 sene önce başlanmıştır. Son yüz yıldır endüstriyel üretimi gerçekleştirilen alüminyuma olan talep yıllık 29 milyon tondur. Bu miktarın yaklaşık 22 milyon tonu yeni üretim iken yaklaşık 7 milyon tonu hurdalardan geri dönüştürülen alüminyumdur [2, 4, 6, 7]. Alüminyum % 100 geri dönüşümü olan bir metaldir. Alüminyumun geri dönüşümü ile yaklaşık % 90 enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Bu sebeple tüketici ve endüstriyel atık akışında kendi geri dönüşümünün karşılığını fazlasıyla ödemektedir [8].

Elementer doğası gereği alüminyum alaşımlarının diğer metalik malzemelerle kıyaslandığında üstün fiziksel özellikleri vardır. Bazı alaşımlar yüksek dayanım özelliğine sahipken, bazıları yüksek termal ve elektrik iletimine, bazıları ise yüksek korozyon direncine ve çoğu alaşım mükemmel dövülebilirlik, elastisite ve yüzey yansıtma özelliğine sahiptir. Bu üstün özellikleri ile alüminyum alaşımları inşaat sektörü, ulaşım sektörü, elektrik ve elektronik sektörü, makine ve ekipman imalatı endüstrisi, metal endüstrisi ve diğer endüstri alanlarında en fazla kullanılan demir dışı malzemedir [5, 9].

Temelde alüminyum % 99.00-% 99.99 arasındaki saflık derecesinde üretilir. % 99.99 saflıktaki alüminyum yüksek nitelikli saf alüminyum olarak bilinir. Bu saflık oranındaki alüminyum mekanik olarak yumuşaktır ve kolay işlenebilir özelliktedir. Bu özelliklere ilaveten fiziksel olarak ısı ve elektrik iletkenliği yüksek, iyi ışık yansıtma özelliğine sahip ve korozyona karşı çok dirençlidir [10]. Farklı kullanım alanlarına göre döküm veya dövme ile üretilen alüminyum alaşımları içerdiği temel alaşım elementlerine göre adlandırılmaktadır. İçerdiği ana alaşım elementine göre; 1XXX (saf), 2XXX (Cu), 3XXX (Mn), 4XXX (Si), 5XXX (Mg), 6XXX (Mg ve Si), 7XXX (Zn) ve 8XXX (diğer) seri alaşımları olarak isimlendirilirler [11].

Endüstri devrimi ile metal esaslı malzemelerin birleştirilmesinde de gelişmeler olmuştur. Bu yıllarda imal edilen yapıtlarda tasarımsal hatalardan kaynaklı kazaların yanı sıra üretim yöntemlerindeki hataların saptanmasında ve giderilmesindeki yetersizliklerin sebep olduğu can ve mal kayıpları olmuştur [10].

Kaynak teknolojisi, başta demir esaslı metaller olmak üzere demir dışı metallerin ve termoplastik malzemelerin birleştirilmesinde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Kaynak, basınç ya da ısı kullanılarak veya her ikisinin kullanımı sonucunda malzemelerin birleştirilmesi yöntemine denir. Çoğu kaynak işleminde malzemeye yüksek ısı girişi olmaktadır. Isı kullanılarak yapılan kaynak işlemi esnasında özellikle ısınan metaller oksitlenme eğilimindedirler. Bu nedenle oksijene ilgisi olan metallerin kaynağında gerekli tedbirlerin alınması gerekmektedir [12-14].

Alüminyum alaşımları ergitme kaynak yöntemi ile birleştirilmesi güç olan malzemelerden biridir. Bu duruma Al alaşımlarının düşük ergime noktası ve düşük sertliği sebep olmaktadır. Tungsten inert gaz (TIG), metal inert gaz (MIG), direnç kaynağı, lazer kaynağı, elektron ışını kaynağı ve plazma ark kaynağı (PAW) alüminyum alaşımlarının birleştirilmesinde yaygın olarak kullanılan ergitme kaynak yöntemleridir. Bu kaynak yöntemlerinde ergime ve ardından katılma söz konusu olduğundan

alüminyum alaşımlarının yapısında istenmeyen mikroyapısal değişimler ve ısı tesiri altında kalan bölgelerde (ITAB) yüksek çarpılmalar oluşmaktadır. Ayrıca ITAB'da belirgin sertlik düşüşü ve mekanik özelliklerde de kayıplar gözlemlenmektedir. Ancak katı hal kaynak yöntemi olarak tabir edilen sürtünme karıştırma kaynağı (SKK) alüminyum alaşımları başta olmak üzere demir dışı metallerin birleştirmesinde alternatif bir kaynak yöntemi olarak kullanılmaktadır [15-19].

Alüminyumun hava ile teması sonucunda yüzeyinde hızlı bir oksitli bileşik olan alüminyum oksit ( $Al_2O_3$ ) tabakası oluşur. Bu tabakanın oldukça sıkı ve refrakter olması sebebi ile alüminyumun oksitli bileşiklerinin endüstriyel alanda kullanım alanı bulunmuştur. Alüminyumun saflık derecesi ve uygulanan soğuk şekillendirme işlemi Al malzemenin korozyon direncini olumsuz yönde etkilemektedir. Soğuk şekillendirme sonrası tane yapısı değişir ve deforme bir şekilde kalır. Alüminyumun soğuk şekillendirme sonrasında deformasyonuna bağlı olarak çekme ve akma mukavemetinde iyileşme gözlemlenirken elektrik iletkenliğinde bir miktar azalma gözlemlenir [10].

AA 5083 (AlMg4.5Mn) gemi inşaatı endüstrisinde sıklıkla kullanılan, ekstrüzyonla üretilen alüminyum alaşımıdır. 5XXX seri alaşımların içeriğindeki ana alaşım elementi magnezyumdur. Manganez ile beraber orta üzeri dayanımda bir alaşım oluşturur. Magnezyum, manganze nazaran yapıya daha iyi sertlik özelliği kazandırır. Bu duruma örnek olarak, %0.8 Mg içeriğine sahip bir alaşım, %1.25 Mn içeriğe sahip alaşım sertliğine eşittir. 5XXX alaşımı içeriğindeki katkı elementleri alaşıma iyi kaynak özelliği ve korozyon direnci sağlar. Deniz suyu ortamında, %5 civarındaki magnezyum içeriği alaşıma iyi dayanım ve yüksek korozyon direnci sağlamaktadır [19,20].

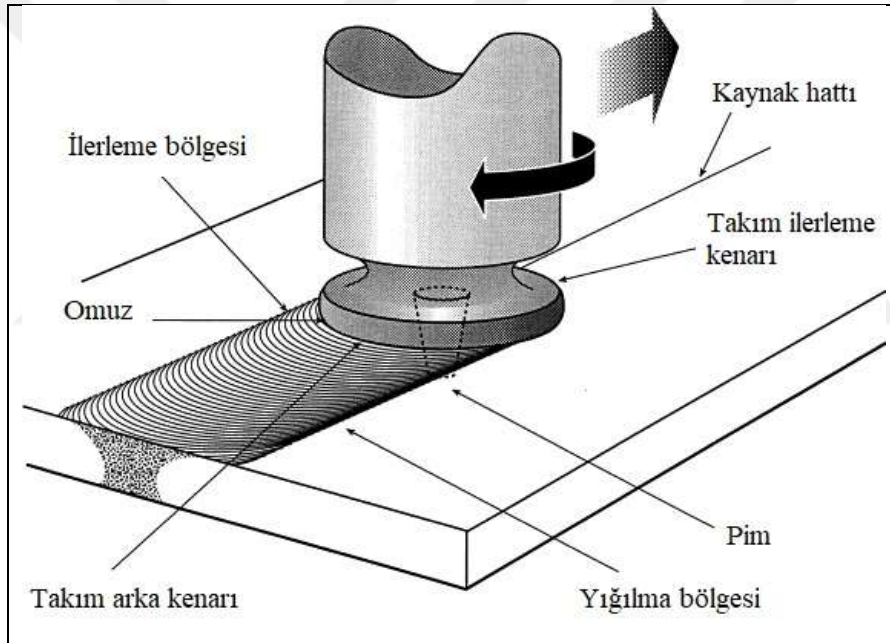
AA 6082 (AlSi1Mg) alaşımlarının ana alaşım elementleri ise magnezyum ve silisyumdur ve bu, alaşıma sertleştirilebilirlik özelliği kazandırmaktadır [21]. 6XXX seri alüminyum alaşımları otomotiv endüstrisinde en çok kullanılan alaşımlardan biridir. AA 6082 ise yapısal uygulamalarda en çok tercih edilen alaşım grubudur. 2XXX ve 7XXX seri alaşımlar kadar olmasa da 6XXX seri alaşımlar iyi şekillendirilebilirlik, iyi kaynak özelliği, işlenebilirlik, korozyon ve orta dayanıma sahiptirler [20, 22].

Yapılan tez çalışmasında ilk olarak AA 5083 ve AA 6082 alüminyum alaşımlarının sürtünme karıştırma kaynağı (SKK) ile birleştirilmesini içeren çalışmaların literatür taraması yapılmıştır. Literatür taraması sonucunda AA 5083 ve AA 6082 alüminyum alaşımı SKK ile birleştirilmesi ile elde edilen bilgiler kaynak araştırması bölümünde sunulmuştur. Materyal ve yöntem kısmında ise kaynak işleminde kullanılacak freze tezgâhında, literatürdeki çalışmalardan farklı parametrelerde kaynaklı bağlantılar elde edilmiştir. SKK işlemi yapılmış ve kaynaklı bağlantılardan standartlara uygun deney numuneleri hazırlanarak kaynak bağlantı özelliklerini belirleyen mekanik ve korozyon testleri gerçekleştirilerek makro ve mikroyapılar incelenmiştir. Kaynak bağlantıları üzerinde yapılan mekanik testler ve yapı incelemelerine ait elde edilen sonuçlar bulgular ve tartışma kısmında ayrıntılı olarak tartışılmıştır. Tez çalışmasından elde edilen sonuçlar ve bu konuda gerçekleştirilecek diğer çalışmalara yönelik öneriler ise sonuçlar ve öneriler kısmında verilmiştir.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI

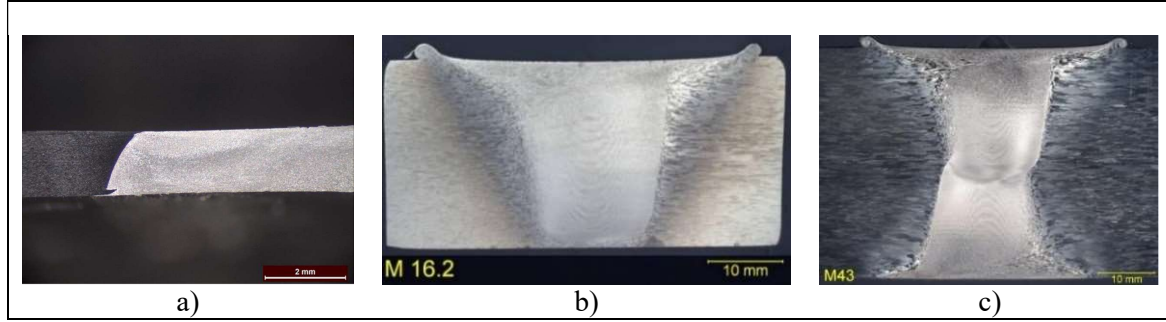
### 2.1. Sürtünme Karıştırma Kaynak Yöntemi

Sürtünme karıştırma kaynağı (SKK), 1991 yılında Kaynak Enstitüsü (TWI Ltd. İngiltere) tarafından geliştirilmiş olup hafif metal alaşımlarının birleştirilmesinde kullanılan bir katı hal kaynak yöntemidir. SKK işlemi özel profile sahip bir pim ve omuzdan oluşan takımın birleştirilecek malzeme yüzeyinde dönme ve ilerleme hareketi neticesinde gerçekleşmektedir. Takımın yüzeye uyguladığı basınç ve dönme hareketi yüzeyde sürtünme ve ısı oluşturur. Bunun sonucunda kaynatılacak malzeme yumuşar ve özel profile sahip pimle kaynak bölgesinde karışım sağlanır. Takıma verilen ilerleme hareketi ise belirlenen hat boyunca kaynak işlemi gerçekleştirir [23-26]. Sürtünme karıştırma kaynak uygulamasına yönelik gösterim Şekil 2.1.'de verilmiştir [27].



**Şekil 2.1.** Sürtünme karıştırma kaynak işleminin uygulanışı [27]

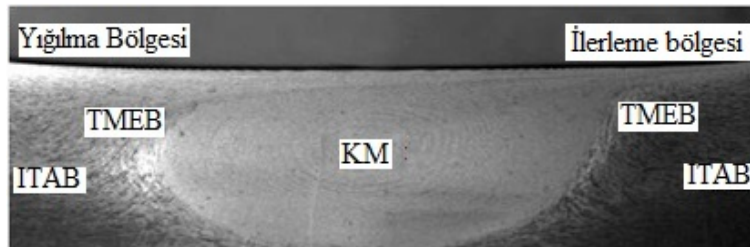
Soğuk kaynak yöntemi olarak SKK, özellikle çarpılmaların ve iç gerilmelerin istenmediği yüksek performans gerektiren çeşitli metal ve alaşımlarının birleştirilmesinde başarılı bir şekilde uygulanmaktadır [1-3, 23-25]. SKK yöntemi çok farklı kalınlıklardaki sac ve levhalara uygulanabilmektedir [28,29]. Şekil 2.2.'de 2 mm, 25 mm ve 38 mm kalınlıklarda sac ve levhalara ait SKK ile birleştirilmiş bağlantılar birlikte verilmiştir [30,31].



**Şekil 2.2.** SKK ile birleştirilen sac metal ve kalın plakalar a) 2 mm sac metal, b) 25 mm plaka, c) 38 mm plaka [30,31]

SKK yönteminde mekanik özellikler ve mikroyapısal değişimler kaynak parametreleriyle değişkenlik göstermektedir. Yöntem, ergime fazında gerçekleşmediği için geleneksel ergitme kaynak yöntemlerinde (TIG, MIG) karşılaşılan interdentritik ve ötektik fazlar ortadan kalkmaktadır [32,34]. Bunlara ilaveten, SKK bağlantı karakteristikleri çoğunlukla kaynak takımı formu ve dinamiği ile ilişkilendirilebilecek parametrelere de bağlıdır[35-37].

SKK işlemi sonrası kaynak kesiti incelendiğinde asimetrik bir kaynak bölgesi ile karşılaşılır. Bu asimetrik yapının takım ekseninin belirli ölçüde kaydırılması ile farklı alaşımların birleştirilmesinde kaynak performansını arttırdığı görülmüştür [38]. SKK bölgesi literatürde kaynak merkezi (KM), termomekanik etkilenen bölge (TMEB) ve ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) olmak üzere isimlendirilmektedir. Şekil 2.3.'de SKK işlemi sonrası oluşan mikroyapılar verilmiştir [39].



**Şekil 2.3.** SKK işlemi sonrası oluşan mikroyapılar [39]

## 2.2. Sürtünme Karıştırma Kaynak Yönteminin Avantajları

SKK yöntemi enerji verimliliği açısından ve çevre dostu bir kaynak yöntemi olduğu için yeşil bir teknolojidir. Geleneksel kaynak yöntemleri ile kıyaslandığında SKK yöntemi daha az enerji tüketmekte, koruyucu gaza ihtiyaç duymamakta ve zararlı emisyonlar oluşturmamaktadır [40].

SKK yönteminde malzeme ergime noktasına ulaşmamaktadır. Bu sebepten ötürü alüminyum alaşımlarının geleneksel kaynak işlemleri ile birleştirilmesinde ortaya çıkan boşluklu yapı ve oksitlenme gibi hatalar görülmemektedir. SKK yöntemi alüminyum alaşımlarının diğer mekanik birleştirme yöntemleri ile kıyaslandığında yapısal rijitlik ve hafiflik özelliği ile avantaj sağlamaktadır. Bunlara

ilaveten SKK ile yüksek yorulma ömrüne sağıp bağlantılar elde edilir. Tablo 2.1.'de SKK yönteminin genel avantajları verilmiştir[41].

**Tablo 2.1.** SKK yönteminin genel avantajları [41]

<b>Metalürjik Faydaları</b>	<b>Çevresel Faydaları</b>	<b>Enerji Faydaları</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Katı hal yöntemidir</li> <li>• Düşük çarpımlar</li> <li>• İyi boyutsal stabilite</li> <li>• Alaşım elementi kaybı yok</li> <li>• Kaynak bölgesinde iyi metalürjik özellikler</li> <li>• İnce tane yapısı</li> <li>• Çatlaksız kaynak bölgesi</li> <li>• Çoklu bağlantı elemanlarının yerine kullanılması</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Örtü gazı kullanılmaması</li> <li>• Yüzey temizliğine ihtiyaç duyulmaması</li> <li>• Atık malzeme miktarının az olması</li> <li>• Temizleme ihtiyacının olmaması</li> <li>• Geleneksel kaynak işleminde gereksinim duyulan tüketim malzemelerine ihtiyaç duyulmaması</li> <li>• Taşlama atıkları oluşmaz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Farklı kalınlıklarda malzemelere uygulanabilir olması ve ilave işleme ihtiyacın ortadan kalkması</li> <li>• Lazer kaynak işleminde kullanılan enerjinin % 2.5 oranında enerji ile işlemin yapılabilmesi</li> <li>• Uygulandığı sektörlerde yakıt tasarrufuna katkıda bulunması (farklı birleştirme yöntemleri ile kıyaslandığında)</li> </ul>

### 2.3. Sürtünme Karıştırma Kaynak Yönteminin Sınırlılıkları

Her kaynak yönteminde olduğu gibi SKK yönteminde de sınırlamalar mevcuttur. SKK sınırlılıkları özetle;

- Kaynak üst yüzeyi ile alt yüzeyi arasında homojen olmayan ısı dağılımından ötürü kalın malzemelerin kaynağı güçtür
- Kaynak işlemi sırasında iş parçasını veya işi tutmak için ağır iş bağlama düzeni gereklidir
- Pimin metalin içine girmesini sağlamak için büyük kuvvetler gerekir
- Çoğu zaman bu kaynak işlemi diğer birçok işlemden daha yavaştır
- Sürtünme karıştırma kaynağı, metal biriktirme gereksiniminin olduğu kaynak bağlantılarına uygun değildir
- SKK makinesinin ilk yatırım maliyeti çok yüksektir
- Manuel ve ark kaynak işlemlerinden daha az esnektir [42,43]

### 2.4. Sürtünme Karıştırma Kaynak Yönteminin Uygulandığı Malzemeler

Başlangıçta SKK işlemi bir dizi alüminyum alaşımı, kurşun, çinko, magnezyum ve nispeten yumuşak malzemelerin birleştirilmesinde kullanılmıştır. Yakın zamanda, bakır, titanyum, düşük karbonlu ferritik çelik, alaşımlı çelikler, paslanmaz çelikler ve nikel alaşımlarının yanı sıra bazı termoplastik malzemeler de SKK yöntemi ile kaynak yapılabilmektedir. Prensipte olarak, sıcak işlenebilecek herhangi bir malzeme bu işlemle kaynaklanabilmektedir. Bununla birlikte kaynak yapılan malzemedeki ziyade takım malzemesi daha sınırlayıcı bir faktördür [44,46].

## 2.5. Sürtünme Karıştırma Kaynak Yönteminin Endüstriyel Uygulamaları

### 2.5.1. Gemi ve Denizcilik Endüstrisi

Gemi ve denizcilik endüstrisi SKK yöntemini ticari anlamda kullanan ilk sektörlerdendir. Bu sektörlerde SKK yöntemi; güverte, kenar bölmeler ve zemin panelleri, gövde ve üst yapıları, helikopter iniş platformları, soğutma tesisleri gibi kısımların imalatında kullanılmaktadır [47]. Güverte, yan bölme ve zemin panelleri için SKK yöntemi ile birleştirilmiş parçalara ait görüntüler Şekil 2.4.'de verilmiştir [48].



Şekil 2.4. Güverte yan bölme ve zemin panelleri için SKK yöntemi ile birleştirilmiş parçalar [48]

### 2.5.2. Havacılık ve Uzay Endüstrisi

Havacılık endüstrisi uygulamalarında SKK işlemleri 2009'dan beri geliştirilmekte ve kullanılmaktadır. SKK yöntemi havacılık yapılarında kullanılan yüksek mukavemetli alüminyum alaşımlarının, yapıların özellikle dış yüzeyinin birleştirilmesine uygun olduğu görünmüştür [49]. SKK yöntemi gövde tertibatı için kullanılan geleneksel perçinleme tekniklerine kıyasla çok büyük ağırlık tasarrufu sağlamaktadır. Askeri ve sivil uçaklarda kullanılmak üzere kanatlara ve kaburgalara SKK uygulamaları mevcuttur. Düşük üretim maliyetleri ve ağırlık tasarrufu açısından perçinleme ile karşılaştırıldığında SKK işlemi önemli avantajlar sunar [48]. Sürtünme karıştırma kaynaklı uçak gövde imalatına ait uygulama Şekil 2.5.'de verilmiştir [49].





Şekil 2.5. SKK yöntemi kullanılarak üretilen uçak gövdesi [49]

### 2.5.3. Kara Taşımacılığı ve Demiryolu Endüstrisi

Günümüzde sürtünme karıştırma kaynağı ticari olarak birçok otomotiv şirketi ve tedarikçisi tarafından kullanılmaktadır. Demiryolu araçlarında ise SKK yöntemi kullanılarak alüminyum ekstrüzyondan imal edilmiş yüksek hızlı trenlerin ticari üretimi sağlanmıştır. Kara araçlarında; motor ve şasi kızaklarında, tekerlek jantlarında, hidroformlanmış tüplerde, kamyon gövdeleri ve kamyonlar için yükleme asansörlerinde, mobil vinçlerde, yakıt tankeri gibi başlıca parçaların imalatında SKK yöntemi uygulanmaktadır [48]. Şekil 2.6.'da SKK yönteminin kullanıldığı yüksek hızlı trene ait görüntü verilmiştir [50].

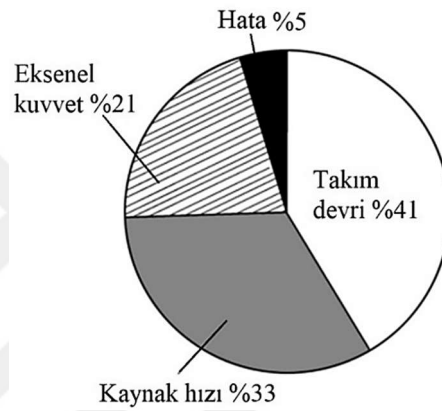


Şekil 2.6. SKK yöntemi kullanılarak üretilen yüksek hızlı tren gövdesi [50]

## 2.6. Sürtünme Karıştırma Kaynak İşlemi Parametreleri

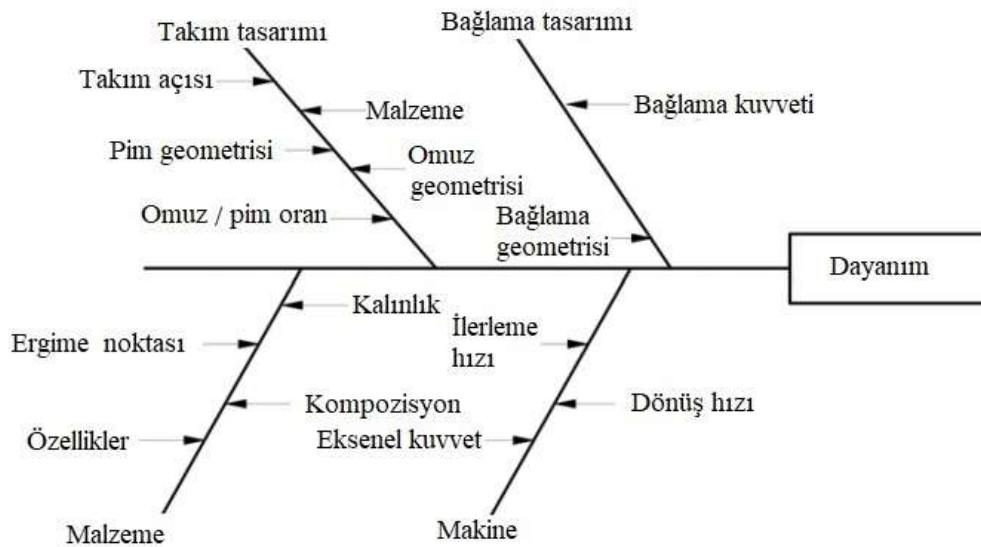
SKK işleminde kullanılan makineye bağlı işlem parametreleri; takım devri, takım ilerleme hızı, takım açısı, takım dalma hızı, pim dalma derinliği (pozisyon kontrollü makineler), takım düşey kuvveti

(kuvvet kontrollü makineler) gibi değişkenlere bağlı olarak elde edilmektedir. Bu değişkenler kaynak yapılacak malzemeye, kaynak derinliğine, kaynak pozisyonuna bağlı olarak seçilmektedir. Kaynak işleminde kullanılacak parametreler ise dayanım, süneklik, şekillendirilebilirlik, korozyon direnci, farklı malzeme çifti gibi birleştirilecek parçaların kaynak kalitesi ve performansına bağlı olarak tayin edilmektedir. SKK işleminde birçok kaynak performans gereksinimleri olmasına karşın temel amaç kabul edilebilir standartlarda hatasız ve optimize edilmiş bir kaynak dayanımı elde etmektir. Bunlara dayanarak kaynak işleminde en etkin parametreler takım devri ve takım ilerleme hızı ile elde edilmektedir. Bunlar SKK bağlantılarının çekme dayanımları üzerinde en belirgin etkiye sahip değişkenlerdir. Şekil 2.7.'de kaynak faktörlerin bağlantı özellikleri üzerindeki ortalama yüzde etki değerleri verilmiştir [51].



Şekil 2.7. Faktörlerin katkı yüzdesi (ortalama) [51]

Şekil 2.7.'deki faktörlere ilaveten SKK birleşimlerinin kalitesini etkileyebilecek işlem parametrelerini tanımlamak için Şekil 2.8.'de gösterildiği gibi bir Ishikawa diyagramı (neden ve sonuç diyagramı) oluşturulmuştur [51].



Şekil 2.8. Neden ve sonuç diyagramı [51]

### 2.6.1. Takım Dönme Hızının Etkisi (Takım Devri)

Takım dönme hızı, SKK işleminde ısı girişini etkileyen ana faktörlerden biridir. Yapılmış olan çalışmalar yüksek dönme hızının, artan ısı girişine ve kaynak bölgesinde daha büyük bir deformasyona sebep olduğunu göstermektedir. SKK'da kaynak bölgesinde yüksek ısı oluşumu arzu edilmez, çünkü geniş bir ITAB'a yol açar ve alüminyum alaşımlarında daha fazla tane çökmesine neden olur. Öte yandan, daha büyük bir kaynak çekirdeği ve daha güçlü bir kaynak bölgesi elde etmek için fazla karıştırma oranı gerekmektedir [52-55]. Dönme hızı, takımın büyüklüğüne, iş parçası malzemesine ve istenen hareket hızına bağlı olarak büyük ölçüde değişecektir. SKK sırasında, iş parçasının üst kısmına yakın olan malzeme omuz etkisiyle karıştırılır ve malzemenin düşey hareket pimindeki dış profiline bağlı olarak oluşur [56-57]. SKK işlemi için ortalama takım dönme hızları 500-1500 dev/dk. arasındadır [52].

### 2.6.2. Takım İlerleme Hızının Etkisi (Kaynak Hızı)

Takım ilerleme hızı veya kaynak hızı, takımın iş parçası boyunca hareketini ifade eder. Kaynağa ısı girişini etkileyeceği için önemli bir faktördür. Literatürde daha soğuk kaynak ve daha dar bir ITAB oluşturan yüksek kaynak hızlarının kullanımı görülmektedir. Bu da tipik olarak daha yüksek mukavemette kaynaklı bağlantıların elde edilmesiyle sonuçlanır. Bununla birlikte, çok yüksek takım ilerleme hızı sonucunda yeterli ısı üretilemeyebilir ve bu da kaynak bölgesinde yetersiz karışıma neden olur [58-60]. SKK yönteminde takım ilerleme hızları, bazı endüstriyel uygulamalarda 20 mm/dk. ile 6 m/dk. arasında değişmektedir [61,62]. SKK işleminde düşük kalınlıklardaki alüminyum alaşımı levhalar yaklaşık 1m/dk. hıza kadar birleştirilebilmekte ve literatürde 100-500 mm/dk. arasındaki hızlar kullanılarak yapılmış birçok çalışma mevcuttur [52].

### 2.6.3. Eksenel Kuvvetin Etkisi

İyi bir kaynak elde etmek için belirli bir düzeyde eksenel kuvvete ihtiyaç duyulmaktadır. Çünkü sürtünme karıştırma kaynağı sırasındaki sıcaklık plastikleştirilmiş metal miktarı ile ilgilidir. Omzun iş parçasına temas ettiği noktadan itibaren, tipik olarak yüzeye 0.1 mm daldırılır, belirli bir devirde dönen takım omzu kaynak metaline eksenel basınç uygular ve böylece sürtünme ısıyı oluşturur. Yetersiz dalma derinliğinin kullanılması, kaynakta boşluklara neden olacaktır. Dalma derinliğinin artırılması yüzeyde çapak oluşumuna neden olabilir [52]. Eksenel kuvvet göreceli olarak düşük olduğunda, alt bölgede yetersiz karışım (daha az mekanik çalışma) meydana gelir. Bu da yetersiz birleşim ve düşük mukavemetli bağlantıya sebebiyet verir [63-66]. SKK işleminde kullanılan eksenel kuvvetler diğer kaynak parametrelerinin de etkisi göz önünde tutularak 1 kN ile 15 kN arasında değişiklik göstermektedir [67].

## 2.7. Korozyon

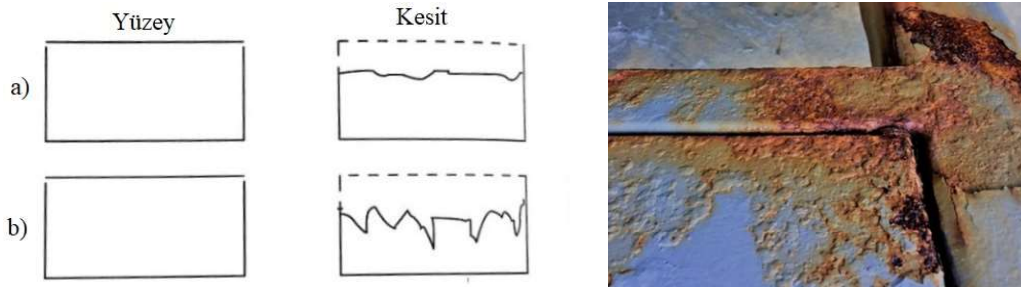
Korozyon olayına metalik malzemeler açısından bakıldığında, metalik elementler doğada cevher olarak bilinen oksitli ve sülfürlü bileşikler halinde bulunurlar. Bu halleri ile metaller en düşük enerji seviyeleri ve en yüksek düzensizliğe sahiptir. Bu yapı metallerin en kararlı halidir. Bu durumda korozyonu, metallerin çevreleri ile etkileşmesi sonucu doğadaki kararlı yapılarına dönme eğilimleri olarak tanımlamak yerinde olur. Metali çevreleyen ortamlar; su, sulu çözeltiler, çeşitli kimyasal ortamların yanı sıra atmosferik çevre de olabilir. Özet olarak korozyon kaçınılmaz, doğal bir oluşumdur. Yapılan istatistiksel çalışmalara göre korozyon, sanayisi gelişmiş ülkelerde gayri safi milli hasılanın %4-6'sı kadar ekonomik kayba sebebiyet vermektedir [68-69].

### 2.7.1. Korozyon Türleri

Korozyonu farklı sınıflara ayırarak incelemek korozyonu önlemek açısından önem teşkil eder. Korozyon türlerini sınıflandırmak için belirli bir yöntem olmakla birlikte birçok araştırmacı kendi inceleme ve bakış açılarına göre farklı sınıflandırmalar yapmışlardır. Bu sınıflandırmalar temel olarak 8-10 çeşit ile sınırlandırılırken bazı araştırmacılarca 40-50 çeşit korozyon olduğu da ileri sürülmektedir [68].

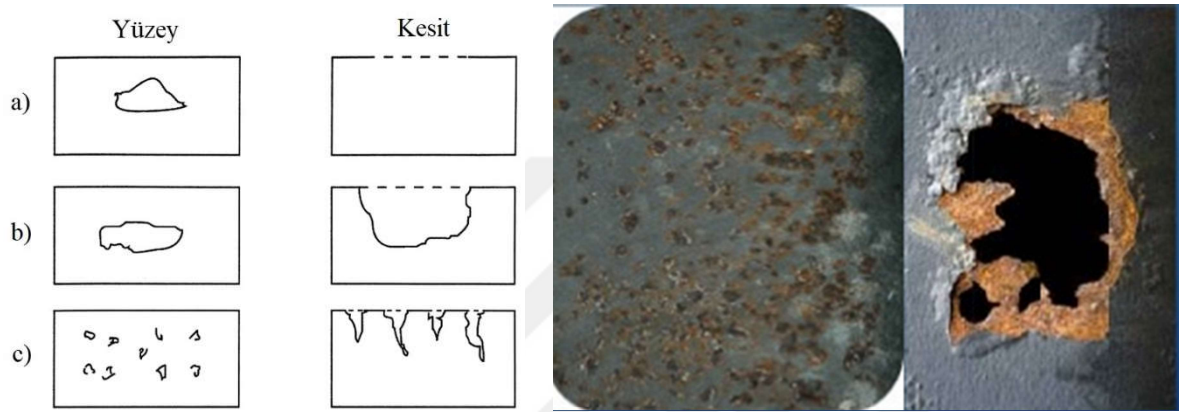
#### 2.7.1.1. Yüzey Görüntüsüne Göre Sınıflandırma

Korozyon sonrası metalin yüzey görüntüsü veya metal kesitinin görüntüsü esas alınarak yapılan sınıflandırmadır. Korozyona uğrayan bölgelerin şekli ya da korozyon dağılımına göre adlandırma yapılır. Başlıca; genel korozyon, yerel korozyon, seçimli korozyon olarak sınıflandırılır [68,69]. Genel korozyon olayında malzeme yüzeyinin her tarafı eşit şekilde aşınmışsa bu “düzgün gelişen genel korozyon” aşınma eşit dağılım göstermiyorsa “düzgün gelişmeyen genel korozyon” olarak adlandırılır. Bu iki korozyonda metalin üst yüzey görüntüsü benzerlik gösterir ancak kesit olarak incelendiğinde korozyon dağılımındaki farklılık açıkça gözlemlenir. Şekil 2.9.'da düzgün gelişen ve düzgün gelişmeyen korozyon şekli ile genel korozyona uğramış metal görüntüsü birlikte verilmiştir [68,70].



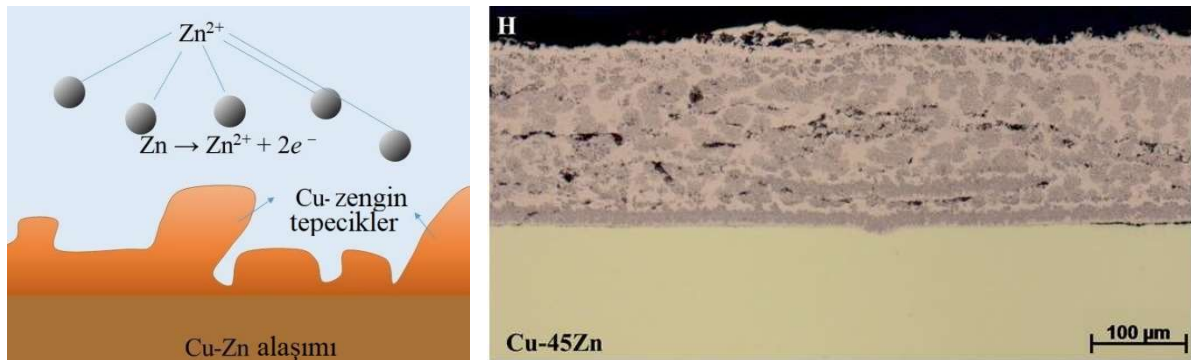
Şekil 2.9. Genel korozyon a) Düzgün gelişen korozyon, b) Düzgün gelişmeyen korozyon [68,69]

Yerel korozyon, ülser, krater ve çukur korozyonu olarak ele alınabilir. Ülser şeklinde oluşan korozyonda metalik yüzey üstten hasara uğramış bir görünümde ancak kesit görüntüsünde korozyonun fazla derine inmediği görülür. Krater şeklinde gelişen korozyonda ise yüzeyin üst görünümü ülser tipi korozyona benzemektedir fakat kesiti incelendiğinde korozyonun malzemenin derinliklerine kadar ilerlediği görülür. Yüzeyde küçük lekeler halinde görülen çukur korozyonunda kesit yapısında farklı derinliklerde birçok çukurun oluşumuna rastlanır. En derin çukurun gelişme hızı malzemenin ömrünü belirlemede referans olarak alınır. Şekil 2.10.'da yerel korozyona ait çizimler ve korozyon yüzey görüntüleri birlikte verilmiştir [68,71].



**Şekil 2.10.** Yerel korozyon çeşitlerine ait çizim ve korozyon yüzey görüntüleri a) Ülser, b) Krater, c) Çukur [68,71]

Korozyonun görünüşüne göre yapılan sınıflamadaki son grup seçimli korozyondur. Seçimli korozyonun oluşma mekanizması, metal yapısında bulunan farklı kristallerin ya da farklı alaşım elementlerinin korozyon davranışlarının da farklılık göstermesi ilkesine dayanır. Neticede metal yüzeyinin bazı bölgeleri korozyona uğramazken diğer bazı bölgelerin korozyona uğradığı gözlemlenir. Pirinç alaşımı içerisindeki çinko elementinin bakır elementinden önce korozyona uğraması bu korozyon tipine örnek olarak verilebilir [68,72]. Pirinç alaşımında meydana gelen bu korozyon olayına çinko azalması denir [73-75]. Şekil 2.11.'de seçimli korozyon mekanizması ve pirinç yüzeyinin çinko kaybı birlikte verilmiştir [76].



**Şekil 2.11.** Seçimli korozyon mekanizması ve pirinç yüzeyinin çinko kaybı [76]

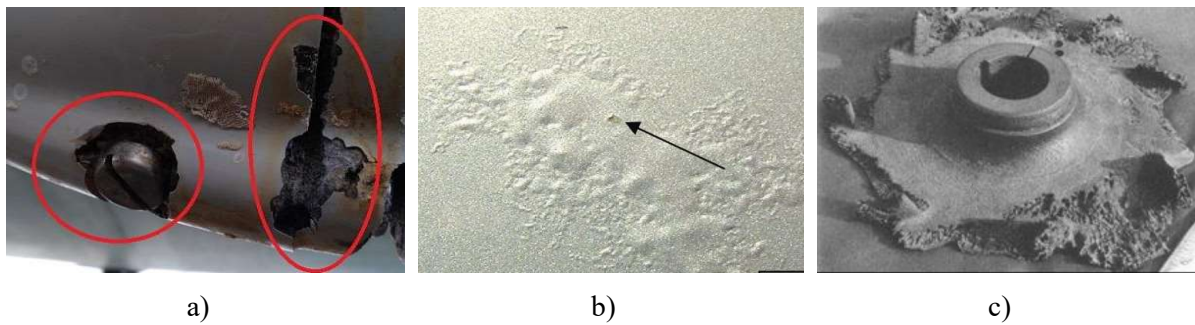
### 2.7.1.2. Korozyon Oluşum Koşullarına Göre Sınıflandırma

Denetimsiz pil hücresi oluşumu bu korozyonun temel mekanizmasıdır. Bu oluşum bazen farklı iki metal bağlantısı sonucunda makro pil hücresi olabileceği gibi, bazen de metalin kendi özelliğinden kaynaklı metal yapısında çok miktarda mikro pil hücresi oluşumu korozyona sebep olur [68].

İki metal temas halinde iken veya iletken bir ortamda çalışırken meydana gelen korozif yapıya galvanik korozyon denir. Galvanik korozyon oluşumunda temel nedenler; korozyon çiftleri arasındaki potansiyel fark, temas yüzey alanı ve temas geometrisidir [68,77].

Metalin farklı oksijen konsantrasyonları ile etkileşim halinde bulunması sebebiyle de galvanik prensibe benzer korozyon oluşumu gözlemlenmektedir. Yani oksijence zengin bölgelerde katodik tepkime gerçekleşirken, oksijence zayıf yerlerde korozyon oluşumu gerçekleşir. Örneğin su içerisine daldırılan bir metalin su düzeyinin altında gelişen korozyona “su çizgisi korozyonu”, metal yüzeyindeki bir çatlakta ilerleyen korozyona ise “aralık korozyonu” ismi verilir. Metalik yüzey üzerindeki birikinti altındaki oluşan korozyona “birikinti altı korozyonu” ve bunlara benzer olarak metal yüzeyindeki su damlasının kenar yüzeylerinde oluşan korozyona da “damla korozyonu” adını almaktadır. Metalik malzemelerin korozyona karşı korunması amacı ile yapılan kaplamalardaki hasarlı bölgelerde başlayarak ilerleyen ve nihayetinde bir ağaç dallanması formunda oluşan korozyona “iplikçik veya filiform korozyonu” adı verilir [68].

Metalik malzemelerden üretilen ürünler, makine elemanları ve çeşitli yapıtlar tek bir tip ortamda çalışmayıp farklı korozif etkilere maruz kalmaktadırlar. Bu ortamlar yüksek sıcaklık, yüksek asidik-bazik ya da tuzlu çözeltiler, mikrobik, farklı gerilme ve yorulma konsantrasyonlarında olabilir. Sınıflandırılan korozyon çeşitleri dışında çalışma ortamına bağlı olarak metalik malzemelerde görülen korozyon çeşitleri; erozyonlu korozyon, kavitasyon korozyonu, gerilmeli korozyon, yorulma korozyonu, kaçak akım korozyonu ve mikrobiyolojik korozyon şeklinde sınıflandırılmaktadır [78]. Şekil 2.12.’de endüstriyel uygulamalarda görülen oluşum şekillerine göre korozyona uğramış parçalara ait görüntüler verilmiştir [79-81].



**Şekil 2.12.** Oluşum şekillerine göre korozyona uğramış parçalar a) Galvanik korozyon, b) Filiform korozyon, c) Kavitasyon korozyonu [79-81]

### 2.7.2. Korozyondan Korunma

Metalik malzemelerde oluşacak olan korozyonu engellemek için etkili birçok yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemler aşağıdaki başlıklar altında özetlenmiştir:

- Korozyona sebebiyet veren maddelerin uzaklaştırılması
- Malzeme yüzeyinin kaplanması
- Metalik malzemenin alaşımlanması
- Katodik koruma
- Yüzey boyama [68,80,81]

### 2.7.3. Kaynak-Korozyon İlişkisi

Kaynaklı birleştirmelerin korozyon davranışları ana metalin alaşımına, kullanılan dolgu metaline ve uygulanan kaynak yöntemi gibi temel etkenlere göre değişmektedir. Seçilen kaynak yönteminde ısı girişi ne kadar az ise mikroyapısal değişimler sınırlı kalır ve korozyon direncindeki kayıp azalma gösterir. Öte yandan ısı işlem uygulanamayan bazı Al alaşımlarında kaynak işlemi sonrası korozyon davranışında belirgin bir düşüş olmaz. Örneğin AA 6061 ve AA 6063 alaşımları iyi korozyon davranışı sergileyen alaşımlardır. SKK yöntemi ile elde edilen bağlantılar ark kaynak yöntemindeki bağlantılar kadar mikroyapısal değişim göstermezler. Ayrıca ilave dolgu metali kullanılmadığı için esas metal alaşım kompozisyonunu korurlar. Bu iki temel özellik SKK işlemi ile birleştirilen metallerin korozyon hassasiyetine olumlu yönde etki gösterir [70].

### 2.8. Önceki Çalışmalar

Literatürde, farklı kaynak parametrelerinin, alüminyum alaşımlarının kendi aralarında veya farklı metal alaşımları ile birleştirilmesi sonucu kaynak bağlantılarının mekanik mikroyapı ve korozyon özellikleri üzerinde çalışmalar mevcuttur [32-38, 51-66, 83-93].

Tez kapsamında kullanılacak olan AA 5083 ve AA 6082 alüminyum alaşımı malzemelerle yapılmış SKK işlemleri ve bunların mekanik, mikroyapısal ve korozyon özellikleri üzerinde yakın tarihte yapılan çalışmaların kapsamında;

James ve ekibi [94], denizcilik uygulamalarına uygun olan AA 5083-H321 alaşımını, 80-200 mm/dk. arasında farklı takım ilerleme hızlarında birleştirme sonucundaki yorulma özelliklerini incelemişlerdir. Kaynaklı birleştirmeler kaynak yapılmamış ancak parlatılmış numuneler ile yorulma, sertlik, makro ve mikroyapısal özelliklerini karşılaştırılarak incelemişlerdir. Çalışmaları sonucunda; hazırladıkları test numunelerinin, takım ilerleme hızının artması sonucunda yorulma ömürlerinde azalma olduğunu tespit etmişler. Takım ilerleme hızlarından 130 mm/dk. ile yapılan kaynaklı bağlantı yapısında soğan halkası görünümünün en belirgin olduğunu belirtmişlerdir. Bu yapının yorulma hasarı

başlangıcının sebebi olmadığını, ancak toplam yorulma ömrü üzerinde etkili olabileceğini vurgulamışlardır. Kaynaklı bağlantılarda nadir de olsa boşluklu yapılar gözlemlenmişler ve bu hataların çatlak oluşumunu başlattığını belirtmişlerdir.

Kumar ve ark. çalışmalarında kaynak parametreleri üzerinde tam faktöriyel bir çalışma yapmayı ve istatistiksel yaklaşımlar kullanarak deneysel ilişkiler geliştirmeyi denemişlerdir. Çalışmaları sonucunda, AA 5083 alaşımının SKK yöntemi ile birleştirilmesinde, takım devrinin, takım ilerleme hızının, takım omuz çapının ve pim çapının SKK işleminde oluşan kuvvetleri ve sıcaklık girişini etkileyen kritik faktörler olduğunu belirtmişlerdir. Eksenel bası kuvvetini etkileyen faktörlerin ise takım omuz çapı, takım dönme hızı ve takım ilerleme hızının olduğunu tespit etmişlerdir [95].

Cavaliere ve ark. 4mm kalınlıkta AA 6082 alüminyum alaşımı levhaları SKK yöntemi ile birleştirmişler ve farklı kaynak ilerleme hızlarının birleştirmelerdeki mekanik ve mikroyapısal özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmalarında, kaynak ilerleme hızı olarak 40-460 mm/dk. arasında değişen kaynak hızlarını kullanmışlardır. Deneysel çalışmaları sonucunda, 115 mm/dk. ilerleme hızına kadar akma dayanımının arttığını ancak bu hızın üzerindeki hızlarda akma dayanımında düşüş olduğunu belirtmişlerdir. Kaynaklı numunelerin süneklik davranışları da benzer bir tablo göstermiş ancak 165mm/dk. ilerleme hızından sonra süneklikte artış olduğunu gözlemlenmiştir. Takım hızının 115 mm/dk. olduğu parametrenin en iyi yorulma dayanımına sahip olduğunu ve yorulma numunelerinden alınan SEM görüntüleri de yorulma hasarının kaynak yüzeyinde gelişen çatlaktan başladığını tespit etmişlerdir [96].

6082 alüminyum alaşımı üzerinde yapılan diğer bir çalışmada, farklı kaynak hızlarının ve ilave soğutma işlemleri kullanılarak SKK işlemi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kaynaklı bağlantının mikroyapı ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Çalışma sonucunda; kaynak bölgesinde zigzag görünümünün olduğu görülmüştür. Bu yapının oluşmasının sebebi yüzeydeki oksit tabakasının kaynak bölgesine karışması sonucu olduğu kanısına varmışlardır. Kaynak bölgesindeki tane yapısını incelediklerinde tane boyutunun 14 µm boyutuna kadar düştüğünü gözlemlenmiştir. Mekanik testler sonucu en yüksek çekme dayanımı 230 MPa değerinin 710 dev/dk. devirde ve 560 mm/dk. takım ilerleme hızındaki parametreden elde edilmiş olduğunu bildirmişlerdir. Bu parametreden elde edilen çekme numunelerinin kılma sonrası TEM görüntüleri sünek kırılma karakteristiğinde olduğunu ve ayrıca kırılma yüzeyinde birkaç mikron boyutunda kırılma parçacık matrislerine de rastlamışlardır [97].

AA 6082-T6 alaşımının SKK sonrası yorulma dayanımının incelendiği bir çalışmada, deneysel ve tahmini yorulma dayanımları çeşitli spektrumlarda incelenmiştir. Kaynak işlemi sonucu oluşan tünel hatalarının yorulma ömrünü kısalttığını bildirmişlerdir. Bu hataların yorulma ömrü üzerindeki etkisinin, kaynak sonrası oluşan gerilme konsantrasyonlarından daha fazla olduğunu gözlemlenmiştir [98].

El-Danaf ve El-Rayes [99] AA 6082 Al alaşımını farklı SKK parametreleri ile birleştirmişler ve bağlantıların mekanik ve mikroyapısal özelliklerini incelemişlerdir. Ayrıca kaynaklı bağlantılara ısı işlem uygulayarak yapısal değişimleri de gözlemlenmiştir. Çalışmaları sonucunda kaynak bölgesinde ve termomekanik olarak etkilenen bölgedeki mikrosertlikte düşüş olduğunu gözlemlenmiştir.



Uyguladıkları ısı işlem sonucunda mikrosertlik değerindeki düşüşte kısmende olsa toparlanma olduğunu bildirmişlerdir. Numunelere uygulanan 175 °C ve 12 saat süreli ısı işlemin kaynaklı bağlantıların dayanımı üzerinde etkisi daha belirgin olduğunu gözlemlemişlerdir. Tane boyutunun tüm kaynak koşullarında 2.3-2.8 µm boyutları arasında olduğunu bildirmişlerdir.

Soğuk haddelenmiş 6082 alüminyum alaşımının SKK ile birleştirilmesi üzerinde yapılan çalışmada [100], kaynak ilerleme hızı ve çoklu paso uygulamasının kaynak bölgesindeki mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir. Yapılmış olan çalışmada, kaynak paso sayısı arttıkça kaynak bölgesinde tane boyutunda büyüme, daha fazla çözünme ve ikincil faz parçacıklarının parçalanması sonucu yeniden çökelme olduğu görülmüştür. Bu yapı değişimleri bölgede yığılmış termal döngüler sonucu olduğuna atfedilmiştir. Kaynak ilerleme hızı arttıkça ikinci faz parçacık boyutunda azalma olduğunu ve bu kaynak bölgesindeki ortalama sertliği ve çekme dayanımını arttırdığı belirtilmiştir. Takım dönme hızındaki artışın ise kaynaklı bağlantılarda tane büyümesi sonucu mekanik özelliklerde azalmaya sebep olduğunu bildirmişlerdir.

AA 6082 alaşımının SKK bağlantıları üzerine yapılmış diğer bir çalışmada, farklı teknolojik konfigürasyonlarda SKK işlemi gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında çift taraflı SKK ile geleneksel tek taraftan SKK yönteminin mikroyapısal özellikleri incelenmiştir. Yapılmış olan çalışma sonucunda; çift taraflı olarak yapılan kaynak işleminde elastisite modülünde ve sertlik dağılımının daha benzer yapıda olduğu görülmüştür. Çift taraflı kaynaklı bağlantılarda kaynak bölgesinde fark edilebilir düzeyde yeniden kristalize olmuş homojen tane yapısı gözlemlenirken tek taraftan yapılan geleneksel SKK bağlantılarında takım omzuna yakın bölgelerde daha kaba yeniden kristalleşmiş tane yapısı görülmüştür. Kaynaklı bağlantılarda elastik modülü ve mikrosertlik dağılımları kaynak bölgesinde ve TMEB farklı değerlerde olduğu ve bunun (Fe.Mn)<sub>3</sub>SiAl<sub>12</sub> intermetalik parçacıklardan kaynaklı olduğu belirtilmiştir [101].

Krasnowski ve ark. [102] SKK işleminde farklı takım şekilleri ve konfigürasyonlarının mikroyapı ve mekanik özellikler üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Farklı takım tasarımlarının kaynak bölgesinin mikrosertlik ve çekme dayanımı özelliklerini etkilemiş olduğunu gözlemlemişlerdir. Yapılmış çalışmada çift yönlü yapılan SKK işlemi tek taraftan yapılan kaynağa göre daha düşük mekanik özellik göstermiş olduğunu ve bunun sebebini de kaynak bölgesine daha fazla ısı girdisi olmasına bağlamışlardır.

SKK yönteminin öne çıkan avantajlarının birisi de farklı seri alüminyum alaşımlarının kaynatılmasında başarılı sonuçlar vermektedir [91]. Literatürde AA 5083 ve AA 6082 alüminyum alaşımlarının birleştirilmesi ile ilgili sınırlı sayıda yayın bulunmaktadır.

Cho ve ark. [103] çalışmalarında A5083 ve A6082 alaşımlarını çeşitli kaynak koşullarında birleştirmişler ve bağlantıların mikroyapı ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmalarının sonucunda; kaynak bölgesindeki tane boyutlarında ve kristal yapılarda çeşitlilik olduğunu, kaynak merkezinde ise dinamik yeniden kristalleşme sonucunda eş eksenli tane yapısının olduğunu

gözlemlemiştir. Kaynak esnasında levhalar üzerinden yaptıkları sıcaklık ölçümlerinde ise he iki farklı alışımda da benzer sıcaklık değerleri olduğunu bildirmişlerdir.

Singh ve Shankar 6 mm kalınlıktaki 5083 ve 6082 alüminyum alaşımlarını farklı devir, farklı ilerleme hızı, farklı pim profili ve farklı takım omuz çapından oluşan parametrelerle birleştirmişlerdir. Çalışmaları sonucunda kaynaklı bölgede yaklaşık %10'luk bir sertlik artışı olduğunu ve en iyi kaynak performansını büyük takım çapı, yüksek kaynak devri ve dairesel pim ile yapılmış parametreden elde ettiklerini bildirmişlerdir [104].

Gungor ve ark. [105] 5083-H111 ve 6082-T651 alüminyum alaşımı levhaları kendi aralarında ve farklı alaşımları birlikte SKK ile birleştirmişlerdir. Kaynak parametresi olarak 1250 dev/dk. takım devri, 64mm/dk. takım ilerleme hızı ve 2° takım eğim açısı kullanmışlardır. Çalışmaları sonucunda, 5083-H111 alaşımı %86 oranında bir kaynak performansında olduğunu bildirmişlerdir. Eğmeli yorulma testi sonuçlarının her bir kaynaklı birleştirme kombinasyonunda (5083-5083, 6082-6082, 5083-6082) birbirine yakın değerlerde çıktığını gözlemlemiştir. Optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu incelemeleri sonucunda, kaynak bölgesinde herhangi bir kaynak hatasına rastlamamışlardır. 5083-6082 bağlantısında nadiren de olsa boşluklu yapıya rastlamışlardır.

Literatür araştırmaları sonucunda, AA 5083 ve AA 6082 alaşımlarının SKK sonrası korozyon davranışları üzerine yapılmış oldukça sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır.

Zucchi ve ark. çalışmalarında SKK yöntemi ile birleştirilmiş AA5083 Al alaşımının çukur korozyonu ve gerilimli korozyon çatlama direnç özelliklerini MIG kaynağı ile birleştirilen bağlantılarla karşılaştırmışlardır. SKK ile birleştirilmiş numunelerin korozyon direnci ve çukur korozyon hassasiyeti esas metale kıyasla daha iyi özellikte olduğunu gözlemlemiştir. Ayrıca SKK yöntemi ile elde edilen bağlantıların gerilmeli korozyon çatlama direncine hassasiyet göstermezken MIG ile elde edilen bağlantılarda korozif ortamda çatlama olduğunu bildirmişlerdir [106].

AA5083-H111 alaşımının korozyon davranışının incelendiği bir çalışmada, korozyon testleri sonrası, mikroyapıdaki değişimler ve sertlik profilleri incelenmiştir. İncelemeler sonucu kaynaklı bağlantılarda ısı tesiri altındaki bölgede ve termomekanik olarak etkilenen bölgede tanelerdeki küçük birleşmeler ve çökelmedeki azalmalar korozyon gelişimini önlemede etkin rol oynadıkları görülmüştür. Kaynak bölgesinin esas metale göre daha yüksek sertlikte olduğunu bildirmişlerdir. Ana malzemedeki ağırlık kaybını kaynak bölgesine oranla daha yüksek olduğunu gözlemlemiştir ve bunun sebebini esas malzemenin taneler arası korozyona karşı daha duyarlı olduğuna atfetmişlerdir. Yaptıkları eksfoliasyon korozyon testleri sonucunda kaynak yüzeyinin daha pürüzsüz olduğunu ve birleştirmelerin korozyon direncinin daha yüksek olduğunu gözlemlemiştir [107].

Park ve ekibi deniz suyunda, AA 5083-O alüminyum alaşımının SKK sonrasında korozyona karşı korunmasında optimum ortam koşullarını belirlemeye çalışmışlardır. Potansiyostatik testler sonucunda bağlantıların -1.5 ve -0.7 V arasındaki potansiyellerde akım yoğunluğunun düşük ve korozyona karşı direncinin optimum düzeyde olduğunu saptamışlardır. Bunlara ilaveten, kaynaklı

bağlantılarda galvanik hücre formunun sağlanması durumunda korozyona karşı kararlı bir yapının elde edileceğini bildirmişlerdir [108].

5083/6082 Al alaşımlarının SKK sonrası mikroyapı ve korozyon özelliklerinin incelendiği çalışmada, kaynaklı bağlantılar galvanik test, potansiyodinamik polarizasyon eğrisi testi ve elektrokimyasal impedans testleri esas malzemenin korozyon özellikleriyle karşılaştırılmıştır. Yapılmış olan testler sonucunda çalışılmış olan parametredeki kaynaklı bağlantıların ortalama korozyon oranları esas malzemeye göre daha düşük çıktığı saptanmıştır [109].

Patil ve Soman [110] 6082-T6 Al alaşımı levhaları SKK yöntemi ile farklı parametrelerde (takım ilerleme hızı ve farklı pim profili) birleştirerek bu parametrelerin bağlantıların korozyon davranışları üzerine etkisini incelemişlerdir. Çalışmaları sonucunda farklı parametrelerinin korozyon özellikleri üzerinde etkili olduğunu bildirmişlerdir. Kaynaklı bağlantılarda kaynak takım hızının düşmesi ile korozyon direncinin arttığını bildirmişlerdir. Kaynaklı bağlantılardaki çukur korozyon dayanımının esas metalden daha iyi özellikte olduğunu ve esas malzemenin korozyon potansiyelini kaynaklı bağlantılara kıyasla daha zayıf olduğunu gözlemlemişlerdir. Kullanılan pim profilleri arasından altıgen profile sahip takımlarla elde edilemem bağlantıların korozyon direncinin ise diğer profillerden daha iyi olduğunu bildirmişlerdir.

Donatus ve ark. çalışmalarında AA5083-O ve AA 6082-T6 alaşımlarının SKK sonrasında korozyon duyarlılıklarını incelemişlerdir. Çalışmaları kapsamında iki farklı takım ilerleme hızını karşılaştırmışlar ve yüksek hızda gerçekleştirilen kaynaklı bağlantıların korozyon duyarlılığının daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir. Bunun sebebini yüksek hızda yapılan kaynaklarda birim kaynak boyundaki dönme oranının daha düşük olması, malzemelerde yeterli karışımı sağlayacak ısının yetersiz kalmasına atfetmişlerdir. Her iki alaşım için de ısı tesiri altındaki bölgeler ve geçiş alanları korozyona karşı en duyarlı bölgeler olduğunu bildirmişlerdir. Kaynak bölgesinde ısı tesiri altındaki bölgelerde oluşan tane sınırları hassasiyetinin yapıdaki Mg<sub>2</sub>Si parçacıklarının her iki aşım sınırlarında galvanik etkileşimler sonucu olduğunu bildirmişlerdir [111].

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu bölümde, tez çalışmasında kullanılan malzemelerin temini, kaynak işleminde ve sonrasında kullanılacak teçhizatların tanıtımı, deneysel çalışmalarda kullanılacak donatılar, deneysel çalışmalar için hazırlık işlemleri ve bu işlemlerin yapılaş yöntemi hakkında detaylı bilgiler verilmiştir.

#### 3.1. Materyal

##### 3.1.1. Alüminyum Alaşımı Malzemeler

Tez çalışmasında kaynaklı birleştirme malzemesi olarak 4 mm kalınlığında EN AW-5083-H111 ve EN AW-6082-T651 alüminyum alaşımı levhalar kullanılmıştır. 5083 seri alüminyum alaşımları, mükemmel süneklikleri nedeniyle iyi şekillendirilebilme özelliğine sahiptir. Kaynak için son derece uygundur ve soğuk işleme sertleştirilebilirler. 5083-H111 alaşımı genel korozyona karşı mükemmel direnç gösterdiğinden, denizcilik ve havacılık uygulamalarında yaygın olarak kullanılır. EN AW-5083-H111 alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi Tablo 3.1.'de, fiziksel ve mekanik özellikleri ise Tablo 3.2.'de verilmiştir [112].

**Tablo 3.1.** EN AW-5083-H111 alaşımının kimyasal bileşenleri [112]

Kimyasal Özellikler	Ağırlıkça Miktar (%)
Silisyum (Si)	0,00 - 0,40
Krom (Cr)	0,05 - 0,250
Manganez (Mn)	0,40 - 1,00
Magnezyum (Mg)	4,00 - 4,90
Bakır (Cu)	0,00 - 0,10
Titanyum (Ti)	0,00 - 0,15
Demir (Fe)	0,00 - 0,40
Çinko (Zn)	0,00 - 0,25
Alüminyum (Al)	Kalan

**Tablo 3.2.** EN AW-5083-H111 alaşımının fiziksel ve mekanik özellikleri [112,113]

Fiziksel Özellikler		Mekanik Özellikler	
Yoğunluk	2.66 g/cm <sup>3</sup>	Akma mukavemeti	170 MPa
Erime sıcaklığı	574 °C	Çekme mukavemeti	310 MPa
Isıl genleşme katsayısı	23.9 x10 <sup>-6</sup> /°K	Uzama	%17
Isıl kapasite	120 W/m.K	Elastisite modülü	72 GPa

EN AW-6082-T651 alüminyum alaşımı, korozyon dayanımı yüksek, iyi kaynak yapılabilir, orta seviye dayanım özelliğine sahip havacılık ve uzay sanayi malzemesidir. EN AW-6082-T651 alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi Tablo 3.3.'de, fiziksel ve mekanik özellikleri ise Tablo 3.4.'de verilmiştir [112].

**Tablo 3.3.** EN AW-6082-T651 alaşımının kimyasal bileşenleri [112]

Kimyasal Özellikler	Ağırlıkça Miktar (%)
Silisyum (Si)	0,70 - 1,30
Krom (Cr)	0,00 - 0,25
Manganez (Mn)	0,40 - 1,00
Magnezyum (Mg)	0,60 - 1,20
Bakır (Cu)	0,00 - 0,10
Titanyum (Ti)	0,00 - 0,10
Demir (Fe)	0,00 - 0,50
Çinko (Zn)	0,00 - 0,20
Alüminyum (Al)	Kalan

**Tablo 3.4.** EN AW-6082-T651 alaşımının fiziksel ve mekanik özellikleri [112,113]

Fiziksel Özellikler		Mekanik Özellikler	
Yoğunluk	2.71 g/cm <sup>3</sup>	Akma mukavemeti	270 MPa
Erime sıcaklığı	575 °C	Çekme mukavemeti	330 MPa
Isıl genleşme katsayısı	23.1 x 10 <sup>-6</sup> /K	Uzama	%16
Isıl kapasite	170 W/m.K	Elastisite modülü	71 GPa

Tabaka halinde temin edilen 4 mm kalınlığındaki levhalar önce giyotinle dilimlenmiş ardından freze tezgâhında 125 mm × 400 mm boyutlarına getirilmiştir. Bu boyutlar kaynak işlemi sonrasında deneysel çalışmalarda kullanılacak numunelerin standartlara uygun olarak hazırlanması için seçilmiştir.

Kaynak levhalarının hazırlanmasında talaşlı imalat yöntemleri seçilmiş olup kaynaklı birleştirme bölgesinde mikro yapısal değişimler sınırlandırılmıştır. Kaynak işleminde alın kaynak geometrisi kullanılmıştır. Al alaşımı levhaların birleşim yüzeyleri çapaksız ve temiz hale getirilmiş ve muhafaza edilmiştir. Şekil 3.1.'de kaynak işlemi için hazırlanan alüminyum alaşımı malzeme çifti verilmiştir.

**Şekil 3.1.** Kaynak işleminde kullanılan EN AW-5083-H111 ve EN AW-6082-T651 alüminyum alaşımı levhalar

### 3.1.2. Sürtünme Karıştırma Kaynak Makinesi

Sürtünme karıştırma kaynak işlemi için Tarsus Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Temel İmalat Atölyesinde bulunan yarı otomatik freze tezgâhı kullanılmıştır. Şekil 3.2.'de SKK işlemi için kullanılan freze tezgâhı verilmiştir.



Şekil 3.2. SKK işlemi için kullanılan freze tezgâhı

### 3.1.3. Sürtünme Karıştırma Kaynak Kalıbı

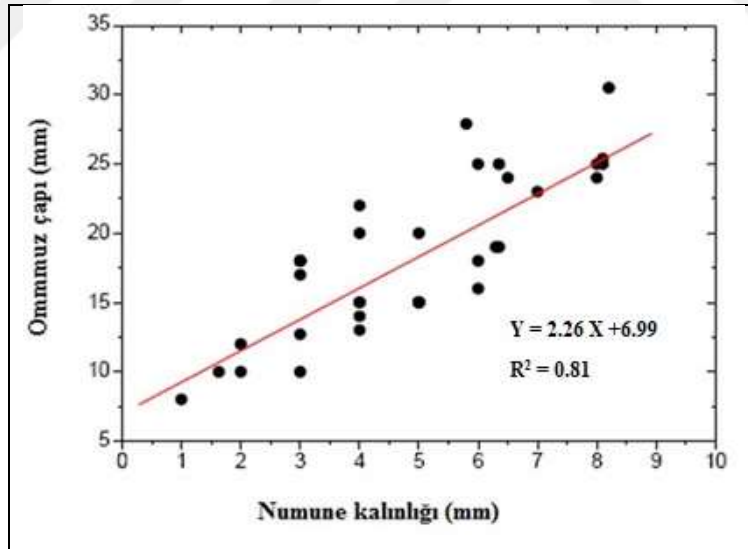
SKK işlemi esnasında levhaların emniyetli ve sabit konumlandırılması amacı ile freze tezgâhına bağlanabilir özel bir kalıp tasarımı ve imalatı yapılmıştır. Kalıp, hem freze tezgâhına bağlanabilecek hem de üzerine sabitlenebilecek alüminyum alaşımı levhalara uygun bir tasarımda yapılmıştır. Kaynatılacak levhaların kalıp üzerine sabitlenmesi, piyasadan temin edilen M10 cıvatalar ile sağlanmıştır. Şekil 3.3.'de imalatı yapılan kalıp gösterilmiştir.



Şekil 3.3. İmalatı yapılan sürtünme karıştırma kaynak kalıbı

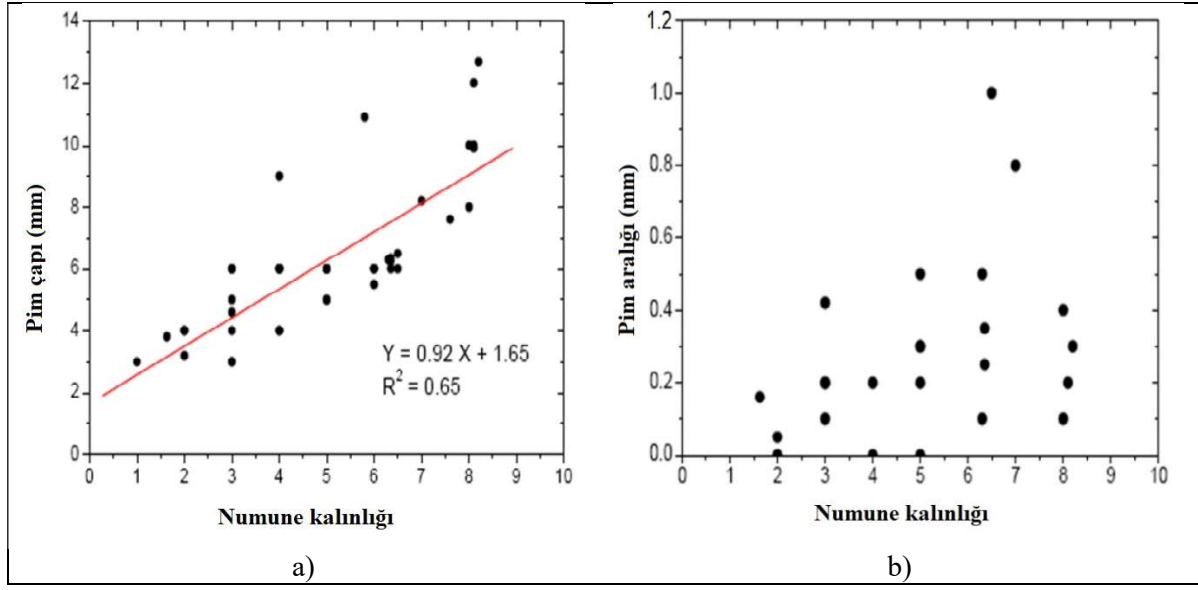
### 3.1.4. Sürtünme Karıştırma Kaynak Takımı

SKK yönteminde uygulanan basma kuvveti ve dönüş hızı değişkenleri, ısı girişi fonksiyonuna birinci dereceden (linear) etki ederken, omuz çapı üçüncü dereceden etki etmektedir [51,115]. Dolayısıyla sağlam bir kaynak elde edilmesi büyük ölçüde takım boyutuna bağlıdır. Ayrıca basma kuvveti de omuz yarıçapının bir fonksiyonudur. Literatürde çalışılmış 30 farklı numune için, omuz çapları ile levha kalınlıklarının yer aldığı etkileşim Şekil 3.4.'de görülmektedir [115].



Şekil 3.4. Levha kalınlıklarına göre omuz çaplarının değişimi [115]

SKK yönteminde kullanılmak üzere birçok takım ve pim profilleri geliştirilmiştir. Bunlar farklı malzemeleri, farklı parça kalınlıklarını ve bağlantı tiplerini birleştirmek için kullanılmıştır. İnce levhaların birleştirilmesinde (<12 mm) için en sık kullanılan takım profillerinden biri silindirik vidalı uçlardır. Omuz çapının tayinine benzer olarak, literatürde 28 farklı düzenek için, pim çapı ve pim aralığı, levha kalınlığının bir fonksiyonu olarak verilmiştir. Şekil 3.5.'de numune kalınlığına bağlı olarak pim çapı ve pim aralığının değişimi verilmiştir [115].



**Şekil 3.5.** a) Pim çapının numune kalınlığı ile değişimi b) Pim aralığının numune kalınlığı ile değişimi [115]

Şekil 3.6.'da gözlemlenen genel eğilim; 1 mm ile 8.3 mm aralığındaki levha kalınlıkları için uç çapının levha kalınlığına yaklaşık olarak eşit olmasıdır. Ayrıca, minimum uç çapı da yaklaşık olarak 3 mm'dir. Uç çapının alabileceği değer levha kalınlığına bağlı olarak değişim göstermektedir. Uç aralığı pim uzunluğu ile levha kalınlığı arasındaki boşluk mesafesidir [115].

Kaynak takımı olarak, yüksek sıcaklıklarda aşınma dayanımı ve tokluğunun yüksek olması ve kolay temin edilebilmesi nedeniyle H13 sıcak iş takım çeliği kullanılmıştır. Şekil 3.5.'de verilen grafik referans alınarak 4 mm kalınlıktaki alüminyum alaşımı levhalar için sırasıyla 16 mm, 20 mm ve 24 mm omuz çapında SKK takımları imal edilmiştir. Takım pim profili M5 vida olarak belirlenmiştir. Pim boyu kaynak işleminde kullanılacak levha kalınlığından 0.2 mm daha kısa tutulmuştur. Kaynak işleminde olası takım hasarına karşı her bir takımdan ikişer adet üretim yapılmıştır. Şekil 3.6.'da imalatı yapılmış kaynak takımları verilmiştir.



**Şekil 3.6.** İmalatı yapılmış SKK takımları



### 3.1.5. Kesme ve Zımparalama/Parlatma Cihazları

Mikroyapı, sertlik ve korozyon deney numunelerinin hazırlanmasında Mersin Üniversitesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Laboratuvarında bulunan Metkon marka cihazlar kullanılmıştır. Şekil 3.7.'de kesme ve zımparalama/parlatma cihazları birlikte verilmiştir.



Şekil 3.7. a) Kesme makinesi, b) Zımparalama/parlatma cihazları

### 3.1.6. Sürtünme Karıştırma Kaynak Muayene Yöntemlerinde Kullanılan Teçhizatlar

#### 3.1.6.1. Çekme Deneyi Cihazı

Çekme deneyi Kentpar Otomotiv firması Ar-Ge kalite kontrol laboratuvarında bulunan LLOYD Instruments marka çekme deneyi cihazında gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.8.'de çekme deneyinde kullanılan çekme deneyi cihazı verilmiştir.



Şekil 3.8. Çekme deneyi cihazı

### 3.1.6.2. Eğme Deneyi Cihazı

Eğme deneyi Özbal Çelik Boru San. Tic ve Taah. AŞ firması bünyesinde kalite kontrol bölümünde ALŞA marka çekme-bükme deneyi cihazında gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.9.'da eğme deneyinde kullanılan çekme-bükme deneyi cihazı verilmiştir.



Şekil 3.9. Çekme-bükme deneyi cihazı

### 3.1.6.3. Mikrosertlik Ölçüm Cihazı

Mikrosertlik ölçüm deneyi Mersin Üniversitesi Makine Mühendisliği malzeme test laboratuvarında bulunan Vickers (HV) mikrosertlik ölçüm test cihazında gerçekleştirildi. Şekil 3.10.'da mikrosertlik ölçüm deneyinde kullanılan deneyi cihazı verilmiştir.



Şekil 3.10. HV mikrosertlik ölçüm cihazı

### 3.1.6.4. Optik Mikroskop

Kaynak bölgesine ait metalografik incelemeler Mersin Üniversitesi İleri Teknoloji Eğitim, Araştırma ve Uygulama Merkezi laboratuvarında bulunan Zeiss marka polarize optik mikroskop kullanılarak yapılmıştır. Şekil 3.11.'de çalışmada kullanılan optik mikroskop cihazı verilmiştir.



Şekil 3.11. Optik mikroskop

### 3.1.6.5. SEM-EDS (Taramalı Elektron Mikroskobu) Cihazı

Kaynaklı bağlantıların mikroyapı özelliklerinin ve kantitatif kimyasal analizi incelenmelerinde Çukurova Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı bünyesinde bulunan FEI marka SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu)-EDS (Enerji Dispersiv Spektrum) cihazı kullanılmıştır. Şekil 3.12.'de SEM-EDS cihazı verilmiştir.



Şekil 3.12. SEM-EDS (Taramalı Elektron Mikroskobu) cihazı

### 3.1.6.7. Hassas Terazi

Korozyon deneyi sürecinde ağırlık kayıplarının ölçümü Tarsus Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Kimya Laboratuvarında bulunan Yıldırım tartı marka hassas terazi ile yapılmıştır. Kullanılan terazi 0.001 g hassasiyettir. Şekil 3.13.'de ağırlık kaybı ölçümünde kullanılan terazi verilmiştir.



Şekil 3.13. Hassas terazi

### 3.2. Yöntem

#### 3.2.1. Sürtünme Karıştırma Kaynak Yönteminin Uygulanması

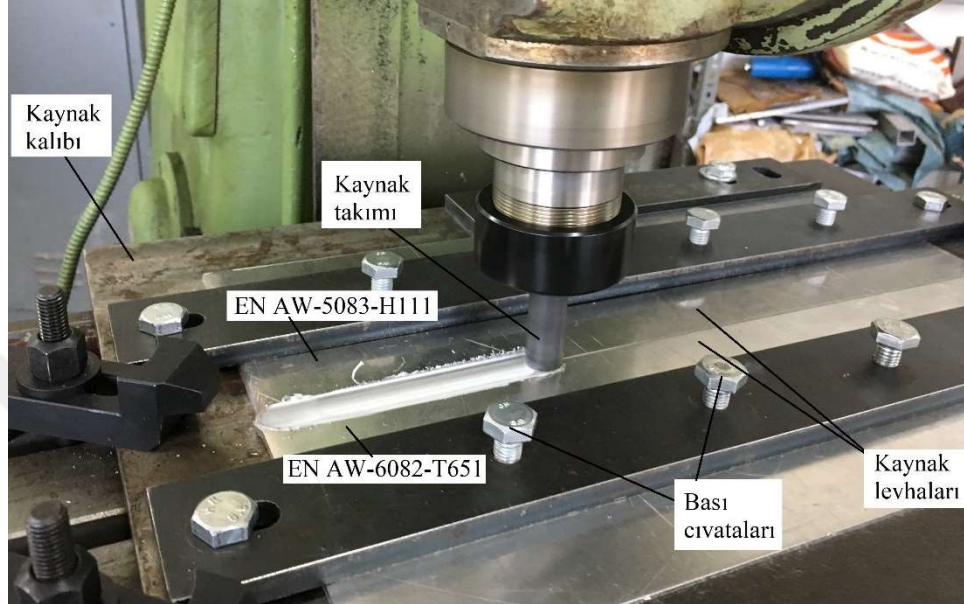
Tez çalışmasında üç farklı takım omuz çapı, üç farklı takım devri ve üç farklı takım ilerleme hızı kullanılarak 27 parametrede kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir. Takım omuz çapı olarak 16 mm, 20 mm ve 24 mm omuz çapında takımlar kullanılmıştır. Takım devir sayıları ise 710 dev /dk., 1000 dev/dk. ve 1400 dev/dk olarak tayin edilmiştir. 1400 devrin üzerinde çalışıldığında freze tezgâhı kontaktör arızası vermiştir. Bu sebepten ötürü üst çalışma devri olarak 1400 dev/dk. seçilmiştir. Belirlenen takım devir sayıları literatüre uygun aralıktadır [52]. Takım ilerleme hızları, 56 mm/dk., 112 mm/dk. ve 160 mm/dk. olarak seçilmiştir. Tablo 3.5.'de 27 parametrede yapılan sürtünme karıştırma kaynak işlemi ve parametre kodları verilmiştir. Parametre kodlarında O harfi takım omuz çapını, D harfi takım devir sayısını ve İ harfi takım ilerleme hızını ifade etmektedir.

**Tablo 3.5.** Kaynak parametreleri ve parametre kodları

Parametreler	Omuz Çapı	Takım Devri	İlerleme Hızı	Parametre Kodu	
1.	16 mm	710 dev/dk.	56 mm/dk.	1-O16-D710-İ56	
2.			112 mm/dk.	2-O16-D710-İ112	
3.			160 mm/ dk.	3-O16-D710-İ160	
4.		1000 dev/ dk.	1000 dev/ dk.	56 mm/ dk.	4-O16-D1000-İ56
5.				112 mm/ dk.	5-O16-D1000-İ112
6.				160 mm/dk	6-O16-D1000-İ160
7.		1400 dev/ dk.	1400 dev/ dk.	56 mm/ dk.	7-O16-D1400-İ56
8.				112 mm/ dk.	8-O16-D1400-İ112
9.				160 mm/dk	9-O16-D1400-İ160
10.	20 mm	710 dev/ dk.	56 mm/dk.	10-O20-D710-İ56	
11.			112 mm/dk.	11-O20-D710-İ112	
12.			160 mm/dk.	12-O20-D710-İ160	
13.		1000 dev/ dk.	1000 dev/ dk.	56 mm/dk.	13-O20-D1000-İ56
14.				112 mm/dk.	14-O20-D1000-İ112
15.				160 mm/dk.	15-O20-D1000-İ160
16.		1400 dev/ dk.	1400 dev/ dk.	56 mm/dk.	16-O20-D1400-İ56
17.				112 mm/dk.	17-O20-D1400-İ112
18.				160 mm/dk.	18-O20-D1400-İ160
19.	24 mm	710 dev/ dk.	56 mm/dk.	19-O24-D710-İ56	
20.			112 mm/dk.	20-O24-D710-İ112	
21.			160 mm/dk.	21-O24-D710-İ160	
22.		1000 dev/ dk.	1000 dev/ dk.	56 mm/dk.	22-O24-D1000-İ56
23.				112 mm/dk.	23-O24-D1000-İ112
24.				160 mm/dk.	24-O24-D1000-İ160
25.		1400 dev/ dk.	1400 dev/ dk.	56 mm/dk.	25-O24-D1400-İ56
26.				112 mm/dk.	26-O24-D1400-İ112
27.				160 mm/dk.	27-O24-D1400-İ160

Kaynak işlemi dört adımda uygulanmıştır. Birinci adım; takım omzunun yeterli basınç oluşturmaya kadar pimin malzemeye dalması, ikinci adım; malzemenin yumuşaması için bekleme

süresi, üçüncü adım; ilerleme ve son adım olarak takımın malzemeden çıkarılmasıdır. Kaynak işleminde takıma  $2^\circ$  eğim açısı verilmiştir. Bu açı kaynak sürecinde malzeme yüzeyinden talaş kaldırılmasını önlemiştir. Takıma ilerleme hareketi verilmeden önce takım kaynak yüzeyinde 60 saniye bekletilmiştir. Bu bekleme süresi kaynak işlemi için gereken ısıyı sağlamak amacıyla belirlenmiştir. Sürtünme karıştırma kaynak işleminin uygulanışı Şekil 3.14.'de verilmiştir.



Şekil 3.14. SKK işleminin uygulanışı

Kaynak işleminde takım saat yönünde dönerken EN AW-5083- H111 Al alaşımı levha ilerleme bölgesinde ve EN AW-6082-T651 Al alaşımı levha yığılma bölgesinde konumlandırılmıştır.

### 3.2.2. Sürtünme Karıştırma Kaynak İşlemi Sonrası Numunelerin Hazırlanması

#### 3.2.2.1. Çekme Deney Numunesi ve Deney Yöntemi

Çekme deneyinde kullanılacak numuneler TS EN ISO 6892-1 (Metalik malzemeler - Çekme deneyi-bölüm 1: Oda sıcaklığında deney metodu) standardına göre hazırlanmıştır. Kaynak yapılmış levhalar şerit testereyle kesildikten sonra freze tezgâhında nihai deney numunesi boyutlarına getirilmiştir. Çalışılan her parametre için iki adet çekme deney numunesi hazırlanmıştır. Çekme deneyi oda sıcaklığında 1 mm/dk hızda gerçekleştirilmiştir. Çekme deneyi standarda göre hazırlanan numuneler Şekil 3.15.'de verilmiştir.



Şekil 3.15. TS EN ISO 6892-1 standardına göre hazırlanmış çekme deneyi numuneleri

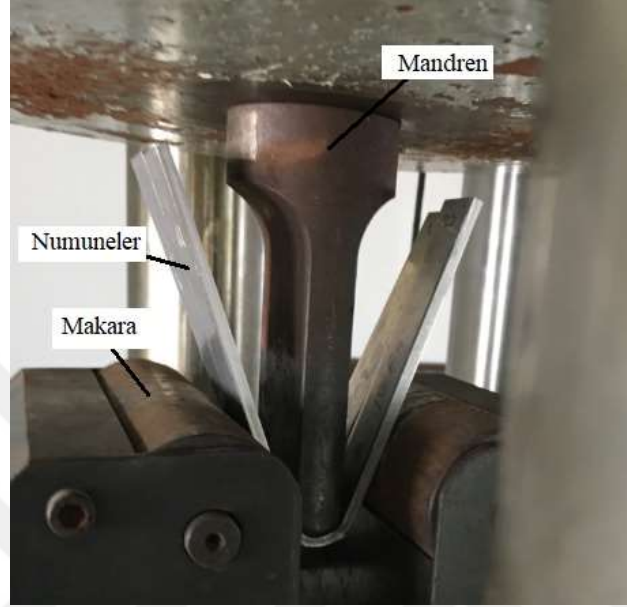
### 3.2.2.2. Eğme Deneyi Numunesi ve Deney Yöntemi

Eğme deneyi kaynaklı bağlantıların sünekliği ve şekillendirilebilirliğini tespit etmek amacı ile yapılmaktadır. Eğme testleri kep eğme, kök eğme ve yan eğme olarak uygulanmaktadır [116, 117]. Eğme deneyinde kullanılacak numuneler TS 5173 (Metalik malzemelerde kaynak dikişleri üzerinde tahribatlı muayeneler-eğme deneyleri) standardına göre hazırlanmıştır. Kaynaklı birleştirmeler, şerit testere ile kesildikten sonra freze tezgâhında nihai boyutlarına getirilmiştir. TS 5173 standardına göre hazırlanan eğme deneyi numuneleri Şekil 3.16.'da verilmiştir.



Şekil 3.16. TS 5173 standardına göre hazırlanmış eğme deneyi numuneleri

Eğme deneyi 20 mm/dk. hızında kök ve kep eğme şeklinde yapılmıştır. Kök eğmede kaynaklı levhanın alt yüzeyi eğilmeye zorlanırken kep eğmede kaynak yüzeyi eğilmeye karşı zorlanmaktadır. Deneyde kullanılan eğme mandreni 15 mm çapta ve eğilme aralığı 25 mm olarak seçilmiştir. Eğme deneyinin uygulanaşına ait fotoğraf Şekil 3.17.'de verilmiştir.

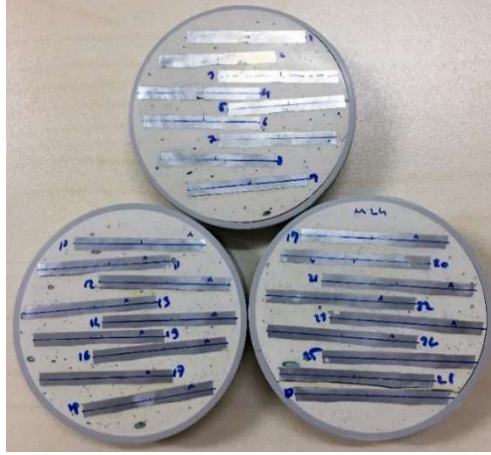


Şekil 3.17. Eğme deneyinin uygulanaşını

### 3.2.2.3. Optik Mikroskop ve Mikrosertlik Numune Hazırlık Yöntemi

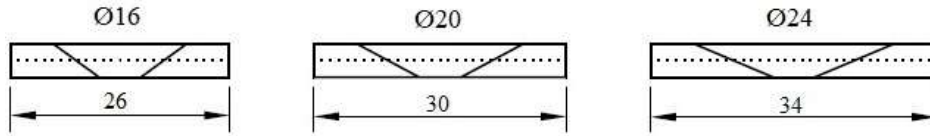
Kaynaklı bölgelerin makro ve mikro incelemeleri ile sertlik özelliklerinin değişimi için her bir kaynak parametresinden takım omuz genişliğinin 10 mm fazlasını kapsayacak şekilde deney numuneleri çıkarılmıştır. Numuneler piyasada çelik macun diye adlandırılan polyester macun ile kalıplanmıştır. Numuneler sırayla 240-320-400-600-800-1000-1200-1500-1800 ve 2000 kum SiC su zımparası ile zımparalanmış ve parlatılmıştır. Parlatma işlemi sonrası yüzeyler 25 ml metanol, 25 ml hidroklorik asit, 25 ml nitrik asit ve 1 damla hidroflorik asit karışımından hazırlanan çözeltisinde 60 sn. süre ile dağlanmış [114]. Daęlama sonrası numuneler duru su ile yıkanmıştır. Optik mikroskop incelemeleri ve sertlik ölçümlerinde kullanılan numuneler Şekil 3.18.'de görölmektedir.





Şekil 3.18. Optik mikroskop incelemeleri ve mikrosertlik ölçüm numuneleri

Mikrosertlik ölçümleri Vickers ölçüm cihazı kullanılarak kaynak kesitinden yapılmıştır. Ölçümler kaynak merkezinden başlayarak 1 mm aralıklarla yapılmıştır. Sertlik ölçümü 200 g yük ile 15 sn. bekleme süresinde gerçekleştirilmiştir. Mikrosertlik ölçüm işlemine ait şematik gösterim Şekil 3.19.'da verilmiştir.



Şekil 3.19. Mikrosertlik ölçüm işlemine ait şematik gösterim

#### 3.2.2.4. Korozyon Deneyi

27 parametrede birleştirilen kaynaklı bağlantıların korozyon deneyi oda sıcaklığında %3.5 NaCl + %1 HCl çözeltisi içerisinde ağırlık kaybı ölçümüne göre yapılmıştır [118-120]. Çözelti miktarı numune yüzey alanına bağlı olarak 0.6 ml/mm<sup>2</sup> olacak şekilde hazırlanmıştır [120]. Korozyon deneyi öncesi malzemeler kaynak omuz genişliğine bağlı olarak 16×11×4 mm, 20×11×4 mm ve 24×11×4 mm boyutlarında kesilmiştir. Korozyon etkisinin gözlemleneceği yüzey 240-320-400-600-800-1000-1200-1500-1800 kum su zımparası ile zımparalanmıştır. Korozyon deneyinde ağırlık kaybı ölçümleri 12 saat aralıklarla toplamda 72 saat olacak şekilde 0.001 g hassasiyete sahip elektronik terazi kullanılarak yapılmıştır. Deneye ait sonuçlar numunenin birim yüzey alanı başına düşen ağırlık kaybına ( $g \times mm^{-2}$ ) göre hesaplanmıştır. Korozyon hızı hesabı, birim yüzey alanı başına meydana gelen ağırlık kaybının deney süresine oranı ( $g \times mm^{-2} \times sa^{-1}$ ) ile belirlenmiştir [118]. Korozyon deneyi sonrası numuneler optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskobunda incelenmiş ve korozyon bölgesinin kimyasal analizi EDS ile tayin edilmiştir.

#### 4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Tez çalışmasının bu bölümünde farklı parametrelerde birleştirilen levhaların bağlantı karakteristikleri ve korozyon davranışları literatürdeki çalışmalarla birlikte değerlendirilerek tartışılmıştır. Bölüm içeriği materyal ve yöntemde izlenen sıraya uygun olarak oluşturulmuştur.

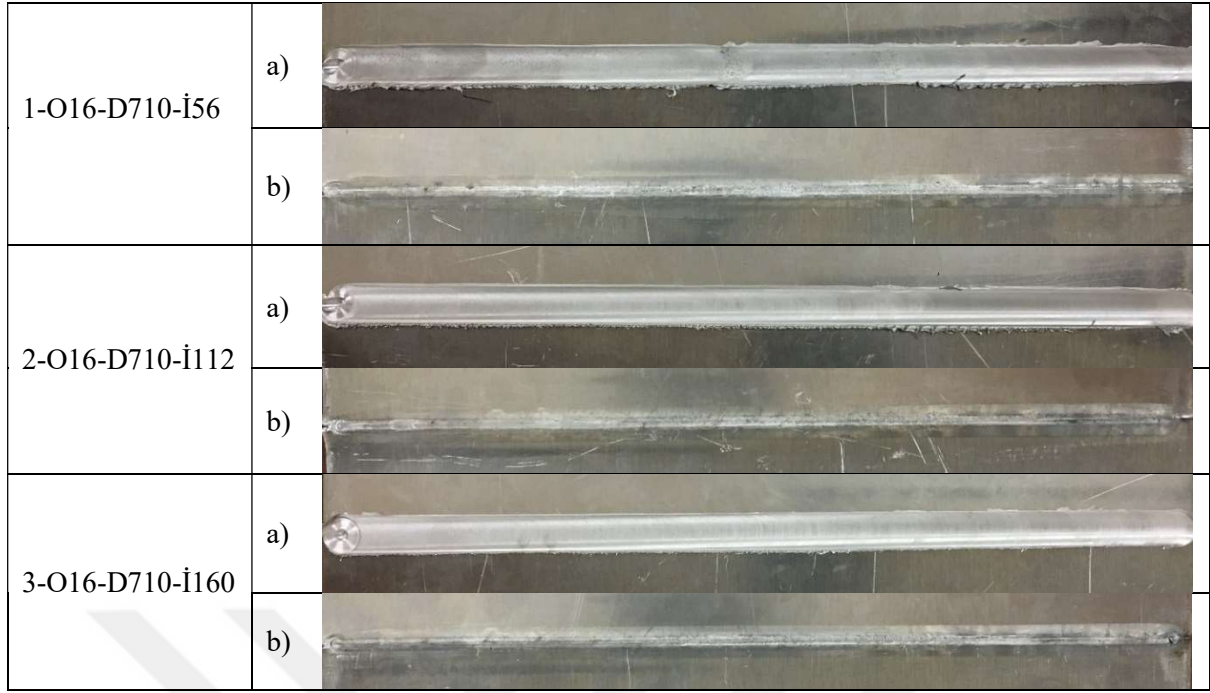
##### 4.1. Kaynaklı Levhaların Yüzey Yapıları

Takım geometrisi kaynak parametrelerini belirleyen faktörlerden biridir. SKK takımı, kaynak işleminde birleşimi sağlayan ısıyı ve aynı zamanda plastik hale gelen malzemenin karışımını sağlar. Takım omuz çapı büyüdükçe daha geniş bir temas alanı oluşur. Bu durum yüksek sürtünme ve mekanik iş oluşumu ile sıcaklık artışına sebep olur [121-125].

Takım devri ve takım ilerleme hızları, kaynaklı birleştirmelerin yapıları üzerinde etkili olan diğer faktörler arasındadır. Bu temel faktörlerle farklı kaynak parametreleri ve farklı bağlantı özellikleri elde edilmektedir [126,127]. Takım devri kaynak bölgesinde ısı oluşumunu etkileyen birincil faktördür [51,128].

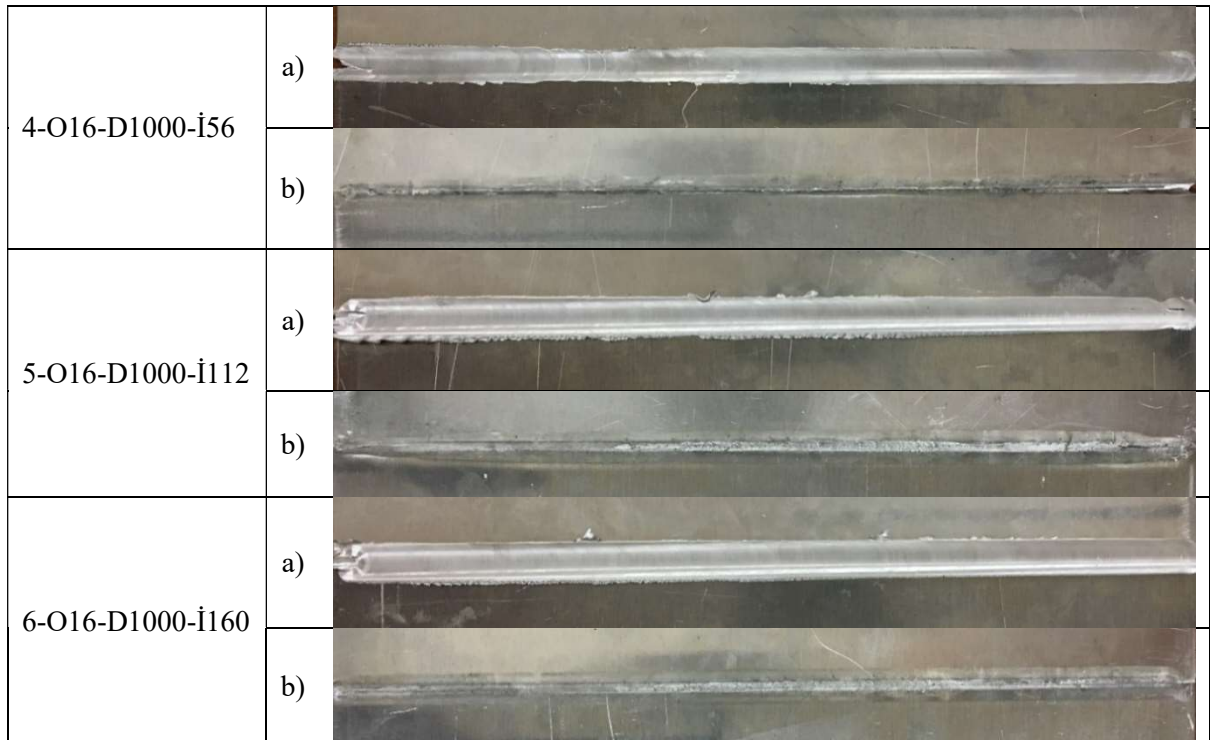
Tez çalışmasında farklı parametrelerle elde edilen kaynaklı bağlantılarda, literatürde belirtilen faktörlere bağlı olarak farklı yüzey morfolojileri elde edilmiştir. Kaynak işlemi sonrasında her bir plaka çiftinden elde edilen bağlantıların kaynak yüzeyi ve kaynak kökü gözle incelenmiştir. İncelemeler sonucunda kaynaklı bağlantıların sürekliliği, omuz temas yüzey genişliği, takım dalma derinliği ve takım kök nüfuziyetinin kabul edilir sınırlar içerisinde olduğu tespit edilmiştir.

16 mm omuz çapında takım kullanılarak birleştirilen kaynaklı numunelerin kaynak yüzey ve kök görüntüleri Şekil 4.1.-Şekil 4.3.'de verilmiştir.



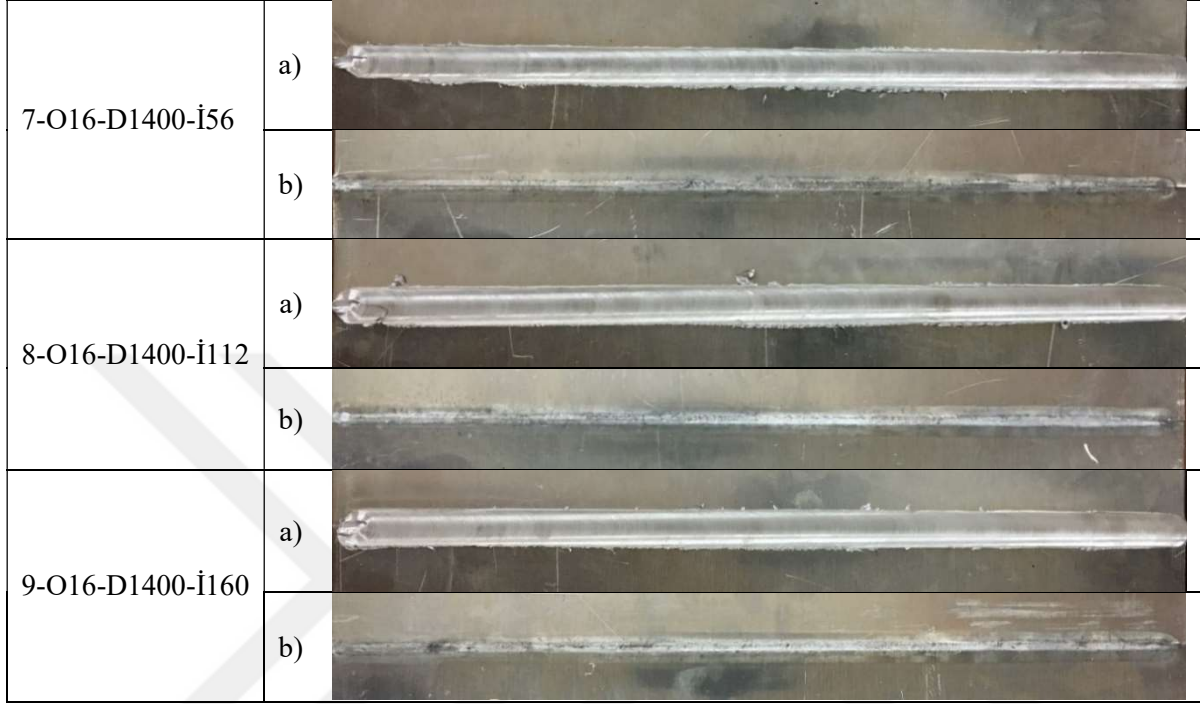
**Şekil 4.1.** 16 mm takım omuz çapı ve 710 dev/dk. takım dönme hızında elde edilen kaynaklı numuneler a) Kaynak yüzeyi, b) Kaynak kökü

Şekil 4.1.'deki görüntüler incelendiğinde bu seride en iyi kaynak yüzey yapısı 3-O16-D710-İ160 parametrede yapılan bağlantıdan elde edilmiştir. En kötü yüzey yapısı ise 1-O16-D710-İ56 parametreye ait olduğu görülmüştür.



**Şekil 4.2.** 16 mm takım omuz çapı ve 1000 dev/dk. takım dönme hızında elde edilen kaynaklı numuneler a) Kaynak yüzeyi, b) Kaynak kökü

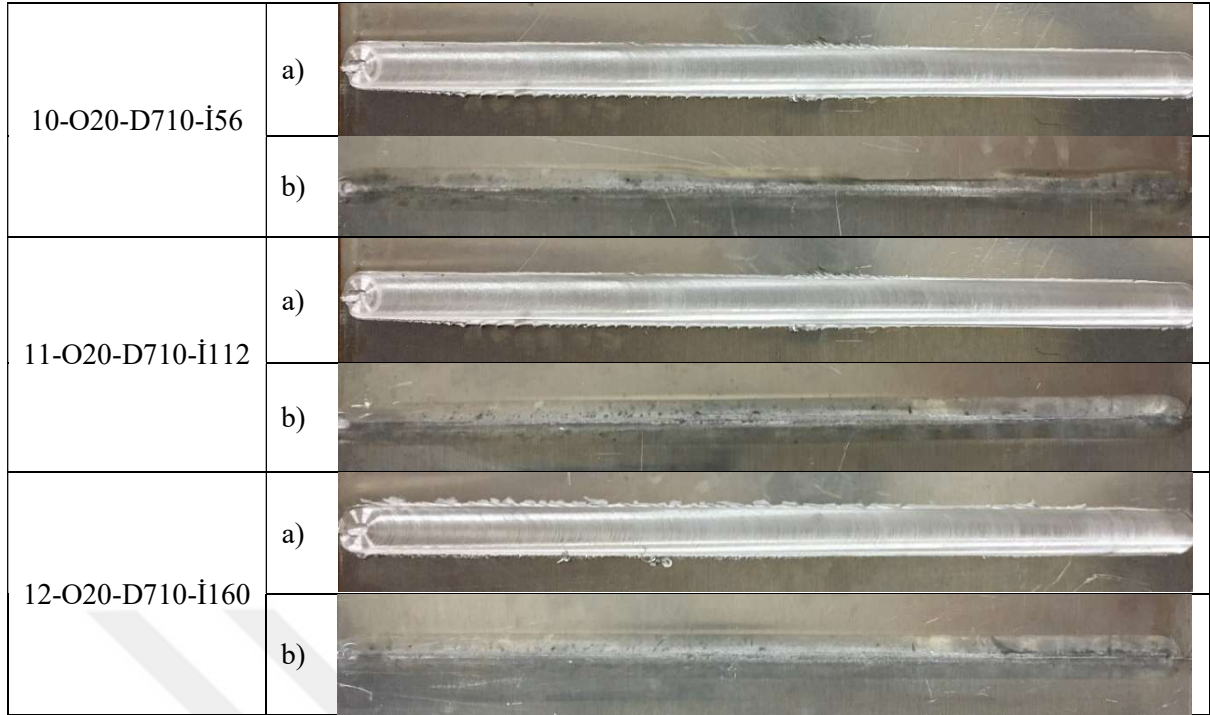
Şekil 4.2.'deki görüntüler incelendiğinde bu seride en iyi kaynak yüzey yapısı 6-O16-D1000-İ160 parametrede yapılan bağlantıdan elde edilmiştir. En kötü yüzey yapısı ise 4-O16-D1000-İ56 parametreye ait olduğu görülmüştür. 4-O16-D1000-İ56 parametrede omuz temas genişliğinin nispeten dar olduğu tespit edilmiştir.



**Şekil 4.3.** 16 mm takım omuz çapı ve 1400 dev/dk. takım dönme hızında elde edilen kaynaklı numuneler a) Kaynak yüzeyi, b) Kaynak kökü

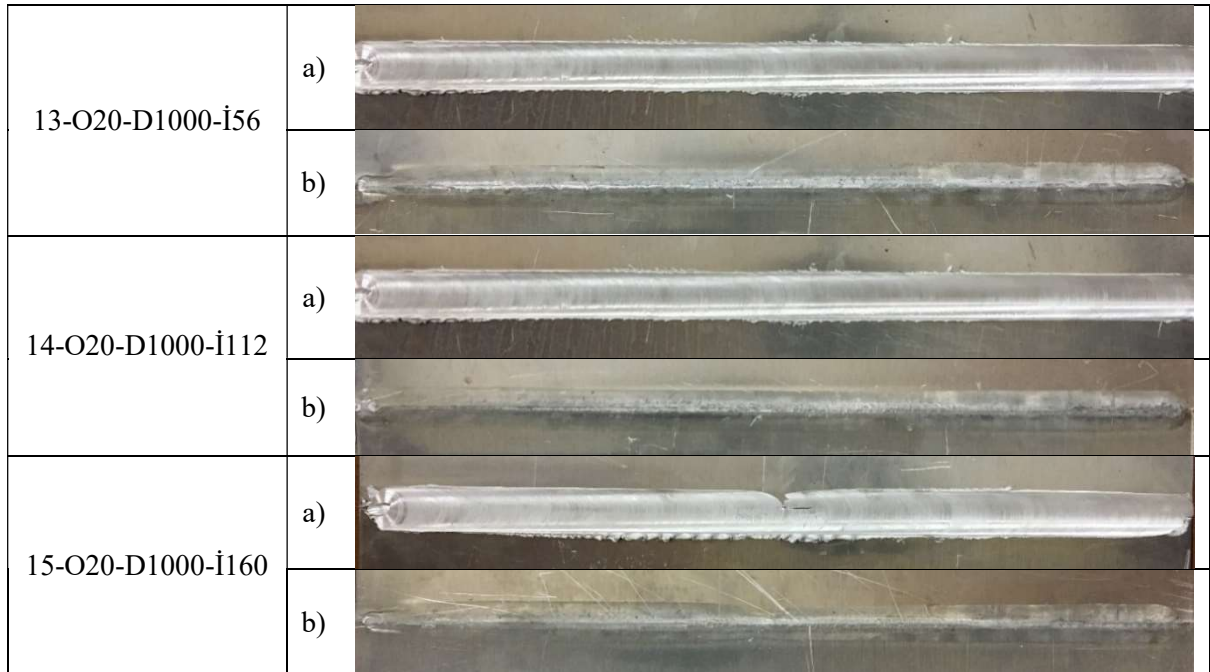
Şekil 4.3.'deki görüntüler incelendiğinde bu seride 9-O16- D1400-İ160 parametrede yapılan bağlantının kaynak yüzey yapısının diğer parametrelere kıyasla daha düzgün olduğu görülmüştür. Genel olarak kaynak kök tarafı incelendiğinde takım omuz genişliğinde hafif belirgin bir iz ve pim genişliğinde belirgin bir kaynak izi görülmüştür.

20 mm omuz çapındaki takım kullanılarak birleştirilen kaynaklı numunelerin kaynak yüzey ve kök görüntüleri Şekil 4.4.-Şekil 4.6.'da verilmiştir.



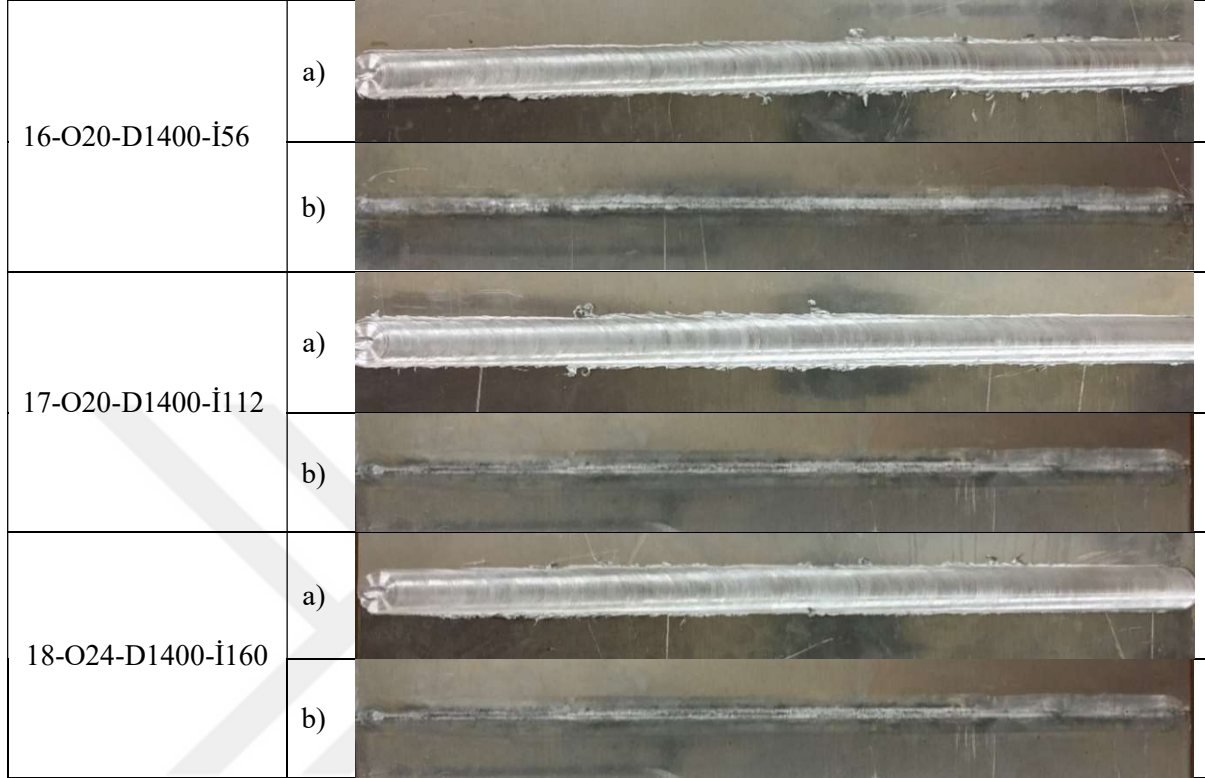
**Şekil 4.4.** 20 mm takım omuz çapı ve 710 dev/dk. takım dönme hızında elde edilen kaynaklı numuneler  
a) Kaynak yüzeyi, b) Kaynak kökü

Şekil 4.4.'deki görüntüler incelendiğinde bu seride tüm parametrelerdeki kaynak yüzey ve kök görüntülerinin birbirine benzer olduğu görülmüştür.



**Şekil 4.5.** 20 mm takım omuz çapı ve 1000 dev/dk. takım dönme hızında elde edilen kaynaklı numuneler  
a) Kaynak yüzeyi, b) Kaynak kökü

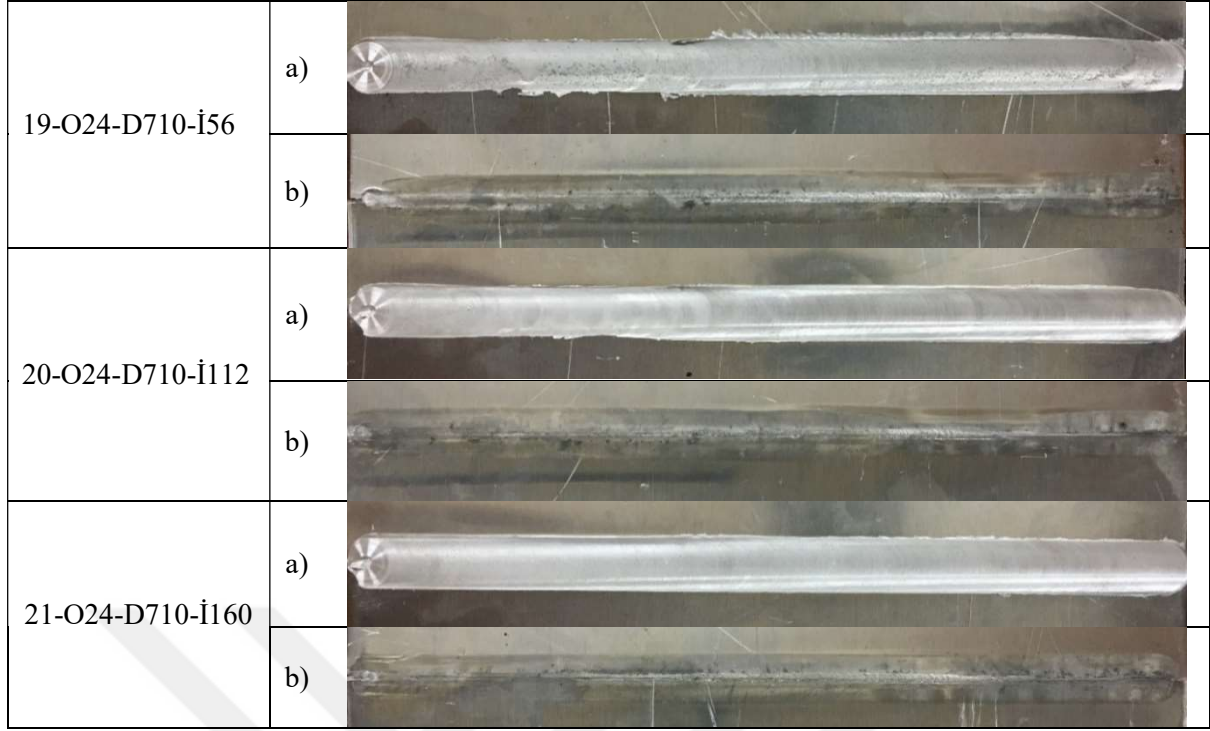
Şekil 4.5.'deki görüntüler incelendiğinde bu seride en iyi kaynak yüzey ve kök yapısı 15-O20-D1000-İ160 parametrede yapılan bağlantıdan elde edilmiştir. Diğer iki parametrede belirgin omuz izleri oluşmuştur. Bu izlerin düşük ilerleme hızından ötürü oluştuğu düşünülmektedir.



**Şekil 4.6.** 20 mm takım omuz çapı ve 1400 dev/dk. takım dönme hızında elde edilen kaynaklı numuneler a) Kaynak yüzeyi, b) Kaynak kökü

Şekil 4.6.'daki görüntüler incelendiğinde bu seride en iyi kaynak yüzey yapısı 18-O24-D1400-İ160 parametre ile yapılan bağlantıdan elde edilmiştir. Diğer iki parametrede belirgin omuz izleri oluşmuştur. Bu izlerin düşük ilerleme hızından ötürü oluştuğu düşünülmektedir.

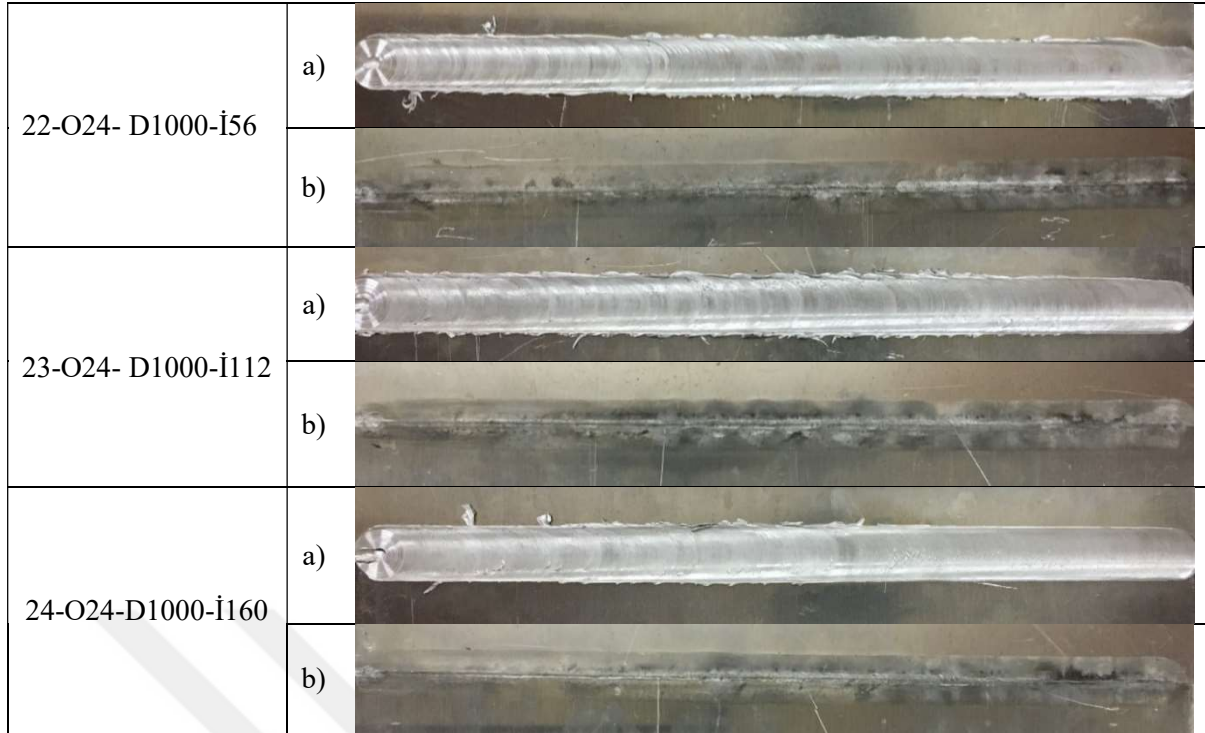
24 mm omuz çapındaki takım kullanılarak birleştirilen kaynaklı numunelerin kaynak yüzey ve kök görüntüleri Şekil 4.7.-Şekil 4.9.'da verilmiştir.



**Şekil 4.7.** 24 mm takım omuz çapı ve 710 dev/dk. takım dönme hızında elde edilen kaynaklı numuneler  
a) Kaynak yüzeyi, b) Kaynak kökü

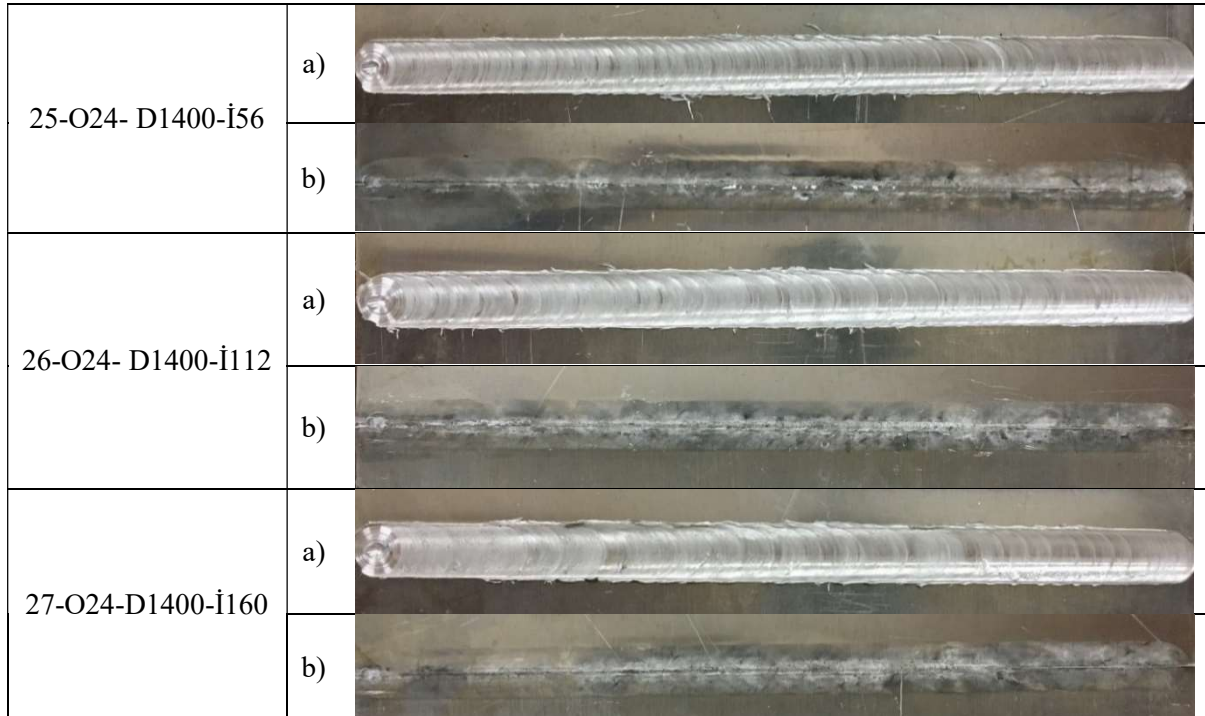
Şekil 4.7.'deki görüntüler incelendiğinde bu seride en iyi kaynak yüzey yapısı 21-O24-D710-İ160 parametre ile yapılan bağlantıdan elde edilmiştir. En kötü yüzey yapısı ise 19-O24-D710-İ56 parametre ile yapılan kaynaklı bağlantıdan elde edilmiştir. Yüzeyde oluşan izlerin düşük ilerleme hızından ötürü oluştuğu düşünülmektedir.

24 mm omuz çapı, kaynak parametrelerini oluşturan faktörler arasında takım devir sayısının ardından kaynak bölgesinde ısı oluşumunu etkileyen ikinci etken faktör olduğu düşünüldüğünde 24 mm omuz çapı kullanılarak yapılan kaynaklı bağlantılarda yüksek devir ve düşük ilerleme hızlarında daha fazla deforme olmuş kaynak yüzey yapısı görülmüştür.



**Şekil 4.8.** 24 mm takım omuz çapı ve 1000 dev/dk. takım dönme hızında elde edilen kaynaklı numuneler  
a) Kaynak yüzeyi, b) Kaynak kökü

Şekil 4.8.'deki görüntüler incelendiğinde bu seride en iyi kaynak yüzey yapısı 24-O24-D1000-İ160 parametrede yapılan bağlantıdan elde edilmiştir. Diğer parametrelerde birleştirilen yüzey yapıları benzerlik göstermektedir.



**Şekil 4.9.** 24 mm takım omuz çapı ve 1400 dev/dk. takım dönme hızında elde edilen kaynaklı numuneler  
a) Kaynak yüzeyi, b) Kaynak kökü



Şekil 4.9.'daki görüntüler incelendiğinde bu seride en iyi kaynak yüzey yapısı 27-O24-D1400-İ160 parametrede yapılan bağlantıdan elde edilmiştir. Diğer parametrelerde birleştirilen yüzey yapıları benzerlik göstermektedir.

SKK ile birleştirilen levhalarda takım omuz çapı ve devir hızı artıkça kaynak yüzey yapısında halkalı bir iz meydana gelmiştir. Bu durum artan devir sayısı sonrası sıcaklık yükselişi ve dolayısıyla yüzeyde deformasyon artışına sebebiyet verdiği düşünülmektedir [128].

#### 4.2. Çekme Deneyi Bulguları

Çekme deneyi 27 parametrede birleştirilen, her bir kaynaklı levhadan ikişer adet numuneye uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Çekme deneyi sonrasında kaynaklı bağlantıların ortalama akma gerilmesi, ortalama çekme gerilmesi ve % uzama değerleri belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan n EN AW-5083-H111 alaşımı levhaya ait mukavemet ve % uzama değerleri 170 MPa akma, 310 MPa çekme ve %17 uzama olarak verilmiştir [112]. EN AW-6082-T651 alaşımı levhaya ait mukavemet ve % uzama değerleri maksimum 270 MPa akma, maksimum 330 MPa çekme ve % 16 uzama olarak verilmiştir [112].

Tablo 4.1.'de farklı 27 parametrede birleştirilen alüminyum alaşımı plakalara ait çekme deney sonuçları verilmiştir.

**Tablo 4.1.** Çekme deneyi sonuçlarına ait mukavemet değerleri ve % uzama miktarı

Parametre Kodu	Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	% Uzama
1-O16-D710-İ56	202,76	209,43	3,81
2-O16-D710-İ112	205,21	219,73	4,97
3-O16-D710-İ160	217,34	223,49	4,61
4-O16-D1000-İ56	136,63	159,55	2,28
5-O16-D1000-İ112	205,61	213,18	3,76
6-O16-D1000-İ160	216,28	230,43	5,44
7-O16-D1400-İ56	204,08	207,04	4,12
8-O16-D1400-İ112	209,96	212,53	4,33
9-O16-D1400-İ160	211,04	228,92	5,24
10-O20-D710-İ56	198,53	201,11	4,06
11-O20-D710-İ112	200,78	209,36	4,47
12-O20-D710-İ160	206,75	217,13	4,82
13-O20-D1000-İ56	197,29	200,30	4,02
14-O20-D1000-İ112	202,48	206,92	4,24
15-O20-D1000-İ160	207,86	220,81	4,95
16-O20-D1400-İ56	155,16	193,62	4,38
17-O20-D1400-İ112	201,80	212,63	5,02
18-O20-D1400-İ160	208,34	221,05	4,92

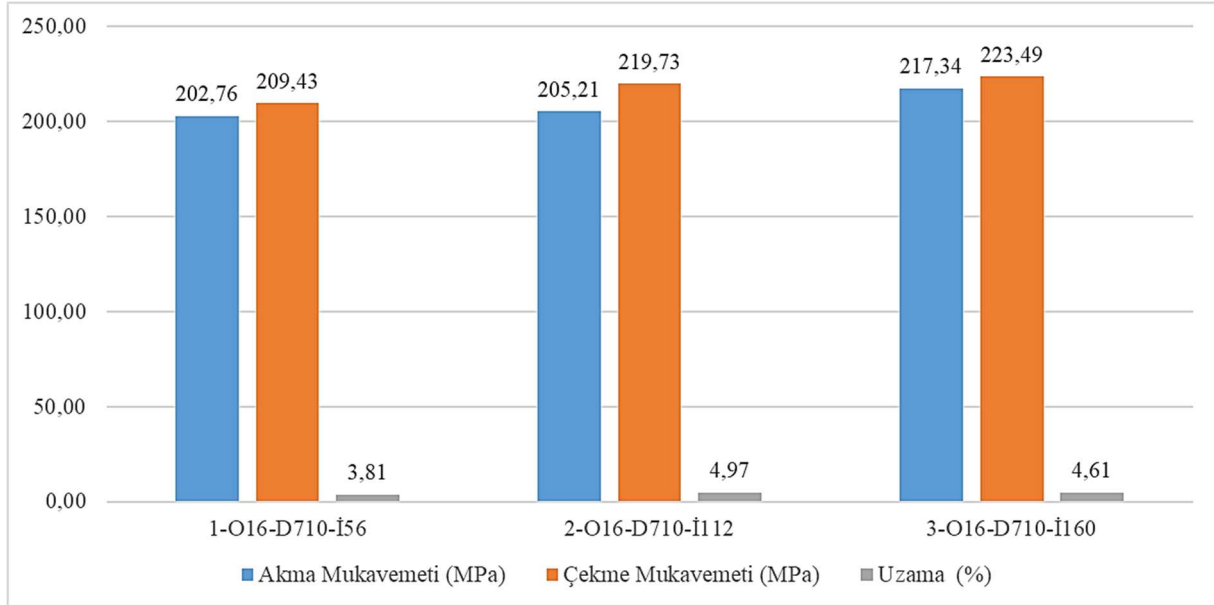
**Tablo 4.1.** (devamı) Çekme deney sonuçlarına ait mukavemet değerleri ve % uzama miktarı

19-O24-D710-İ56	195,17	196,43	4,19
20-O24-D710-İ112	197,67	200,96	4,29
21-O24-D710-İ160	206,29	213,98	4,49
22-O24-D1000-İ56	200,71	206,65	4,58
23-O24-D1000-İ112	201,60	211,05	4,84
24-O24-D1000-İ160	210,37	225,81	5,23
25-O24-D1400-İ56	197,23	200,58	4,17
26-O24-D1400-İ112	199,47	207,80	4,28
27-O24-D1400-İ160	201,59	214,76	4,93

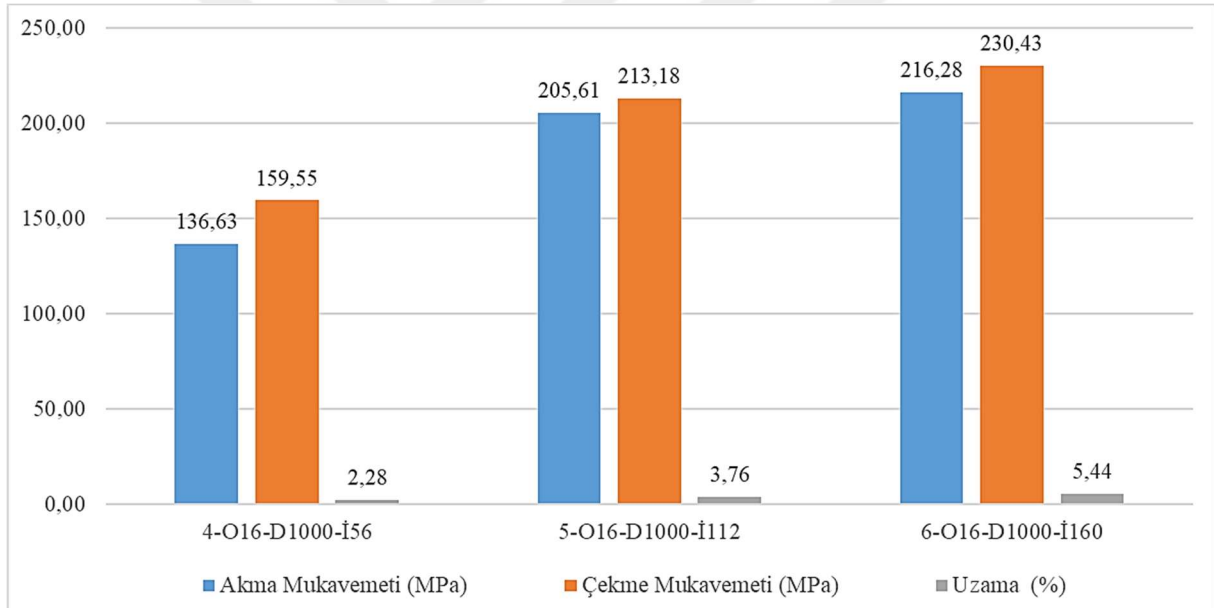
SKK'lı bağlantıların çekme deney sonuçları incelendiğinde (Tablo 4.1.) genel olarak kaynaklı bağlantılara ait mukavemet değerleri EN AW-6082-T651 esas metalinin akma dayanımının üzerinde iken, kaynaklı bağlantıların çekme mukavemeti her iki esas metalin mukavemet değerlerinin altında olduğu belirlenmiştir. Kaynaklı birleştirmelerin akma mukavemetleri 136-217 MPa, çekme mukavemetleri 159-230 MPa, % uzama 2.28-5.44 arasındaki değerlerde olduğu belirlenmiştir.

Deney sonuçlarına göre en yüksek çekme mukavemeti 230,43 MPa değeri ile 6-O16-D1000-İ160 kaynak parametresi kullanılarak birleştirilen numuneden elde edilmiştir. En düşük çekme mukavemeti ise 159,55 MPa ile 4-O16-D1000-İ56 kaynak parametresi kullanılarak üretilen numuneden elde edilmiştir. Tablo 4.1. incelendiğinde en yüksek çekme mukavemet değerleri 160 mm/dk. ilerleme hızında üretilen kaynaklı birleştirme numunelerinden elde edildiği görülmektedir. En düşük çekme mukavemet değerleri ise genel olarak 56 mm/dk. ilerleme hızında üretilen kaynaklı birleştirme numunelerinden elde edildiği görülmektedir. Çekme deneyi sonuçlarına göre SKK yöntemi ile birleştirilen levhalarda takım ilerleme hızının kaynak performansında etkili bir faktör olduğunu açıkça görülmektedir [129-131].

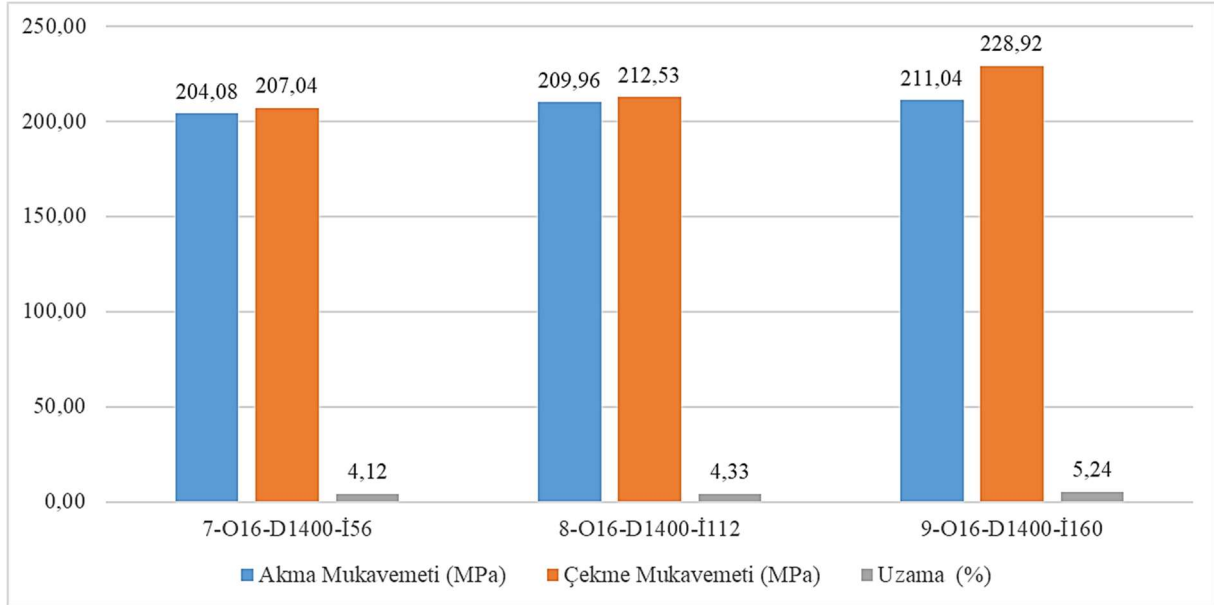
Tablo 4.1. incelendiğinde her bir omuz çapı ve takım devir sayısı sabit tutulduğunda takım ilerleme hızlarına bağlı olarak mukavemet değerlerinde artış olduğu görülmektedir. Takım ilerleme hızının kaynak mukavemeti üzerindeki etkilerini daha anlaşılır kılmak amacı ile omuz çapı ve takım dönme hızı sabit tutularak takım ilerleme hızına bağlı mukavemet değerlerine ait grafikler oluşturulmuştur. 16 mm omuz çapındaki takım kullanılarak birleştirilen kaynaklı bağlantıların çekme deneyi sonrasında elde edilen grafikler Şekil 4.10.-Şekil 4.12.'de verilmiştir.



Şekil 4.10. 16 mm takım omuz çapı ve 710 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin çekme deneyi grafikleri



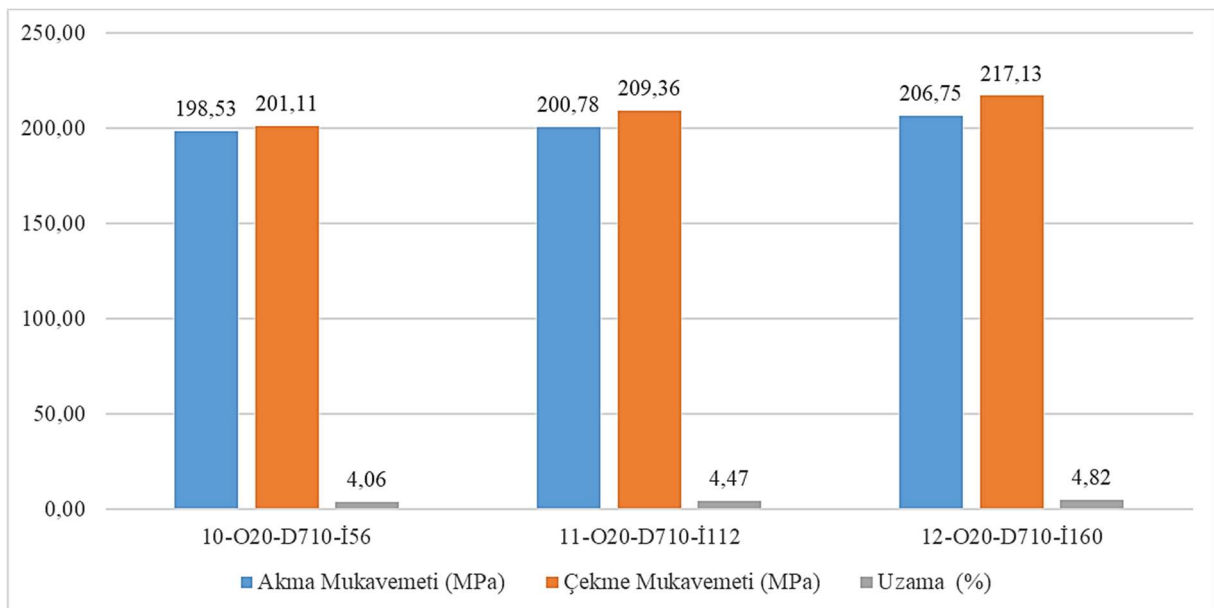
Şekil 4.11. 16 mm takım omuz çapı ve 1000 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin çekme deneyi grafikleri



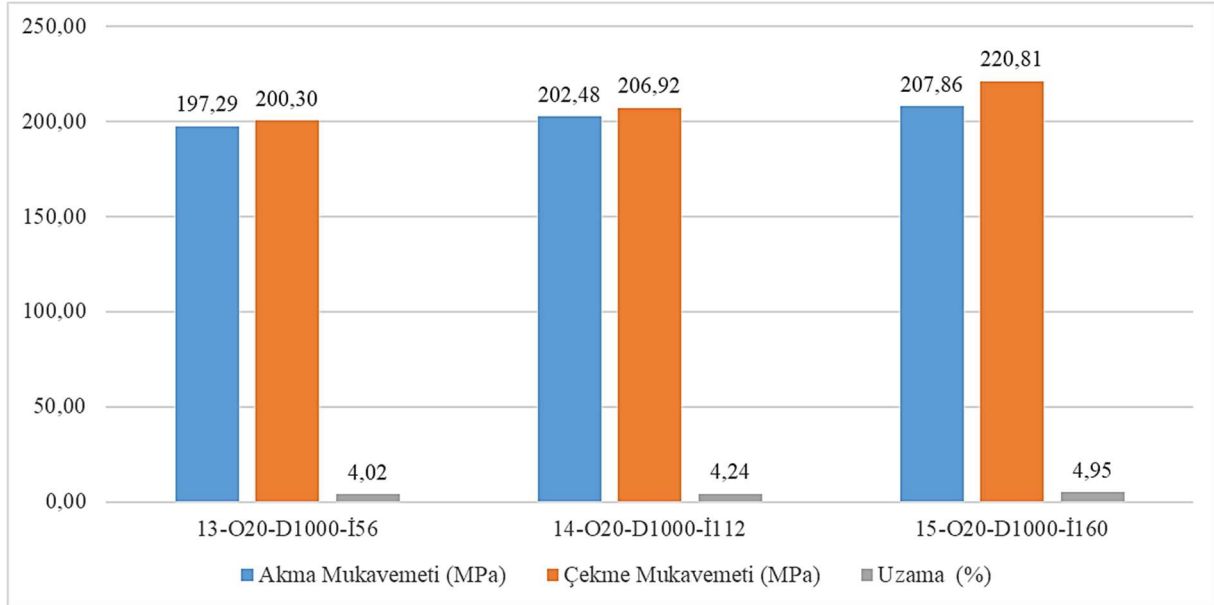
**Şekil 4.12.** 16 mm takım omuz çapı ve 1400 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin çekme deneyi grafikleri

16 mm takım omuzu kullanılarak yapılan kaynaklı birleştirmelerde artan takım ilerleme hızı sonucunda kaynak mukavemetinde de artış olduğu görülmüştür. 16 mm omuz çapının kullanıldığı parametrelerden en iyi kaynak mukavemetini yüksek devir ve yüksek ilerleme hızı ile sağlandığı görülmüştür. En düşük kaynak mukavemeti değerleri ise 56 mm/dk. ilerleme hızının kullanıldığı parametrelerde olduğu görülmüştür. 112 mm/dk. takım ilerleme hızı ile elde edilen kaynaklı bağlantıların mukavemet değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmüştür.

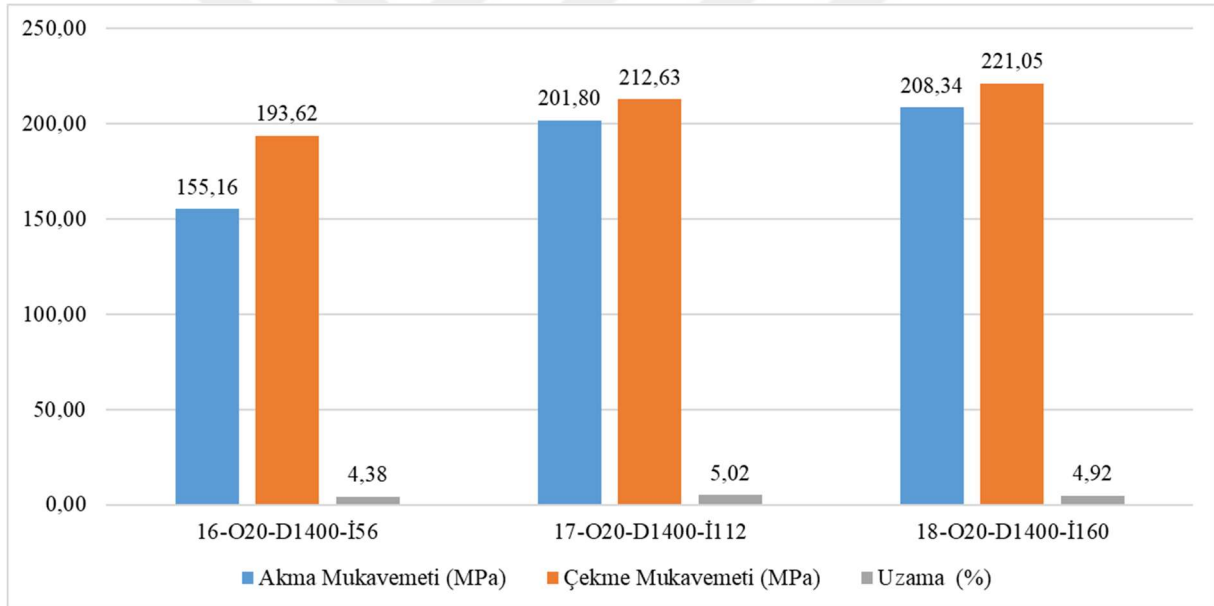
20 mm omuz çapındaki takım kullanılarak birleştirilen kaynaklı bağlantıların çekme deneyi sonrasında elde edilen grafikler Şekil 4.13.-Şekil 4.15.'de verilmiştir.



**Şekil 4.13.** 20 mm takım omuz çapı ve 710 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin çekme deneyi grafikleri



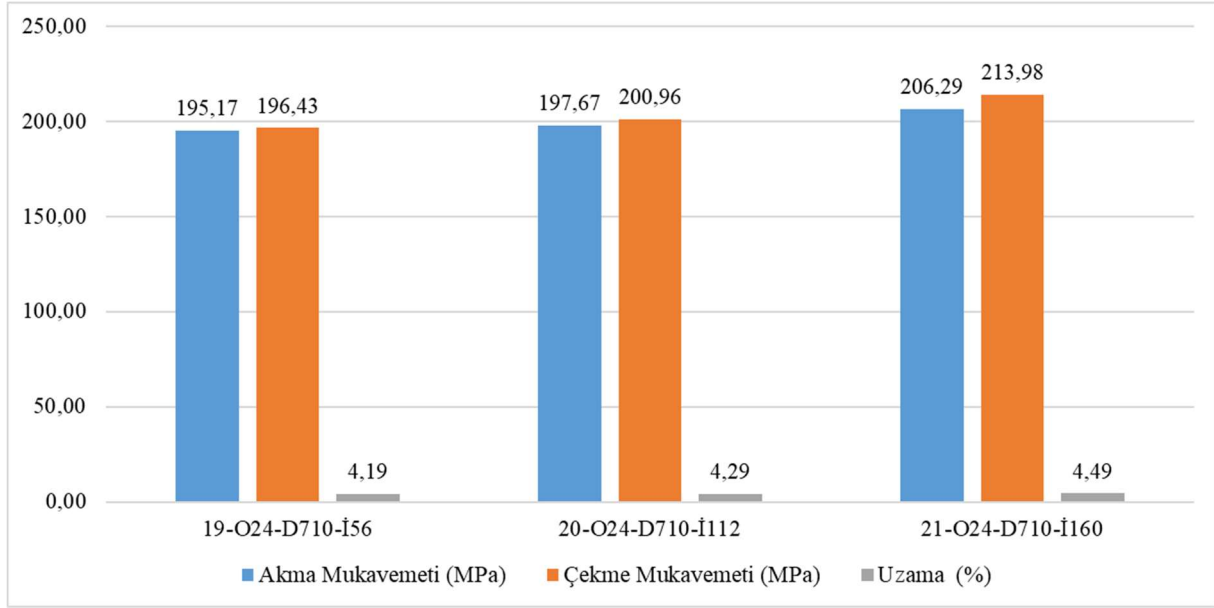
**Şekil 4.14.** 20 mm takım omuz çapı ve 1000 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin çekme deneyi grafikleri



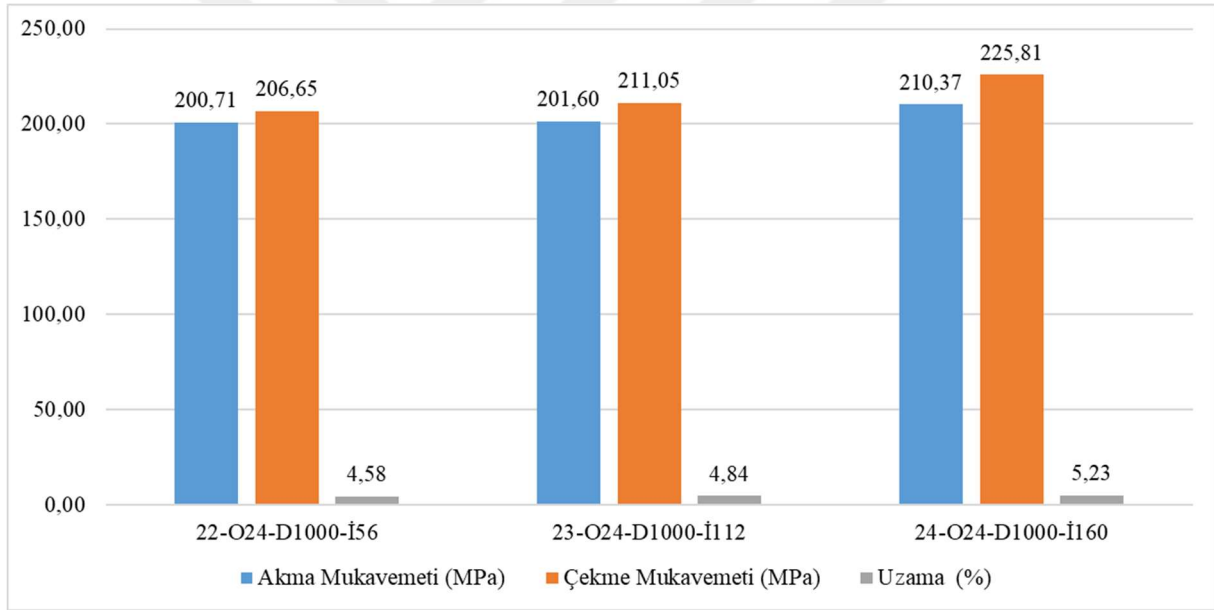
**Şekil 4.15.** 20 mm takım omuz çapı ve 1400 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin çekme deneyi grafikleri

20 mm takım omuz çapının kullanıldığı kaynaklı birleştirmelerde, çalışılan parametrelerin çekme deneyi sonuçları 16 mm takım omuz çapındaki birleştirmelere benzer olarak takım ilerleme hızındaki artış kaynak mukavemet değerinde artışa sebep olmuştur. 56 mm/dk. ve 160 mm/dk. takım ilerleme hızı ile elde edilen kaynaklı bağlantıların mukavemet değerleri birbirine yakın olduğu görülmüştür.

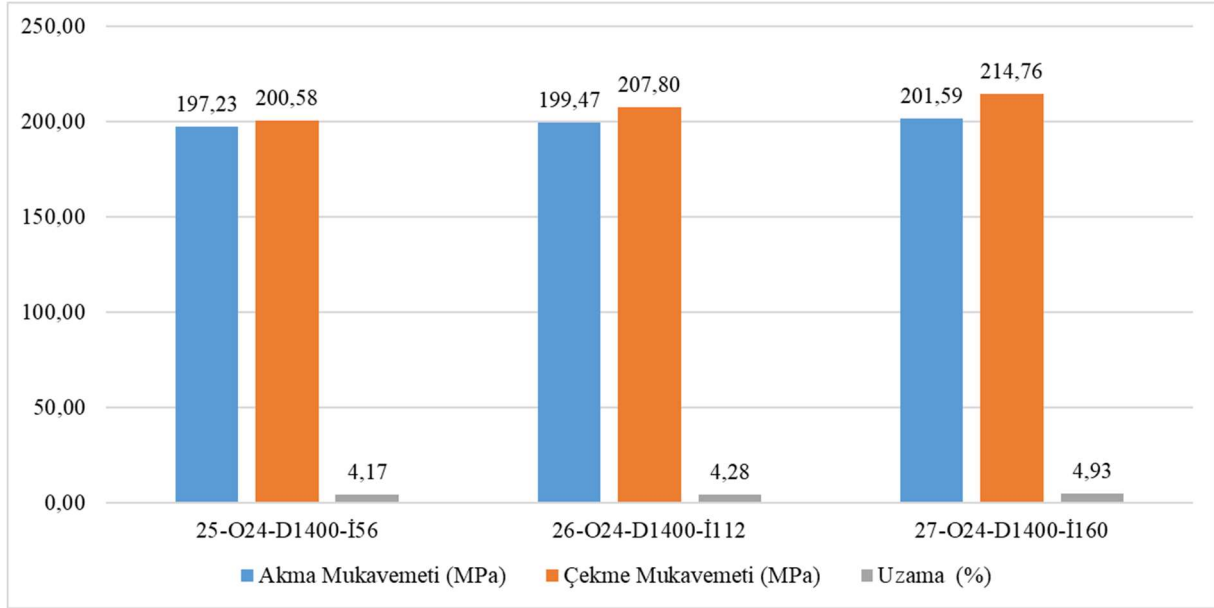
24 mm omuz çapındaki takım kullanılarak birleştirilen kaynaklı bağlantıların çekme deneyi sonrasında elde edilen grafikler Şekil 4.16.-Şekil 4.18.'de verilmiştir.



Şekil 4.16. 24 mm takım omuz çapı ve 710 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin çekme deneyi grafikleri



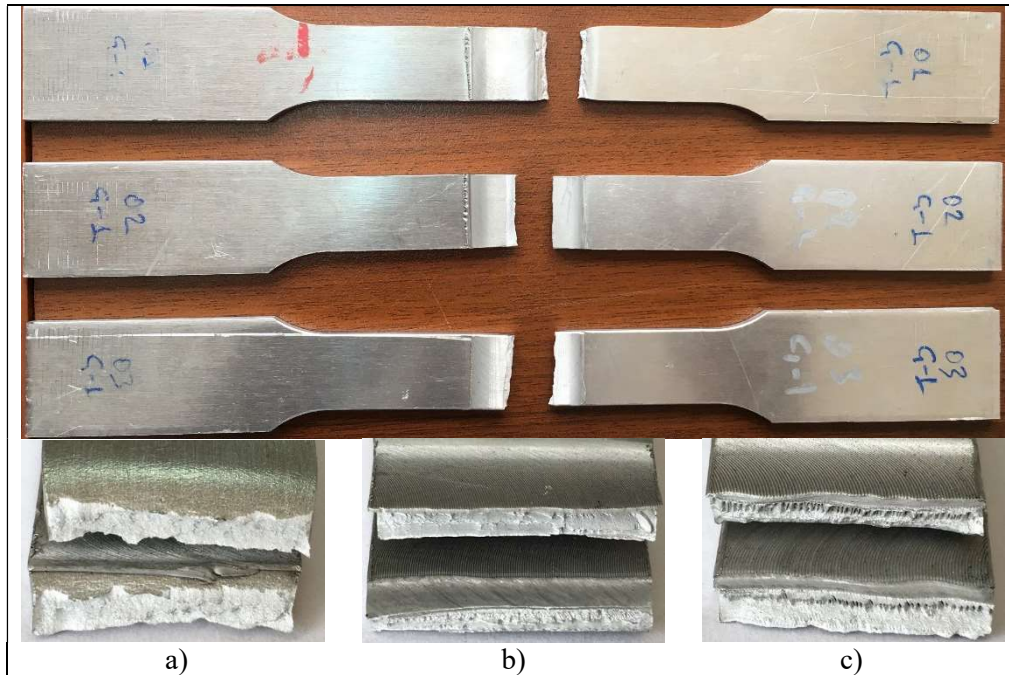
Şekil 4.17. 24 mm takım omuz çapı ve 1000 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin çekme deneyi grafikleri



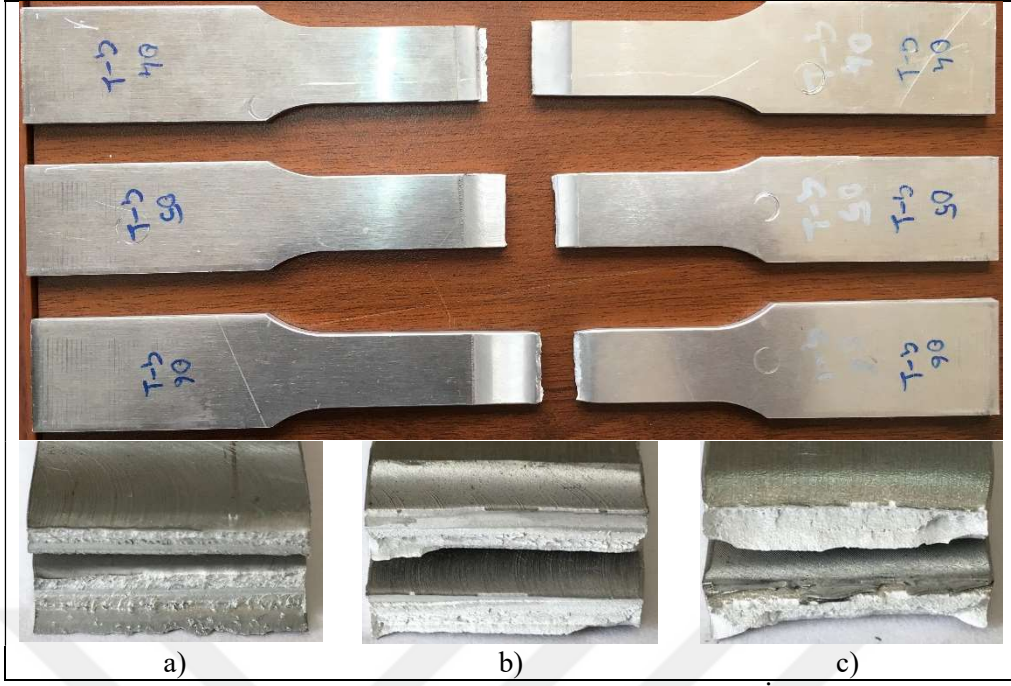
**Şekil 4.18.** 24 mm takım omuz çapı ve 1400 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin çekme deneyi grafikleri

24 mm omuz çapının kullanıldığı kaynaklı birleştirmelerde takım ilerleme hızındaki artış kaynak mukavemet değerinde artışa sebep olmuştur. Ancak takım ilerleme hızlarının sabit olduğu parametrelerden elde edilen kaynaklı bağlantıların mukavemet değerleri 16 mm ve 20 mm takım omuz çapının kullanıldığı kaynaklı birleştirmeler kadar yakın değerlerde olmadığı görülmüştür.

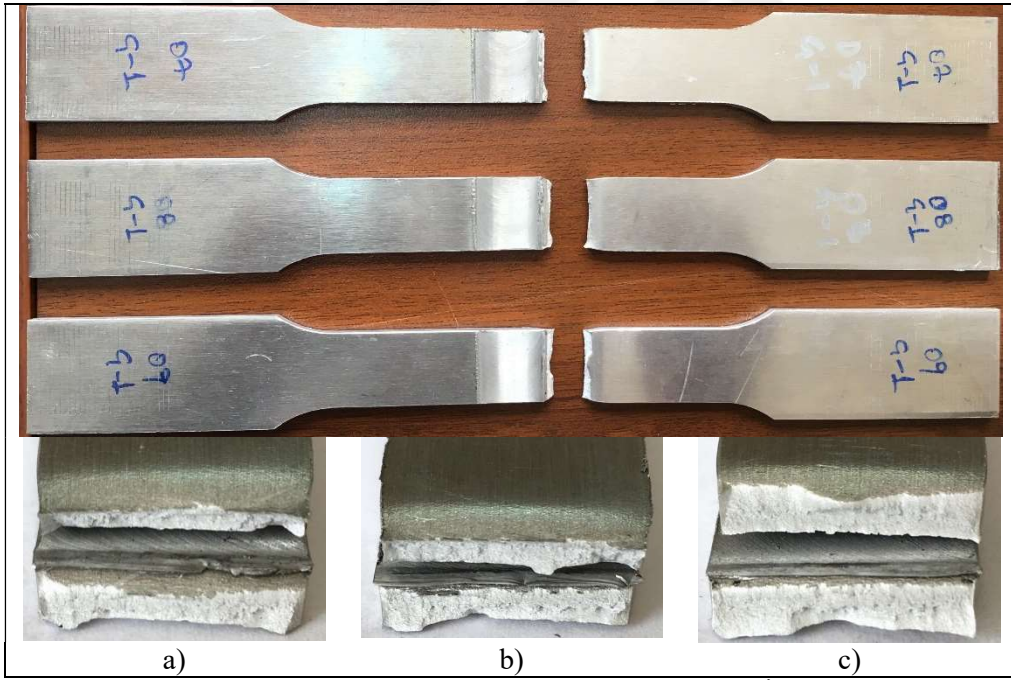
16 mm omuz çapındaki takım kullanılarak birleştirilen kaynaklı bağlantıların çekme deneyi sonrasında kopan numunelere ait görüntüler Şekil 4.19.-Şekil 4.21.'de verilmiştir.



**Şekil 4.19.** Çekme deneyi sonrası numune görüntüleri a) 1-O16-D710-İ56 kodlu numune, b) 2-O16-D710-İ112 kodlu numune, c) 3-O16-D710-İ160 kodlu numune



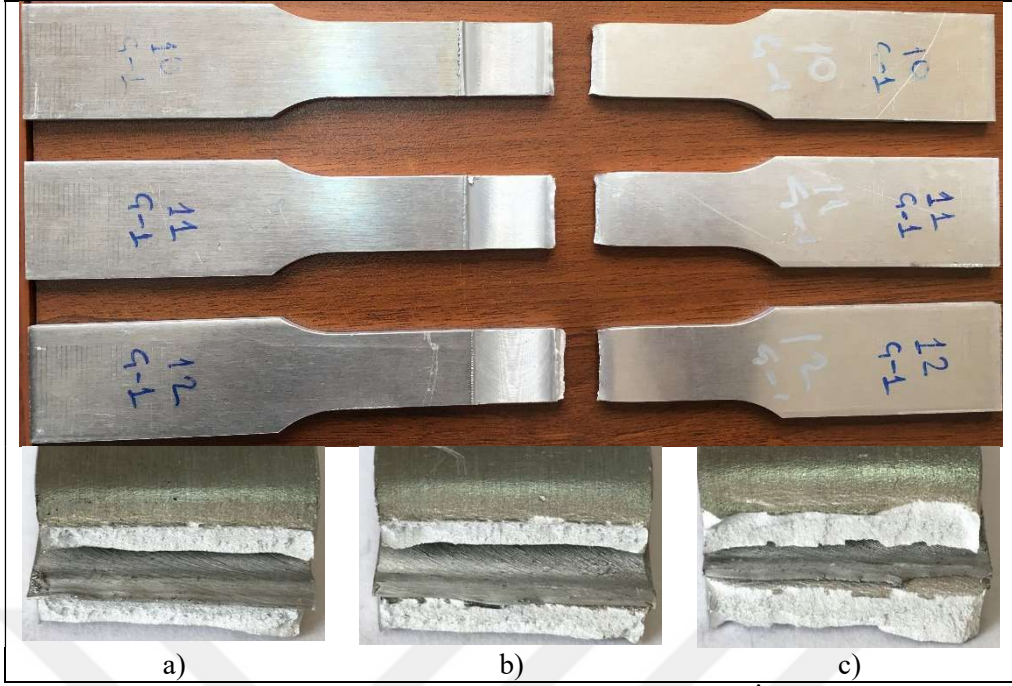
Şekil 4.20. Çekme deneyi sonrası numune görüntüleri a) 4-O16-D1000-İ56 kodlu numune, b) 5-O16-D1000-İ112 kodlu numune, c) 6-O16-D1000-İ160 kodlu numune



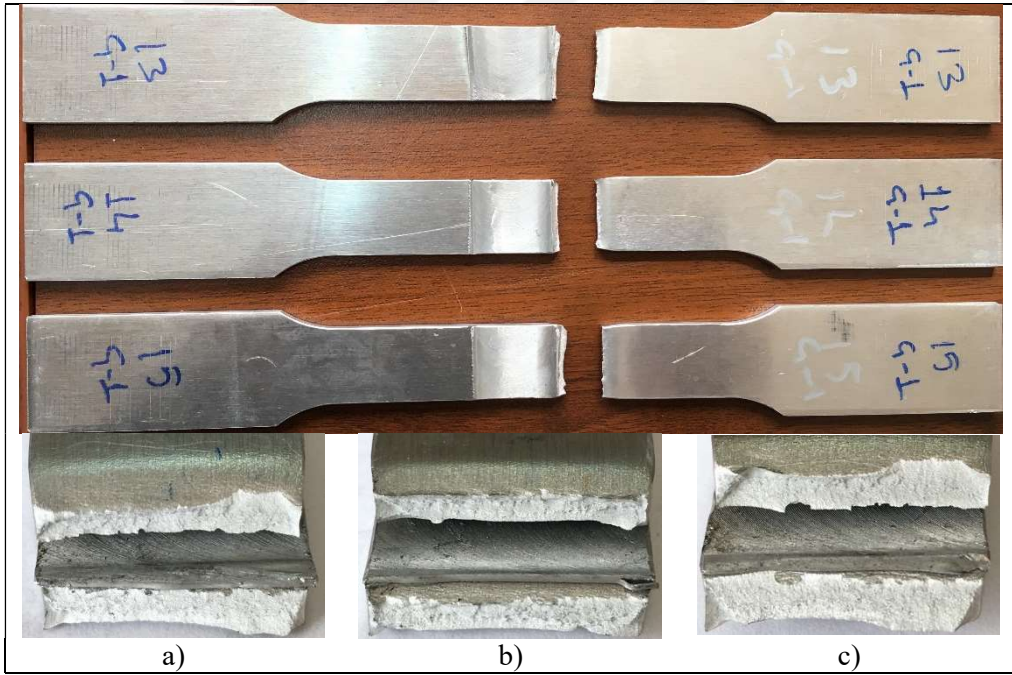
Şekil 4.21. Çekme deneyi sonrası numune görüntüleri a) 7-O16-D1400-İ56 kodlu numune, b) 8-O16-D1400-İ112 kodlu numune, c) 9-O16-D1400-İ160 kodlu numune

20 mm omuz çapındaki takım kullanılarak birleştirilen kaynaklı bağlantıların çekme deneyi sonrasında kopan numunelere ait görüntüler Şekil 4.22.- Şekil 4.24.'de verilmiştir.

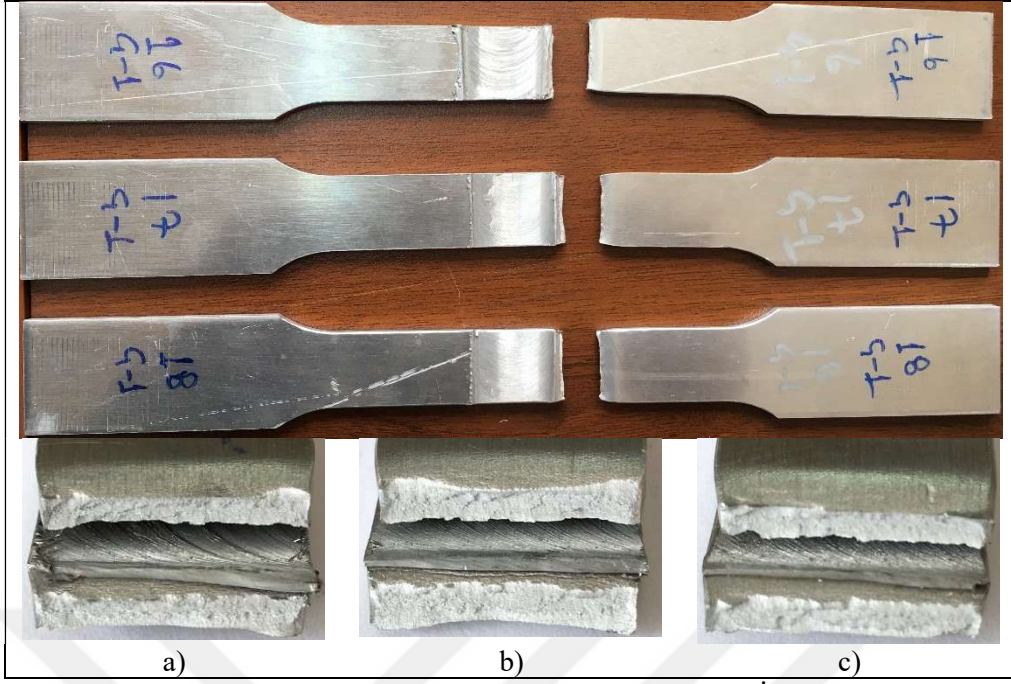




Şekil 4.22. Çekme deneyi sonrası numune görüntüleri a) 10-O20-D710-İ56 kodlu numune, b) 11-O20-D710-İ112 kodlu numune, c) 12-O20-D710-İ160 kodlu numune

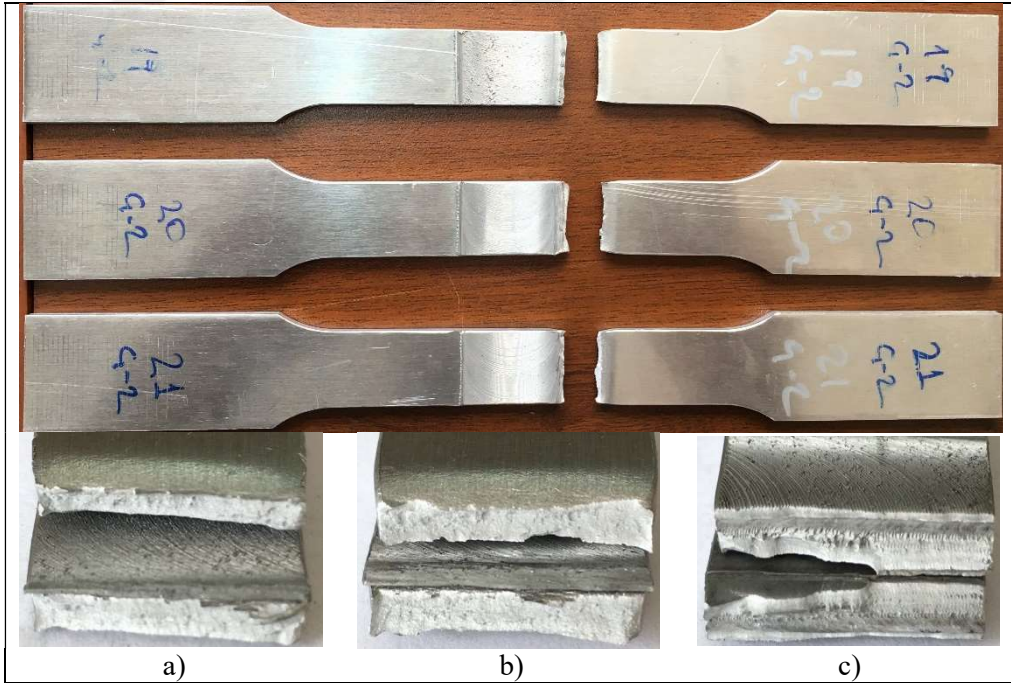


Şekil 4.23. Çekme deneyi sonrası numune görüntüleri a) 13-O20-D1000-İ56 kodlu numune, b) 14-O20-D1000-İ112 kodlu numune, c) 15-O20- D1000-İ160 kodlu numune

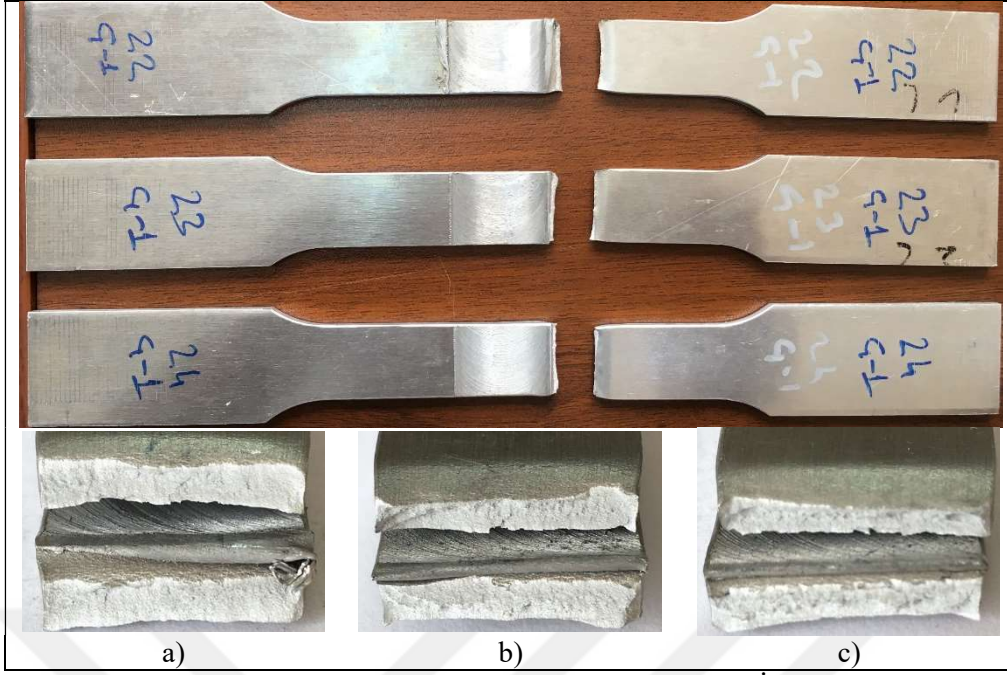


**Şekil 4.24.** Çekme deneyi sonrası numune görüntüleri a) 16-O20-D1400-İ56 kodlu numune, b) 17-O20-D1400-İ112 kodlu numune, c) 18-O20- D1400-İ160 kodlu numune

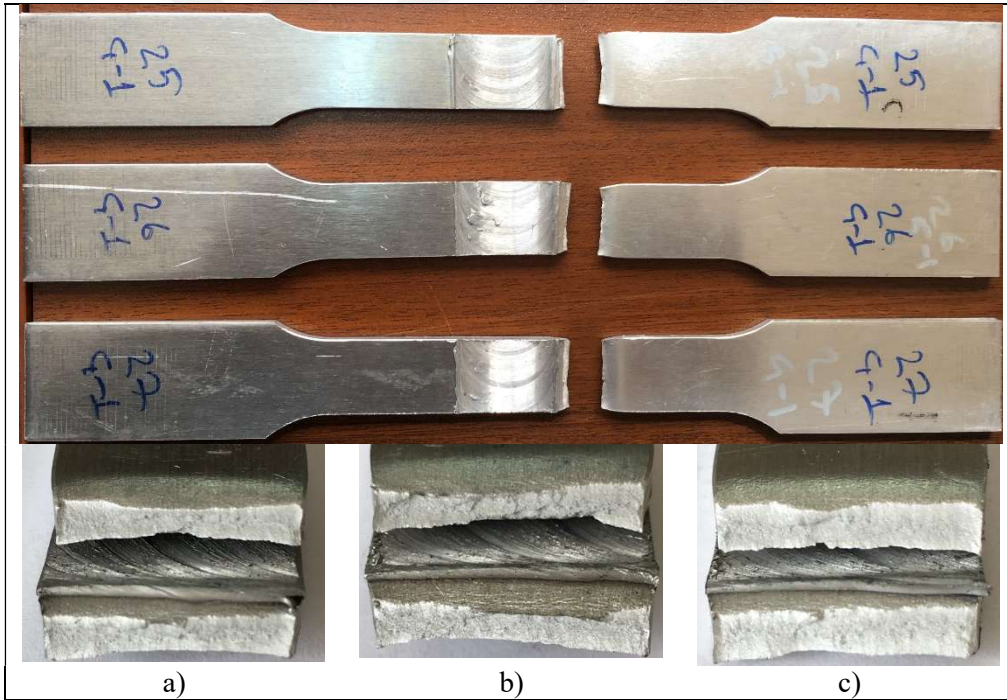
24 mm omuz çapındaki takım kullanılarak birleştirilen kaynaklı bağlantıların çekme deneyi sonrasında kopan numanelere ait görüntüler Şekil 4.25.-Şekil 4.27.'de verilmiştir.



**Şekil 4.25.** Çekme deneyi sonrası numune görüntüleri a) 16-O20-D1400-İ56 kodlu numune, b) 17-O20-D1400-İ112 kodlu numune, c) 18-O24-D1400-İ160 kodlu numune



Şekil 4.26. Çekme deneyi sonrası numune görüntüleri a) 22-O24-D1000-İ56 kodlu numune, b) 23-O24-D1000-İ112 kodlu numune, c) 24-O24-D1000-İ160 kodlu numune



Şekil 4.27. Çekme deneyi sonrası numune görüntüleri a) 25-O24-D1400-İ56 kodlu numune, b) 26-O24-D1400-İ112 kodlu numune, c) 27-O24-D1400-İ160 kodlu numune

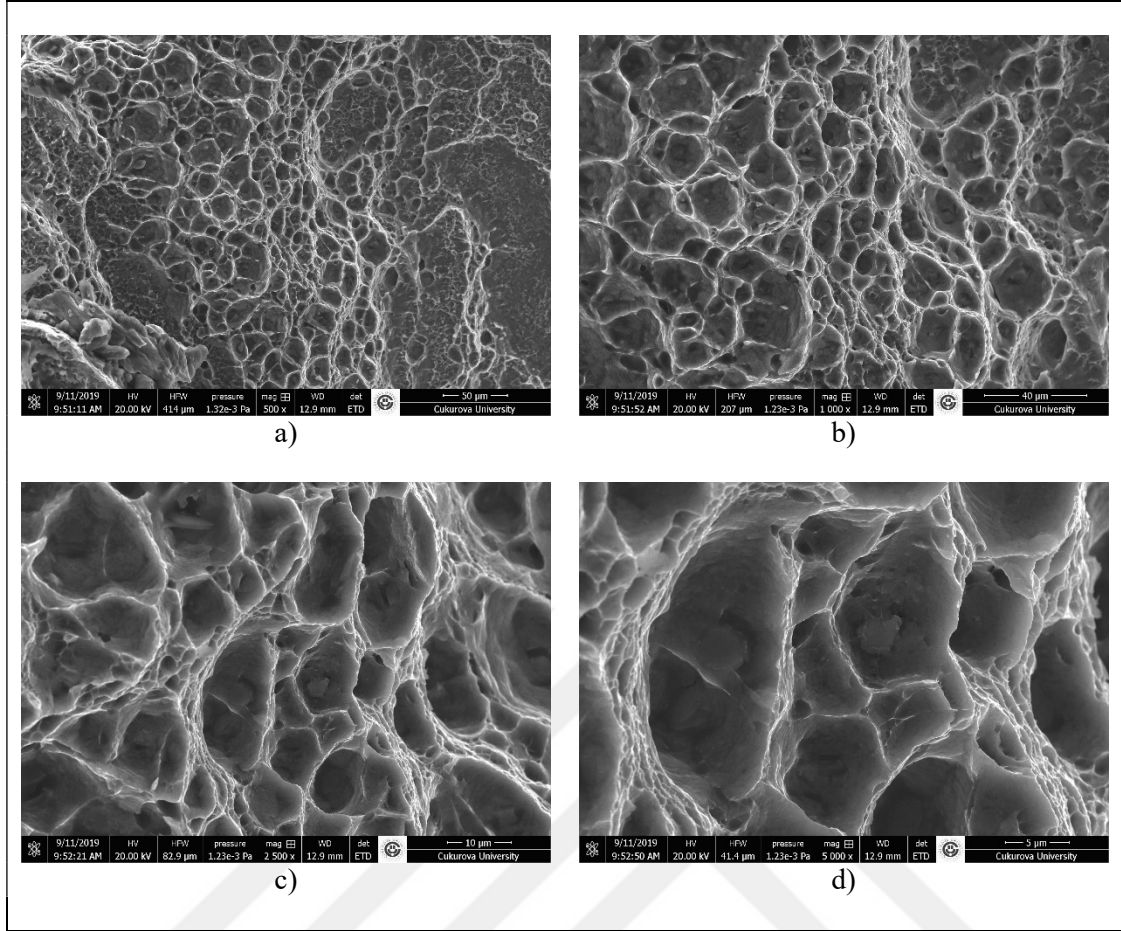
Çekme deneyi sonrası kopan numunelerin incelenmesi sonucunda 2-O16-D710-İ112, 3-O16-D710-İ160, 4-O16-D1000-İ56 ve 5-O16-D1000-İ112 parametre kodlu numuneler dışında tüm kaynaklı birleştirmeler EN AW-6082 Al alaşımı bölgesinden hasara uğramıştır. Çekme deneyi sonrası numunelerin kopma bölgelerine ait bulgular Tablo 4.2.'de özetlenmiştir.

**Tablo 4.2.** Çekme deneyi sonrası numunelerin kopma bölgeleri

Parametre Kodu	Kopma Bölgesi
1-O16-D710-İ56	EN AW-6082 TMEB
2-O16-D710-İ112	Kaynak merkezi
3-O16-D710-İ160	Kaynak merkezi
4-O16-D1000-İ56	Kaynak merkezi
5-O16-D1000-İ112	Kaynak merkezi
6-O16-D1000-İ160	EN AW-6082 TMEB
7-O16-D1400-İ56	EN AW-6082 TMEB
8-O16-D1400-İ112	EN AW-6082 TMEB
9-O16-D1400-İ160	EN AW-6082 TMEB
10-O20-D710-İ56	EN AW-6082 TMEB
11-O20-D710-İ112	EN AW-6082 TMEB
12-O20-D710-İ160	EN AW-6082 TMEB
13-O20-D1000-İ56	EN AW-6082 TMEB
14-O20-D1000-İ112	EN AW-6082 TMEB
15-O20-D1000-İ160	EN AW-6082 TMEB
16-O20-D1400-İ56	EN AW-6082 TMEB
17-O20-D1400-İ112	EN AW-6082 TMEB
18-O20-D1400-İ160	EN AW-6082 TMEB
19-O24-D710-İ56	EN AW-6082 TMEB
20-O24-D710-İ112	EN AW-6082 TMEB
21-O24-D710-İ160	EN AW-6082 TMEB
22-O24-D1000-İ56	EN AW-6082 TMEB
23-O24-D1000-İ112	EN AW-6082 TMEB
24-O24-D1000-İ160	EN AW-6082 TMEB
25-O24-D1400-İ56	EN AW-6082 TMEB
26-O24-D1400-İ112	EN AW-6082 TMEB
27-O24-D1400-İ160	EN AW-6082 TMEB

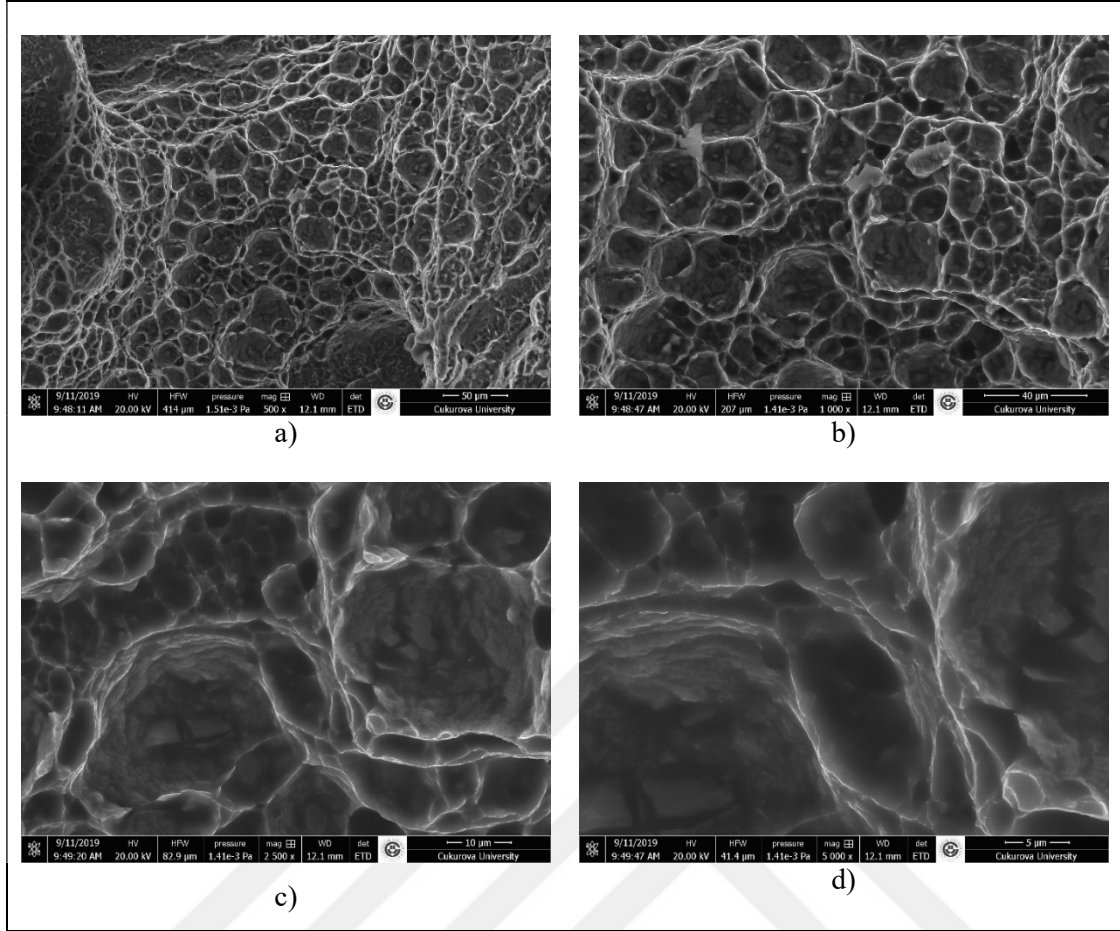
Çekme deneyi sonrasında kırılma bölgeleri incelendiğinde genel olarak hasar EN AW-6082 Al alaşımının TMEB’inde gerçekleşmiştir. Bunun sebebi yeniden kristalleşme sürecinde 6082 alüminyum alaşımının iş sertleşmesine uğrayarak TMEB’de mukavemet değerindeki düşüştan kaynaklandığı literatürdeki çalışmalarda da belirtilmiştir [10].

Çalışılan kaynak parametreleri arasında en düşük çekme mukavemet değerini 4-O16-D1000-İ56 parametre kodlu numune ve en yüksek çekme mukavemet değerini 6-O16-D1000-İ160 parametre kodlu numune göstermiştir. Bu parametrelerde birleştirilen numunelerin çekme deneyi sonrasında kopma yüzeyleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile görüntülenmiştir. Şekil 4.28.’de 4-O16-D1000-İ56 kodlu numunenin EN AW-5083 tarafından ve Şekil 4.29.’da ise EN AW-6082 bölgesinden alınan kırılma yüzeylerinin taramalı elektron mikroskop (SEM) görüntüleri verilmiştir.



**Şekil 4.28.** 4-O16-D1000-İ56 kodlu numuneye ait çekme deneyi sonrası EN AW-5083 bölgesinden alınan kırılma yüzeyi SEM görüntüsü a) 500× büyütme, b) 1000× büyütme, c) 2500× büyütme, d) 5000× büyütme

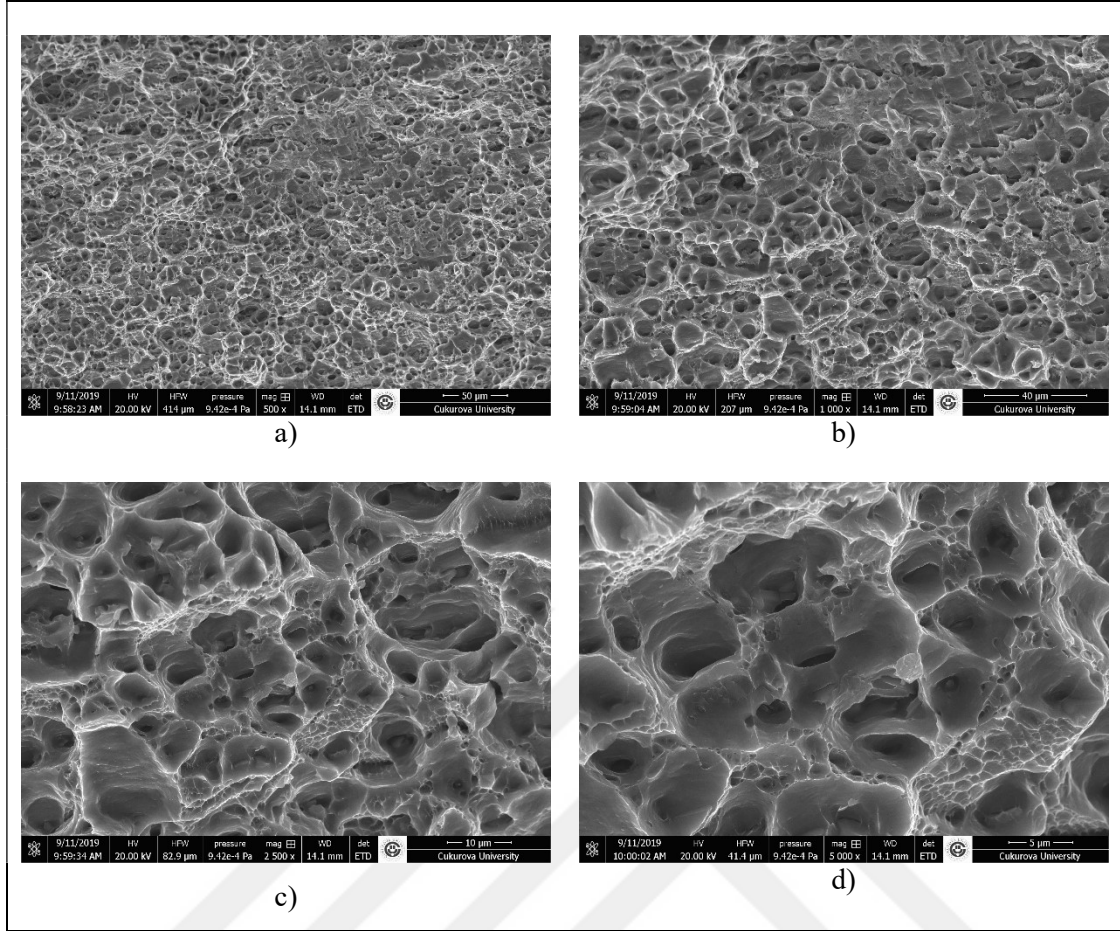
4-O16-D1000-İ56 parametrede birleştirilen numunenin çekme deneyi sonrası EN AW-5083 bölgesinden alınan kırılma yüzeyinin SEM görüntüleri incelendiğinde boşluklu ve düzensiz bir yapı olduğu görülmektedir. Bu gözenekli yapı tane sınırlarının azalması sebebi ile ortaya çıkmıştır ve kaynaklı birleştirmenin düşük mukavemet özellikleri göstermesine yol açmıştır [132-134].



**Şekil 4.29.** 4-O16-D1000-İ56 kodlu numuneye ait çekme deneyi sonrası EN AW-6082 bölgesinden alınan kırılma yüzeyi SEM görüntüsü a) 500× büyütme, b) 1000× büyütme, c) 2500× büyütme, d) 5000× büyütme

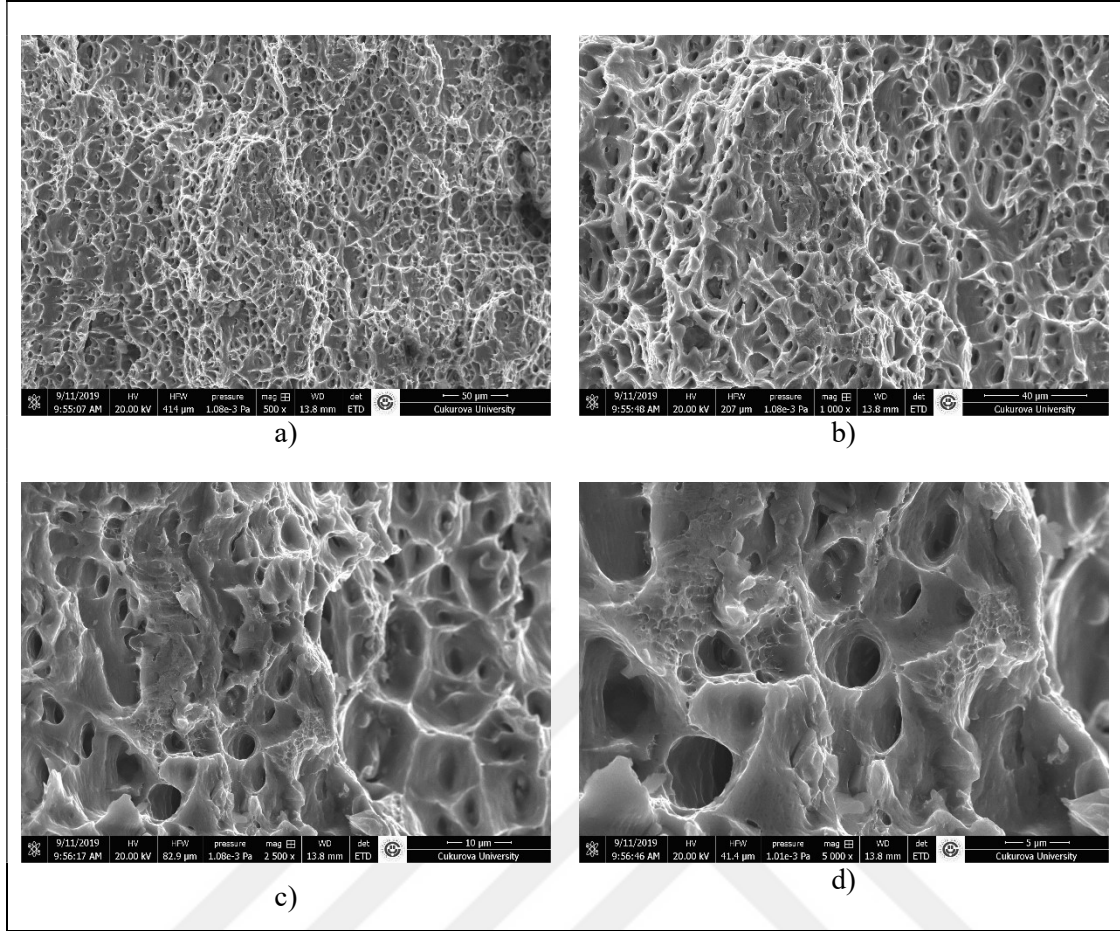
4-O16-D1000-İ56 parametrede birleştirilen numunenin çekme deneyi sonrası EN AW-6082 bölgesinden alınan kırılma yüzeyinin SEM görüntüleri incelendiğinde 20 µm genişliğinde boşluklu düzensiz bir yapı olduğu görülmektedir. Bu gözenekli yapı tane sınırlarının azalması sebebi ile ortaya çıkmıştır ve kaynaklı birleştirmenin düşük mukavemet özellikleri göstermesine yol açmıştır [132-134].

Çalışılan kaynak parametreleri arasında en yüksek çekme mukavemeti 6-O16-D1000-İ160 kodlu numunde görülmüştür. 6-O16-D1000-İ160 kodlu numunenin Şekil 4.30.'da EN AW-5083 bölgesinden ve Şekil 4.31.'de EN AW-6082 bölgesinden alınan kırılma yüzeylerinin taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri verilmiştir.



**Şekil 4.30.** 6-O16-D1000-İ160 kodlu numuneye ait çekme deneyi sonrası EN AW-5083 bölgesinden alınan kırılma yüzeyi SEM görüntüsü a) 500× büyütme, b) 1000× büyütme, c) 2500× büyütme, d) 5000× büyütme

6-O16-D1000-İ160 parametrede birleştirilen numunenin EN AW-5083 bölgesinden alınan kırılma yüzeyinin SEM görüntüleri incelendiğinde 5-10 µm genişliğinde boşluklu homojen bir yapıya rastlanmıştır. Bu küçük gözenekli yapı tane sınırlarının artması sonucunda oluşmuştur ve numunenin yüksek mukavemet özellikleri göstermesine sebep olmuştur [132-134].

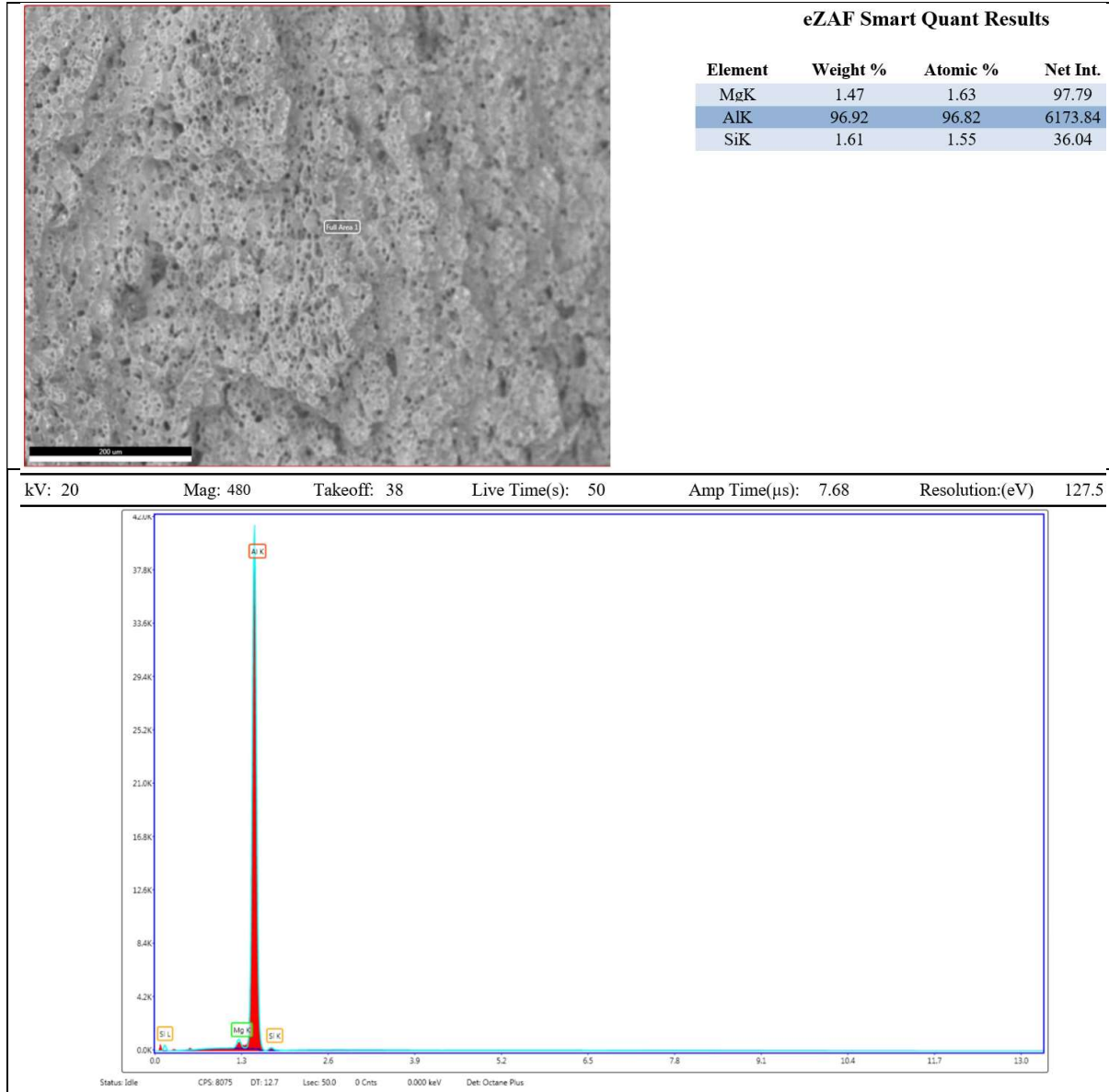


**Şekil 4.31.** 6-O16-D1000-İ160 kodlu numuneye ait çekme deneyi sonrası EN AW-6082 bölgesinden alınan kırılma yüzeyi SEM görüntüsü a) 500× büyütme, b) 1000× büyütme, c) 2500× büyütme, d) 5000× büyütme

6-O16-D1000-İ160 parametrede birleştirilen numunenin EN AW-6082 bölgesinden alınan kırılma yüzeyinin SEM görüntüleri incelendiğinde 5-10  $\mu\text{m}$  genişliğinde boşluklu homojen bir yapıya rastlanmıştır. Bu küçük gözenekli yapı tane sınırlarının artması sonucunda oluşmuştur ve numunenin yüksek mukavemet özellikleri göstermesine sebep olmuştur [132-134].

Kaynak içyapısındaki kimyasal kompozisyon EDS yöntemi ile tayin edilmiştir. 6-O16-D1000-İ160 kodlu numuneye ait çekme deneyi sonrası EN AW-6082 bölgesinden alınan EDS analizi sonuçları Şekil 4.32.'de verilmiştir.



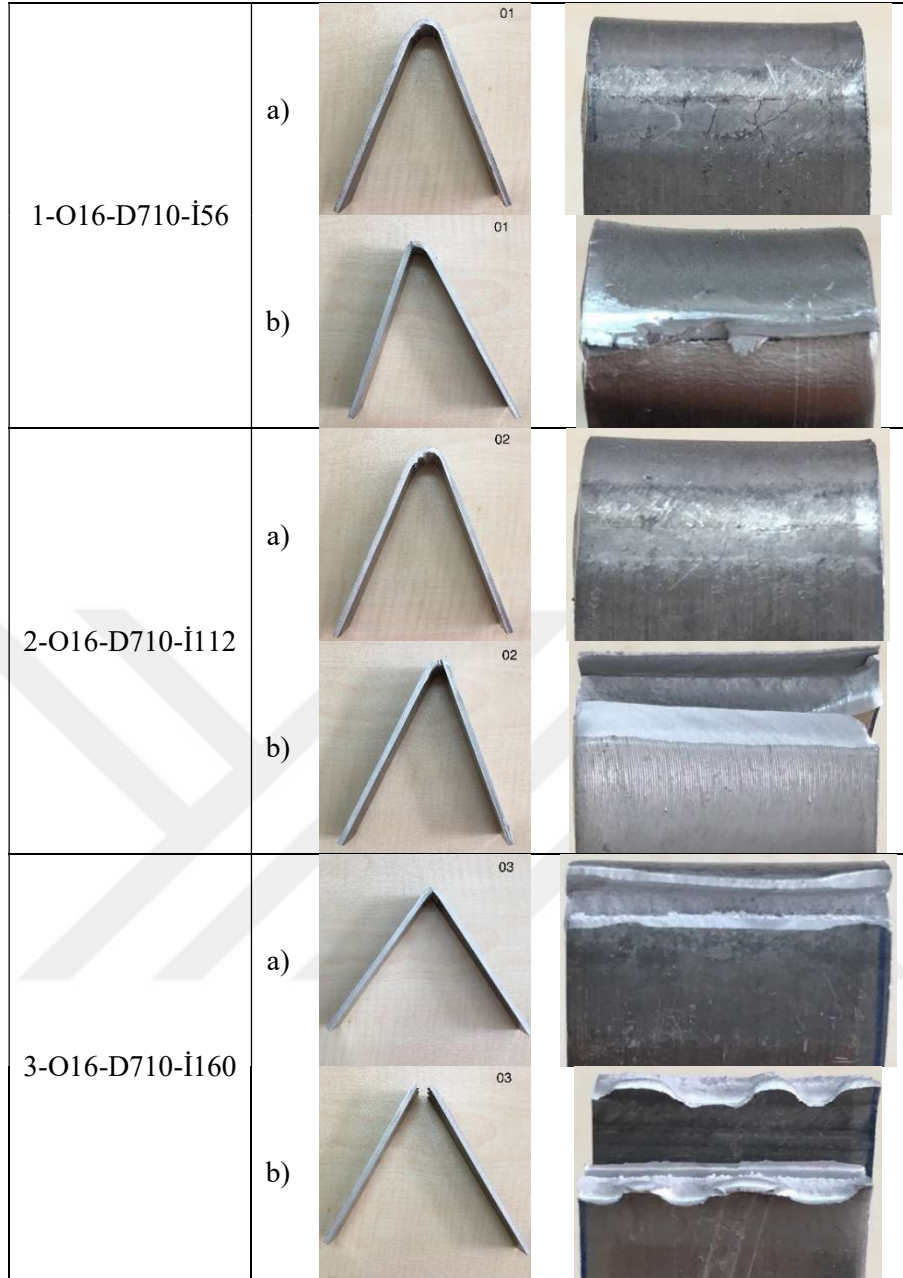


Şekil 4.32. 6-O16-D1000-İ160 kodlu numuneye ait EDS analiz sonucu

EDS analizinde kaynak bölgesinde alaşım metallerinin element bileşenleri dışında yabancı element ve bileşiklere rastlanmadığı görülmüştür. Kaynak kırılma yüzeyinin element içeriği EN AW-6082-T651 alaşım metaline benzer özellikte çıktığı görülmüştür.

### 4.3. Eğme Deneyi Bulguları

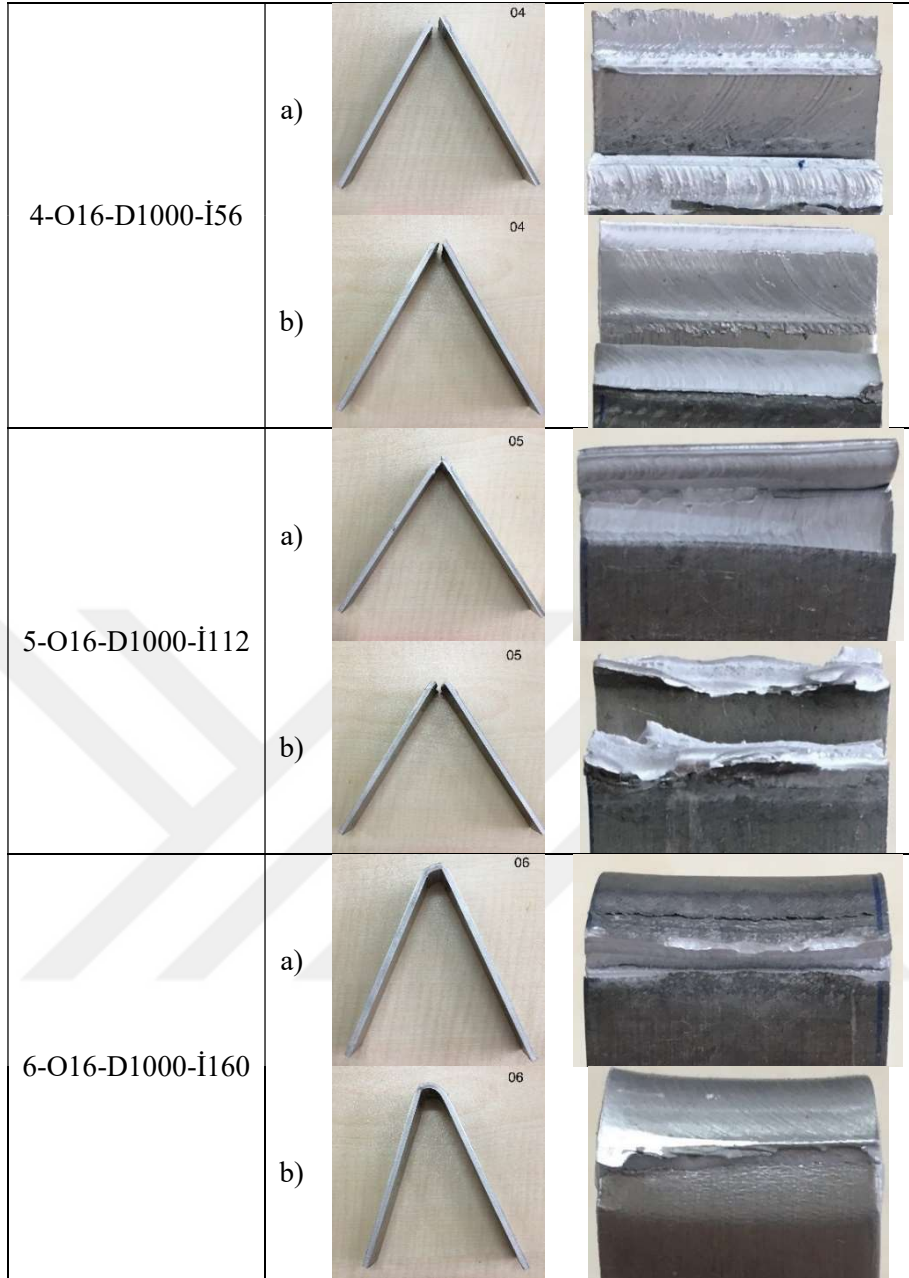
SKK yöntemiyle 16 mm omuz çapında takım kullanılarak birleştirilen levhalardan elde edilen yüzey ve kök eğme deneyi sonrası numunelerine ait görüntüler Şekil 4.33.-4.35.'de verilmiş ve numunelere ait bulgular Tablo 4.3.-4.5.'de özetlenmiştir.



**Şekil 4.33.** 16 mm takım omuz çapı ve 710 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin eğme deneyi sonrası görüntüleri a) Kök eğme, b) Kep eğme

**Tablo 4.3.** 16 mm omuz çapı, 710 devir ve 56-160 mm/dk. ilerlemede eğme deneyi sonrası numune incelemeleri

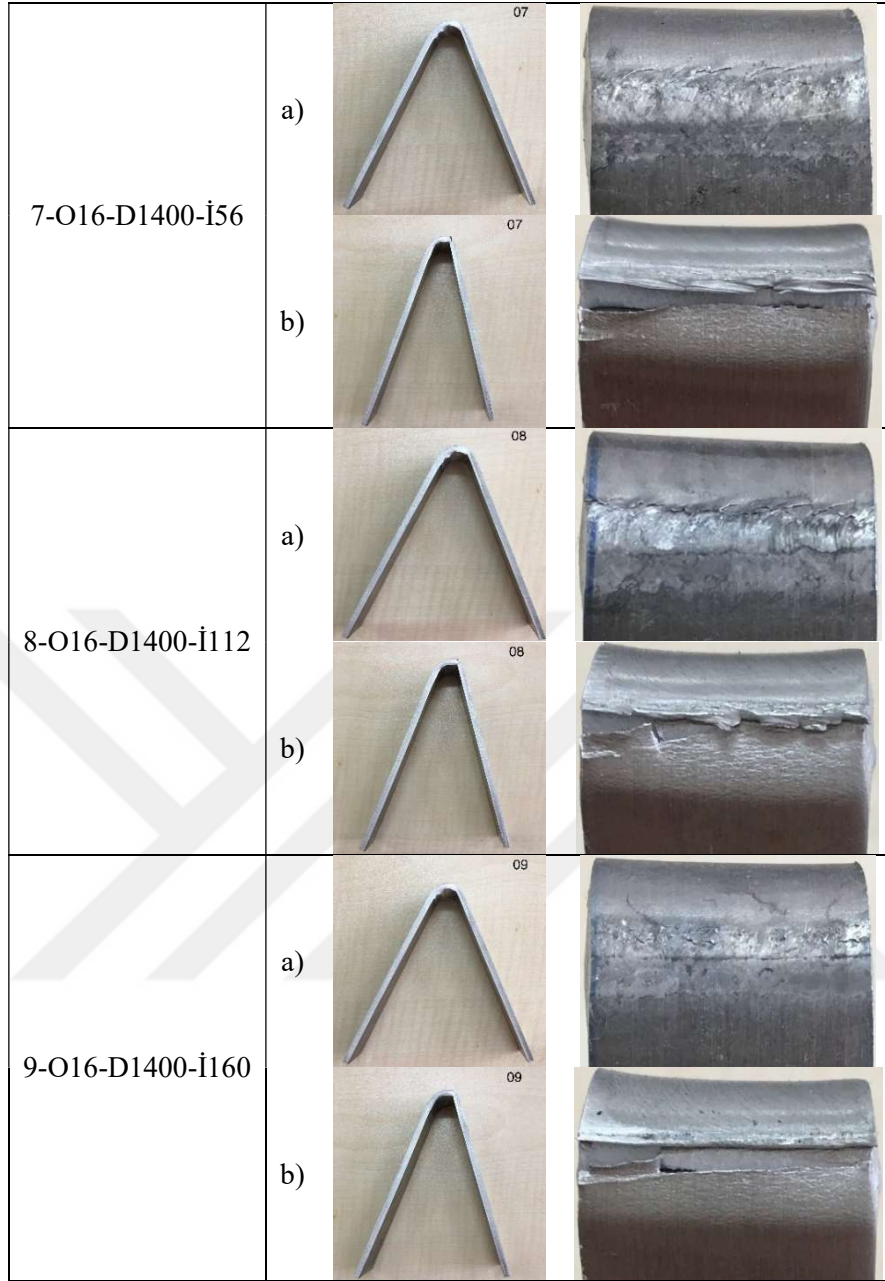
Kaynak Parametresi	Eğme Sonrası Durum
1-O16-D710-İ56	Kök ve kep eğmede hasar görülmedi
2-O16-D710-İ112	Kök eğmede hasar yok, kep eğmede gevrek kırılma görüldü
3-O16-D710-İ160	Kök ve kep eğmede sünek yarıлма görüldü



**Şekil 4.34.** 16 mm takım omuz çapı ve 1000 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin eğme deneyi sonrası görüntüleri a) Kök eğme, b) Kep eğme

**Tablo 4.4.** 16 mm omuz çapı, 1000 devir ve 56-160 mm/dk. ilerlemede eğme deneyi sonrası numune incelemeleri

Kaynak Parametresi	Eğme Sonrası Durum
4-O16-D1000-İ56	Kök ve kep eğmede gevrek kırılmalar görüldü
5-O16-D1000-İ112	Kök eğmede gevrek kırılma, kep eğmede yarılma görüldü
6-O16-D1000-İ160	Kök ve kep eğmede yarılma görüldü

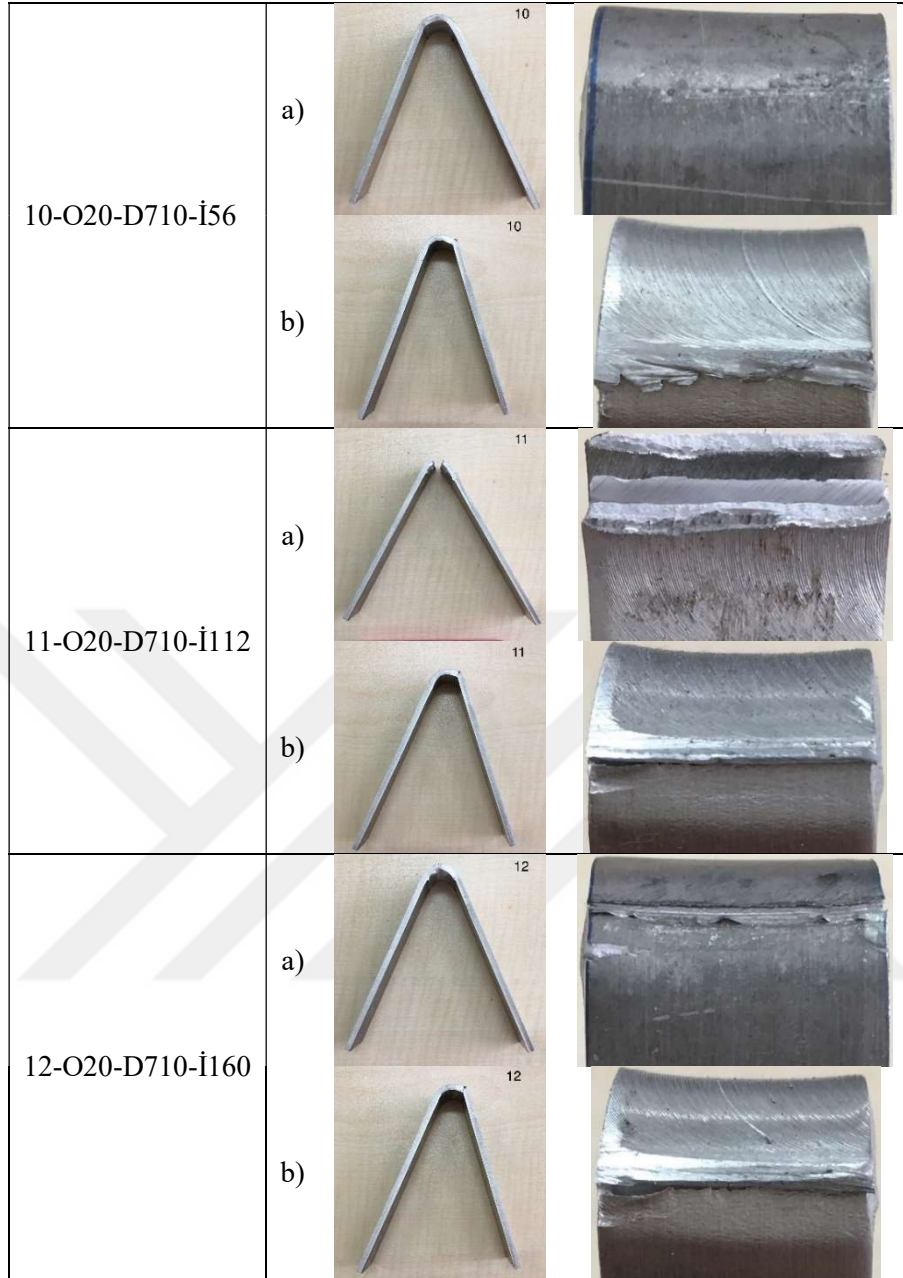


**Şekil 4.35.** 16 mm takım omuz çapı ve 1400 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin eğme deneyi sonrası görüntüleri a) Kök eğme, b) Kep eğme

**Tablo 4.5.** 16 mm omuz çapı, 1400 devir ve 56-160 mm/dk. ilerlemede eğme deneyi sonrası numune incelemeleri

Kaynak Parametresi	Eğme Sonrası Durum
7-O16-D1400-İ56	Kök eğmede hasar görülmedi, kep eğmede yarıлма görüldü
8-O16-D1400-İ112	Kök eğmede hasar görülmedi, kep eğmede çatlama görüldü
9-O16-D1400-İ160	Kök eğmede hasar görülmedi, kep eğmede yarıлма görüldü

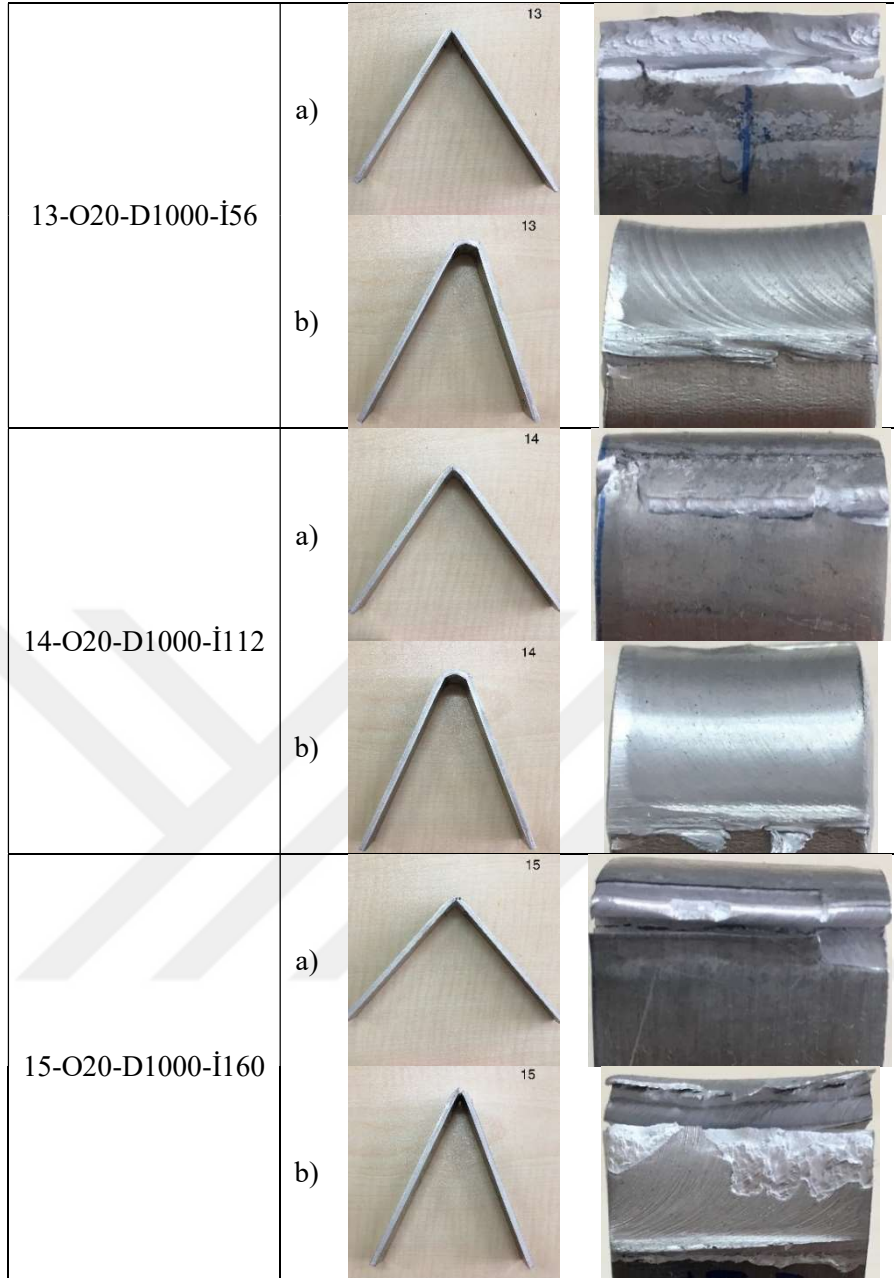
SKK yöntemiyle 20 mm omuz çapında takım kullanılarak birleştirilen levhalardan elde edilen yüzey ve kök eğme deneyi sonrası numunelerine ait görüntüler Şekil 4.36-4.38.'de verilmiş ve numunelere ait bulgular Tablo 4.6.-4.8.'de özetlenmiştir.



**Şekil 4.36.** 20 mm takım omuz çapı ve 710 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin eğme deneyi sonrası görüntüleri a) Kök eğme, b) Kep eğme

**Tablo 4.6.** 20 mm omuz çapı, 710 devir ve 56-160 mm/dk. ilerlemede eğme deneyi sonrası numune incelemeleri

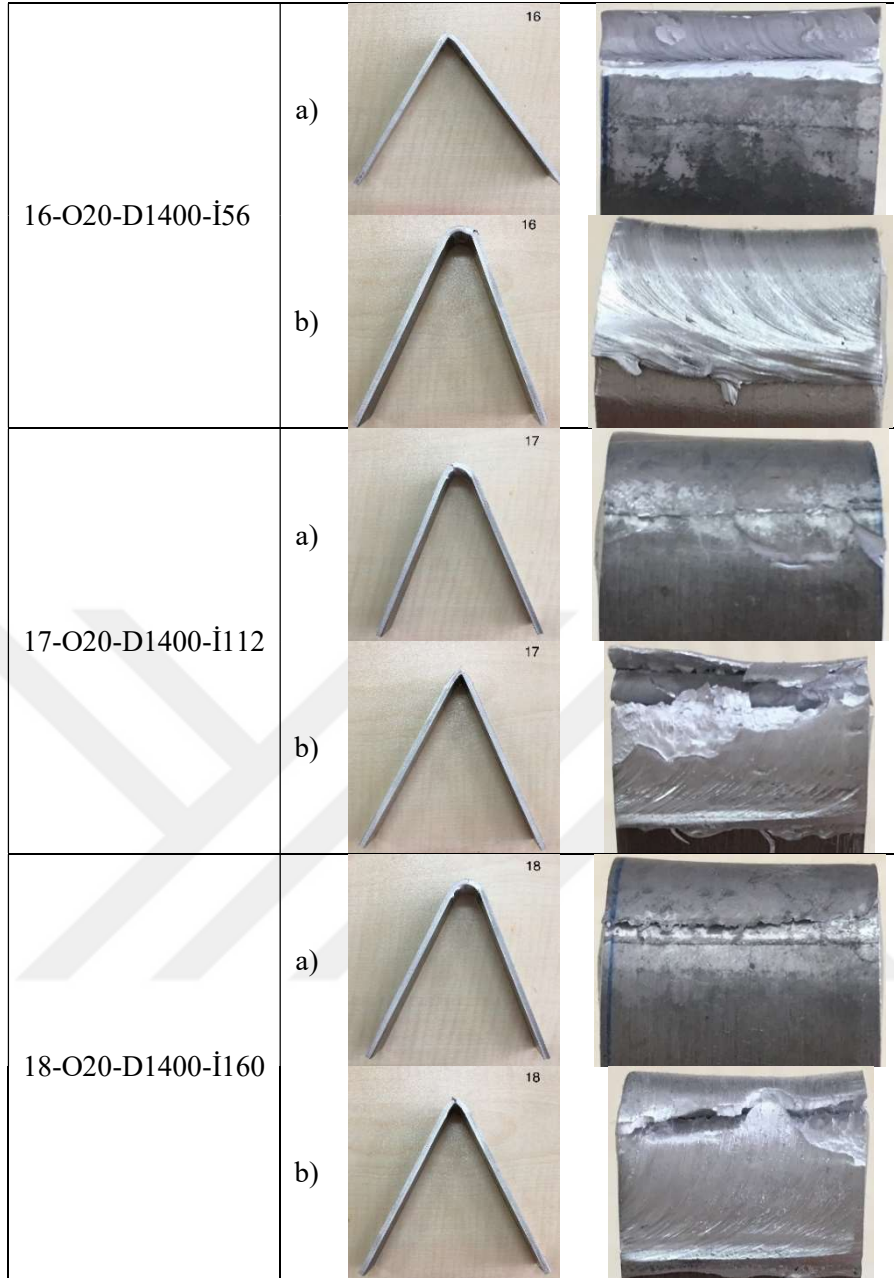
Kaynak Parametresi	Eğme Sonrası Durum
10-O20-D710-İ56	Kök eğmede ve kep eğmede hasar görülmedi
11-O20-D710-İ112	Kök eğmede gevre kırılma görüldü, kep eğmede çatlama görüldü
12-O20-D710-İ160	Kök eğmede ve kep eğmede çatlama görüldü



Şekil 4.37. 20 mm takım omuz çapı ve 1000 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin eğme deneyi sonrası görüntüleri a) Kök eğme, b) Kep eğme

Tablo 4.7. 20 mm omuz çapı, 1000 devir ve 56-160 mm/dk. ilerlemede eğme deneyi sonrası numune incelemeleri

Kaynak Parametresi	Eğme Sonrası Durum
13-O20-D1000-İ56	Kök eğmede kırılma görüldü, kep eğmede çatlama görüldü
14-O20-D1000-İ112	Kök eğmede çatlama görüldü, kep eğmede hasar görülmedi
15-O20-D1000-İ160	Kök eğmede yarıлма görüldü, kep eğmede kırılma görüldü

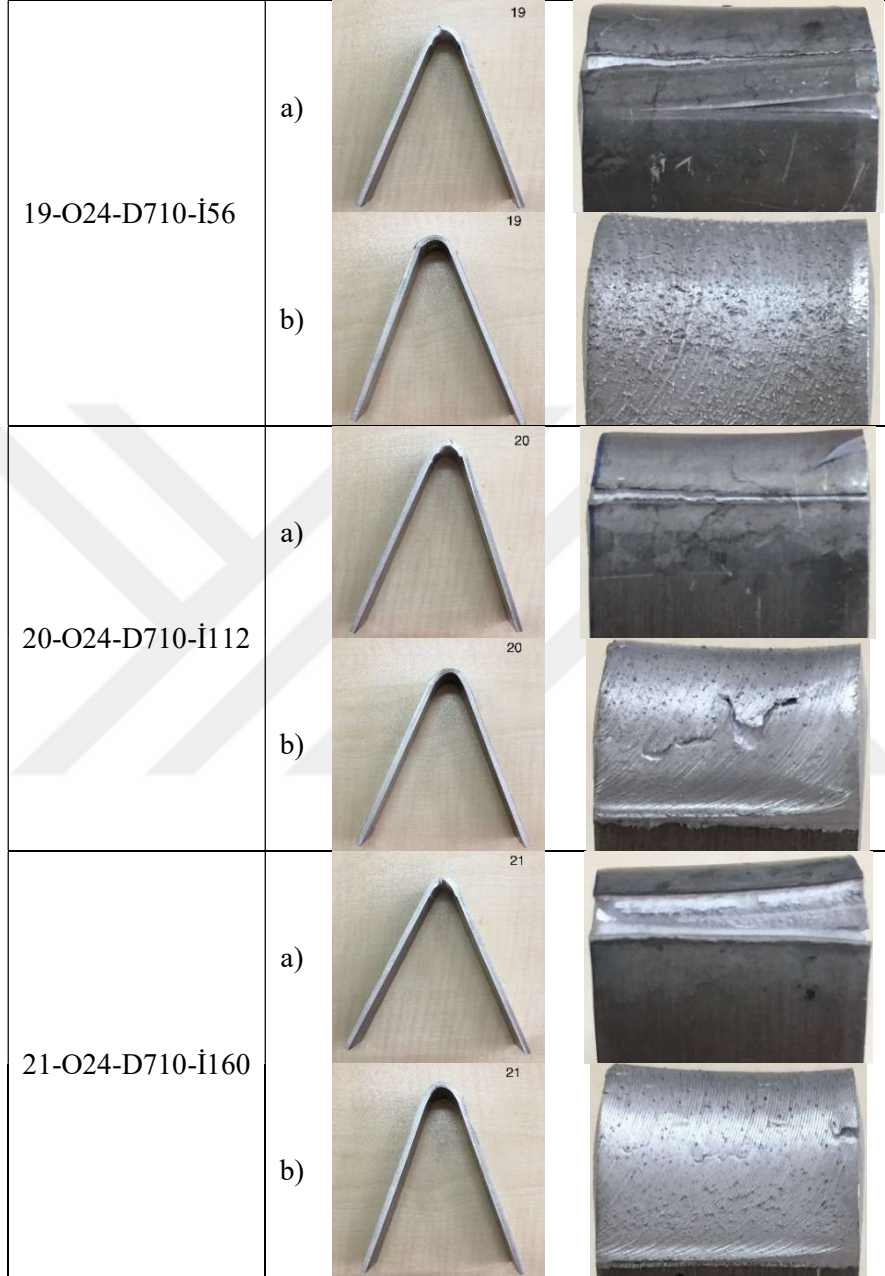


**Şekil 4.38.** 20 mm takım omuz çapı ve 1400 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin eğme deneyi sonrası görüntüleri a) Kök eğme, b) Kep eğme

**Tablo 4.8.** 20 mm omuz çapı, 1400 devir ve 56-160 mm/dk. ilerlemede eğme deneyi sonrası numune incelemeleri

Kaynak Parametresi	Eğme Sonrası Durum
16-O20-D1400-İ56	Kök eğmede kırılma görüldü, kep eğmede çatlama görüldü
17-O20-D1400-İ112	Kök eğmede hasar görülmedi, kep eğmede kırılma görüldü
18-O20-D1400-İ160	Kök eğmede çatlama görüldü, kep eğmede kırılma görüldü

SKK yöntemiyle 24 mm omuz çapında takım kullanılarak birleştirilen levhalardan elde edilen yüzey ve kök eğme deneyi sonrası numunelerine ait görüntüler Şekil 4.39-4.41.'de verilmiş ve numunelere ait bulgular Tablo 4.9.-4.11.'de özetlenmiştir.

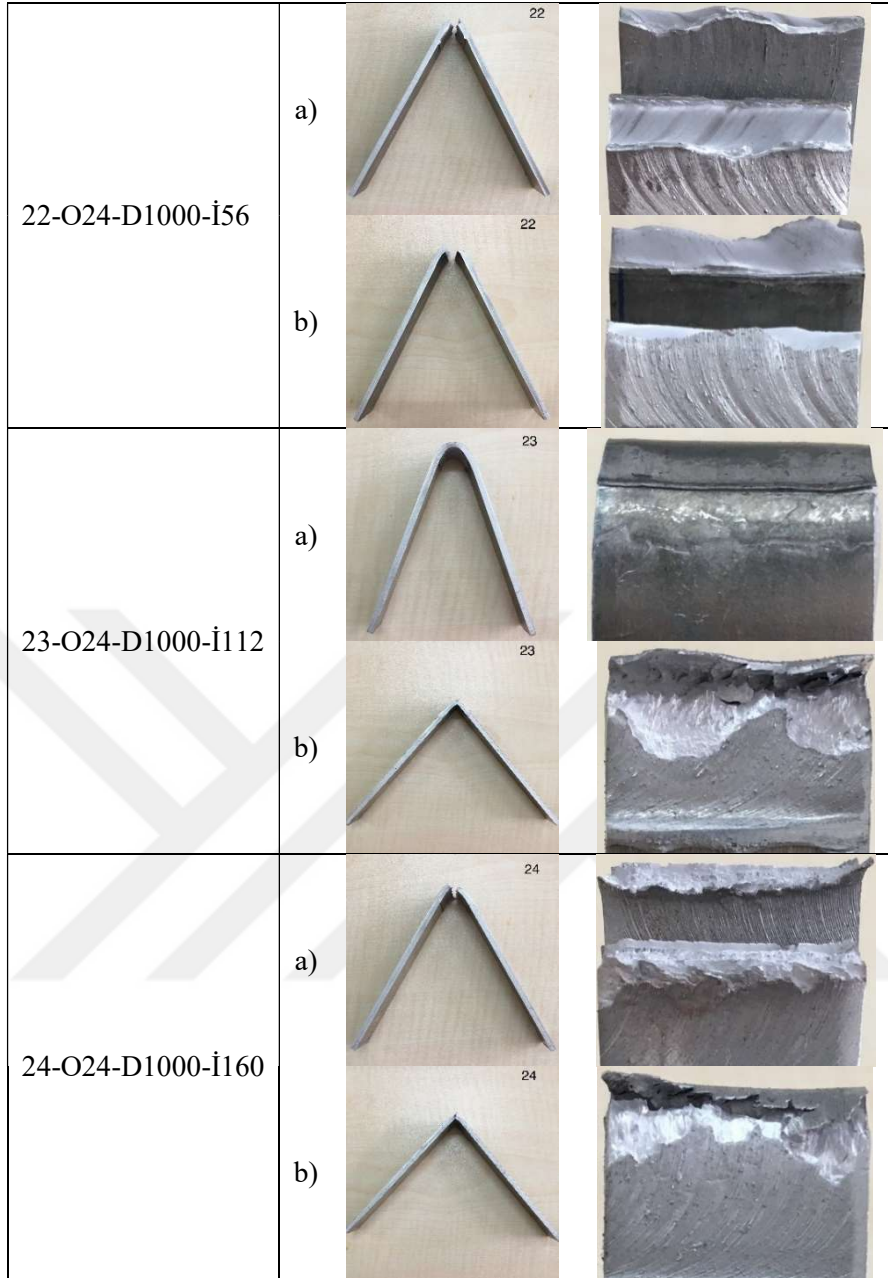


Şekil 4.39. 24 mm takım omuz çapı ve 710 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin eğme deneyi sonrası görüntüleri a) Kök eğme, b) Kep eğme

Tablo 4.9. 24 mm omuz çapı, 710 devir ve 56-160 mm/dk. ilerlemede eğme deneyi sonrası numune incelemeleri

Kaynak Parametresi	Eğme Sonrası Durum
19-O24-D710-İ56	Kök eğmede çatlama görüldü, kep eğmede hasar görülmedi
20-O24-D710-İ112	Kök eğmede çatlama görüldü, kep eğmede çatlama görüldü
21-O24-D710-İ160	Kök eğmede yarıma görüldü, kep eğmede çatlama görüldü

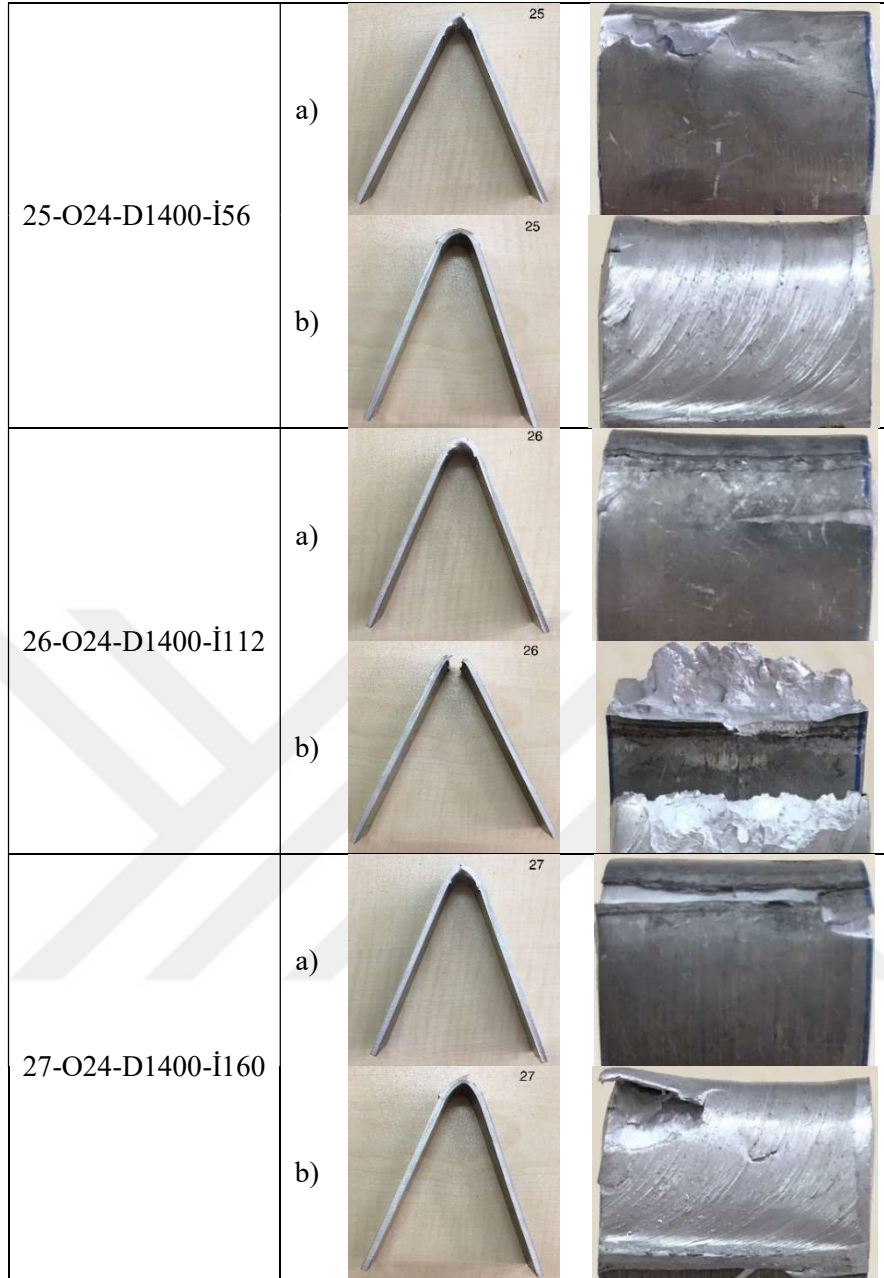




**Şekil 4.40.** 24 mm takım omuz çapı ve 1000 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin eğme deneyi sonrası görüntüleri a) Kök eğme, b) Kep eğme

**Tablo 4.10.** 24 mm omuz çapı, 1000 devir ve 56-160 mm/dk. ilerlemede eğme deneyi sonrası numune incelemeleri

Kaynak Parametresi	Eğme Sonrası Durum
22-O24-D1000-İ56	Kök eğmede ve kep eğmede kırılma görüldü
23-O24-D1000-İ112	Kök eğmede çatlama görüldü, kep eğmede kırılma görüldü
24-O24-D1000-İ160	Kök eğmede ve kep eğmede kırılma görüldü



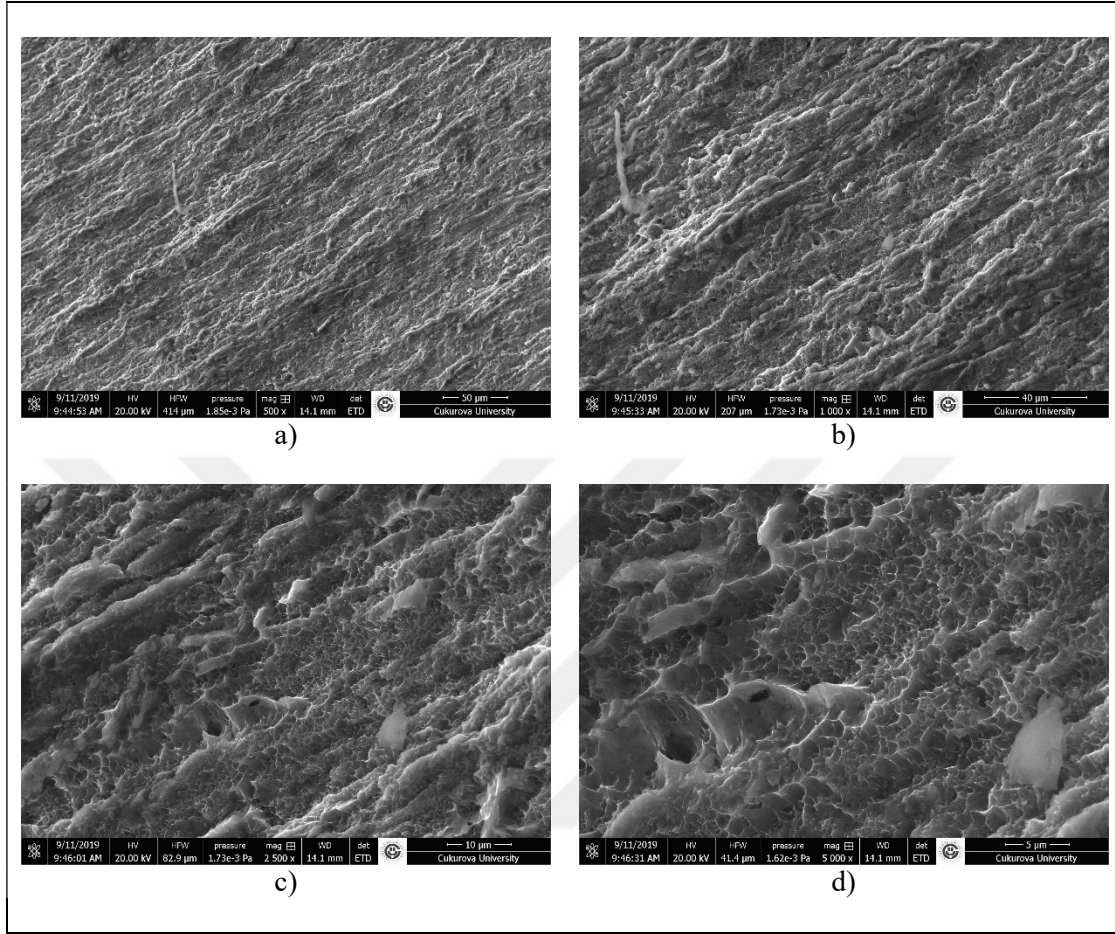
**Şekil 4.41.** 24 mm takım omuz çapı ve 1400 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin eğme deneyi sonrası görüntüleri a) Kök eğme, b) Kep eğme

**Tablo 4.11.** 24 mm omuz çapı, 1400 devir ve 56-160 mm/dk. ilerlemede eğme deneyi sonrası numune incelemeleri

Kaynak Parametresi	Eğme Sonrası Durum
25-O24-D1400-İ56	Kök eğmede çatlama görüldü ve kep eğmede kırılma görüldü
26-O24-D1400-İ112	Kök eğmede çatlama görüldü, kep eğmede kırılma görüldü
27-O24-D1400-İ160	Kök eğmede ve kep eğmede çatlama görüldü

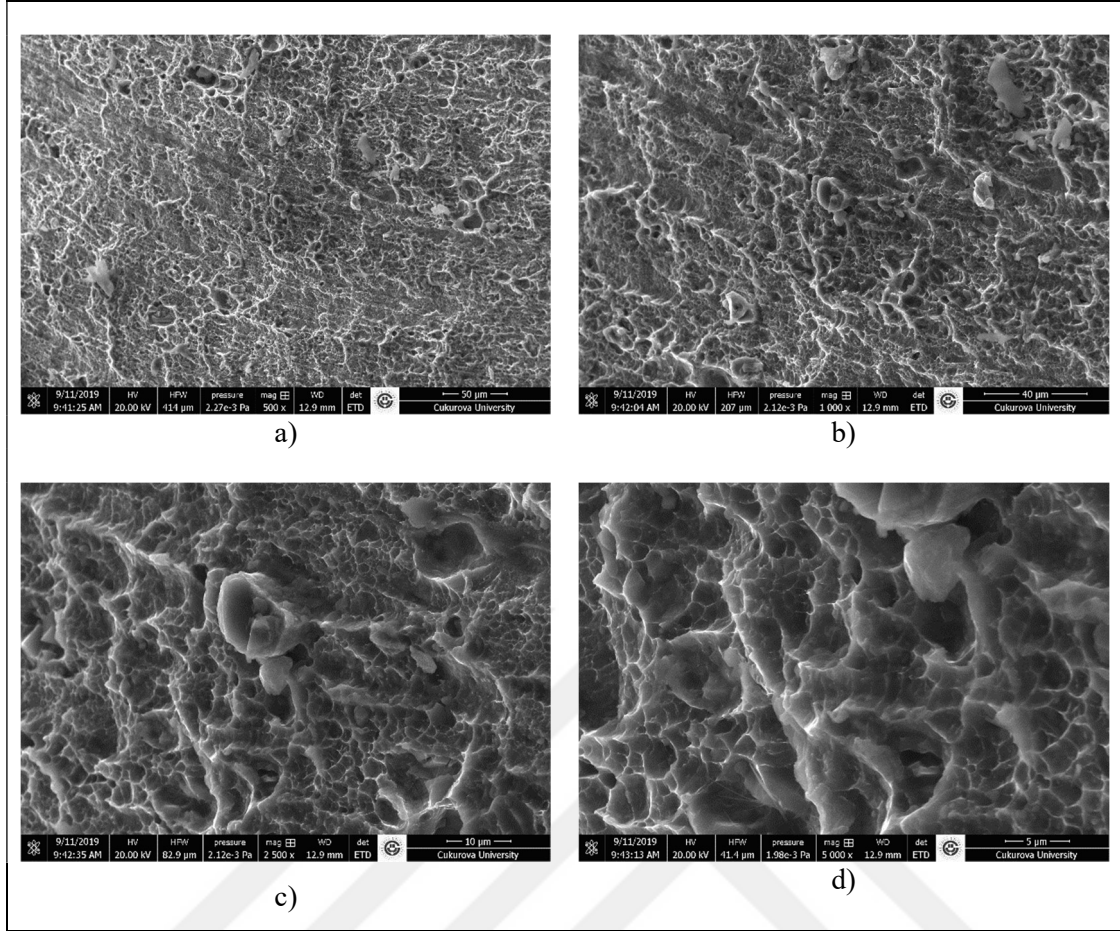
Eğme deneyi sonrası en düşük çekme mukavemetine ait 4-O16-D1000-İ56 parametre kodlu numunenin eğme deneyi sonrası kırılma yüzeyinin yapısı taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile görüntülenmiştir. Kök eğme sonrası Şekil 4.42.'de EN AW-5083 bölgesinden ve Şekil 4.43.'de EN

AW-6082 bölgesinden alınan kırılma yüzeylerinin taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri verilmiştir.



**Şekil 4.42.** 4-O16-D1000-İ56 kodlu numuneye ait kök eğme deneyi sonrası EN AW-5083 bölgesinden alınan kırılma yüzeyi SEM görüntüsü a) 500× büyütme, b) 1000× büyütme, c) 2500× büyütme, d) 5000× büyütme

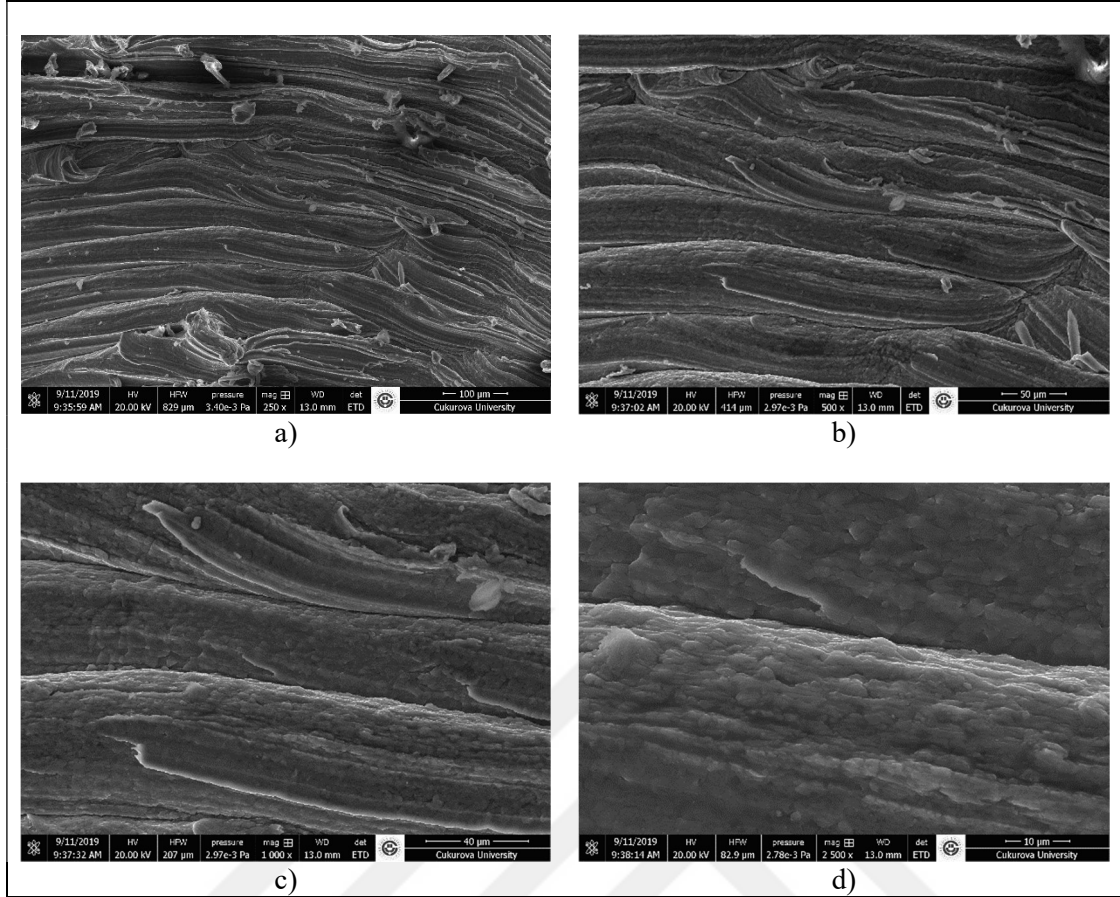
4-O16-D1000-İ56 kodlu numuneye ait kök eğme deneyi sonrası EN AW-5083 bölgesinden alınan kırılma yüzeyinin SEM görüntüsü incelendiğinde yapıda mikro düzeyde kopmalara rastlanmıştır. Bu durum numunenin gevrek olarak kırıldığının göstergesi olduğu düşünülmektedir. Bu duruma kaynak kökündeki birleşme yüzeylerinde yetersiz karışımın ve boşluklu yapının sebep olduğu sonucuna varılmıştır [83].



**Şekil 4.43.** 4-O16-D1000-İ56 kodlu numuneye ait kök eğme deneyi sonrası EN AW-6082 bölgesinden alınan kırılma yüzeyi SEM görüntüsü a) 500× büyütme, b) 1000× büyütme, c) 2500× büyütme, d) 5000× büyütme

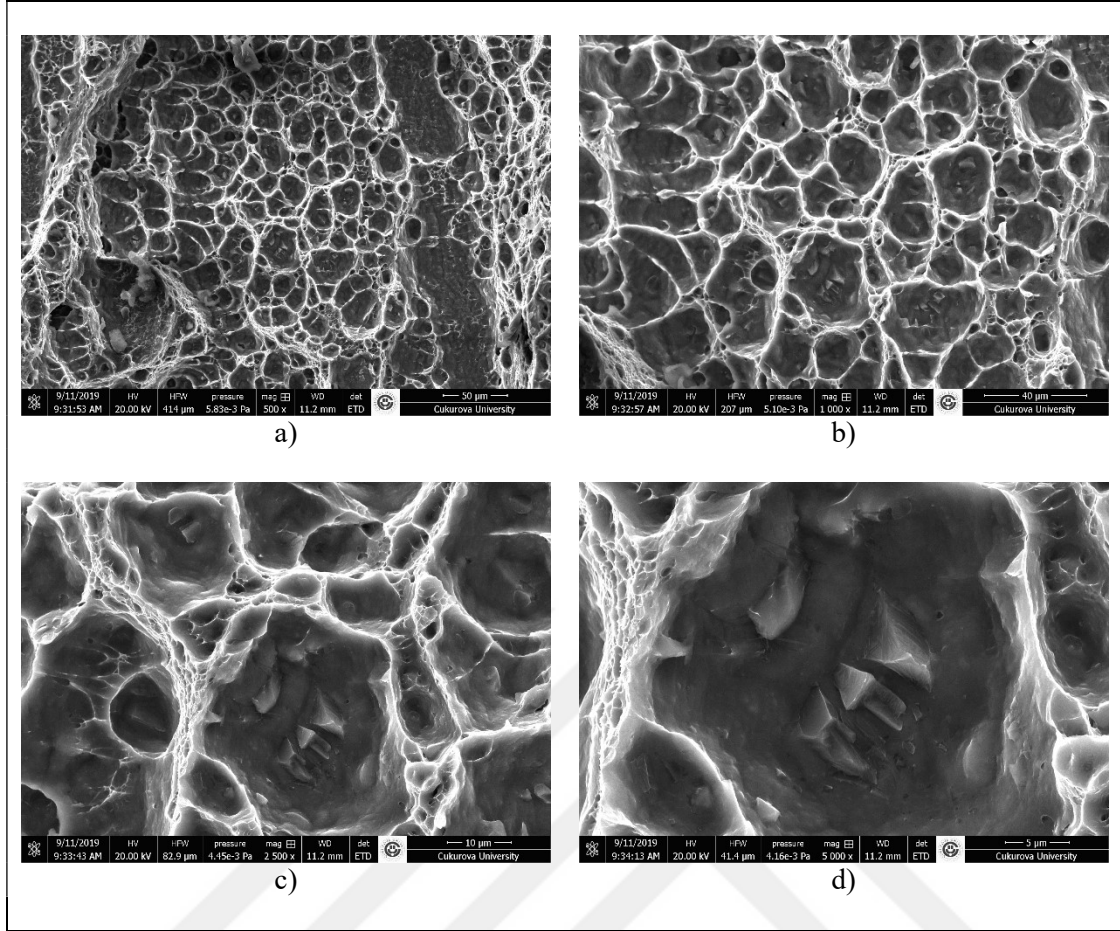
4-O16-D1000-İ56 kodlu numuneye ait kök eğme deneyi sonrası EN AW-6082 bölgesinden alınan kırılma yüzeyinin SEM görüntüsü incelendiğinde yapıda mikro düzeyde kopmalara rastlanmıştır. Bu durum numunenin gevrek olarak kırıldığına göstergesi olduğu düşünülmektedir. Bu duruma kaynak kökündeki birleşme yüzeylerinde yetersiz karışımın ve boşluklu yapının sebep olduğu sonucuna varılmıştır [83].

4-O16-D1000-İ56 kodlu numunenin kep eğme sonrası Şekil 4.44.'de EN AW-5083 bölgesinden ve Şekil 4.45.'de EN AW-6082 bölgesinden alınan kırılma yüzeylerinin taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri verilmiştir.



**Şekil 4.44.** 4-O16-D1000-İ56 kodlu numuneye ait kep eğme deneyi sonrası EN AW-5083 bölgesinden alınan kırılma yüzeyi SEM görüntüsü a) 500× büyütme, b) 1000× büyütme, c) 2500× büyütme, d) 5000× büyütme

4-O16-D1000-İ56 parametre kodlu numuneye ait kep eğme deneyi sonrası EN AW-5083 bölgesinden alınan kırılma yüzeyinin SEM görüntüsü incelendiğinde lamelli bir yüzey yapısı görülmüştür. Eğme deneyi sonrası yapıda mikro düzeyde şeritler halinde ayrılmalar görülmektedir. Buna EN AW-5083 Al alaşımı bölgesinde yetersiz karışmanın olduğu düşünülmektedir.



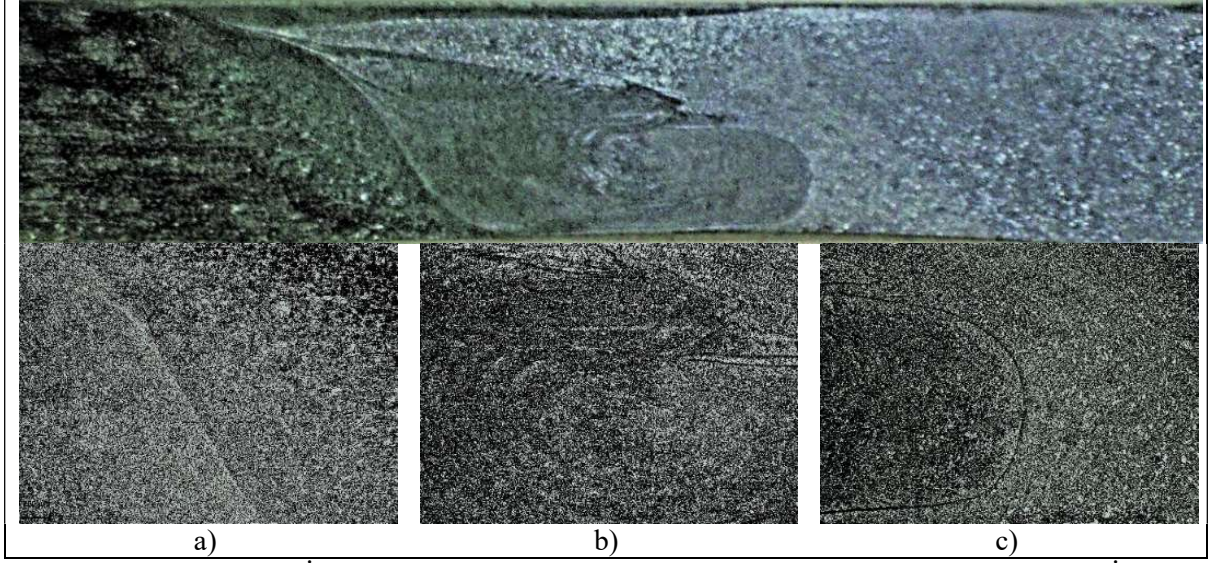
**Şekil 4.45.** 4-O16-D1000-İ56 kodlu numuneye ait kep eğme deneyi sonrası EN AW-6082 bölgesinden alınan kırılma yüzeyi SEM görüntüsü a) 500× büyütme, b) 1000× büyütme, c) 2500× büyütme, d) 5000× büyütme

4-O16-D1000-İ56 kodlu numuneye ait kep eğme deneyi sonrası EN AW-6082 bölgesinden alınan kırılma yüzeyinin SEM görüntüsü incelendiğinde ise boşluklu ve bir yüzey yapısına rastlanmıştır. Yapıda mikro düzeyde karışmamış parçacıklar görülmektedir. Bu yetersiz karışım parçacıklarının eğmeye karşı yetersiz mukavemet dayanımı sergilemesine sebep olduğu düşünülmektedir.

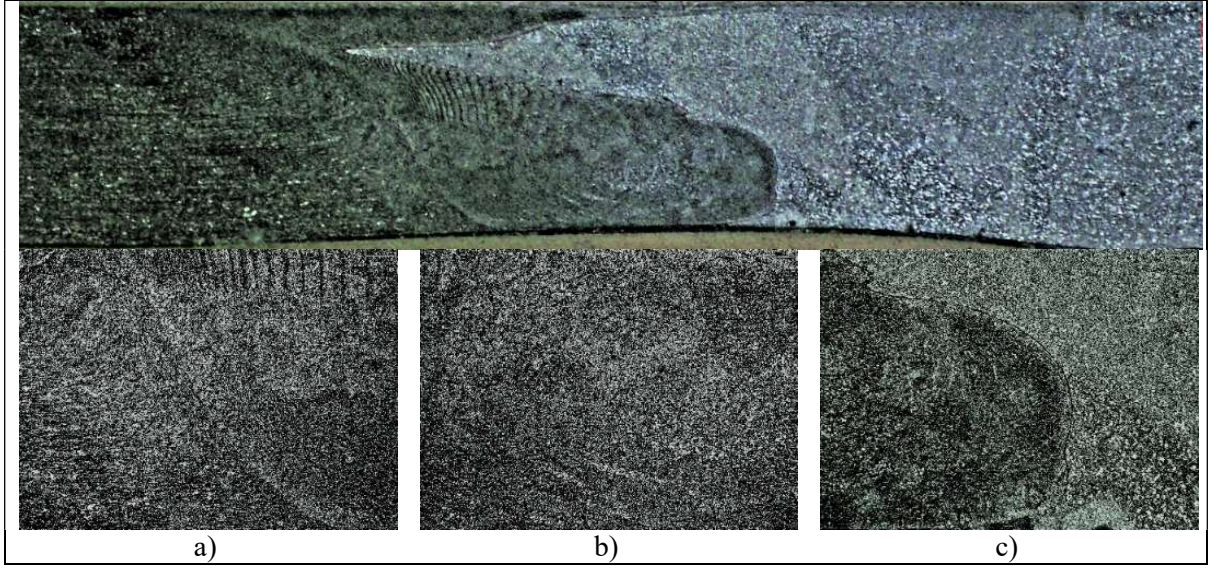
#### 4.4. Optik Mikroskop İnceleme Bulguları

Farklı SKK'lı parametreler kullanılarak birleştirilen Al alaşımı levhaların kaynak bölgesi kesitleri optik mikroskop kullanılarak metalografik analizleri yapılmıştır.

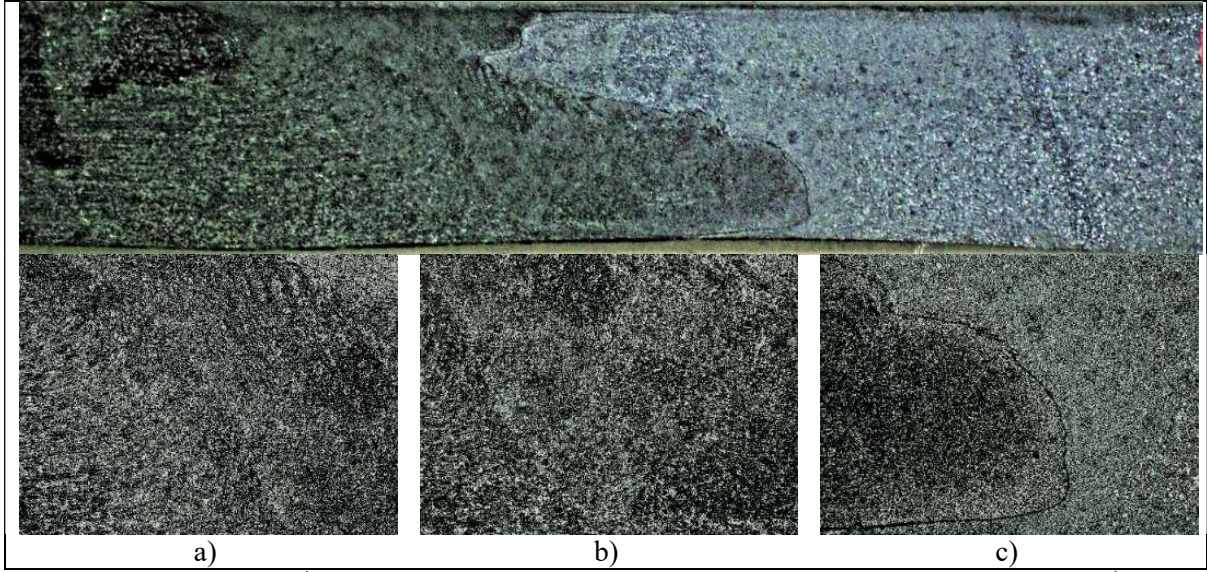
16 mm omuz çapı, 710 dev/dk. takım dönüş hızı ve 56-160 mm/dk. takım ilerleme hızı kullanılarak birleştirilen levhalardan elde edilen optik mikroskop görüntüleri Şekil 4.46-4.48.'de verilmiştir.



Şekil 4.46. 1-O16-D710-İ56 parametre kodlu numuneye ait optik mikroskop görüntüleri a) İlerleme bölgesi TMEB, b) Kaynak merkezi, c) Yığılma bölgesi TMEB



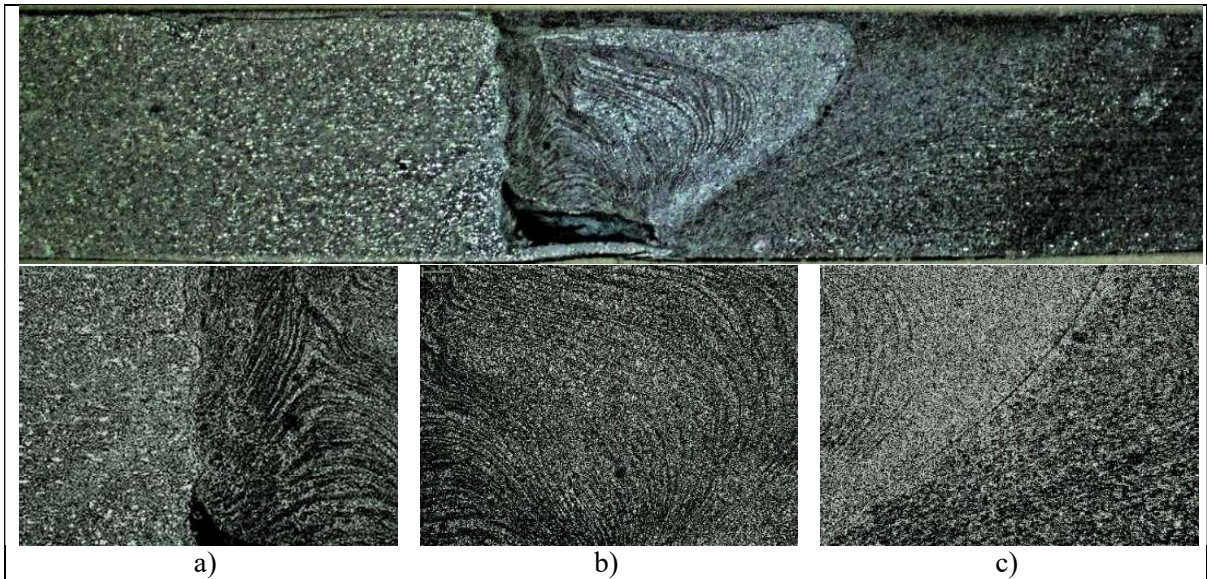
Şekil 4.47. 2-O16-D710-İ112 parametre kodlu numuneye ait optik mikroskop görüntüleri a) İlerleme bölgesi TMEB, b) Kaynak merkezi, c) Yığılma bölgesi TMEB



Şekil 4.48. 3-O16-D710-İ160 parametre kodlu numuneye ait optik mikroskop görüntüleri a) İlerleme bölgesi TMEB, b) Kaynak merkezi, c) Yığılma bölgesi TMEB

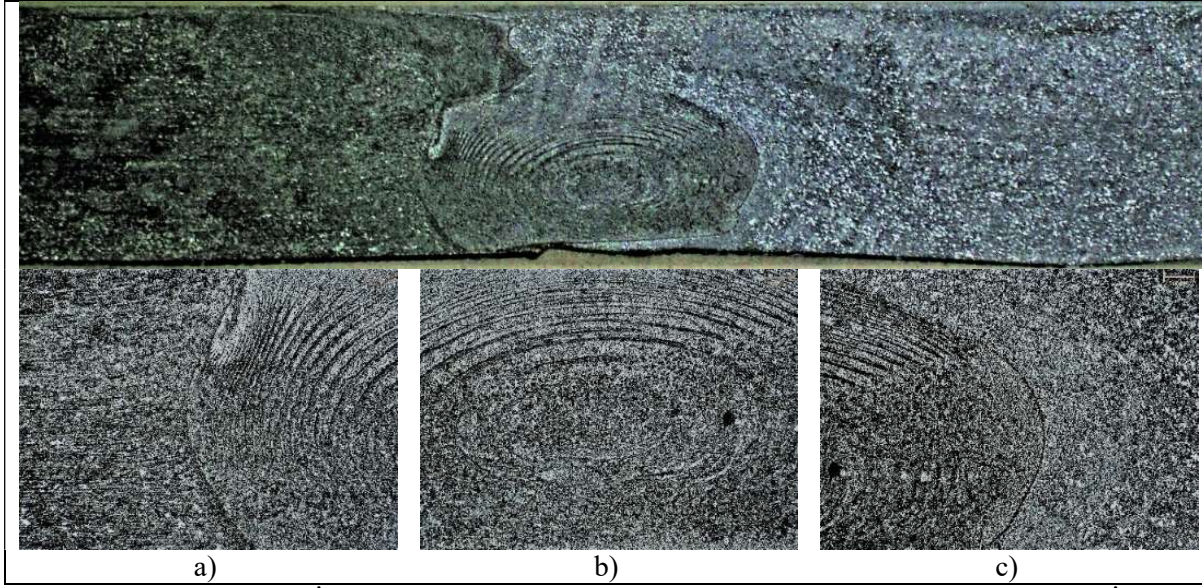
Şekil 4.46.-4.48 incelendiğinde her üç parametrede de kaynak hatası görülmemiştir. Kaynak bölgesi belirgin bir şekilde esas malzemeden ayırt edilebilmektedir. Bu parametrelerde literatürde rastlanan soğan halkası görünümü oluşmamıştır [105]. Kaynak bölgeleri her üç parametrede de yakın büyüklüktedir. Kaynak yüzeyine yakın bölgelerde takım ilerleme hızına bağlı olarak yığılma bölgesinden (EN AW-6082-T651) sürüklenen malzeme miktarının azaldığı görülmüştür.

16 mm omuz çapı, 1000 dev/dk. takım dönüş hızı ve 56-160 mm/dk. takım ilerleme hızı kullanılarak birleştirilen levhalardan elde edilen optik mikroskop görüntüleri Şekil 4.49.-4.51.'de verilmiştir.

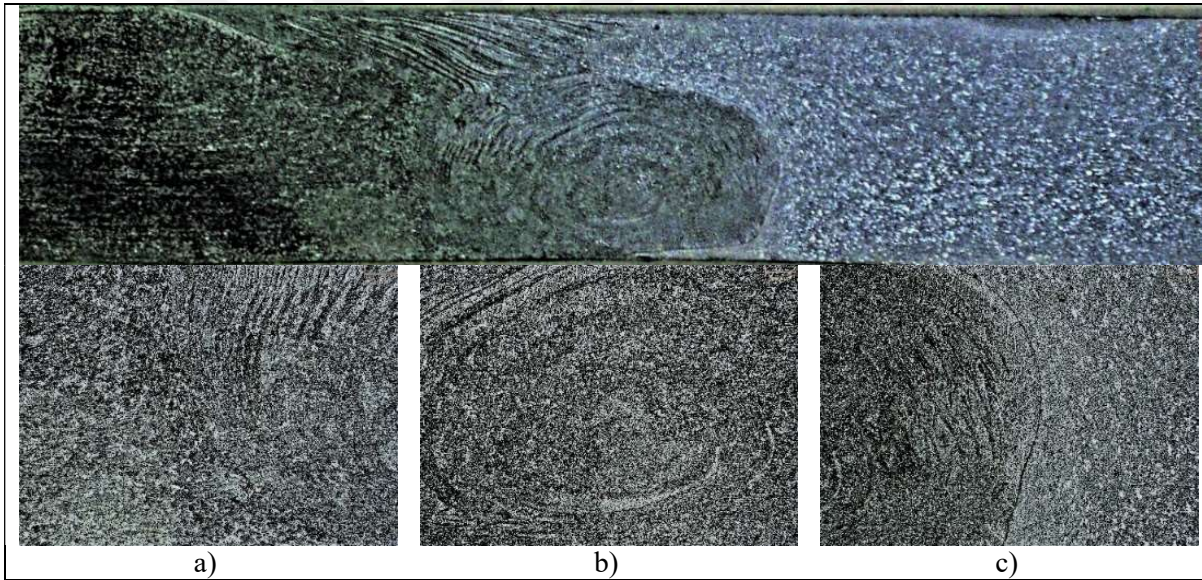


Şekil 4.49. 4-O16-D1000-İ56 parametre kodlu numuneye ait optik mikroskop görüntüleri a) İlerleme bölgesi TMEB, b) Kaynak merkezi, c) Yığılma bölgesi TMEB





**Şekil 4.50.** 5-O16-D1000-İ112 parametre kodlu numuneye ait optik mikroskop görüntüleri a) İlerleme bölgesi TMEB, b) Kaynak merkezi, c) Yığılma bölgesi TMEB

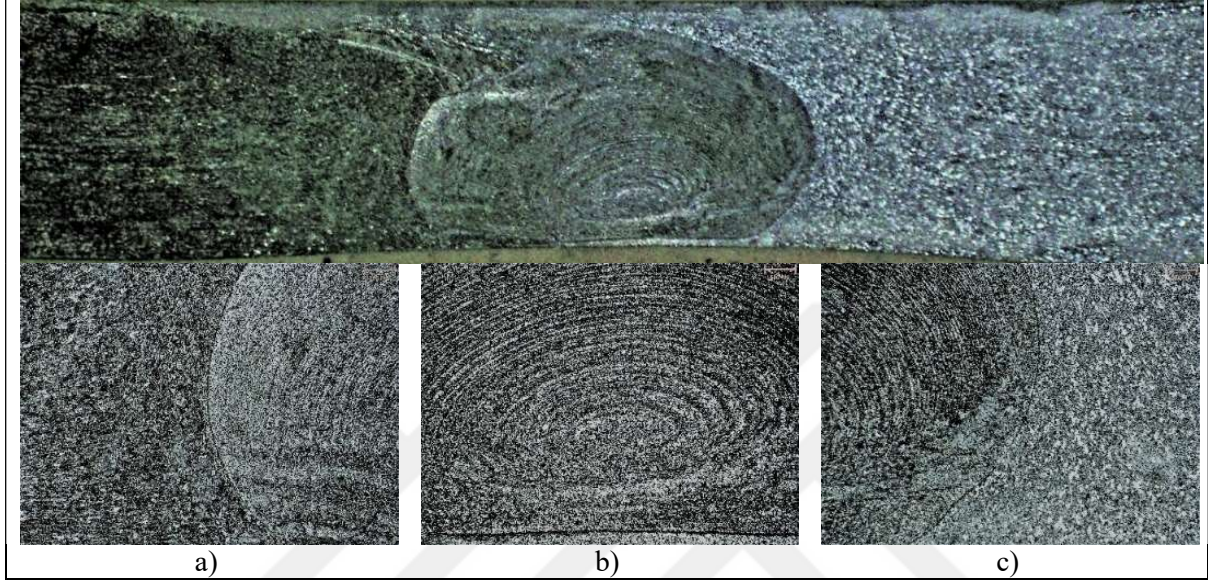


**Şekil 4.51.** 6-O16-D1000-İ160 parametre kodlu numuneye ait optik mikroskop görüntüleri a) İlerleme bölgesi TMEB, b) Kaynak merkezi, c) Yığılma bölgesi TMEB

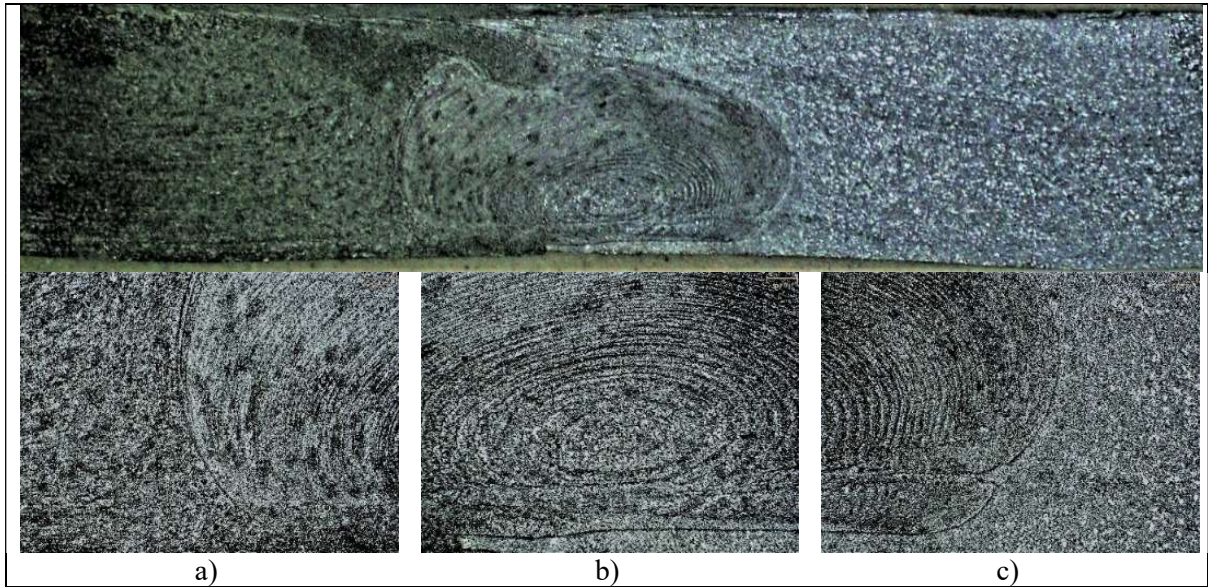
Şekil 4.49.-4.51. incelendiğinde 4-O16-D1000-İ56 kodlu parametrede birleştirilen bağlantının kaynak kökünde boşluk oluşumu (tünel oluşumu) görülmektedir. Bu durum çekme deneyi sonrası en düşük mukavemet değerlerinin ve eğme deneyindeki kırılma yüzeyindeki yetersiz karışımın sebebi olduğu açıkça söylenebilir. 4-O16-D1000-İ56 kodlu parametrede kaynak merkezinin ilerleme bölgesi sınırında (Şekil 4.49. a) dikey bir hat ile sınırlandırılmış şekilde olduğu görülmektedir. Bu bölgede kaynak metali ile esas metalin yetersiz karıştığı ve ilerleme bölgesinde karışım deformasyonun dikey hat sınırında sonlandığı tespit edilmiştir. 5-O16-D1000-İ112 parametredeki birleştirmede kaynak merkezinde soğan halkası görünümlü yapı oluşmuştur [105]. 4-O16-D1000-İ56 ve 5-O16-D1000-İ112 parametrelerinde kaynak bölgesi belirgin bir şekilde esas malzemeden ayırt edilebilmektedir. Ancak 6-

O16-D1000-İ160 kodlu parametrede belirgin olmayan bir kaynak merkezi görülmektedir. Takım omzuna yakın, ilerleme bölgesinde malzeme akışı belirgin olarak görülmektedir.

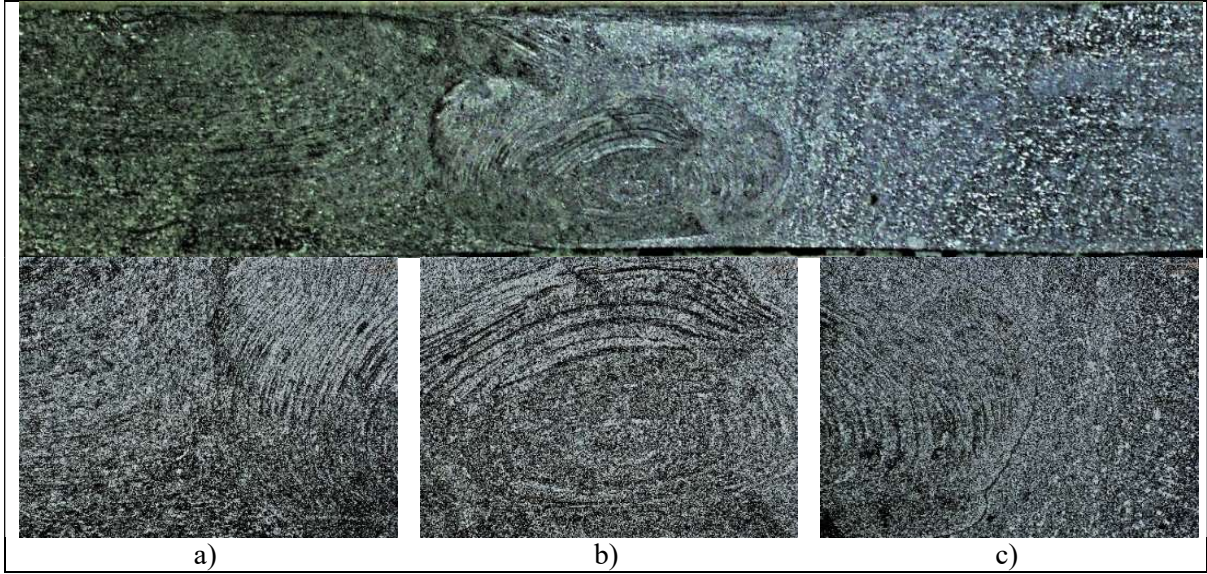
16 mm omuz çapı, 1400 dev/dk. takım dönüş hızı ve 56-160 mm/dk. takım ilerleme hızı kullanılarak birleştirilen levhalardan elde edilen optik mikroskop görüntüleri Şekil 4.52.-4.54.'de verilmiştir.



Şekil 4.52. 7-O16-D1400-İ56 parametre kodlu numuneye ait optik mikroskop görüntüleri a) İlerleme bölgesi TMEB, b) Kaynak merkezi, c) Yığılma bölgesi TMEB



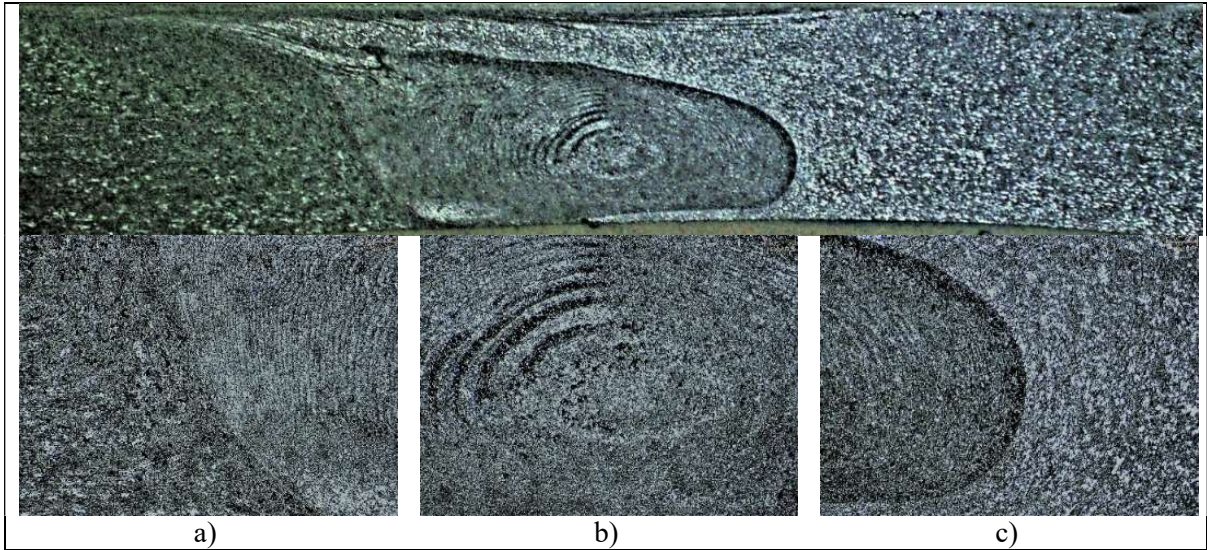
Şekil 4.53. 8-O16-D1400-İ112 parametre kodlu numuneye ait optik mikroskop görüntüleri a) İlerleme bölgesi TMEB, b) Kaynak merkezi, c) Yığılma bölgesi TMEB



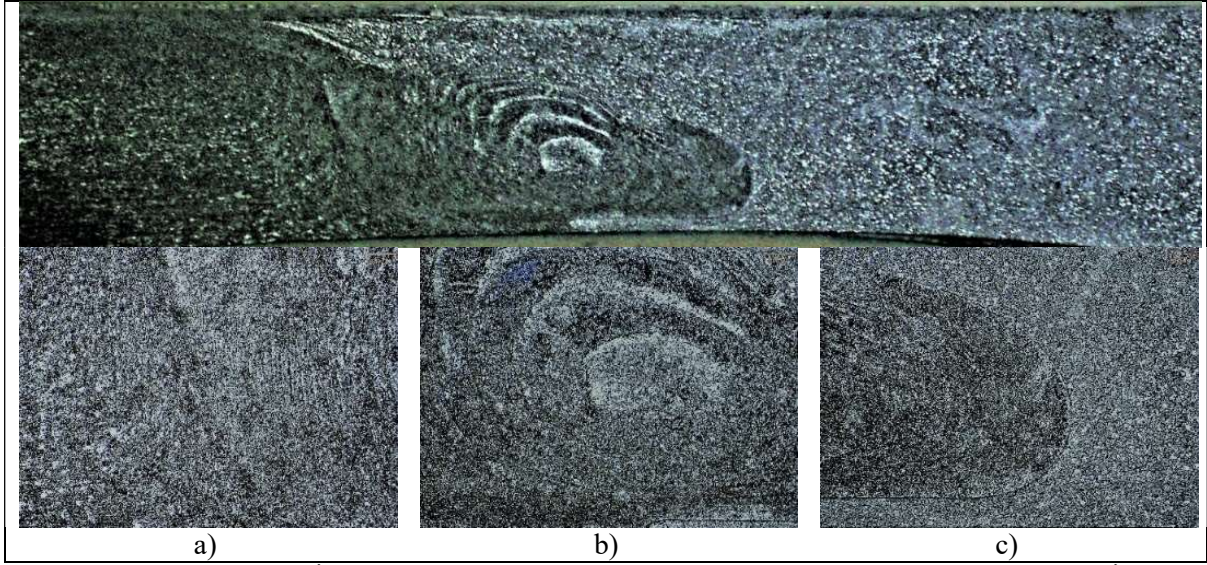
**Şekil 4.54.** 9-O16-D1400-I160 parametre kodlu numuneye ait optik mikroskop görüntüleri a) İlerleme bölgesi TMEB, b) Kaynak merkezi, c) Yığılma bölgesi TMEB

Şekil 4.52.-4.54. incelendiğinde her üç parametrede de kaynak merkezinde soğan halkası görünümünde deformasyonlar görülmektedir. Çalışılan parametrelerde kaynak bölgeleri benzer yapıdadır.

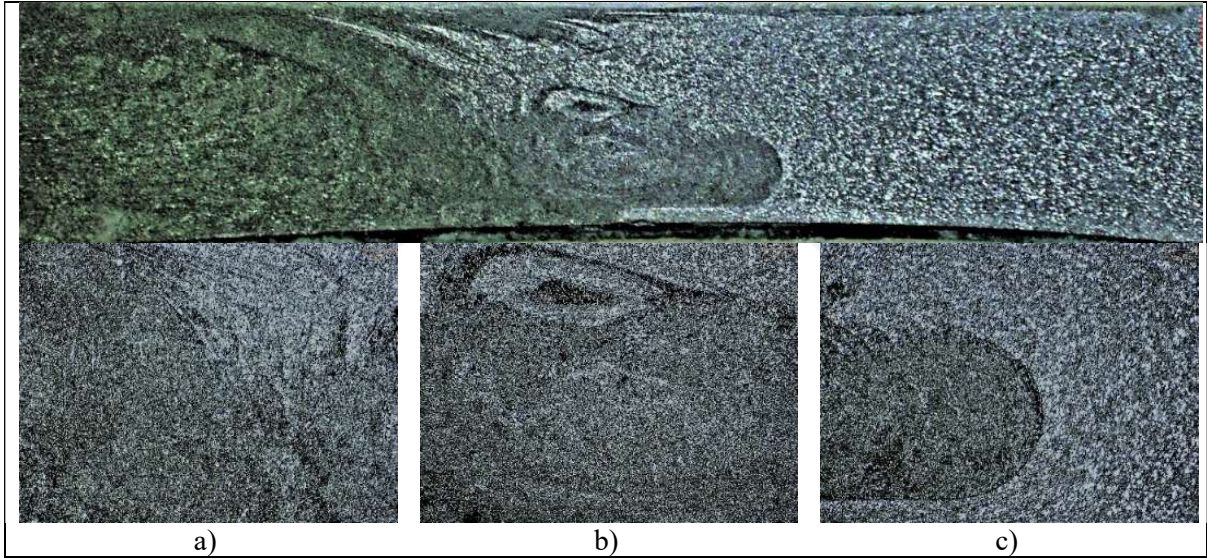
20 mm omuz çapı, 710 dev/dk takım dönüş hızı ve 56-160 mm/dk. takım ilerleme hızı kullanılarak birleştirilen levhalardan elde edilen optik mikroskop görüntüleri Şekil 4.55.-4.57.'de verilmiştir.



**Şekil 4.55.** 10-O20-D710-I56 parametre kodlu numuneye ait optik mikroskop görüntüleri a) İlerleme bölgesi TMEB, b) Kaynak merkezi, c) Yığılma bölgesi TMEB



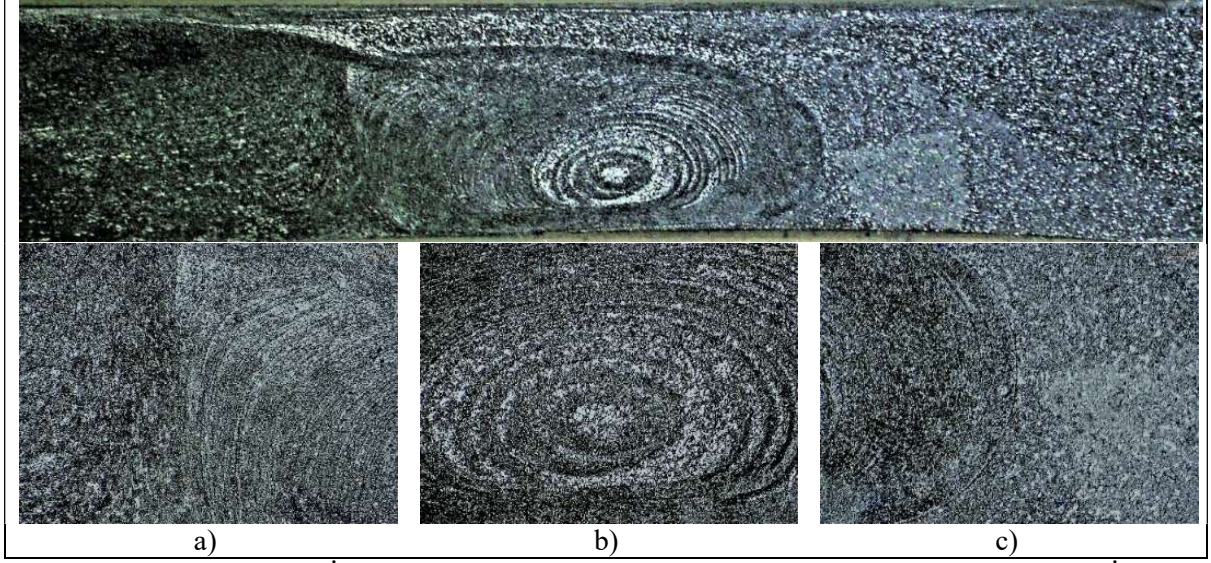
**Şekil 4.56.** 11-O20-D710-İ112 parametre kodlu numuneye ait optik mikroskop görüntüleri a) İlerleme bölgesi TMEB, b) Kaynak merkezi, c) Yığılma bölgesi TMEB



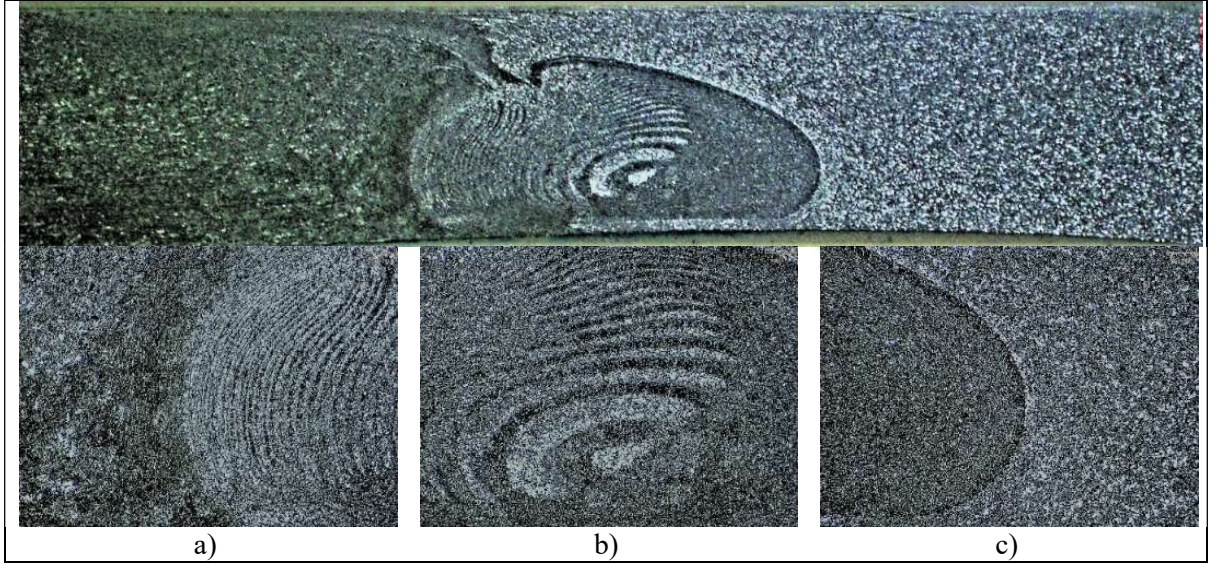
**Şekil 4.57.** 12-O20-D710-İ160 parametre kodlu numuneye ait optik mikroskop görüntüleri a) İlerleme bölgesi TMEB, b) Kaynak merkezi, c) Yığılma bölgesi TMEB

Şekil 4.55.-4.57. incelendiğinde 10-O20-D710-İ56 ve 11-O20-D710-İ112 parametrelerde kaynak merkezinde geniş soğan halkası görünümü oluşurken 12-O20-D710-İ160 parametrede soğan halkası görünümüne rastlanmamıştır. Ancak takım yüzeyine yakın bölgede ilerleme yönünde deformasyonlar görülmüştür.

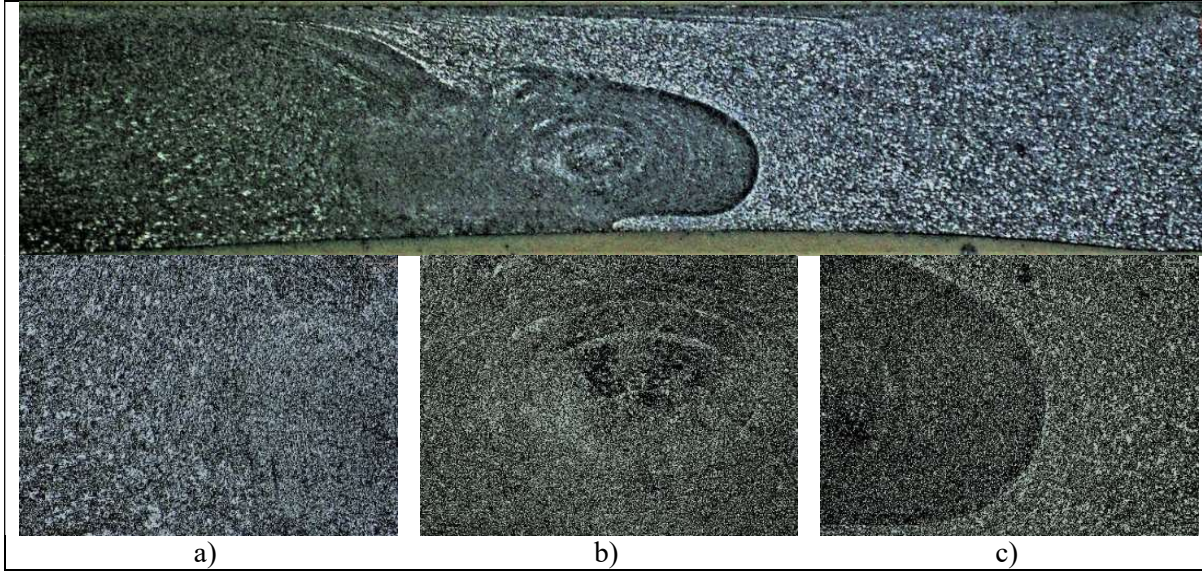
20 mm omuz çapı, 1000 dev/dk. takım dönüş hızı ve 56-160 mm/dk. takım ilerleme hızı kullanılarak birleştirilen levhalardan elde edilen optik mikroskop görüntüleri Şekil 4.58.-4.60.'da verilmiştir.



Şekil 4.58. 13-O20-D1000-İ56 parametre kodlu numuneye ait optik mikroskop görüntüleri a) İlerleme bölgesi TMEB, b) Kaynak merkezi, c) Yığılma bölgesi TMEB



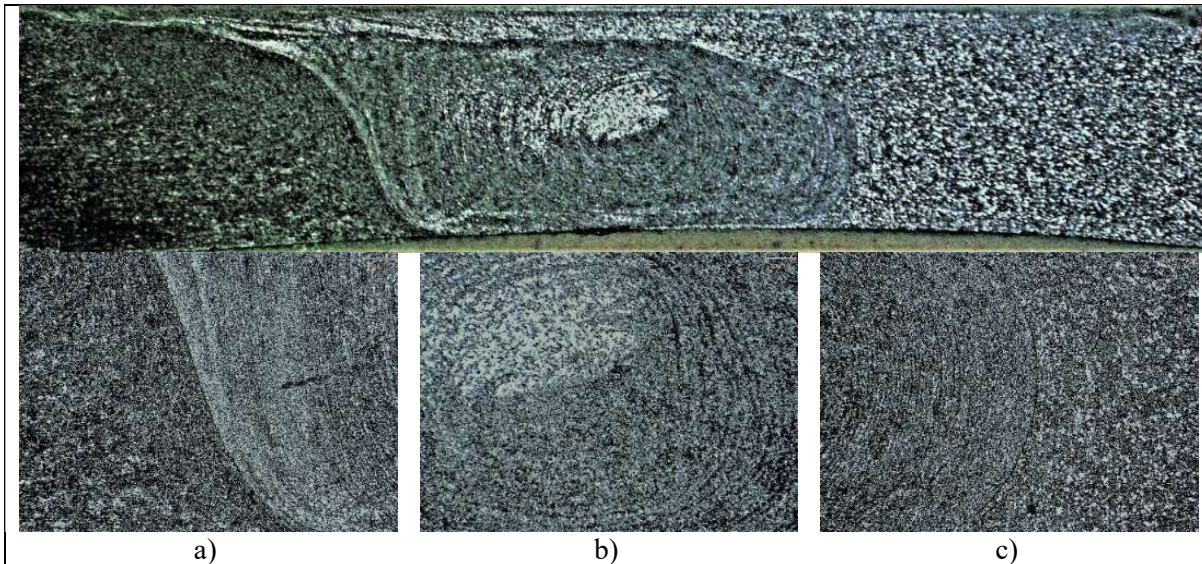
Şekil 4.59. 14-O20-D1000-İ112 parametre kodlu numuneye ait optik mikroskop görüntüleri a) İlerleme bölgesi TMEB, b) Kaynak merkezi, c) Yığılma bölgesi TMEB



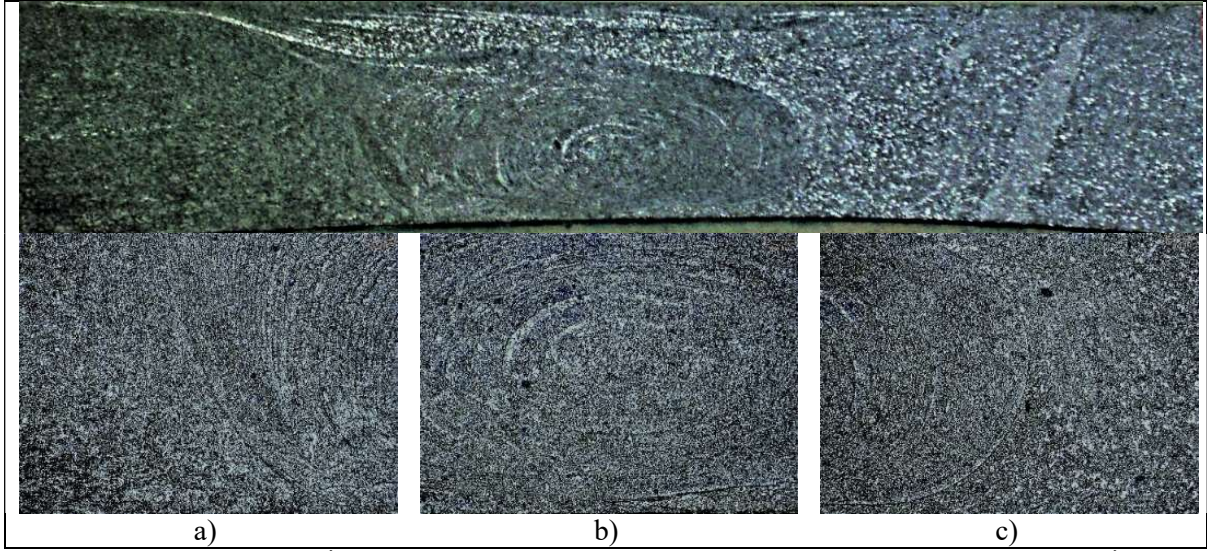
**Şekil 4.60.** 15-O20-D1000-İ160 parametre kodlu numuneye ait optik mikroskop görüntüleri a) İlerleme bölgesi TMEB, b) Kaynak merkezi, c) Yığılma bölgesi TMEB

Şekil 4.58.-4.60. incelendiğinde 13-O20-D1000-İ56 ve 14-O20-D1000-İ112 parametrelerde kaynak merkezinde geniş soğan halkası görünümü oluşurken 15-O20-D1000-İ160 parametrede daha belirsiz soğan halkası görünümüne rastlanmıştır. Ancak takım yüzeyine yakın bölgede ilerleme yönünde deformasyonlar görülmüştür.

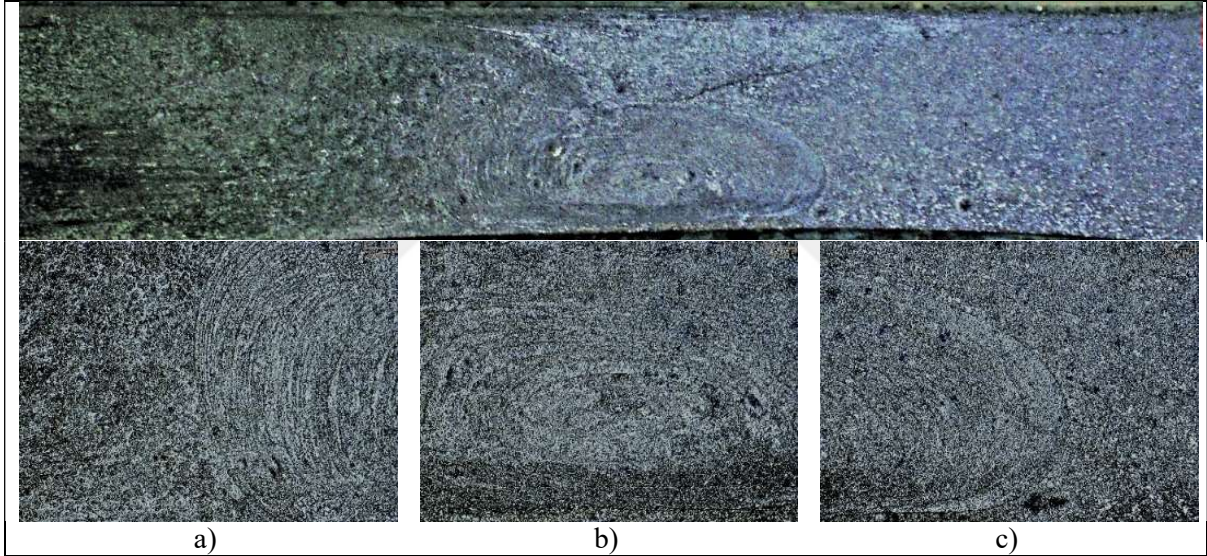
20 mm omuz çapı, 1400 dev/dk. takım dönüş hızı ve 56-160 mm/dk. takım ilerleme hızı kullanılarak birleştirilen levhalardan elde edilen optik mikroskop görüntüleri Şekil 4.61.-4.63.'de verilmiştir.



**Şekil 4.61.** 16-O20-D1400-İ56 parametre kodlu numuneye ait optik mikroskop görüntüleri a) İlerleme bölgesi TMEB, b) Kaynak merkezi, c) Yığılma bölgesi TMEB



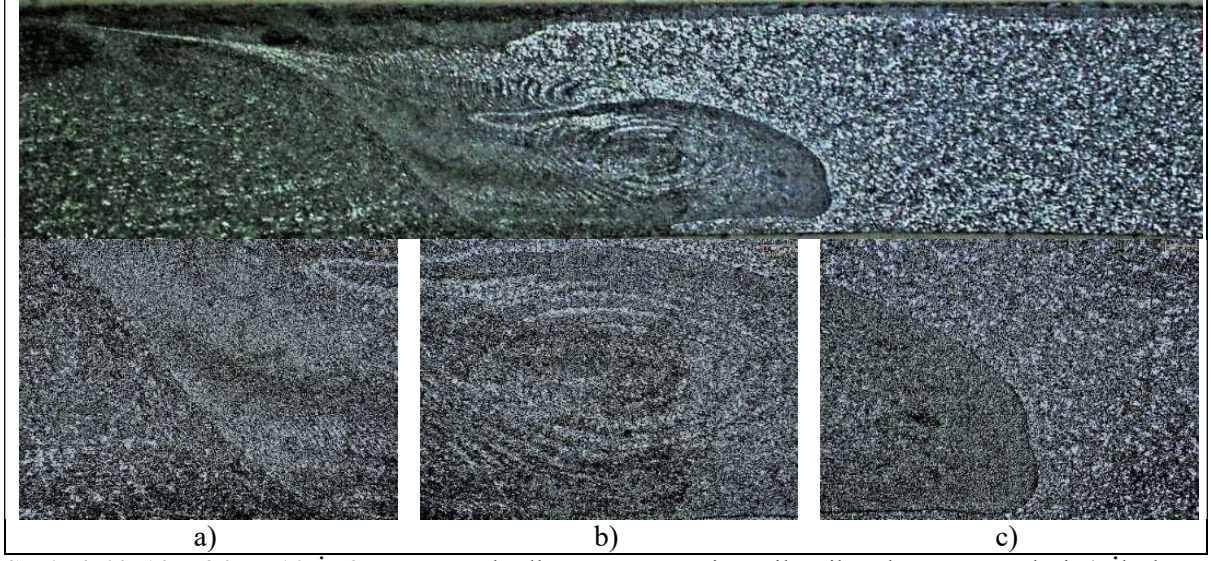
**Şekil 4.62.** 17-O20-D1400-İ112 parametre kodlu numuneye ait optik mikroskop görüntüleri a) İlerleme bölgesi TMEB, b) Kaynak merkezi, c) Yığılma bölgesi TMEB



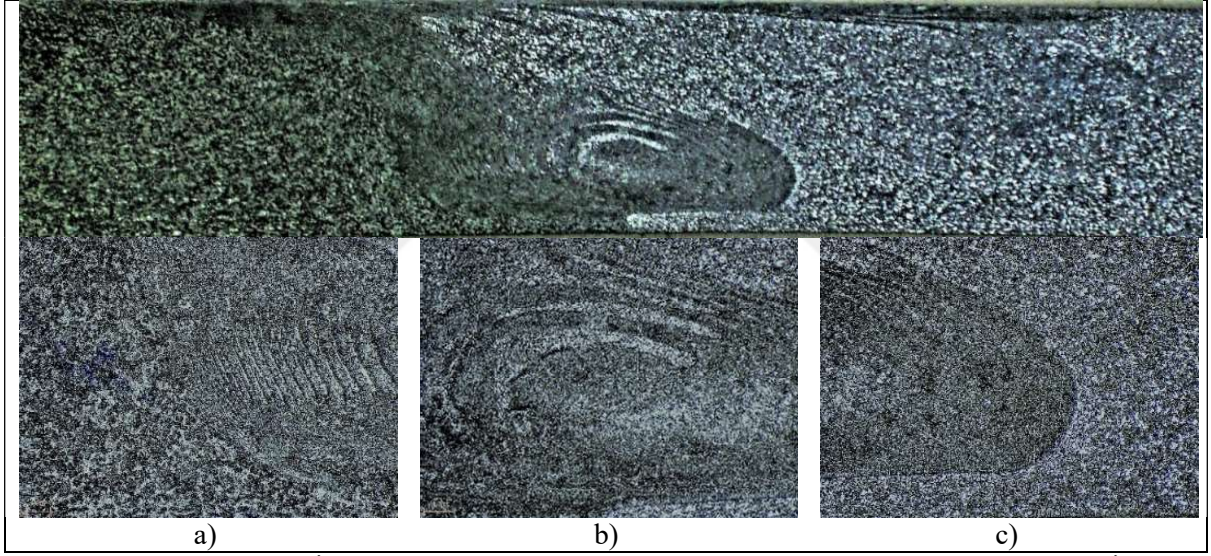
**Şekil 4.63.** 18-O24-D1400-İ160 parametre kodlu numuneye ait optik mikroskop görüntüleri a) İlerleme bölgesi TMEB, b) Kaynak merkezi, c) Yığılma bölgesi TMEB

Şekil 4.61.-4.63. incelendiğinde bu parametrelerde kaynak merkezinde belirsiz bir soğan halkası görünümü oluşmuştur. 18-O24-D1400-İ160 parametredeki birleştirmede takım yüzeyine yakın bölgede 16-O20-D1400-İ56 ve 17-O20-D1400-İ112 kaynak parametresinden farklı deformasyonlar görülmüştür.

24 mm omuz çapı, 710 dev/dk. takım dönüş hızı ve 56-160 mm/dk. takım ilerleme hızı kullanılarak birleştirilen levhalardan elde edilen optik mikroskop görüntüleri Şekil 4.64.-4.66.'da verilmiştir.

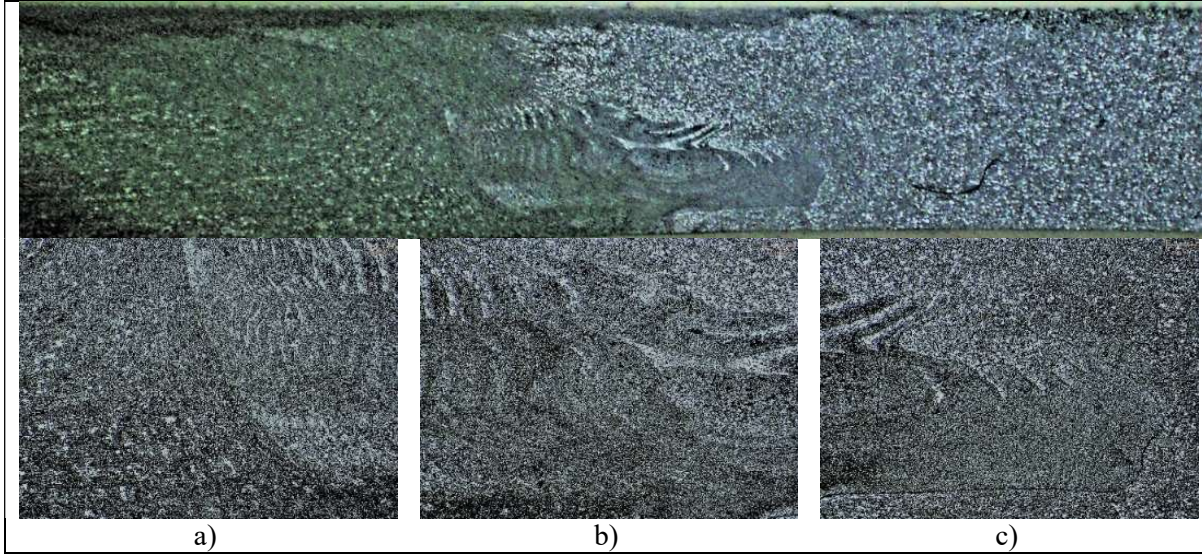


Şekil 4.64. 19-O24-D710-I56 parametre kodlu numuneye ait optik mikroskop görüntüleri a) İlerleme bölgesi TMEB, b) Kaynak merkezi, c) Yığılma bölgesi TMEB



Şekil 4.65. 20-O24-D710-I112 parametre kodlu numuneye ait optik mikroskop görüntüleri a) İlerleme bölgesi TMEB, b) Kaynak merkezi, c) Yığılma bölgesi TMEB

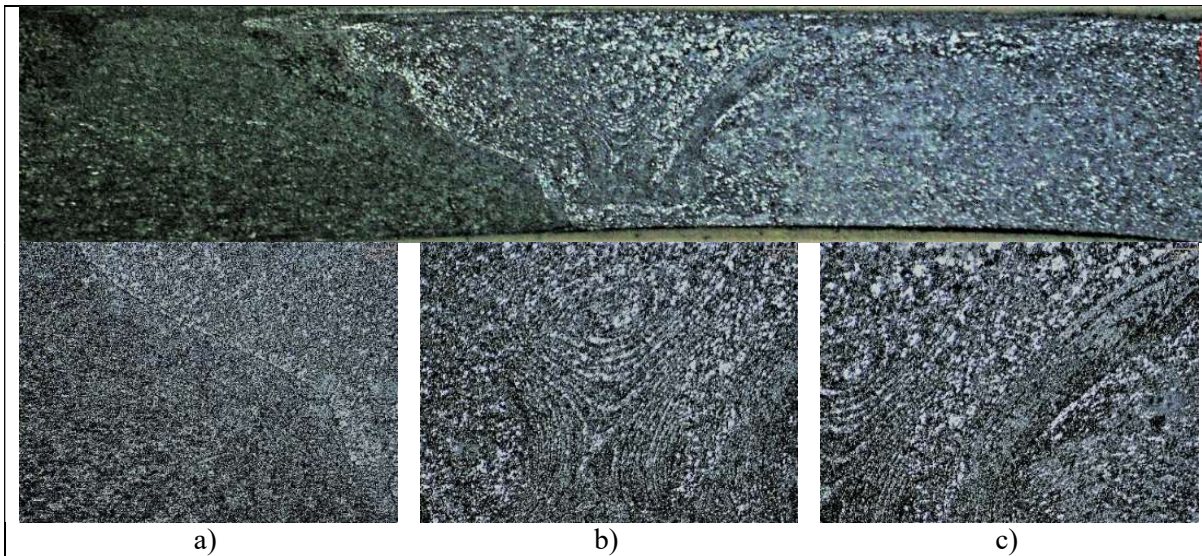




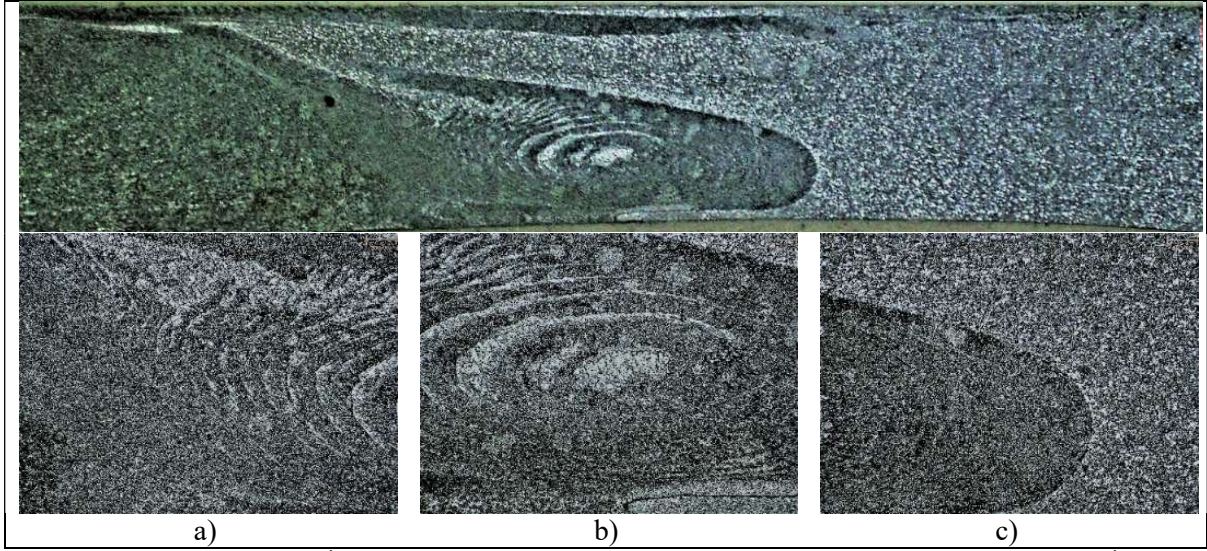
**Şekil 4.66.** 21-O24-D710-İ160 parametre kodlu numuneye ait optik mikroskop görüntüleri a) İlerleme bölgesi TMEB, b) Kaynak merkezi, c) Yığılma bölgesi TMEB

Şekil 4.64.-4.66. incelendiğinde bu parametrelerde kaynak merkezinde soğan halkası görünümü oluşmuştur. 20-O24-D710-İ112 ve 21-O24-D710-İ160 parametredeki birleştirmelerde kaynak merkezi ile esas metal arasında belirsiz bir geçiş bölgesi oluşmuştur.

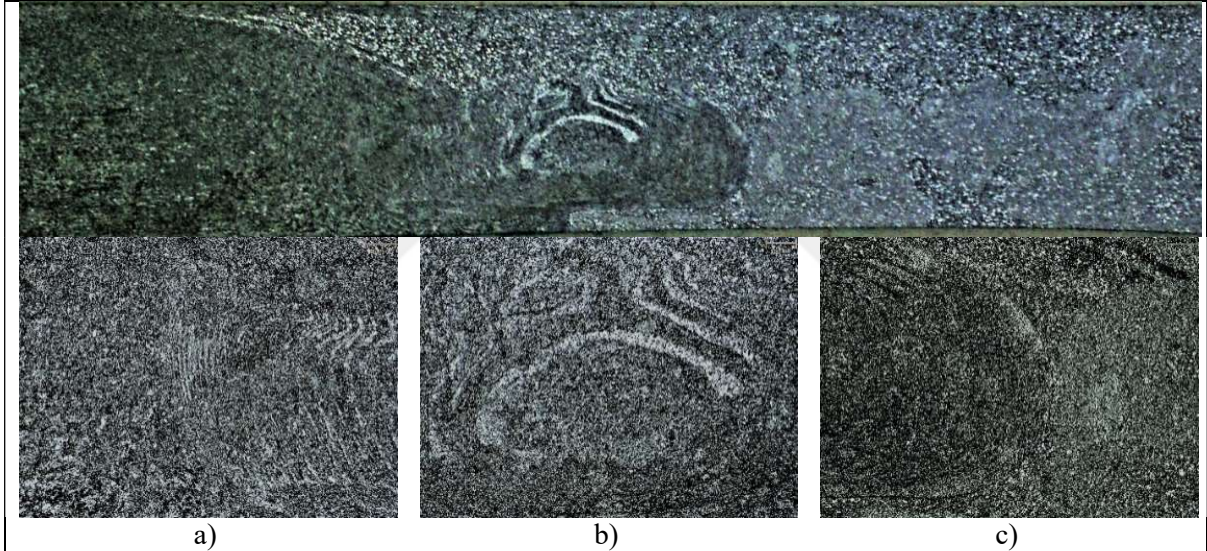
24 mm takım omuz çapı, 1000 dev/dk. takım dönüş hızı ve 56-160 mm/dk. takım ilerleme hızı kullanılarak birleştirilen levhalardan elde edilen optik mikroskop görüntüleri Şekil 4.67.-4.69.'da verilmiştir.



**Şekil 4.67.** 22-O24-D1000-İ56 parametre kodlu numuneye ait optik mikroskop görüntüleri a) İlerleme bölgesi TMEB, b) Kaynak merkezi, c) Yığılma bölgesi TMEB



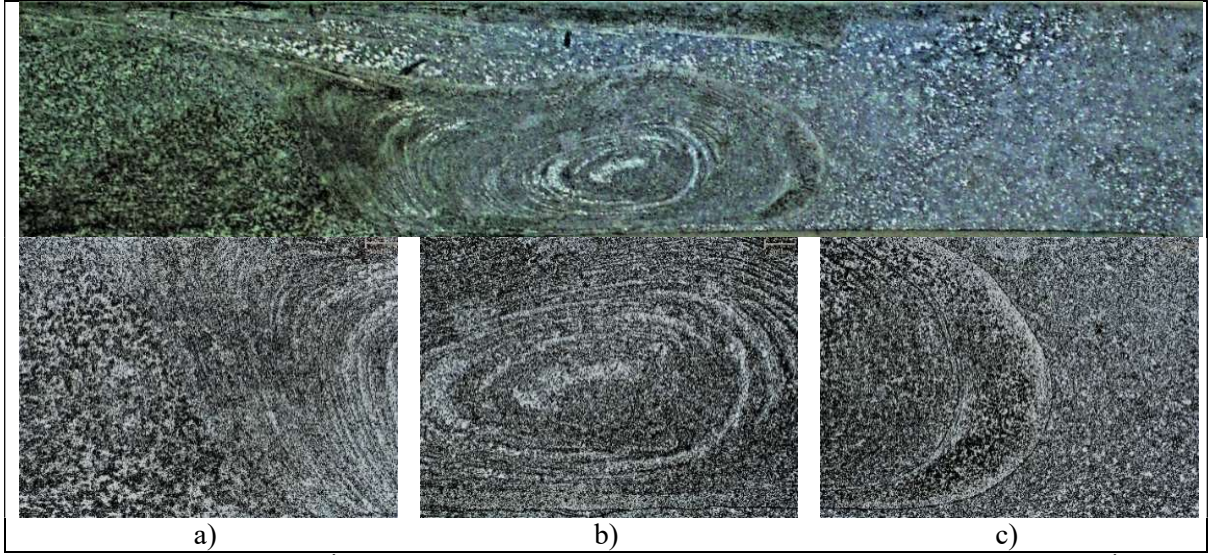
**Şekil 4.68.** 23-O24-D1000-İ112 parametre kodlu numuneye ait optik mikroskop görüntüleri a) İlerleme bölgesi TMEB, b) Kaynak merkezi, c) Yığılma bölgesi TMEB



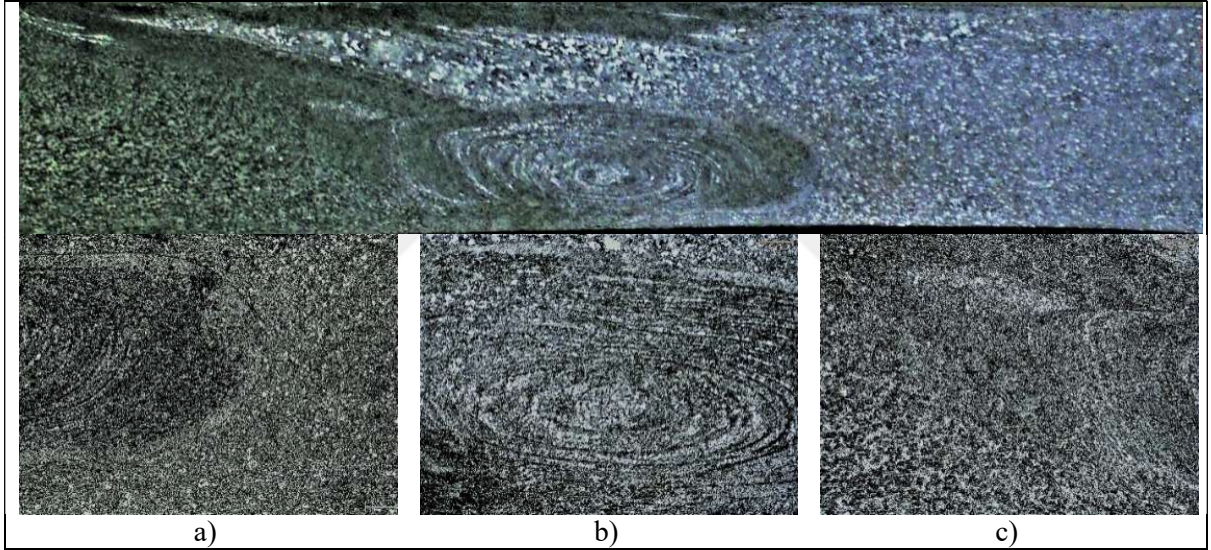
**Şekil 4.69.** 24-O24-D1000-İ160 parametre kodlu numuneye ait optik mikroskop görüntüleri a) İlerleme bölgesi TMEB, b) Kaynak merkezi, c) Yığılma bölgesi TMEB

Şekil 4.67.-4.69. incelendiğinde 22-O24-D1000-İ56 parametrede kaynak bölgesi çalışılan parametrelerin dışında ters üçgen şeklinde oluşmuştur. Bu şekil literatürde çalışılan kaynaklı yapılara benzememektedir. Diğer iki parametrede ise kaynak merkezinde kalın halkalar şeklinde bir görünüm oluşmuştur. Bu parametrelerde kaynak merkezinde soğan halkası görünümü oluşmuştur.

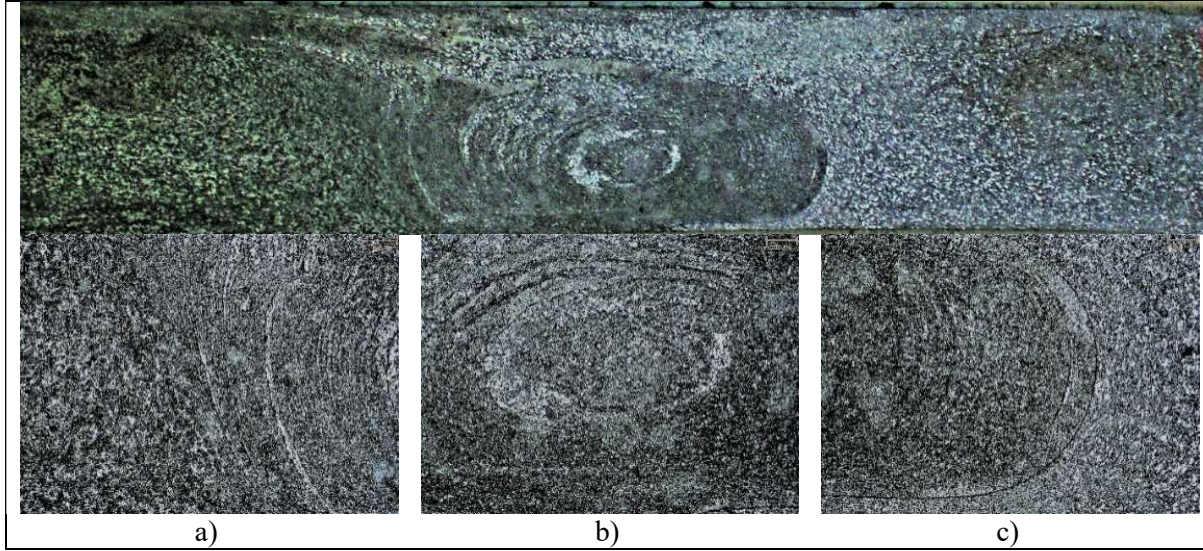
24 mm omuz çapı, 1400 dev/dk. takım dönüş hızı ve 56-160 mm/dk. takım ilerleme hızı kullanılarak birleştirilen levhalardan elde edilen optik mikroskop görüntüleri Şekil 4.70.-4.72.'de verilmiştir.



**Şekil 4.70.** 25-O24-D1400-İ56 parametre kodlu numuneye ait optik mikroskop görüntüleri a) İlerleme bölgesi TMEB, b) Kaynak merkezi, c) Yığılma bölgesi TMEB



**Şekil 4.71.** 26-O24-D1400-İ12 parametre kodlu numuneye ait optik mikroskop görüntüleri a) İlerleme bölgesi TMEB, b) Kaynak merkezi, c) Yığılma bölgesi TMEB

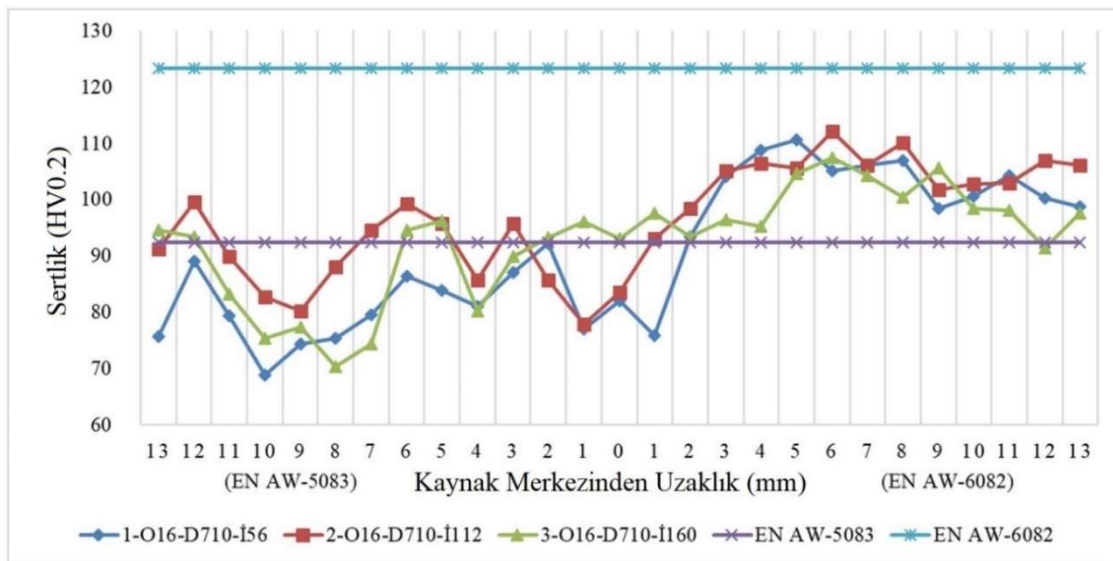


Şekil 4.72. 27-O24-D1400-İ160 parametre kodlu numuneye ait optik mikroskop görüntüleri a) İlerleme bölgesi TMEB, b) Kaynak merkezi, c) Yığılma bölgesi TMEB

Şekil 4.70.-4.72. incelendiğinde bu parametrede yapılan kaynak bölgelerinde çok belirgin olmayan kalkalı bir yapı oluşmuştur. Kaynak merkezi her üç parametrede de kaynak köküne yakın olacak şekilde deforme olmuştur.

#### 4.5. Mikrosertlik İnceleme Bulguları

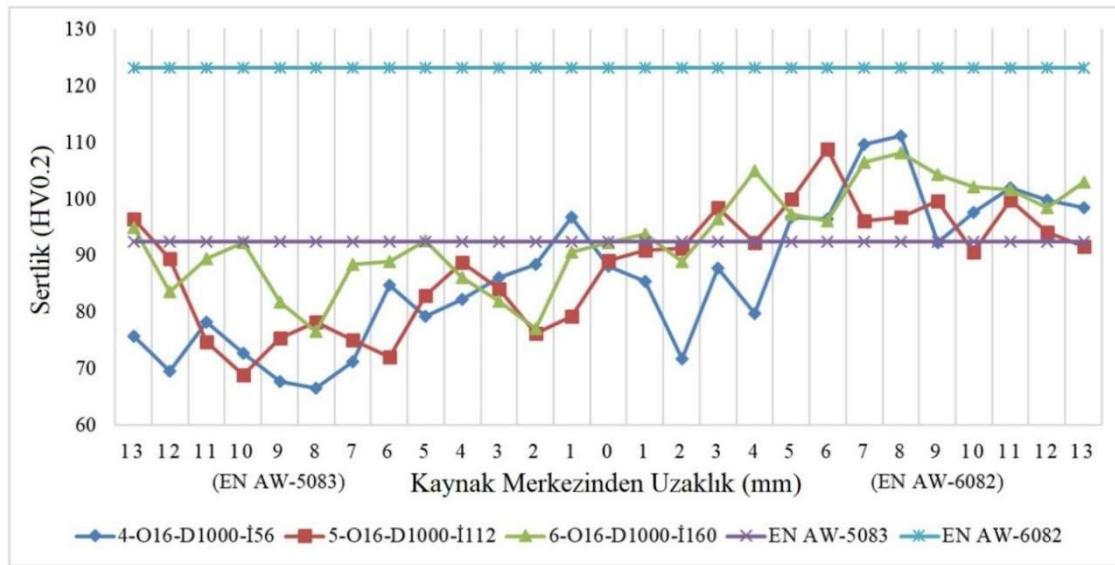
EN AW-6082 esas metalinin sertlik değeri 92.46 ve EN AW-6082 esas metalinin sertlik değeri 123.30 olarak ölçülmüştür. 16 mm omuz çapı, 710 devir ve 56-160 mm/dk. ilerleme hızı kullanılarak birleştirilen kaynaklı bağlantıların mikrosertlik ölçümlerinden elde edilen grafik Şekil 4.73.'de verilmiştir.



Şekil 4.73. 16 mm takım omuz çapı ve 710 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin mikrosertlik ölçüm grafiği

16 mm omuz çapı ve 710 dev/dk. takım devri kullanılarak yapılan birleştirmeler arasında en düşük sertlik değerleri 1-O16-D710-İ56 parametrede 68.88 HV değerinde ITAB'da, 2-O16-D710-İ112 parametrede 77.05 HV değerinde KM'de ve 3-O16-D710-İ160 parametrede 70.31 HV değerinde TMEB'de olduğu görülmüştür. En yüksek sertlik değerleri 1-O16-D710-İ56 parametrede 110.70 HV değerinde TMEB'de, 2-O16-D710-İ112 parametrede 112.1 HV değerinde TMEB'de ve 3-O16-D710-İ160 parametrede 107.40 HV değerinde TMEB'de olduğu görülmüştür. Kaynak merkezlerinin ortalama sertlik değerleri 1-O16-D1000-İ56 parametrede 84.15 HV, 2-O16-D1000-İ112 parametrede 87.74 HV ve 3-O16-D1000-İ160 parametrede 94.69 HV olarak ölçülmüştür.

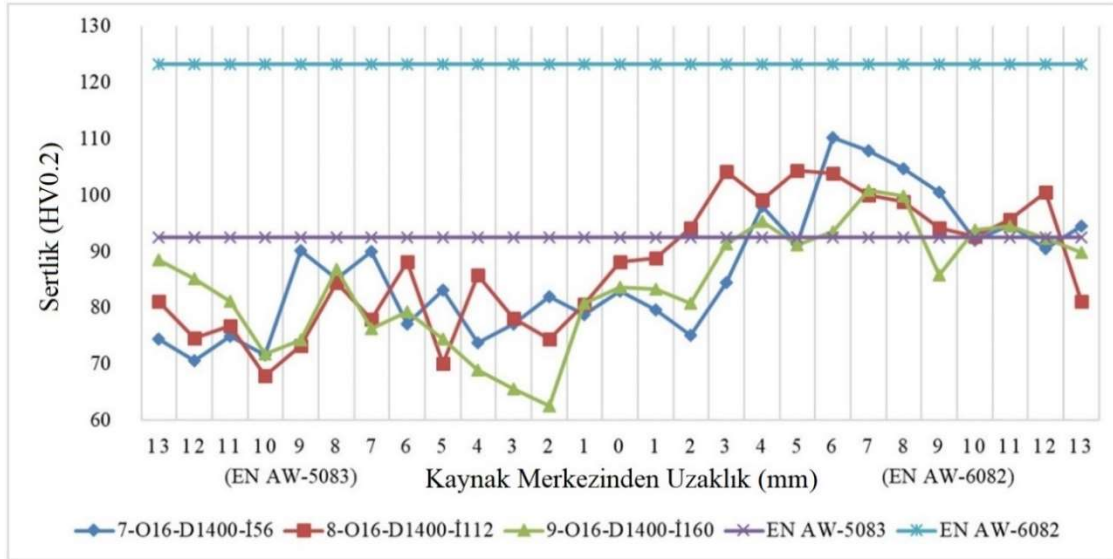
16 mm omuz çapı, 1000 devir ve 56-160 mm/dk. ilerleme hızı kullanılarak birleştirilen kaynaklı bağlantıların mikrosertlik ölçümlerinden elde edilen grafik Şekil 4.74.'de verilmiştir.



**Şekil 4.74.** 16 mm takım omuz çapı ve 1000 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin mikrosertlik ölçüm grafiği

16 mm omuz çapı ve 1000 dev/dk. takım devri kullanılarak yapılan birleştirmeler arasında en düşük sertlik değerleri 4-O16-D1000-İ56 parametrede 66.59 HV değerinde ITAB'da, 5-O16-D1000-İ112 parametrede 68.88 HV değerinde ITAB'da ve 6-O16-D1000-İ160 parametrede 76.5 HV değerinde TMEB'de olduğu görülmüştür. En yüksek sertlik değerleri 4-O16-D1000-İ56 parametrede 111.2 HV değerinde TMEB'de, 5-O16-D1000-İ112 parametrede 108.8 HV değerinde TMEB'de ve 6-O16-D1000-İ160 parametrede 108.1 HV değerinde TMEB'de olduğu görülmüştür. Kaynak merkezlerinin ortalama sertlik değerleri 4-O16-D1000-İ56 parametrede 86.13 HV, 5-O16-D1000-İ112 parametrede 85.35 HV ve 6-O16-D1000-İ160 parametrede 88.52 HV olarak ölçülmüştür.

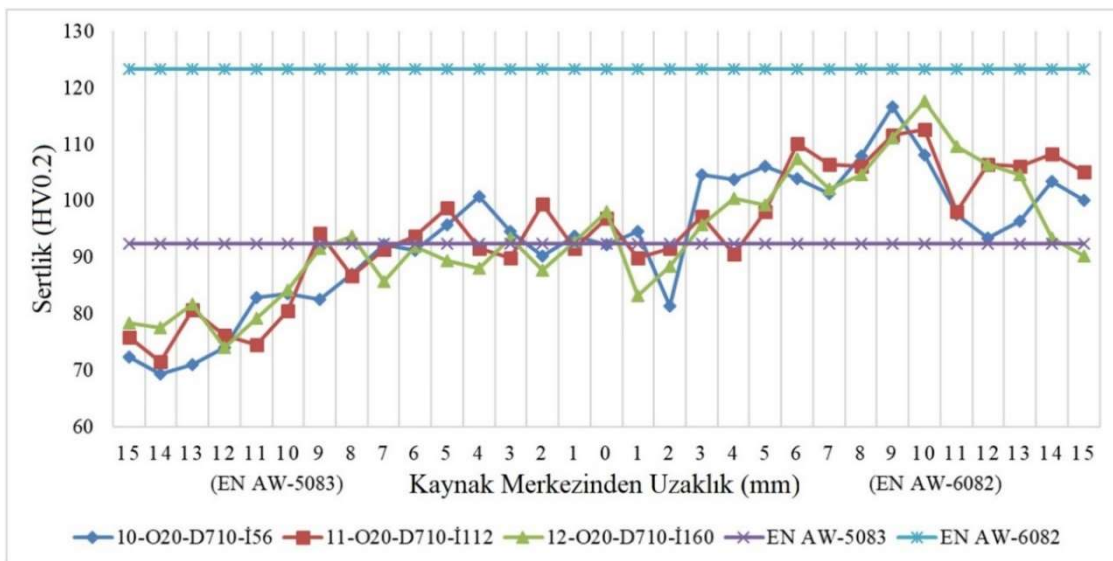
16 mm omuz çapı, 1400 devir ve 56-160 mm/dk. ilerleme hızı kullanılarak birleştirilen kaynaklı bağlantıların mikrosertlik ölçümlerinden elde edilen grafik Şekil 4.75.'de verilmiştir.



Şekil 4.75. 16 mm takım omuz çapı ve 1400 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin mikrosertlik ölçüm grafiği

16 mm omuz çapı ve 1400 dev/dk. takım devri kullanılarak yapılan birleştirmeler arasında en düşük sertlik değerleri 7-O16-D1400-İ56 parametrede 70.55 HV değerinde ITAB'da, 8-O16-D1400-İ112 parametrede 70.07 HV değerinde ITAB'da ve 9-O16-D1400-İ160 parametrede 62.56 HV değerinde KM'de olduğu görülmüştür. En yüksek sertlik değerleri 7-O16-D1400-İ56 parametrede 110.2 HV değerinde TMEB'de, 8-O16-D1400-İ112 parametrede 104.3 HV değerinde TMEB'de ve 9-O16-D1400-İ160 parametrede 100.9 HV değerinde TMEB'de olduğu görülmüştür. Kaynak merkezlerinin ortalama sertlik değerleri 7-O16-D1000-İ56 parametrede 79.69 HV, 8-O16-D1000-İ112 parametrede 85.20 HV ve 9-O16-D1000-İ160 parametrede 78.21 HV olarak ölçülmüştür.

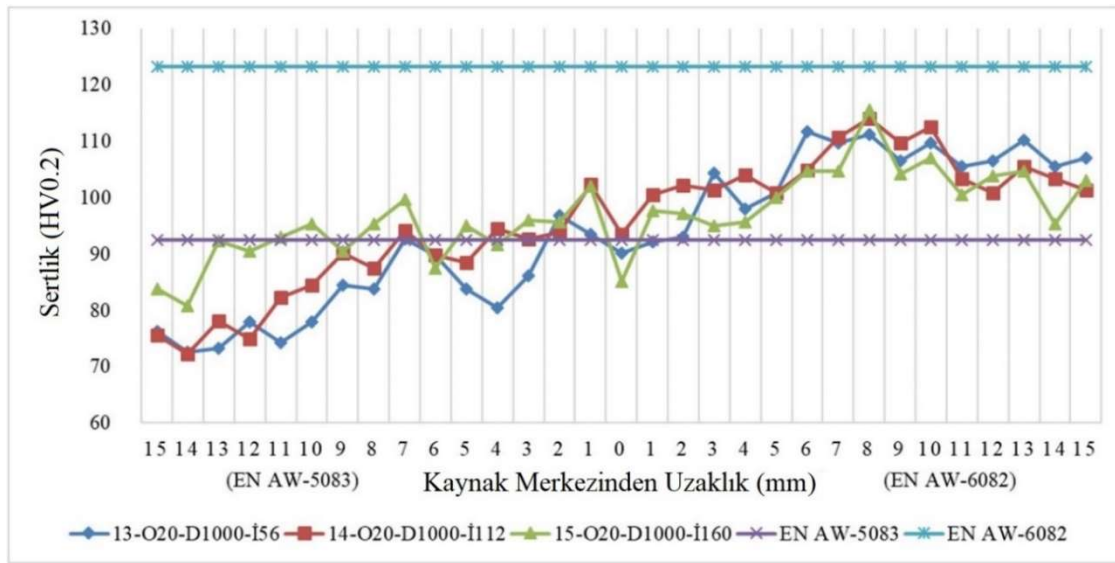
20 mm omuz çapı, 710 devir ve 56-160 mm/dk. ilerleme hızı kullanılarak birleştirilen kaynaklı bağlantıların mikrosertlik ölçümlerinden elde edilen grafik Şekil 4.76.'da verilmiştir.



Şekil 4.76. 20 mm takım omuz çapı ve 710 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin mikrosertlik ölçüm grafiği

20 mm omuz çapı ve 710 dev/dk. takım devri kullanılarak yapılan birleştirmeler arasında en düşük sertlik değerleri 10-O20-D710-İ56 parametrede 69.35 HV değerinde ITAB'da, 11-O20-D710-İ112 parametrede 71.58 HV değerinde ITAB'da ve 12-O20-D710-İ160 parametrede 74.09 HV değerinde ITAB'da olduğu görülmüştür. En yüksek sertlik değerleri 10-O20-D710-İ56 parametrede 116.7 HV değerinde TMEB'de, 11-O20-D710-İ112 parametrede 112.6 HV değerinde TMEB'de ve 12-O20-D710-İ160 parametrede 117.7 HV değerinde TMEB'de olduğu görülmüştür. Kaynak merkezlerinin ortalama sertlik değerleri 10-O20-D1000-İ56 parametrede 90.45 HV, 11-O20-D1000-İ112 parametrede 93.88 HV ve 12-O20-D1000-İ160 parametrede 90.07 HV olarak ölçülmüştür.

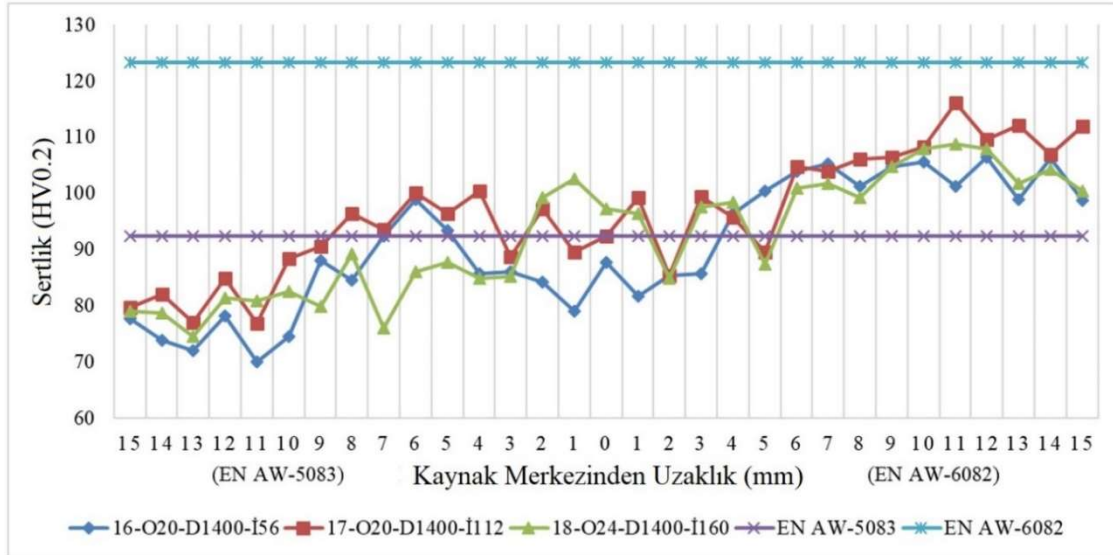
20 mm omuz çapı, 1000 devir ve 56-160 mm/dk. ilerlemede hızı kullanılarak birleştirilen kaynaklı bağlantıların mikrosertlik ölçümlerinden elde edilen grafik Şekil 4.77.'de verilmiştir.



**Şekil 4.77.** 20 mm takım omuz çapı ve 1000 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin mikrosertlik ölçüm grafiği

20 mm omuz çapı ve 1000 dev/dk. takım devri kullanılarak yapılan birleştirmeler arasında en düşük sertlik değerleri 13-O20-D1000-İ56 parametrede 72.54 HV değerinde ITAB'da, 14-O20-D1000-İ112 parametrede 72.29 HV değerinde ITAB'da ve 15-O20-D1000-İ160 parametrede 80.79 HV değerinde ITAB'da olduğu görülmüştür. En yüksek sertlik değerleri 13-O20-D1000-İ56 parametrede 111.7 HV değerinde TMEB'de, 14-O20-D1000-İ112 parametrede 114.1 HV değerinde TMEB'de ve 15-O20-D1000-İ160 parametrede 115.6 HV değerinde TMEB'de olduğu görülmüştür. Kaynak merkezlerinin ortalama sertlik değerleri 13-O20-D1000-İ56 parametrede 93.13 HV, 14-O20-D1000-İ112 parametrede 98.46 HV ve 15-O20-D1000-İ160 parametrede 95.57 HV olarak ölçülmüştür.

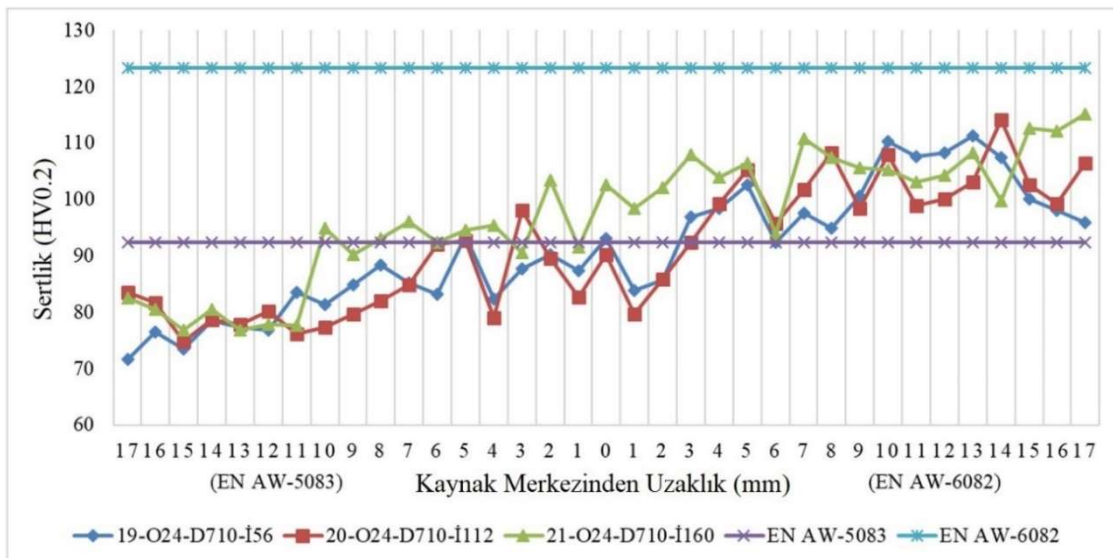
20 mm omuz çapı, 1400 devir ve 56-160 mm/dk. ilerlemede birleştirilen kaynaklı bağlantıların mikrosertlik ölçümlerinden elde edilen grafik Şekil 4.78.'de verilmiştir.



**Şekil 4.78.** 20 mm takım omuz çapı ve 1400 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin mikrosertlik ölçüm grafiği

20 mm omuz çapı ve 1400 dev/dk. takım devri kullanılarak yapılan birleştirmeler arasında en düşük sertlik değerleri 16-O20-D1400-İ56 parametrede 70.07 HV değerinde ITAB'da, 17-O20-D1400-İ112 parametrede 76.87 HV değerinde ITAB'da ve 18-O24-D1400-İ160 parametrede 74.54 HV değerinde ITAB'da olduğu görülmüştür. En yüksek sertlik değerleri 16-O20-D1400-İ56 parametrede 106.5 HV değerinde ITAB'da, 17-O20-D1400-İ112 parametrede 116.1 HV değerinde ITAB'da ve 18-O24-D1400-İ160 parametrede 108.8 HV değerinde ITAB'da olduğu görülmüştür. Kaynak merkezlerinin ortalama sertlik değerleri 16-O20-D1000-İ56 parametrede 83.62 HV, 17-O20-D1000-İ112 parametrede 92.73 HV ve 18-O20-D1000-İ160 parametrede 96.09 HV olarak ölçülmüştür.

24 mm omuz çapı, 710 devir ve 56-160 mm/dk. ilerleme hızı kullanılarak birleştirilen kaynaklı bağlantıların mikrosertlik ölçümlerinden elde edilen grafik Şekil 4.79.'da verilmiştir.

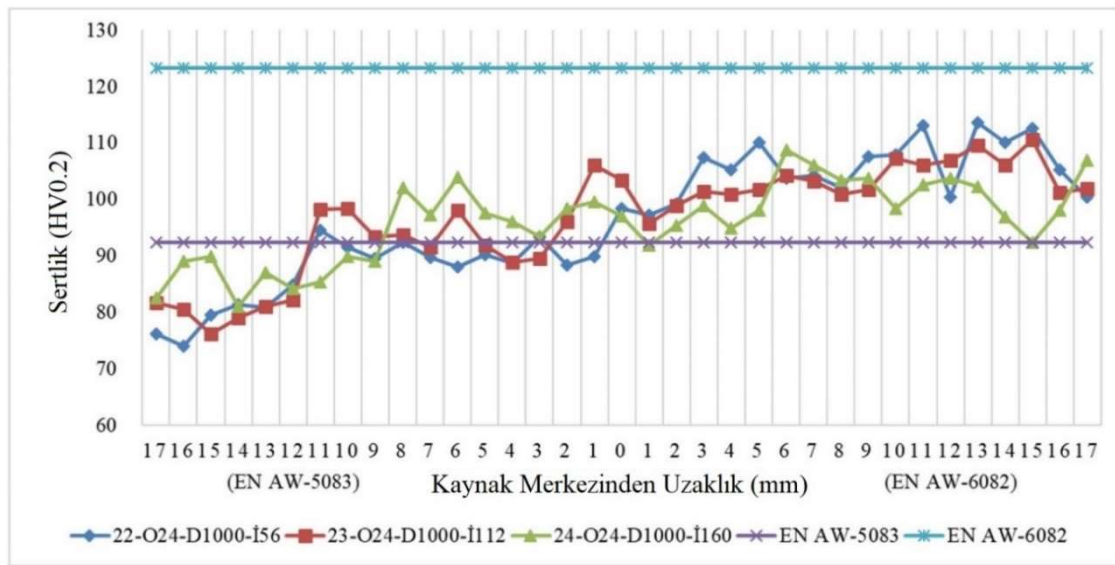


**Şekil 4.79.** 24 mm takım omuz çapı ve 710 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin mikrosertlik ölçüm grafiği



24 mm omuz çapı ve 710 dev/dk. takım devri kullanılarak yapılan birleştirmeler arasında en düşük sertlik değerleri 19-O24-D710-İ56 parametrede 71.7 HV değerinde ITAB'da, 20-O24-D710-İ112 parametrede 74.88 HV değerinde ITAB'da ve 21-O24-D710-İ160 parametrede 76.78 HV değerinde ITAB'da olduğu görülmüştür. En yüksek sertlik değerleri 19-O24-D710-İ56 parametrede 111.2 HV değerinde ITAB'da, 20-O24-D710-İ112 parametrede 114.1 HV değerinde ITAB'da ve 21-O24-D710-İ160 parametrede 115.1 HV değerinde ITAB'da olduğu görülmüştür. Kaynak merkezlerinin ortalama sertlik değerleri 19-O24-D1000-İ56 parametrede 88.05 HV, 20-O24-D1000-İ112 parametrede 85.54 HV ve 21-O24-D1000-İ160 parametrede 99.61 HV olarak ölçülmüştür.

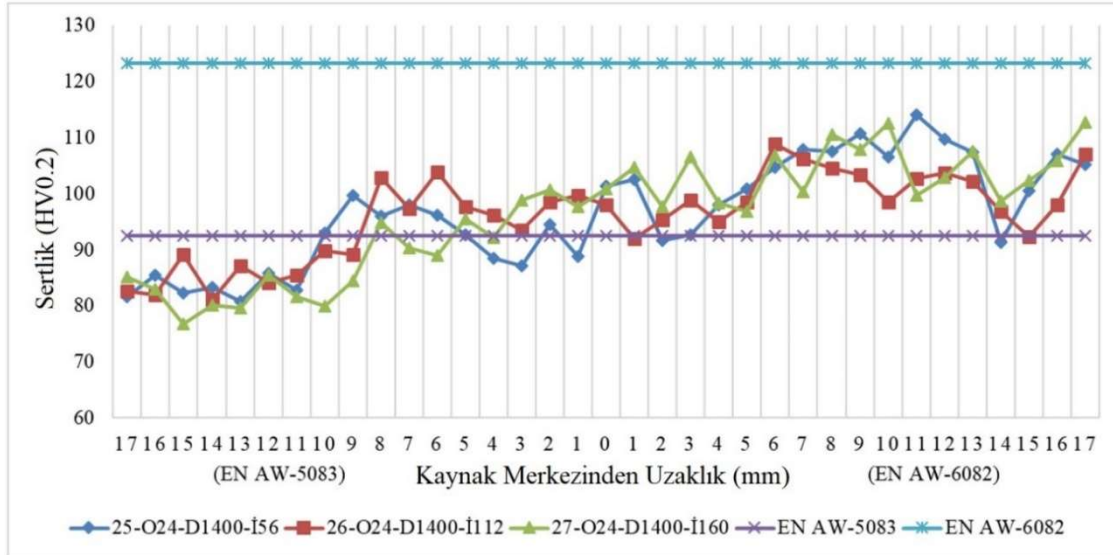
24 mm omuz çapı, 1000 devir ve 56-160 mm/dk. ilerleme hızı kullanılarak birleştirilen kaynaklı bağlantıların mikrosertlik ölçümlerinden elde edilen grafik Şekil 4.80.'de verilmiştir.



Şekil 4.80. 24 mm takım omuz çapı ve 1000 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin mikrosertlik ölçüm grafiği

24 mm omuz çapı ve 1000 dev/dk. takım devri kullanılarak yapılan birleştirmeler arasında en düşük sertlik değerleri 22-O24-D1000-İ56 parametrede 74.09 HV değerinde ITAB'da, 23-O24-D1000-İ112 parametrede 76.23 HV değerinde ITAB'da ve 24-O24-D1000-İ160 parametrede 81.09 HV değerinde ITAB'da olduğu görülmüştür. En yüksek sertlik değerleri 22-O24-D1000-İ56 parametrede 113.6 HV değerinde ITAB'da, 23-O24-D1000-İ112 parametrede 110.7 HV değerinde ITAB'da ve 24-O24-D1000-İ160 parametrede 108.8 HV değerinde TMEB'de olduğu görülmüştür. Kaynak merkezlerinin ortalama sertlik değerleri 22-O24-D1000-İ56 parametrede 94.65 HV, 23-O24-D1000-İ112 parametrede 100.02 HV ve 24-O24-D1000-İ160 parametrede 96.49 HV olarak ölçülmüştür.

24 mm omuz çapı, 1400 devir ve 56-160 mm/dk. ilerleme hızı kullanılarak birleştirilen kaynaklı bağlantıların mikrosertlik ölçümlerinden elde edilen grafik Şekil 4.81.'de verilmiştir.



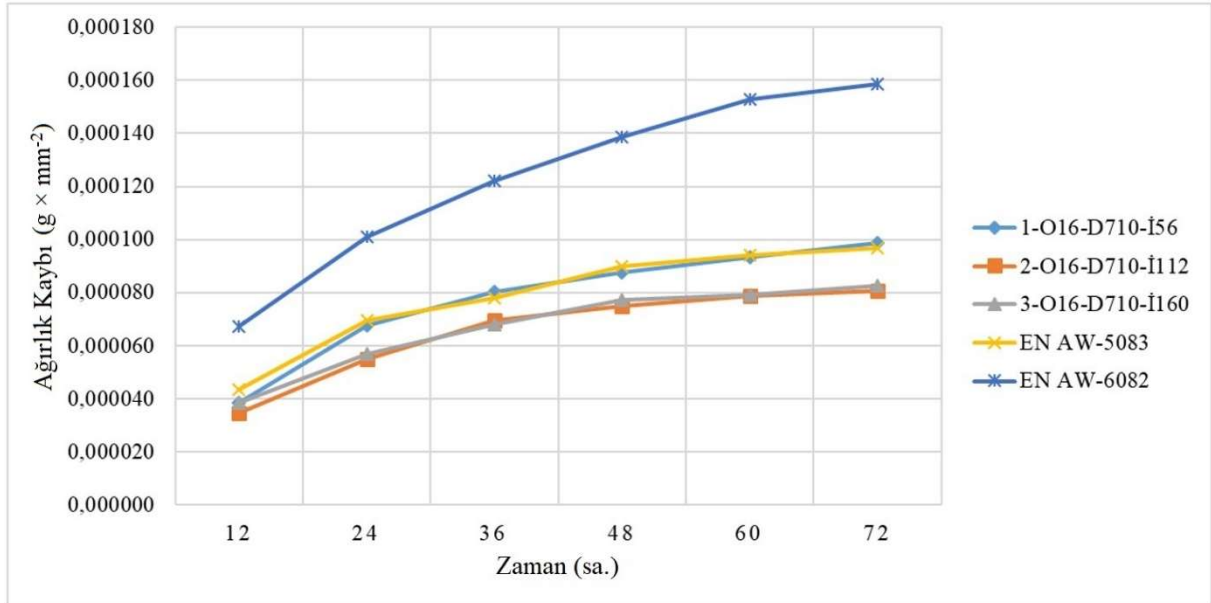
**Şekil 4.81.** 24 mm takım omuz çapı ve 1400 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin mikrosertlik ölçüm grafiği

24 mm omuz çapı ve 1400 dev/dk. takım devri kullanılarak yapılan birleştirmeler arasında en düşük sertlik değerleri 25-O24-D1400-İ56 parametrede 82.31 HV değerinde ITAB'da, 26-O24-D1400-İ112 parametrede 81.09 HV değerinde ITAB'da ve 27-O24-D1400-İ160 parametrede 76.72 HV değerinde ITAB'da olduğu görülmüştür. En yüksek sertlik değerleri 25-O24-D1400-İ56 parametrede 114.1 HV değerinde ITAB'da, 26-O24-D1400-İ112 parametrede 108.8 HV değerinde TMEB'de ve 27-O24-D1400-İ160 parametrede 112.7 HV değerinde ITAB'da olduğu görülmüştür. Kaynak merkezlerinin ortalama sertlik değerleri 25-O24-D1000-İ56 parametrede 95.76 HV, 26-O24-D1000-İ112 parametrede 96.69 HV ve 27-O24-D1000-İ160 parametrede 100.25 HV olarak ölçülmüştür.

Kaynaklı bağlantıların mikrosertlik değerleri genel olarak EN AW-6082 esas metalinin sertlik değerinin altında olduğu tespit edilmiştir. Kaynaklı bölgelerin genelinde sertlik değerleri EN AW-6082 esas metali tarafında daha yüksek değerlerde seyrederken EN AW-5083 esas metali bölgesinde düşük değerlerde çıkmıştır.

#### 4.6. Korozyon Deneyi Bulguları

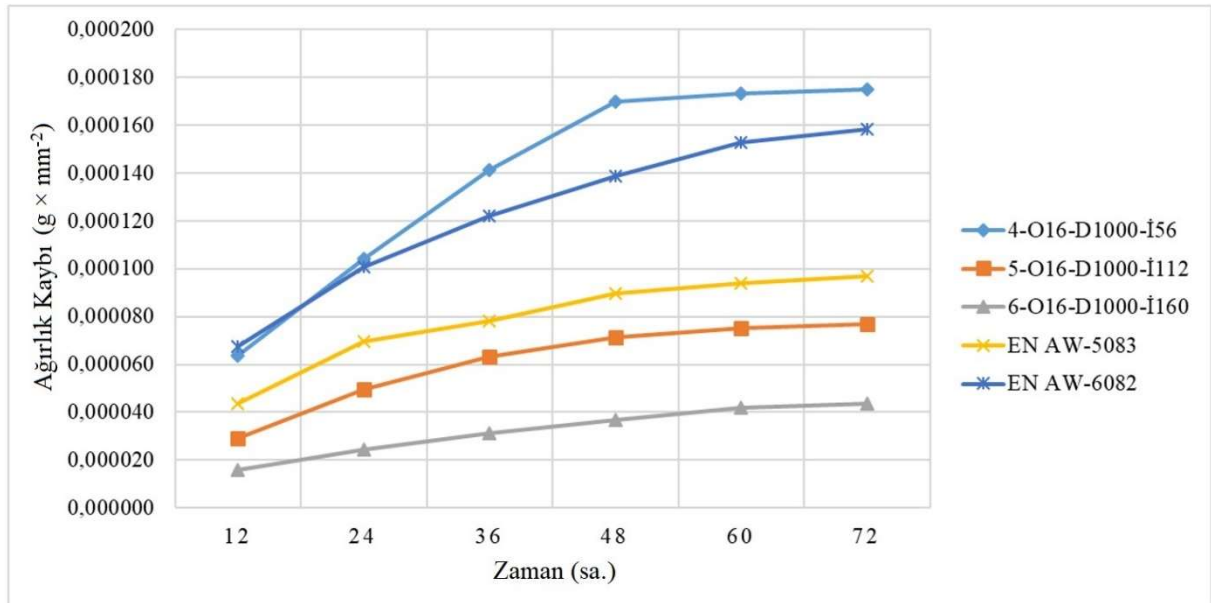
Korozyon deneyi numunenin birim yüzey alanı başına düşen ağırlık kaybına ( $g \times mm^2$ ) göre hesaplanmıştır [118]. 16 mm omuz çapı, 710 devir ve 56-160 mm/dk. ilerleme hızı kullanılarak birleştirilen kaynaklı bağlantıların korozyon deneyi sonrasında elde edilen birim yüzey alanı başına düşen ağırlık kaybı deney bulgularına ait grafik Şekil 4.82.'de verilmiştir.



**Şekil 4.82.** 16 takım omuz çapı ve 710 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin korozyon deneyi sonrası ağırlık kaybı grafiği

16 mm omuz çapı ve 710 devirde yapılan kaynaklı bağlantıların korozyon deneyi sonrasında en fazla birim ağırlık kaybı 0.000099 g değeriyle 56 mm/dk. ilerleme hızındaki parametrede gerçekleşmiştir. Bu EN AW- 6082 esas metalinin altında bir değerde olup EN AW-5083 esas metalinin korozyon değerlerine yakın olduğu görülmüştür.

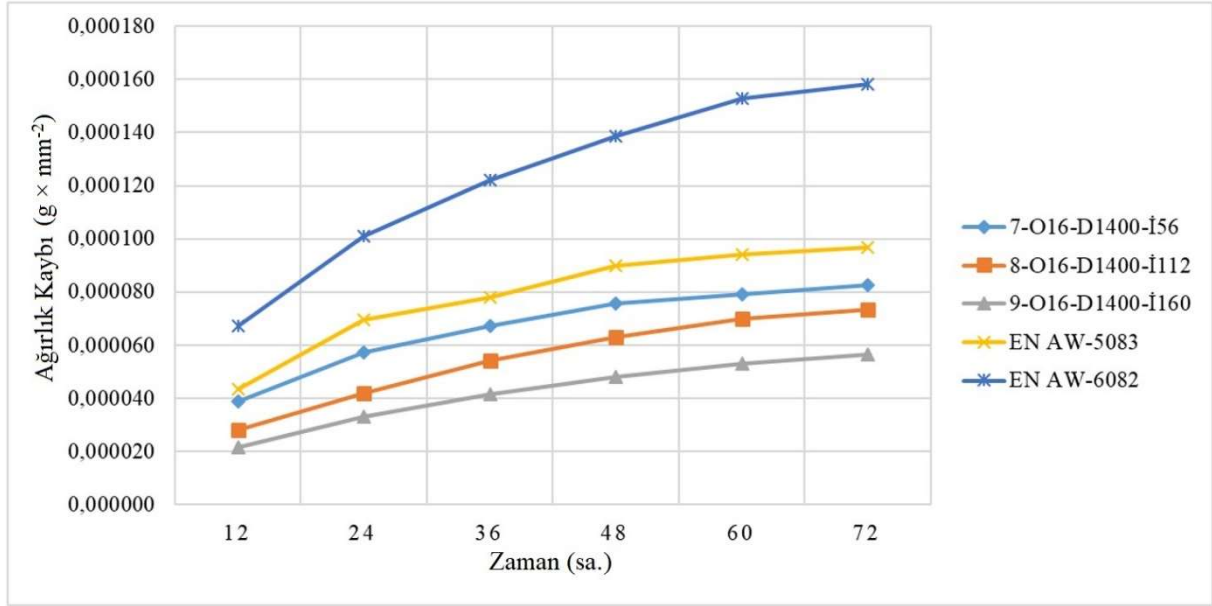
16 mm omuz çapı, 1000 devir ve 56-160 mm/dk. ilerleme hızı kullanılarak birleştirilen kaynaklı bağlantıların korozyon deneyi sonrasında elde edilen birim yüzey alanı başına düşen ağırlık kaybı deney bulgularına ait grafik Şekil 4.83.'de verilmiştir.



**Şekil 4.83.** 16 takım omuz çapı ve 1000 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin korozyon deneyi sonrası ağırlık kaybı grafiği

16 mm omuz çapı ve 1000 devirde yapılan kaynaklı bağlantıların korozyon deneyi sonrasında en fazla birim ağırlık kaybı 0.000175 g değeriyle 56 mm/dk. ilerleme hızındaki parametrede gerçekleşmiştir. Bu EN AW- 6082 esas metalinin de üzerinde bir değerdedir.

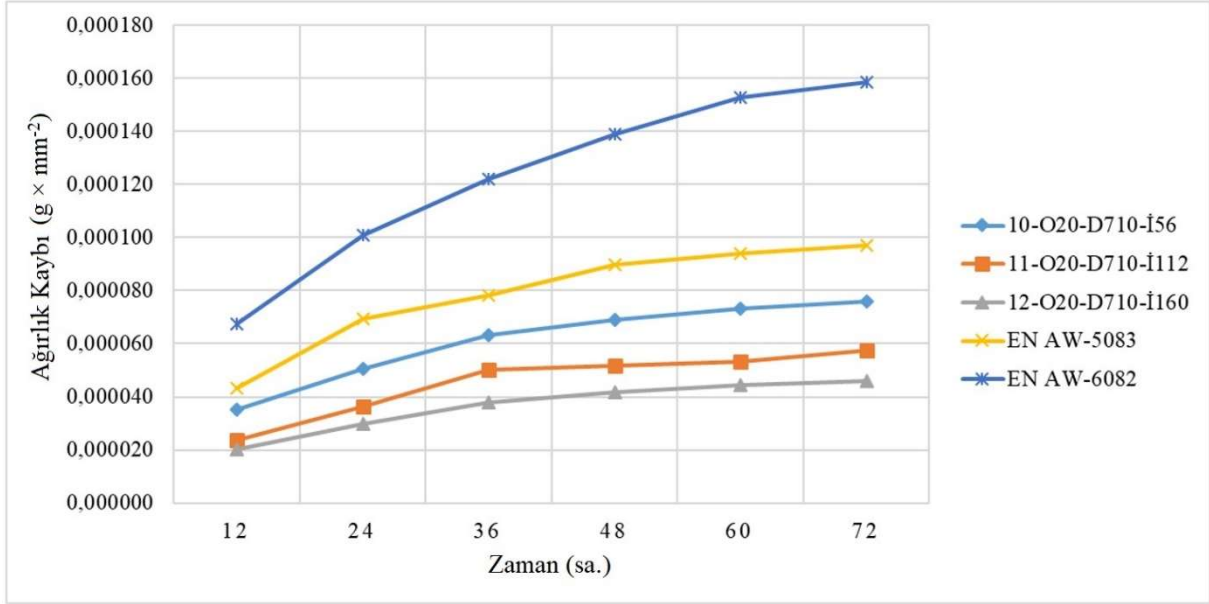
16 mm omuz çapı, 1400 devir ve 56-160 mm/dk. ilerleme hızı kullanılarak birleştirilen kaynaklı bağlantıların korozyon deneyi sonrasında elde edilen birim yüzey alanı başına düşen ağırlık kaybı deney bulgularına ait grafik Şekil 4.84.'de verilmiştir.



**Şekil 4.84.** 16 takım omuz çapı ve 1400 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin korozyon deneyi sonrası ağırlık kaybı grafiği

16 mm omuz çapı ve 1400 devirde yapılan kaynaklı bağlantıların korozyon deneyi sonrasında en fazla birim ağırlık kaybı 0,000082 g değeriyle 56 mm/dk. ilerleme hızındaki parametrede gerçekleşmiştir. Bu EN AW- 6082 ve EN AW-5083 esas metallerinin korozyon değerlerinin altında bir değerdedir.

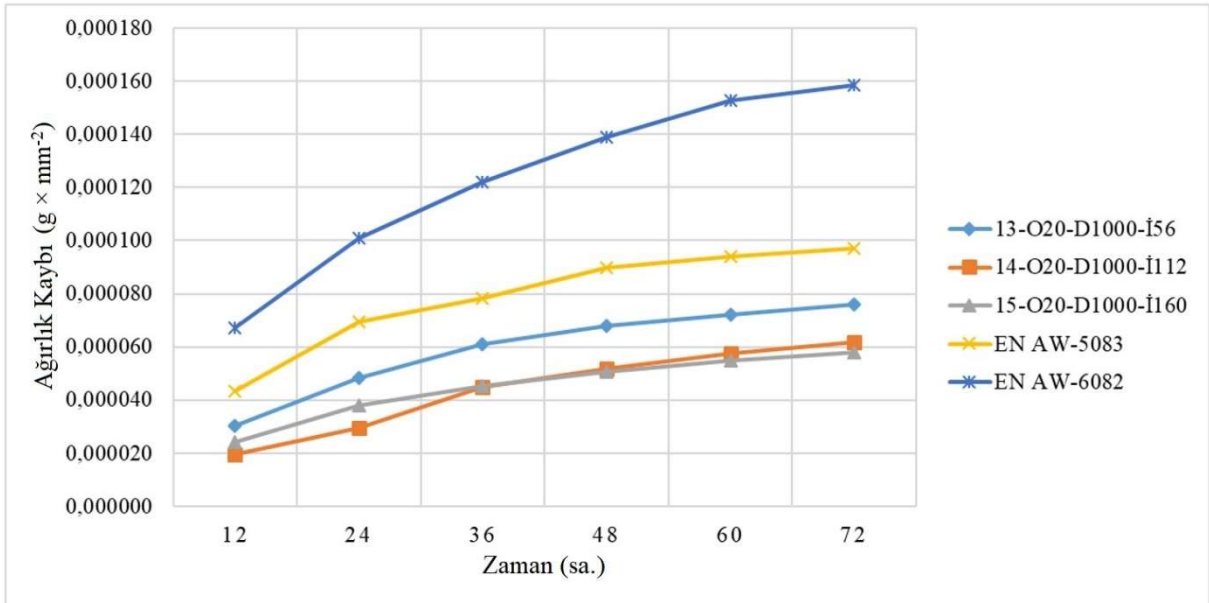
20 mm omuz çapı, 710 devir ve 56-160 mm/dk. ilerleme hızı kullanılarak birleştirilen kaynaklı bağlantıların korozyon deneyi sonrasında elde edilen birim yüzey alanı başına düşen ağırlık kaybı deney bulgularına ait grafik Şekil 4.85.'de verilmiştir.



**Şekil 4.85.** 20 mm takım omuz çapı ve 710 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin korozyon deneyi sonrası ağırlık kaybı grafiği

20 mm omuz çapı ve 710 devirde yapılan kaynaklı bağlantıların korozyon deneyi sonrasında en fazla birim ağırlık kaybı 0,000076 g değeriyle 56 mm/dk. ilerleme hızındaki parametrede gerçekleşmiştir. Bu EN AW- 6082 ve EN AW-5083 esas metallerinin korozyon değerlerinin altında bir değerdedir.

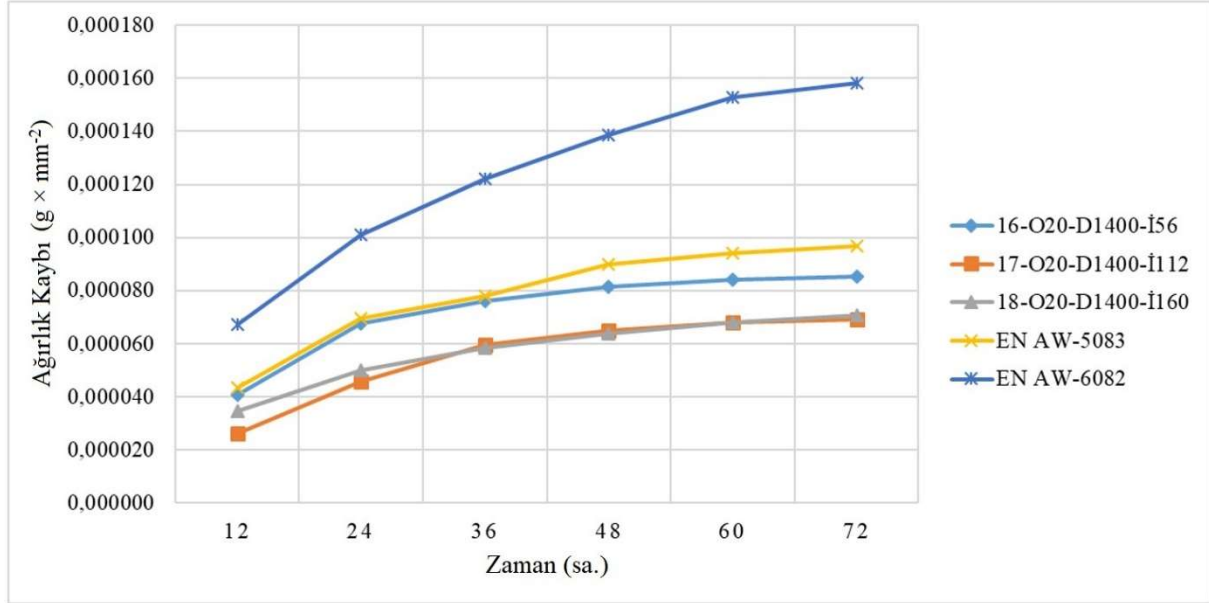
20 mm omuz çapı, 1000 devir ve 56-160 mm/dk. ilerleme hızı kullanılarak birleştirilen kaynaklı bağlantıların korozyon deneyi sonrasında elde edilen birim yüzey alanı başına düşen ağırlık kaybı deney bulgularına ait grafik Şekil 4.86.'de verilmiştir.



**Şekil 4.86.** 20 mm takım omuz çapı ve 1000 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin korozyon deneyi sonrası ağırlık kaybı grafiği

20 mm omuz çapı ve 1000 devirde yapılan kaynaklı bağlantıların korozyon deneyi sonrasında en fazla birim ağırlık kaybı 0,000076 g değeriyle 56 mm/dk. ilerleme hızındaki parametrede gerçekleşmiştir. Bu EN AW- 6082 ve EN AW-5083 esas metallerinin korozyon değerlerinin altında bir değerdedir.

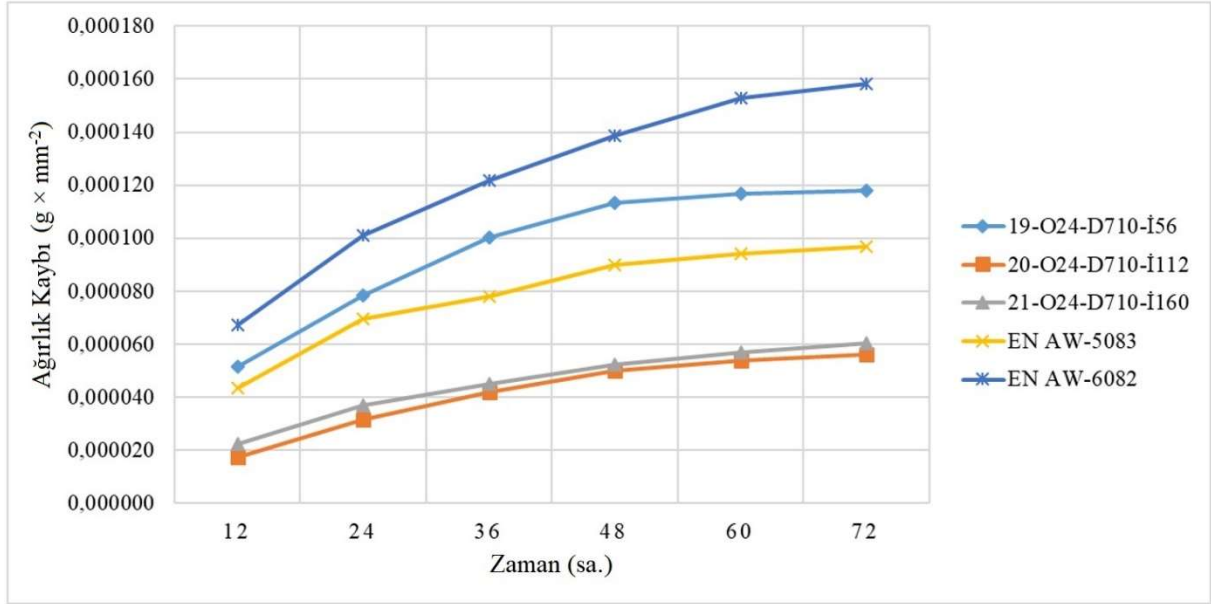
20 mm omuz çapı, 1400 devir ve 56-160 mm/dk. ilerleme hızı kullanılarak birleştirilen kaynaklı bağlantıların korozyon deneyi sonrasında elde edilen birim yüzey alanı başına düşen ağırlık kaybı deney bulgularına ait grafik Şekil 4.87.'de verilmiştir.



**Şekil 4.87.** 20 mm takım omuz çapı ve 1400 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin korozyon deneyi sonrası ağırlık kaybı grafiği

20 mm omuz çapı ve 1400 devirde yapılan kaynaklı bağlantıların korozyon deneyi sonrasında en fazla birim ağırlık kaybı 0,000085 g değeriyle 56 mm/dk. ilerleme hızındaki parametrede gerçekleşmiştir. Bu EN AW- 6082 ve EN AW-5083 esas metallerinin korozyon değerlerinin altında bir değerdedir.

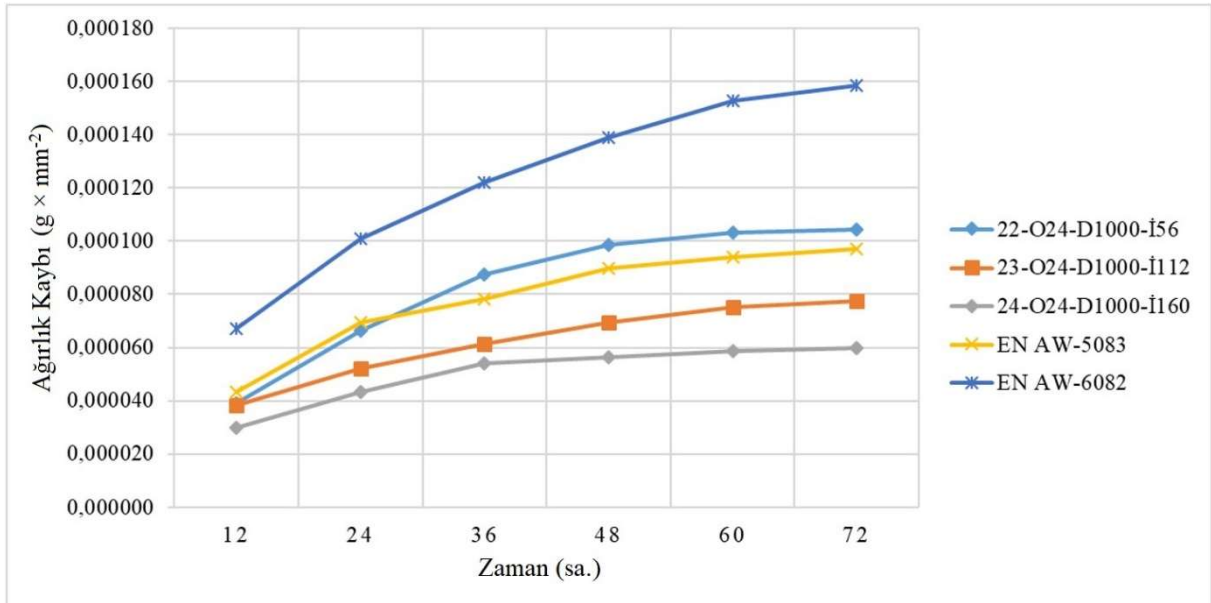
24 mm omuz çapı, 710 devir ve 56-160 mm/dk. ilerleme hızı kullanılarak birleştirilen kaynaklı bağlantıların korozyon deneyi sonrasında elde edilen birim yüzey alanı başına düşen ağırlık kaybı deney bulgularına ait grafik Şekil 4.88.'de verilmiştir.



**Şekil 4.88.** 24 mm takım omuz çapı ve 710 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin korozyon deneyi sonrası ağırlık kaybı grafiği

24 mm omuz çapı ve 710 devirde yapılan kaynaklı bağlantıların korozyon deneyi sonrasında en fazla birim ağırlık kaybı 0,000118 g değeriyle 56 mm/dk. ilerleme hızındaki parametrede gerçekleşmiştir. Bu EN AW- 6082 esas metallerinin korozyon değerlerinin altında ve EN AW-5083 esas metallerinin korozyon değerlerinin üzerinde bir değerdedir.

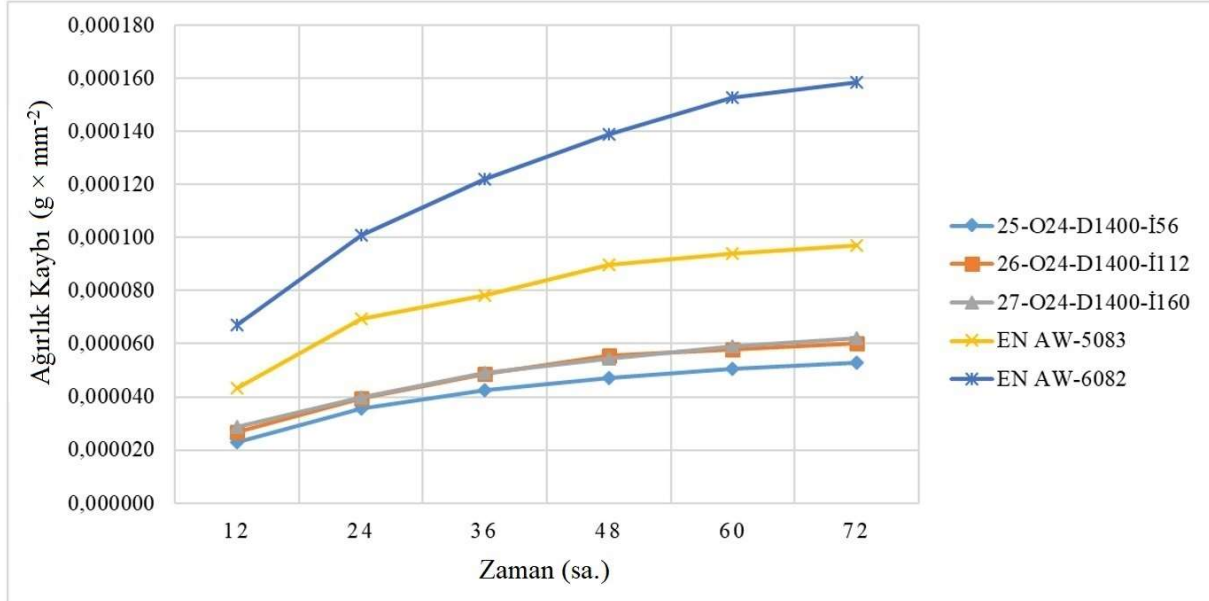
24 mm omuz çapı, 1000 devir ve 56-160 mm/dk. ilerlemede hızı kullanılarak birleştirilen kaynaklı bağlantıların korozyon deneyi sonrasında elde edilen birim yüzey alanı başına düşen ağırlık kaybı deney bulgularına ait grafik Şekil 4.89.'de verilmiştir.



**Şekil 4.89.** 24 mm takım omuz çapı ve 1000 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin korozyon deneyi sonrası ağırlık kaybı grafiği

24 mm omuz çapı ve 1000 devirde yapılan kaynaklı bağlantıların korozyon deneyi sonrasında en fazla birim ağırlık kaybı 0,000104 g değeriyle 56 mm/dk. ilerleme hızındaki parametrede gerçekleşmiştir. Bu EN AW- 6082 esas metallerinin korozyon değerlerinin altında ve EN AW-5083 esas metallerinin korozyon değerlerinin üzerinde bir değerdedir.

24 mm omuz çapı, 1400 devir ve 56-160 mm/dk. ilerlemede hızı kullanılarak birleştirilen kaynaklı bağlantıların korozyon deneyi sonrasında elde edilen birim yüzey alanı başına düşen ağırlık kaybı deney bulgularına ait grafik Şekil 4.90.'da verilmiştir.



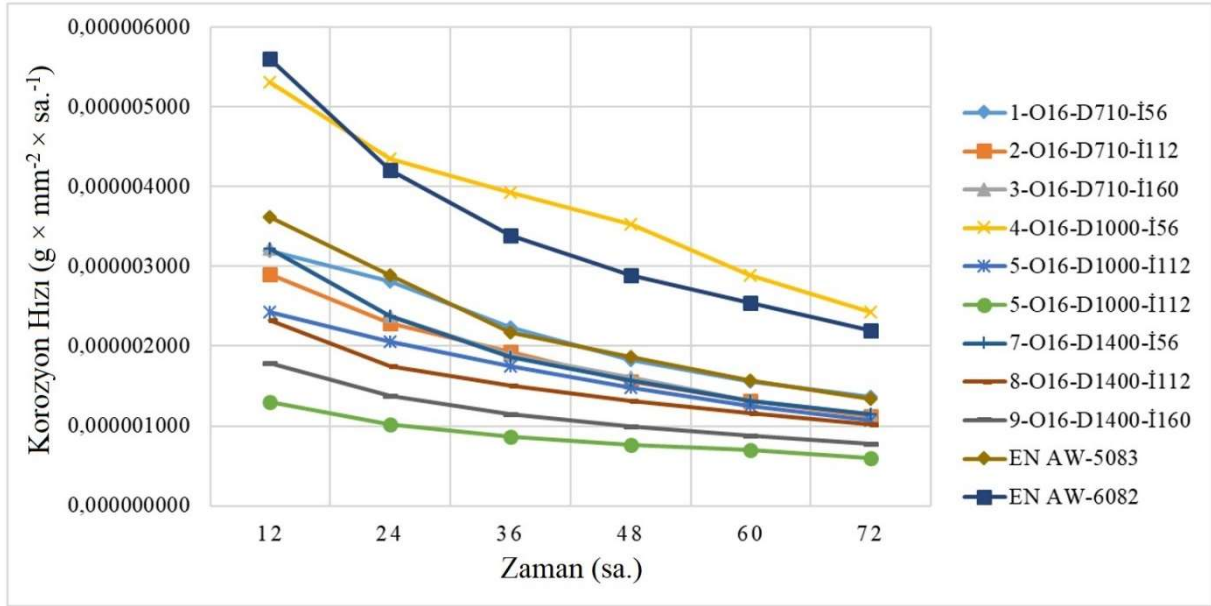
Şekil 4.90. 24 mm takım omuz çapı ve 1400 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin korozyon deneyi sonrası ağırlık kaybı grafiği

24 mm omuz çapı ve 1400 devirde yapılan kaynaklı bağlantıların korozyon deneyi sonrasında en fazla birim ağırlık kaybı 0,000062 g değeriyle 160 mm/dk. ilerleme hızındaki parametrede gerçekleşmiştir. Bu miktar 0,000060 g ağırlık kaybı değeri ile 112 mm/dk. ilerlemedeki parametre ile çok yakın bir değerdedir.

Korozyon deneyi sürecinde genel olarak en fazla ağırlık kaybı ilk 24 saat içerisinde gerçekleştiği görülmüştür. En fazla ağırlık kaybı 1400 dev/dk. devirde ve 56 mm/dk ilerlemede meydana gelirken en az ağırlık kaybı 1000 dev/dk. devirde ve 160 mm/dk. ilerleme hızı ile birleştirilen bağlantıda olduğu görülmüştür.

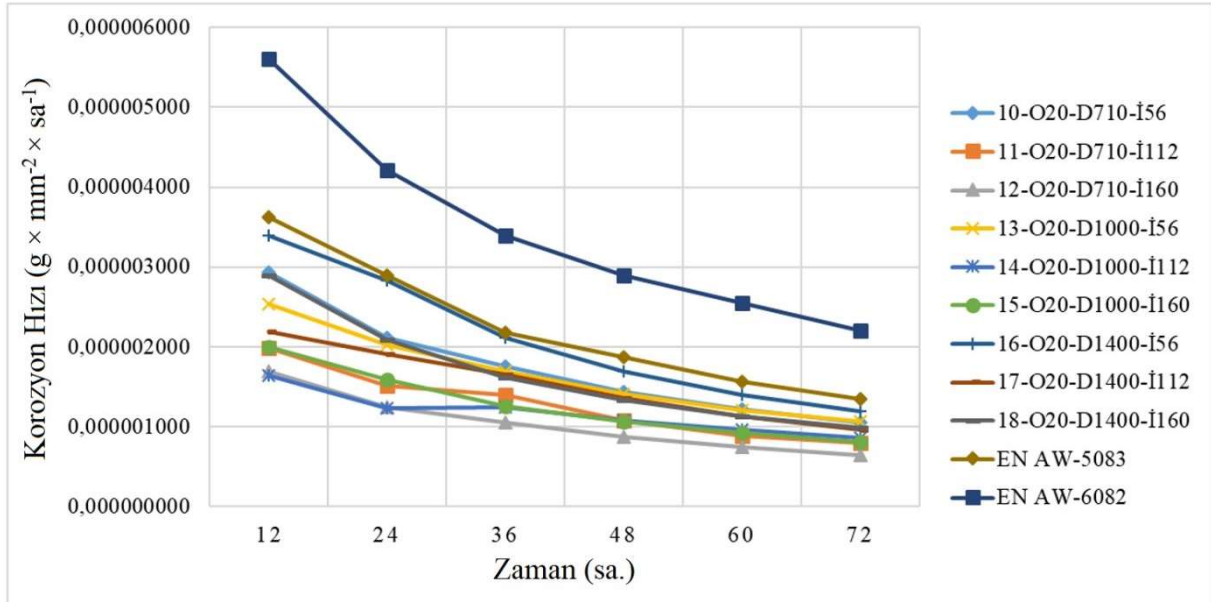
16 mm takım omzu kullanılarak yapılan kaynaklı birleştirmeye ait korozyon hızı grafiği Şekil 4.91.'de verilmiştir.





Şekil 4.91. 16 mm takım omuz çapı kullanılarak üretilen kaynaklı numunelere ait korozyon hızı grafiği

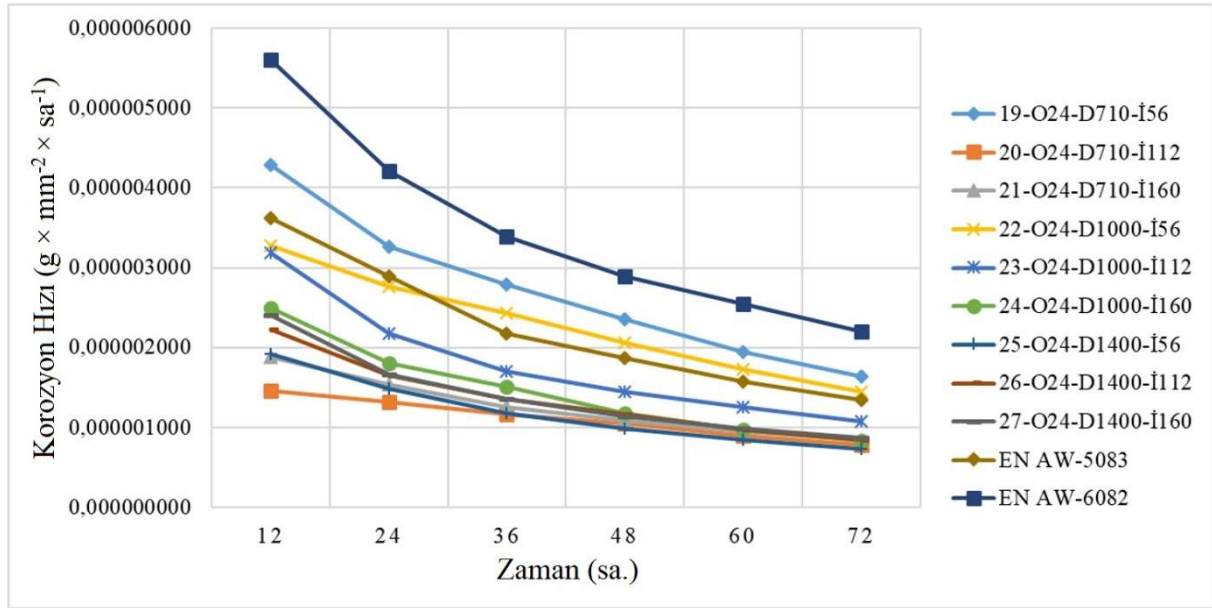
Şekil 4.91.'de, korozyon hızı grafiği incelendiğinde ilk 24 saat içerisinde genel olarak korozyon hızının yüksek olduğu görülmektedir. İlk 12 saat içerisinde korozyon hızı en yüksek olan EN AW-6082 esas metalinde gözlemlenirken 12 saat sonrasında da 4-O16-D1000-İ56 parametrede birleştirilen bağlantı en yüksek korozyon hızı ile ağırlık kaybına uğramıştır. 24 saat sonunda korozyon hızı eğiminde düşüş görülmüştür. 20 mm takım omzu kullanılarak yapılan kaynaklı birleştirmeye ait korozyon hızı grafiği Şekil 4.92.'de verilmiştir.



Şekil 4.92. 20 mm takım omuz çapı kullanılarak üretilen kaynaklı numunelere ait korozyon hızı grafiği

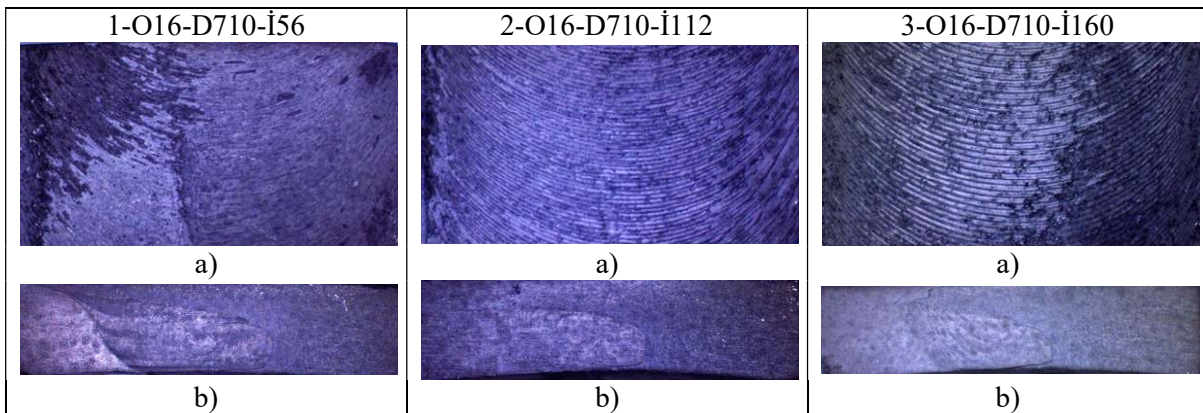
Şekil 4.92.'de korozyon hızı grafiği incelendiğinde ilk 24 saat içerisinde genel olarak korozyon hızının yüksek olduğu görülmektedir. En yüksek korozyon hızı EN AW-6082 ve EN AW-5083 esas

metallerinde görülmüştür. 24 saat sonunda korozyon hızı eğiminde düşüş görülmüştür. 24 mm takım omzu kullanılarak yapılan kaynaklı birleştirmeye ait korozyon hızı grafiği Şekil 4.93.'de verilmiştir.

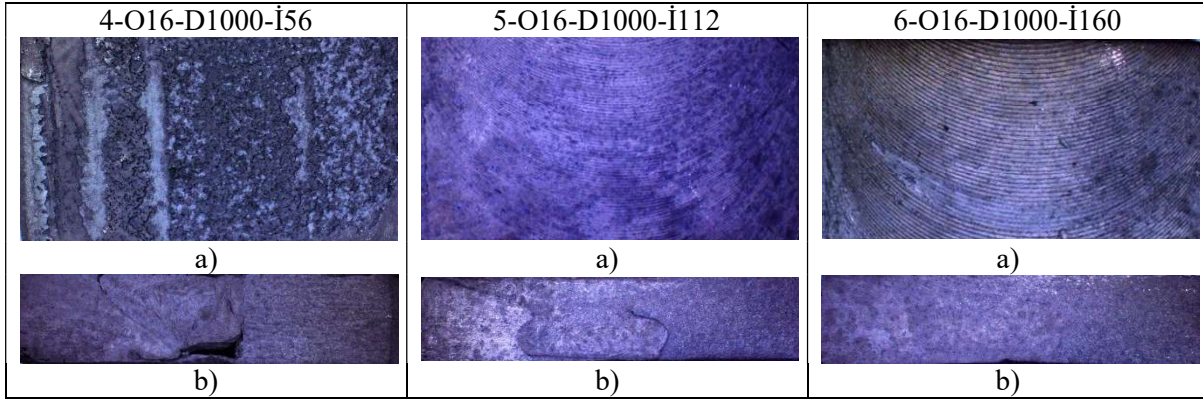


Şekil 4.93. 24 mm takım omuz çapı kullanılarak üretilen kaynaklı numunelere ait korozyon hızı grafiği

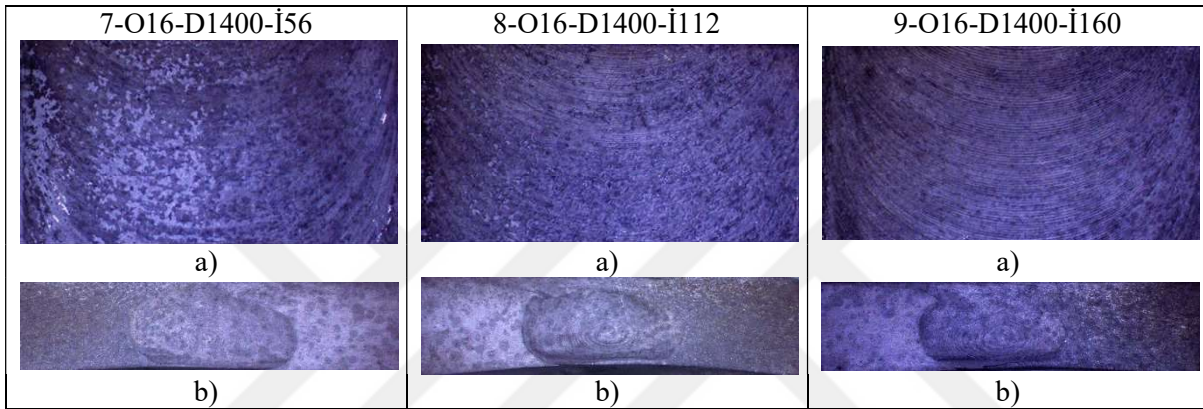
Şekil 4.93. korozyon hızı grafiği incelendiğinde ilk 24 saat içerisinde genel olarak korozyon hızının yüksek olduğu görülmektedir. En yüksek korozyon hızı EN AW-6082 esas metallerinde görülmüştür. Kaynaklı birleştirmeler arasında en yüksek korozyon hızı ise 19-O24-D710-İ56 parametrede birleştirilen numunede görülmüştür. En düşük korozyon hızı ise 20-O24-D710-İ112 24 parametrede birleştirilen numunede görülmüştür. 24 saat sonunda korozyon hızı eğiminde düşüş görülmüştür. Korozyon hızı grafiği incelendiğinde ilk 24 saat içerisinde genel olarak korozyon hızının yüksek olduğu görülmektedir. 16 mm omuz çapındaki takım kullanılarak birleştirilen kaynaklı bağlantıların korozyon deneyi sonrasında optik mikroskop görüntüleri Şekil 4.94.-4.96'da verilmiştir.



Şekil 4.94. 16 takım omuz çapı ve 710 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin korozyon deneyi sonrası görüntüleri a) Yüzey görüntüsü, b) Kesit görüntüsü

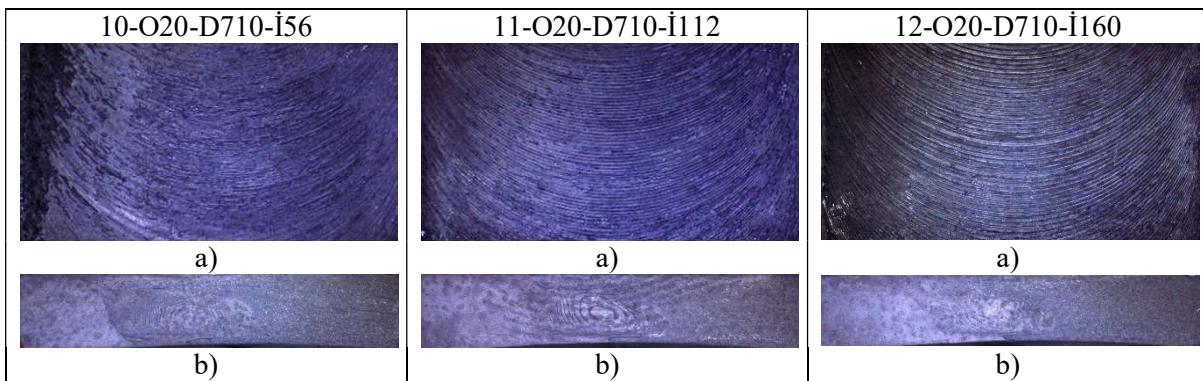


Şekil 4.95. 16 takım omuz çapı ve 1000 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin korozyon deneyi sonrası görüntüleri a) Yüzey görüntüsü, b) Kesit görüntüsü

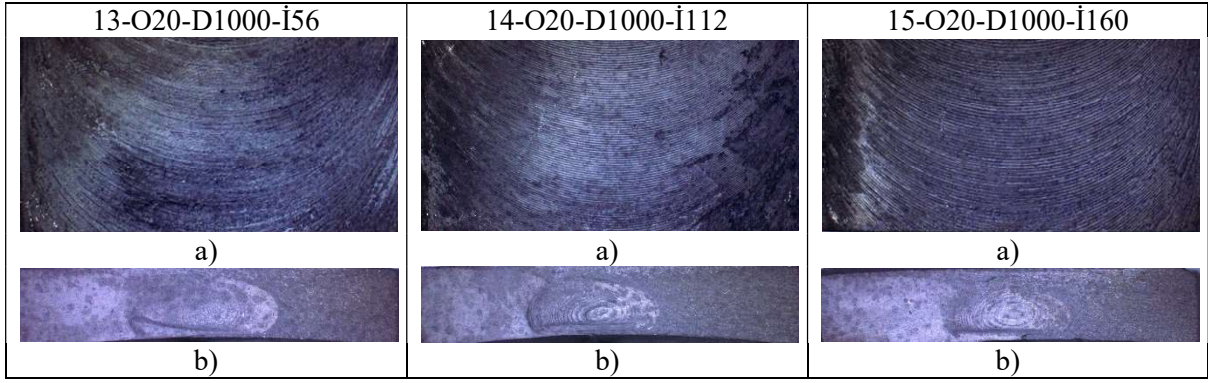


Şekil 4.96. 16 takım omuz çapı ve 1400 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin korozyon deneyi sonrası görüntüleri a) Yüzey görüntüsü, b) Kesit görüntüsü

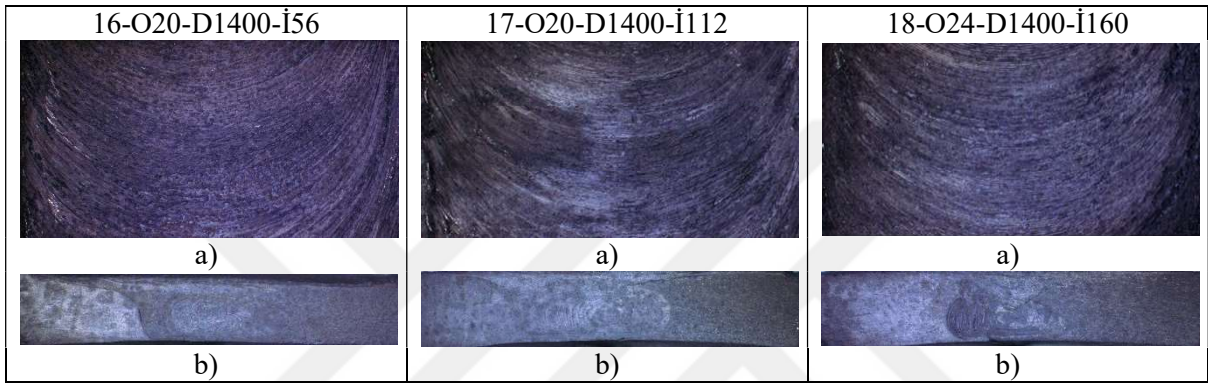
20 mm omuz çapındaki takım kullanılarak birleştirilen kaynaklı bağlantıların korozyon deneyi sonrasında optik mikroskop görüntüleri Şekil 4.97.-4.99'da verilmiştir.



Şekil 4.97. 20 takım omuz çapı ve 710 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin korozyon deneyi sonrası görüntüleri a) Yüzey görüntüsü, b) Kesit görüntüsü

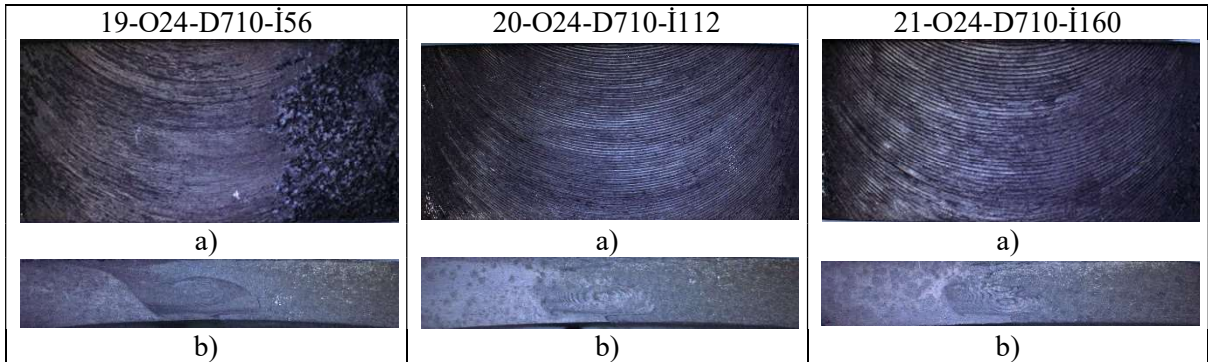


**Şekil 4.98.** 20 takım omuz çapı ve 1000 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin korozyon deneyi sonrası görüntüleri a) Yüzey görüntüsü, b) Kesit görüntüsü

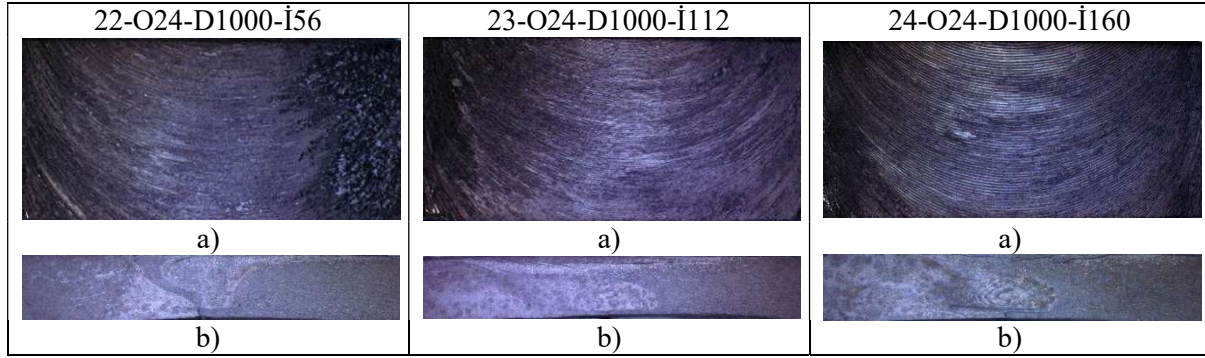


**Şekil 4.99.** 20 takım omuz çapı ve 1400 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin korozyon deneyi sonrası görüntüleri a) Yüzey görüntüsü, b) Kesit görüntüsü

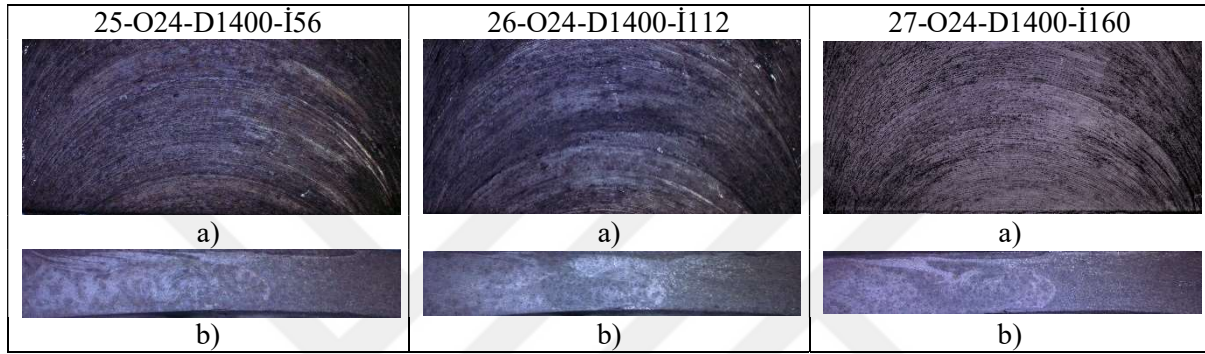
24 mm omuz çapındaki takım kullanılarak birleştirilen kaynaklı bağlantıların korozyon deneyi sonrasında optik mikroskop görüntüleri Şekil 4.100.-4.102'de verilmiştir.



**Şekil 4.100.** 24 takım omuz çapı ve 710 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin korozyon deneyi sonrası görüntüleri a) Yüzey görüntüsü, b) Kesit görüntüsü

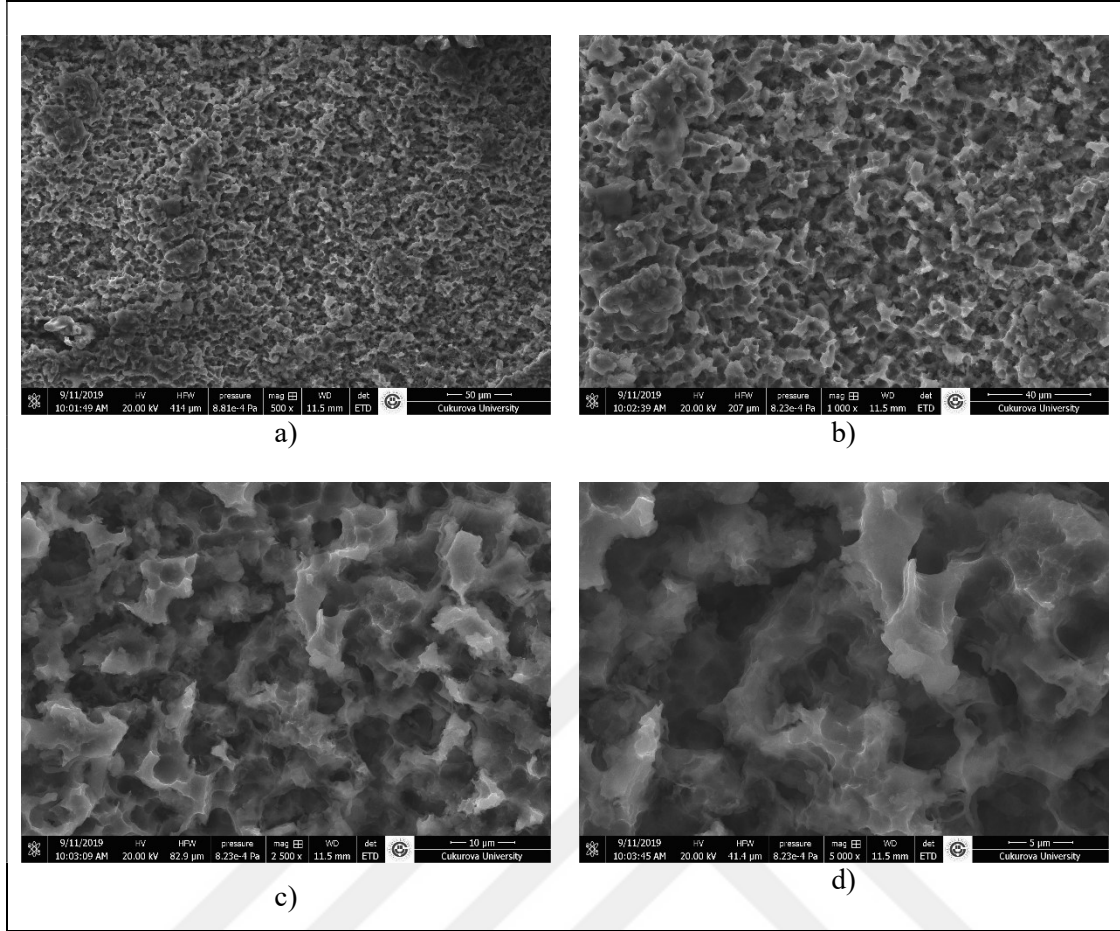


**Şekil 4.101.** 24 takım omuz çapı ve 1000 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin korozyon deneyi sonrası görüntüleri a) Yüzey görüntüsü, b) Kesit görüntüsü



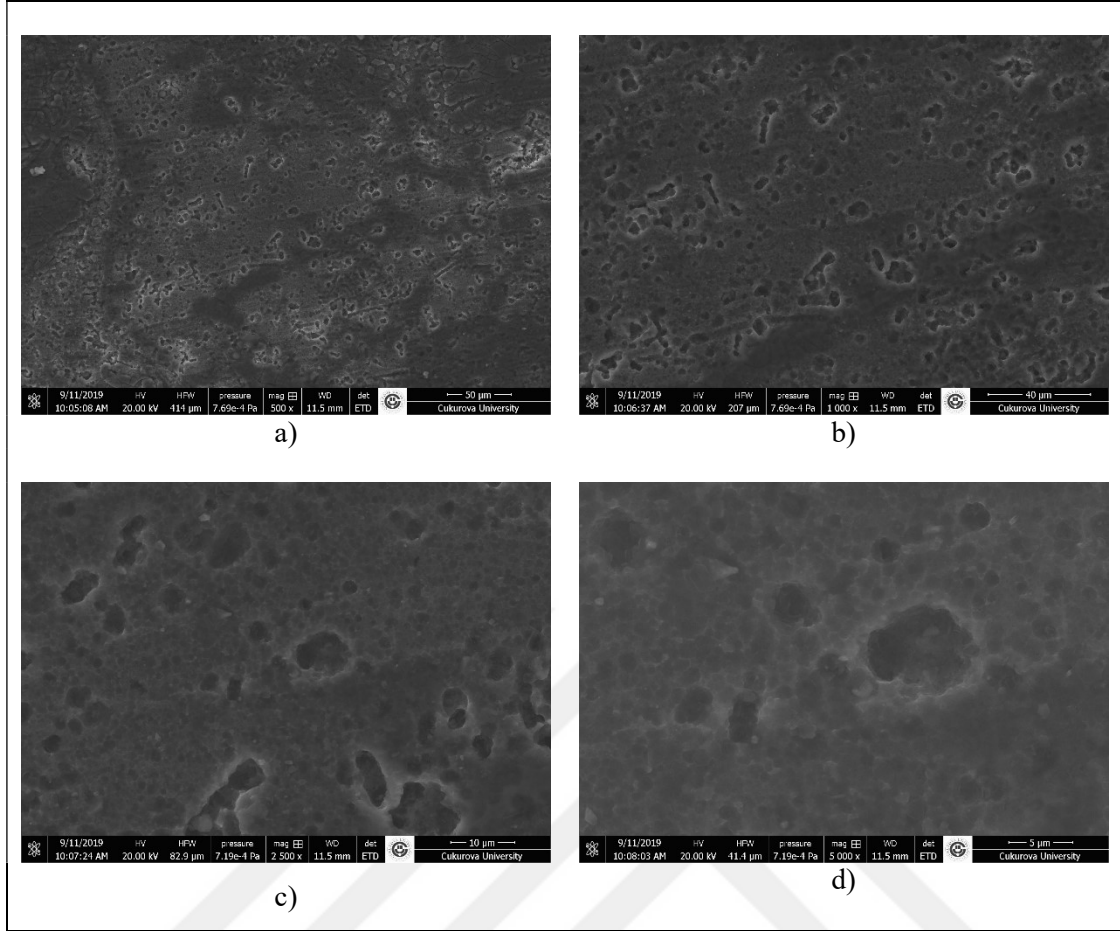
**Şekil 4.102.** 24 takım omuz çapı ve 1400 dev/dk. takım dönme hızında üretilen numunelerin korozyon deneyi sonrası görüntüleri a) Yüzey görüntüsü, b) Kesit görüntüsü

Daldırma korozyon deneyi sonrasında numuneler incelendiğinde, korozyonun en fazla numunenin kaynak yüzeylerinde etkili olduğu görülmüştür. Korozyon deneyi sonrası en yüksek ve en düşük ağırlık kaybının olduğu numuneler taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile görüntülenmiştir. Çalışılan SKK parametreleri arasında en yüksek ağırlık kaybını 4-O16-D1000-İ56 parametre kodlu numune göstermiştir. En düşük ağırlık kaybı 6-O16-D1000-İ160 parametre kodlu numunede olduğu görülmüştür Bunun sebebi çekme deneyi bulgularındaki küçük tane yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir. Şekil 4.103. ve Şekil 4.104.'de 4-O16-D1000-İ56 parametre kodlu numune ve 6-O16-D1000-İ160 parametre kodlu numunelere ait taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri verilmiştir.



**Şekil 4.103.** 4-O16-D1000-İ56 parametre kodlu numuneye ait korozyon deneyi sonrası kaynak kesitinin SEM görüntüleri a) 500× büyütme, b) 1000× büyütme, c) 2500× büyütme, d) 5000× büyütme

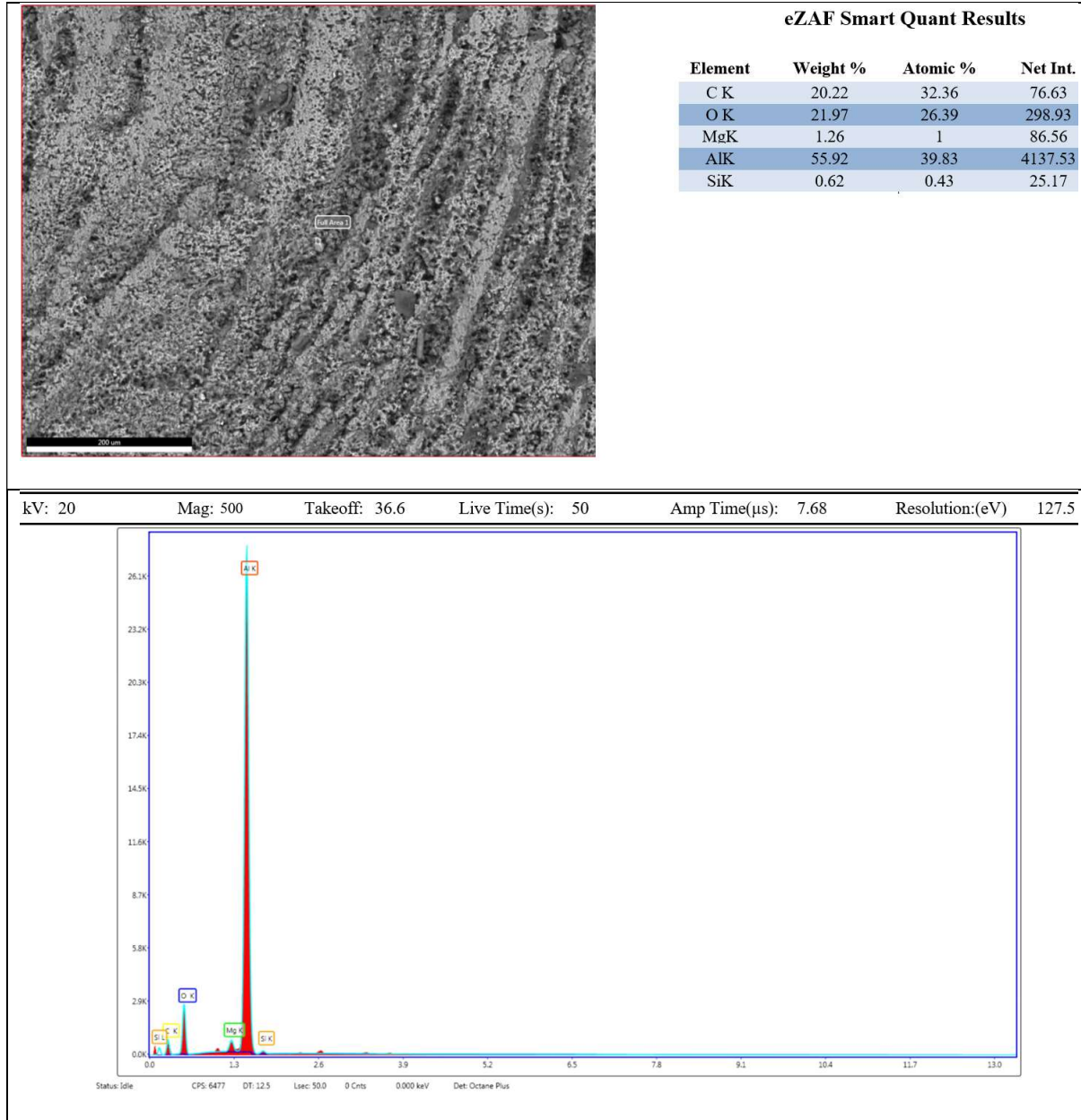
4-O16-D1000-İ56 parametre kodlu numunenin korozyon deneyi sonrası SEM görüntüsü incelendiğinde yüzeyin genel korozyona uğradığı görülmüştür. Kaynak yüzeyinden yüksek miktarda malzeme kaybı SEM görüntülerinde açıkça görülmektedir. Korozyon, kaynak yüzey tabakasını tüketerek malzemenin iç yapısına kadar etkili olmuştur. Bu duruma çekme deneyi sonrası kırılma yüzeyinde gözlemlenen büyük tane yapısından kaynaklanan boşluklu gevşek iç yapının sebep olduğu düşünülmektedir.



**Şekil 4.104.** 6-O16-D1000-İ160 parametre kodlu numuneye ait korozyon deneyi sonrası kaynak kesitinin SEM görüntüleri a) 500× büyütme, b) 1000× büyütme, c) 2500× büyütme, d) 5000× büyütme

4-O16-D1000-İ56 parametre kodlu numunenin SEM görüntüsü incelendiğinde yüzeyin ortalama 5µm genişliğinde çukur korozyona uğradığı görülmüştür. Bu kaynak parametresinde çalışılan numunenin korozyon deneyi sonrasında yüzey yapı bütünlüğünün genel olarak korunduğu görülmektedir. Ağırlık kaybı ölçümleri ve korozyon deneyi sonrası SEM görüntüleri, çekme deneyi sonrasında kırılma yüzeyi içyapılarının birbirini destekler nitelikte olduğunu göstermiştir. İnce tane yapısı ve tane sınırlarının artması korozyon direncini arttırmıştır.

Çalışılan parametreler arasında en fazla ve en az korozyona uğrayan numunelere ait elementer analizi (EDS) yapılarak korozyon bulguları saptanmaya çalışılmıştır. 4-O16-D1000-İ56 kodlu numuneye ait EN AW-5083 bölgesinden alınan elementer analiz (EDS) sonuçları Şekil 4.105.'de verilmiştir.

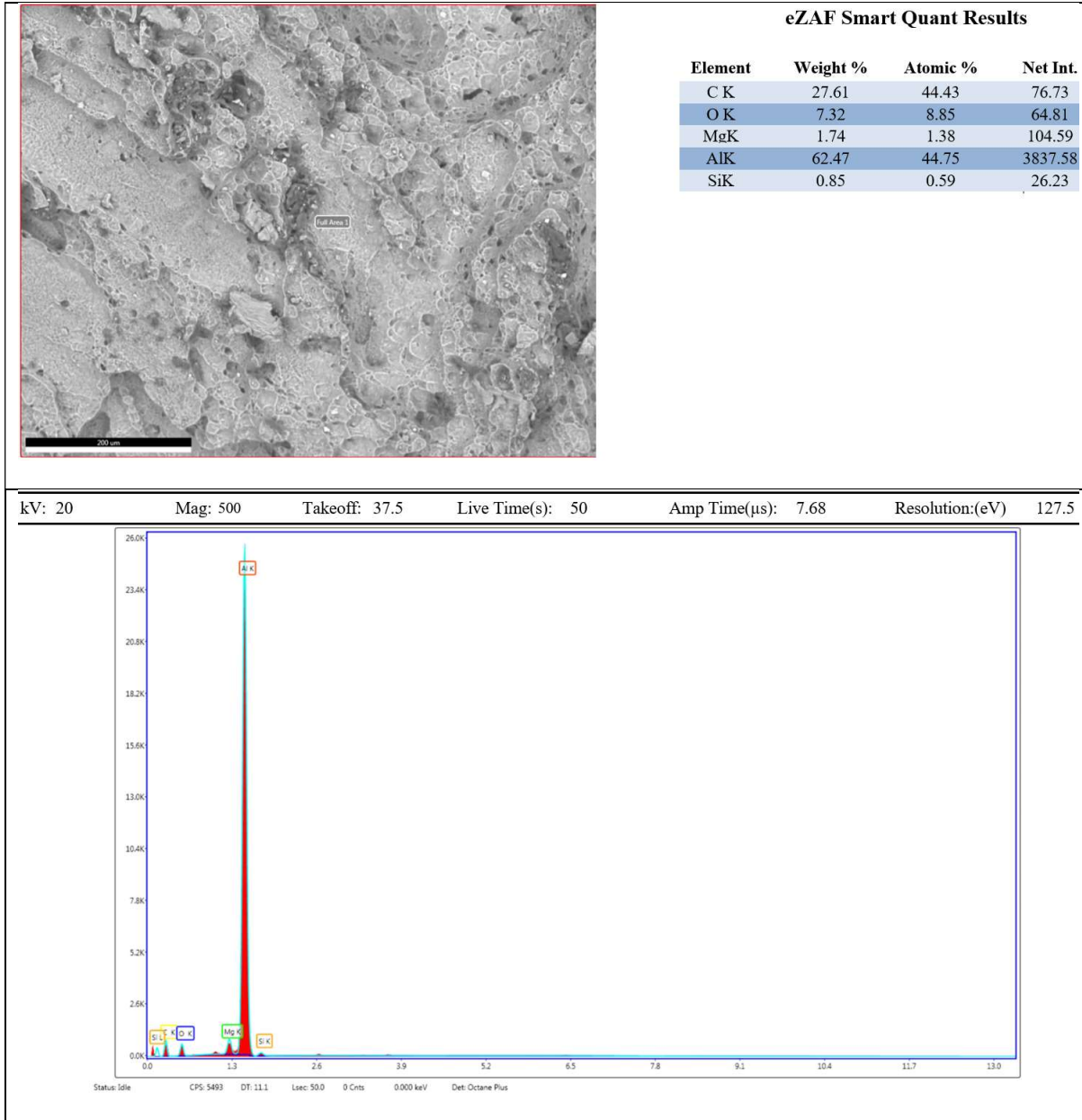


**Şekil 4.105.** 4-O16-D1000-İ56 kodlu numuneyle ait EN AW-5083 bölgesinden alınan EDS analizi sonuçları

4-O16-D1000-İ56 parametredeki numunenin EDS analizi incelendiğinde yapıda yüksek oranda oksijen ve karbon atomunun varlığına rastlanmıştır. Korozyona uğramış yüzeyde alüminyumun ağırlıkça oranının % 55.92 seviyesine kadar düştüğü görülmüştür. Bu durum yüzeyde yüksek oranda korozif bileşiklerin olduğunu işaret etmektedir. Yapı içerisinde rastlanan karbon elementinin, kaynaklı birleştirimin kesit yüzeyinin korozyon deneyi öncesindeki hazırlık sürecinde SiC zımpara ile parlatılması sonucunda yapıya girdiği düşünülmektedir.

6-O16-D1000-İ160 parametrede birleştirilen numunenin korozyon deneyi sonrası EN AW-5083 bölgesinden alınan elementer analiz (EDS) sonuçları Şekil 4.106.'da verilmiştir.





**4.106.** 6-O16-D1000-İ160 kodlu numuneye ait EN AW-5083 bölgesinden alınan EDS analizi sonuçları

6-O16-D1000-İ160 kodlu parametredeki numunenin EDS analizi incelendiğinde 4-O16-D1000-İ56 kodlu kaynak parametresinden farklı olarak oksijen içeriğinde düşüş olduğu görülmüştür. Korozyona uğramış yüzeyde alüminyum elementinin ağırlıkça oranının % 62.47 seviyesine kadar düştüğü görülmüştür. Yapı içerisinde rastlanan karbon elementinin, kaynaklı birleştirmenin kesit yüzeyinin korozyon deneyi öncesindeki hazırlık sürecinde SiC zımpara ile parlatılması sonucunda yapıya girdiği düşünülmektedir.

## 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Çalışma kapsamında EN AW-5083-H111 ve EN AW-6082-T651 alüminyum alaşımı levhalar sürtünme karıştırma kaynak yöntemiyle birleştirilmiştir. 16-20-24 mm ölçülerinde üç farklı çapta takım omzu, 710-1000-1400 dev/dk. takım dönme hızı ve 56-112-160 mm/dk. takım ilerleme hızından oluşan 27 parametrede kaynaklı bağlantılar elde edilmiştir. SKK yöntemiyle birleştirilen levhalardan standartlara uygun deney numuneleri hazırlanmış olup, numunelerin mekanik özellikleri, metalografik analizleri ve korozyon davranışları araştırılmıştır. Yapılan çalışmalara ait genel sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

SKK bağlantılarının gözle muayenesinde birleştirilen levhalarda ısı oluşumunun sınırlı olmasına bağlı olarak kaynaklı levhalarda çarpılmalar gözlemlenmemiştir. Çalışılan parametrelerde; büyük takım omuz çapı ve yüksek devir sayısının kılınılması, kaynak yüzey görüntüsünde bozulmalara neden olmuştur. Küçük takım omuz çapı ve yüksek takım ilerleme hızlarının kullanıldığı kaynaklı birleştirmelerde ise daha düzgün kaynak yüzey yapısı elde edilmiştir.

Çekme deneylerinde kaynakla üretilen numunelerden en yüksek çekme dayanım değerleri 160 mm/dk. takım ilerleme hızının kullanıldığı parametrelerde üretilen kaynaklı numunelerden elde edilmiştir. En düşük çekme dayanımı değerleri ise 56 mm/dk. takım ilerleme hızının kullanıldığı parametrelerde üretilen kaynaklı numunelerden elde edilmiştir. Deney sonuçlarına göre en yüksek çekme mukavemeti 230,43 MPa değeri ile 6-O16-D1000-İ160 kodlu kaynak parametresi kullanılarak yapılan birleştirmeden elde edilmiştir. En düşük çekme mukavemeti ise 159,55 MPa ile 4-O16-D1000-İ56 kodlu kaynak parametresi kullanılarak yapılan birleştirmeden elde edilmiştir. Bu parametrede dayanımdaki azalmanın sebebi optik mikroskop incelemeleri sonucunda, yetersiz nufuziyet sebebi ile kaynak kökünde tünel şeklindeki boşluk oluşumudur. Kopma yüzeylerinden alınan SEM görüntülerinde, 4-O16-D1000-İ56 kodlu kaynak parametresinden elde edilen numunenin 6-O16-D1000-İ160 kodlu kaynak parametresinden elde edilen numuneye kıyasla daha düzensiz ve boşluklu bir yapıda olduğu görülmüştür. Genel olarak SKK işleminde takım ilerleme hızındaki artış kaynaklı bağlantıların akma ve çekme mukavemetlerini de artırmıştır. Çekme deneyleri sonucunda 2-O16-D710-İ112 ile 5-O16-D1000-İ112 kodlu kaynak parametreleri ile birleştirilen numuneler kaynak merkezinden, diğer numuneler ise EN AW-6082 Al alaşımının TMEB'inden kopmuştur.

Eğme deneyi sonuçlarında genel olarak kaynaklı bağlantıların yeterli sünekliği gösteremeyip kırıldıkları görülmüştür. Kaynaklı bağlantılardan; 1-O16-D710-İ56, 7-O16-D1400-İ56, 8-O16-D1400-İ112, 9-O16-D1400-İ160, 10-O20-D710-İ56, 17-O20-D1400-İ112 kodlu kaynak parametreleri dışında tüm bağlantılarda gevrek kırılmalar görülmüştür. 1-O16-D710-İ56 kodlu kaynak parametresinden elde edilen numunenin en iyi sünek özelliğe sahip olduğu görülmüştür. Eğme deneyi sonrasında kırılma yapıları incelendiğinde kaynaklı birleştirmelerdeki yüzey deformasyonları ve kaynak kökündeki yetersiz nufuziyetin çatlamalara ve gevrek kırılmalara sebep olduğu sonucuna varılmıştır. Optik

mikroskop incelemeleri sonucunda kaynak bölgesi belirgin bir şekilde esas malzemeden ayırt edilebilmektedir. Kaynak merkezinde malzememe akışı net olarak görülmüştür. Kaynak merkezleri sabit pim çapından ötürü birbirlerine yakın genişliktedir. 1-O16-D710-İ56, 2-O16-D710-İ112, 3-O16-D710-İ160, 12-O20-D710-İ160 ve 15-O20-D1000-İ160 kodlu kaynak parametrelerinde literatürde rastlanan soğan halkası görünümü oluşmamıştır. 4-O16-D1000-İ56 kodlu kaynak parametresi kullanılarak birleştirilen numunede kaynak kökündeki tünel şeklinde boşluk oluşumu görülmüştür. Bu yapı düşük akma ve çekme dayanımına sebebiyet vermiştir.

Kaynaklı bölgesinin mikrosertlik değerleri genel olarak EN AW-6082 esas metalinin sertlik değerinin altında kalmıştır. Kaynaklı bölgelerin genelinde sertlik değerleri EN AW-6082 esas metali tarafında daha yüksek değerlerde seyrederken EN AW-5083 esas metali bölgesinde düşük değerlerde ölçülmüştür. Genel olarak kaynak merkezlerinden ölçülen ortalama sertlik değerleri takım omuz çapı ve takım ilerleme hızlarının artışına paralellik göstererek ortalama sertlik değerleri de artmıştır.

Korozyon deneyi sonrası optik mikroskop incelemelerinde numuneler genel olarak kaynak yüzeyinden korozyona uğradıkları görülmüştür. Ağırlık kaybı ölçümleri sonucunda 4-O16-D1000-İ56 parametre kodlu kaynaklı bağlantının en fazla, 6-O16-D1000-İ160 parametre kodlu kaynaklı bağlantının ise en az korozyona uğradığı görülmüştür. Korozyon hızı ölçümleri, ağırlık kaybının ilk 24 saat içerisinde hızlı bir şekilde gerçekleştiğini göstermiştir. 72 saat sonunda korozyon hızı oldukça düşmüştür. Korozyon deneyi sonrası numunelerin EDS analizi, korozyon hızındaki azalmaya numune yüzeyde oluşan oksitli bileşiklerin neden olduğunu göstermiştir. Ayrıca korozyon bölgesindeki Al elementi miktarının kaynak metali bileşimindeki Al elementi miktarından % 34.45-% 41 daha az olduğu görülmüştür. SEM incelemelerinde 4-O16-D1000-İ56 parametre kodlu kaynaklı bağlantı kesitinin genel korozyona uğradığı ve 6-O16-D1000-İ160 parametre kodlu kaynaklı bağlantının ise yerel korozyonuna uğradığı görülmüştür.

Tez çalışması sonucunda daha iyi kaynak performansı gösterebilecek parametreleri belirlemek amacı ile çeşitli optimizasyon tekniklerinin kullanılabilmesi önerilir. Ayrıca daha fazla parametrede kaynaklı bağlantıların elde edilmesine olanak sağlayacak tezgahların kullanılması önerilir. Çalışılan parametrelerin dışında pim profili, takım omuz profili, farklı takım eğim açısı vb. faktörlerle farklı parametrelerde birleştirmeler yapılarak kaynak bağlantı özellikleri incelenmelidir.

## KAYNAKLAR

- [1]. Yaroshevsky, A. (2006). Abundances of chemical elements in the Earth's crust. *Geochemistry International*, 44 (1), 48-55. doi: <https://doi.org/10.1134/S001670290601006X>.
- [2]. Rankin, D.W.H. (2008). *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. CRC Press, doi:10.1080/08893110902764125.
- [3]. Boksit. (2019). 15 Eylül 2019 tarihinde <http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/boksit> adresinden erişildi.
- [4]. The Corporate Website of Aluminium Norf GmbH. (2019) 15 Eylül 2019 tarihinde <https://www.alunorf.de/alunorf/alunorf.nsf/id/FC78CEA3DEA1C128C12578F400465232> adresinden erişildi.
- [5]. Eroğlu, G., Şahiner, M. (2018) *Dünyada ve Türkiye'de alüminyum*. Maden Tetkik Ve Arama Genel Müdürlüğü, <http://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgi-merkezi/maden-serisi/aluminyum.pdf> adresinden erişildi.
- [6]. OECD. (2019), *Measuring distortions in international markets: the aluminium value chain*, OECD Trade Policy Papers, No. 218, OECD Publishing, Paris, <http://dx.doi.org/10.1787/c82911ab-en>.
- [7]. Aalco. (2019). Aluminium Alloy-General Information-Introduction to aluminium and its alloys. 15 Eylül 2019 tarihinde [http://www.aalco.co.uk/datasheets/Aluminium-Alloy\\_Introduction-to-Aluminium-and-its-alloys\\_9.ashx](http://www.aalco.co.uk/datasheets/Aluminium-Alloy_Introduction-to-Aluminium-and-its-alloys_9.ashx) adresinden erişildi.
- [8]. The Aluminum Association. (2019). 15 Eylül 2019 tarihinde <https://www.aluminum.org/industries/production/recycling> adresinden erişildi.
- [9]. The Aluminum Association. (2019). 15 Eylül 2019 tarihinde [https://www.aluminum.org/sites/default/files/Aluminum\\_The\\_Element\\_of\\_Sustainability.pdf](https://www.aluminum.org/sites/default/files/Aluminum_The_Element_of_Sustainability.pdf) adresinden erişildi.
- [10]. Taban, E. (2004) *5xxx serisi alüminyum alaşımlarının TIG, MIG ve sürtünen eleman ile birleştirme kaynaklı bağlantılarının mekanik ve mikroyapısal özelliklerinin incelenmesi*. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli.
- [11]. Altenpohl, D.G. (1998). *Aluminum: Technology, Applications, and Environment*. 6th ed., The Aluminum Association Inc. and TMS.
- [12] Oates W.R. (Ed.). (1998). *Welding Handbook-Materials and Applications*, AWS, 8th Edition.
- [13]. What is Welding?-Definition, Processes And Types of Joints. 15 Eylül 2019 tarihinde <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-is-welding>.
- [14]. Anık, S. (1991). *Kaynak Tekniği El Kitabı-Yöntemler Ve Donanımlar*. 15 Eylül 2019 tarihinde [http://www.gedikegitimvakfi.org.tr/wp-content/uploads/2013/12/library\\_6.pdf](http://www.gedikegitimvakfi.org.tr/wp-content/uploads/2013/12/library_6.pdf) adresinden erişildi.
- [15]. Hou, K., Baeslack, W. (1996). Characterization of the heat-affected zone in gas tungsten arc welded aluminium alloy 2195-T8, *Journal of Materials Science Letters*, 15(3), 239-244. doi:10.1007/BF00274462.
- [16]. Koteswara Rao, S.R., Madhusudhan Reddy, G., Srinivasa Rao, K., Kamaraj, M., Prasad Rao, K. (2005), Reasons for superior mechanical and corrosion properties of 2219 aluminum alloy electron beam welds. *Materials Characterization*, 55 (4-5), 345-354. doi: 10.1016/j.matchar.2005.07.006.

- [17]. Paston, M., Zhao, H., Martukannitz, R.P., Debroy, T. (1999). Porosity, underfill and magnesium loss during continuous wave Wd: YAG laser welding of thin plates of aluminium alloy 5182 and 5754. *Materials Science*, 207–216.
- [18]. Yeniyl, E., Boba, C., Esme, U. (2019). Effects of ultrasonic welding parameters for solar collector applications. *Materials Testing*, 61(4), 344-348. <https://doi.org/10.3139/120.111326>
- [19]. Klobcar, D., Kosec, L., Pietras, A., Smolej, A. (2012). Friction-stir welding of aluminium alloy 5083. *Materials and Technology*, 46(5), 483–488.
- [20]. Aluminum Alloys, Introduction and Overview. 16 Eylül 2019 tarihinde. <https://materialsdata.nist.gov/bitstream/handle/11115/173/Aluminum%20and%20Aluminum%20Alloys%20Davis.pdf?sequence=3&isAllowed=y> adresinden erişildi.
- [21]. Larsson, H.; Karlsson, L. (2000). *Friction stir welding of AA 5083 and AA 6082 aluminium*. A welding review published by ESAB AB, Sweden.
- [22]. Özdoğru, E.F. (2009). *Eş kanallı açısız pres yöntemiyle üretilen Zr ve Sc ile modifiye edilmiş AA 6082 alüminyum alaşımının karakterizasyonu*. Yayımlanmış doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [23] Meran C. (2006). The joint properties of brass plates by friction stir welding. *Materials and Design*, 27, 719-726. doi: 10.1016/j.matdes.2005.05.006.
- [24]. Nandan, R., Deb Roy, T., Bhadeshia, H.K.D.H. (2008). Recent advances in friction-stir welding-Process, weldment structure and properties. *Progress in Materials Science*, 53, 980-1023. doi: <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2008.05.001>.
- [25]. Lee, W.B., Jung, S.B. (2004). The joint properties of copper by friction stir welding. *Materials Letters*, 58(6), 1041-1046. doi: 10.1016/j.matlet.2003.08.014.
- [26]. Meran, C., Kovan, V. (2008). Microstructures and mechanical properties of friction stir welded dissimilar copper/brass joints. *Materialwissenschaft Und Werkstofftechnik*, 39 (8), 521-530. doi: 10.1002/mawe.200800278.
- [27]. Thomas, W.M., Nicholas, E.D. (1997). Friction stir welding for the transportation industries. *Materials & Design*, 18, 269-273.
- [28]. Threadgill, P., Leonard, A., Shercliff, H., Withers, P. (2009). *International Materials Reviews*, 54(2), 49-93. <https://doi.org/10.1179/174328009X411136>.
- [29]. Delany, F., Kallee, S., Russell, M. (2007). *Friction stir welding of aluminum ships* International Forum on Welding Technologies in the Shipping Industry (IFWT), Shanghai.
- [30]. Karakizis, P.N., Pantelis, D.I., Dragatogiannis, D.A., Bougiouri, V.D., Charitidis, C.A. (2019). Study of friction stir butt welding between thin plates of AA5754 and mild steel for automotive applications. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 102 (9-12), 3065-3076. <https://doi.org/10.1007/s00170-019-03388-9>.
- [31]. Thompson, B , Doherty, K., Niese, C., Eff, M., Stotler, T., Pramann, Z., Seaman, J., Spencer R., White, P. (2012). *Friction Stir Welding of Thick Section Aluminum for Military Vehicle Applications*.
- [32]. Cavaliere, P., Campanile G., Panella, F., Squillace. (2006). A effect of welding parameters on mechanical and microstructural properties of AA6056 joints produced by friction stir welding. *Journal of Materials Processing Technology*, 180, 263–270. doi: 10.1016/j.jmatprotec.2006.06.015.

- [33]. Kordestani, F., Faramarz, A.G. Arab, N. (2016). An investigation of FSW process parameters effects on mechanical properties of PP composites. *Mechanics & Industry*, 17 (611), 1-8, doi: 10.1051/meca/2016012.
- [34] Jariyaboon, M.; Davenport, A.J.; Ambat, R.; Connolly, B. J.; Williams, S. W.; Price, D. A. The Effect of Welding Parameters on The Corrosion Behaviour of Friction Stir Welded AA2024-T351”, *Corrosion Science*.2007, 49, 877-909.
- [35]. Kulekci, M., K., Şik A., Kaluç E. (2008). Effects of tool rotation and pin diameter on fatigue properties of friction stir welded lap joints. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 36, 877-882. doi: 10.1007/s00170-006-0901-z.
- [36]. Lombard, H., Hattingh, D.G., Steuwer, A., James, M.N. (2009). Effect of process parameters on the residual stresses in AA5083-H321 friction stir welds. *Materials Science and Engineering A*, 501, 119-124. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2008.09.078>.
- [37]. Balasubramanian, V. (2008). Relationship between base metal properties and friction stir welding process parameters. *Materials Science and Engineering A*, 480, 397-403. doi: 10.1016/j.msea.2007.07.048.
- [38]. Cavaliere, P., Panella F.W. (2008) Effect of tool position on the fatigue properties of dissimilar 2024-7075 sheets joined by friction stir welding. *Journal of Materials Processing Technology*, 206 (1-3), 249-255. doi: 10.1016/j.jmatprotec.2007.12.036.
- [39]. Srubar, M. (2009). *Application of friction stir welding in aircraft structures*. Yayınlanmış yüksek lisans tezi, Brno University of Technology, Brno.
- [40]. Trimble D. (2011). *Optimisation of process parameters and tooling during friction stir welding of AA2024-T3*. Yayınlanmış doktora tezi, University of Dublin, Dublin.
- [41]. Mishra, R.S., Ma, Z.Y. (2005). Friction stir welding and processing. *Materials Science and Engineering R: Reports*, 50 (1-2), 1-78. <https://doi.org/10.1016/j.mser.2005.07.001>.
- [42]. Dalkılıç, S. (2012) Sürtünme karıştırma kaynağı ve havacılık ve uzay endüstrisindeki uygulama alanları. *Havacılık Ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 5 (4), 25-33.
- [43]. Friction stir welding-working principle, advantages, disadvantages with application. 22 Eylül 2019 tarihinde <https://www.theweldingmaster.com/friction-stir-welding/> adresinden erişildi.
- [44]. What materials can I join with friction stir welding. 22 Eylül 2019 tarihinde <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/faq-what-materials-can-i-join-with-friction-stir-welding> adresinden erişildi.
- [45]. Çam, G. (2011). Friction stir welded structural materials: beyond Al-alloys. *International Materials Reviews*,56 (1), 1-48. doi:10.1179/095066010X12777205875750.
- [46]. Troughton, M. (2008) *Handbook of plastics joining: A practical guide*, Second Edition, Norwich: Elsevier Inc.
- [47]. Industrial Applications. 22 Eylül 2019 tarihinde <https://www.twi-global.com/what-we-do/research-and-technology/technologies/welding-joining-and-cutting/friction-welding/friction-stir-welding/industrial-applications> adresinden erişildi.
- [48]. Besharati-Givi, M.K., Asadi, P.(2014). *Advances in Friction-Stir Welding and Processing*, Woodhead Publishing.

- [49]. New joining technologies for future fuselage metal structures. 22 Eylül 2019 tarihinde [https://www.iws.fraunhofer.de/content/dam/iws/en/documents/publications/annual\\_report\\_articles/JB\\_IWS\\_2014\\_en\\_S30-31.pdf](https://www.iws.fraunhofer.de/content/dam/iws/en/documents/publications/annual_report_articles/JB_IWS_2014_en_S30-31.pdf). adresinden erişildi.
- [50]. Fooke GMBH. (2019). 24 Eylül 2019 tarihinde [https://www.fooke-portalfraemaschinen.de/en\\_US/branch-en/rail-industry.html](https://www.fooke-portalfraemaschinen.de/en_US/branch-en/rail-industry.html) adresinden erişildi.
- [51]. Lakshminarayanan, A.K., Balasubramanian, V. (2008). Process parameters optimization for friction stir weld of RDE-40 aluminium alloy using Taguchi technique. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 18, 548-554. doi: 10.1016/S1003-6326(08)60096-5.
- [52]. Booth, M. (2016). *Effects of processing parameters on friction stir welded lap joints of AA7075-T6 and AA6022-T4*. Yayımlanmış yüksek lisans tezi, University of Waterloo, Waterloo, Ontario.
- [53]. Peel, M.J., Steuwer, A., Withers, P.J., Dickerson, T., Shercliff, H. (2006). Dissimilar friction stir welds in AA5083-AA6082. Part I: Process parameter effects on thermal history and weld properties. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 37 (7), 2183-2193. <https://doi.org/10.1007/BF02586138>.
- [54]. Leitão, C., Emílio, B., Chaparro, B.M., Rodrigues, D.M. (2009). Formability of similar and dissimilar friction stir welded AA 5182-H111 and AA 6016-T4 tailored blanks. *Materials & Design*, 30 (8), 3235-3242. doi:10.1016/j.matdes.2008.12.005.
- [55]. Amancio-Filho, S.T., Sheikhi, S., Dos Santos J.F., Bolfarini, C. (2008) Preliminary study on the microstructure and mechanical properties of dissimilar friction stir welds in aircraft aluminium alloys 2024-T351 and 6056-T4. *Journal of Materials Processing Technology*, 206 (1-3), 132-142. doi:10.1016/j.jmatprotec.2007.12.008.
- [56]. Padmanaban, G., Balasubramanian, V. (2009). Selection of FSW tool pin profile, shoulder diameter and material for joining AZ31B magnesium alloy-An experimental approach. *Materials and Design*, 30 (7), 2647-2656. doi:10.1016/j.matdes.2008.10.021.
- [57]. Devuri, V., Ranjan Mandal, N., Mohan. Mahapatra, M., HARSH, S.P. (2013). Tool design effects for FSW of AA7039. *Welding Journal*, 92(2):41s-47.
- [58]. Threadgill, P.L., Leonard, A.J., Shercliff, H R Withers, P.J. (2009). Friction stir welding of aluminium alloys. *International Materials Reviews*,54 (2), 49-93. doi:10.1179/174328009X411136.
- [59]. Colegrove P.A., Shercliff, H.R., Zettler, R. (2007). Model for predicting heat generation and temperature in friction stir welding from the material properties. *Science and Technology of Welding and Joining*, 12 (4), 284-297. doi:10.1179/174329307X197539.
- [60]. Q.Y. Shi, Dickerson, T.L., Shercliff, H. R.(2003). Thermo-mechanical FE modelling of friction stir welding of AL-2024 including tool loads. *International Symposium on Friction Stir Welding*, Park City Utah.
- [61]. Fadaeifard, F., Gharavi, F., Matori, K.A., Daud, A.R., Ariffin, M.K.A.M., Awang, M. (2014) Investigation of Microstructure and Mechanical Properties of Friction Stir Lap Welded AA6061-T6 in Various Welding Speeds," *Journal of Applied Sciences*, 14 (3), 221-228. doi: 10.3923/jas.2014.221.228.
- [62]. Hovanski, Y., Upadhyay, P., Carsley, Luzanski, T., Carlson, B., Eisenmenger, M., Soulami, A., Marshall, D., Landino, B., Hartfield-Wunsch. (2015) High-speed friction-stir welding to enable aluminum tailor-welded blanks. *The Journal of The Minerals, Metals & Materials Society (TMS)*, 67 (5), 1045-1053. <https://doi.org/10.1007/s11837-015-1384-x>.

- [63]. Ramulu, P.J., Narayanan, R.G., Kailas, S.V., Reddy, J. (2013). Internal defect and process parameter analysis during friction stir welding of Al6061 sheets. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 65(9-12), 1515-1528. <https://doi.org/10.1007/s00170-012-4276-z>
- [64]. Ugender, S., Jayakrishna S., Francis, E.D. (2018) Influence of welding speed, axial force and rotational speed on the formation of friction stir welding zone in AZ31 magnesium alloy. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 9(8), 845-857.
- [65]. Mahany, M. S., Abbas, R.R., Ahmed, M.M.Z., Abdelkader, H. (2017) Influence of tool rotational speed and axial load in friction stir welding (FSW) of high strength aluminum alloys. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 6 (2), 2319-1163.
- [66]. Palanivel, R., Koshy Mathews, P., Balakrishnan, M., Dinaharan, I., Murugan, N. (2012). Effect of tool pin profile and axial force on tensile behavior in friction stir welding of dissimilar aluminum alloys. *Advanced Materials Research*, 415, 1140-1146. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.415-417.1140>.
- [67]. Cook, G.E., Crawford, R., Clark, D.E., Strauss, A.M. (2004) Robotic Friction Stir Welding, *Industrial Robot: An International Journal*, 31 (1), 55-63. doi: 10.1108/01439910410512000
- [68]. Erbil, M. (2012) *Korozyon İlkeler- Önlemler*, Korozyon Derneği, Ankara.
- [69]. Güler, İ. (2019). *Corrosion control methods in ships and advances in marine coatings*, Yayınlanmış yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [70]. Kurt, K. (2006) *Direk soğutmalı ve çift merdaneli döküm yolu ile üretilen 6XXX serisi kaynaklı ve kaynaklı alüminyum alaşımlarının oyuklanma korozyonu davranışı*. Yayınlanmış yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [71]. Çukurcuk Korozyonu (Pitting Corrosion). (2019). 27 Eylül 2019 tarihinde <https://www.stmcoatech.com/cukurcuk-korozyonu-pitting-corrosion> adresinden erişildi.
- [72]. Endüstride Karşılaşılan Korozyon Türleri. 27 Eylül 2019 tarihinde <http://www.metaluzmani.com/endustride-karsilasilan-korozyon-turleri/> adresinden erişildi.
- [73]. Dezincification. 27 Eylül 2019 tarihinde <https://www.nace.org/resources/general-resources/corrosion-basics/group-2/dezincification> adresinden erişildi.
- [74]. Dezincification. 27 Eylül 2019 tarihinde <https://marinesol.org/dezincification/> adresinden erişildi.
- [75]. Dezincification Resistance of Brass. 27 Eylül 2019 tarihinde <https://www.materials.co.uk/dezincification.htm> adresinden erişildi.
- [76]. Zhou P. (2017) *An in situ kinetic investigation of the selective dissolution mechanism of Cu alloys*. Yayınlanmış doktora tezi, Université Pierre et Marie Curie Paris.
- [77]. Eken, A.E., Yılmaz, C., Tan, E. (2016) Galvanik korozyonu önlemek için bağlantı elemanı montajında farklı metodların kullanımı, *18th International Metallurgy & Materials Congress, IMMC* (ss. 832-835), İstanbul.
- [78]. Palmanak E. (2009) 6-amino-m-kresol polimerinin bakır ve paslanmaz çelik üzerine sentezi ve korozyon performansının incelenmesi. Yayınlanmış yüksek lisans tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- [79]. Teknelerde Galvanik Korozyon Sorunu ve Çözümü. 27 Eylül 2019 tarihinde <https://www.marinayat.com/teknelerde-galvanik-korozyon-sorunu-ve-cozumu/> adresinden erişildi.



- [80]. Aluminum Association study of corrosion near hood hem offers lessons for OEMs, shops. 27 Eylül 2019 tarihinde <https://www.repairerdrivennews.com/2018/06/04/aluminum-association-study-of-corrosion-near-hood-hem-offers-lessons-for-oems-shops/> adresinden erişildi.
- [81]. Gall, F. (2013). The Corrosion of Centrifugal Pumps in Aqueous Environments, *IDC's 3. Pumps and Compressors Conference*, (ss. 1-29). Perth.
- [82]. *Gemilerde Korozyonu Önleme*. (2013). T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, Ankara.
- [83]. Cam, G., Gucluer, S., Cakan, A., Serindag, H. T. (2009). Mechanical properties of friction stir butt-welded Al-5086 H32 plate. *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik*, 40 (8), 638-642.
- [84]. Rodrigues, D.M., Loureiro, A., Leitao, C., Leal, R.M., Chaparro, B.M., Vilaça, P. (2009). Influence of friction stir welding parameters on the microstructural and mechanical properties of AA 6016-T4 thin welds. *Materials and Design*, 30, 1913–1921. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2008.09.016>.
- [85]. Sharma, C., Dwivedi, D.K., Kumar P. (2012). Effect of welding parameters on microstructure and mechanical properties of friction stir welded joints of AA7039 aluminum alloy. *Materials and Design*, 36, 379–390. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2011.10.054>.
- [86]. Sun, Y.F., Fujii, H. (2010). Investigation of the welding parameter dependent microstructure and mechanical properties of friction stir welded pure copper. *Materials Science and Engineering, A*, 527 (26), 6879–6886. doi: 10.1016/j.msea.2010.07.030.
- [87]. Cam, G.;Mistikoglu, S., Pakdil, M. (2009). Microstructural and mechanical characterization of friction stir butt joint welded 63% Cu-37% Zn brass plate. *Welding Journal*, 88, 225-232.
- [88]. Cam, G., Serindag, H.T., Cakan, A., Mistikoglu, S., Yavuz, H. (2008). The effect of weld parameters on friction stir welding of brass plates. *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik*, 39, 394-399.
- [89]. Cavaliere, P., De Santis, A., Panella, F., Squillace, A. (2009). Effect of welding parameters on mechanical and microstructural properties of dissimilar AA6082–AA2024 joints produced by friction stir welding. *Materials and Design*, 30, 609–616. doi: 10.1016/j.matdes.2008.05.044.
- [90]. Aval, H. J., Serajzadeh S., Kokabi A., H. (2011). Evolution of microstructures and mechanical properties in similar and dissimilar friction stir welding of AA5086 and AA6061. *Materials Science and Engineering A*, 528 (28), 8071-8083. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2011.07.056>.
- [91]. Scialpi, A., De Giorgi, M., De Filippis, L.A.C., Nobile, R., Panella, F.W. (2008). Mechanical analysis of ultra-thin friction stir welding joined sheets with dissimilar and similar materials. *Materials and Design*. 2008, 29, 928–936. doi: 10.1016/j.matdes.2007.04.006
- [92]. Kostka, A., Coelho, R.S., Dos Santos, J., Pyzalla, A.R. (2009). Microstructure of friction stir welding of aluminium alloy to magnesium alloy. *Scripta Materialia*, 60 (11), 953-956. doi: 10.1016/j.scriptamat.2009.02.020.
- [93]. Barcellona, A., Buffa, G., Fratini L., Palmeri, D. (2006). On microstructural phenomena occurring in friction stir welding of aluminium alloys. *Journal of Materials Processing Technology*, 177(1-3), 340-343. doi: 10.1016/j.jmatprotec.2006.03.192.
- [94]. James, M.N., Hattingh, D.G., Bradley, G.R. (2003). Weld Tool travel speed effects on fatigue life of friction stir welds in 5083 aluminium. *International Journal of Fatigue*, 25, 1389-1398. doi: 10.1016/S0142-1123(03)00061-6.

- [95]. Kumar, R., Singh, K., Pandey S. (2012). Process forces and heat input as function of process parameters in AA5083 friction stir welds. *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, 22, 288-298. doi: 10.1016/S1003-6326(11)61173-4.
- [96]. Cavaliere, P., Squillace, A., Panella, F. (2008). Effect of welding parameters on mechanical and microstructural properties of AA6082 joints produced by friction stir welding. *Journal of Materials Processing Technology*, 200(1-3), 364–372. doi: 10.1016/j.jmatprotec.2007.09.050.
- [97]. Mroccka, K., Pietras, A. (2009). FSW characterization of 6082 aluminium alloys sheets. *Archives of Materials Science and Engineering*, 40, 104-109.
- [98]. Costa, J.D., Ferreira, J.A.M., Borrego, L.P., Abreu, L.P. (2012). Fatigue behaviour of AA6082 friction stir welds under variable loadings. *International Journal of Fatigue*, 37, 8-16. doi: 10.1016/j.ijfatigue.2011.10.001.
- [99]. El-Danaf E.A., El-Rayes M.M. (2013). Microstructure and mechanical properties of friction stir welded 6082 AA in as welded and post weld heat treated conditions. *Materials and Design*, 46, 561-572. doi: 10.1016/j.matdes.2012.10.047.
- [100]. El-Rayes, M.M., El-Rayes, M.M. (2012). The influence of multi-pass friction stir processing on the microstructural and mechanical properties of Aluminum Alloy 6082”, *Journal of Materials Processing Technology*, 212, 1157-1168. doi: 10.1016/j.jmatprotec.2011.12.017.
- [101]. Cabibbo, M., Forcellese, A., El Mehtedi, M.;Simoncini M. (2014). Double side friction stir welding of AA6082 sheets: microstructure and nanoindentation characterization. *Materials Science & Engineering A.*, 590, 209-217. doi:10.1016/j.msea.2013.10.031.
- [102]. Krasnowski, K., Hamilton, C., Dymek, S. (2015). Influence of The Tool Shape and Weld Configuration on Microstructure and Mechanical Properties of the Al 6082 alloy FSW joints. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 15, 133-141. <https://doi.org/10.1016/j.acme.2014.02.001>.
- [103]. Cho, J.H., Kim, W.J., Lee C.G. (2014). Evolution of microstructure and mechanical properties during friction stir welding of A5083 and A6082. *Procedia Engineering*, 81, 2080-2085. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.10.289>.
- [104]. Singha J., Shankar, L. (2015). Analysis of process parameters effect on friction stir welding of aluminium 5083 and 6082. *Iracst- International Journal of Research in Management & Technology*, 5, 2249-9563.
- [105]. Gungor, B., Kaluc, E., Taban, E., Sik, A. (2014). Mechanical, fatigue and microstructural properties of friction stir welded 5083-H111 and 6082-T651 aluminum alloys. *Materials and Design*, 56, 84-90. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.10.090>.
- [106]. Zucchi, F., Trabanelli, G., Grassi, V. (2001). Pitting and stress corrosion cracking resistance of friction stir welded AA5083. *Materials and Corrosion*.2001, 52, 85-859. [https://doi.org/10.1002/1521-4176\(200111\)52:11<853::AID-MACO853>3.0.CO;2-1](https://doi.org/10.1002/1521-4176(200111)52:11<853::AID-MACO853>3.0.CO;2-1)
- [107]. Vilaca, P., Pepe, N., Quintino, L. (2006). Metallurgical and corrosion features of friction stir welding of AA5083-H111. *Welding In The World*, 50 (9-10), 55-64.
- [108]. Park, S., Kim, J., Han, M., Kim, S. (2009). Corrosion and optimum corrosion protection potential of friction stir welded 5083-O Al alloy for leisure ship. *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, 19 (4), 898-903. [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(08\)60373-8](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(08)60373-8).

- [109]. Shen, C., Zhang, J., Ge, J. (2011). Microstructures and electrochemical behaviors of the friction stir welding dissimilar weld. *Journal Of Environmental Sciences*, 23, 32-35. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(11\)61072-3](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(11)61072-3).
- [110]. Patil, H.S., Soman, S.N. (2014). Corrosion behaviour of friction stir welded aluminium alloys AA6082-T6. *American Journal of Materials Engineering and Technology*, 2, 29-33. doi:10.12691/materials-2-3-1.
- [111]. Donatus, U., Thompson, G.E., Zhou, X., Wang, J., Cassell, A., Beamish, K. (2015). Corrosion susceptibility of dissimilar friction stir welds of AA5083 and AA6082 alloys. *Materials Characterization*, 107, 85-97. doi: 10.1016/j.matchar.2015.07.002.
- [112]. Referans Metal. 30 Eylül 2019 tarihinde <http://referansmetal.com/alasimli-aluminyum/list/4/genel-endustri> adresinden erişildi.
- [113]. Empo Alüminyum. 30 Eylül 2019 tarihinde <http://www.empo.com.tr/aluminyum-lama-ve-cubuk/en-aw-6082.html> adresinden erişildi.
- [114]. Metallographic Aluminum Etchants. 30 Eylül 2019 tarihinde <http://www.metallographic.com/Etchants/Aluminum%20etchants.htm> adresinden erişildi.
- [115]. Kafalı, H. (2011). *Sürtünme karıştırma kaynağıyla birleştirilmiş Al 6013-T6 alaşımının mikroyapı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi*. Yayımlanmış doktora tezi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- [116]. Ertek, Emre1, H., Kaçar, R., Bilsel, M. (2016). Farklı ark kaynak yöntemlerinin P460NL1-HARDOKS400 çelik birleştirmesine etkisi. *AKÜ FEMÜBİD*, 16 , 98-106.
- [117]. Biner, İ. (2015) *Kaynaklı numunelerin tahribatlı testlerinin güvenilirliği ve cihaz kalibrasyonu*. Kaynak Kongresi IX. Ulusal Kongre ve Sergisi Bildiriler Kitabı, (ss. 125-130). Ankara.
- [118]. Varol S. (2012). *Alüminyum-bakır alaşımlarının korozyon davranışlarına tane boyutunun etkisi*. Yayımlanmış yüksek lisans tezi, Karabük Üniversitesi, Karabük.
- [119]. Baydoğan M. (2003). *Retrogresyon ve yeniden yaşlandırma uygulanmış 2014 ve 7075 kalite alüminyum alaşımlarının mekanik ve korozyon özelliklerinin incelenmesi*. Yayımlanmış doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi İstanbul.
- [120]. Koşatepe A. (2016). *Toz metalurjisi yöntemiyle karbon nanotüp takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin üretimi ve mikroyapı, mekanik, korozyon özelliklerinin araştırılması*. Yayımlanmış yüksek lisans tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum.
- [121]. Rai, R., De, A., Bhadeshia, H.K.D.H., DebRoy, T. (2011). Review: friction stir welding tools. *Science and Technology of Welding and Joining*, 16 (4), 325-342. <https://doi.org/10.1179/1362171811Y.0000000023>.
- [122]. Casalino, G., Campanelli, S., Mortello, M. (2014). influence of shoulder geometry and coating of the tool on the friction stir welding of aluminium alloy plates. *Procedia Engineering*, 69, 1541-1548. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.03.153>.
- [123]. Mehta, M., Arora, A., De, A., Debroy, T. (2011). Tool geometry for friction stir welding-optimum shoulder diameter. *Metallurgical And Materials Transactions A*, 42 (9), 2716-2722. doi: 10.1007/s11661-011-0672-5.

- [124]. Ramanjaneyulu, K., Madhusudhan Reddy, G., Venugopal Rao, A. (2014). Role of tool shoulder diameter in friction stir welding: an analysis of the temperature and plastic deformation of AA 2014 aluminium alloy. *Trans Indian Inst Met*, 67(5), 769–780, doi: 10.1007/s12666-014-0401-z.
- [125]. Unfried-Silgado, J., Torres-Ardila, A., Carrasco-García, J.C., Rodríguez-Fernández, J. (2017). Effects of shoulder geometry of tool on microstructure and mechanical properties of friction stir welded joints of AA1100 aluminum alloy. *DYNA*, 84 (200), 202-208. <https://dx.doi.org/10.15446/dyna.v84n200.55787>.
- [126]. Elangovan, K., Balasubramanian V., Valliappan, M. (2008). Effect of tool pin profile and tool rotational speed on mechanical properties of friction stir welded AA6061 aluminium alloy. *Materials and Manufacturing Processes*, 23 (3), 251-260, doi:10.1080/10426910701860723.
- [127]. Rao, P S., Bawazir, A.F.O., Awang, M., Rani, A.M.A.,Jebaraj, S. (2016). Effect of tool geometrical parameters on friction stir welding joint properties of aluminium alloy AA6061. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11 (22), 13053-13058.
- [128]. Ugender, S., (2018). Influence of tool pin profile and rotational speed on the formation of friction stir welding zone in AZ31 magnesium alloy. *Journal of Magnesium and Alloys*, 6 (2), 205–213. <https://doi.org/10.1016/j.jma.2018.05.001>.
- [129]- Abd Elnabi, M.M., Elshalakany, A.B., Abdel-Mottaleb, M.M., Osman, T.A., El Mokadem, A. (2019) Influence of friction stir welding parameters on metallurgical and mechanical properties of dissimilar AA5454–AA7075 aluminum alloy. *Journal of Materials Research and Technology*, 8 (2), 1684-1693. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2018.10.015>.
- [130]. Rajeesh, J., Balamurugan, R., Balachandar, K. (2018). Process parameter optimization for friction stir welding of aluminium 2014-T651 alloy using taguchi technique. *Journal of Engineering Science and Technology*, 13 (2), 515-523.
- [131]. Elfar, O.M.R., Rashad, R.M., Megahed, H. (2016). *Process parameters optimization for friction stir welding of pure aluminium to brass (CuZn30) using Taguchi Technique*. MATEC Web of Conferences, 43, 1-6. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/20164303005>
- [132]. Fouladi, S., Ghasemi, A H., Abbasi, M., Abedini, M., Khorasani, A.M., Gibson, I. (2017). The effect of vibration during friction stir welding on corrosion behavior, mechanical properties, and machining characteristics of stir zone. *Metals*, 7(10), 421, 1-14. <https://doi.org/10.3390/met7100421>
- [133]. Naderi, M., Abbasi, M., Saeed-Akbari, A. (2013). Enhanced mechanical properties of a hot-stamped advanced high-strength steel via tempering treatment. *Metall. Mater. Trans. A*, 44, 1852–1861. doi: 10.1007/s11661-012-1546-1
- [134]. Ma, Z., Pilchak, A., Juhas, M., Williams, J. (2008). Microstructural refinement and property enhancement of cast light alloys via friction stir processing. *Scr. Mater.*, 58, 361–366. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2007.09.062>

## EKLER

Ek 1. Çekme deneyi sonucu

Kaynak No	Akma Mukavemeti (MPa)	Kaynak No	Akma Mukavemeti (MPa)	Kaynak No	Ortalama Akma Mukavemeti (MPa)
Kaynak No 1.1	202,09	Kaynak No 1.2	203,43	Kaynak No 1	202,76
Kaynak No 2.1	203,57	Kaynak No 2.2	206,85	Kaynak No 2	205,21
Kaynak No 3.1	215,92	Kaynak No 3.2	218,76	Kaynak No 3	217,34
Kaynak No 4.1	135,62	Kaynak No 4.2	137,64	Kaynak No 4	136,63
Kaynak No 5.1	205,45	Kaynak No 5.2	205,76	Kaynak No 5	205,61
Kaynak No 6.1	215,43	Kaynak No 6.2	217,13	Kaynak No 6	216,28
Kaynak No 7.1	202,52	Kaynak No 7.2	205,64	Kaynak No 7	204,08
Kaynak No 8.1	209,92	Kaynak No 8.2	210,00	Kaynak No 8	209,96
Kaynak No 9.1	212,18	Kaynak No 9.2	209,90	Kaynak No 9	211,04
Kaynak No 10.1	194,89	Kaynak No 10.2	202,16	Kaynak No 10	198,53
Kaynak No 11.1	201,26	Kaynak No 11.2	200,30	Kaynak No 11	200,78
Kaynak No 12.1	207,06	Kaynak No 12.2	206,44	Kaynak No 12	206,75
Kaynak No 13.1	193,76	Kaynak No 13.2	200,82	Kaynak No 13	197,29
Kaynak No 14.1	201,16	Kaynak No 14.2	203,79	Kaynak No 14	202,48
Kaynak No 15.1	210,93	Kaynak No 15.2	204,79	Kaynak No 15	207,86
Kaynak No 16.1	194,63	Kaynak No 16.2	115,68	Kaynak No 16	155,16
Kaynak No 17.1	198,25	Kaynak No 17.2	205,35	Kaynak No 17	201,80
Kaynak No 18.1	203,56	Kaynak No 18.2	213,12	Kaynak No 18	208,34
Kaynak No 19.1	193,88	Kaynak No 19.2	196,46	Kaynak No 19	195,17
Kaynak No 20.1	198,87	Kaynak No 20.2	198,21	Kaynak No 20	198,54
Kaynak No 21.1	200,06	Kaynak No 21.2	212,51	Kaynak No 21	206,29
Kaynak No 22.1	197,44	Kaynak No 22.2	203,98	Kaynak No 22	200,71
Kaynak No 23.1	198,21	Kaynak No 23.2	204,98	Kaynak No 23	201,60
Kaynak No 24.1	210,94	Kaynak No 24.2	209,80	Kaynak No 24	210,37
Kaynak No 25.1	195,35	Kaynak No 25.2	199,11	Kaynak No 25	197,23
Kaynak No 26.1	194,14	Kaynak No 26.2	204,79	Kaynak No 26	199,47
Kaynak No 27.1	195,74	Kaynak No 27.2	207,44	Kaynak No 27	201,59

Kaynak No	Çekme Mukavemeti (MPa)	Kaynak No	Çekme Mukavemeti (MPa)	Kaynak No	Ortalama Çekme Mukavemeti (MPa)
Kaynak No 1.1	211,85	Kaynak No 1.2	207,00	Kaynak No 1	209,43
Kaynak No 2.1	219,92	Kaynak No 2.2	219,53	Kaynak No 2	219,73
Kaynak No 3.1	224,52	Kaynak No 3.2	222,46	Kaynak No 3	223,49
Kaynak No 4.1	158,14	Kaynak No 4.2	160,95	Kaynak No 4	159,55
Kaynak No 5.1	219,89	Kaynak No 5.2	206,47	Kaynak No 5	213,18
Kaynak No 6.1	233,44	Kaynak No 6.2	227,42	Kaynak No 6	230,43
Kaynak No 7.1	206,81	Kaynak No 7.2	207,27	Kaynak No 7	207,04
Kaynak No 8.1	211,63	Kaynak No 8.2	213,43	Kaynak No 8	212,53
Kaynak No 9.1	228,71	Kaynak No 9.2	229,13	Kaynak No 9	228,92
Kaynak No 10.1	198,57	Kaynak No 10.2	203,65	Kaynak No 10	201,11
Kaynak No 11.1	207,16	Kaynak No 11.2	211,56	Kaynak No 11	209,36
Kaynak No 12.1	214,93	Kaynak No 12.2	219,32	Kaynak No 12	217,13
Kaynak No 13.1	197,60	Kaynak No 13.2	203,00	Kaynak No 13	200,30
Kaynak No 14.1	209,70	Kaynak No 14.2	204,13	Kaynak No 14	206,92
Kaynak No 15.1	221,46	Kaynak No 15.2	220,15	Kaynak No 15	220,81
Kaynak No 16.1	198,64	Kaynak No 16.2	188,60	Kaynak No 16	193,62
Kaynak No 17.1	210,40	Kaynak No 17.2	214,85	Kaynak No 17	212,63
Kaynak No 18.1	217,03	Kaynak No 18.2	225,06	Kaynak No 18	221,05
Kaynak No 19.1	194,31	Kaynak No 19.2	198,55	Kaynak No 19	196,43
Kaynak No 20.1	199,27	Kaynak No 20.2	202,65	Kaynak No 20	200,96
Kaynak No 21.1	203,27	Kaynak No 21.2	224,68	Kaynak No 21	213,98
Kaynak No 22.1	203,98	Kaynak No 22.2	209,32	Kaynak No 22	206,65
Kaynak No 23.1	209,19	Kaynak No 23.2	212,91	Kaynak No 23	211,05
Kaynak No 24.1	226,22	Kaynak No 24.2	225,40	Kaynak No 24	225,81
Kaynak No 25.1	199,44	Kaynak No 25.2	201,72	Kaynak No 25	200,58
Kaynak No 26.1	204,15	Kaynak No 26.2	211,44	Kaynak No 26	207,80
Kaynak No 27.1	210,88	Kaynak No 27.2	218,64	Kaynak No 27	214,76

Kaynak No	Uzama (%)	Kaynak No	Uzama (%)	Kaynak No	Ortalama Uzama (%)
Kaynak No 1.1	3,81	Kaynak No 1.2	4,31	Kaynak No 1	3,81
Kaynak No 2.1	4,97	Kaynak No 2.2	4,59	Kaynak No 2	4,97
Kaynak No 3.1	4,61	Kaynak No 3.2	4,54	Kaynak No 3	4,61
Kaynak No 4.1	2,28	Kaynak No 4.2	2,26	Kaynak No 4	2,28
Kaynak No 5.1	3,76	Kaynak No 5.2	4,34	Kaynak No 5	3,76
Kaynak No 6.1	5,44	Kaynak No 6.2	5,00	Kaynak No 6	5,44
Kaynak No 7.1	4,12	Kaynak No 7.2	4,54	Kaynak No 7	4,12
Kaynak No 8.1	4,33	Kaynak No 8.2	4,55	Kaynak No 8	4,33
Kaynak No 9.1	5,24	Kaynak No 9.2	5,31	Kaynak No 9	5,24
Kaynak No 10.1	4,06	Kaynak No 10.2	4,40	Kaynak No 10	4,06
Kaynak No 11.1	4,47	Kaynak No 11.2	4,66	Kaynak No 11	4,47
Kaynak No 12.1	4,82	Kaynak No 12.2	5,33	Kaynak No 12	4,82
Kaynak No 13.1	4,02	Kaynak No 13.2	4,10	Kaynak No 13	4,02
Kaynak No 14.1	4,24	Kaynak No 14.2	4,60	Kaynak No 14	4,24
Kaynak No 15.1	4,95	Kaynak No 15.2	4,99	Kaynak No 15	4,95
Kaynak No 16.1	4,38	Kaynak No 16.2	3,82	Kaynak No 16	4,38
Kaynak No 17.1	5,02	Kaynak No 17.2	4,73	Kaynak No 17	5,02
Kaynak No 18.1	4,92	Kaynak No 18.2	5,22	Kaynak No 18	4,92
Kaynak No 19.1	4,19	Kaynak No 19.2	4,19	Kaynak No 19	4,19
Kaynak No 20.1	4,29	Kaynak No 20.2	3,96	Kaynak No 20	4,29
Kaynak No 21.1	4,49	Kaynak No 21.2	5,03	Kaynak No 21	4,49
Kaynak No 22.1	4,58	Kaynak No 22.2	4,62	Kaynak No 22	4,58
Kaynak No 23.1	4,84	Kaynak No 23.2	4,79	Kaynak No 23	4,84
Kaynak No 24.1	5,23	Kaynak No 24.2	5,14	Kaynak No 24	5,23
Kaynak No 25.1	4,17	Kaynak No 25.2	4,30	Kaynak No 25	4,17
Kaynak No 26.1	4,28	Kaynak No 26.2	4,93	Kaynak No 26	4,28
Kaynak No 27.1	4,93	Kaynak No 27.2	5,30	Kaynak No 27	4,93

Ek. 2. Mikrosertlik ölçüm sonucu

Esas Metal	Mesafe (mm)	1-O16-D710-İ56 Sertlik (HV0.2)	2-O16-D710-İ112 Sertlik (HV0.2)	3-O16-D710-İ160 Sertlik (HV0.2)	4-O16-D1000-İ56 Sertlik (HV0.2)	5-O16-D1000-İ112 Sertlik (HV0.2)	6-O16-D1000-İ160 Sertlik (HV0.2)	7-O16-D1400-İ56 Sertlik (HV0.2)	8-O16-D1400-İ112 Sertlik (HV0.2)	9-O16-D1400-İ160 Sertlik (HV0.2)
EN AW-5083-H111	13	75,69	91,25	94,56	75,69	96,48	94,94	74,35	81,09	88,45
	12	89,14	99,64	93,44	69,54	89,49	83,55	70,55	74,61	85,14
	11	79,32	89,84	83,23	78,17	74,80	89,49	74,88	76,78	81,09
	10	68,88	82,80	75,41	72,80	68,88	92,33	71,54	67,95	71,79
	9	74,41	80,20	77,33	67,72	75,81	81,70	90,19	73,31	74,17
	8	75,29	88,11	70,31	66,59	78,17	76,50	85,14	84,49	86,77
	7	79,61	94,56	74,34	71,29	75,15	88,45	90,00	77,89	76,23
	6	86,48	99,25	94,56	84,81	72,04	89,00	77,13	88,11	79,32
	5	83,86	95,75	96,25	79,32	82,92	92,71	83,15	70,07	74,35
	4	81,09	85,78	80,20	82,33	88,80	86,11	73,83	85,78	68,88
	3	87,10	95,70	89,90	86,11	84,17	82,00	77,05	78,17	65,49
	2	92,33	85,78	93,20	88,45	76,17	77,05	82,00	74,35	62,56
	1	77,05	77,90	96,07	96,86	79,32	90,54	78,80	80,59	80,80
EN AW-6082-T651	13	82,00	83,50	93,07	88,11	89,14	92,33	82,90	88,11	83,55
	12	75,95	93,07	97,65	85,46	90,90	93,81	79,61	88,80	83,32
	11	93,44	98,43	93,44	71,77	91,25	88,90	75,15	94,18	80,83
	10	104,07	105,20	96,48	87,78	98,45	96,48	84,49	104,13	91,25
	9	108,80	106,50	95,32	79,80	92,33	105,00	98,05	99,14	95,32
	8	110,70	105,60	104,70	96,86	100,01	97,26	91,25	104,30	91,20
	7	105,20	112,10	107,40	96,48	108,80	96,10	110,20	103,90	93,44
	6	106,10	106,10	104,30	109,70	96,09	106,50	107,90	100,00	100,90
	5	107,00	110,20	100,50	111,20	96,86	108,10	104,70	98,85	99,81
	4	98,45	101,70	105,60	92,33	99,66	104,30	100,50	94,18	85,78
	3	100,65	102,80	98,45	97,65	90,54	102,10	91,97	92,70	93,80
	2	104,30	103,00	98,05	101,97	99,80	101,70	94,58	95,70	94,56
	1	100,25	107,00	91,39	99,84	94,18	98,45	90,54	100,50	92,33
	98,85	106,10	97,65	98,55	91,61	103,00	94,56	81,09	89,84	



Esas Metal	Mesafe (mm)	10-O20-D710-I56	11-O20-D710-I112	12-O20-D710-I160	13-O20-D1000-I56	14-O20-D1000-I112	15-O20-D1000-I160	16-O20-D1400-I56	17-O20-D1400-I112	18-O20-D1400-I160
		Sertlik (HV0.2)	Sertlik (HV0.2)	Sertlik (HV0.2)	Sertlik (HV0.2)	Sertlik (HV0.2)	Sertlik (HV0.2)	Sertlik (HV0.2)	Sertlik (HV0.2)	Sertlik (HV0.2)
EN AW-5083-H111	15	72,29	75,90	78,46	76,32	75,65	83,80	77,61	79,65	79,03
	14	69,35	71,58	71,61	72,54	72,29	80,79	73,83	82,00	78,75
	13	71,05	80,64	81,70	73,31	78,17	92,33	72,04	77,05	74,54
	12	74,09	76,23	74,09	77,89	74,88	90,50	78,17	84,81	81,39
	11	82,92	74,61	79,17	74,35	82,33	93,07	70,07	76,87	80,86
	10	83,55	80,50	84,17	77,89	84,49	95,32	74,56	88,45	82,54
	9	82,61	94,18	91,61	84,56	90,18	90,54	88,11	90,54	79,91
	8	87,10	86,77	93,81	83,86	87,44	95,32	84,48	96,48	89,14
	7	92,33	91,44	85,78	92,70	94,18	99,66	92,33	93,61	75,95
	6	91,25	93,81	91,97	89,84	89,84	87,44	98,85	100,10	86,11
	5	95,70	98,85	89,49	83,86	88,45	94,94	93,44	96,48	87,78
	4	100,80	91,62	88,11	80,50	94,56	91,61	85,78	100,50	84,80
	3	94,56	89,84	93,44	86,11	92,70	96,09	86,11	88,80	85,15
	2	90,18	99,50	87,78	96,86	93,80	95,70	84,17	97,26	99,25
	1	93,81	91,61	92,78	93,44	93,44	102,40	102,10	79,03	89,49
Merkez	0	92,33	96,86	98,15	90,18	93,44	85,14	87,78	92,33	97,26
	1	94,56	89,84	83,23	92,10	100,50	97,64	81,70	99,25	96,48
	2	81,39	91,61	88,45	93,07	102,20	97,26	85,46	85,33	84,88
	3	104,70	97,26	95,70	104,30	101,30	94,94	85,78	99,44	97,65
	4	103,81	90,54	100,50	98,05	104,10	95,70	96,48	95,70	98,50
	5	106,10	98,05	99,25	100,90	100,90	100,10	100,50	89,49	87,44
	6	103,90	110,20	107,40	111,70	104,94	104,70	103,90	104,70	100,90
	7	101,30	106,50	102,10	109,70	110,70	104,70	105,20	103,90	101,70
	8	107,90	106,10	104,70	111,20	114,10	115,60	101,30	106,10	99,25
	9	116,70	111,70	111,20	106,50	109,70	104,20	104,70	106,50	104,70
	10	108,20	112,60	117,70	109,70	112,60	107,00	105,60	108,30	107,90
	11	97,65	98,05	109,70	105,60	103,40	100,50	101,30	116,10	108,80
	12	93,44	106,50	106,50	106,50	100,90	103,90	106,50	109,70	107,90
	13	96,48	106,10	104,70	110,20	105,60	104,70	104,70	98,85	112,10
	14	103,40	108,30	93,44	105,60	103,40	95,36	106,30	107,00	104,30
15	100,10	105,20	90,18	107,00	101,30	103,00	98,80	111,90	100,50	

Esas Metal	Messafe (mm)	19-O24-D710-I56	20-O24-D710-I56	21-O24-D710-I112	22-O24-D1000-I56	23-O24-D1000-I56	24-O24-D1000-I112	25-O24-D1000-I160	26-O24-D1400-I112	27-O24-D1400-I160
		Sertlik (HV0.2)	Sertlik (HV0.2)	Sertlik (HV0.2)	Sertlik (HV0.2)	Sertlik (HV0.2)	Sertlik (HV0.2)	Sertlik (HV0.2)	Sertlik (HV0.2)	Sertlik (HV0.2)
EN AW-5083-H111	17	71,70	83,58	82,44	76,24	81,64	82,61	81,60	82,61	85,16
	16	76,50	81,70	80,54	74,09	80,60	89,14	85,40	81,98	82,90
	15	73,57	74,88	76,80	79,61	76,23	89,84	82,31	89,14	76,72
	14	78,46	78,75	80,50	81,39	79,03	81,09	83,30	83,30	80,09
	13	77,33	77,90	76,78	80,79	80,99	87,10	87,10	80,79	79,66
	12	76,78	80,20	77,89	84,81	82,20	84,17	85,78	85,78	84,17
	11	83,55	76,23	77,61	94,56	98,23	85,46	82,70	85,46	85,46
	10	81,39	77,33	94,94	91,61	98,45	89,87	93,00	93,00	89,84
	9	84,81	79,61	90,14	89,49	93,44	89,14	99,66	99,66	89,14
	8	88,45	82,00	93,07	92,33	93,81	102,10	102,10	95,90	102,90
	7	85,14	84,81	96,09	89,80	91,61	97,26	97,26	98,00	97,26
	6	83,25	91,97	92,33	88,11	98,05	103,90	103,90	96,09	103,90
	5	93,55	92,70	94,56	90,18	91,97	97,65	97,65	92,70	97,65
	4	82,31	79,03	95,32	88,80	88,85	96,09	96,09	88,46	96,09
	3	87,70	98,05	90,49	93,44	89,49	93,44	93,44	87,10	93,44
	2	90,18	89,49	103,40	88,45	96,09	98,45	98,45	94,56	98,45
	1	87,44	82,61	91,54	89,84	106,10	99,66	99,66	88,80	99,66
EN AW-6082-T651	17	93,07	90,18	102,60	98,45	103,40	97,03	101,30	98,05	100,80
	16	83,79	79,62	98,45	97,26	95,70	91,97	102,56	91,97	104,70
	15	85,78	85,79	102,10	99,25	98,85	95,35	91,61	95,32	97,60
	14	96,86	92,33	107,90	107,40	101,50	98,85	92,70	98,85	106,54
	13	98,45	99,25	103,90	105,20	100,90	94,94	98,05	94,94	98,40
	12	102,60	105,20	106,50	110,20	101,70	98,05	100,90	100,90	96,80
	11	92,33	95,70	93,81	103,70	104,30	108,80	104,70	108,80	106,85
	10	97,65	101,70	110,70	104,30	103,20	106,10	107,90	106,10	100,30
	9	94,94	108,30	107,40	102,10	100,90	103,40	104,50	107,50	110,45
	8	100,50	98,45	105,60	107,60	101,70	103,70	103,40	110,70	107,84
	7	110,20	107,90	105,20	108,00	107,20	98,45	106,50	106,50	112,45
	6	107,60	98,85	103,00	113,10	106,10	102,60	114,10	114,10	99,60
	5	108,30	100,10	104,30	100,50	107,00	103,70	109,70	109,70	102,84
	4	111,20	103,00	108,30	113,60	109,70	102,20	107,40	107,40	107,50
	3	107,40	114,10	99,66	110,20	106,10	96,86	91,25	91,25	98,67
	2	100,10	102,60	112,60	112,60	110,70	92,33	100,50	100,50	102,30
	1	98,05	99,25	112,10	105,20	101,30	98,05	107,00	107,00	105,80
	95,94	106,50	115,10	100,50	102,00	107,00	105,20	105,20	107,00	

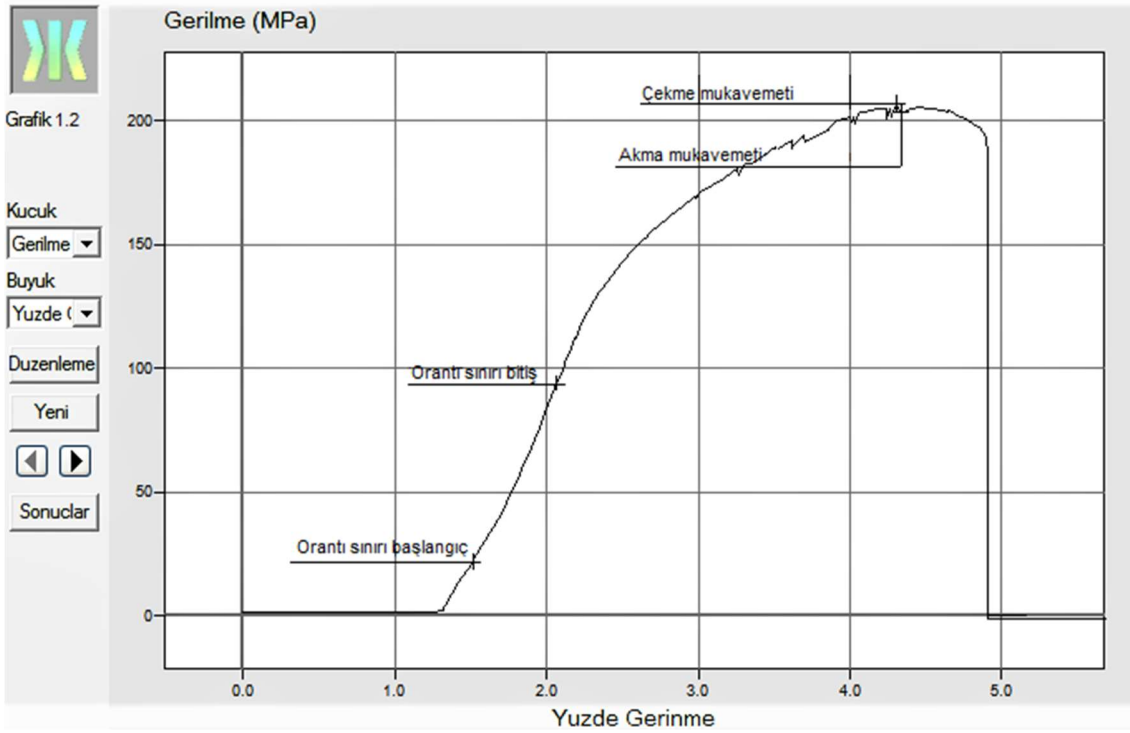
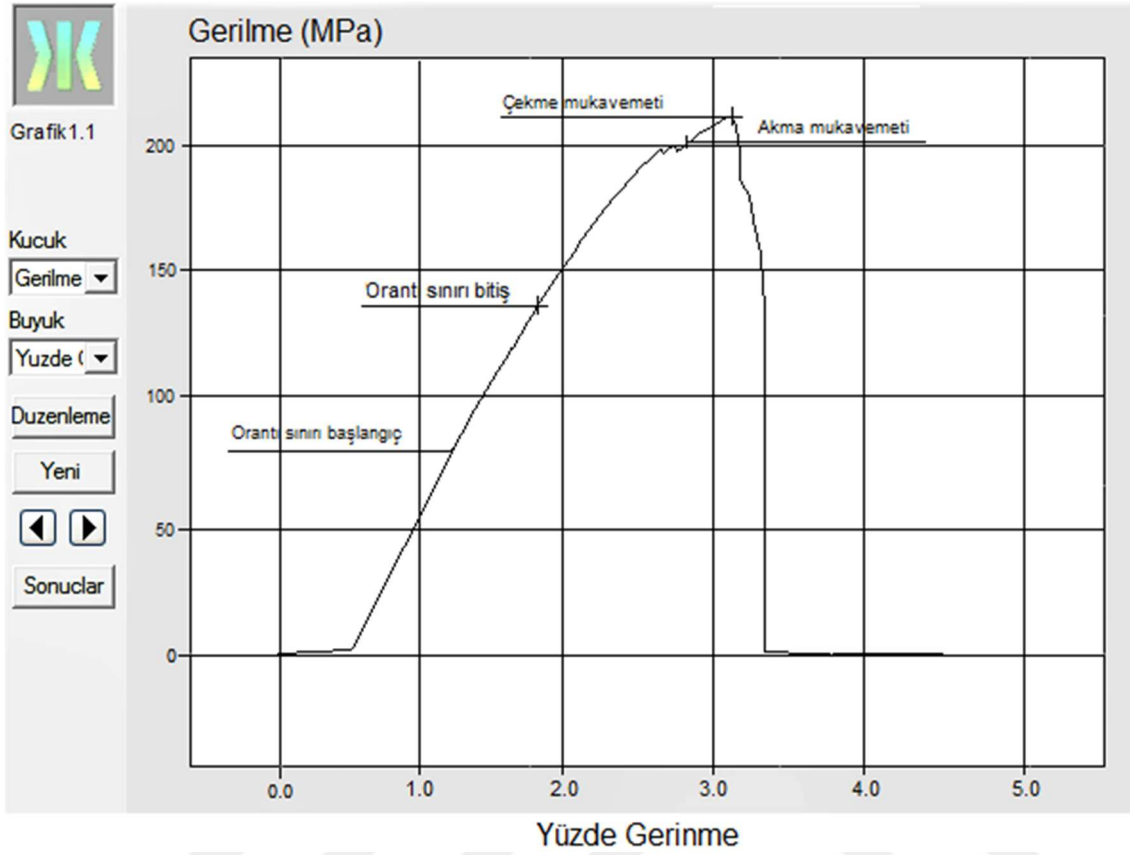
**Ek 3. Korozyon deneyi ağırlık kaybı ölçümleri**

<b>Parametre Kodu</b>	<b>12 Saat</b>	<b>24 Saat</b>	<b>36 Saat</b>	<b>48 Saat</b>	<b>60 Saat</b>	<b>72 Saat</b>
1-O16-D710-İ56	0,000038	0,000068	0,000080	0,000088	0,000093	0,000099
2-O16-D710-İ112	0,000035	0,000055	0,000070	0,000075	0,000079	0,000081
3-O16-D710-İ160	0,000039	0,000057	0,000068	0,000077	0,000079	0,000083
4-O16-D1000-İ56	0,000064	0,000104	0,000141	0,000170	0,000173	0,000175
5-O16-D1000-İ112	0,000029	0,000049	0,000063	0,000071	0,000075	0,000077
6-O16-D1000-İ160	0,000016	0,000024	0,000031	0,000037	0,000042	0,000044
7-O16-D1400-İ56	0,000039	0,000057	0,000067	0,000076	0,000079	0,000082
8-O16-D1400-İ112	0,000028	0,000042	0,000054	0,000063	0,000070	0,000073
9-O16-D1400-İ160	0,000022	0,000033	0,000041	0,000048	0,000053	0,000056
10-O20-D710-İ56	0,000035	0,000051	0,000063	0,000069	0,000073	0,000076
11-O20-D710-İ112	0,000024	0,000036	0,000050	0,000052	0,000053	0,000057
12-O20-D710-İ160	0,000020	0,000030	0,000038	0,000042	0,000045	0,000046
13-O20-D1000-İ56	0,000030	0,000048	0,000061	0,000068	0,000072	0,000076
14-O20-D1000-İ112	0,000020	0,000029	0,000045	0,000052	0,000057	0,000062
15-O20-D1000-İ160	0,000024	0,000038	0,000045	0,000051	0,000055	0,000058
16-O20-D1400-İ56	0,000041	0,000068	0,000076	0,000081	0,000084	0,000085
17-O20-D1400-İ112	0,000026	0,000046	0,000060	0,000065	0,000068	0,000069
18-O20-D1400-İ160	0,000035	0,000050	0,000058	0,000064	0,000068	0,000071
19-O24-D710-İ56	0,000051	0,000078	0,000100	0,000113	0,000117	0,000118
20-O24-D710-İ112	0,000017	0,000031	0,000042	0,000050	0,000054	0,000056
21-O24-D710-İ160	0,000023	0,000037	0,000045	0,000052	0,000057	0,000060
22-O24-D1000-İ56	0,000039	0,000066	0,000088	0,000099	0,000103	0,000104
23-O24-D1000-İ112	0,000038	0,000052	0,000061	0,000070	0,000075	0,000078
24-O24-D1000-İ160	0,000030	0,000043	0,000054	0,000056	0,000059	0,000060
25-O24-D1400-İ56	0,000023	0,000036	0,000043	0,000047	0,000051	0,000053
26-O24-D1400-İ112	0,000027	0,000039	0,000049	0,000056	0,000058	0,000060
27-O24-D1400-İ160	0,000029	0,000040	0,000049	0,000054	0,000059	0,000062
EN AW-5083	0,000043	0,000069	0,000078	0,000090	0,000094	0,000097
EN AW-6082	0,000067	0,000101	0,000122	0,000139	0,000153	0,000158

Ek 4. Korozyon hızı ölçümleri

Parametre Kodu	12 Saat	24 Saat	36 Saat	48 Saat	60 Saat	72 Saat
1-O16-D710-İ56	0,000003197	0,000002816	0,000002233	0,000001827	0,000001553	0,000001370
2-O16-D710-İ112	0,000002897	0,000002287	0,000001931	0,000001563	0,000001311	0,000001118
3-O16-D710-İ160	0,000003217	0,000002374	0,000001889	0,000001608	0,000001317	0,000001149
4-O16-D1000-İ56	0,000005302	0,000004345	0,000003927	0,000003535	0,000002887	0,000002430
5-O16-D1000-İ112	0,000002428	0,000002058	0,000001756	0,000001481	0,000001251	0,000001070
6-O16-D1000-İ160	0,000001306	0,000001016	0,000000871	0,000000762	0,000000697	0,000000605
7-O16-D1400-İ56	0,000003224	0,000002383	0,000001869	0,000001577	0,000001318	0,000001145
8-O16-D1400-İ112	0,000002327	0,000001745	0,000001503	0,000001309	0,000001163	0,000001018
9-O16-D1400-İ160	0,000001794	0,000001380	0,000001150	0,000001000	0,000000883	0,000000782
10-O20-D710-İ56	0,000002931	0,000002110	0,000001758	0,000001436	0,000001219	0,000001055
11-O20-D710-İ112	0,000001981	0,000001515	0,000001398	0,000001078	0,000000885	0,000000796
12-O20-D710-İ160	0,000001688	0,000001238	0,000001050	0,000000872	0,000000743	0,000000638
13-O20-D1000-İ56	0,000002539	0,000002020	0,000001693	0,000001414	0,000001200	0,000001058
14-O20-D1000-İ112	0,000001633	0,000001225	0,000001244	0,000001079	0,000000957	0,000000856
15-O20-D1000-İ160	0,000002000	0,000001588	0,000001255	0,000001059	0,000000918	0,000000804
16-O20-D1400-İ56	0,000003387	0,000002823	0,000002108	0,000001694	0,000001400	0,000001186
17-O20-D1400-İ112	0,000002192	0,000001903	0,000001653	0,000001355	0,000001130	0,000000961
18-O20-D1400-İ160	0,000002891	0,000002082	0,000001619	0,000001330	0,000001133	0,000000983
19-O24-D710-İ56	0,000004281	0,000003259	0,000002789	0,000002359	0,000001946	0,000001638
20-O24-D710-İ112	0,000001457	0,000001311	0,000001166	0,000001044	0,000000894	0,000000777
21-O24-D710-İ160	0,000001877	0,000001531	0,000001251	0,000001086	0,000000948	0,000000839
22-O24-D1000-İ56	0,000003274	0,000002759	0,000002432	0,000002058	0,000001721	0,000001450
23-O24-D1000-İ112	0,000003187	0,000002173	0,000001706	0,000001449	0,000001256	0,000001079
24-O24-D1000-İ160	0,000002492	0,000001800	0,000001507	0,000001177	0,000000978	0,000000831
25-O24-D1400-İ56	0,000001915	0,000001484	0,000001181	0,000000981	0,000000843	0,000000734
26-O24-D1400-İ112	0,000002226	0,000001645	0,000001355	0,000001161	0,000000968	0,000000839
27-O24-D1400-İ160	0,000002408	0,000001667	0,000001358	0,000001134	0,000000982	0,000000864
EN AW-5083	0,000003618	0,000002894	0,000002171	0,000001869	0,000001568	0,000001347
EN AW-6082	0,000005607	0,000004205	0,000003388	0,000002891	0,000002547	0,000002200

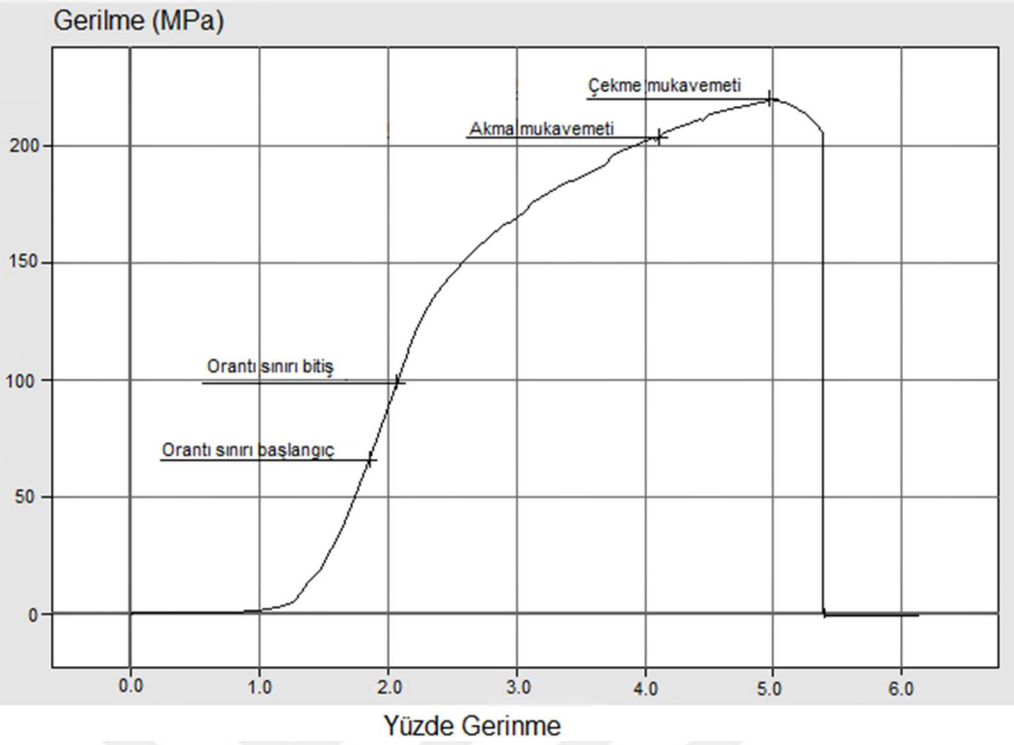
## Ek 5. Çekme deneyi grafikleri





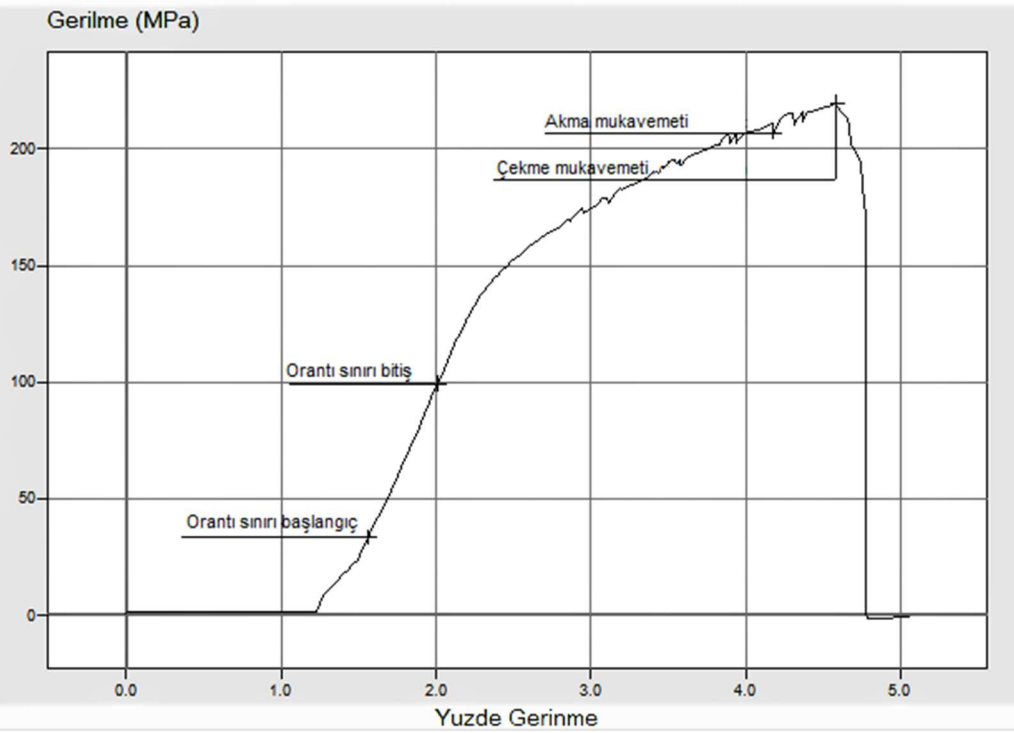
Grafik 2.1

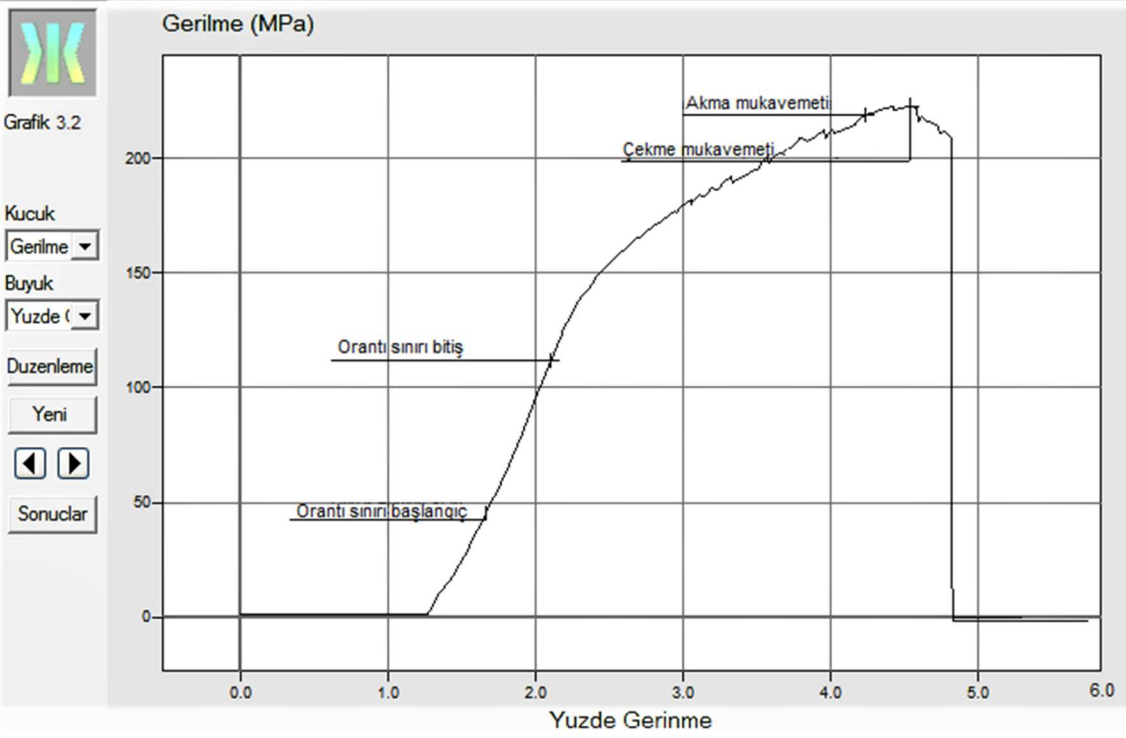
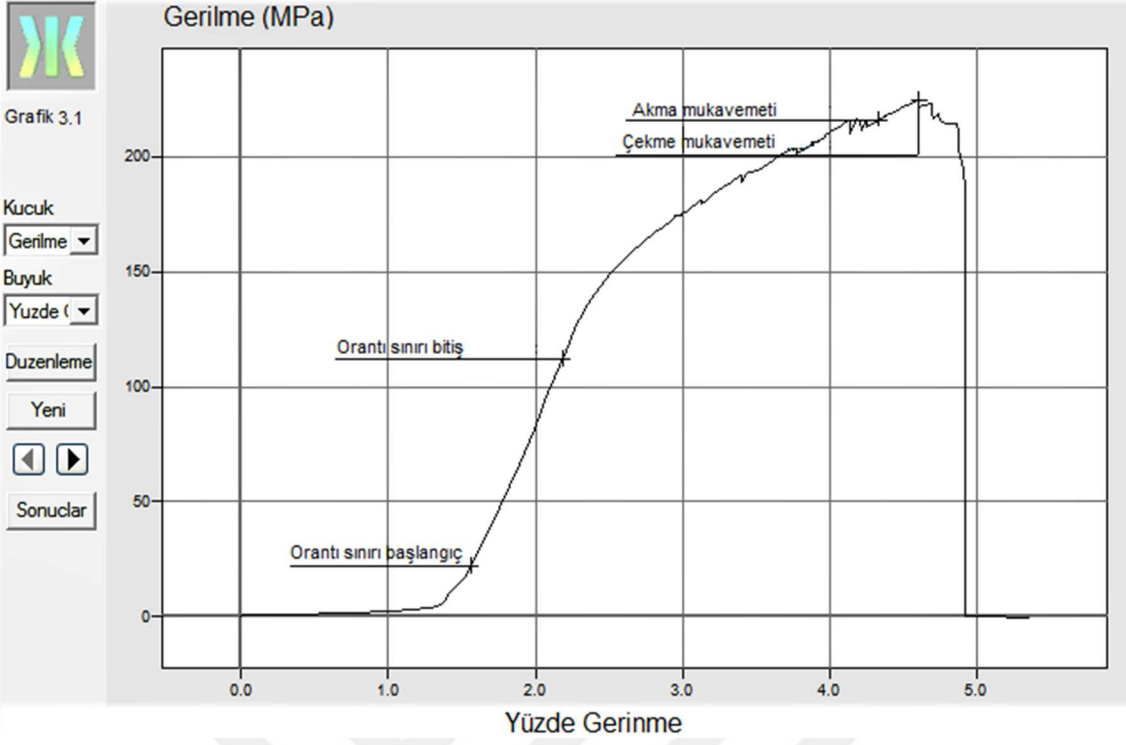
Kucuk  
Gerilme  
Buyuk  
Yuzde (%)  
Duzenleme  
Yeni  
Sonuclar

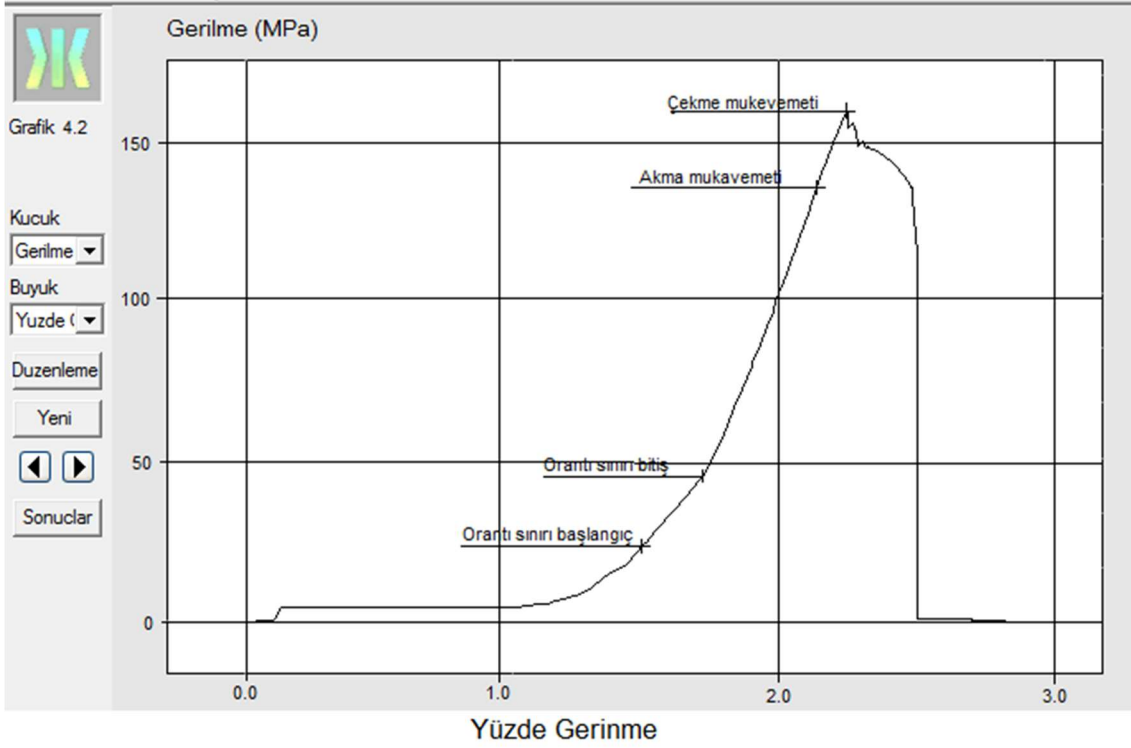
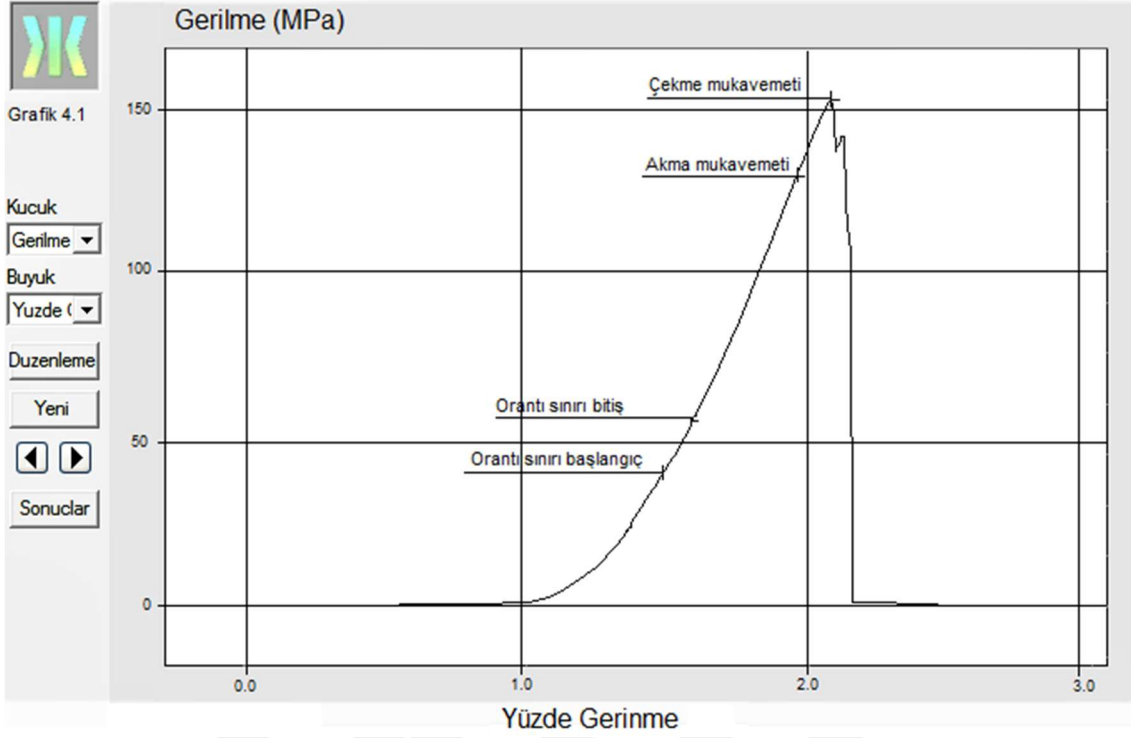


Grafik 2.2

Kucuk  
Gerilme  
Buyuk  
Yuzde (%)  
Duzenleme  
Yeni  
Sonuclar





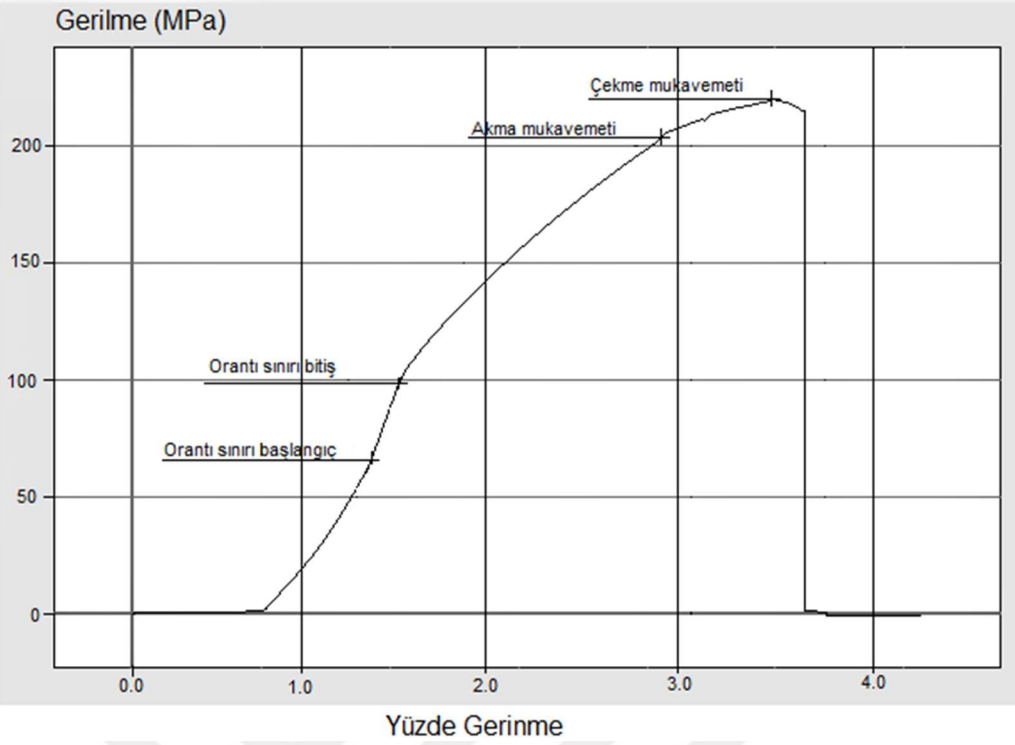






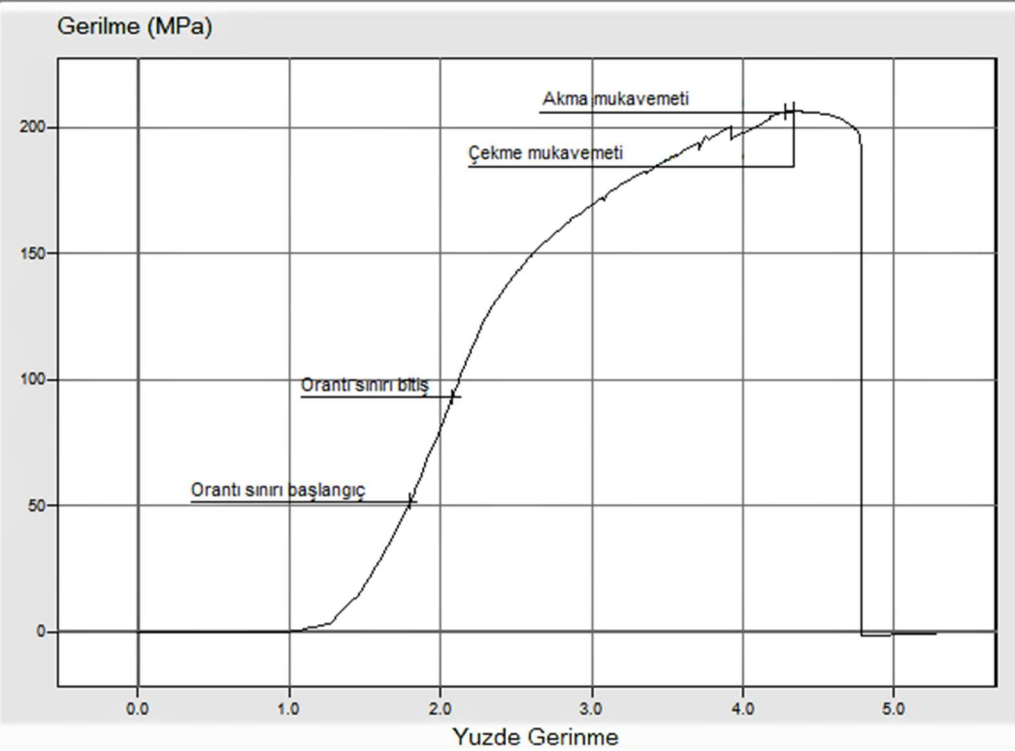
Grafik 5.1

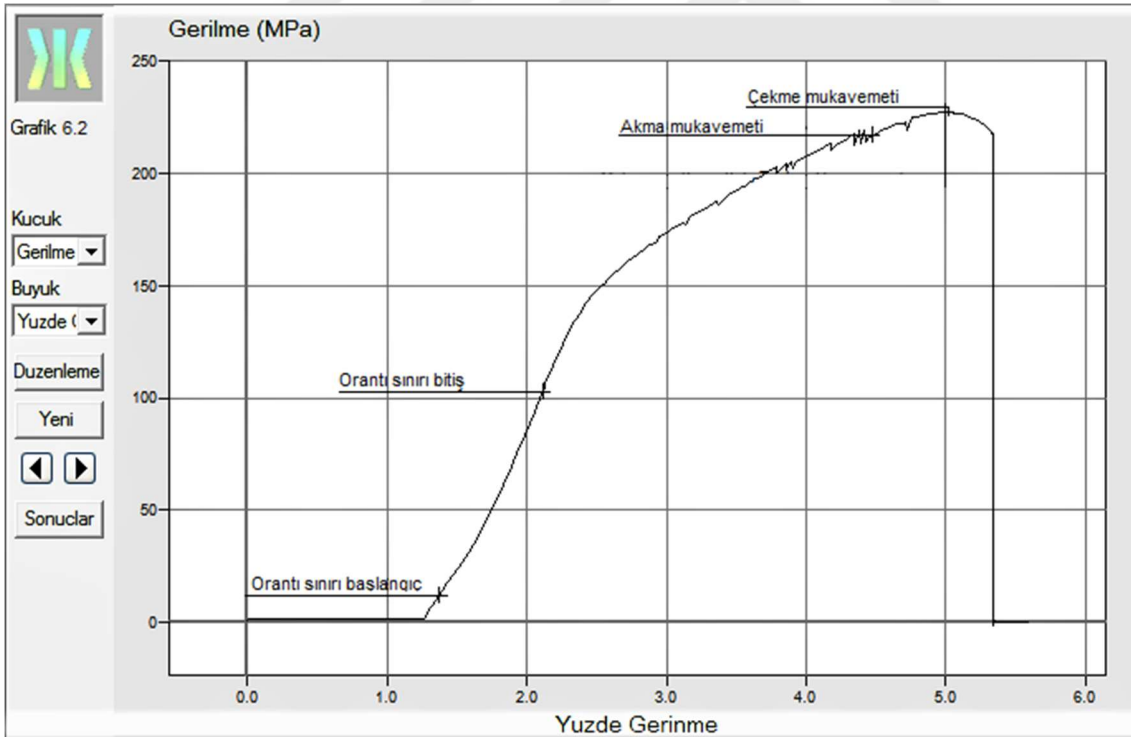
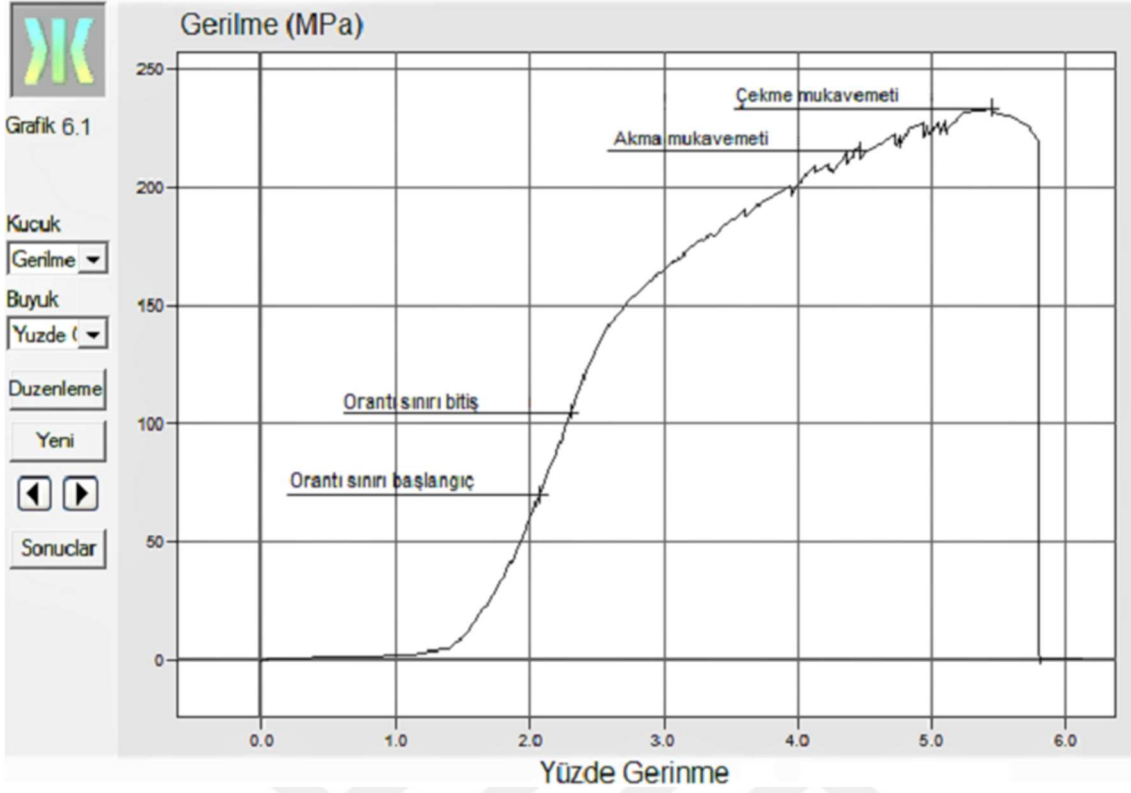
Kucuk  
Gerilme  
Buyuk  
Yuzde (%)  
Duzenleme  
Yeni  
Sonuclar

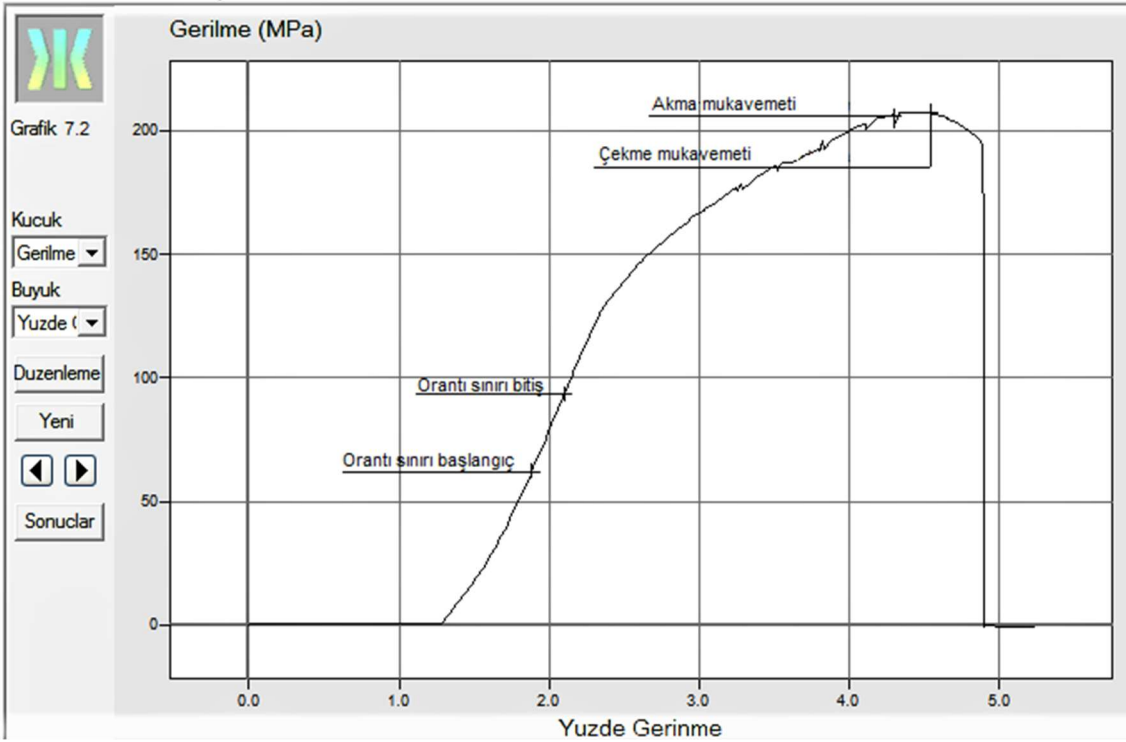
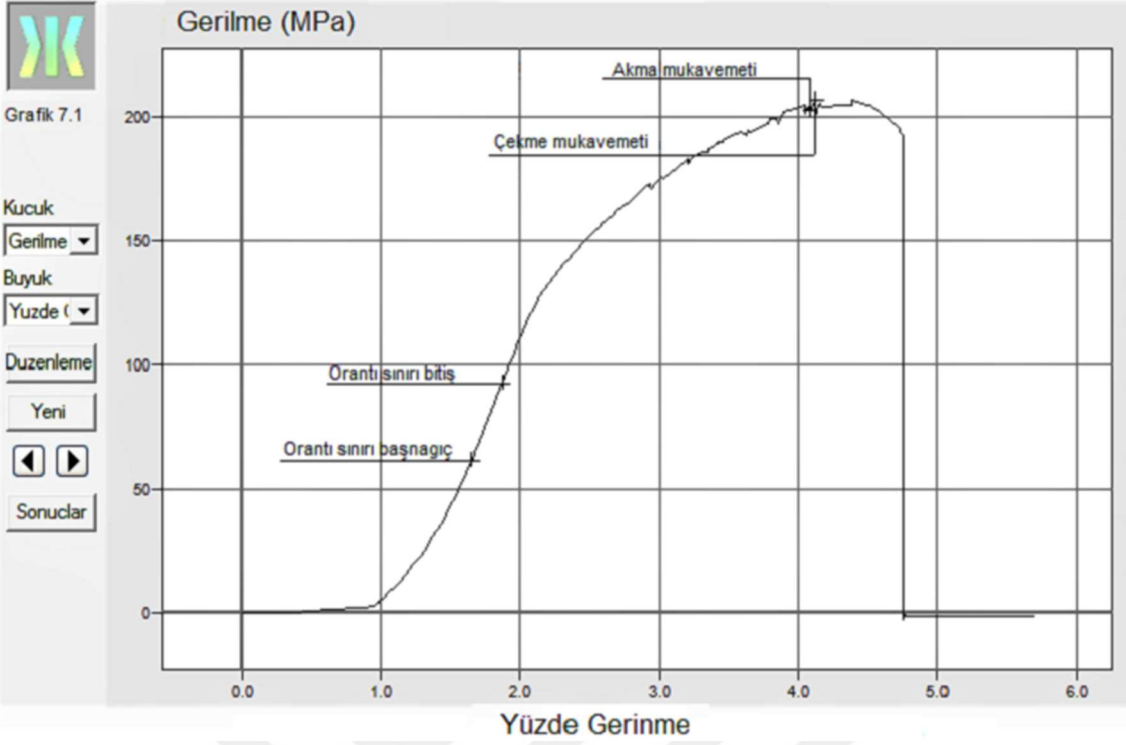


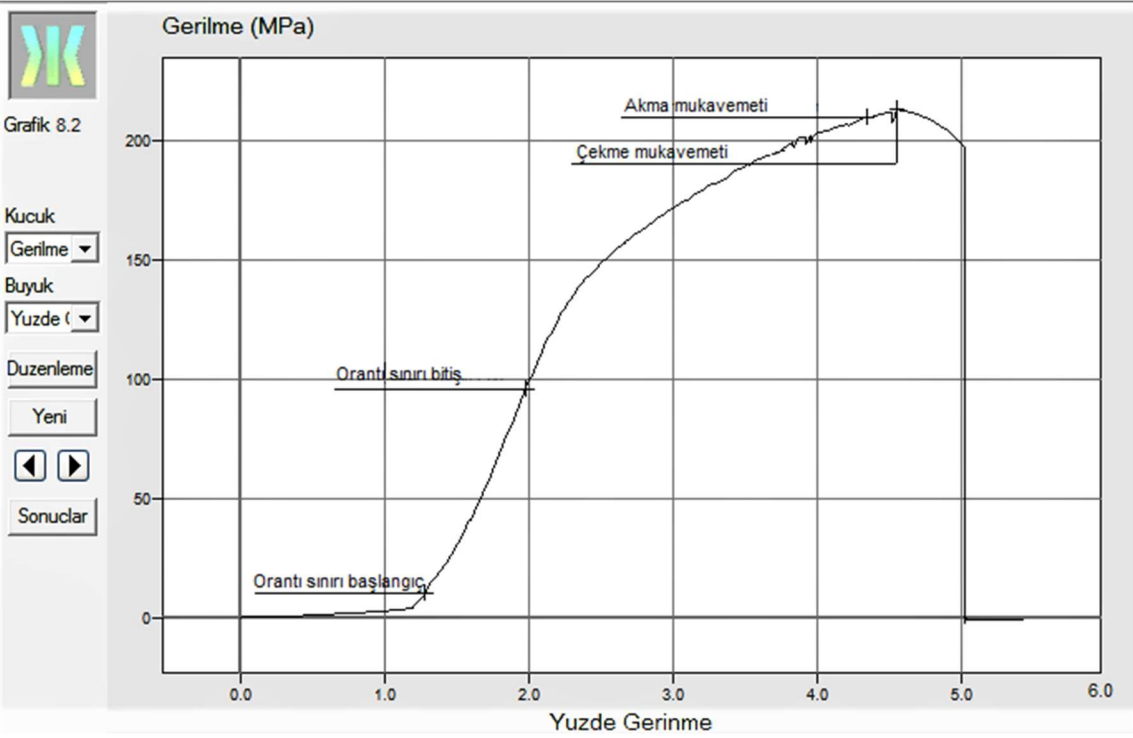
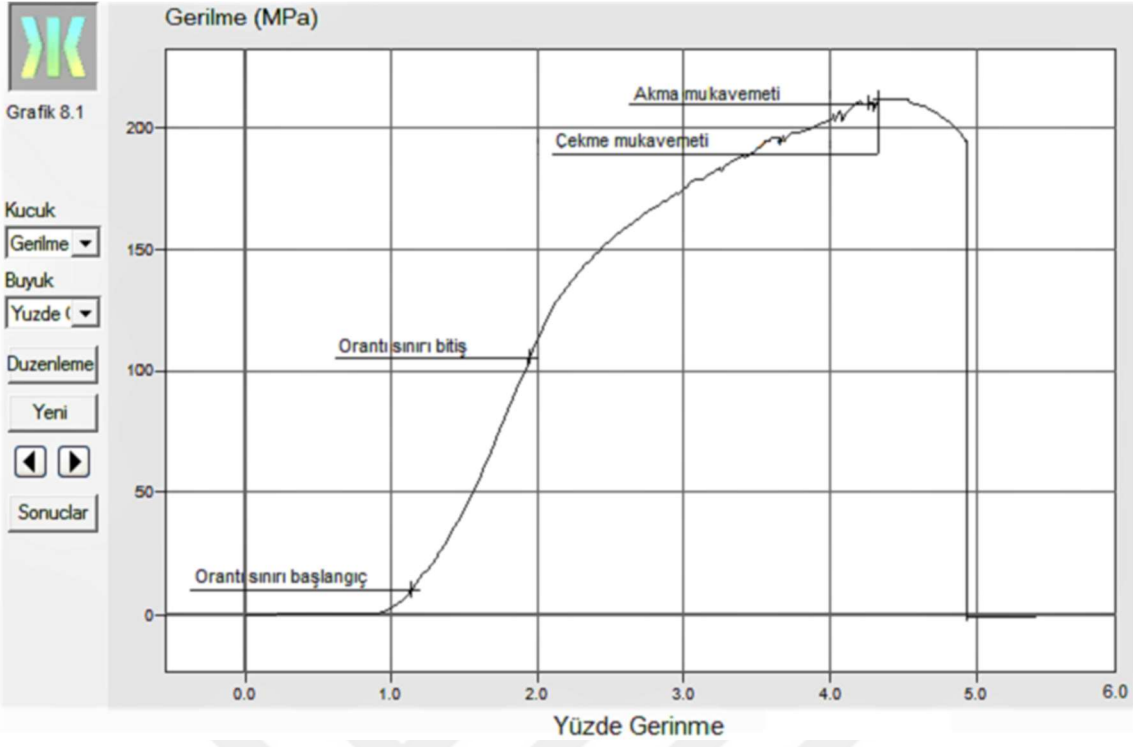
Grafik 5.2

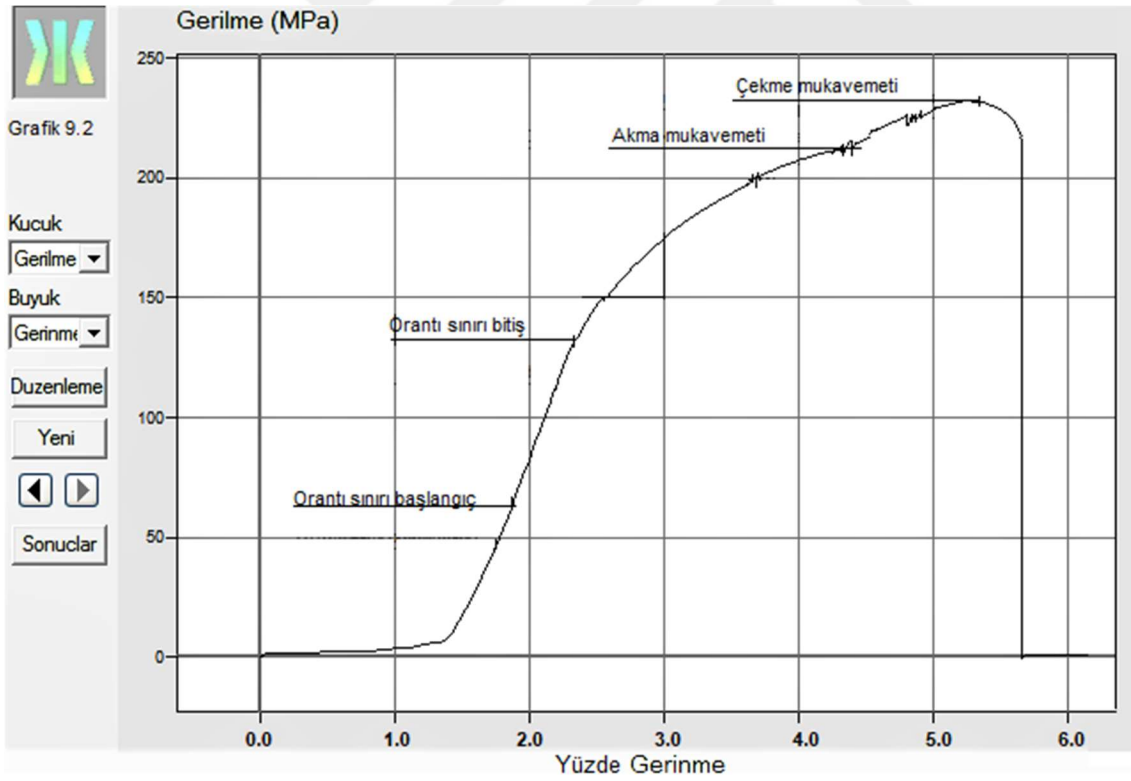
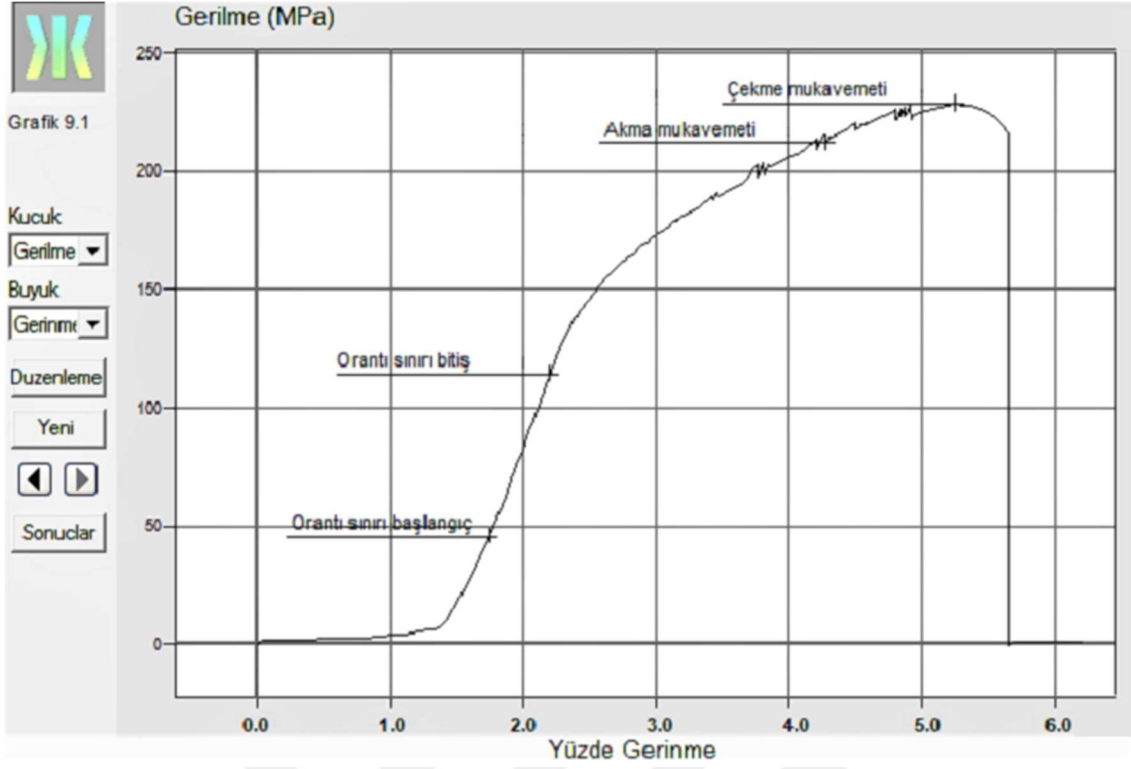
Kucuk  
Gerilme  
Buyuk  
Yuzde (%)  
Duzenleme  
Yeni  
Sonuclar

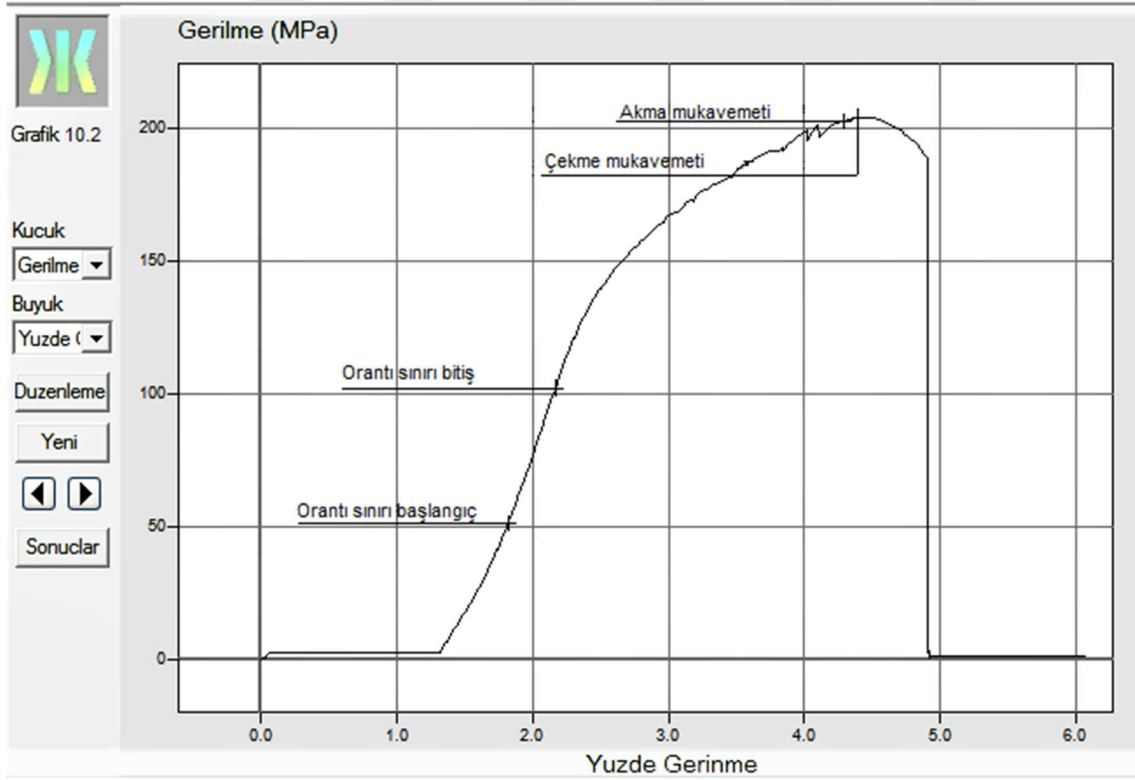
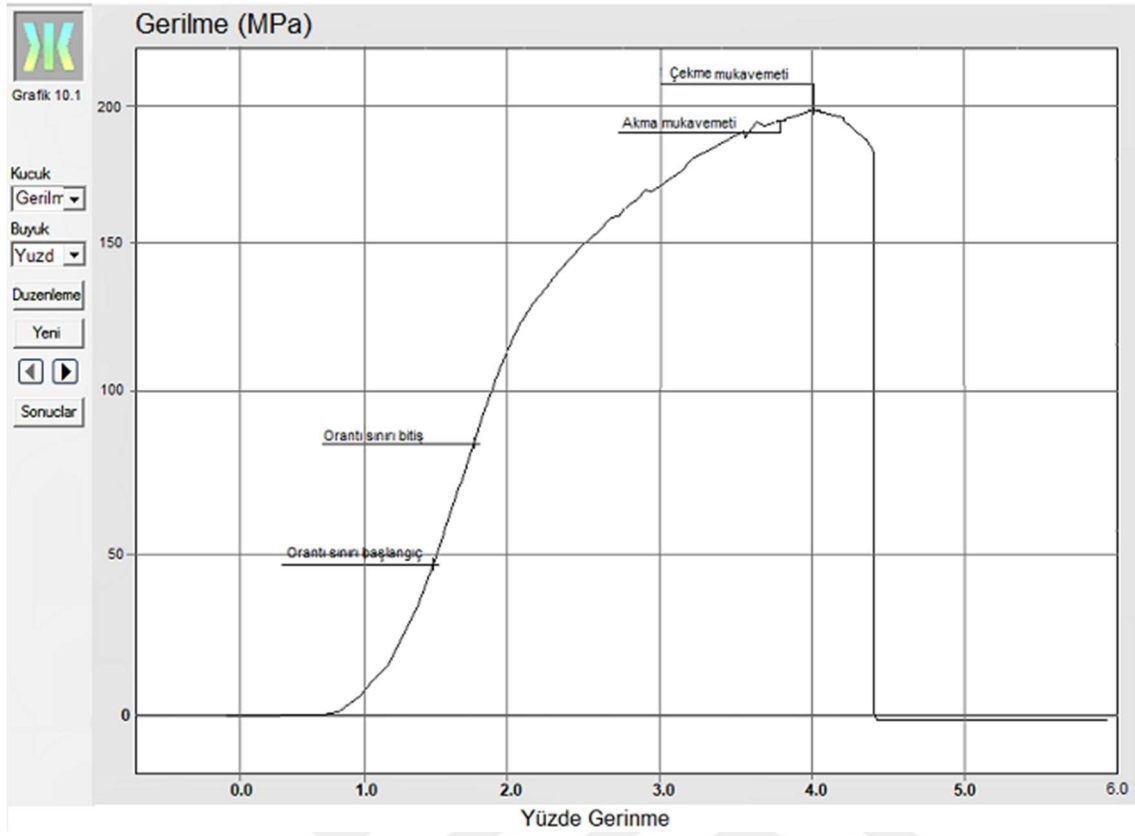


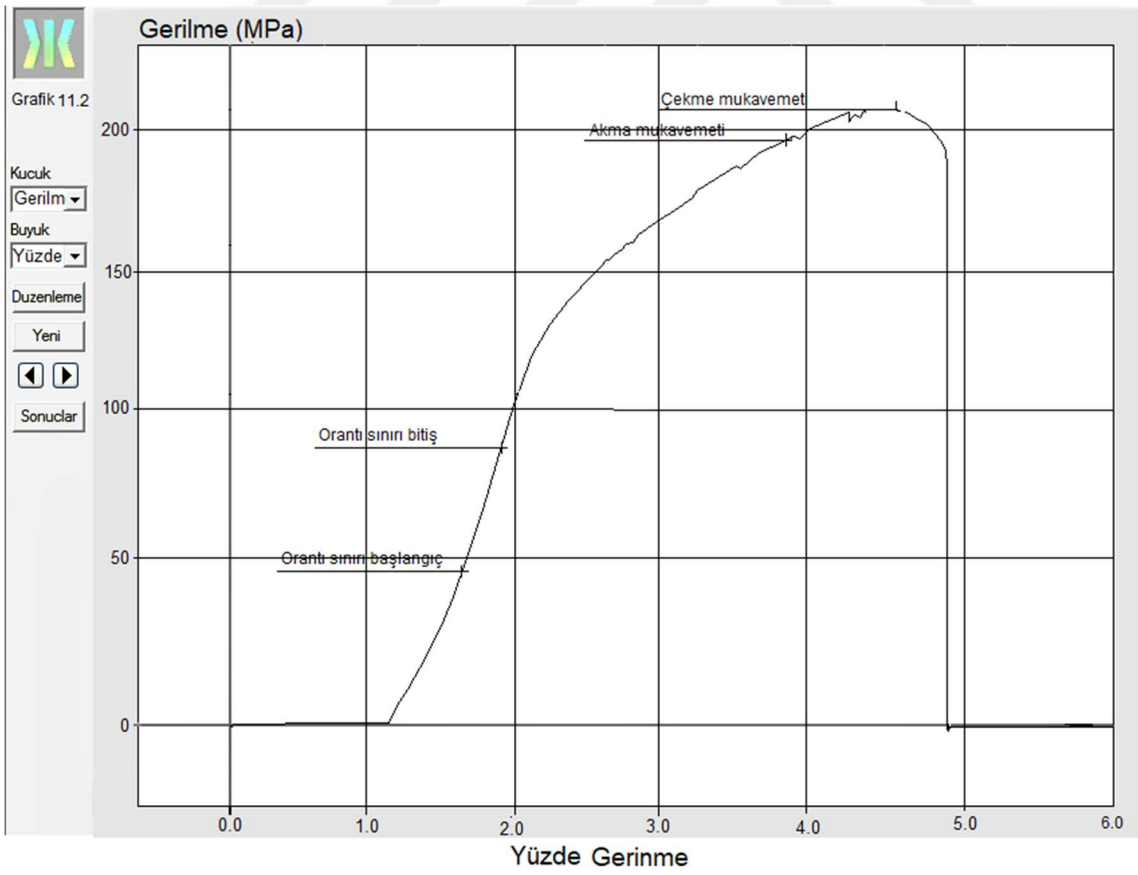
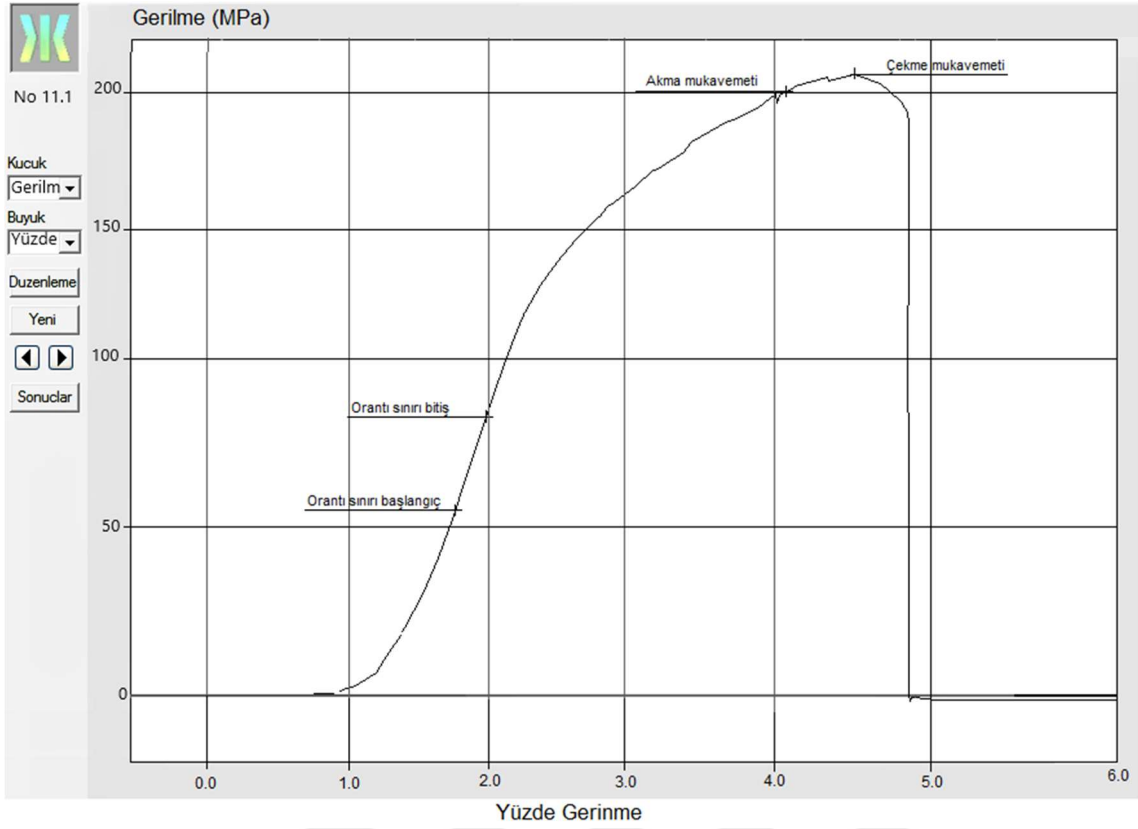


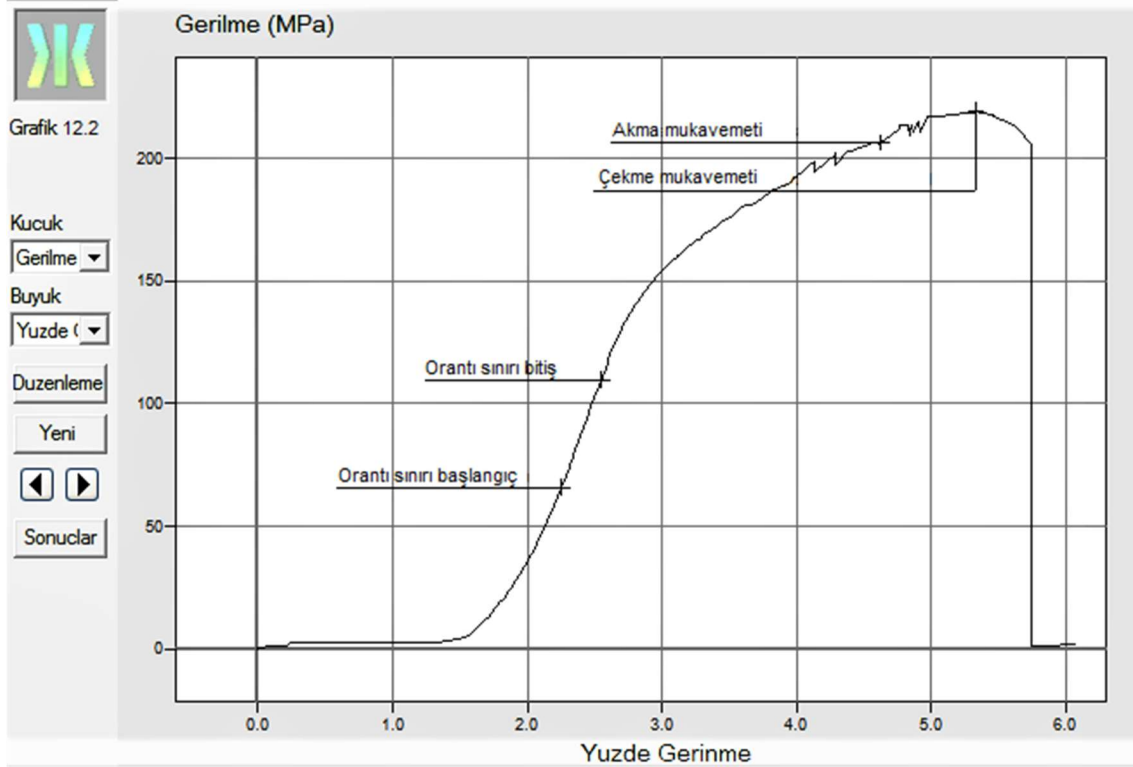
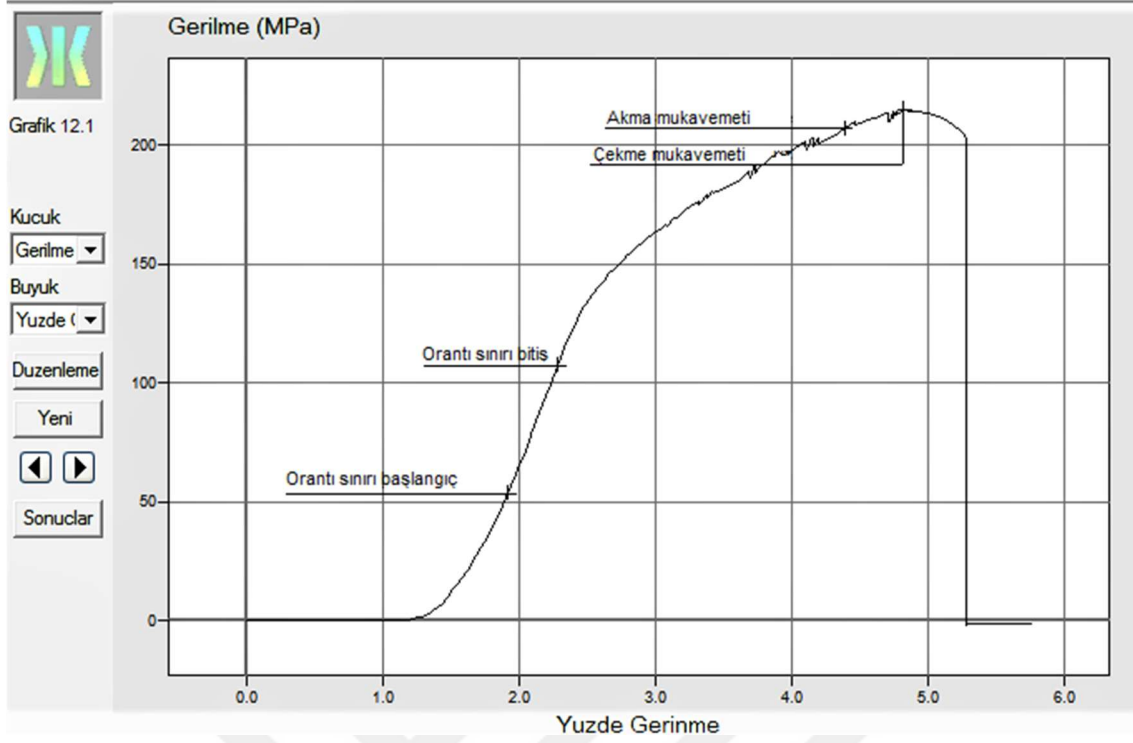




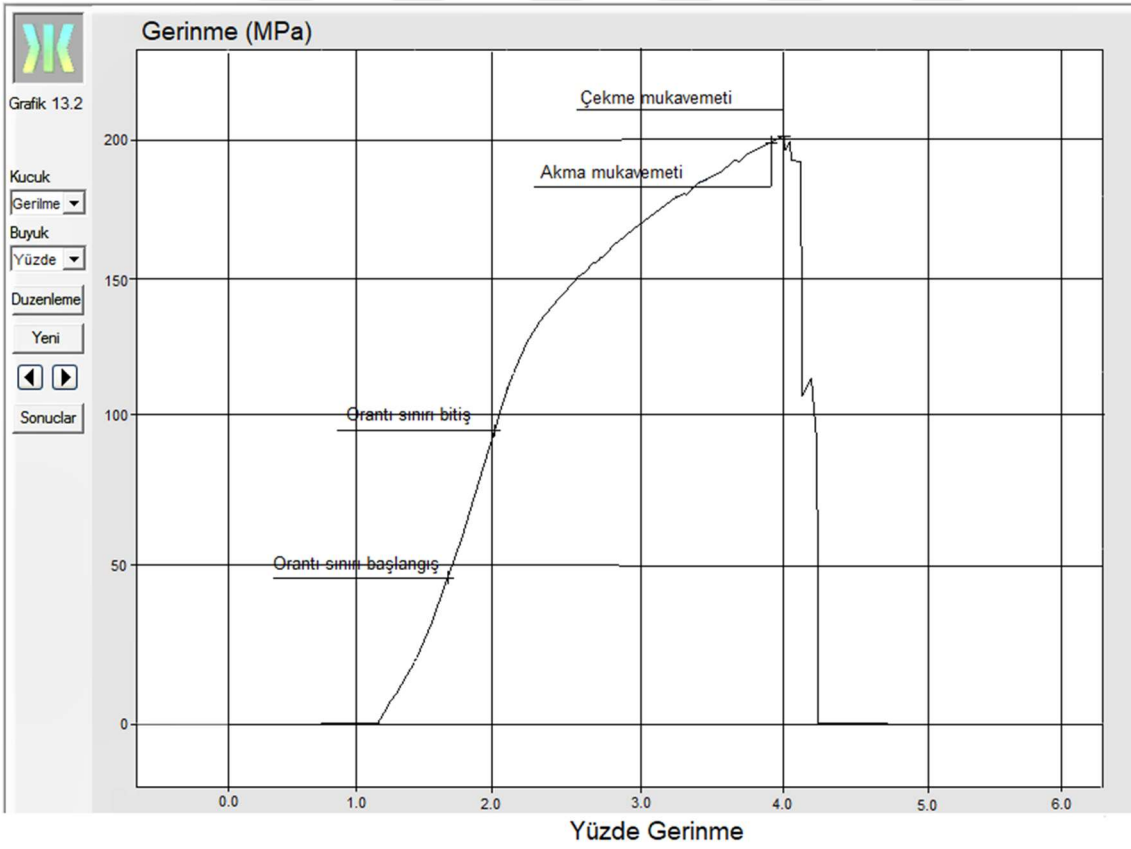
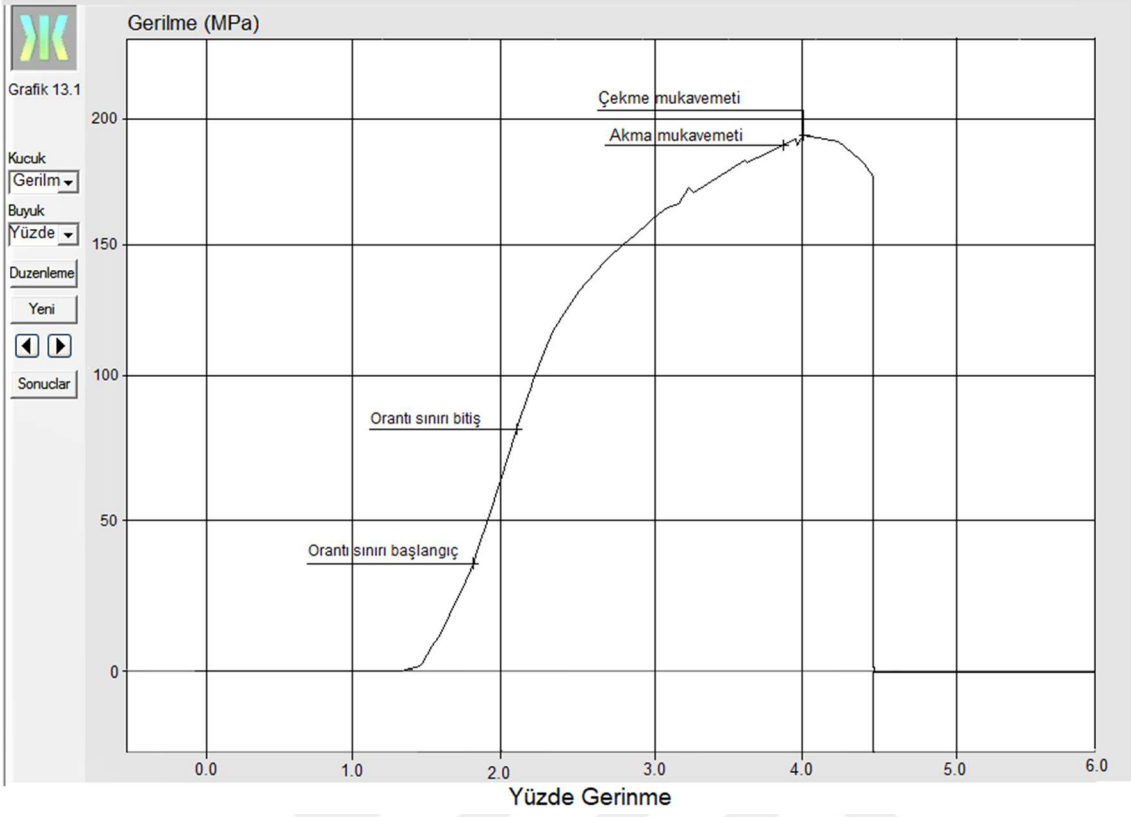


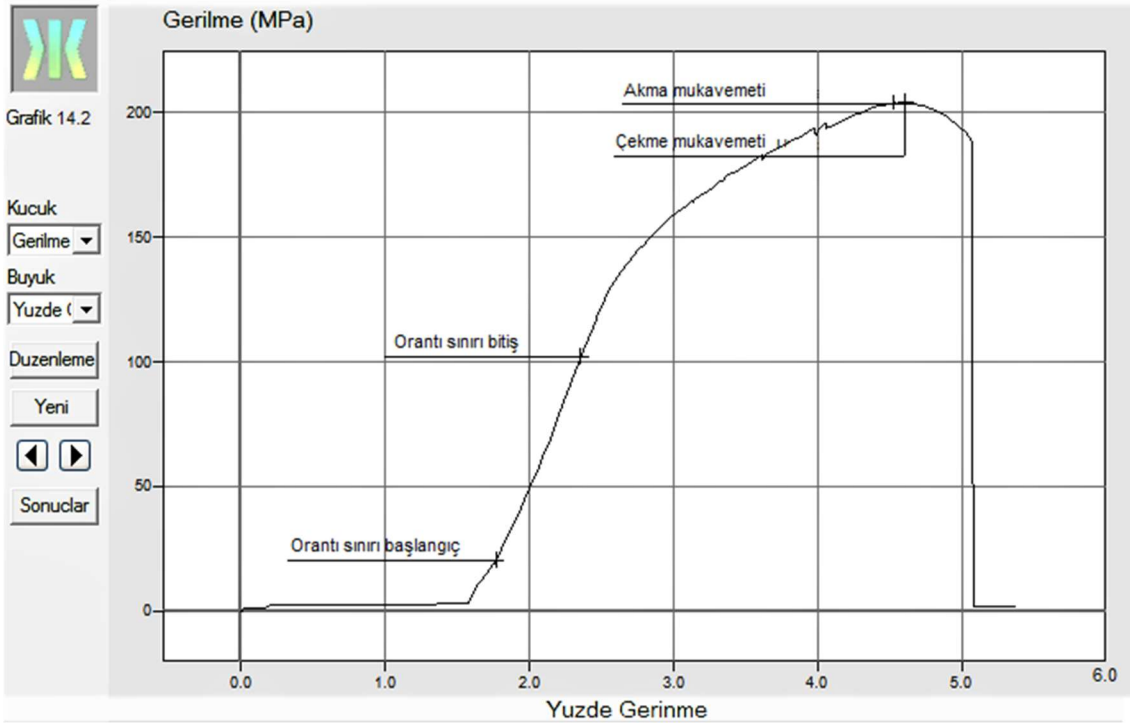
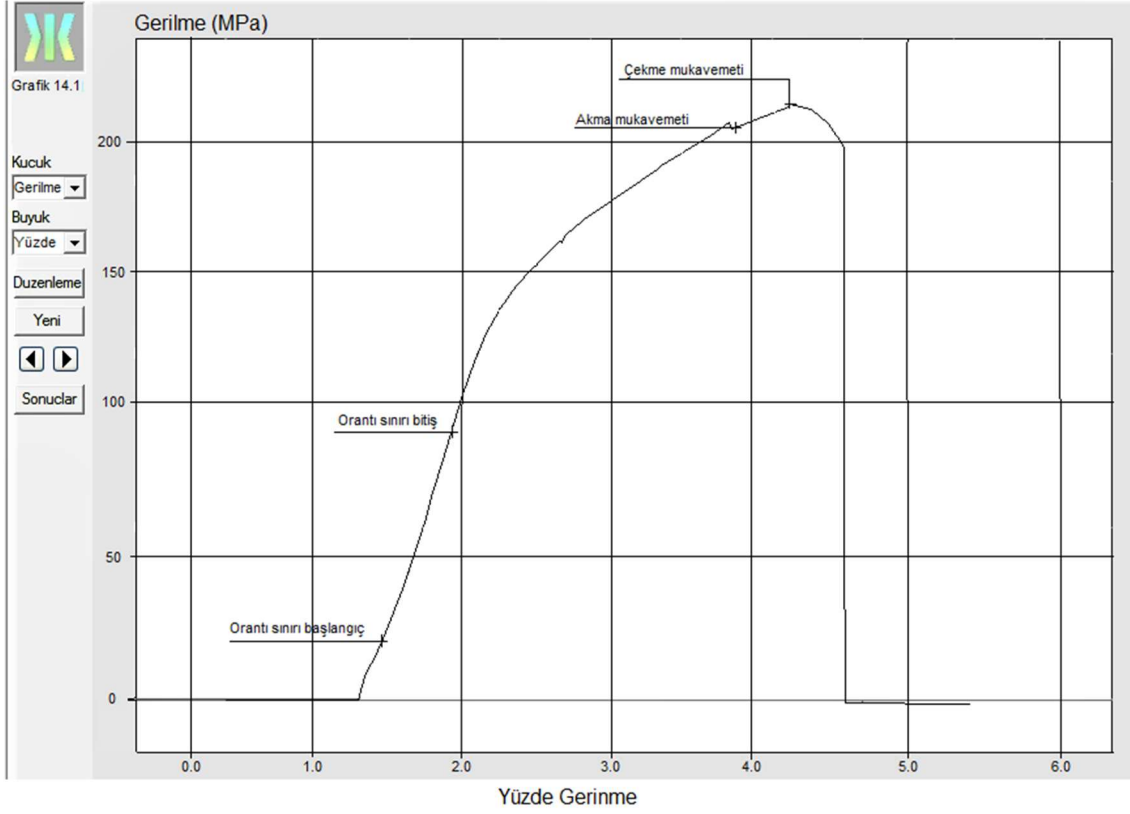








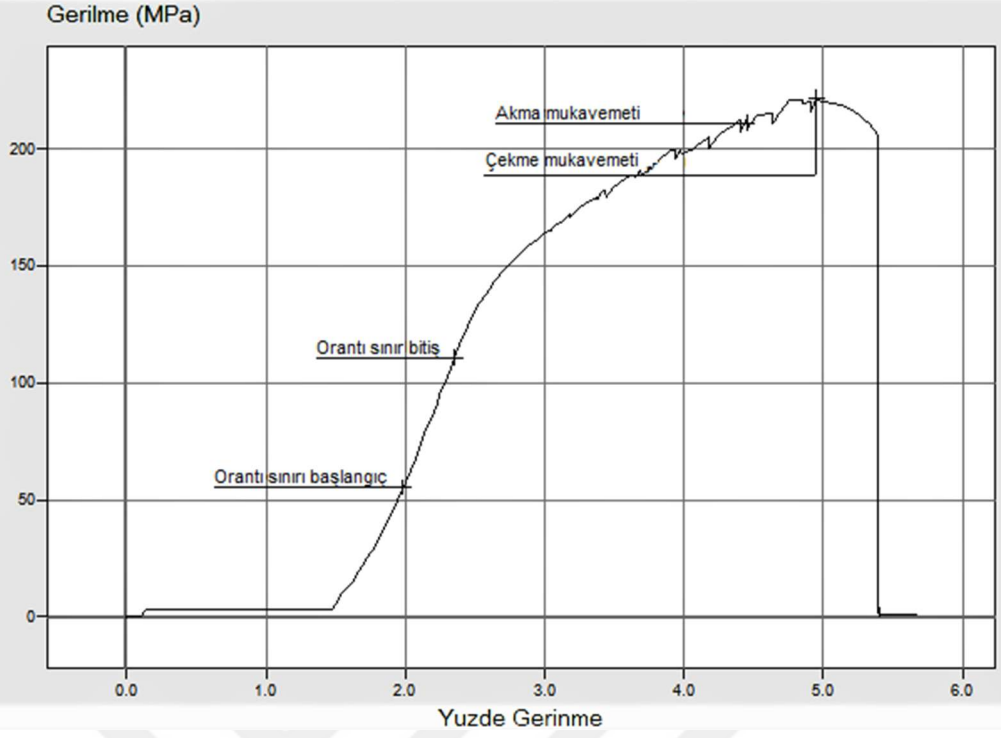






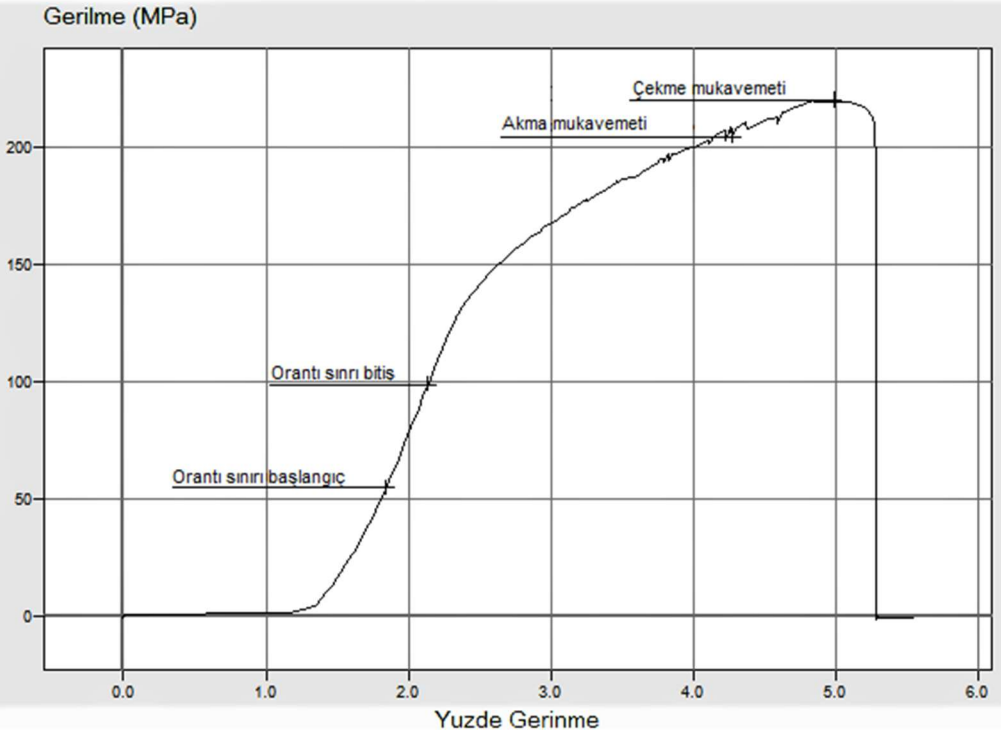
Grafik 15.1

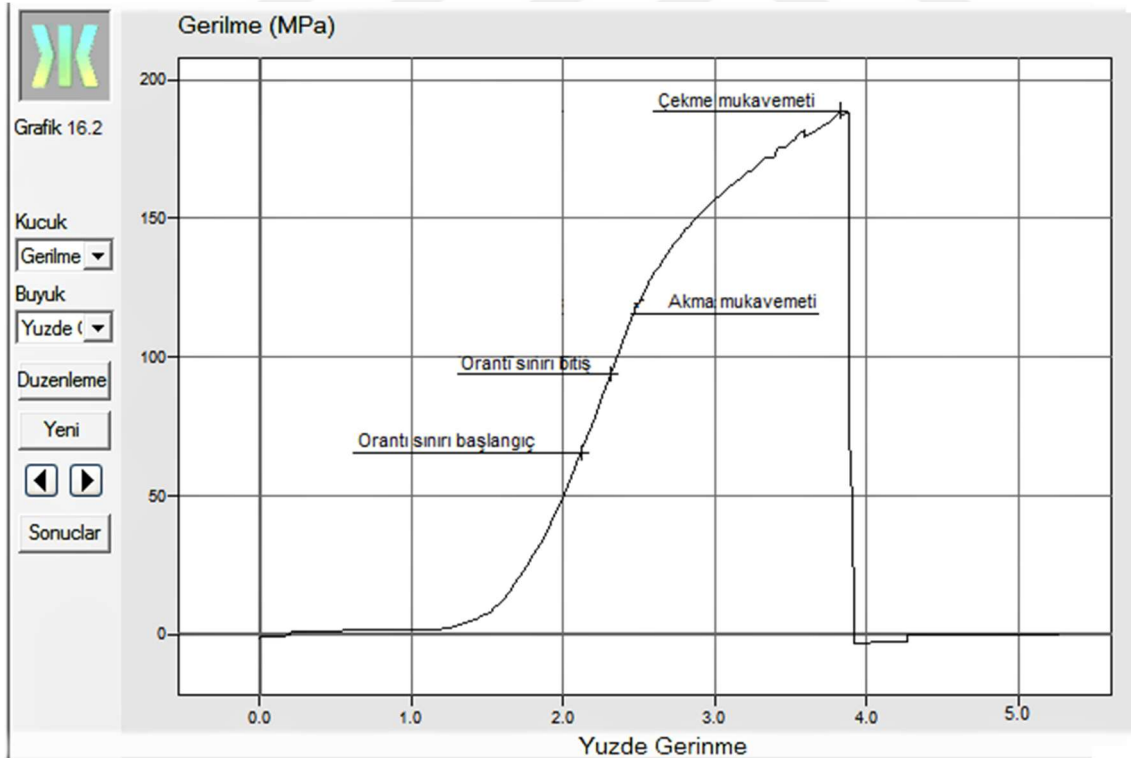
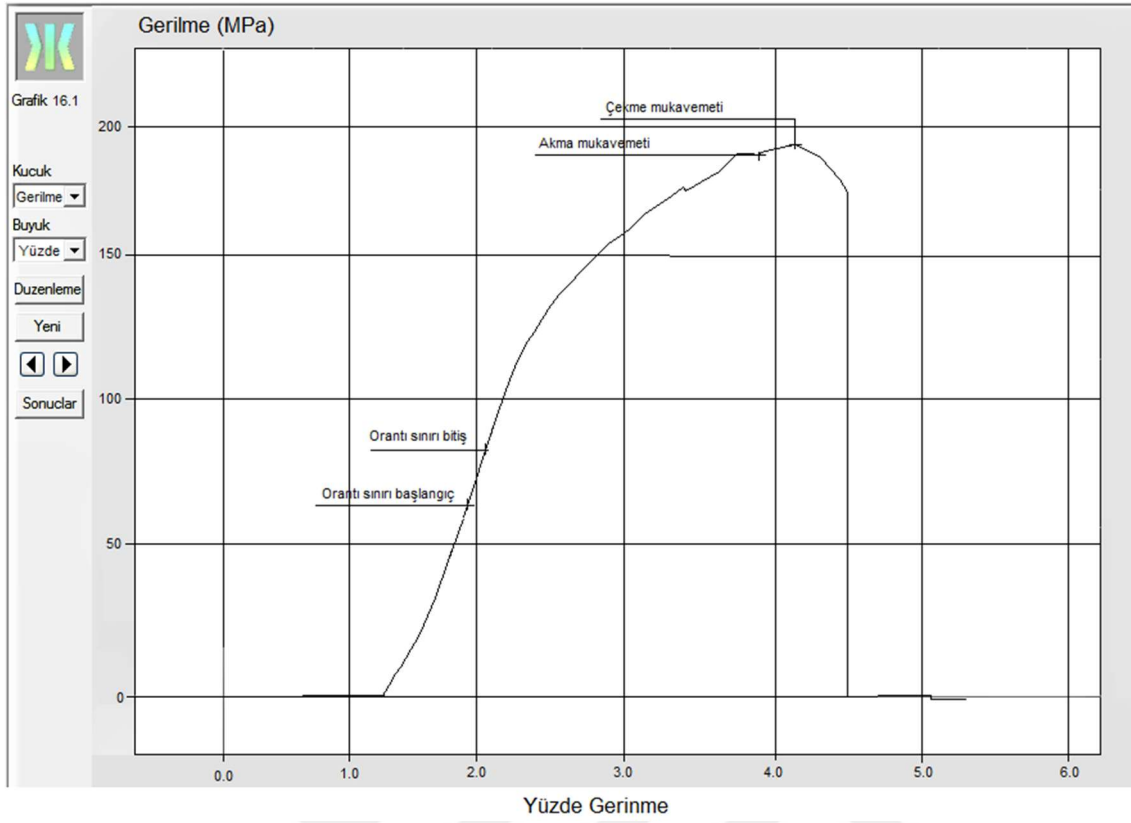
Kucuk  
Gerilme  
Buyuk  
Yuzde (%)  
Duzenleme  
Yeni  
Sonuclar

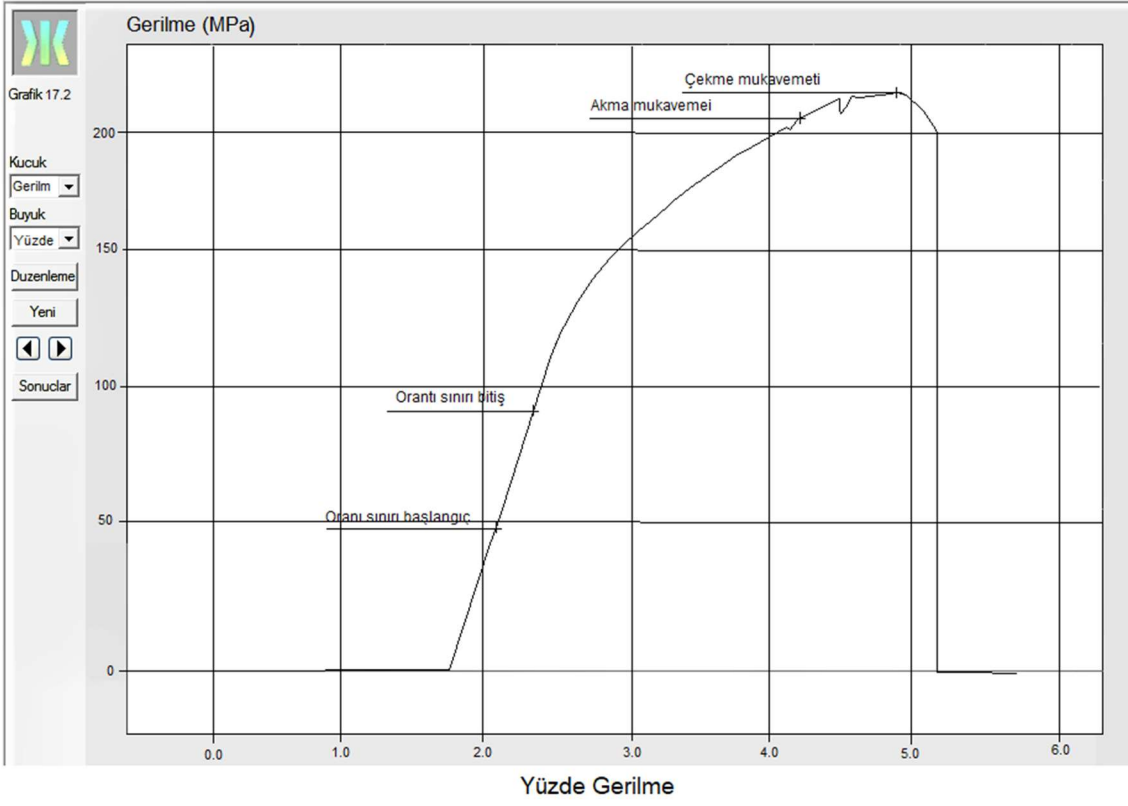
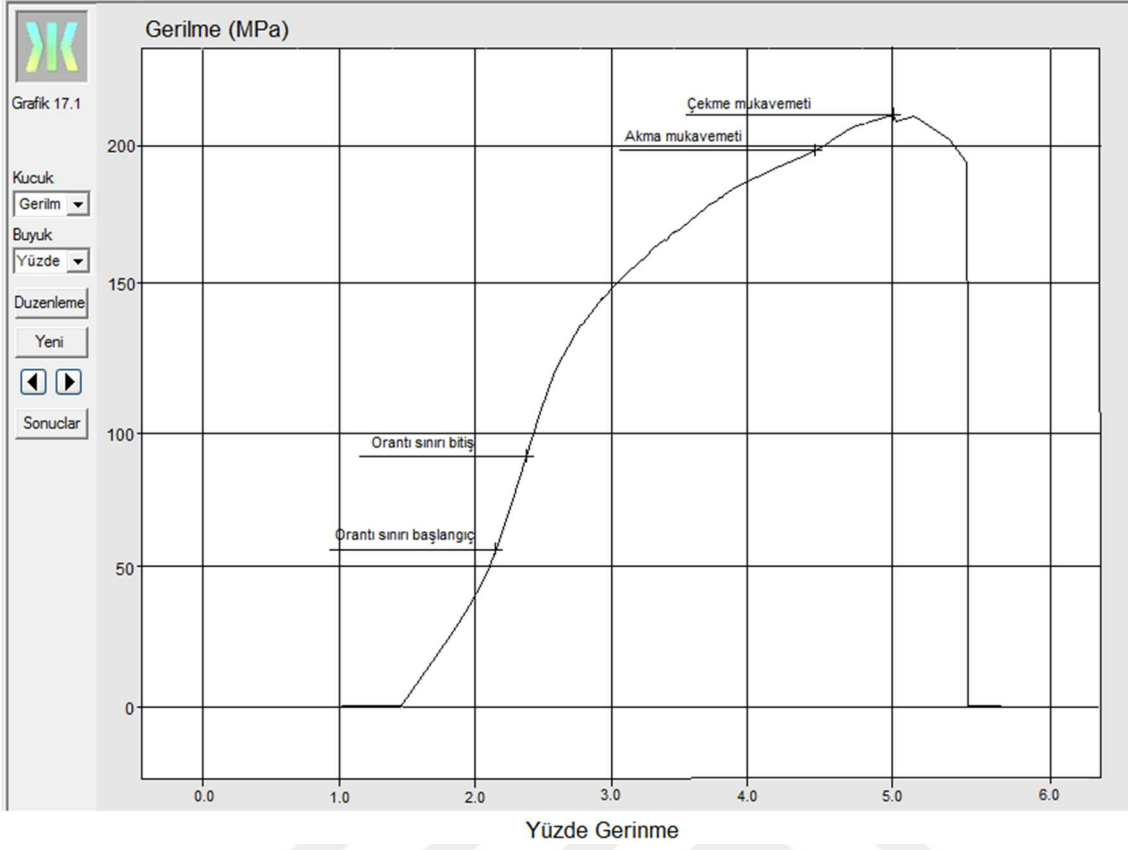


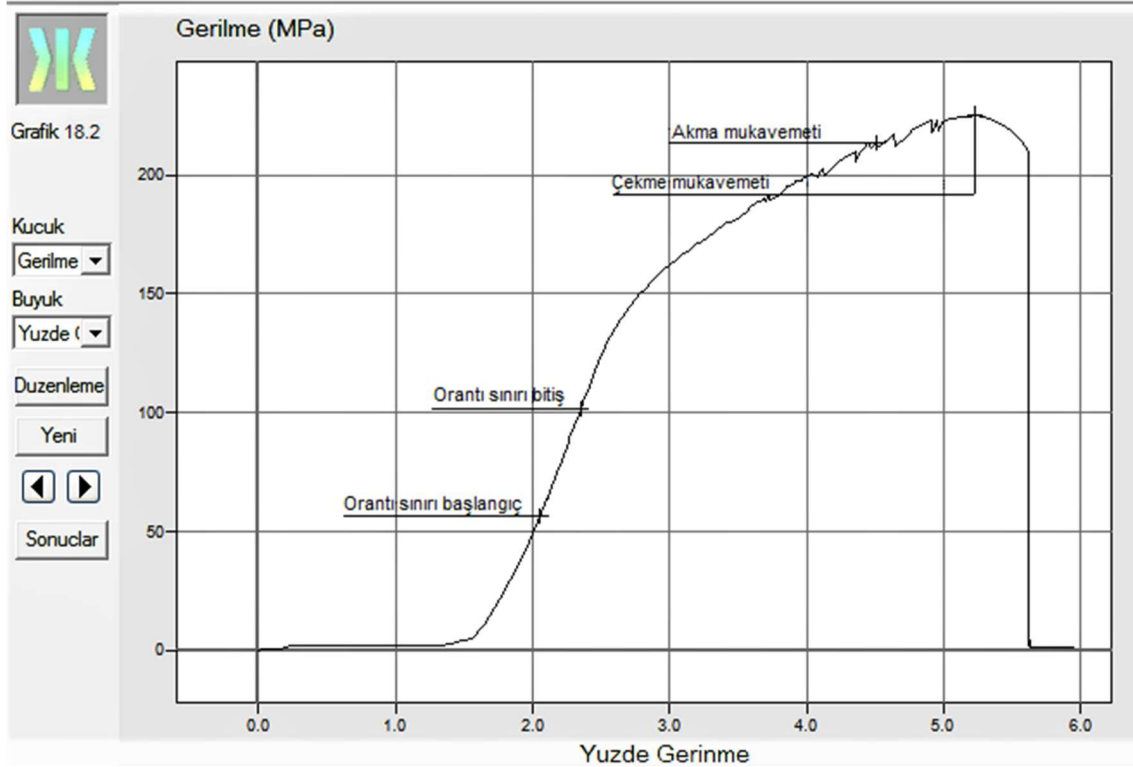
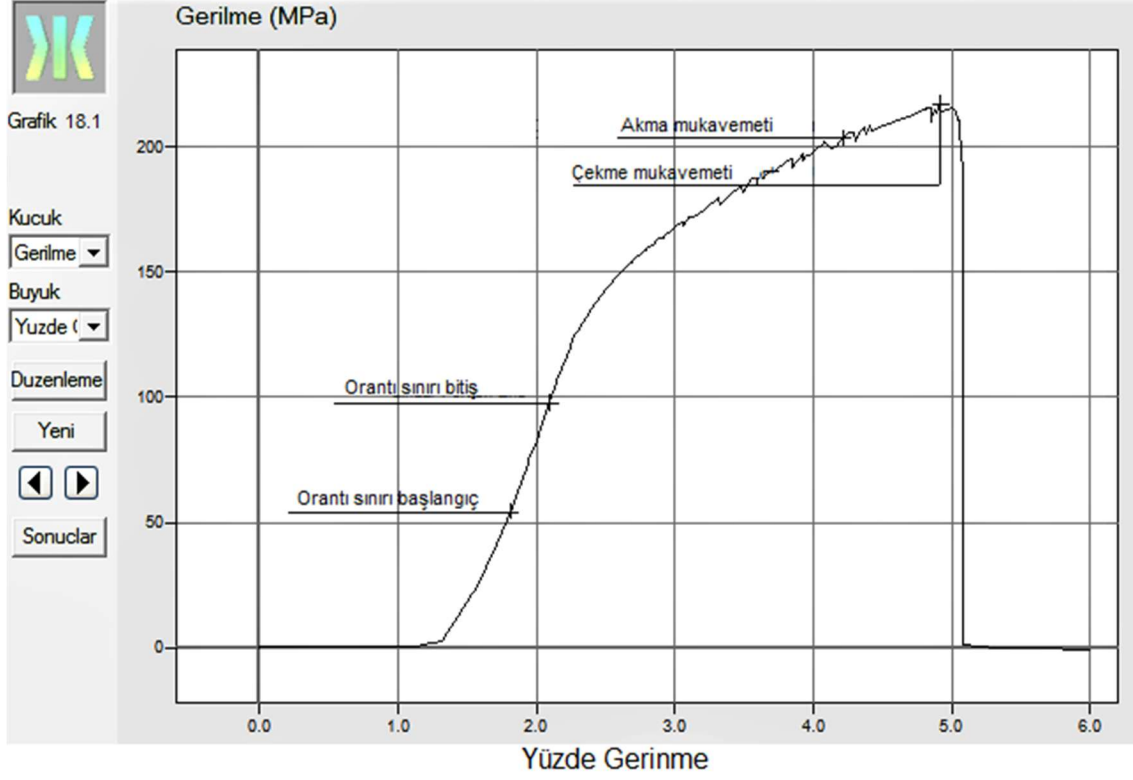
Grafik 15.2

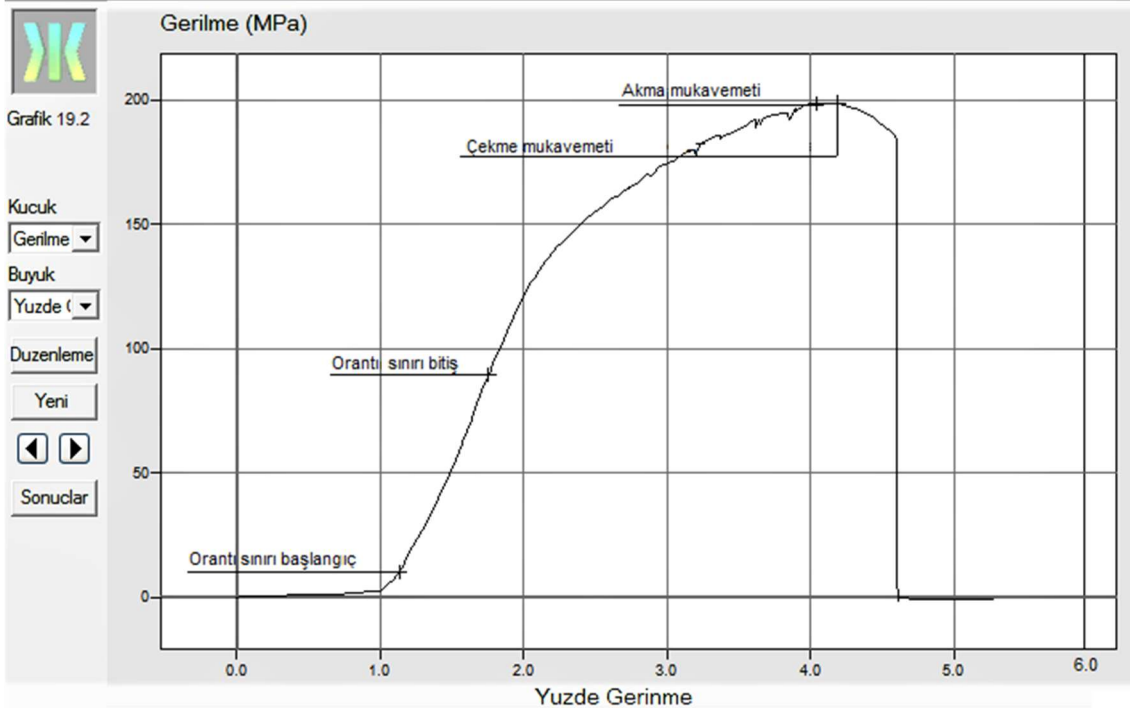
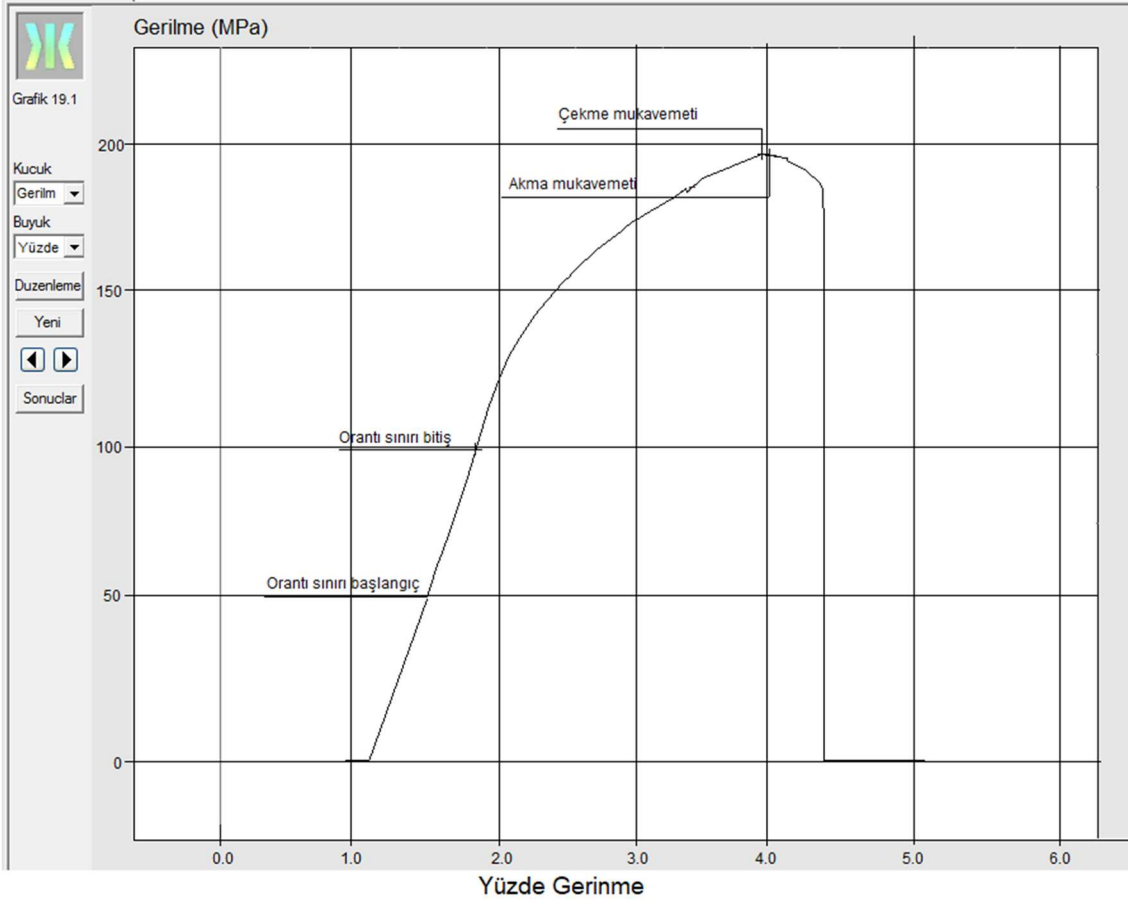
Kucuk  
Gerilme  
Buyuk  
Yuzde (%)  
Duzenleme  
Yeni  
Sonuclar

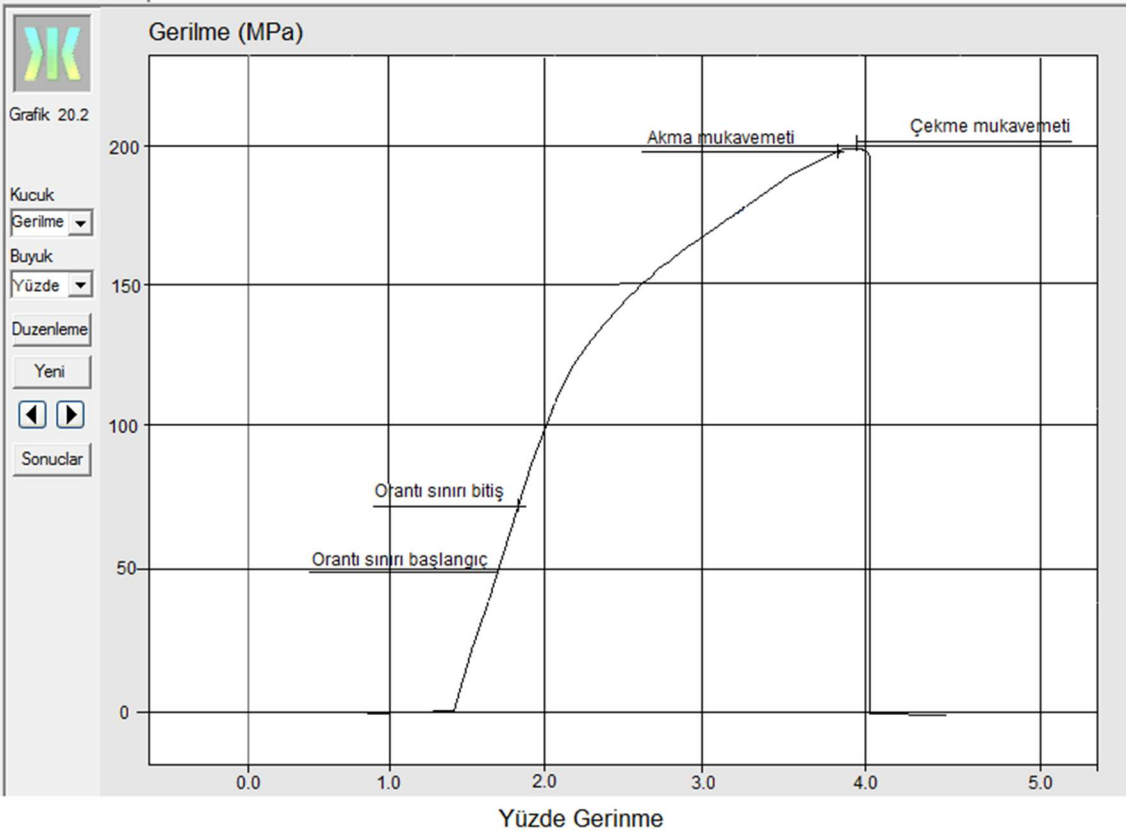
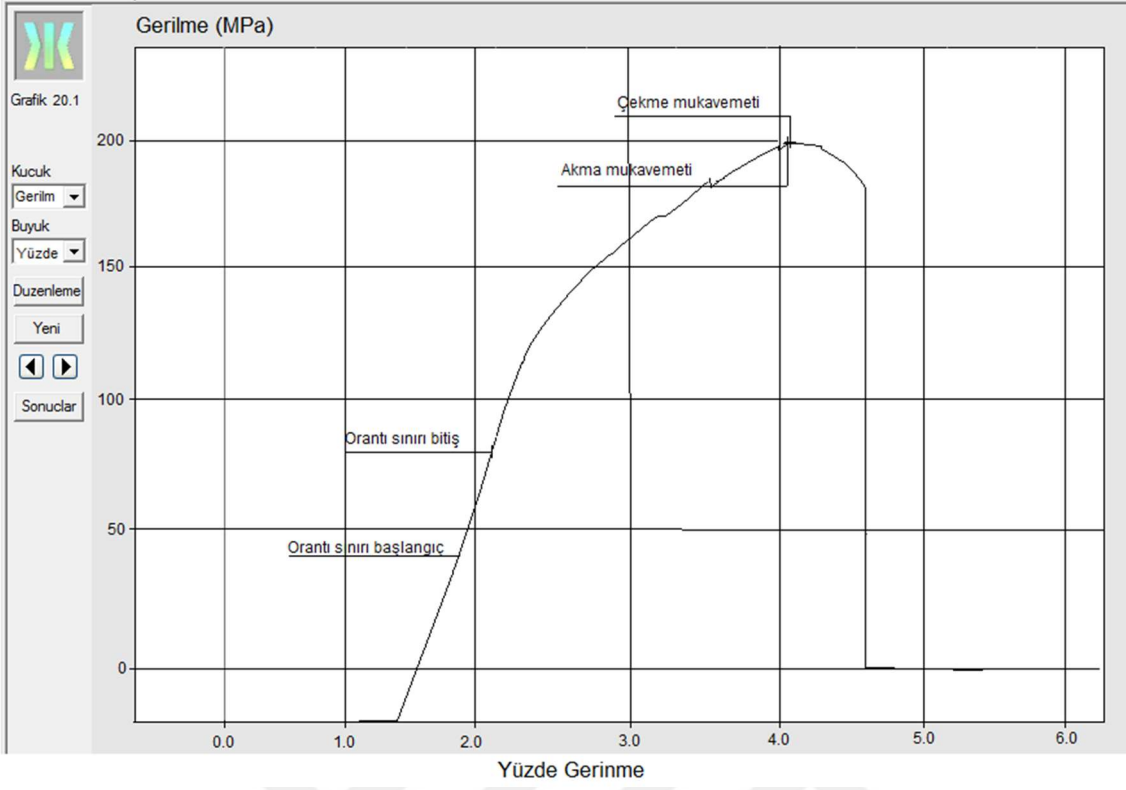




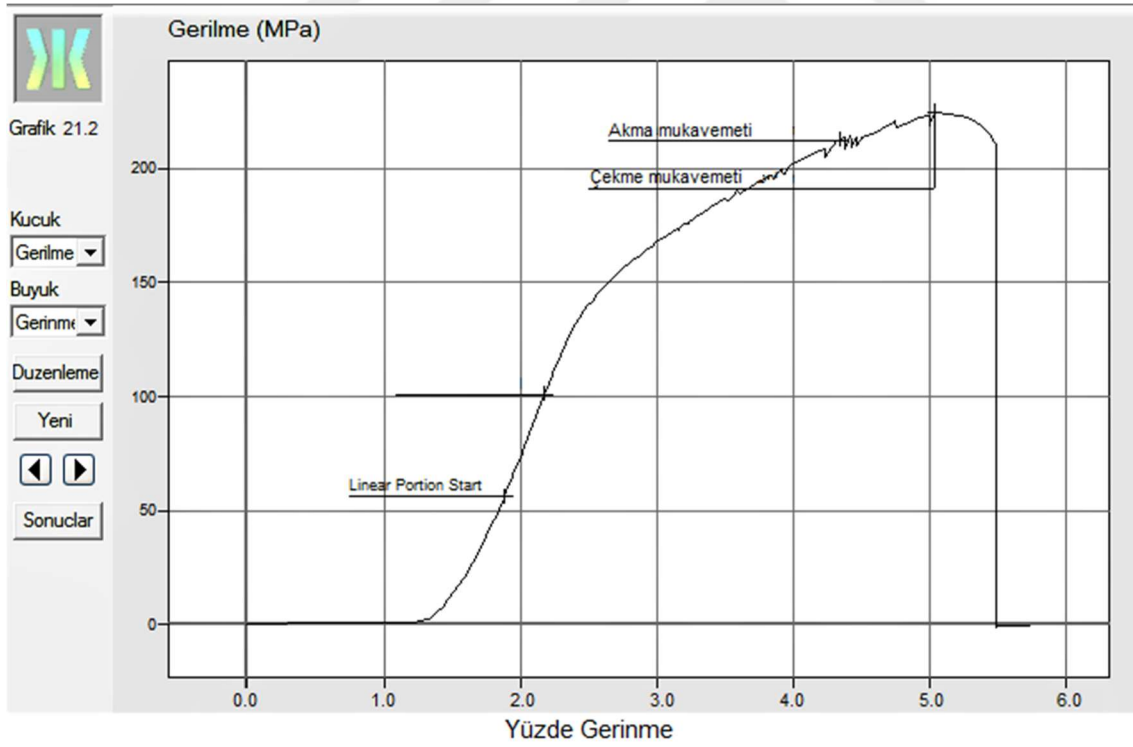
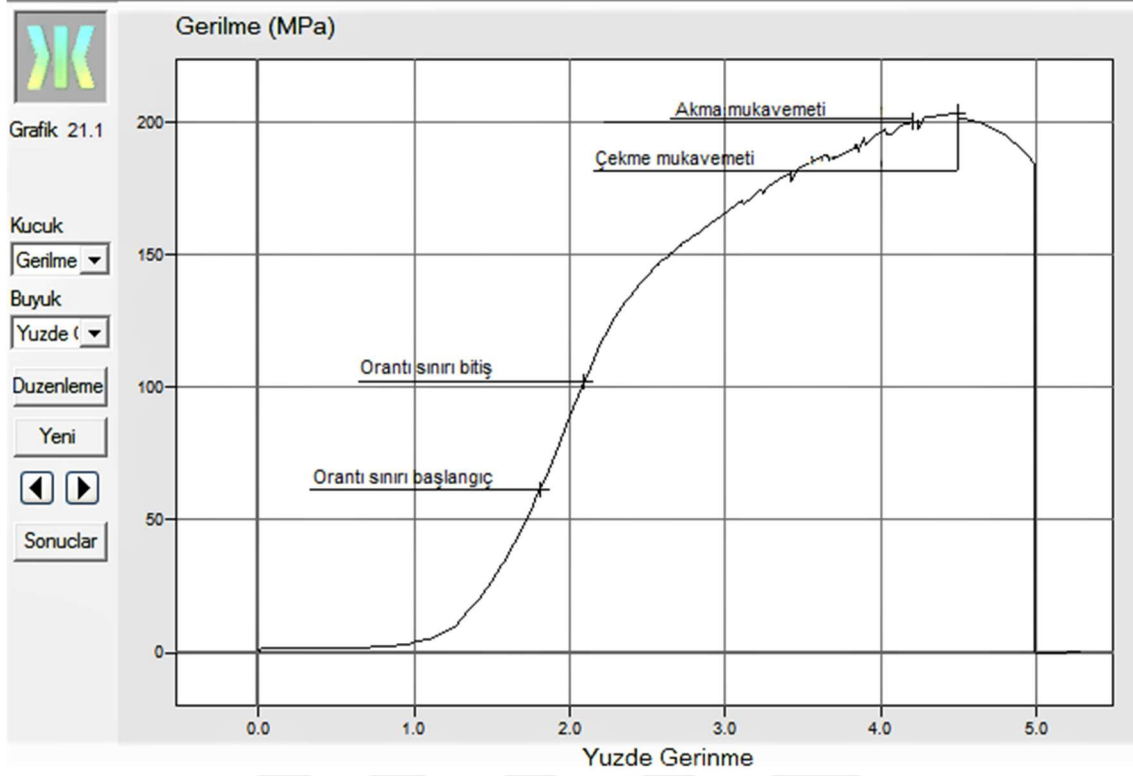


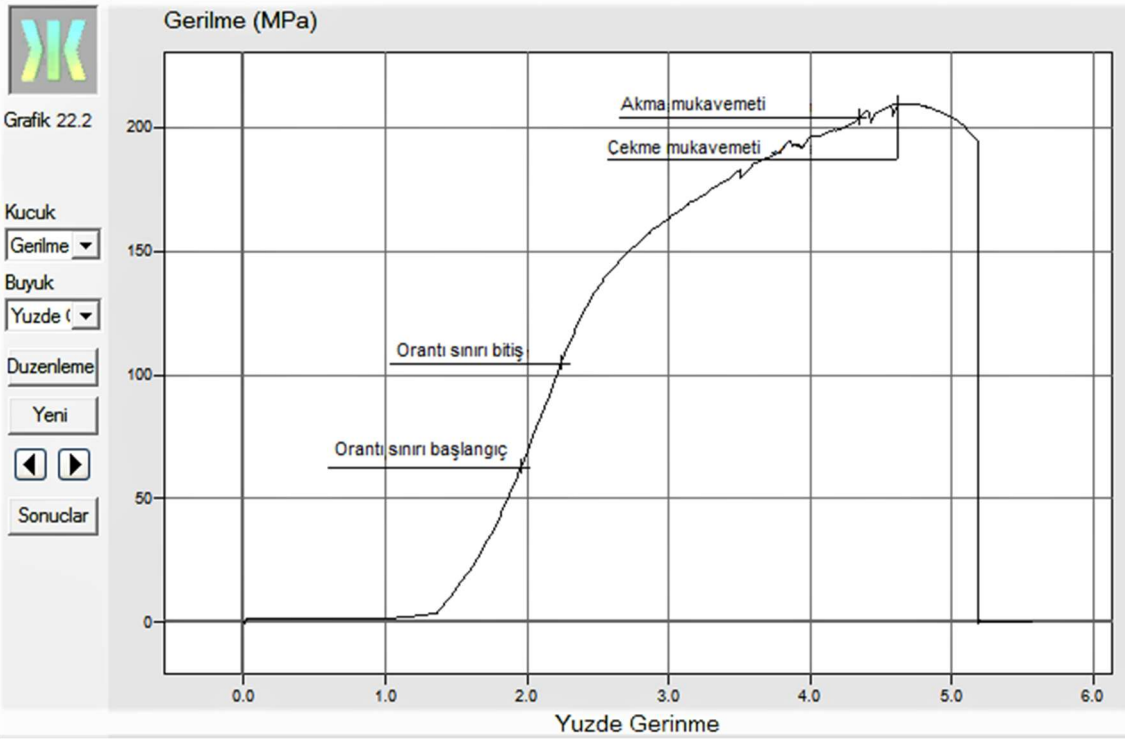
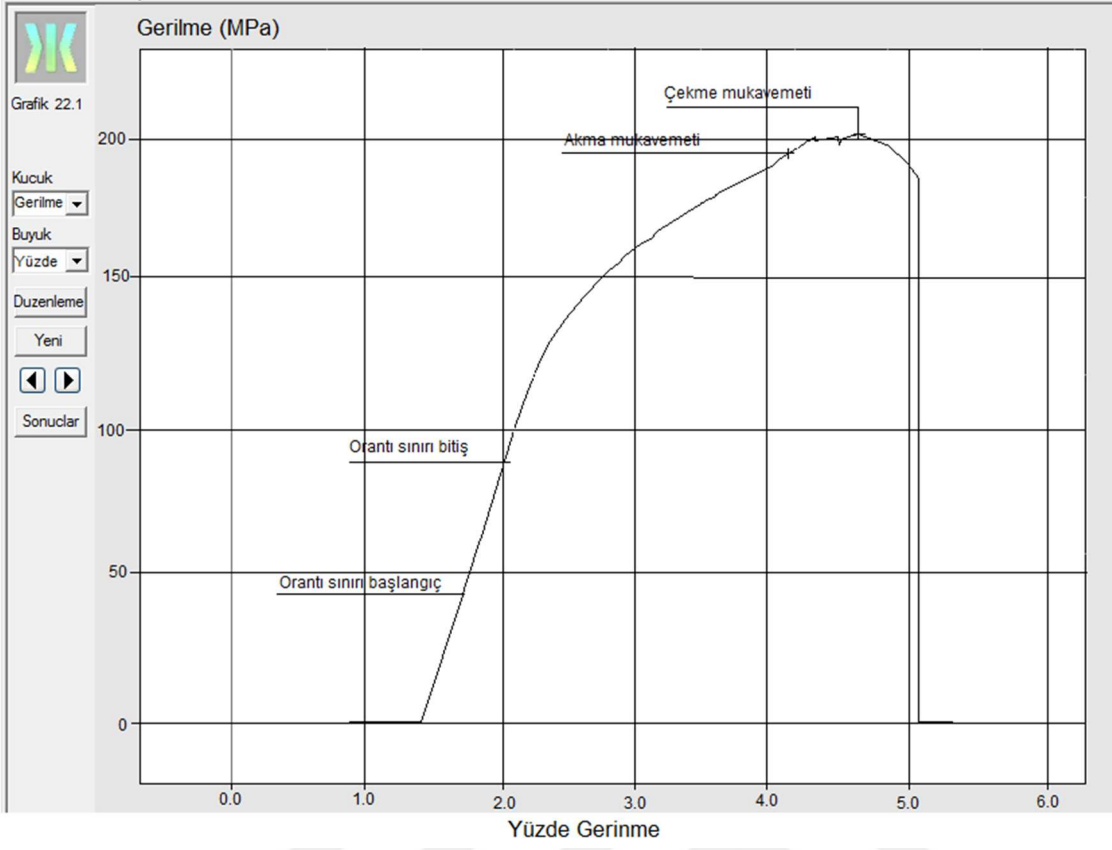


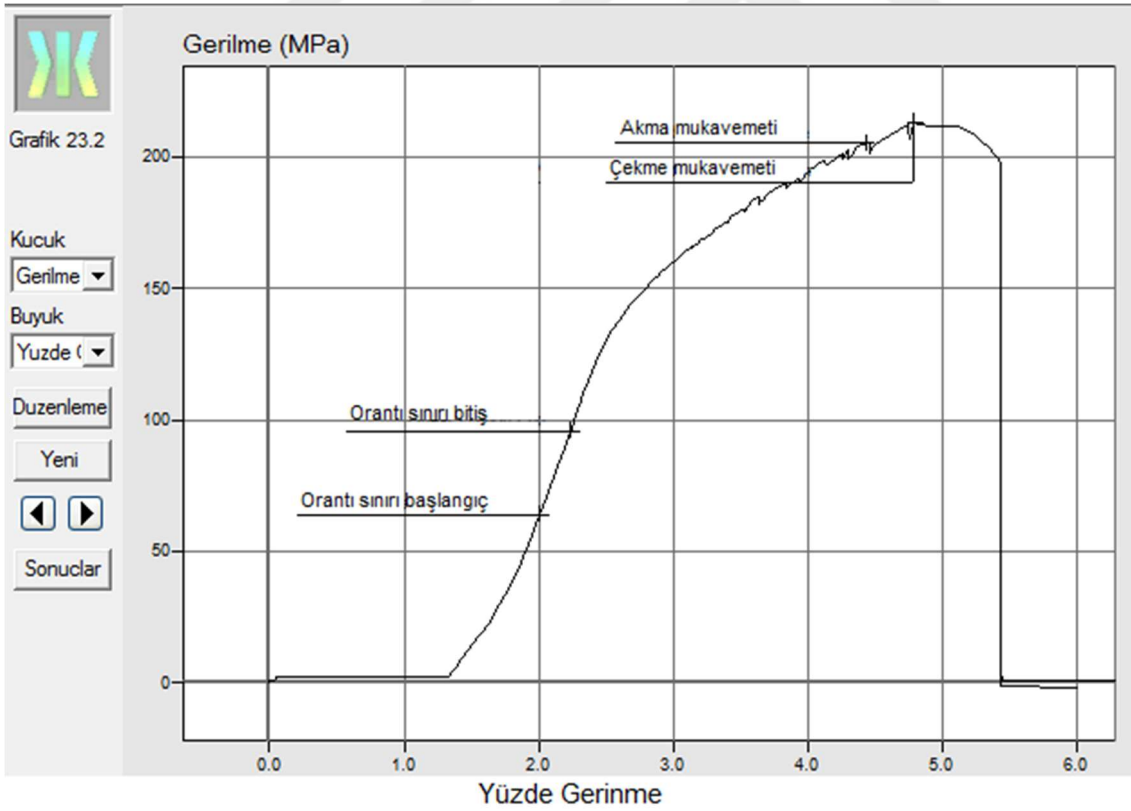
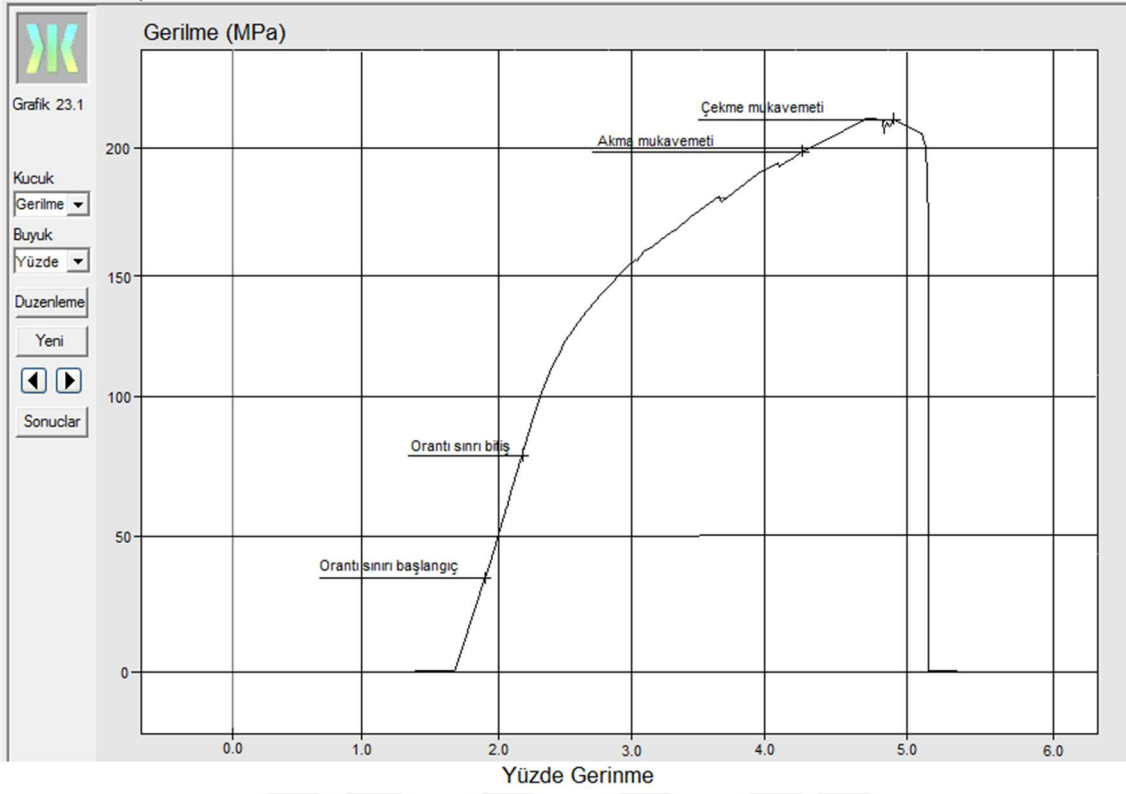


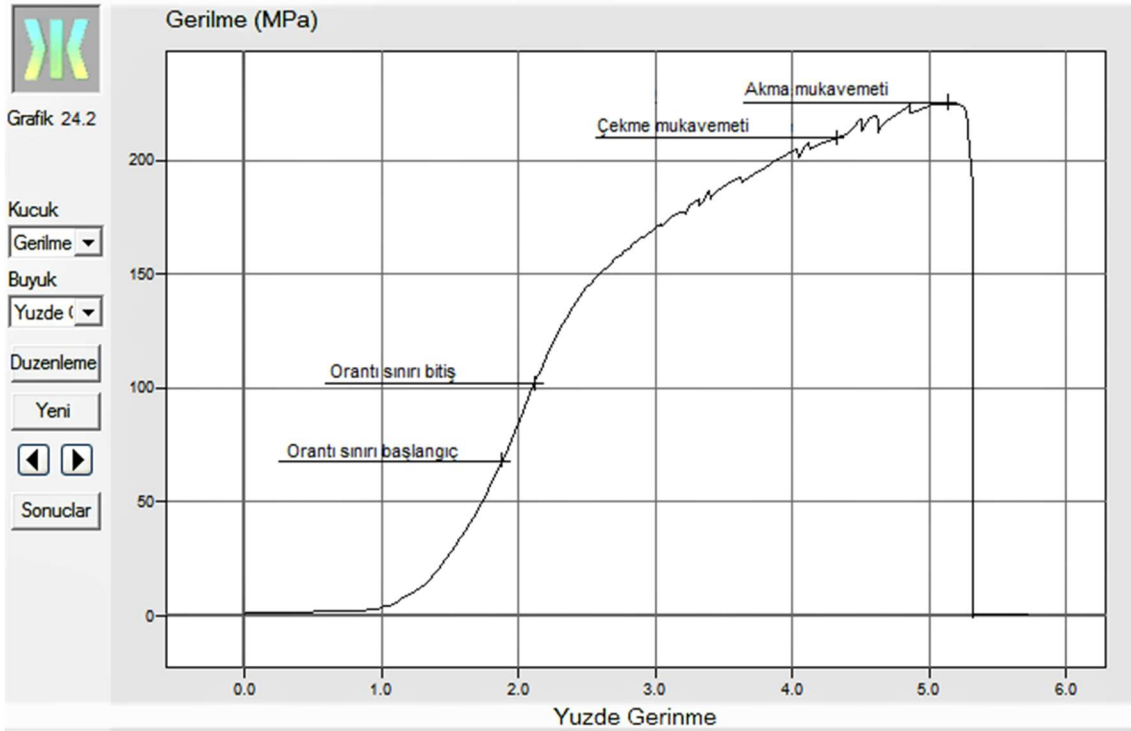
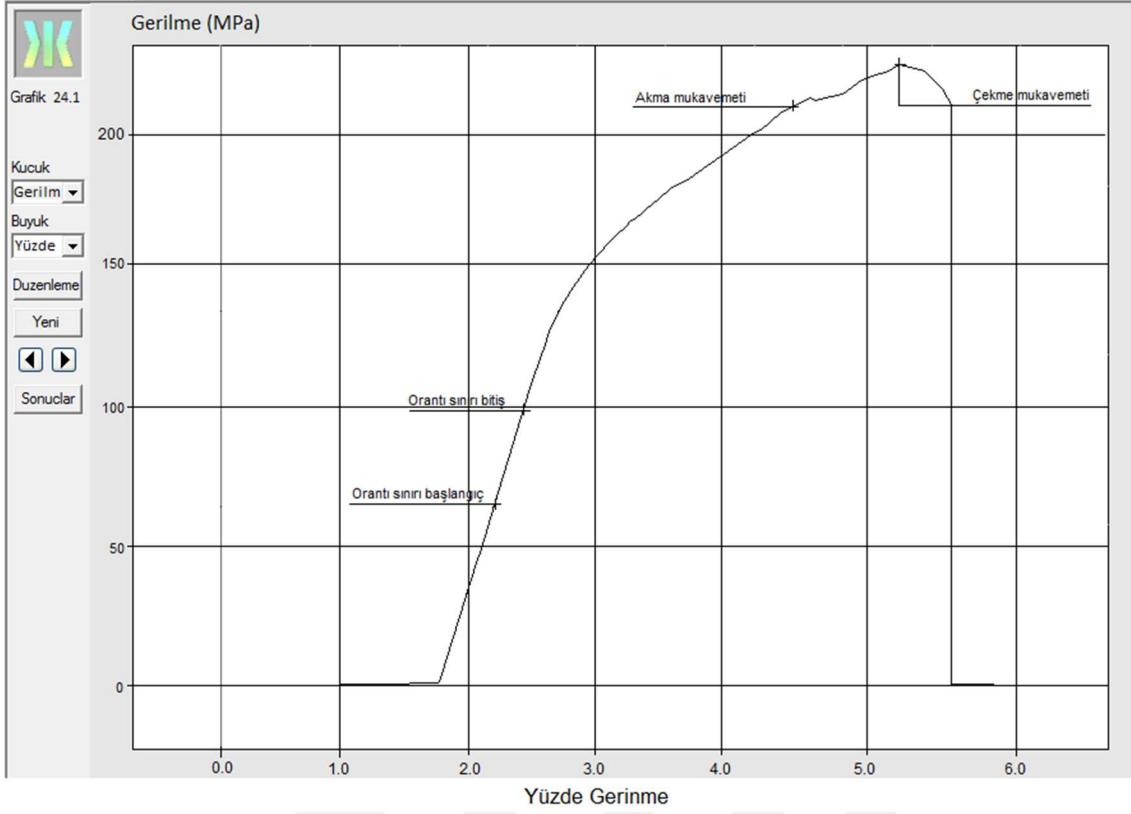


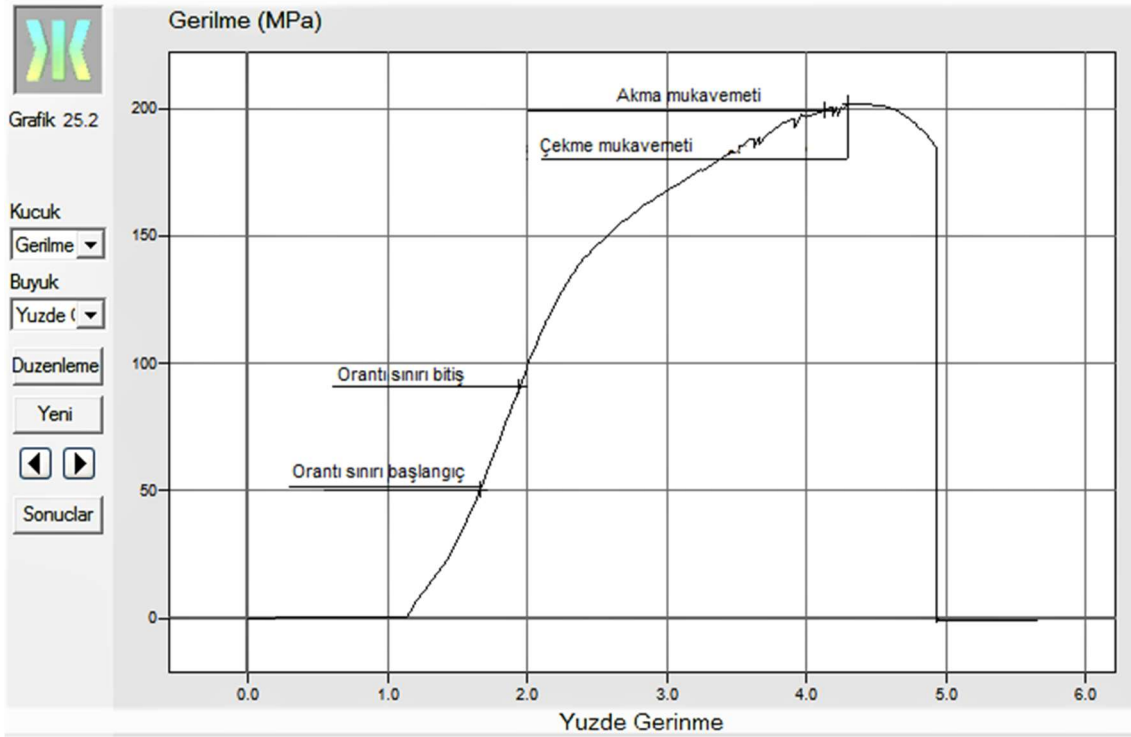
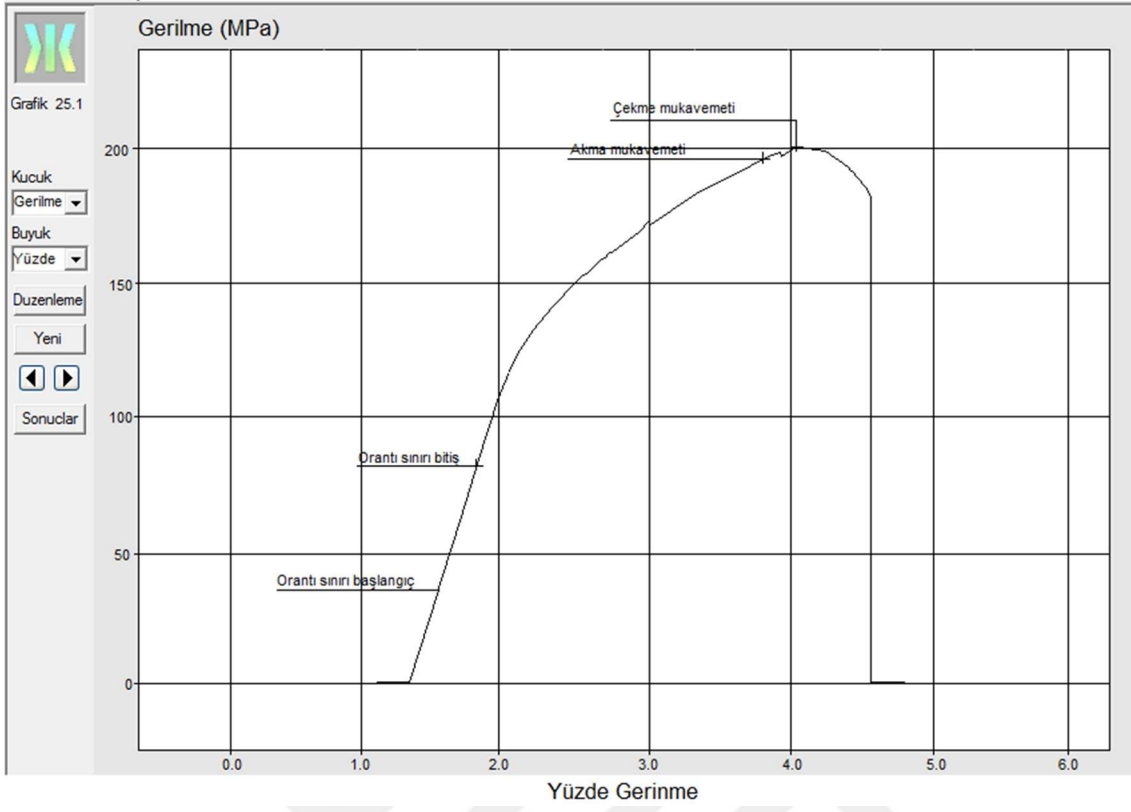


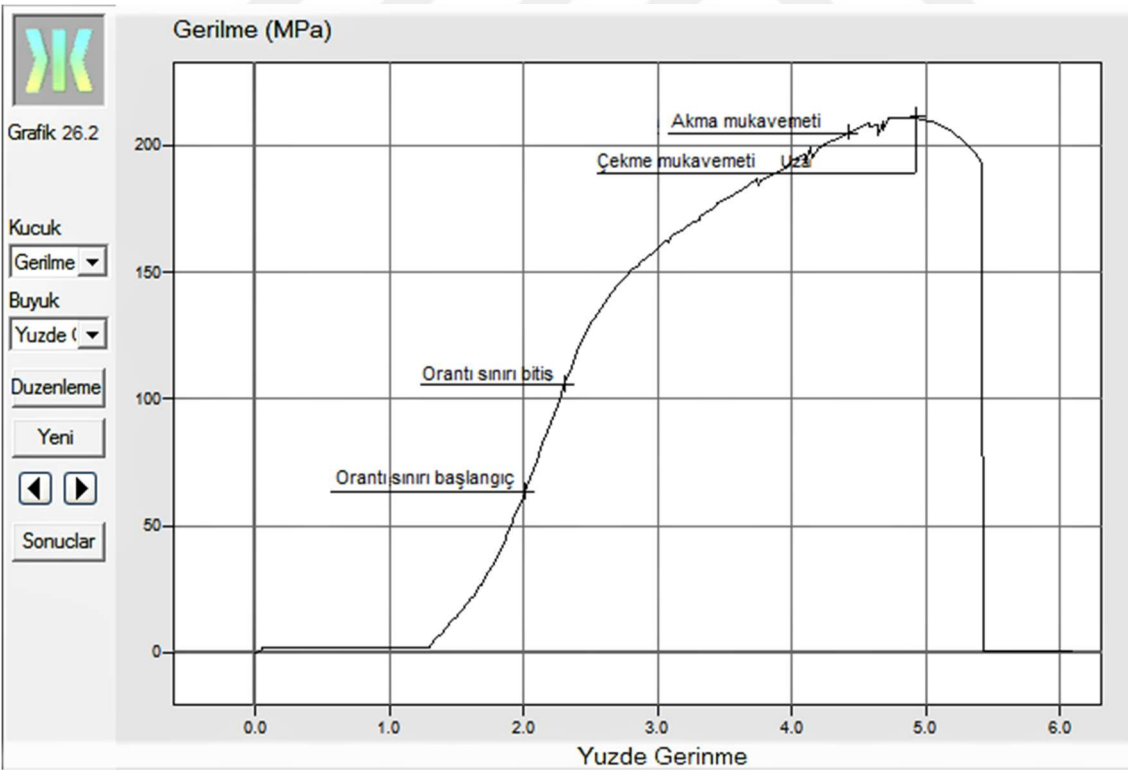
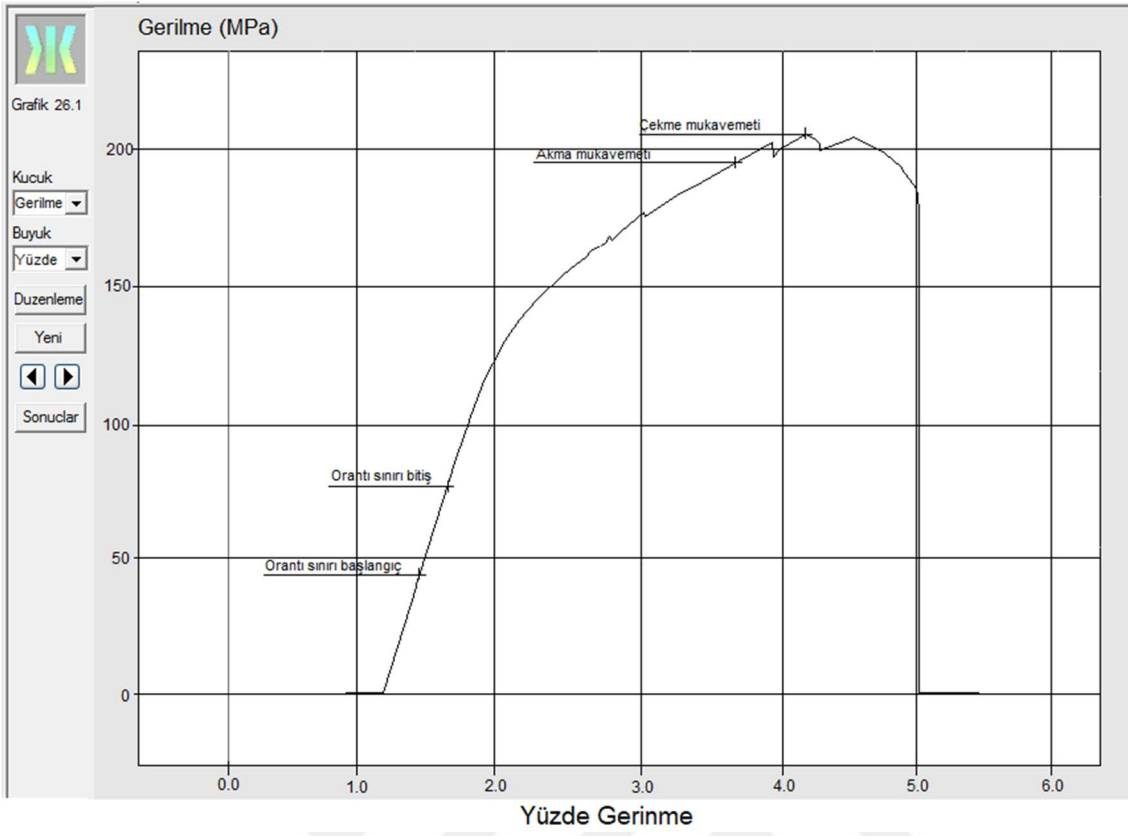


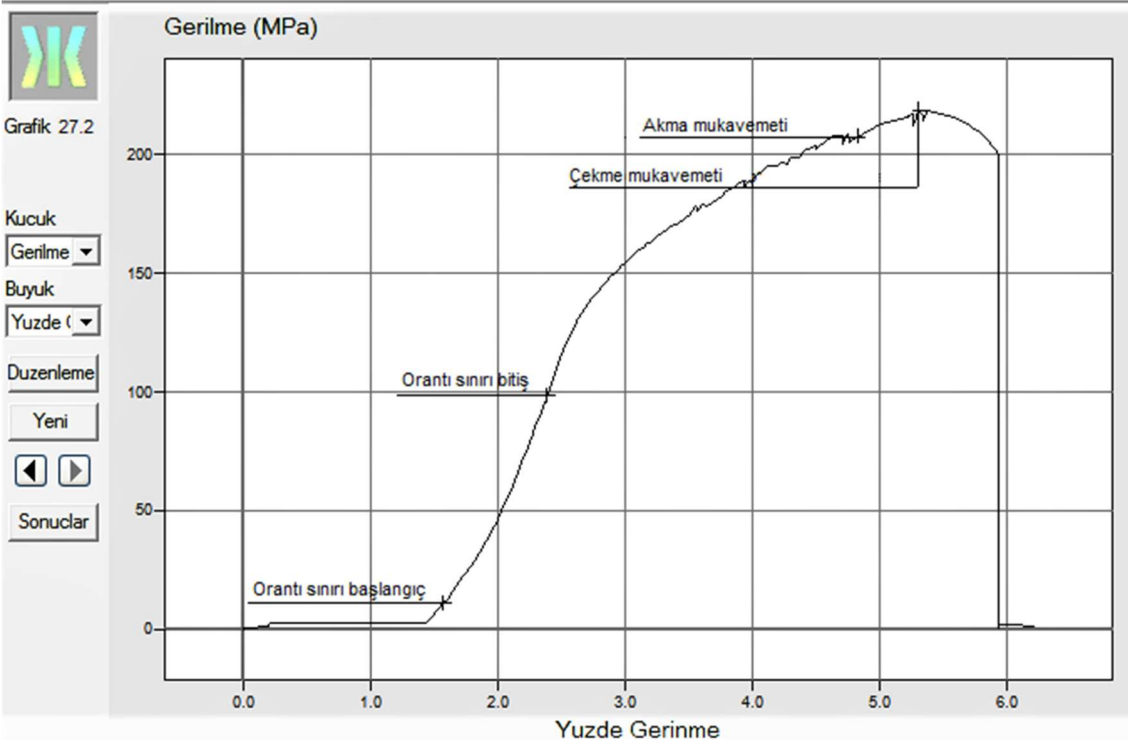
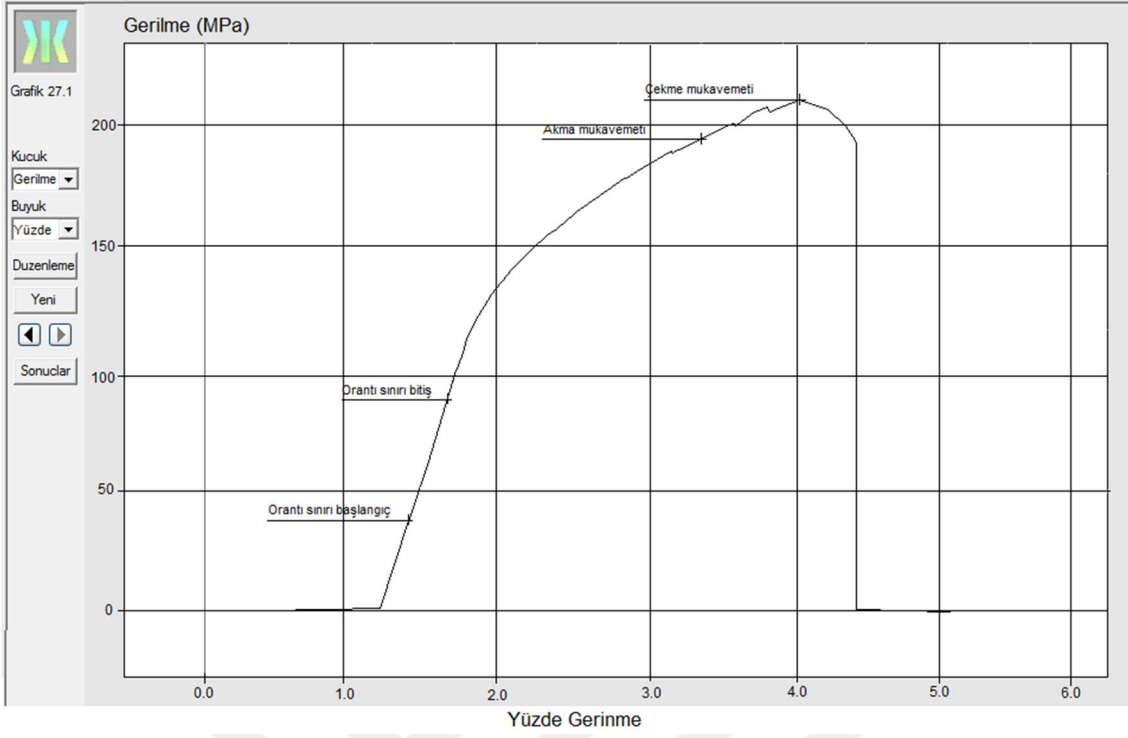




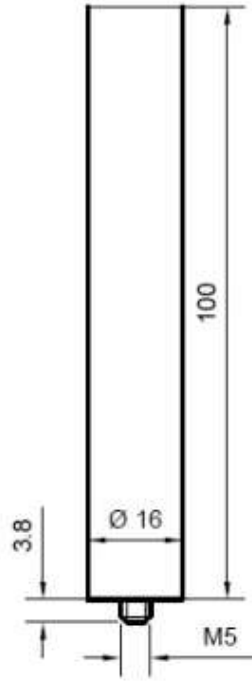






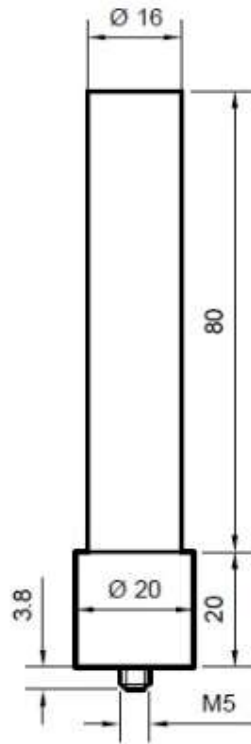


**Ek 6.** Sürtünme karıştırma kaynak takımları

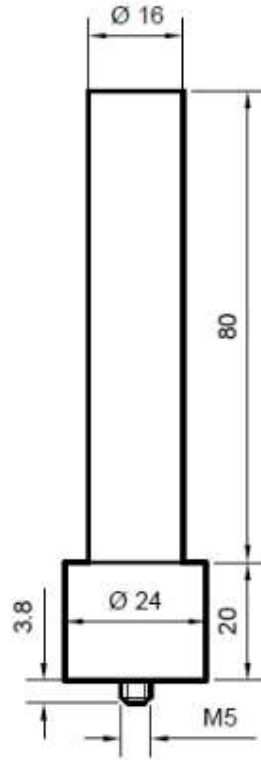


	Tarih	Ad	İmza	Sayı	Gereç	Tarsus Üniversitesi
Çizen	02.05.2017	Ş. Öcalır			H13 T. Çel. (HRC48)	Lisansüstü Eğitim
Kontrol						Enstitüsü İmlat Müh. ABD
	Ø16 Omuz Çaplı M5 Uçlu Takım(2 adet)					Numara
						1



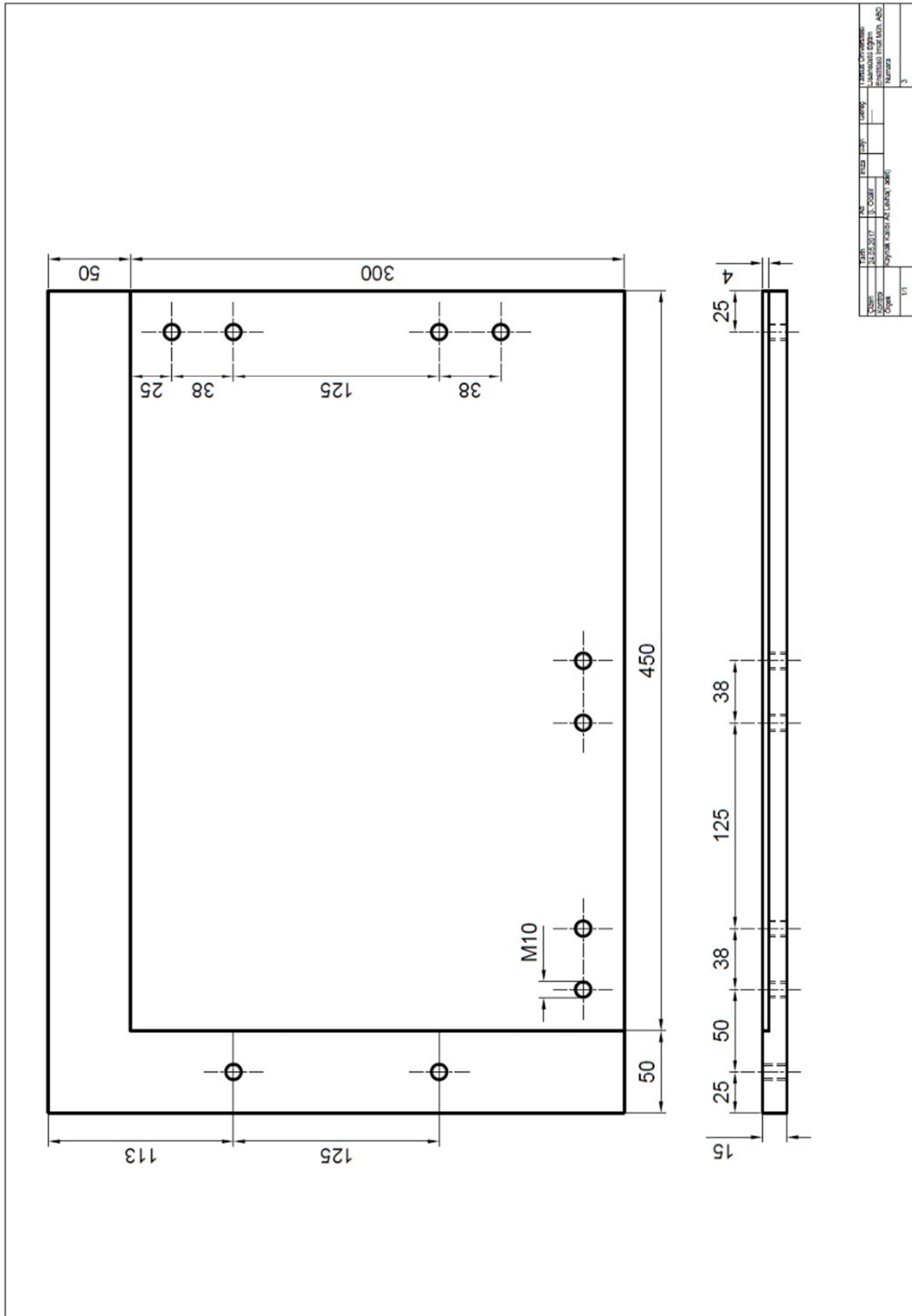


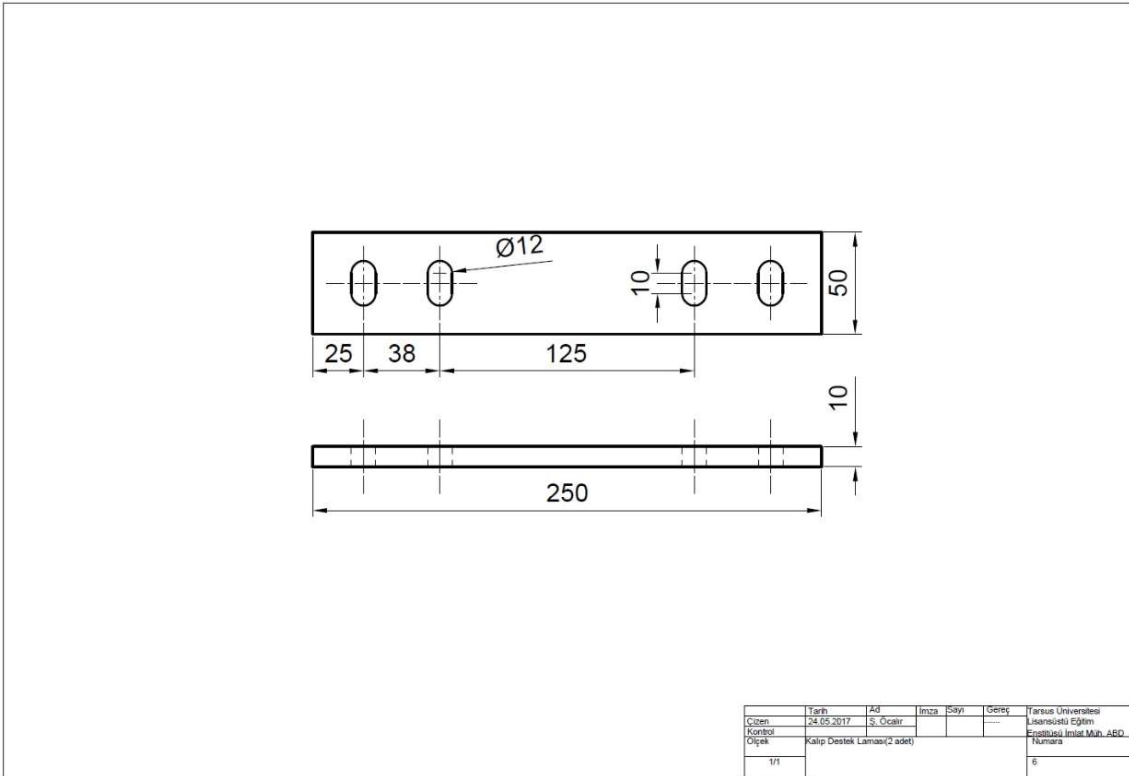
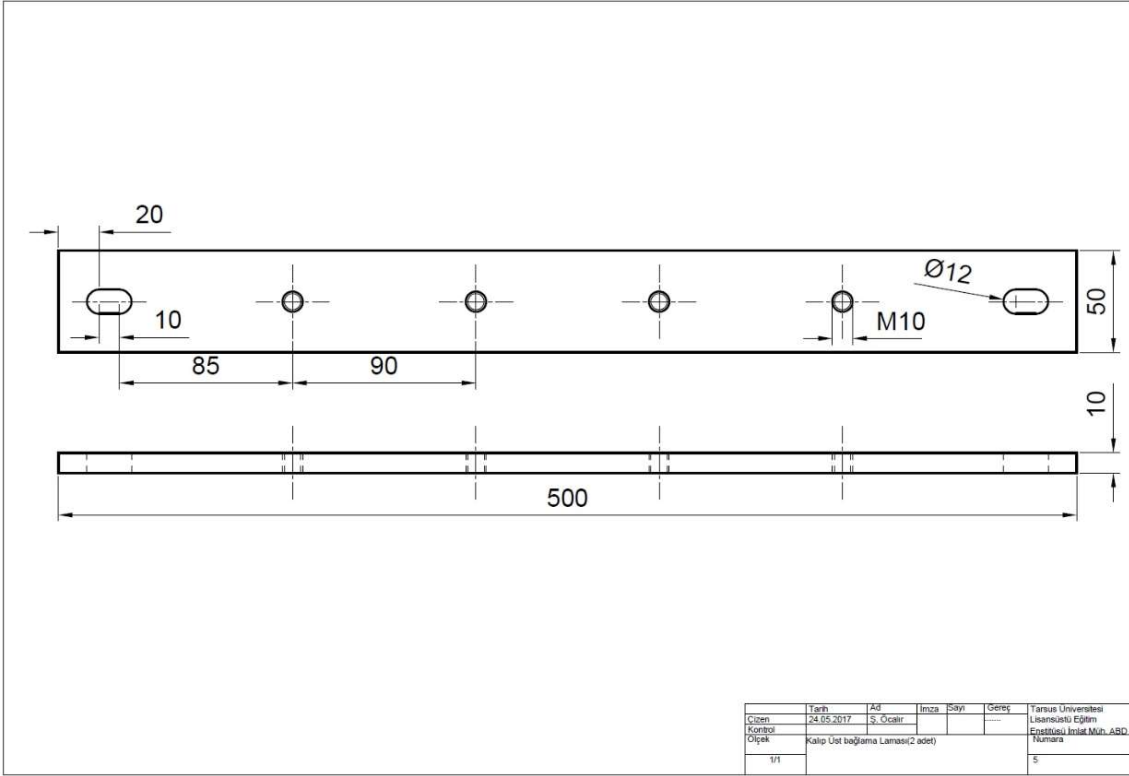
	Tarih	Ad	İmza	Sayı	Gereç	Tarsus Üniversitesi
Çizen	02.05.2017	Ş. Öcalır			H13 T. Çel.	Lisansüstü Eğitim
Kontrol					(HRC48)	Enstitüsü İmlat Müh. ABD
Ölçek	Ø20 Omuz Çaplı M5 Uçlu Takım(2 adet)					Numara
1/1						2



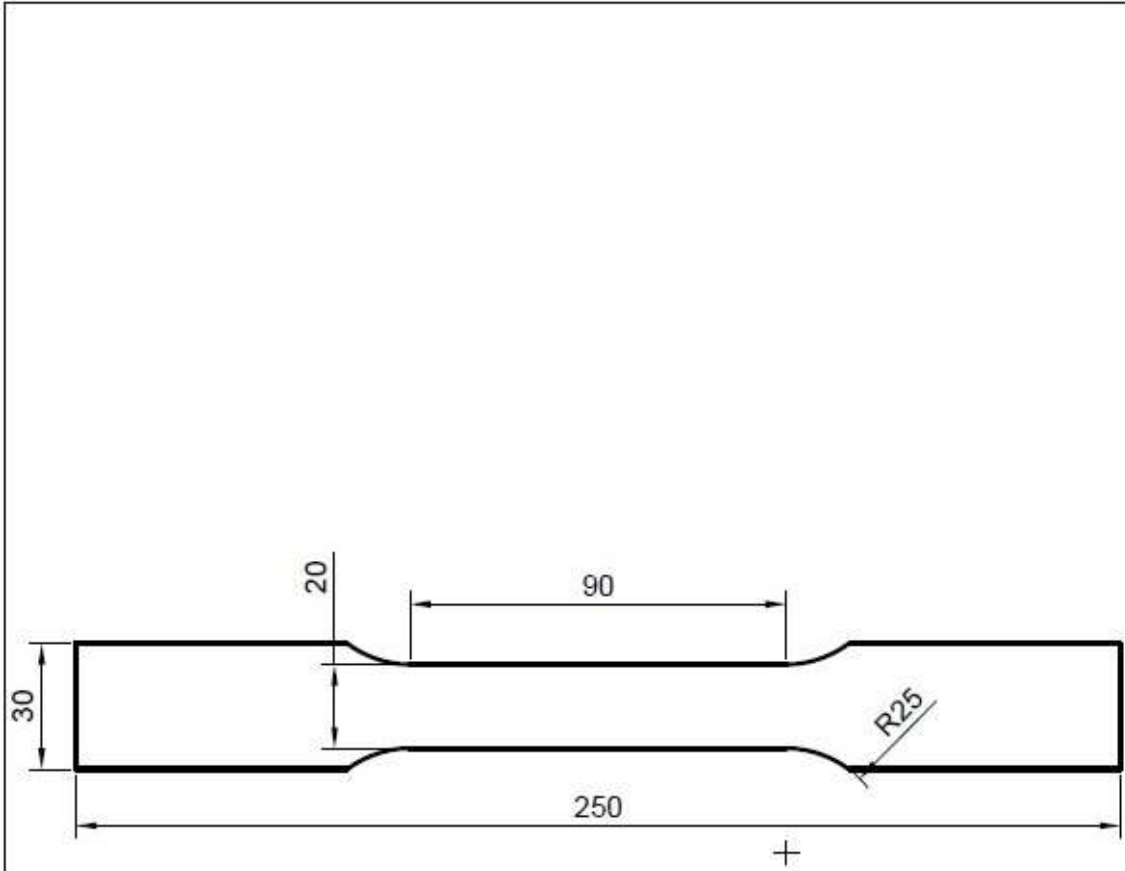
	Tarih	Ad	İmza	Sayı	Gereç	Tarsus Üniversitesi
Çizen	02.05.2017	Ş. Öcalır			H13 T. Çel. (HRC48)	Lisansüstü Eğitim
Kontrol						Enstitüsü İmlat Müh. ABD
Ölçek	Ø24 Omuz Çaplı M5 Uçlu Takım(2 adet)					Numara
1/1						3

**Ek 7. Sürtünme karıştırma kaynak kalıbı**



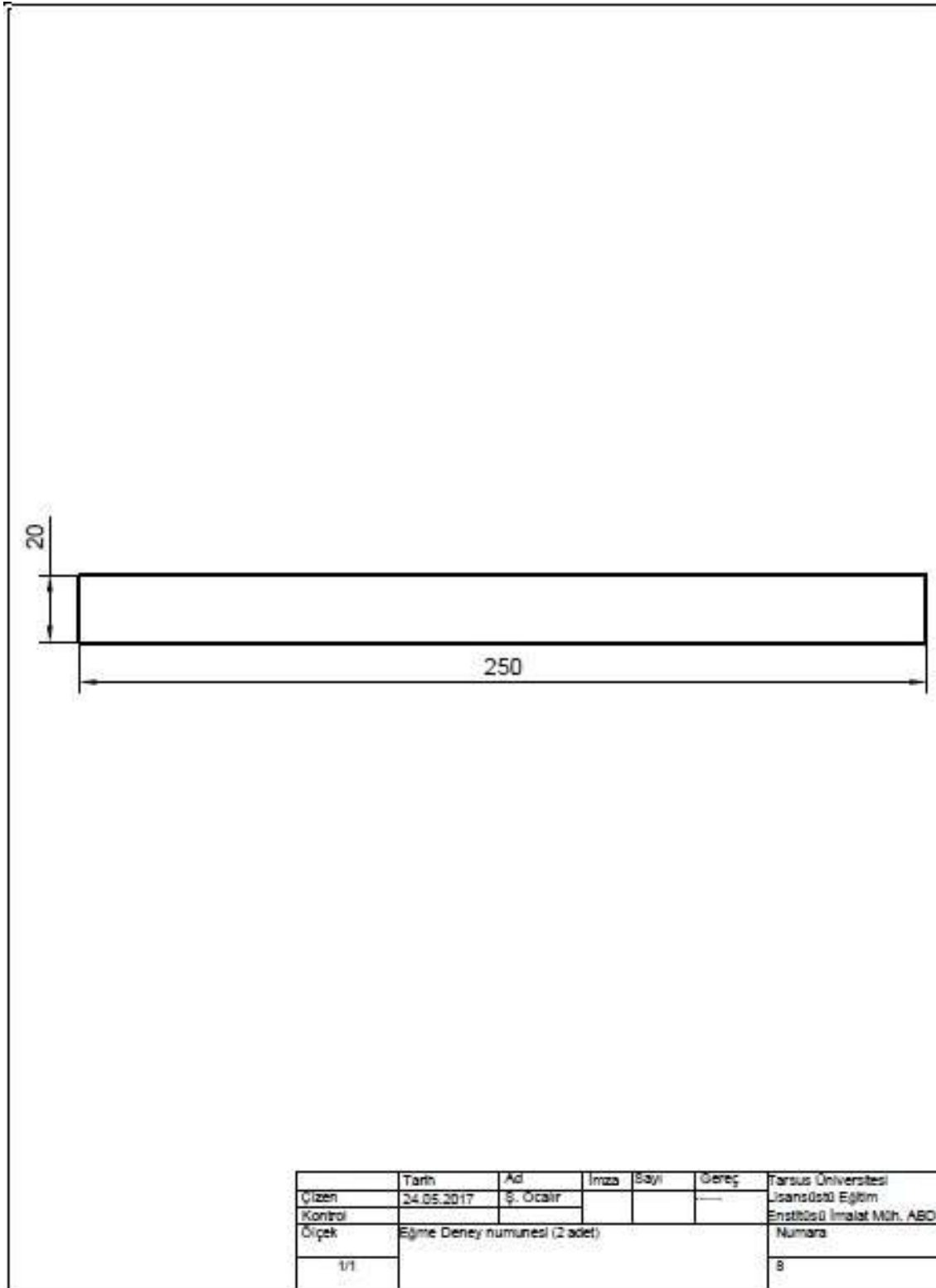


Ek 8. Çekme deneyi numune boyutları



	Tarih	Ad	İmza	Sayı	Gereç	Tarsus Üniversitesi
Çizen	24.05.2017	S. Ocalır			.....	Lisansüstü Eğitim
Kontrol						Enstitüsü İmalat Müh. ABD
Ölçek	Çekme Deney numunesi (2 adet)					Numara
1/1						7

**Ek 9.** Eğme deneyi numune boyutları



## ÖZGEÇMİŞ

**Adı ve Soyadı** : Şeref ÖCALIR

**Doğum Tarihi** : 27.09.1982

**E-posta** : serefocalir@gmail.com

**Öğrenim Durumu** :

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Yıl
Lisans	Makine Eğitimi	Mersin Üniversitesi	2002-2006
Yüksek Lisans	Makine Eğitimi	Mersin Üniversitesi	2006-2009
Doktora	İmalat Mühendisliği	Tarsus Üniversitesi	2013-Devam

**Görevler** :

Görev Ünvanı	Görev Yeri	Yıl
Araştırma Görevlisi	Tarsus Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü	2018-Devam
Araştırma Görevlisi	Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü	2013-2018
Uzman	Bozok Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü	2011-2013
Uzman	Bilecik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü	2010-2011
Araştırma Görevlisi	Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü	2007-2009

## ESERLER (Makaleler ve Bildiriler)

- Öcalır, Ş.,** Eşme, U., Külekci, M.K. (2019). *Sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilen farklı iki alüminyum alaşımının korozyon davranışı*. International Engineering and Natural Sciences Conference (IENSC 2019), Diyarbakır.
- Öcalır, Ş.,** Eşme, U., Külekci, M.K. (2019). *Kaynak parametrelerinin kaynak sünegliğine etkisi*. International Engineering and Natural Sciences Conference (IENSC 2019), Diyarbakır.
- Özgün, R., Köse, E., Mustafa Kemal Külekci, M.K., Eşme, **Öcalır, Ş.** (2018). Yüksek ısı ortamının otomat çeliklerinin yorulma ömrüne etkisinininelenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33 (1), 209-218.
- Dökme, F., Güven, O., Külekci, M.K., Eşme, U., **Öcalır, Ş.** (2017). Influence of geometric design variables on the efficiency of the high energy horizontal chromite type ball milling process. *Materials Testing*, 59(7-8), 689-695. <https://doi.org/10.3139/120.111058>.
- Kahraman, F., Eşme, U., Külekci, M.K., **Öcalır, Ş.** (2017). Abrasive wear and frictional behavior of polyoxymethylen. *Materials Testing*, 59 (10), 881-884. <https://doi.org/10.3139/120.111083>.
- Külekci, M.K., Eşme, U., Kahraman, F., **Öcalır, Ş.** (2016). Advanced hybrid welding and manufacturing technologies. *Materials Testing*, 58 (4), 362-370. <https://doi.org/10.3139/120.110858>.
- Eşme, U., Külekci, M.K., Üstün, D., Buldum, B.B., Kazançoğlu, Y., **Öcalır, Ş.** (2016). Modeling and optimization of CNC milling of AISI 1050 steel by a regression based differential evolution algorithm DEA. *Materials Testing*, 58 (7-8), 632-639. <https://doi.org/10.3139/120.110907>.
- Külekci, M.K., Eşme, U., **Öcalır, Ş.,** Üstün, D., Kazançoğlu, Y. (2016). Tensile shear strength and elongation of FSW parts predicted by taguchi based fuzzy logic. *Materials Testing*, 58 (4), 351-356. <https://doi.org/10.3139/120.110856>.
- Öcalır, Ş.,** Eşme, U., Külekci, M.K., Ekşi, A., K. (2016). *Sürtünme Karıştırma Esaslı İşleme Yöntemleri*, 4th International Conference On Welding Technologies and Exhibition (Icwet'16), (ss. 802-811), Gaziantep.
- Öcalır, Ş.,** Külekci, M.K (2016). *Skk ile yapılan AA1050 Al alaşımı birleştirmelerde optimum parametrelerin belirlenmesi*. 4th International Conference On Welding Technologies and Exhibition (Icwet'16), (ss. 877-886), Gaziantep.
- Öcalır, Ş.,** Eşme, U., Külekci, M.K. (2016). *Sürtünen Elemanla Alüminyum Esaslı Yüzey Kompozitlerinin Üretimi* 1st International Mediterranean Science and Engineering Congress (Imsec 2016), (ss. 1730-1738), Adana.

12. Gedikođlu, S.C., Külekci, M.K., EŞme, U., **calır, Ő.** (2016). Nitrasyon ile sertleŐtirme işleminin AISI 4140 elikleri üzerindeki mekanik ve tribolojik özelliklerine etkisinin araştırılması. 1st International Mediterranean Science and Engineering Congress (Imsec 2016), (ss. 1848-1852), Adana.
13. **calır, Ő.**, Külekci, M.K. (2009). *Magnezyumun kendi alaşımları ve diğer hafif metal alaşımları ile kaynak edilebilirliği*. Kaynak Teknolojisi VII. Ulusal Kongre ve Sergisi, (ss.315-324) Ankara.

