

**T.C.**  
**BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**BEYAZ EŞYA SANAYİNDE KULLANILAN PASLANMAZ  
METAL SAÇLARDA DİRENÇ NOKTA KAYNAK  
KALİTESİNİN ARTTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ALİ GÜRAY ERTEM**

**BOLU, TEMMUZ - 2019**

**T.C.**  
**BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**BEYAZ EŞYA SANAYİNDE KULLANILAN PASLANMAZ**  
**METAL SAÇLARDA DİRENÇ NOKTA KAYNAK**  
**KALİTESİNİN ARTTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ALİ GÜRAY ERTEM**

**BOLU, TEMMUZ - 2019**

## KABUL VE ONAY SAYFASI

Ali Güray ERTEM tarafından hazırlanan “Beyaz Eşya Sanayiinde Kullanılan Paslanmaz Metal Saclarda Direnç Nokta Kaynak Kalitesinin Arttırılması” adlı tez çalışması Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda 4.07.2019 tarihinde savunularak Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

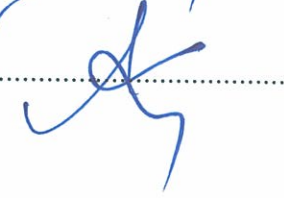
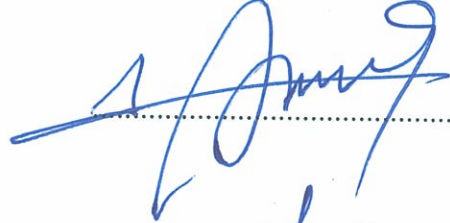
### Jüri Üyeleri

Danışman  
Prof. Dr. Yahya ALTUNPAK  
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

Üye  
Prof. Dr. Vahdet UÇAR  
Sakarya Üniversitesi

Üye  
Doç. Dr. Ahmet KESKİN  
Abant İzzet Baysal Üniversitesi

İmza



Prof. Dr. Ömer ÖZYURT

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

**Aileme ve sevdiklerime,**

## ETİK BEYAN

Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

**Ali Güray ERTEM**



## ÖZET

**BEYAZ EŞYA SANAYİNDE KULLANILAN PASLANMAZ METAL  
SACLARDA DİRENÇ NOKTA KAYNAK KALİTESİNİN  
ARTTIRILMASI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ALİ GÜRAY ERTEM  
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. YAHYA ALTUNPAK)  
BOLU, TEMMUZ - 2019**

Bu çalışmada, 0,6 mm kalınlığa sahip, beyaz eşya sanayiinde kullanılan AISI 304 kalite östenitik paslanmaz çelik saclar, iki farklı elektrot malzemesi ve üç farklı kaynak parametresi (zaman, akım ve elektrot kuvveti) kullanılarak direnç nokta kaynağı ile birleştirilmiştir. Kaynak bağlantılarının mikrosertlik ve çekme dayanım değerleri ölçülmüş ve ayrıca kaynak çekirdeklerinin makro ve mikroyapı incelemeleri yapılmıştır. Kaynak çalışmalarında 20 kVA kapasiteli, programlanabilir bir lojik kontrolör (PLC) tarafından kontrol edilen 50 Hz'de çalışan bir zamanlayıcı ve akım kontrollü direnç spot kaynağı (RSW) makinesi kullanılmıştır. Kaynaklarda 6 mm çapında ve 45° kesik koni uçlara sahip CuCo<sub>2</sub>Be ve CuCrZr elektrotları kullanılarak yapılmıştır. Kaynaklar soğutmasız ve soğutmalı koşullar altında yapılmıştır. Kaynaklanmış numunelerin çekirdek morfolojisi ve mikroyapı incelemeleri optik mikroskopta incelenmiştir. Vickers mikrosertlik testleri 10 saniyede 100 g yük altında yapılmıştır. Çekme testi numuneleri, ASTM: E8M'ye göre hazırlanmış ve universal bir test cihazında maksimum çekme yükleri ölçülmüştür.

Farklı elektrot ve soğuma şartları kullanılarak yapılan kaynak çalışmalarında maksimum çekme dayanımını veren kaynak parametreleri belirlenmiştir. Maksimum çekme yükü değerini veren kaynak parametreleri CuCrZr için 5,4 kA, 10 çevrim ve 2 bar elektrot baskı kuvveti iken CuCo<sub>2</sub>Be için ise 5,4 kA, 15 çevrim ve 4 bar elektrot baskı kuvvetidir. Soğutma sistemi kullanmak CuCrZr elektrodu kullanılarak yapılan kaynak çalışmalarında çekme dayanımını arttırırken CuCo<sub>2</sub>Be elektrodu kullanılarak yapılan kaynak çalışmalarında ise düşürmüştür. Kaynaklı bağlantılarda genellikle kaynak akımı ve kaynak zamanı değerlerinin arttırılması kaynak çekirdek çaplarını ve dolayısıyla çekme dayanımlarını arttırmıştır.

**ANAHTAR KELİMELER:** Direnç nokta kaynağı, CuCrZr elektrot, CuCo<sub>2</sub>Be elektrot, Östenitik paslanmaz çelik

## **ABSTRACT**

### **INCREASING RESISTANCE SPOT WELDING QUALITY IN STAINLESS STEEL USED IN WHITE GOODS INDUSTRY**

**MSC THESIS**

**ALİ GÜRAY ERTEM**

**BOLU ABANT IZZET BAYSAL UNIVERSITY GRADUATE SCHOOL OF  
NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

**DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING**

**(SUPERVISOR: PROF. DR. YAHYA ALTUNPAK**

**BOLU, JULY 2019**

In this study, AISI 304 quality austenitic stainless steel sheets (ASS) used in the white goods industry with a thickness of 0,6 mm were combined with resistance spot welding using two different electrode materials and three different welding parameters (time, current and electrode force). The microhardness and tensile strength values of the welded joints were measured and also the macro and microstructure investigations of the weld cores were made. A 20 kVA capacity programmable logic controller (PLC), a timer that works 50 Hz and current controlled resistance spot welding machine (RSW) were used for welding. Welds are made using CuCo<sub>2</sub>Be and CuCrZr electrodes with 6 mm diameter and 45° cut cone tips. Welds were made under uncooled and cooled conditions. Core morphology and microstructure examinations of welded samples were examined under an optical microscope. Vickers microhardness tests were performed under 100 g load in 10 seconds. Tensile test samples were prepared according to ASTM: E8M and maximum tensile loads were measured on a universal tester.

Weld parameters that give maximum tensile strength were determined in different electrode and cooling conditions. The welding parameters that give the maximum tensile load value are 5.4 kA, 10 cycles and 2 bar electrode compression force for CuCrZr; 5.4 kA, 15 cycles and 4 bar electrode compression force for CuCo<sub>2</sub>Be. Using the cooling system increased the tensile strength in the welding studies using the CuCrZr electrode and decreased in the welding studies using the CuCo<sub>2</sub>Be electrode. Increasing welding current and welding time values in welded joints mostly increased weld core diameters and tensile strengths.

**KEYWORDS:** Resistance spot welding (RSW), Austenitic stainless steel (ASS), CuCrZr electrode, CuCo<sub>2</sub>Be electrode

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

ÖZET.....	v
ABSTRACT .....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xii
KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ .....	xiii
TEŞEKKÜR .....	xiv
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK TEKNOLOJİSİ.....</b>	<b>6</b>
2.1 Kaynağın Tanımı .....	6
<b>3. ELEKTRİK DİRENÇ KAYNAĞI.....</b>	<b>8</b>
3.1 Dikiş Kaynağı Yöntemi .....	8
3.2 Alın Kaynağı Yöntemi .....	9
3.3 Yüksek Frekanslı Direnç Kaynağı Yöntemi .....	9
3.4 Direnç Nokta Kaynağı Yöntemi.....	10
<b>4. ELEKTRİK DİRENÇ NOKTA KAYNAĞI.....</b>	<b>11</b>
4.1 Direnç Nokta Kaynağında Isı Enerjisi Oluşumu .....	12
4.2 Kaynak Çevrimi .....	13
4.2.1 Sıkma Zamanı .....	14
4.2.2 Kaynak Zamanı .....	14
4.2.3 Tutma Zamanı .....	14
4.2.4 Ölü Zaman.....	14
4.3 Direnç Nokta Kaynağı Parametreleri .....	15
4.3.1 Kaynak Akımı .....	15
4.3.2 Kaynak Zamanı .....	15
4.3.3 Elektrot Kuvveti .....	15
4.4 Kaynak Kalitesini Etkiyen Durumlar .....	16
4.4.1 Yüzey Durumu .....	16
4.4.2 Metal Bileşiminin Etkisi .....	16
4.5 Elektrik Direnç Nokta Kaynağı Elektrotları .....	17
4.5.1 Elektrot Geometrisi .....	18
4.5.2 Elektrot Malzemesi .....	18
4.6 Elektrot ve İş Parçasının Temas Durumları.....	20
4.7 Kaynaklı Noktalar Arasındaki Mesafenin Etkisi.....	21
4.8 Kaynak Basıncının Etkisi .....	21
4.9 Direnç Nokta Kaynağı Kalitesi .....	22
<b>5. PASLANMAZ ÇELİKLER.....</b>	<b>23</b>
5.1 Ferritik Çelikler .....	25
5.2 Martenzitik Paslanmaz Çelikler .....	25



5.3	Östenitik Paslanmaz Çelikler .....	26
5.3.1	Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynaklanabilirliği .....	27
5.4	Çift Fazlı Paslanmaz Çelikler .....	27
5.5.	Çökme ile Sertleşen Paslanmaz Çelikler .....	27
<b>6.</b>	<b>MATERYAL VE YÖNTEM .....</b>	<b>28</b>
<b>7.</b>	<b>BULGULAR VE TARTIŞMA .....</b>	<b>33</b>
7.1	Mikroyapı ve Mikrosertlik Çalışmaları .....	33
7.2	Mekanik Özellikler .....	39
<b>8.</b>	<b>SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>60</b>
<b>9.</b>	<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>62</b>
<b>10.</b>	<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>66</b>



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 3.1. Disk Elektrot Tarafından Üretilen Farklı Dikiş Türleri .....	8
Şekil 3.2. Yakma Alın Kaynağı. ....	9
Şekil 3.3. Yüksek Frekans Direnç Kaynağı. ....	9
Şekil 3.4. Direnç Nokta Kaynağı Temel Bileşenleri ve Kaynak Yapılış Şekli ....	10
Şekil 4.1. Direnç Nokta Kaynağındaki Direnç ve Sıcaklık Dağılımı .....	11
Şekil 4.2. Direnç Nokta Kaynağında Oluşan Dirençler .....	13
Şekil 4.3. Nokta Kaynağı İçin Kaynak Döngüsünün Gösterimi .....	14
Şekil 4.4. Direnç Nokta Kaynağı Elektrot Geometripleri.....	18
Şekil 4.5. Elektrodun Temas Durumuna Göre Oluşan Kaynak Çekirdekleri. ....	21
Şekil 5.1. Paslanmaz Çelik Türlerinin İç Yapıları .....	23
Şekil 5.2. Paslanmaz Çelik Türleri İçin Krom ve Nikel Miktarları. ....	25
Şekil 5.3. Östenitik Paslanmaz Çelik Mikroyapısı .....	26
Şekil 6.1. Kaynak Çalışmalarında Kullanılan Geleneksel Nokta Kaynak Makinesi. ....	29
Şekil 6.2. Kalıp Aparatı. ....	29
Şekil 6.3. Leica Marka Optik Mikroskop .....	30
Şekil 6.4. HVM Marka Sertlik Test Cihazı.....	31
Şekil 6.5. Çekme Test Cihazı.....	32
Şekil 7.1. (a) CuCrZr Elektrotlar Kullanılarak Direnç Nokta Kaynağı Yapılmış AISI 304 Östenitik Paslanmaz Çeliğin Kaynak Bölgesi Tipik Makroyapısı (b) Füzyon Bölgesindeki Mikroyapı Gradyantı (3.4 kA, 5 Çevrim). ....	34
Şekil 7.2. (a) CuCo <sub>2</sub> Be Elektrotlar Kullanılarak Direnç Nokta kaynağı Yapılmış AISI 304 Östenitik Paslanmaz Çeliğin Kaynak Bölgesi Tipik Makroyapısı (b) Füzyon Bölgesindeki Mikroyapı Gradyantı (5.4 kA, 15 Çevrim). ....	35
Şekil 7.3. (a) Su Soğutmalı CuCo <sub>2</sub> Be Elektrotlar Kullanılarak Direnç Nokta Kaynağı Yapılmış AISI 304 Östenitik Paslanmaz Çeliğin Kaynak Bölgesi Tipik Makroyapısı (b) Füzyon Bölgesindeki Mikroyapı Gradyantı (5,4 kA, 15 Çevrim). ....	36
Şekil 7.4. CuCoBe Elektroduyla 5,4 kA Akım, 15 Çevrim Kaynak Zamanı ve 4 Bar Elektrot Kuvvetinde Yapılan Soğutmasız Kaynaklı Numunenin Vickers Mikrosertlik Profili. ....	37
Şekil 7.5. CuCrZr Elektroduyla Soğutmalı Olarak 5,4 kA Akım, 15 Çevrim ve 3 Bar Elektrot Kuvvetiyle Yapılmış Direnç Nokta Kaynağı Vickers Mikrosertlik Profili. ....	37
Şekil 7.6. CuCrZr Elektroduyla Soğutmasız Ortamda 5,4 kA Akımda, 15 Çevrim Zamanda ve 2 Bar Elektrot Kuvvetiyle Yapılmış Direnç Nokta Kaynağı Vickers Mikrosertlik Profili. ....	38
Şekil 7.7. CuCoBe Elektroduyla 5,4 kA Kaynak Akımında, 15 Çevrim Kaynak Zamanı ve 2 Bar Elektrot Baskı Kuvvetiyle Yapılan Soğutmalı Kaynak Numunesinin Vickers Mikrosertlik Profili.....	38

<b>Şekil 7.8.</b> CuCrZr Elektrot Kullanılarak 5 Çevrim (a), 10 Çevrim (b), 15 Çevrimde (c) Yapılmış Soğutmasız Kaynaklı Numunelerin 2, 3, 4 Bar Elektrot Kuvvetinde Çekme Dayanımı Üzerine Kaynak Akımının Etkisi.....	40
<b>Şekil 7.9.</b> CuCrZr Elektrot Kullanılarak 5 Çevrim (a), 10 Çevrim (b), 15 (c) Çevrimde Yapılmış Soğutmalı Kaynaklı Numunelerin 2, 3, 4 Bar Elektrot Kuvvetinde Çekme Dayanımı Üzerine Kaynak Akımının Etkisi.....	42
<b>Şekil 7.10.</b> CuCoBe Elektrot Kullanılarak 5 Çevrim (a), 10 Çevrim (b), 15 Çevrimde (c) Yapılmış Soğutmasız Kaynaklı Numunelerin 2, 3, 4 Bar Elektrot Kuvvetinde Çekme Dayanımı Üzerine Kaynak Akımının Etkisi.....	43
<b>Şekil 7.11.</b> CuCoBe Elektrot Kullanılarak 5 Çevrim (a), 10 Çevrim (b), 15 Çevrimde (c) Yapılmış Soğutmalı Kaynaklı Numunelerin 2, 3, 4 Bar Elektrot Kuvvetinde Çekme Dayanımı Üzerine Kaynak Akımının Etkisi.....	45
<b>Şekil 7.12.</b> CuCrZr Elektrodu Kullanılarak 2 Bar Sabit Elektrot Kuvvetinde 5(a), 10(b), 15(c) Çevrimde Yapılan Soğutmasız Kaynaklı Numuneler Üzerine Kaynak Akımının Etkisi.....	46
<b>Şekil 7.13.</b> CuCrZr Elektrodu Kullanılarak, 5,4 kA Akım ve 2 Bar Sabit Elektrot Kuvvetinde Yapılan Soğutmasız Kaynaklı Numuneler (5 (sol), 10 (orta), 15 (sağ) Çevrim).....	46
<b>Şekil 7.14.</b> CuCrZr Elektrodu Kullanılarak 2 Bar Sabit Elektrot Kuvvetinde 5 (a), 10 (b), 15 (c) Çevrimde Yapılan Soğutmalı Numuneler Üzerine Kaynak Akımının Etkisi.....	48
<b>Şekil 7.15.</b> CuCrZr Elektrodu Kullanılarak, 5,4 kA Akım ve 2 Bar Sabit Elektrot Kuvvetinde 5 (solda), 10 (ortada), 15 (sağda) Çevrimde Yapılan Soğutmalı Kaynaklı Numunelerin Çekirdek Görünümü. ....	48
<b>Şekil 7.16.</b> CuCoBe Elektrodu Kullanılarak 4 Bar Sabit Elektrot Kuvvetinde 5(a), 10(b), 15(c) Çevrimde Yapılan Soğutmasız Kaynaklı Numuneler Üzerine Kaynak Akımının Etkisi.....	49
<b>Şekil 7.17.</b> CuCoBe Elektrodu Kullanılarak, 5,4 kA Akım ve 4 Bar Sabit Elektrot Kuvvetinde 5(solda), 10(ortada), 15(sağda) Çevrimde Yapılan Soğutmasız Kaynaklı Numunelerin Çekirdek Görünümü.....	49
<b>Şekil 7.18.</b> CuCoBe Elektrodu Kullanılarak 4 Bar Sabit Elektrot Kuvvetinde 5(a), 10(b), 15(c) Çevrimde Yapılan Soğutmalı Kaynaklı Numuneler Üzerine Kaynak Akımının Etkisi.....	51
<b>Şekil 7.19.</b> CuCoBe Elektrodu Kullanılarak, 5,4 kA Akım ve 4 Bar Sabit Elektrot Kuvvetinde 5(solda), 10(ortada), 15(sağda) Çevrimde Yapılan Soğutmalı Kaynaklı Numunelerin Çekirdek Görünümü.....	51
<b>Şekil 7.20.</b> CuCoBe ve CuCrZr Elektrotları ile Yapılmış Soğutmalı ve Soğutmasız Ortamlarda 4 Bar Elektrot Kuvvetinde 15 Çevrim Kaynak Zamanında Kaynak Akımının Artışına Bağlı Olarak Maksimum Çekme Yükündeki Değişimler.....	52
<b>Şekil 7.21.</b> CuCrZr Elektrodu Kullanılarak Soğutmasız, 15 Çevrim ve 4 Bar Elektrot Baskı Kuvvetinde Artan Kaynak Akımındaki Çekirdek Görünümleri (sol 3,4 kA, orta 4,4 kA, sağ 5,4 kA).....	52

<b>Şekil 7.22.</b> CuCrZr Elektrodu Kullanılarak 2 Bar Sabit Elektrot Kuvvetinde 3,4(a), 4,4(b), 5,4(c) kA Kaynak Akımında Yapılan Soğutmasız Kaynaklı Numuneler Üzerine Kaynak Zamanının Etkisi. ....	53
<b>Şekil 7.23.</b> CuCrZr Elektrodu Kullanılarak, 10 Çevrim Kaynak Zamanı ve 2 Bar Sabit Elektrot Kuvvetinde 3,4(solda), 4,4(ortada), 5,4(sağda) kA Kaynak Akımında Yapılan Soğutmasız Kaynaklı Numunelerin Kaynak Çekirdeğinin Görünümü. ....	53
<b>Şekil 7.24.</b> CuCrZr Elektrodu Kullanılarak 2 Bar Sabit Elektrot Kuvvetinde 3,4(a), 4,4(b), 5,4(c) kA Kaynak Akımında Yapılan Soğutmalı Kaynaklı Numuneler Üzerine Kaynak Zamanının Etkisi. ....	54
<b>Şekil 7.25.</b> CuCrZr Elektrodu Kullanılarak, 5,4 kA Kaynak Akımı ve 2 Bar Sabit Elektrot Kuvvetinde 5(solda), 10(ortada), 15(sağda) Çevrim Kaynak Zamanında Yapılan Soğutmalı Kaynaklı Numunelerin Kaynak Çekirdeğinin Görünümü. ....	55
<b>Şekil 7.26.</b> CuCoBe Elektrodu Kullanılarak 4 Bar Sabit Elektrot Kuvvetinde 3,4(a), 4,4(b), 5,4(c) kA Kaynak Akımında Yapılan Soğutmasız Kaynaklı Numuneler Üzerine Kaynak Zamanının Etkisi. ....	56
<b>Şekil 7.27.</b> CuCoBe Elektrodu Kullanılarak, 15 Çevrim Kaynak Zamanı ve 4 Bar Sabit Elektrot Kuvvetinde 3,4(solda), 4,4(ortada), 5,4(sağda) kA Kaynak Akımında Yapılan Soğutmasız Kaynaklı Numunelerin Kaynak Çekirdeğinin Görünümü. ....	56
<b>Şekil 7.28.</b> CuCoBe Elektrodu Kullanılarak 4 Bar Sabit Elektrot Kuvvetinde 3,4 (a), 4,4 (b), 5,4 (c) kA Kaynak Akımında Yapılan Soğutmalı Kaynaklı Numuneler Üzerine Kaynak Zamanının Etkisi. ....	57
<b>Şekil 7.29.</b> CuCoBe ve CuCrZr Elektrotları ile Yapılan Soğutmalı ve Soğutmasız Kaynaklı Numunelerin 4 Bar Elektrot Kuvvetinde 5,4 kA Kaynak Akımında Kaynak Zamanının Artışına Bağlı Olarak Maksimum Çekme Yükündeki Değişimler. ....	58
<b>Şekil 7.30.</b> CuCrZr Elektrodu Kullanılarak Soğutmasız, 5,4 kA Kaynak Akımı ve 4 Bar Elektrot Baskı Kuvvetinde Artan Kaynak Çevriminde Çekirdek Görünümleri ( 5(solda), 10(ortada), 15(sağda) Çevrim ). ....	58

# ÇİZELGE LİSTESİ

## Sayfa

<b>Çizelge 4.1.</b> Elektrot Malzemeleri Özellikleri ve Uygulamaları. ....	19
<b>Çizelge 4.2.</b> Elektrot Ömrünü Etkileyen Faktörlerin Etkime Durumları. ....	20
<b>Çizelge 5.1.</b> Paslanmaz Çeliklerin AISI Standardına Göre Gösterim Şekli . ....	24
<b>Çizelge 5.2.</b> Paslanmaz Çelik Gruplarına Ait Fiziksel Özellikler. ....	24
<b>Çizelge 6.1.</b> Deneylerde Kullanılan AISI 304 Östenitik Paslanmaz Çeliğin Kimyasal Kompozisyonu ve Mekanik Özellikleri. ....	28
<b>Çizelge 6.2.</b> Elektrot Malzemelerinin Spektral Analizi. ....	28



## KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ

<b>Q</b>	: Kaynak ısısı
<b>I</b>	: Kaynak akımı
<b>R</b>	: Kaynak bölgesi toplam direnci
<b>R<sub>m</sub></b>	: Kullanılan malzemelerin direnci
<b>RSW</b>	: Resistance Spot Welding
<b>R<sub>t</sub></b>	: Temas dirençleri
<b>s</b>	: Levha kalınlığı
<b>D</b>	: Kaynak çekirdek çapı
<b>F</b>	: Elektrot kuvveti
<b>t</b>	: Süre
<b>R<sub>1</sub></b>	: Üst elektrot ile parça arasındaki temas direnci
<b>R<sub>2</sub></b>	: Üst parçanın malzeme direnci
<b>R<sub>3</sub></b>	: Üst parça ile alt parça arasındaki temas direnci
<b>R<sub>4</sub></b>	: Alt parçanın malzeme direnci
<b>R<sub>5</sub></b>	: Alt elektrot ile alt parça arasındaki temas direnci
<b>R<sub>6</sub></b>	: Üst elektrotun malzeme direnci
<b>R<sub>7</sub></b>	: Alt elektrotun malzeme direnci
<b>HFRW</b>	: High Frequency Resistance Welding
<b>RSEW</b>	: Resistance Seam Welding
<b>f</b>	: Darbe Frekansı
<b>Mn</b>	: Mangan
<b>Al</b>	: Alüminyum
<b>P</b>	: Fosfat
<b>S</b>	: Kükürt
<b>mm</b>	: Milimetre
<b>m/dk.</b>	: Metre/dakika
<b>lt/dk.</b>	: Litre/dakika
<b>FSS</b>	: Ferritik Paslanmaz Çelik
<b>PLC</b>	: Programlanabilir Lojik Denetleyici
<b>kVA</b>	: Kilovoltamper
<b>ITAB</b>	: Isının Tesiri Altındaki Bölge
<b>HAZ</b>	: Heat Affected Zone
<b>AISI304</b>	: Östenitik paslanmaz çelik sac (18 8 Cr Ni)
<b>TSE</b>	: Türk Standardı
<b>N</b>	: Newton
<b>kN</b>	: Kilo Newton
<b>MPa</b>	: Mega Pascal
<b>kA</b>	: Kilo Amper
<b>p</b>	: Periyot
<b>HV</b>	: Hardness Vickers
<b>AC</b>	: Alternatif Akım
<b>Hz</b>	: Hertz
<b>ZnNi</b>	: Çinko-Nikel

## TEŞEKKÜR

Tez çalıőmam sırasında kıymetli bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösterici ve destek olan değerli danışman hocam sayın Prof. Dr. Yahya Altunpak'a sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Çalıőmalarım sırasında bana yardım eden Fatih Civelek'e, tezin yazım aőamasında yardımını esirgemeyen değerli arkadaőım Fatih Koç'a ve destek olan tüm arkadaőlarıma teşekkür ederim.

Çalıőmalarım boyunca hem destek hem de yardımını aldığım Sevinç Gülen'e teşekkür ederim.

Çalıőmalarım boyunca desteğini hiç esirgemeyen sözlüm Merve Demirtaő'a, maddi manevi beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan babama, anneme ve kardeőlerime de sonsuz teőekkürler ederim.

# 1. GİRİŞ

Günümüzde konstrüksiyon imalatında en çok kullanılan imal yöntemlerinden birisi kaynaktır. Kaynak yöntemleri iki temel kategoriye ayrılır; ergitme kaynağı ve katı hal kaynağıdır. Ergitme kaynağında birleşme, dolgu metali kullanarak veya kullanmaksızın yapılabilir. Katı hal kaynağında ise basınç uygulayarak veya ısı girdisiyle kaynaklı birleşme şeklinde gerçekleşir (Groover, 2011). Basınç uygulayarak gerçekleşen yöntemlerin başında elektrik direnç nokta kaynağı gelir. Direnç nokta kaynağı sac metal birleştirme işleminde yaygın olarak kullanılan temiz, verimli bir kaynak işlemidir. Bu işlem termal, elektriksel ve mekanik etkileşimleri içerir.

Elektrot kuvveti, kaynak akımı ve kaynak zamanı direnç nokta kaynağının temel parametreleridir. Araştırmacılar, kaynak zamanını ve farklı kaynak atmosferlerinin AISI 304 paslanmaz çeliğin nokta kaynağında kaynaklanabilir olduğunun etkisini incelemiş, yapılan kaynakların mikroyapısı değerlendirilmiş, sertlik ve çekme dayanımlarına bakılmıştır. Kaynak işleminden önce kaynak zamanını ve deformasyon oranını bilerek kullanılan parametrelerin son mekanik özelliklerle ilgili olduğu saptanmıştır (Karcı vd., 2009). Yapılan bir diğer çalışmada direnç nokta kaynağından sonra kaynaklı numunelerin maksimum çekme dayanımları ve elektrot çapı incelenmiştir. Elektrik akımı, sac metal kalınlığı, kaynak zamanının ve malzeme türü numunelerin çekme dayanımını ve elektrot çapını etkilediği anlaşılmıştır (Habib vd., 2017).

Galvanize sac tüketimi fazla olan otomotiv sektöründe direnç nokta kaynağı en fazla uygulanan kaynak şeklidir. Araştırmacılar galvanize sacların direnç nokta kaynağında kaynak çekirdeğinin oluşumu ve kaynak esnasında kaynak çekirdeğindeki aşınmaları incelemiş, ısınan bakır elektrotların yüzeylerinde farklı pirinç tabakalarının oluştuğunu gözlemiştir. Sonuç olarak bu pirinç tabakalardan kaçınmak yani elektrot ömrünü uzatmak için aşırı galvanize tabaka kullanılmaması, nikel ve demir alaşımli galvanize sacların kullanılması, ZnNi tabakalı galvanize sacların kullanılması, tavlanmış galvanize sacların kullanılması, TiC kaplamalı galvanize sacların



kullanılması ve CuCr elektrodunun kullanılması gerektiği rapor edilmiştir (Fidaner vd., 2010).

Otomotiv sektöründe nokta kaynağının yaygın olarak kullanılmasının sebebi ise prosesin temiz ve çevreci bir proses olmasıdır. Bir otomobilde yaklaşık 3000 ile 6000 arası nokta kaynağı bulunmaktadır. Otomasyona uygunluğu ve dolgu metali kullanılmaması da otomotiv sanayiinde tercih sebebidir (Doruk vd., 2015).

Paslanmaz çelik sanayiinde yaygın olarak kullanılan 304L östenitik çeliğin direnç nokta kaynağında birincil kaynak parametrelerinin ısı girişi üzerindeki etkisi; kaynak üst akımı ve kaynak zamanı gibi, nokta kaynaklı malzemeler için yüzey görünümleri, kaynak çekirdek boyutu, kaynak içi süreksizlikleri, kaynak penetrasyonu, mukavemet ve süneklik özellikleri belirlenen çalışmada 304L paslanmaz çeliğin direnç nokta kaynağında farklı kaynak atmosferlerinin kaynak kalitesine etkisi incelenmiş ve 9 kA kaynak akımında optimum kaynak kalitesi elde edilmiştir (Özyürek, 2008).

Durgut ve Kaçar (2011)'in yaptığı çalışmada AISI 2205 dubleks paslanmaz çelik sacların nokta direnç kaynağı kalitesine kaynak zamanı ve akım şiddetinin etkisi araştırılmış bu amaçla kaynağın çekme dayanımına ve sertlik değerlerine bakılarak mikroyapısı incelenmiştir. Sonuç olarak bu mekanik özelliklerin mikroyapıyla ilgili olduğu, mekanik özelliklerin kaynak akım şiddetine ve kaynak zamanına bağlı olarak farklılık gösterdiği görülmüştür.

AISI 316L östenitik paslanmaz çelik ile yapılan bir kaynak çalışmasında ise, kaynak akımı ve kaynak zamanı parametrelerinin optimize edilmesine çalışılmıştır. Artan kaynak akımında kaynağın çekme dayanımında artış görüldüğü saptanmıştır. Kaynak bölgesinde tanelerin elektrot sıkıştırma yönüne paralel olarak sütun yapısı ile uzadığı bulunmuştur. Ayrıca HAZ bölgesinde taneciklerinin büyüklüğü baz metale kıyasla arttığı saptanmıştır. Kaynak çekirdeği ve HAZ bölgesinin sertliği baz metale göre düşük olduğu bulunmuştur. Araştırmacılar bunun sebebinin RSW işlemi sonrası oluşabilen tane büyümelerinden kaynaklandığını düşünmektedir ( Kianersi vd., 2014). AISI 316L ile yapılan bir diğer çalışmada, kaynak kalitesine kaynak zamanının, farklı kaynak atmosferlerinin ve kaynak soğutma koşullarının kaynak kalitesine etkisi

araştırılmıştır. Kaynaklı numunelerin son mekanik özelliklerinin, kaynak zamanı ve kaynak atmosferleri ile ilgili olduğu bulunmuştur. Araştırmacılar, kaynak dayanımının kaynak zamanına bağlı olarak artan ısı girdisinin de etkisiyle kaynak çekirdeğinin büyümesiyle arttığını bulmuşlardır (Kocabekir vd., 2008).

Östenitik 304 paslanmaz çelik saclarda uygulanan bir direnç nokta kaynağı çalışmasında kaynak çekirdek çapı ve kaynak akımı arasındaki ilişki araştırılmış, kaynak bölgesi boyunca sertlik dağılımı incelenmiş ve sonuçlarda artan kaynak akımında kaynak çekirdek çapının arttığı görülmüştür. Ayrıca kaynak akımının sertlik dağılımını etkilemediği rapor edilmiştir (Jamaludin ve Hisyam, 2007).

Çatalbaş vd. (2018) 304 paslanmaz çeliğin nokta kaynaklı numunesinin soğuma hızının etkisini araştırmış ve soğuma hızının hem kaynak bölgesi sertliği hem de kaynak mukavemetiyle arasında ilişki olduğunu görmüştür.

AISI 304 ve AISI 430 paslanmaz çeliklerin direnç nokta kaynağında yapılmış bir çalışmada kaynak akımının kaynak kabiliyetine etkisi araştırılmış ve sonuç olarak kaynak akımının arttığında hem kaynak çekirdek boyutunun arttığını hem de kaynak dayanımının arttığını bulmuşlardır. Her iki paslanmaz çelik için yapılmış kaynaklarda östenitik paslanmaz çelik tarafında çekirdek çapı daha büyük olduğu bulunmuştur (Bina vd., 2004). Aslanlar vd. (2008) yaptıkları çalışmada mikro alaşımlı saclarda farklı kaynak akımı periyotlarında kaynak süresinin kaynak çekme-kayma dayanımlarına etkisini araştırmış ve optimum kaynak sürelerini elde etmişlerdir.

Paslanmaz çelikler, sac metal üretimi özellikle otomotiv ve raylı otobüs imalatında, korozyon direnci ve daha iyi dayanım/ağırlık oranına sahip olması sebebiyle geniş çapta kullanılmaktadır (Subramanian ve Jabaraj, 2013). Östenitik paslanmaz çelikler dayanıklılıkları, korozyon direnci, mekanik işlenebilirliği, mükemmel elektriksel iletkenlikleri ve termal özellikleri nedeniyle endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılır (Shelly ve Sahota, 2017). Östenitik paslanmaz çelik (AISI 304) mükemmel korozyon direnci olduğundan dolayı önemli bir ticari alaşımdır. Diğer paslanmaz çelik türlerine göre dayanım, süneklik ve sertlik açısından daha avantajlıdır (Jamaludin ve Hisyam, 2007).

Son zamanlarda ülkemizde ve diğer ülkelerde daha kaliteli, müşteri odaklı iyi ve düşük maliyette ürünler üretme ihtiyacı ortaya çıktığından dolayı yeni tasarım ve imalat türlerine ağırlık vermek gerekmektedir. Üretim için seri bir şekilde kaliteli ürünler üretilmesi öncelikli konular arasına girmektedir.

Beyaz eşya sanayiinde sektörde birçok işletme olduğundan pazarda yer alabilmek için kaliteli ürünler üretmek esastır. Çoğu sanayi dalıyla birlikte çalışan beyaz eşya sanayisinde yüksek teknolojinin kullanılması, yüksek kalitede ve düşük maliyetli ürünler üretilmesi için yüksek maliyette yatırımlar yapılmaktadır. Örneğin beyaz eşya sanayisinde üretilen bir fırını düşündüğümüzde, kaliteli bir ürün elde etmek için tasarım ve seri imalatta fazla sayıda kaliteli personele ihtiyaç duyulmaktadır. Fırını oluşturan birçok parça bulunmaktadır. Bu parçaların üretiminde ve birleştirilmesinde birçok yöntem kullanılmaktadır. Bir ürünü dayanım açısından düşündüğümüzde kullanılan malzeme ve yöntem dayanım açısından önem arz etmektedir. Örnekte verdiğimiz fırının şasesinin üretilmesinde ağırlıklı olarak direnç nokta kaynağı kullanılmaktadır. Direnç nokta kaynağının maliyetinin düşük olması tercih edilmesinde önemli bir faktördür.

Günlük hayatta hayatımızı kolaylaştıran ürünler işlevsellik açısından önemli bir yere sahiptir. Beyaz eşya sanayiinde de bulunan ürünlerin gövde parçalarının birleştirilmesinde direnç nokta kaynağı kullanılmaktadır. Direnç nokta kaynağı ısı ve basıncın birlikte uygulanması sonucu elektrik enerjisinin ısı enerjisine dönüşmesi ve sac malzemelerin birleştirilmesinde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Çok ince sacların kaynatılmasında kullanılan bu yöntem, kaynak işleminde kullanılacak makine ekipmanları ve parametrelerin kaynak işlemine uygun olarak seçilmesini, ısının kaynağa uygun bölgede oluşmasını ve kaliteli bir kaynak işleminin gerçekleşmesini sağlar. Dayanım açısından da kaynağın istenen mukavemet değeri, uygun kaynak parametreleri ve malzeme seçimiyle bulunmaktadır.

Literatür incelendiğinde farklı çelikler ve paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyeti üzerine birçok çalışma bulunmaktadır. Kaynak kalitesine etki eden birçok parametre bulunmaktadır. Bu parametreler kaynak işleminde kullanılırken zorluklarla karşılaşmaktadır. Paslanmaz çeliklerin direnç nokta kaynağında kullanılan kaynak parametrelerinin uygunluğu kaynak kabiliyeti ve kalitesine doğrudan etki etmektedir.

Bu sebeple, bu çalışmada farklı kaynak parametrelerinin, soğutma ve elektrot malzemesi tipinin 0,6 mm'lik östenitik paslanmaz çeliklerin direnç nokta kaynak kalitesine ve mukavemetine etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu çalışmanın başta östenitik paslanmaz çeliklerin kullanıldığı beyaz eşya sanayii olmak üzere, diğer ilgili mühendislik uygulamalarında da faydalı olacağı düşünülmektedir. Ayrıca, daha farklı sac malzemeleri ve elektrot malzemeleri kullanılarak mevcut çalışma ve literatür bilgisinin geliştirilebileceği düşünülmektedir.



## 2. KAYNAK TEKNOLOJİSİ

Günümüzde uygulanan şekliyle kaynak işlemi oldukça yeni bir proses olarak kabul edilse de, yöntemin orijini eski çağlara dayanır. MÖ 1000 yıllarında, Mısırlı insanlar ve Doğu Akdeniz Bölgesindeki insanlar dövme kaynağı yapmayı öğrenmişlerdir. Arkeologlar Mısır'daki piramitlerde bronzdan dövme kaynağı ile yapılmış eşyalar ortaya çıkarmışlardır. Demir ticareti sayesinde bu ilk uygulamalardan Orta Çağa kadar kaynak sanatı ileri bir seviyeye ulaşmıştır. Hindistan ve Avrupa'da o tarihlerden kalma kaynak yöntemiyle üretilmiş malzemeler bulunmuştur. Ancak 1800'lere kadar modern kaynak uygulamasının temeli atılmamıştır. 1800'lerde İngiliz bilim adamı Sir Humphrey Davy'ye atfedilen iki önemli buluş yapılmıştır. Bunlar elektrik arkı ve asetilen gazıdır. Davy 1801 yılında iki karbon elektrodu arasında ark oluşturabildiğini keşfetmiştir. Fakat elektrik jeneratörü keşfedilmediği için 1800'lü yılların ortalarına kadar ark kaynağı yapmak için yeterli miktarda enerji mevcut değildi. Karbon ark kaynağı yönteminde ilk patent alan kişi Rus Nikolai Benardos'tur. Yüzyılın sonlarına kadar karbon ark kaynağı çok kullanılan bir endüstriyel teknik olmuştur. Charles Coffin adında bir Amerikalı, 1892'de metal elektrot kullanarak yapılan bir ark kaynağı yaptığı için Amerika'da patent almıştır. Bu yöntemin özelliği elektrodun aynı zamanda ilave tel olarak kullanılmasıydı. Kaynak işlemini atmosfer ortamının etkilerinden korumak için elektrodun kaplanması fikri ortaya atılmış ve metal ark kaynağı yöntemindeki gelişmeler 1900 yılında İngiltere ve İsveç'te gerçekleşmiştir. 1885 ve 1990 yılları arasında, Elihu Thompson tarafından nokta ve dikiş kaynağı dahil direnç kaynağı türleri geliştirilmiştir. Bu direnç kaynağı türleri günümüzde sac metal şekillendirmede yaygın olarak kullanılmaktadır. Davy asetileni 1800'lü yıllarda keşfetmesine karşın gaz kaynağı ancak 1900 yılında asetileni ve oksijeni karıştıracak üflecini geliştirilmesinden sonra uygulanabilmiştir (Groover, 2011).

### 2.1 Kaynağın Tanımı

Kaynak, iki benzer veya farklı metalin ısı ve/veya basınç yardımıyla birleştirilmesi işlemidir. Farklı metallere/alaşımlara basınç uygulanarak veya

uygulanmadan, metal dolgu malzemesi kullanılarak veya kullanılmadan yapılan kaynak işleminde metalin birleşmesi ısı yoluyla gerçekleşir. Isının üretilmesi, gazların yanmasından, elektrik arkından, elektrik direncinden veya kimyasal reaksiyon aracılığıyla olabilir. Bazı kaynak işlemlerinde basınç da kullanılabilir, ancak bu tüm kaynak işlemlerinde gerekli değildir. Kaynak kalıcı bir bağlantı sağlar ancak normalde bileşenlerin metalürjisini etkiler. Bu nedenle genellikle kritik bileşenlerin çoğu için kaynak sonrası ısıtma işlemi eşlik eder. Kaynak çoğunlukla fabrikasyon olarak kullanılmakta olup ve endüstrilerde tamir işlemi olarak da kullanılabilir. Gemiler, basınçlı kaplar, otomobil gövdeleri, açık deniz platformları, köprüler tipik kaynaklı imalat uygulamalarından bazılarıdır (Singh, 2010).



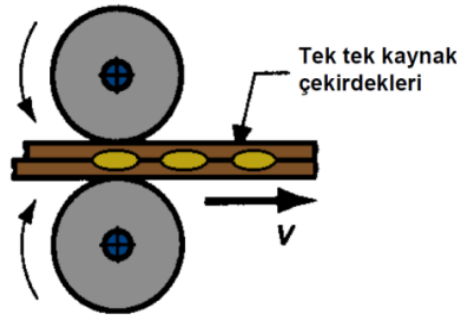
### 3. ELEKTRİK DİRENÇ KAYNAĞI

1885-1900 arasında Elihu Thompson tarafından direnç kaynağının çeşitli formları geliştirilmiştir. Bunların arasında nokta kaynağı ve dikiş kaynağı, bugün metal levha işlemede yaygın olarak kullanılan iki birleştirme yöntemidir (Groover, 2011).

#### 3.1 Dikiş Kaynağı Yöntemi

Dikiş kaynağı (RSEW), nokta kaynakların bir modifikasyonudur. Burada elektrotlar, dönen tekerlekler veya silindirlerle değiştirilir (bkz. Şekil 3.1). Sürekli bir AC güç kaynağı kullanarak, elektrik ileten makaralar, akım AC çevriminde yeterince yüksek bir seviyeye ulaştığında bir nokta kaynağı üretir (Kalpakjian ve Schmid, 2014).

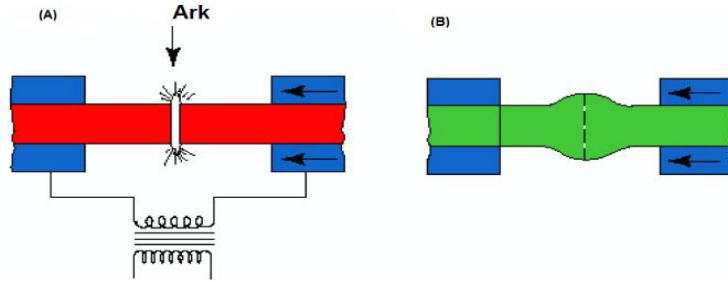
Yeterince yüksek bir frekansa veya yavaş bir hareket hızına sahip olan bu nokta kaynakları aslında sürekli bir dikişin üstüne biner ve sıvı ve gaz sızdırmaz bir bağlantı oluşturur. RSEW işlemi, çelik kutular (ev ürünleri için), susturucular ve benzin depolarının boylamasına dikişini yapmak için kullanılır (Kalpakjian ve Schmid, 2014).



Şekil 3.1. Disk elektrot tarafından üretilen farklı dikiş türleri (Aydın vd., 2015).

### 3.2 Alın Kaynağı Yöntemi

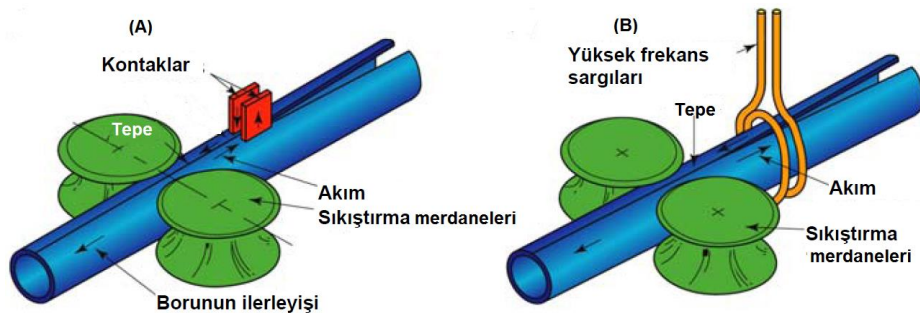
Alın kaynağı silindirik geometriye veya aynı geometriye sahip parçaların kaynağında kullanılan bir direnç kaynağı prosesidir. Yakma alın kaynağı ve basınçlı alın kaynağı olmak üzere iki türü vardır. Yakma alın kaynağının yapılışının şematik gösterimi Şekil 3.2’de gösterilmektedir (Aydın vd., 2015).



Şekil 3.2. Yakma alın kaynağı (Aydın vd., 2015).

### 3.3 Yüksek Frekanslı Direnç Kaynağı Yöntemi

Yüksek frekanslı dirençli kaynak (HFRW), 450 kHz'e kadar yüksek frekanslı bir akım kullanılması dışında, dikiş kaynağına benzerdir. Tipik bir uygulama, akımın yuvarlanan şekilli tüplerin kenarlarına kayan iki temas (bkz. Şekil 3.3A) vasıtasıyla gerçekleştirildiği alın kaynaklı boru veya boru üretimidir. Isıtılan kenarlar daha sonra tüpü bir çift sıkma silindirinden geçirerek birbirine bastırılır; varsa oluşan flaş daha sonra kesilir. Başka bir yöntem de denilen yüksek frekanslı endüksiyon kaynağı, rulo şekilli tüp, Şekil 3.3B’de gösterildiği gibi, yüksek frekanslı endüksiyonla ısıtmaya tabi tutulur.

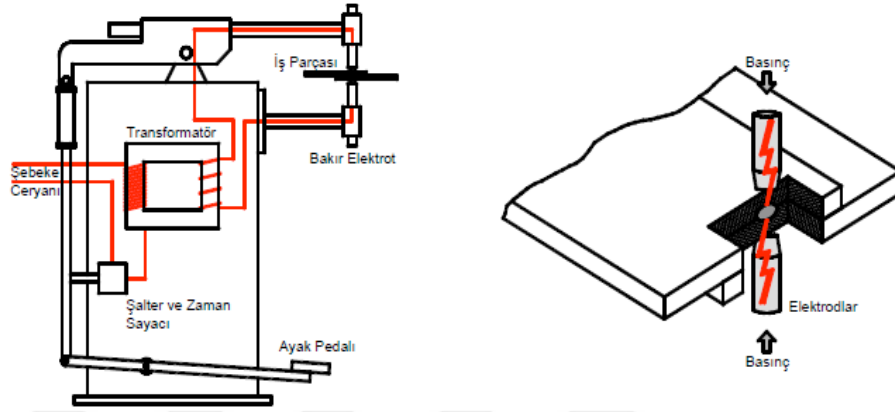


Şekil 3.3. Yüksek frekans direnç kaynağı (Aydın vd., 2015).



### 3.4 Direnç Nokta Kaynağı Yöntemi

Elektrik nokta direnç kaynağı elektrotlar arasında basınç altında kaynağı yapılacak olan parçaların elektrik akımına karşı gösterdiği dirençten meydana gelen ısı ile yapılan bir direnç kaynak yöntemidir (Karamış, 2015). Şekil 3.4'te görüldüğü gibi kaynak iki parçanın temas eden yüzeylerinde gerçekleşir.

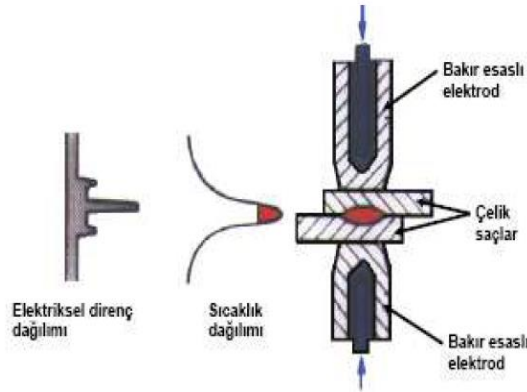


Şekil 3.4. Direnç nokta kaynağı temel bileşenleri ve kaynak yapılış şekli (Megep, 2007).

#### 4. ELEKTRİK DİRENÇ NOKTA KAYNAĞI

Dirençli nokta kaynağında, iki karşılıklı silindirik elektrot uçlarının sac metalin bağlantı ekine temas ettiğinde direnç nokta kaynağı oluşturur. Kaynak külçesinde güçlü bir bağ elde etmek için, akım kapanana ve kaynak katılaşına kadar basınç uygulanır. Direnç kaynağı için alternatif akımın (AC) ve basıncın kontrolünün doğru yapılması ve zamanlaması çok önemlidir. Örneğin otomotiv endüstrisinde, 60 Hz frekansında döngü sayısı yaklaşık 30'a kadar değişmektedir (Kalpakjian ve Schmid, 2014).

Bir nokta kaynağının yüzeyleri hafif renksiz girintilere sahiptir. Kaynak hücresi 10 mm çapa kadar olabilir. Akımlar, kaynak yapılan malzemelere ve kalınlıklarına bağlı olarak mevcut seviye olan 3000 ile 40.000 A arasında değişir; Örneğin, akım çelikler için tipik olarak 10.000 A ve alüminyum için 13.000 A'dır. Elektrotlar genellikle bakır alaşımlarından yapılır ve şekillerini korumak için yeterli elektrik iletkenliğine ve sıcak dayanıma sahip olmaları gerekir (Kalpakjian ve Schmid, 2014). Direnç nokta kaynağı ilave malzeme kullanımı ve özel bir kaynak eğitimi gerektirmemesi, hafif ve hızlı bir kaynak yapımı, yüksek mukavemet gibi avantajlarından dolayı günümüzde otomotiv metal eşya sektöründe çoğunlukla kullanılmaktadır (Anık vd., 1993). Şekil 4.1'de direnç nokta kaynağındaki direnç ve sıcaklık dağılımı gösterilmektedir.



**Şekil 4.1.** Direnç nokta kaynağındaki direnç ve sıcaklık dağılımı (Aktaş, 2008).

Elektrik direnç nokta kaynağının diğer kaynak yöntemlerine göre üstünlükleri:

- Yüksek hızlı bir kaynak yöntemi olması,
- İnce sac levhaların birleştirilmesinde deformasyona neden olmaması,
- Yüksek kapasiteli üretim hatlarında kolaylıkla kullanılabilmesi,
- Rijit ve esnek otomasyona elverişli olmasıdır (Ceyhun, 1992).

#### 4.1 Direnç Nokta Kaynağında Isı Enerjisi Oluşumu

Akım bir iletkenin geçtiğinde, iletkenin akım akışına karşı gösterdiği elektriksel direnç ısının oluşmasına neden olur. Isı enerjisi oluşumu aşağıdaki formülde gösterilmiştir (Ceyhun, 1992).

$$Q = I^2 R_t t_k \quad (4.1)$$

Burada:

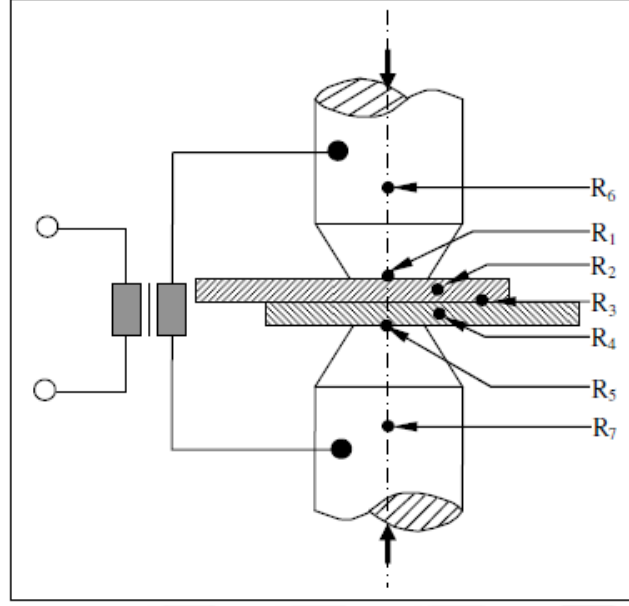
$Q$  = Kaynak akımı sırasında ısıya dönüşen elektrik enerjisi,

$I$  = Kaynak akımı şiddeti (A)

$R_t$  = Kaynak akımı devresindeki toplam direnç (Ohm),

$t_k$  = Kaynak süresi (s)'dir.

Kaynak yapılacak parçalar da dahil olmak üzere direnç nokta kaynak devresinin ikincil kısmı, aslında bir dizi dirençtir (bkz. Şekil 4.2). Bu elektrik direncinin toplam katkı değeri, direnç nokta kaynak makinesinin akım çıkışını ve devrenin ısı oluşumunu etkiler (Miller Electric Mfg. Co., 2012).



Şekil 4.2. Direnç nokta kaynağında oluşan dirençler (Aktaş, 2008).

•Malzeme Dirençleri:

R6, R7 elektrotların direnci,  
R2, R4 iş parçalarının dirençleri.

•Temas Dirençleri:

R1, R5 elektrot-malzeme temas dirençleri,  
R3 malzeme-malzeme temas dirençleri.

Önemli olan akım değeri, elektrik devresinin tüm parçalarında aynı olmasına rağmen, direnç değerleri, devredeki farklı noktalarda büyük ölçüde değişebilir. Üretilen ısı, devredeki herhangi bir noktadaki dirençle doğrudan orantılıdır (Miller Electric Mfg. Co., 2012).

## 4.2 Kaynak Çevrimi

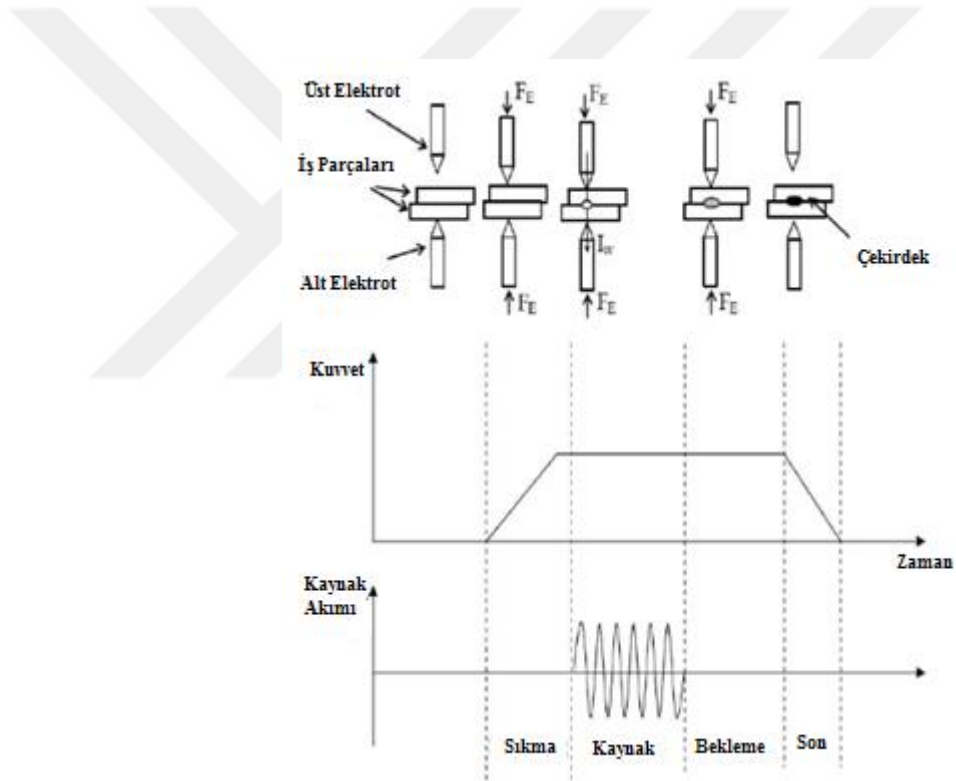
Nokta kaynağında kaynak döngüsü dört temel aşamadan oluşur: Sıkma zamanı, kaynak zamanı, tutma zamanı ve kapalı zaman. Kapanma süresi genellikle manuel olarak başlatılan tekrarlayan kaynak döngüleri için kullanılır. Şekil 4.3, temel bir kaynak döngüsünü göstermektedir. Kaynak döngüsünün aşamaları aşağıda açıklanmıştır.

**4.2.1 Sıkma Zamanı:** Elektrot kuvvetinin ilk uygulandığı an ile kaynak akımının ilk verildiği zaman arasında geçen süredir.

**4.2.2 Kaynak Zamanı:** Kaynak akımının uygulandığı zaman yani kaynak akımının iş parçasına tatbik edildiği süredir.

**4.2.3 Tutma Zamanı:** Akımın son darbesinden sonra iş parçası üzerinde uygulanan, kaynak hücresinin katılaşması aşamasındaki süreye denir.

**4.2.4 Ölü Zaman:** Elektrotların iş parçası ile temasta olmadığı zaman aralığıdır (Anık, 1991).



**Şekil 4.3.** Nokta kaynağı için kaynak döngüsünün gösterimi (Shelly ve Sahota, 2017).

### **4.3 Direnç Nokta Kaynağı Parametreleri**

#### **4.3.1 Kaynak Akımı**

Kaynak çekirdek boyutu ve gücü, artan akım yoğunluğu ile birlikte hızla artar. Aşırı akım yoğunluğu; erimiş metalin dışarı atılmasına (iç boşluklarla sonuçlanır), kaynak çatlamasına ve düşük mekanik mukavemetine neden olur. Nokta kaynağında, aşırı akım ana metali fazla ısıtır ve iş parçalarında derin girintilerle sonuçlanır. Ayrıca elektrotların aşırı ısınmasına ve hızlı bozulmasına neden olur (O'Brien ve Guzman, 2007).

#### **4.3.2 Kaynak Zamanı**

Direnç nokta kaynağında üretilen toplam ısı kaynak süresi ile orantılıdır. Temel olarak ısı, etraftaki ana metal ve elektrotlara iletilerek kaybolur; radyasyon nedeniyle de çok küçük bir miktar kaybolabilir. Bu kayıplar kaynak süresi ve metal sıcaklığı ile orantılı olarak artar. Uygun akım yoğunluğu göz önüne alındığında, bir nokta kaynağı işlemi sırasında erime sıcaklığına ulaşmak için asgari süre gerekir. Çoğu durumda, uzun bir kaynak aralığı boyunca bir noktada, ısı kayıpları, ısı girişine eşit olacak ve sıcaklıklar stabilize olacaktır (O'Brien ve Guzman, 2007).

Nokta kaynaklı ağır levhada elektrot kuvveti çıkarılmadan, nispeten kısa birkaç darbede kaynak akımı yaygın olarak uygulanır. Akımı darbelemenin amacı, kaynak ara yüzündeki iş parçaları arasında ısıyı kademeli olarak arttırmaktır. Kaynak işlemini gerçekleştirmek için gereken amper, ısı darbe süresi çok uzunsa, metalin hızlı bir şekilde erimesine neden olarak, dışarı atılır (O'Brien ve Guzman, 2007).

#### **4.3.3 Elektrot Kuvveti**

Kaynak yapılacak parçaların bir arada tutulabilmesi ve homojen akım geçişinin sağlanabilmesi için birleştirilecek parçalara elektrotlar aracılığıyla bir basınç kuvveti uygulanmaktadır. Elektrot kuvveti dediğimiz bu kuvvet, özellikle temas direncinin makul bir değerde olmasını sağlar. Ayrıca, kaynak sırasında sıvı haldeki

çekirdeği katı haldeki metal hacmi içinde basınç altında tutarak dışarı fişkırtmasına engel olur. Çok düşük elektrot kuvvetleriyle çalışılması durumunda, malzeme-malzeme temas direnci çok yüksek olacağından aniden sıcaklık yükselmesine bağlı olarak yerel ergimeler ve fişkırtmalar görülür. Çok yüksek elektrot kuvvetlerinde temas direnci çok azalacağından ya kaynak noktası oluşmaz ya da yüksek kaynak akımıyla çalışılması gerekli olur. Bu durum, istenmeyen çarpımalara, kaynak noktasında ezilmelere ve renklenmelere sebep olur (Ceyhun, 1992).

#### **4.4 Kaynak Kalitesini Etkiyen Durumlar**

##### **4.4.1 Yüzey Durumu**

Kaynak yapılacak malzemelerdeki yüzey durumu temas direnciyle yakından ilgili olan yüzey pürüzlülüğü parçaların yüzeyindeki filmler ve yüzey kirlilikleridir. Yüzey kirliliği çeşitli kimyasal ve mekanik yöntemlerle önlenmelidir. Çünkü yüzeydeki kirlilik ve homojen olmayan bir yüzey pürüzlülüğü, heterojen ve kalitesiz bir kaynak noktasının oluşmasına sebep olur (Ceyhun, 1992).

İş parçalarının yüzey durumu ısı oluşumunu etkiler. Çünkü temas direnci yüzeydeki oksitler, kir, yağ ve diğer yabancı maddelerden etkilenir. En düzgün kaynak özellikleri, yüzeyler temiz olduğunda elde edilir (O'Brien ve Guzman, 2007).

İş parçalarının düzensiz oksit kaplaması, ölçek veya diğer kirlilik ile kaynaklanması temas direncinde değişikliklere neden olur. Bu ısı üretiminde tutarsızlıklar üretir. Çalışma yüzeylerindeki ağır ölçek ayrıca elektrot yüzeylerine gömülebilir ve böylece elektrotun hızlı bir şekilde bozulmasına neden olabilir. Yüzeydeki yağ ve gres, elektrot bozulmasına neden olacak kiri toplayabilir (O'Brien ve Guzman, 2007).

##### **4.4.2 Metal Bileşiminin Etkisi**

Bir metalin elektrik direnci, kaynak sırasında direncin ısıtılmasını doğrudan etkiler. Gümüş ve bakır gibi yüksek iletken metallerde, yüksek akım yoğunluklarında bile az ısı üretilir. Üretilen küçük miktardaki ısı, çevredeki iş parçasına ve elektrotlara hızla iletilir (O'Brien ve Guzman, 2007).

Bir metalin bileşimi, kendi ısısını, erime sıcaklığını, gizli füzyon ısısını ve termal iletkenliği belirler. Bu özellikler metali eritmek ve bir kaynak üretmek için gereken ısı miktarını yönetir. Bununla birlikte, çoğu ticari metalin birim kütlelerini füzyon sıcaklığına yükseltmek için gereken ısı miktarı hemen hemen aynıdır. Örneğin, paslanmaz çelik ve alüminyum, nokta kaynağı özelliklerinde çok farklı olsalar da, füzyon sıcaklığına ulaşmak için aynı sayıda enerji ünitesine ihtiyaç duyar. Böylece, elektriksel ve termal iletkenlikler baskın hale gelir. Alüminyumun iletkenliği paslanmaz çeliğin iletkenliğinden yaklaşık on kat daha fazladır. Sonuç olarak, elektrotlarda ve çevresindeki metalde kaybedilen ısı alüminyumda daha fazladır. Buna göre, alüminyum için kullanılan kaynak akımı, paslanmaz çelik için kullanılanından daha büyük olmalıdır (O'Brien ve Guzman, 2007).

#### **4.5 Elektrik Direnç Nokta Kaynağı Elektrotları**

Basıncın uygulanması söz konusu değilse, elektrot malzemesi tamamen elektriksel ve termal iletkenlik temelinde seçilebilir. Bununla birlikte, elektrotlar genellikle büyük ölçüde önemli kuvvetlere maruz kaldıklarından, aşırı deformasyon olmadan yüksek sıcaklıklarda uygulanan gerilimlere dayanabilmelidirler. Doğru elektrot şekli önemlidir, çünkü gerekli akım yoğunluğunu elde etmek için akım sabit bir bölgeyle sınırlandırılmalıdır. Bir seferde sadece bir nokta veya dikiş kaynağı yapılacaksa, sadece bir çift elektrot gerekir. Bu durumda, kuvvet ve akım her kaynağa şekillendirilmiş elektrotlarla uygulanır. Tatmin edici fiziksel ve mekanik özelliklere sahip bakır alaşımlarından yapılan elektrotlar ticari olarak temin edilebilir. Genel olarak, alaşım ne kadar sert olursa, elektriksel ve termal iletkenlikleri o kadar düşüktür. Herhangi bir uygulama için uygun bir alaşımın seçimi, elektriksel ve termal özellikleri ile mekanik nitelikleri arasında bir uzlaşmaya dayanır. Örneğin alüminyum kaynak için seçilen elektrotlar, elektrotların iş parçalarına yapışmasını veya kaynamasını en aza indirmek için yüksek basınç dayanımı pahasına yüksek iletkenliğe sahip olmalıdır. Buna karşılık, paslanmaz çeliği kaynaklamak için elektrotlar, gerekli elektrot kuvvetine dayanacak kadar basınç dayanımı elde etmek için yüksek iletkenliği feda etmelidir. Elektrotun deformasyona veya mantarlara karşı direnci, elektrot alaşımının orantılı limitine ve sertliğine bağlıdır. Sertlik, şekillendirme işlemi sırasında ısıl işlem veya soğuk işlem ile belirlenir. Elektrot yüzeyinin sıcaklığı, elektrot servis ömründe ana faktördür, çünkü yumuşamanın gerçekleştiği yerdir.

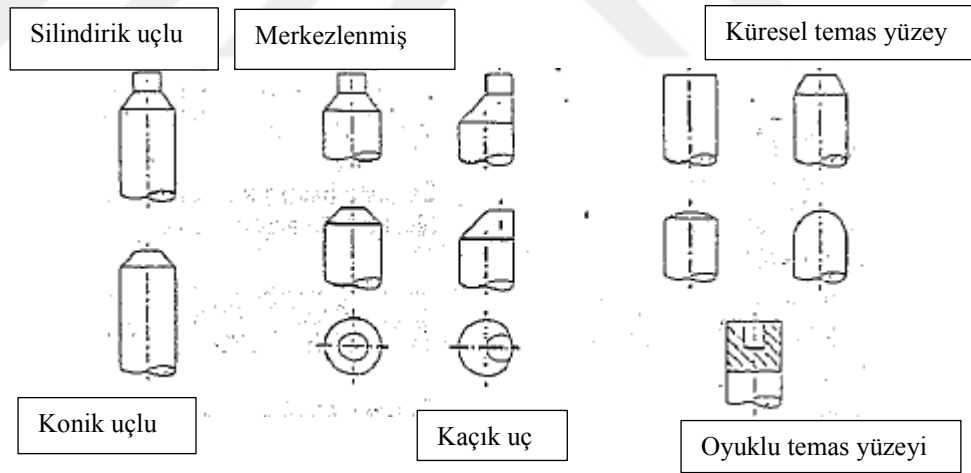


Elektrotların boyutları ve şekilleri genellikle kaynak yapılacak metal levhanın türü ve kalınlığı ile belirlenir (O'Brien ve Guzman, 2007).

Elektrotlar, ısı akımında hayati bir işleve sahiptir, çünkü kaynak akımını iş parçalarına iletirler. Nokta ve dikiş kaynağında, elektrot temas alanı, kaynak akımı yoğunluğunu ve bunun sonucunda kaynak boyutunu büyük ölçüde kontrol eder. Elektrotlar iyi elektriksel iletkenliğe sahip olmalıdır. Ayrıca yüksek elektrot kuvvetinin tekrarlanan uygulamalarının neden olduğu deformasyona direnmek için yeterli kuvvete ve sertliğe sahip olmalıdır (O'Brien ve Guzman, 2007).

#### 4.5.1 Elektrot Geometrisi

Elektrodun şekil ve boyutları, kaynaklı birleştirmede kullanılacak iş parçalarının şekil ve boyutlarına göre belirlenir. Standart elektrot türleri içinde en çok kesik konik uçlu ve küresel uçlu elektrotlar kullanılır. Diğer elektrot türleri ise sivri, düz ve eksantriktir (Ceyhun, 1992).



Şekil 4.4. Direnç nokta kaynağı elektrot geometrileri (Anık vd., 1993).

#### 4.5.2 Elektrot Malzemesi

Bakır normalde dirençli nokta kaynak maşaları ve uçları için kullanılan temel metaldir. Elektrot uçlarının amacı, kaynak akımını iş parçasına iletmek, kaynak bağlantısına uygulanan basıncın odak noktası olmak ve çalışma yüzeyinden ısı iletmektir. Çalışma şartları altında ısı ve elektrik iletkenliğinin şekil ve özelliklerinin

bütünlüğünü korumak için ipuçları gerekir. Elektrot uçları, bakır alaşımlarından ve diğer malzemelerden yapılmıştır. Direnç Kaynakçı İmalat Derneği (RWMA) elektrot uçlarını iki gruba ayırmıştır:

- Grup A: Bakır Bazlı Alaşımlar
- Grup B: Refrakter Metal Uçlar

Gruplar ayrıca numaralarına göre de sınıflandırılır. Grup A, Sınıf I, II, III, IV ve V bakır alaşımlarından yapılmıştır. B Grubu, Sınıf 10, 11, 12, 13 ve 14, refrakter alaşımlardır (Miller Electric Mfg. Co., 2012). Grup A, Sınıf I elektrot uçları, bileşimde saf bakıra en yakın olanlardır. Sınıf numarası yükseldikçe, sertlik ve tavlama sıcaklığı değerleri artarken, termal ve elektrik iletkenliği azalır.

B Grubu bileşimler, yüksek sıcaklıklarda aşınma direnci ve basınç dayanımı için tasarlanmış sinterlenmiş bakır ve tungsten vd. karışımlarıdır. Grup B, Sınıf 10 alaşımları, sayı değeri arttıkça iletkenlik ile bakır iletkenliğini yüzde 40'a kadar düşürür. B Grubu elektrot uçları normalde dirençli nokta kaynak makinelerinin kullanılacağı uygulamalar için kullanılmaz (Miller Electric Mfg. Co., 2012).

**Çizelge 4.1.** Elektrot malzemeleri özellikleri ve uygulamaları (Anık vd., 1993).

Elektrod malzemesi sınıfı	Elektrik iletkenliği $S = m / 2 \text{ mm}$ en az	Sertlik HV 30 kgf / mm <sup>2</sup> en az	Yaklaşık kimyasal bileşimi	Tavsiye edilen kullanım yeri
Cu	56	85	Saf elektrolitik bakır	Münferit işler, laboratuvarlarda ve özel uygulamalarda
I	46	95	Bakır-gümüş Bakır-kadmiyum	Alüminyum ve alaşımları, çelik, Nokta ve dikiş kaynağı, genellikle alın kaynağı
II	43	120	Bakır-krom Bakır-krom-berilyum	Bütün çelikler Nokta ve dikiş kaynağı Yoğun, sürekli kullanımlar için
III	26	180	Bakır-kobalt-berilyum	Yüksek alaşımlı malzemelerin nokta ve dikiş kaynağı. Yüksek kuvvetle kabartılı kaynak ve tutma çenele malzemesi
1) %	19 ... 20	150 ... 220	Molibden veya tungsten esaslı	Pirinç, bakır, gümüş ve alaşımlarının nokta kaynağı. İletkenliği iyi olan bir elektrod taşıyıcısının ucu olarak kullanılır.
1) %	17 ... 20	220 ... 240	Sinter malzeme % 80-90 tungsten % 20-10 bakır	Kabartılı ve alın kaynağında veya yığıma elektrodu olarak, Örneğin elektrikli perçinlemede.

### 4.5.3 Elektrot Ömrü

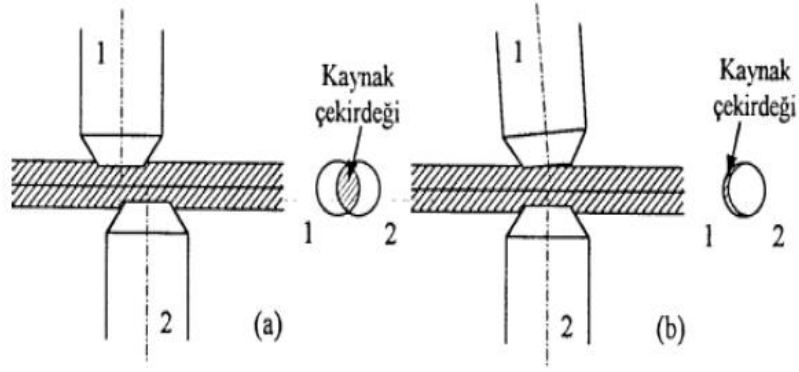
Kaynak hücresi çapı arttıkça yorulma ömrü artar (Vural ve Akkus, 2004). Çizelge 4.2' de elektrot ömrüne etkileyen faktörlerin etkime durumları verilmiştir.

**Çizelge 4.2.** Elektrot ömrünü etkileyen faktörlerin etkime durumları.

<b>Faktör</b>	<b>Elektrot ömrü</b>
Sertlik (sıcakta, soğukta)	Arttırır
Elektrot malzemesinin iletkenliği (elektrik, ısı)	Arttırır
Elektrot malzemesinin yumuşama sıcaklığı	Arttırır
Elektrot malzemesinin soğutulması	Arttırır
Statik elektrot basma kuvveti	Önce arttırır sonra azaltır
Dinamik elektrot basma kuvveti	Azaltır
Kaynak yapılan malzemenin sertliği (sıcakta, soğukta)	Azaltır
Alaşımın eğilimi	Azaltır
Elektrotun sürekli sıcak kalması	Azaltır
Elektrotun parçaya dalma derinliği	Azaltır
Elektrot ve malzeme yüzeyinin temizliği	Arttırır
Elektrot ucunun tıraşlanması	Arttırır

### 4.6 Elektrot ve İş Parçasının Temas Durumları

Kaynak kalitesi ve kabiliyetini etkileyen bir diğer faktör elektrotların ve iş metallerinin birbiriyle temas etme şeklidir. Elektrotlar, iş metalinde kaynağın yapılacağı bölgeye dik, dolayısıyla birbirine paralel bir şekilde olmalıdır. Fakat iyi bir kaynak olması için bu koşul yeterli olmamaktadır. Birbirine paralel olan alt ve üst elektrotun aynı eksende olması gerekmektedir. Birbirine paralel ancak aynı eksenden geçmeyen alt ve üst elektrotlarla yapılan kaynaklarda tek bir dairesel bölge yerine iki dairenin kesişim bölgesi şeklinde gölgeli bir alan gözlenmektedir. Bunun sebebi, kaynağın, basıncın etkin olduğu bölgede gerçekleşmesidir. Şekil 4.5(a)'da görülen kaynak bölgesi, gerekli alanın yaklaşık olarak üçte biri olup gerekli basıncın üç katına çıkmasına sebep olmaktadır. Şekil 4.5(b)'de ise birbirine paralel olmayan iki ucun meydana getirdiği kaynak görülmektedir (Hayat, 2005).



**Şekil 4.5.** Elektrodun temas durumuna göre oluşan kaynak çekirdekleri (Hayat, 2005).

Yukarıda belirtilen durumların yanı sıra bindirme ve kenar mesafelerinin de kaynak kalitesinde önemi vardır. İyi bir kaynak elde edebilmek için nokta kaynağının kenara uzaklığı en az çekirdek çapının yarısı kadar olmalıdır (Hayat, 2005).

#### **4.7 Kaynaklı Noktalar Arasındaki Mesafenin Etkisi**

Düşük karbonlu çeliklerin kaynağında minimum mesafe, metalin kalınlığı, erimiş bölgenin çapı ve kaynak bölgesindeki yüzeylerin temizliğine bağlıdır. Daha yüksek elektrot kuvveti ve akım, daha kısa kaynak süresi ve hızlı takip ile kaynaklar, önemli bir atlama olmadan, tavsiye edilen kaynak aralığından daha düşük bir değerde yapılabilir (Hayat, 2005).

#### **4.8 Kaynak Basıncının Etkisi**

Isı formülündeki R direnci, kaynak arabirimindeki temas direnci üzerindeki etkisi nedeniyle kaynak basıncından etkilenir. Kaynak basıncı, elektrotlar tarafından bağlantıya uygulanan kuvvet tarafından üretilir. Elektrot kuvveti, elektrotların iş parçaları üzerindeki net dinamik kuvveti olarak kabul edilir ve bu kuvvet tarafından temas direncini etkileyen basınçtır (O'Brien ve Guzman, 2007).

Nokta veya dikiş ile kaynak yapılacak iş parçaları, akımın geçişini kolaylaştırmak için kaynak yerinde sıkıca kenetlenmelidir. Kaynak devresi, kaynak

ekipmanı, elektrot geometrisi ve iş parçası yüzey durumu da dahil olmak üzere belirli bir dizi parametre için, elektrot kuvveti veya kaynak basıncı arttıkça amper bir miktar sınır değere yükselecektir. Bununla birlikte, iş parçasında üretilen toplam ısı üzerindeki etki tam tersi olabilir. Basınç arttıkça, temas direnci ve ara yüzde üretilen ısı düşecektir. Isıyı bir önceki seviyeye yükseltmek ve azaltılmış direnci telafi etmek için amper veya kaynak süresi arttırılmalıdır (O'Brien ve Guzman, 2007).

Mikroskobik bir ölçekte, metal bileşenlerin yüzeyleri bir dizi tepe ve vadidir. Hafif basınca maruz kaldıklarında, metalden metale gerçek temas, sadece alanın küçük bir yüzdesi olan temas halindeki tepelerde olacaktır. Bu nedenle, iş parçaları üzerindeki hafif baskı ile temas direnci yüksek olacaktır. Basınç arttıkça, yüksek noktalar bastırılır ve gerçek metalden metale temas alanı arttırılır. Böylece temas direncinde bir azalmaya neden olur. Çoğu uygulamada, elektrot malzemesi iş parçalarından daha yumuşaktır; sonuç olarak, uygun bir elektrot kuvvetinin uygulanması, elektrot-iş parçası ara yüzlerinde, iş parçaları arasındaki ara yüzde daha düşük temas direnci üretecektir (O'Brien ve Guzman, 2007).

#### **4.9 Direnç Nokta Kaynağı Kalitesi**

Nokta kaynağı kalitesi, kaynak mukavemeti ve yorulma ömrü ile ilgili pozitif özelliklerin, iş parçasının bozulması ve kötü kontrol edilen direnç nokta kaynağı işleminden kaynaklanan negatif özelliklerin bir kombinasyonunu içerir. Bakım uygulamaları ve uygun kurulum, işaretleme ve bozulmayı azaltabilir ve kaynak gücünün tutarlı olduğundan emin olabilir (O'Brien ve Guzman, 2007).

## 5. PASLANMAZ ÇELİKLER

Paslanmaz çelikler, %10,5 veya daha fazla krom içeren demir bazlı alaşımlardır. Yarım asırdan fazla süredir birçok endüstriyel, mimari, kimyasal uygulamalar ile tüketici uygulamaları için kullanılmıştır (A Designer Handbooks Series No. 9 002, 1988). İnce fakat yoğun krom oksit içeren ince film paslanmaz çeliğin yüzeyini korozyona karşı korur ve oksidasyonu önler. Mevcut diğer alaşım ilavelerine bağlı olarak beş tip paslanmaz çelik vardır ve bunlar tam östenitik ile tamamen ferritik arasındadır (Kotecki ve Armao, 2003). Paslanmaz çeliklerin tanımlanması için üç genel sınıflandırma kullanılmaktadır. Bunlar: 1. Metalurjik Yapı; 2. AISI numaralandırma sistemi: 200, 300 ve 400 Serisi numaraları; 3. Amerikan Test Malzemeleri Derneği (ASTM) ve Otomotiv Mühendisleri Derneği (SAE) tarafından geliştirilen Birleşik Numaralandırma Sistemidir (A designer handbooks series No. 9 002, 1988).



**Şekil 5.1.** Paslanmaz çelik türlerinin iç yapıları (Aran ve Temel, 2004).

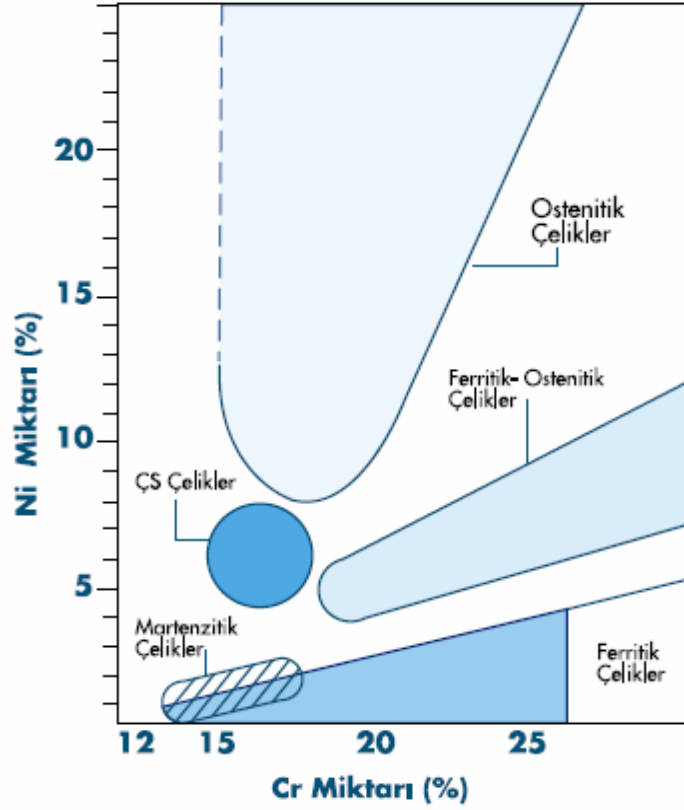
**Çizelge 5.1.** Paslanmaz çeliklerin AISI standardına göre gösterim şekli (Black ve Kohser, 2008).

Seriler	Alaşımlar	Yapı
200	Krom, nikel, manganez veya nitrojen	Östenitik
300	Krom ve nikel	Östenitik
400	Krom ve yeterli karbon	Ferritik veya martenzitik
500	Düşük krom( <12% ) ve yeterli karbon	Martenzitik

**Çizelge 5.2.** Paslanmaz çelik gruplarına ait fiziksel özellikler (Odabaş, 2007).

Fiziksel Özellikler	Östenitik paslanmaz çelikler	Ferritik paslanmaz çelikler	Martenzitik paslanmaz çelikler	Çökelme ile sertleşebilen paslanmaz çelikler
Elastisite Modülü (GPa)	195	200	200	200
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	8,0	7,8	7,8	7,8
Isıl Genleşme Katsayısı (µm/m°C)	16,6	10,4	10,3	10,8
Isıl iletkenlik (W/mk)	15,7	25,1	24,2	22,3
Özgül Isı (J/k °K)	500	460	460	460
Elektriksel Direnç (µΩcm)	74	61	61	80
Manyetik Geçirgenlik	1,02	600 - 1100	700 - 1000	95
Ergime Aralığı (°C)	1375 - 1450	1425 - 1530	1425 - 1530	1400 - 1440

Çoğu paslanmaz çeliğin iyi kaynaklanabilir özelliğe sahip olduğu kabul edilir ve ark kaynağı işlemleri, direnç kaynağı, elektron ve lazer ışını kaynağı, sürtünme kaynağı ve sert lehimleme gibi çeşitli kaynak işlemlerinde kullanılabilir. Östenitik tipler için termal genleşme katsayısı, karbon çeliğinden %50 daha yüksektir ve bunun bozulmayı en aza indirdiği düşünülmektedir. Östenitik paslanmaz çeliğin düşük termal ve elektriksel iletkenliği, kaynak işleminde genellikle avantaj sağlar. Kaynak yapmak için daha az kaynak ısı gereklidir. Çünkü ısı karbon çeliğinde olduğu kadar hızlı bir şekilde bağlantıdan uzak tutulamaz. Direnç kaynağında, direnç daha yüksek olduğu için düşük akım kullanılabilir.



Şekil 5.2. Paslanmaz çelik türleri için krom ve nikel miktarları (Aran, 2004).

### 5.1 Ferritik Çelikler

Ferritik paslanmaz çelikler sertleşemeyen Fe-Cr alaşımlarıdır (Kotecki ve Armao, 2003). Bu çelikler %10,5 ile %30 Cr, %0,20'ye kadar C ve az miktarda Al, Nb (Cb), Ti ve Mo içerir. Tüm sıcaklıklarda ferritiktirler, östenite dönüşmezler ve bu nedenle ısıl işlemle sertleştirilemezler. Bu grup daha yaygın olan 405, 409, 430, 442 ve 446 tiplerini içerir (Odabaş, 2007).

### 5.2 Martenzitik Paslanmaz Çelikler

Martenzitik paslanmaz çelikler, bileşim bakımından ferritik gruba benzerdir. Ancak ısıl işlemle sertleştirmek için daha yüksek karbon ve düşük krom içerir (Kotecki ve Armao, 2003). Martenzitik paslanmaz çelikler %11-18 Cr, %1,2'ye kadar C ve düşük miktarda Mn ve Ni içeren paslanmaz çelik türüdür. Bu çelik türü tavlama işlemi sonrasında östenit oluşturur ve bu oluşan yapının soğumasıyla martenzite

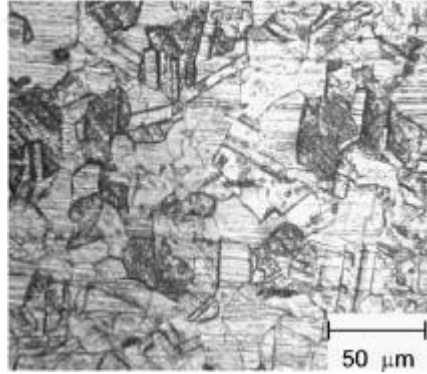


dönüşmesiyle sertleştirilebilir. Bu çelik grubunda 403, 410, 414, 416, 420, 422, 431 ve 440 türü malzemeler bulunmaktadır (Odabaş, 2007).

### 5.3 Östenitik Paslanmaz Çelikler

Östenitik paslanmaz çelikler %16-26 Cr, %10-24 Ni+Mn, %0,40'a kadar C ve düşük miktarda Mo, Ti, Nb ve Ta gibi alaşım türlerini içeren çelik türüdür. Bu çelik türü grubunda 302, 304, 310, 316, 321 ve 347 bulunmaktadır (Odabaş, 2007). 304 tipi en yaygın olanıdır. Birincil alaşım ilaveler krom ve nikeldir (Kotecki ve Armao, 2003).

Östenitik paslanmaz çelikler, korozyon direnci, süneklik, tokluk ve kaynak kabiliyetinin mükemmel bir kombinasyonunu sunar ve dünyadaki paslanmaz çelik üretiminin yaklaşık %70'ini oluşturur (Pramanik ve Basak, 2015). Neredeyse asırlık AISI 304 (Alman V2A) ve AISI 316 hala en çok tüketilen paslanmaz çelik türleridir (Padilha, Plaut ve Rios, 2003).



**Şekil 5.3.** Östenitik paslanmaz çelik mikroyapısı (Vural ve Akkus, 2004).

304 kalite standart olarak “18/8” östenitik paslanmaz çelik; piyasada bulunan en çok yönlü ve en çok kullanılan paslanmaz çeliktir. En geniş ürün yelpazesi, formlar ve kaplamalardır. Mükemmel şekillendirme ve kaynak özelliklerine sahiptir. Çok çeşitli atmosferik ortamlarda ve birçok aşındırıcı ortamda iyidir. Ortam sıcaklığında yaklaşık 200 mg/L klorür içeren içme suyunda çukur korozyonuna karşı dirençli olarak kabul edilir (Atlas Steels, 2013).

### 5.3.1 Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynaklanabilirliği

Östenitik paslanmaz çelik alaşımları her ne kadar kaynak kabiliyeti yüksek olsa da gerekli önlemler alınmadığı takdirde birçok kaynak problemiyle karşılaşılabilir. Baz ve dolgu metalinin bileşimine, kirlilik seviyesine, özellikle de fosfor ve kükürt oranına bağlı olarak kaynakta çatlamlar meydana gelebilir. İyi korozyon direncine sahip olmasına rağmen İTAB'daki hücre sınırlarında veya gerilim bağlantılarında lokal korozyona maruz kalabilirler. Kaynak metallerinin çoğu ferrit içerdiğinden, sigma fazı ve karbür oluşumu nedeniyle ara sıcaklık gevrekleşmesi de oluşabilir. Ferritik alaşımlarda olduğu gibi, sigma faz çökeltme reaksiyonu nispeten durgun ve sigma ile gevrekleşme genellikle imalatla ilgili bir problemten ziyade servisle ilgilidir (Lippold ve Kotecki, 2005).

Östenitik paslanmaz çelikler dayanıklı olması, korozyon direncinin iyi olması, mekanik işlenebilirliği, mükemmel elektriksel ve termal iletkenlikleri sebebiyle endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunlar içine 316 östenitik paslanmaz çelik pratik olarak daha iyidir (Shelly ve Sahota, 2017).

### 5.4 Çift Fazlı Paslanmaz Çelikler

Çift fazlı (Dubleks) paslanmaz çelikler eşit oranda ferrit ve östenitik mikroyapıya sahiptir. Çift fazlı mikroyapı %21-25 Cr ve %5-7 Ni içeren çelik türünün 1000-1050 °C sıcaklıkta tavlanması ve hemen akabinde hızlı bir şekilde soğutulmasıyla elde edilir. Bu birleşimde kaynaklı yapıda mikroyapı genellikle ferritik yapıya daha yakındır (Odabaş, 2007). Numaralandırma sistemleri 200, 300 veya 400 grubuna dahil değildir (Kotecki ve Armao, 2003).

### 5.5. Çökeltme ile Sertleşen Paslanmaz Çelikler

Yaşlandırma ile sertleştirmeli paslanmaz çelikler, bir çözelti ve yaşlanma ısı işlemi ile sertleştirilmelerini sağlayan alüminyum gibi alaşım ilaveleri içerir. Ayrıca martenzitik, yarı, düz ve östenitik çökeltme sertleşmesi paslanmaz çelikler olarak alt gruplara ayrılırlar. 600 serisi paslanmaz çelik olarak tanımlanırlar (Örneğin, 630, 631, 660) (Kotecki ve Armao, 2003).

## 6. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada; beyaz eşya sanayide kullanılan 0,6 mm AISI 304 kalite östenitik paslanmaz çelik seçilmiştir. Türk standartlarında bu çelik X5 CrNi 18/8 şeklinde kodlanmaktadır. AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin kimyasal kompozisyonu ve mekanik özellikleri Çizelge 6.1’de, çalışmalarda kullanılan elektrot malzemelerinin spektral analizi ise Çizelge 6.2’de verilmiştir.

**Çizelge 6.1.** Deneylede kullanılan AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin kimyasal kompozisyonu ve mekanik özellikleri (Çatalbaş vd., 2018).

Kimyasal kompozisyon (ağırlık olarak %)								Mekanik özellikler	
C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	Fe	YS (MPa)	UTS (MPa)
0,08	1,79	0,491	18,08	8,28	0,019	<0,001	70,39	290	675

YS (Akma dayanımı); UTS (Maksimum çekme dayanımı)

**Çizelge 6.2.** Elektrot malzemelerinin spektral analizi (Vinas vd., 2012).

Alaşım standardı	Kimyasal Kompozisyon (%)	Sertlik (HB)	Elektrik İletkenliği (IACS %)
CuCo <sub>2</sub> Be (CB4) ASTM B441- B534- B 870: C17500	Co 2,4-2,7 Be 0,4-0,7 kalanı Cu	270	43
CuCrZr DIN 2.1293	Cr 0,8 Zr 0,08 kalanı Cu	150	48

Kaynak çalışmaları 20 kVA kapasiteli, 50 Hz'de çalışan, zaman ve akım kontrollü bir programlanabilir bir mantık denetleyicisi olan direnç nokta kaynak makinesinde gerçekleştirilmiştir. Numunelerin kaynaklanmasında 6 mm çapında ve 45° kesik koni uçlu CuCo<sub>2</sub>Be (CuBe) ve CuCrZr elektrotlar kullanılmıştır. Kaynaklama çalışmalarında sırasıyla 2, 3, 4 bar değişken elektrot baskı kuvveti kullanılmış ve sırasıyla 5, 10 ve 15 çevrim (1 çevrim=0,02 s) kaynak zamanları ve 3,4, 4,4 ve 5,4 kA kaynak akımı değerleri kullanılarak farklı kaynak parametreleri denenmiştir.

Tez çalışmasında 1000 A tristör kontrollü geleneksel nokta kaynak makinesi kullanılmıştır. Deneylede soğutmalı (su ile) ve soğutmasız (atmosfer) elektrotlar kullanılarak kaynaklar yapılmıştır. Şekil 6.1’de kaynak çalışmalarında kullanılan 29 kVA kapasiteli, 50 Hz’de çalışan, zaman ve akım kontrollü geleneksel nokta kaynak makinesi gösterilmektedir. Su ile soğutma sisteminde soğutma için pirinç halka elektrot yüzeyine geçirilmiş ve suyun yüzeyden soğutması sağlanmıştır. Suyun sirkülasyonu için 1,5 bar basınçlı akvaryum pompası için kullanılmıştır.



**Şekil 6.1.** Kaynak çalışmalarında kullanılan geleneksel nokta kaynak makinesi.

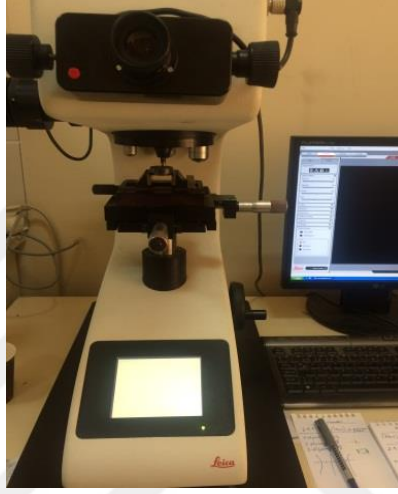
Şekil 6.2’de sac metallerin birleştirilmesinde kullandığımız kalıp aparatı gösterilmektedir. Standardizasyon için bu kalıp aparatı tasarlanmış ve kaynak kolaylığı sağlamıştır.



**Şekil 6.2.** Kalıp aparatı.

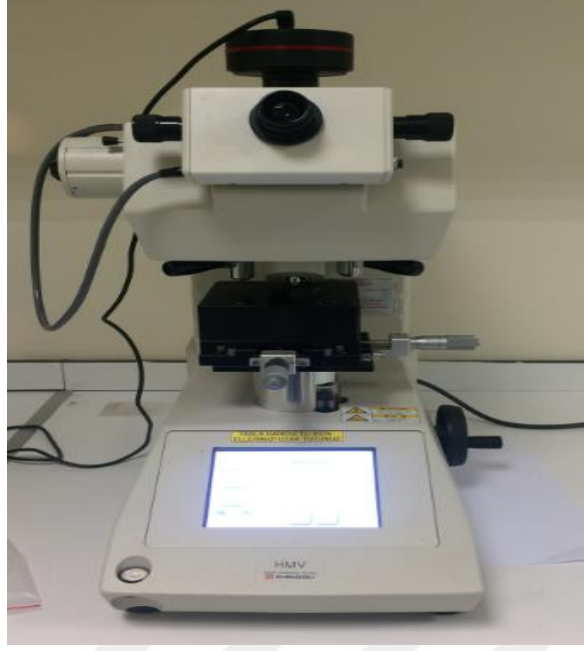
Metalografik inceleme için numuneler, hazırlanan bir solüsyonla (10 ml nitrik asit( $HNO_3$ ), 15 ml hidro-klorik asit( $HCL$ ), 10 ml asetik asit, 2 damla gliserin) dağlanmıştır (Gündüz ve Hayat, 2008).

Şekil 6.3'te Leica marka optik mikroskop gösterilmektedir. Bu mikroskopla, kaynaklı paslanmaz çelik numunelerinin kaynak çekirdeği ve ısıtılan etkilenen bölgeleri farklı değişken tiplerinde incelenmiştir.



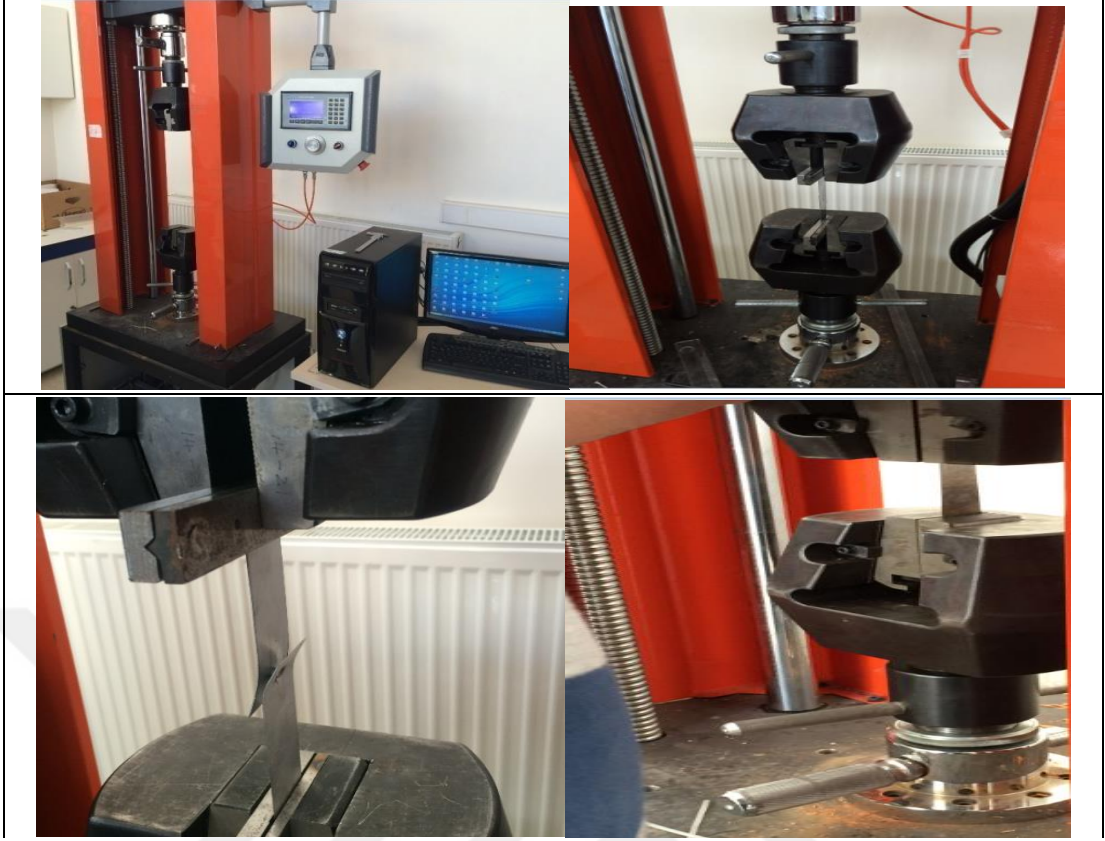
**Şekil 6.3.** Leica marka optik mikroskop

Şekil 6.4'te, AISI 304 östenitik paslanmaz çelik numunelerinin direnç nokta kaynağı kesitleri üzerinden mikrosertlik ölçümlerinin yapıldığı HMV marka Vickers mikro sertlik test cihazının fotoğrafı gösterilmektedir. Vickers mikro sertlik testinde ise 100 g'lık yük, 10 saniye uygulama süresi kullanılmıştır.



**Şekil 6.4.** HMV marka sertlik test cihazı.

Kaynaklı parçaların maksimum çekme yükünü tespit edebilmek için çekme testleri, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Makine Mühendisliği laboratuvarında bulunan Şekil 6.5'te gösterilen universal çekme deney makinesinde yapılmıştır. Çekme testi numuneleri, ASTM: E8M'ye göre hazırlanmıştır. Kaynaklı numunelerin maksimum çekme yükleri, 1 mm/dk'lık sabit çekme hızında ölçülmüştür.



Şekil 6.5. Çekme test cihazı.

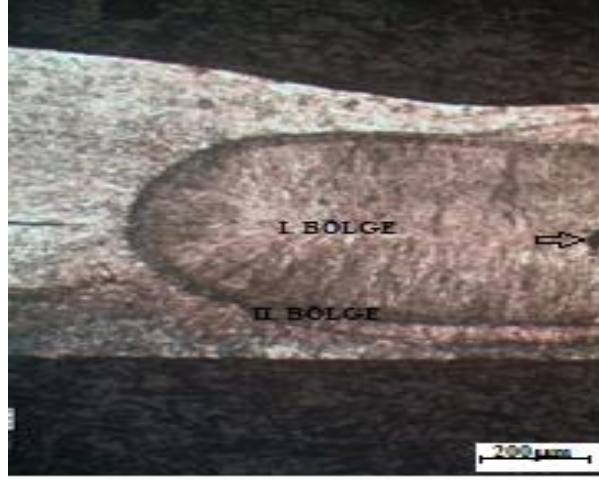
## 7. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 7.1 Mikroyapı ve Mikrosertlik Çalışmaları

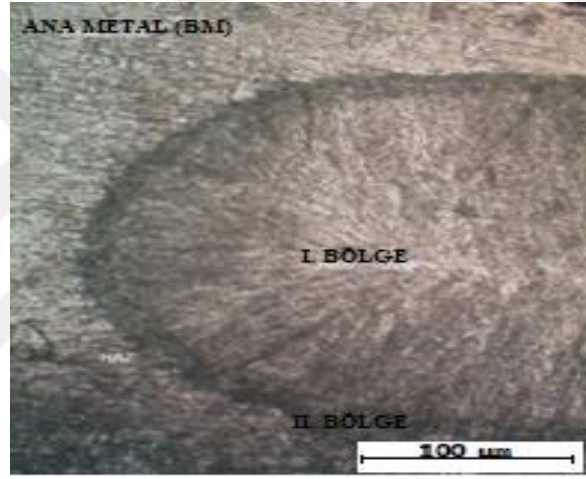
Şekil 7.1a ve 7.1b’de hem düşük kaynak akımı (3,4 kA) ve hem de düşük kaynak zamanı (5 Çevrim) kullanılarak direnç nokta kaynağı yapılmış AISI 304 östenitik paslanmaz çelik sacların makroyapıları görülmektedir. Burada açık kısımlarda östenit faz bölgelerinin bunların arasında ise arzu edilmeyen  $\delta$ -ferrit fazı bölgelerinin (daha koyu görünen kısım) olduğu görülmektedir.  $\delta$ -ferrit fazları bu malzemelerin sıcak şekillendirilmesini zorlaştırdığı ve çatlak oluşumuna neden olabildiğinden dolayı arzu edilmemektedir. Kaynak çekirdeğinde, ferrit oranı açısından iki belirgin bölge göze çarpmaktadır. Fotoğrafta ikinci bölge olarak gösterilen çekirdek kenarındaki  $\delta$ -ferrit oranı çekirdek merkezine (birinci bölge) oranla daha yüksek olduğu açık olarak gözlenebilmektedir. Çünkü ikinci bölgedeki daha yüksek soğuma oranı nedeniyle ferrit-östenit katı hal dönüşümü için yeterli zaman bulunmamaktadır. Bunun sonucunda da ikinci bölgedeki östenite dönüşmemiş  $\delta$ -ferrit miktarı daha geç soğuyan birinci bölgeye göre daha yüksek çıkmıştır. Genel olarak ikinci bölgede, oldukça sınırlı bir alanda hızlı bir katılaşma ile küçük ve eş eksenli tane oluşumu, sonrasında ise birinci bölgeye yani çekirdek merkezine doğru ise dendritik katılaşma ve tane yapısının meydana geldiği görülmektedir.

Ayrıca okla gösterilen bölgede kaynak çekirdeği içerisinde boşluk bu kaynak parametreleri ( 3,4 kA kaynak akımı, 5 çevrim kaynak zamanı ) ile sağlıklı bir kaynak dikişinin oluşmadığını açık olarak göstermektedir (bkz. Şekil 7.1a). Bu parametrelerin kullanıldığı numunelerin çekme dayanımı değerleri de beklendiği gibi düşük çıkmıştır. Genel olarak kaynaklı bölgede oldukça dar bir ısıdan etkilenen bölgenin (ITAB) oluştuğu gözlenmektedir (bkz. Şekil 7.1b). Bu durum östenitik paslanmaz çeliklerin diğer paslanmaz çeliklere göre nispeten daha düşük elektrik ve termal iletkenliğine sahip olmalarına atfedilebilir. ITAB bölgesindeki az bir sertlik düşüşü tane büyümesine atfedilebilir.





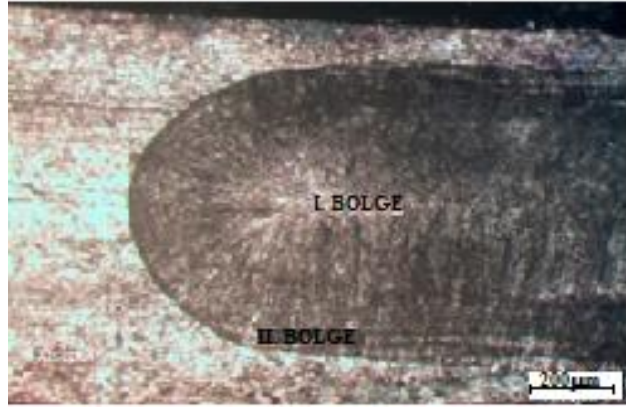
(a)



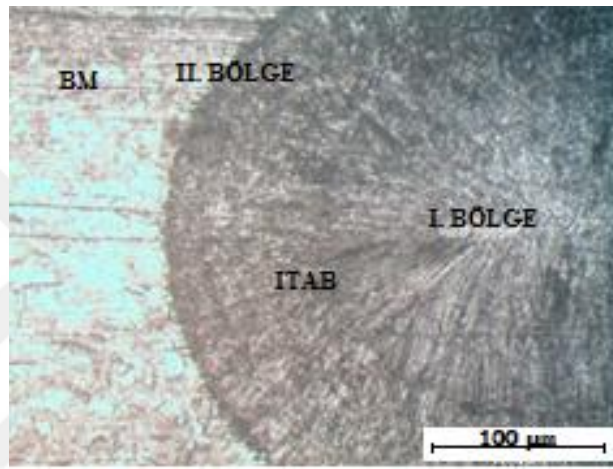
(b)

**Şekil 7.1.** (a) CuCrZr elektrotlar kullanılarak direnç nokta kaynağı yapılmış AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin kaynak bölgesi tipik makroyapısı (b) Füzyon bölgesindeki mikroyapı gradyanı (3.4 kA, 5 çevrim).

Şekil 7.2’de ise hem yüksek kaynak akımı ( 5,4 A ) ve hem de yüksek kaynak zamanı (15 çevrim) kullanılarak direnç nokta kaynağı yapılmış AISI 304 östenitik paslanmaz çelik sacların kaynak makroyapısı görülmektedir. Burada da benzer şekilde östenit faz bölgeleri ve bunların arasında ise  $\delta$ -ferrit fazı bölgelerinin olduğu ve yine benzer şekilde kaynak çekirdeğinde, ikinci bölgede, çekirdek kenarındaki  $\delta$ -ferrit oranı çekirdek merkezine oranla çok daha yüksek olduğu gözlenebilmektedir.



(a)

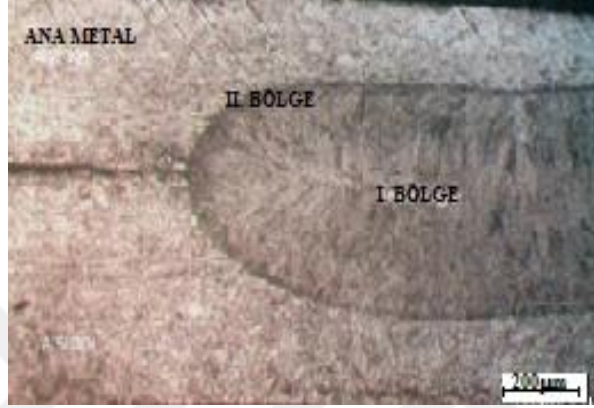


(b)

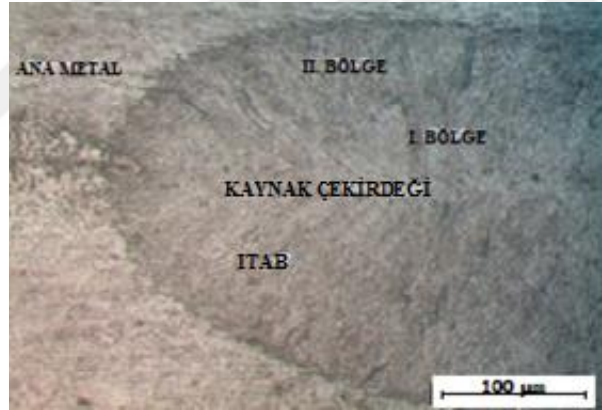
**Şekil 7.2.** (a)  $\text{CuCo}_2\text{Be}$  elektrotlar kullanılarak direnç nokta kaynağı yapılmış AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin kaynak bölgesi tipik makroyapısı (b) Füzyon bölgesindeki mikroyapı gradyanı (5.4 kA, 15 çevrim).

Şekil 7.3'te ise su soğutmalı elektrotlar kullanılarak hem yüksek kaynak akımı (5,4 kA) hem de yüksek kaynak zamanı (15 çevrim) kullanılarak direnç nokta kaynağı yapılmış AISI 304 östenitik paslanmaz çelik sacların kaynak makroyapısı gösterilmektedir. Burada elektrotların soğutulması ve bunun sonucu olarak daha yüksek soğuma oranı nedeniyle özellikle ikinci bölgede, çekirdek kenarındaki  $\delta$ -ferrit oranı çekirdek merkezine oranla çok daha yüksek olduğu gözlenebilmektedir. Daha yüksek soğuma oranının etkisiyle ikinci bölgenin kalınlaştığı, yani küçük ve eş eksenli tane oluşumunun arttığı çekirdek merkezine doğru ise daha büyük dendritik tane yapısının meydana geldiği rahatlıkla görülebilmektedir. Çatalbaş vd. (2018) yaptıkları

benzer bir çalışmada bunun nedeninin hızlı soğuma sonucunda dendritik katılaşmanın gecikmesi olduğunu ifade etmişlerdir. Genel olarak bu numunelerin çekirdek merkezi mikrosertlik ölçümleri de diğerlerine oranla daha düşük çıkmıştır. Kaynaklı numunelerin mikroyapısına bakıldığında ana metale göre ITAB bölgesinde taneciklerin daha büyük olduğu görülmektedir. Kianersi vd. (2014) de östenitik paslanmaz çelik saclar üzerine yaptıkları çalışmada benzer sonuçları bulmuştur.

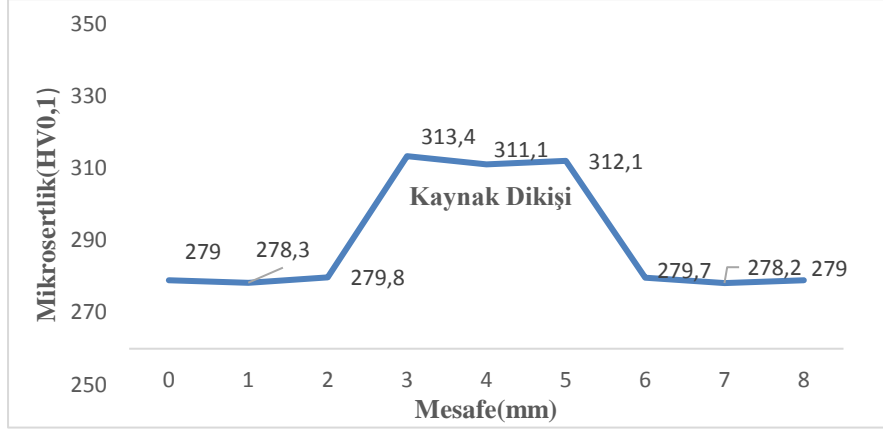


(a)

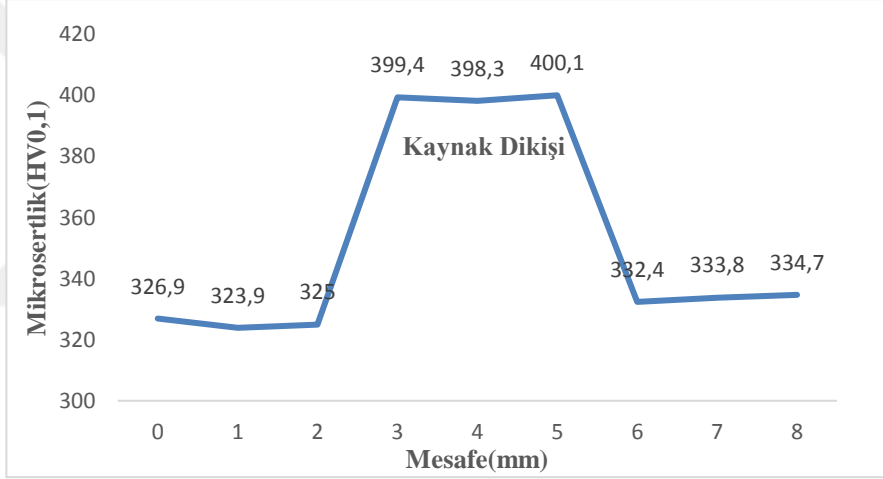


(b)

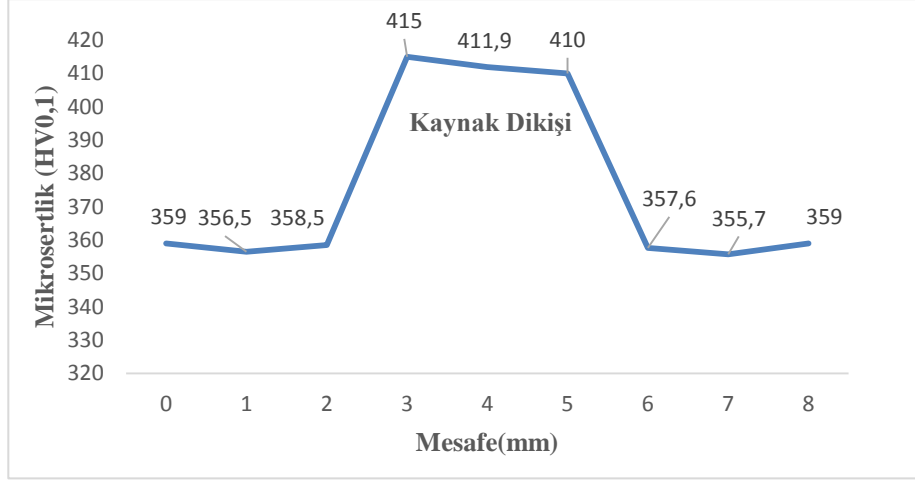
**Şekil 7.3.** (a) Su soğutmalı  $\text{CuCo}_2\text{Be}$  elektrotlar kullanılarak direnç nokta kaynağı yapılmış AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin kaynak bölgesi tipik makroyapısı (b) Füzyon bölgesindeki mikroyapı gradyanı (5,4 kA, 15 çevrim).



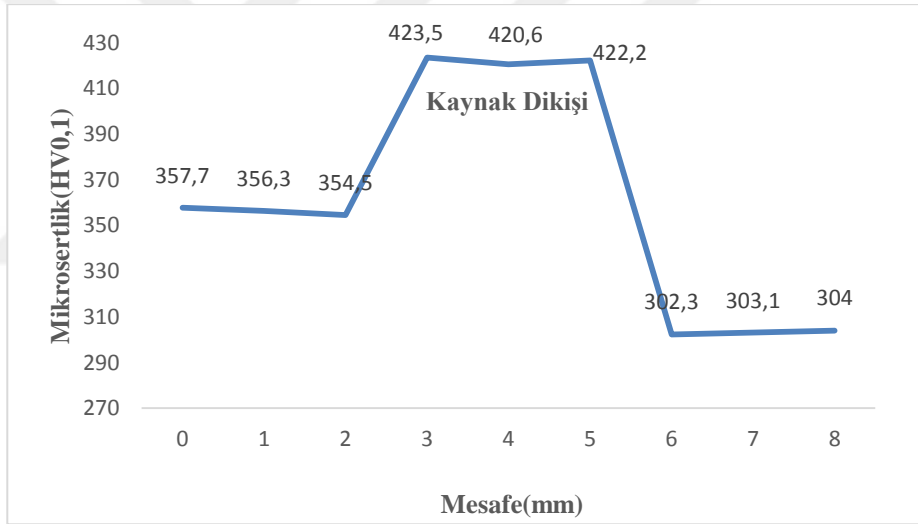
**Şekil 7.4.** CuCoBe elektroduyla 5,4 kA akım, 15 çevrim kaynak zamanı ve 4 bar elektrot kuvvetinde yapılan soğutmasız kaynaklı numunenin Vickers mikrosertlik profili.



**Şekil 7.5.** CuCrZr elektroduyla soğutmalı olarak 5,4 kA akım, 15 çevrim ve 3 bar elektrot kuvvetiyle yapılmış direnç nokta kaynağı Vickers mikrosertlik profili.



**Şekil 7.6.** CuCrZr elektroduyla soğutmasız ortamda 5,4 kA akımda, 15 çevrim zamanda ve 2 bar elektrot kuvvetiyle yapılmış direnç nokta kaynağı Vickers mikrosertlik profili.



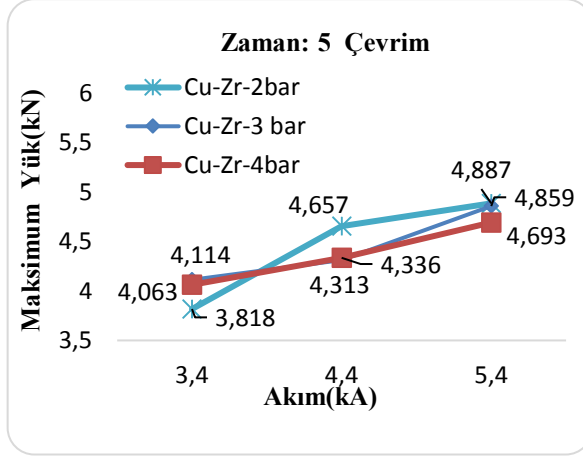
**Şekil 7.7.** CuCoBe elektroduyla 5,4 kA kaynak akımında, 15 çevrim kaynak zamanı ve 2 bar elektrot baskı kuvvetiyle yapılan soğutmalı kaynak numunesinin Vickers mikrosertlik profili.

## 7.2 Mekanik Özellikler

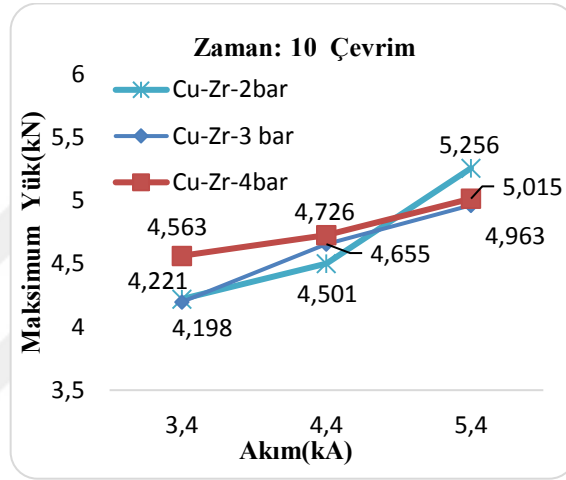
Kaynaklı numunelerin maksimum çekme kuvvetini tespit etmek için 3 farklı parametre kullanılmıştır. Bunlar; kaynak zamanı, kaynak akımı, elektrot kuvvetidir. Her bir parametre üç farklı değişken, iki farklı kaynak ortamı ve iki farklı elektrot kullanılarak yapılmıştır. Kaynak ortamı soğutmalı (su ile) ve soğutmasız yapılmıştır. Kullanılan parametrelerde optimum kaynak değerleri seçilmiştir. Kaynaklar 5, 10, 15 kaynak çevrimi, 3,4, 4,4, 5,4 kA kaynak akımı ve 2, 3, 4 bar elektrot kuvveti kullanılarak yapılmıştır. Yapılan kaynaklar farklı parametreler ve değişkenler altında denenmiştir. Grafikler üç parametrenin tüm değişkenlerinde çizilmiş ve maksimum maksimum çekme yükü tespit edilmiştir.

Üç değişkende karşılaştırma zor olacağından iki farklı elektrot türünde de optimal elektrot baskı kuvveti belirlenmiştir. CuZr elektrodu ile yapılan soğutmasız ve soğutmalı kaynaklarda, maksimum çekme dayanımını veren ve en uygun elektrot baskı kuvveti 2 bar; CuBe elektrodu ile yapılan soğutmasız ve soğutmalı kaynaklarda maksimum çekme dayanımını veren ve en uygun elektrot baskı kuvveti 4 bar olduğu gözlenmiştir.

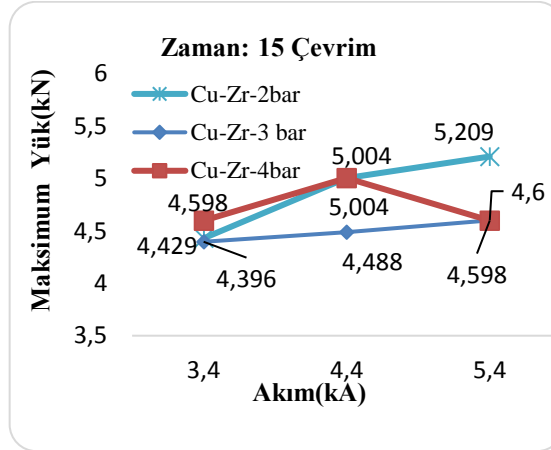
CuCrZr elektrotu kullanılarak 5, 10, 15 çevrim sabit kaynak sürelerinde 2, 3, 4 bar elektrot baskı kuvvetlerinde 3,4, 4,4, 5,4 kA kaynak akımlarına bağlı olduğu yapılan soğutmasız kaynaklı numunelerin grafikleri gösterilmiştir. Yapılan kaynaklarda CuCrZr elektrodu için maksimum çekme dayanımı Şekil 7.8b'de görüleceği gibi 5,4 kA akım, 10 çevrim ve 2 bar elektrot baskı kuvvetinde 5,209 kN yük değeri elde edilmiştir. Şekil 7.8c'de 15 çevrim kaynak zamanı 4 barlık elektrot kuvvetinde yapılan kaynakta çekme dayanımının düştüğü gözlenmiştir.



(a)



(b)



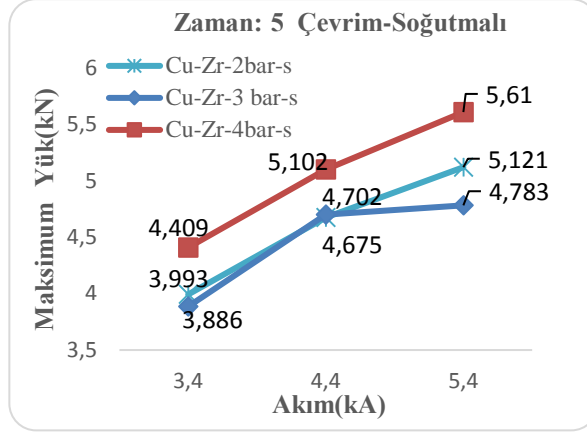
(c)

**Şekil 7.8.** CuCrZr elektrot kullanılarak 5 çevrim (a), 10 çevrim (b), 15 çevrimde (c) yapılmış soğutmasız kaynaklı numunelerin 2, 3, 4 bar elektrot kuvvetinde çekme dayanımı üzerine kaynak akımının etkisi.

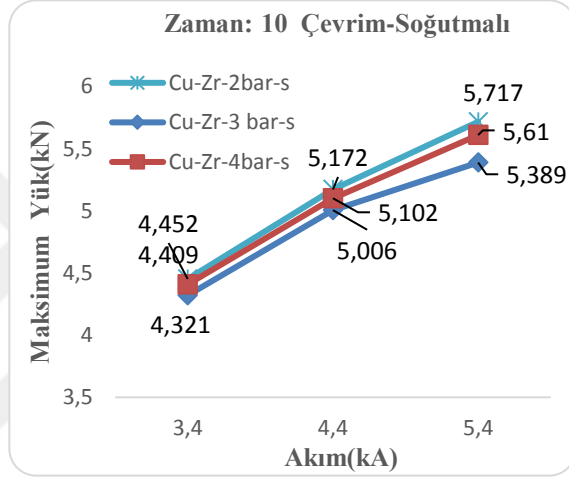
CuCrZr elektrodu kullanılarak farklı kaynak parametrelerinde kaynak süresinin 5(bkz. 7.9a), 10(bkz. 7.9b), 15(bkz. 7.9c) çevrim sabit kaynak zamanlarında üç farklı elektrot kuvveti ve üç farklı kaynak akımına bağlı olarak yapılan soğutmalı kaynak numunelerinin maksimum çekme yükü değerleri Şekil 7.9'da gösterilmiştir. Şekil 7.8'de soğutmasız yapılan kaynaklara göre soğutmalı yapılan kaynakların çekme yükü değerlerinde artış gözlenmiştir. Şekil 7.9c'de görüleceği üzere maksimum çekme yükü 5,4 kA kaynak akımı, 10 çevrim ve 2 bar elektrot baskı kuvvetinde bulunan 5,717 kN yük değeridir. 15 çevrimde yapılan kaynaklı numunelerin maksimum yük değerlerinde düşüş gözlenmiştir.

Şekil 7.10'da CuCoBe elektrodu kullanılarak farklı kaynak parametrelerinde yapılan soğutmasız kaynaklı numuneler için maksimum çekme yükü değerleri gösterilmiştir. 5(bkz. 7.10a), 10(bkz. 7.10b), 15(bkz. 7.10c) çevrim sabit kaynak zamanlarında üç farklı elektrot kuvveti ve üç farklı kaynak akımına bağlı olarak elde edilen maksimum çekme yükü değerlerinde optimal kaynak parametreleri bulunmuştur. CuCoBe elektrodu kullanılarak yapılan soğutmasız kaynaklı numunelerde maksimum çekme yükü Şekil 7.10c'de gösterilen 5,4 kA kaynak akımı, 15 çevrim kaynak zamanı ve 4 bar elektrot baskı kuvvetinde elde edilen 6,037 kN yük değeridir. Artan kaynak akımı ve artan kaynak zamanında çekme dayanımında artış gözlenmiştir. Şekil 7.10a ve Şekil 7.10b'de görüleceği gibi CuCoBe elektrodu için 2 bar elektrot kuvvetinde yapılan 5 ve 10 çevrim kaynaklı numunelerde 5,4 kA kaynak akımı değerinde düşüş gözlenmiştir. Bu sorun kaynak süresinin 15 çevrime yükseldiği Şekil 7.10c'de görüldüğü gibi artış sağlanarak giderilmiştir.

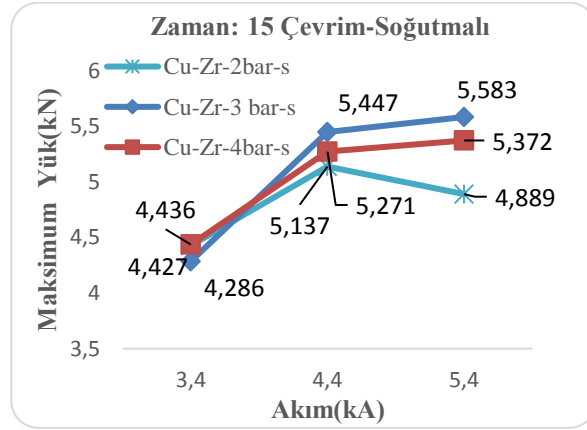




(a)

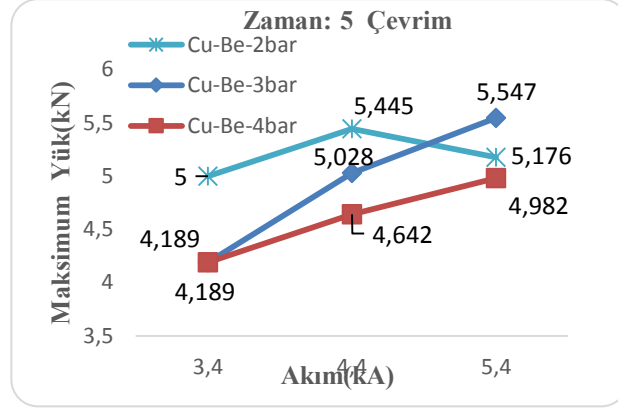


(b)

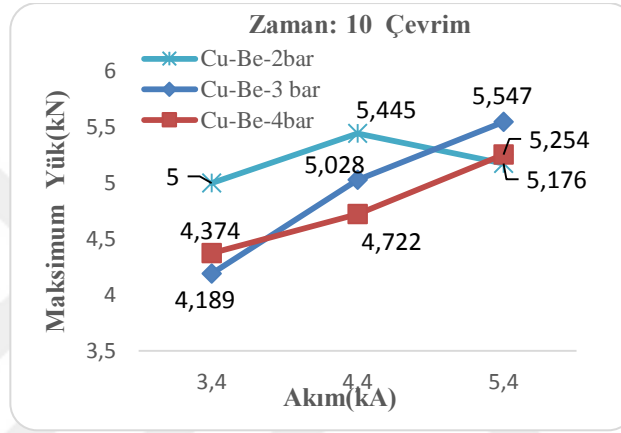


(c)

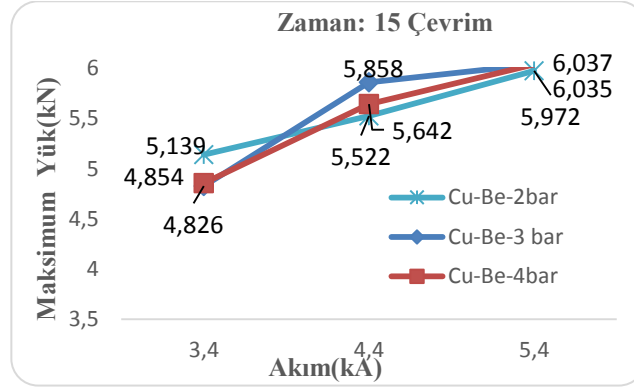
**Şekil 7.9.** CuCrZr elektrot kullanılarak 5 çevrim (a), 10 çevrim (b), 15 (c) çevrimde yapılmış soğutmalı kaynaklı numunelerin 2, 3, 4 bar elektrot kuvvetinde çekme dayanımı üzerine kaynak akımının etkisi.



(a)



(b)

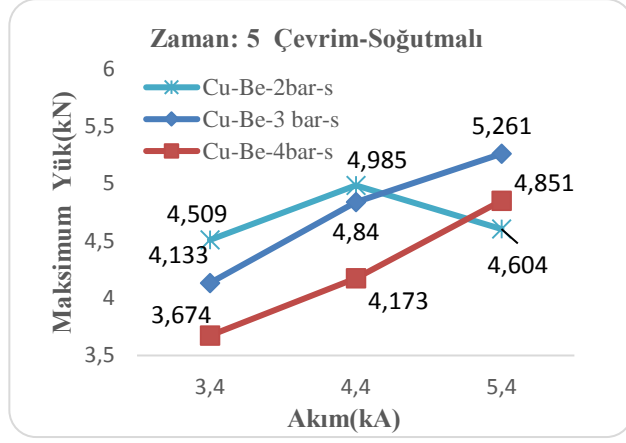


(c)

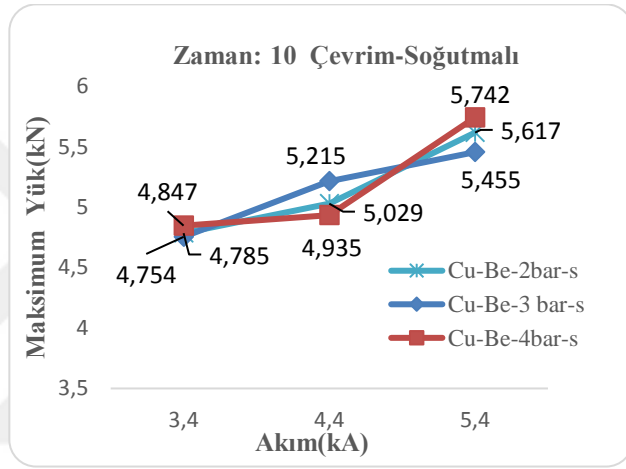
**Şekil 7.10.** CuCoBe elektrot kullanılarak 5 çevrim (a), 10 çevrim (b), 15 çevrimde (c) yapılmış soğutmasız kaynaklı numunelerin 2, 3, 4 bar elektrot kuvvetinde çekme dayanımı üzerine kaynak akımının etkisi.

Şekil 7.11’de CuCoBe elektrodu kullanılarak farklı kaynak parametrelerinde yapılan soğutmalı kaynaklı numunelerden elde edilen maksimum çekme yükü değerleri gösterilmiştir. 5(bkz. 7.11a), 10(bkz. 7.11b), 15(bkz. 7.11c) çevrim sabit kaynak zamanlarında, üç farklı elektrot kuvveti ve üç farklı kaynak akımına bağlı olarak elde edilen maksimum çekme yükü değerlerinde optimal kaynak parametreleri bulunmuştur. Bulunan değerlerde maksimum çekme yükü değeri Şekil 7.11c’de görüleceği üzere 5.4 kA kaynak akımı, 15 çevrim ve 4 barlık elektrot baskı kuvvetinde elde edilen 5,769 kN yük değeridir. Şekil 7.10’da yapılan soğutmasız kaynaklara göre soğutmalı yapılan kaynaklı numunelerin çekme yükü değerlerinde düşüş gözlenmiştir.

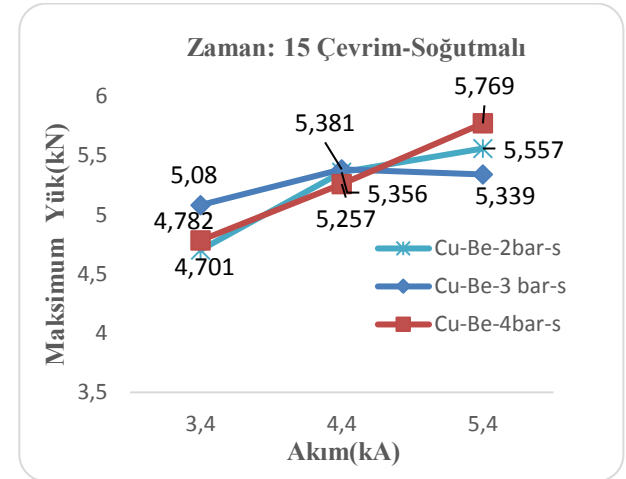
Şekil 7.12’de CuCrZr elektrodu kullanılarak 2 bar sabit elektrot kuvvetinde 5(bkz. 7.12a), 10(bkz. 7.12b), 15(bkz. 7.12c) çevrimde, üç farklı akım değerinde yapılan soğutmasız kaynaklı numunelerin maksimum çekme yükleri elde edilen değerler gösterilmiştir. CuCrZr elektrodu için maksimum çekme yükü değeri 10 çevrim ve 5.4 kA akımda 5,256 kN (bkz. 7.12b) olarak bulunmuştur. Bu değer CuCrZr elektrodu kullanılarak yapılan kaynaklı numunelerde maksimum çekme yükü değeridir. Şekil 7.13’te CuCrZr elektroduyla 5,4 kA kaynak akımı ve 2 bar sabit elektrot baskı kuvvetinde yapılan soğutmasız kaynaklı numuneler gösterilmektedir. Şekil 7.13(orta)’te gösterilen numune 5,4 kA kaynak akımı, 10 çevrim kaynak zamanı ve 2 bar elektrot kuvvetinde CuCrZr elektrodu kullanılarak yapılan maksimum çekme yükünü (5,256 kN) veren kaynaklı numunedir. Şekil 7.13(sağ)’te 15 çevrimde yapılan kaynaklı numunede meydana gelen yapışmalar çekme yükünde azalmaya neden olmuştur.



(a)

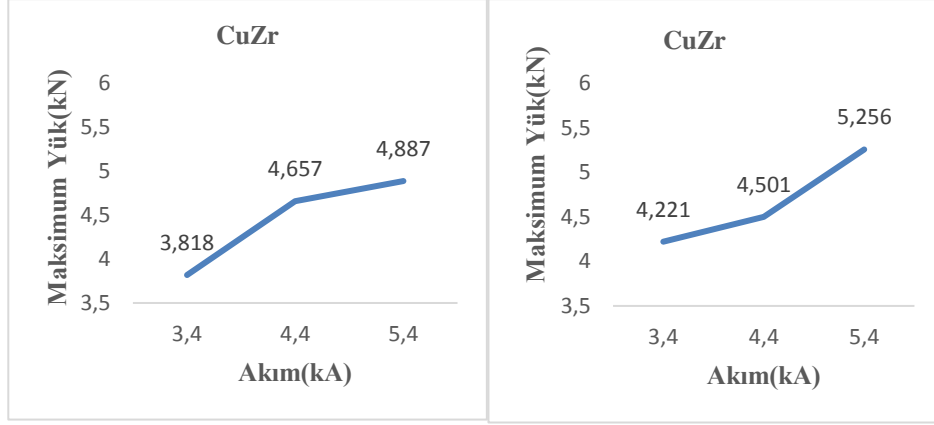


(b)



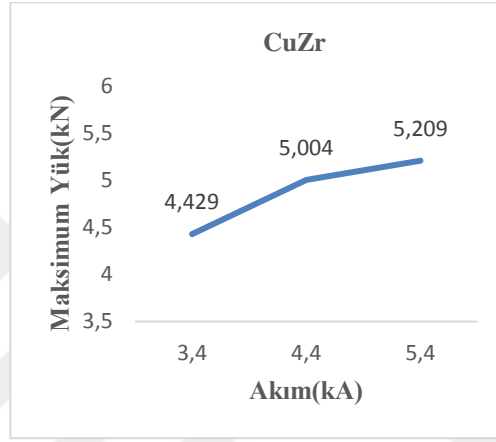
(c)

**Şekil 7.11.** CuCoBe elektrot kullanılarak 5 çevrim (a), 10 çevrim (b), 15 çevrimde (c) yapılmış soğutmalı kaynaklı numunelerin 2, 3, 4 bar elektrot kuvvetinde çekme dayanımı üzerine kaynak akımının etkisi.



(a)

(b)



(c)

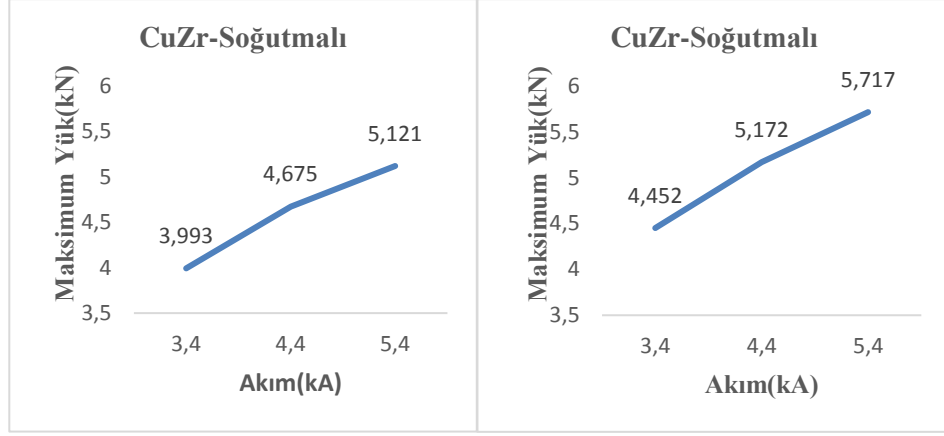
**Şekil 7.12.** CuCrZr elektrodu kullanılarak 2 bar sabit elektrot kuvvetinde 5(a), 10(b), 15(c) çevrimde yapılan soğutmasız kaynaklı numuneler üzerine kaynak akımının etkisi.



**Şekil 7.13.** CuCrZr elektrodu kullanılarak, 5,4 kA akım ve 2 bar sabit elektrot kuvvetinde yapılan soğutmasız kaynaklı numuneler (5(sol), 10(orta), 15 (sağ) çevrim).

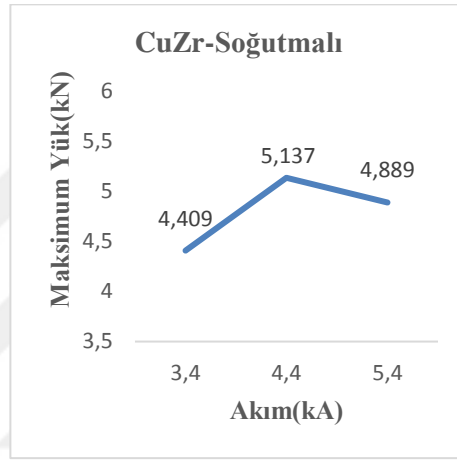
Şekil 7.14'te CuCrZr elektrodu kullanılarak 2 bar sabit elektrot kuvvetinde 5(bkz. 7.14a), 10(bkz. 7.14b), 15(bkz. 7.14c) çevrimde üç farklı kaynak akımında yapılan soğutmalı kaynaklı numunelerin maksimum çekme yükü değerleri gösterilmiştir. CuCrZr elektrodu kullanılarak yapılan soğutmalı kaynaklı numunelerde maksimum çekme yükü değeri 5,4 kA akım ve 10 çevrimde elde edilen 5.717 kN (bkz. 7.14b) çekme yükü değeridir. Bu değer CuCrZr elektrodu kullanılarak yapılan soğutmalı kaynaklı numunelerde maksimum çekme yüküdür. Şekil 7.14c'de 15 çevrimde 5.4 kA'da yapılan kaynakta çekme yükü azalmıştır. Şekil 7.15'te CuCrZr elektrodu kullanılarak 5,4 kA kaynak akımı, 2 bar sabit elektrot baskı kuvveti ve 5, 10, 15 çevrimde yapılan soğutmalı kaynak numunelerinin kaynak çekirdeklerinin görünümleri gösterilmiştir. Şekil 7.15(ortada)'te CuCrZr elektrodu kullanılarak yapılan kaynak numuneleri içinde maksimum çekme yükünü (5,717 kN) veren kaynak çekirdeğinin görünümüdür. Şekil 7.15(sağda)'te gösterilen kaynak dikişindeki bozulma çekme yükünde düşüşe neden olmuştur (bkz. Şekil 7.14c).

Şekil 7.16'da CuCoBe elektrodu kullanılarak 4 bar sabit elektrot kuvvetinde 5(bkz. 7.16a), 10(bkz. 7.16b), 15(bkz. 7.16c) çevrimde, üç farklı akım değerinde yapılan soğutmasız kaynaklı numunelerin maksimum çekme yükleri elde edilen değerler gösterilmiştir. CuCoBe elektrodu için maksimum çekme yükü değeri 15 çevrim ve 5.4 kA akımda 6,037 kN (bkz. 7.16c) olarak bulunmuştur. Bu değer CuCoBe elektrodu kullanılarak yapılan kaynaklı numunelerde maksimum çekme yükü değeridir. Şekil 7.17'de CuCoBe elektroduyla 5,4 kA kaynak akımı ve 4 bar sabit elektrot baskı kuvvetinde yapılan soğutmasız kaynaklı numuneler gösterilmektedir. Şekil 7.17(sağda)'de gösterilen numune 5,4 kA kaynak akımı, 15 çevrim kaynak zamanı ve 4 bar elektrot kuvvetinde CuCrZr elektrodu kullanılarak yapılan maksimum çekme yükünü (6,037 kN) veren kaynaklı numunedir. Şekil 7.17(solda)'de 5 çevrimde yapılan kaynaklı numunede yetersiz kaynak zamanından dolayı çekme yükü düşük bulunmuştur.



(a)

(b)

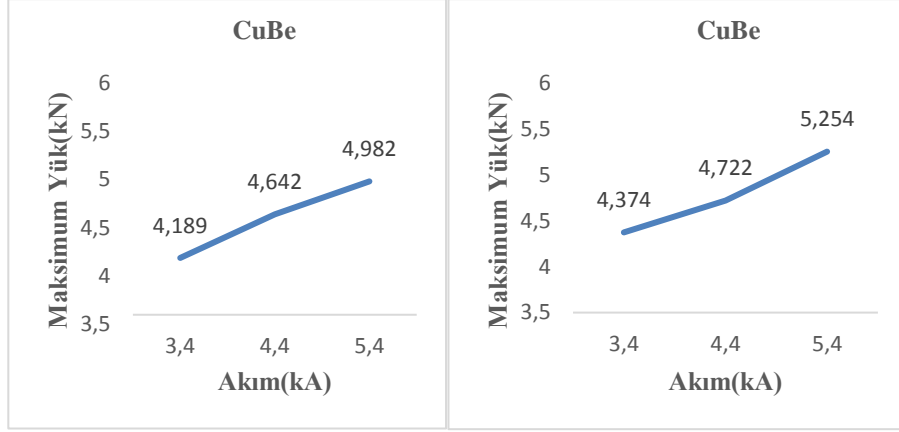


(c)

**Şekil 7.14.** CuCrZr elektrodu kullanılarak 2 bar sabit elektrot kuvvetinde 5(a), 10(b), 15(c) çevrimde yapılan soğutmalı numuneler üzerine kaynak akımının etkisi.

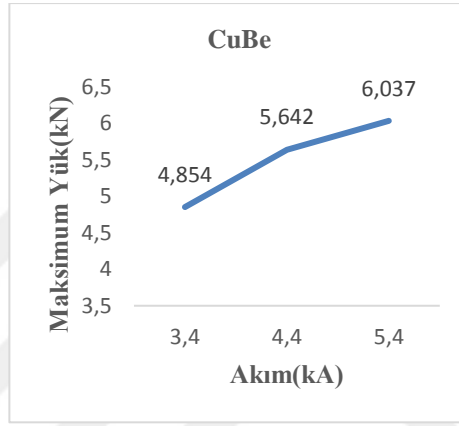


**Şekil 7.15.** CuCrZr elektrodu kullanılarak, 5,4 kA akım ve 2 bar sabit elektrot kuvvetinde 5(solda), 10(ortada), 15(sağda) çevrimde yapılan soğutmalı kaynaklı numunelerin çekirdek görünümü.



(a)

(b)



(c)

**Şekil 7.16.** CuCoBe elektrodu kullanılarak 4 bar sabit elektrot kuvvetinde 5(a), 10(b), 15(c) çevrimde yapılan soğutmasız kaynaklı numuneler üzerine kaynak akımının etkisi.



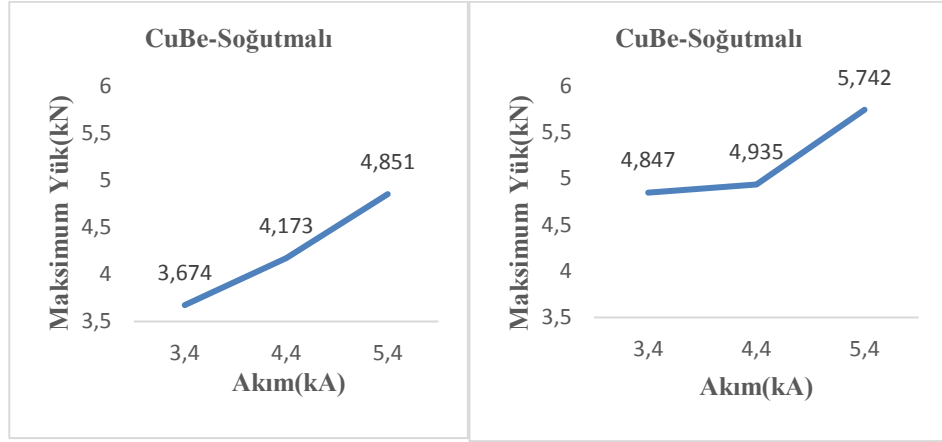
**Şekil 7.17.** CuCoBe elektrodu kullanılarak, 5,4 kA akım ve 4 bar sabit elektrot kuvvetinde 5(solda), 10(ortada), 15(sağda) çevrimde yapılan soğutmasız kaynaklı numunelerin çekirdek görünümü.



Şekil 7.18’de CuCoBe elektrodu kullanılarak 4 bar sabit elektrot kuvvetinde 5(bkz. 7.18a), 10(bkz. 7.18b), 15(bkz. 7.18c) çevrimde üç farklı kaynak akımında yapılan soğutmalı kaynaklı numunelerin maksimum çekme yükü değerleri gösterilmiştir. CuCoBe elektrodu kullanılarak yapılan soğutmalı kaynaklı numunelerde maksimum çekme yükü değeri 5,4 kA akım ve 15 çevrimde elde edilen 5.769 kN (bkz. 7.18c) çekme yükü değeridir. Bu değer CuCoBe elektrodu kullanılarak yapılan soğutmalı kaynaklı numunelerde maksimum çekme yüküdür. Artan kaynak akımı ve zamanında maksimum çekme yükünde artış gözlenmiştir. Şekil 7.19’da CuCoBe elektrodu kullanılarak 5,4 kA kaynak akımı, 4 bar sabit elektrot baskı kuvveti ve 5, 10, 15 çevrimde yapılan soğutmalı kaynak numunelerinin kaynak çekirdeklerinin görünüşleri gösterilmiştir. Şekil 7.19(sağda)’da CuCoBe elektrodu kullanılarak yapılan kaynak numuneleri içinde maksimum çekme yükünü (5,717 kN) veren kaynak çekirdeğinin görünümüdür. Şekil 19’da görüldüğü üzere kaynak zamanının artışına bağlı olarak ısı girdisi artmakta bununla birlik kaynak çekirdek boyutu da artmaktadır. Şekil 19’da soldan sağa doğru çekirdek çapı ölçümleri; 6 mm, 7,4 mm, 8,6 mm gelmiştir. Durgut ve Kaçar (2011) da yaptıkları çalışmalar da ısı girdisine bağlı olarak çekirdek boyutunun arttığını gözlemlemişlerdir.

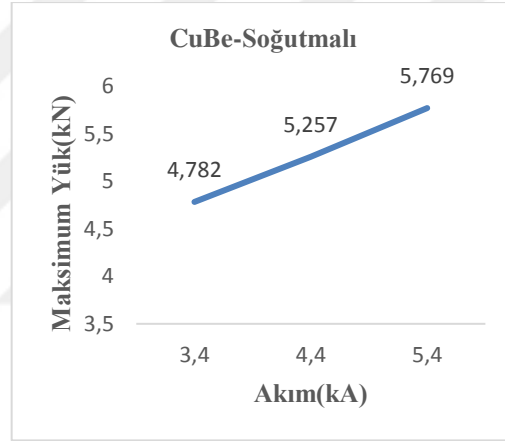
Şekil 7.20’de CuCoBe ve CuCrZr elektrotları kullanılarak yapılan soğutmalı soğutmasız kaynaklı numunelerin 15 çevrim ve 4 bar elektrot baskı kuvvetinde kaynak akımına bağlı maksimum çekme yükü değerleri gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü üzere maksimum çekme yükü değeri (6,037 kN) CuCoBe elektrodunun soğutmasız yapılmış kaynaklı numunesinde elde edilmiştir. Artan kaynak akımında 15 çevrim ve sabit elektrot kuvvetinde en fazla artışı CuCoBe elektrodunun göstermesinin sebebi bu elektrodun elektrik iletkenliğinin CuCrZr elektrodundan yüksek olmasından (yaklaşık 2 katı) dolayı olduğu düşünülmektedir. CuCoBe elektrodunun soğutmasız olduğu kaynaktan yüksek olmasının sebebi ise kaynak çekirdeğinin soğumasının kaynak çekme dayanımına olumsuz etkisi olduğu düşünülmektedir. CuCrZr elektrodunun soğutmasız yapılan kaynağında 5,4 kA kaynak akımında düşüş olduğu görülmektedir. Bunun sebebi CuCrZr elektrodundaki ısınmalardan kaynaklanan yapışmaların kaynak dikişini bozmasından dolayı çekme dayanımında düşüş olduğu görülmektedir. (bkz. Şekil 7.21(sağ)) CuCrZr elektrodunun CuCoBe elektrodu aksine soğutmalı yapılması kaynaklı numunelerde

iyileşmeye neden olmuştur. Bunun sebebi, yüksek akım ve çevrimde gözlenen yapışmaların soğutma ile birlikte giderilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.



(a)

(b)

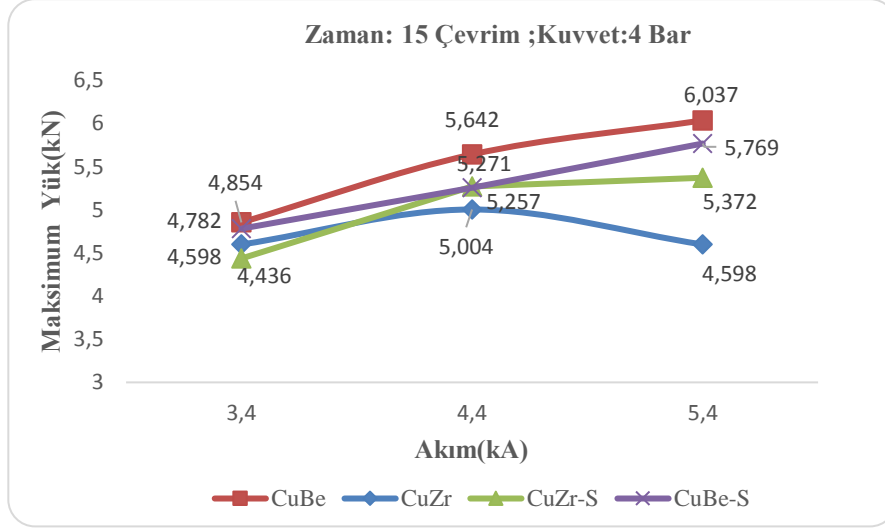


(c)

**Şekil 7.18.** CuCoBe elektrodu kullanılarak 4 bar sabit elektrot kuvvetinde 5(a), 10(b), 15(c) çevrimde yapılan soğutmalı kaynaklı numuneler üzerine kaynak akımının etkisi.



**Şekil 7.19.** CuCoBe elektrodu kullanılarak, 5,4 kA akım ve 4 bar sabit elektrot kuvvetinde 5(solda), 10(ortada), 15(sağda) çevrimde yapılan soğutmalı kaynaklı numunelerin çekirdek görünümü.



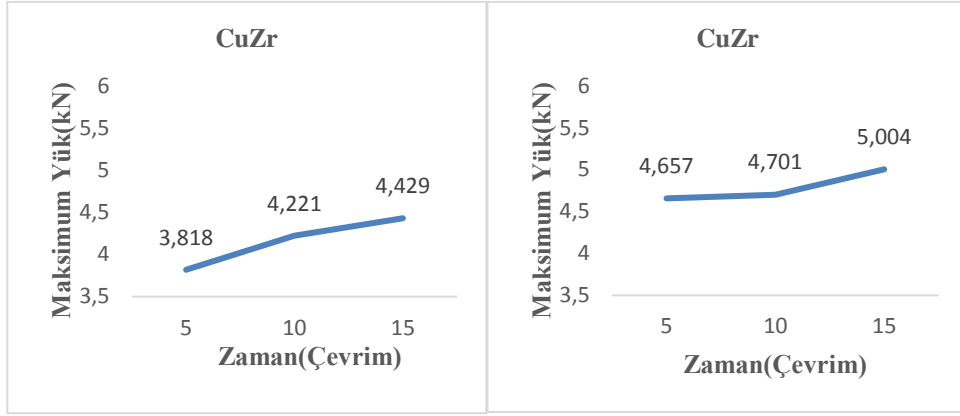
**Şekil 7.20.** CuCoBe ve CuCrZr elektrotları ile yapılmış soğutmalı ve soğutmasız ortamlarda 4 bar elektrot kuvvetinde 15 çevrim kaynak zamanında kaynak akımının artışına bağlı olarak maksimum çekme yükündeki değişimler.



**Şekil 7.21.** CuCrZr elektrodu kullanılarak soğutmasız, 15 çevrim ve 4 bar elektrot baskı kuvvetinde artan kaynak akımındaki çekirdek görünümleri (sol 3,4 kA, orta 4,4 kA, sağ 5,4 kA)

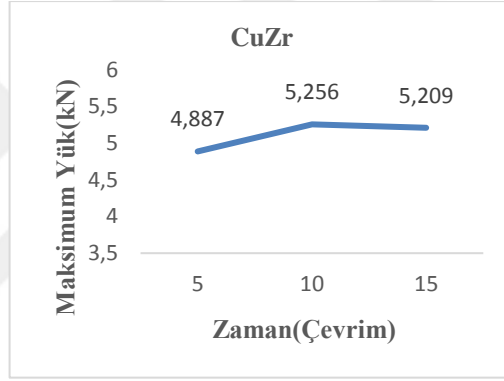
Şekil 7.22'de CuCrZr elektrodu kullanılarak 2 bar sabit elektrot kuvvetinde 3,4(bkz. 7.22a), 4,4(bkz. 7.22b), 5,4(bkz. 7.22c) kA, üç farklı çevrim değerinde yapılan soğutmasız kaynaklı numunelerin maksimum çekme yükleri elde edilen değerler gösterilmiştir. CuCrZr elektrodu için maksimum çekme yükü değeri 10 çevrim ve 5.4 kA akımda 5,256 kN (bkz. 7.22c) olarak bulunmuştur. Kaynak zamanındaki artışa bağlı olarak çekme dayanımının arttığı gözlenmiştir. Şekil 7.22c'de görüleceği gibi 2 bar elektrot kuvvetinde optimal çevrim değeri 10 çevrimdir. Bu değerden sonra kaynak çekme yükünde düşüş olduğu görülmektedir. Şekil 7.23'te artan akım değerine bağlı olarak kaynak çekirdeğindeki büyüme ile çekme yükündeki

artışla ilgili olduğu görülmektedir. Maksimum çekme yükünün elde edildiği kaynak çekirdeği 7.23(sağ)'te gösterilmektedir.



(a)

(b)



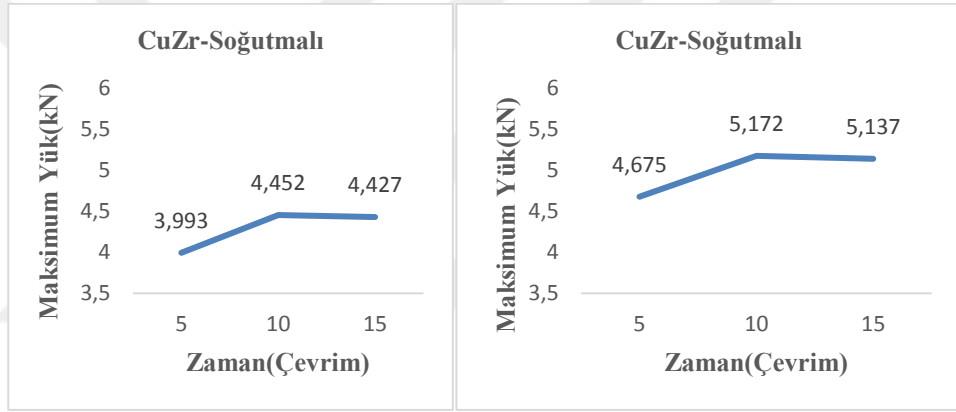
(c)

**Şekil 7.22.** CuCrZr elektrodu kullanılarak 2 bar sabit elektrot kuvvetinde 3,4(a), 4,4(b), 5,4(c) kA kaynak akımında yapılan soğutmasız kaynaklı numuneler üzerine kaynak zamanının etkisi.



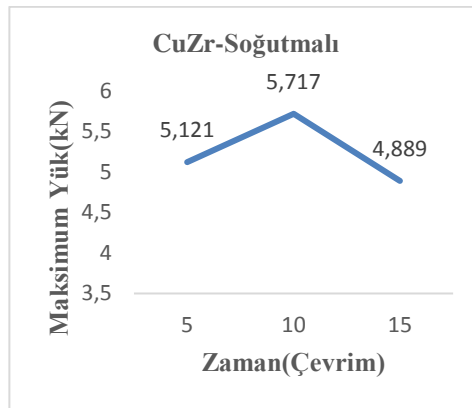
**Şekil 7.23.** CuCrZr elektrodu kullanılarak, 10 çevrim kaynak zamanı ve 2 bar sabit elektrot kuvvetinde 3,4(solda), 4,4(ortada), 5,4(sağda) kA kaynak akımında yapılan soğutmasız kaynaklı numunelerin kaynak çekirdeğinin görünümü.

Şekil 7.24'te CuCrZr elektrodu kullanılarak 2 bar sabit elektrot kuvvetinde; 3,4(bkz. 7.24a), 4,4(bkz. 7.24b), 5,4(bkz. 7.24c) kA, üç farklı çevrim değerinde yapılan soğutmasız kaynaklı numunelerin maksimum çekme yükleri elde edilen değerler gösterilmiştir. CuCrZr elektrodu için maksimum çekme yükü değeri 10 çevrim ve 5.4 kA akımda 5,717(7.24c) kN olarak bulunmuştur. Şekil 7.24c'de 15 çevrimde kaynaklı numunenin çekme yükünde düşüş meydana gelmiştir. Şekil 7.25'te CuCrZr elektrodunun soğutmalı kaynaklı numunelerinin kaynak çekirdekleri görülmektedir. Kaynaklı numunede meydana gelen yapışmalar (bkz. 7.25(sağ)) CuCrZr elektroduyla yapılan kaynağın çekme yükünde düşüşe sebep olmuştur. Ferritik paslanmaz çeliklerin direnç kaynağı ile yapılan bir çalışmada da benzer sonuçlar elde edilmiştir (Onsekiz ve Altunpak, 2017).



(a)

(b)



(c)

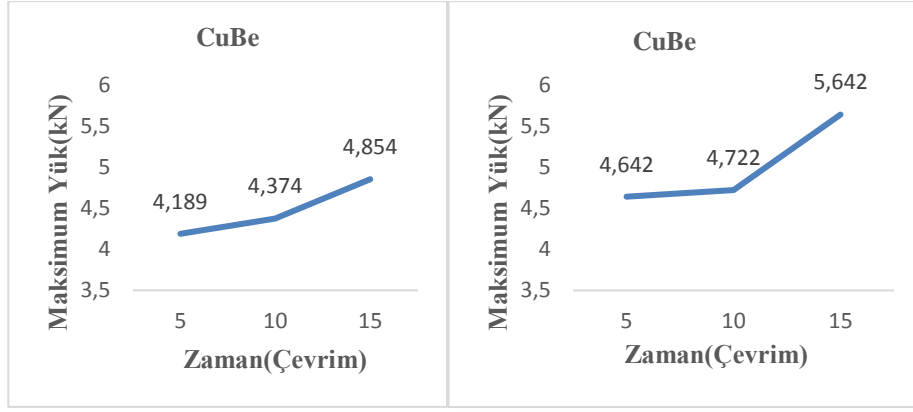
**Şekil 7.24.** CuCrZr elektrodu kullanılarak 2 bar sabit elektrot kuvvetinde 3,4(a), 4,4(b), 5,4(c) kA kaynak akımında yapılan soğutmalı kaynaklı numuneler üzerine kaynak zamanının etkisi.



**Şekil 7.25.** CuCrZr elektrodu kullanılarak, 5,4 kA kaynak akımı ve 2 bar sabit elektrot kuvvetinde 5(solda), 10(ortada), 15(sağda) çevrim kaynak zamanında yapılan soğutmalı kaynaklı numunelerin kaynak çekirdeğinin görünümü.

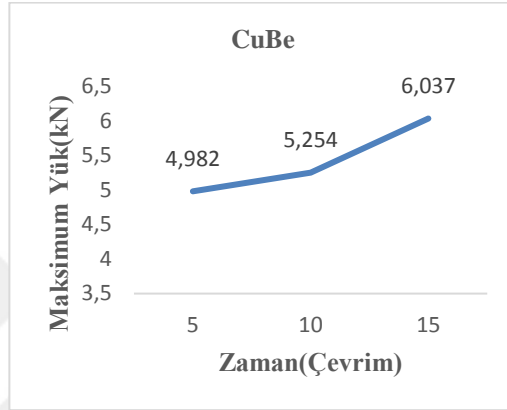
Şekil 7.26'da CuCoBe elektrodu kullanılarak 4 bar sabit elektrot kuvvetinde 3,4(bkz. 7.26a), 4,4(bkz. 7.26b), 5,4(bkz. 7.26c) kA kaynak akımında, üç farklı çevrim değerinde yapılan soğutmasız kaynaklı numunelerin maksimum çekme yükleri elde edilen değerler gösterilmiştir. CuCoBe elektrodu için maksimum çekme yükü değeri 15 çevrim ve 5.4 kA akımda 6,037(bkz. 7.26c) kN olarak bulunmuştur. Grafikler incelendiğinde artan kaynak akımı ve kaynak zamanında çekme yükünde artışa neden olmuştur. Şekil 7.27'de CuCo<sub>2</sub>Be elektrodunun soğutmasız kaynaklı numunelerinin kaynak çekirdekleri görülmektedir. Şekilde de görüldüğü üzere artan akımına bağlı olarak kaynak çekirdek boyutlarında artış olmuştur. Şekil 7.27'de soldan sağa doğru çekirdek çapı ölçümleri 5,8 mm, 6,2 mm ve 8,5 mm' dir. Jamaludin ve Hisyam (2007) östenitik 304 paslanmaz çelik üzerine yaptıkları çalışmada benzer sonuçları bulmuşlardır. Ayrıca, artan kaynak akımı ve kaynak çekirdek çapında kaynaklı bağlantıların mukavemetinde de artış görülmesidir (bkz. Şekil 7.26).

Şekil 7.28'de CuCoBe elektrodu kullanılarak 4 bar sabit elektrot kuvvetinde 3,4(bkz. 7.28a), 4,4(bkz. 7.28b), 5,4(bkz. 7.28c) kA kaynak akımında, üç farklı çevrim değerinde yapılan soğutmalı kaynaklı numunelerin maksimum çekme yükleri elde edilen değerler gösterilmiştir. CuCoBe elektrodu için maksimum çekme yükü değeri 15 çevrim ve 5,4 kA akımda 5,769(bkz. 7.28c) kN olarak bulunmuştur. Grafikler incelendiğinde artan kaynak akımı ve kaynak zamanında çekme yükünde artışa neden olmuştur. Şekil 7.28a'da 15 çevrimde ( 4,782 kN ) çekme yükünde düşüş meydana gelmiştir. Bunun sebebi yetersiz akım girdisi sonucu çekme yükünde azalma görülmüştür.



(a)

(b)

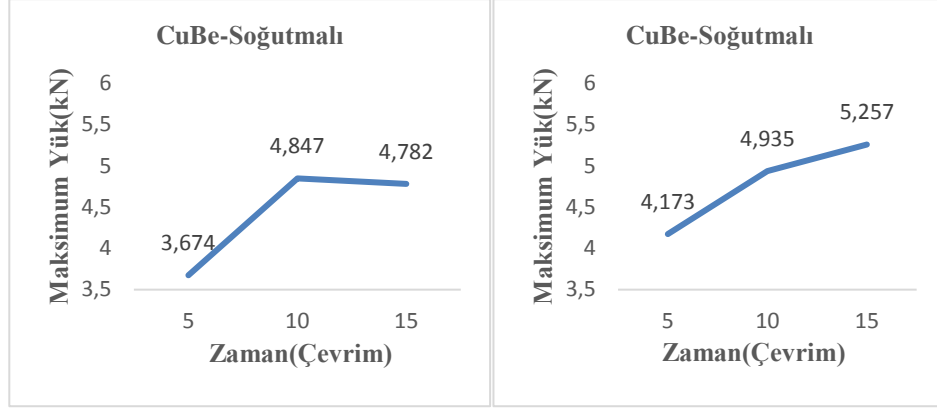


(c)

**Şekil 7.26.** CuCoBe elektrodu kullanılarak 4 bar sabit elektrot kuvvetinde 3,4(a), 4,4(b), 5,4(c) kA kaynak akımında yapılan soğutmasız kaynaklı numuneler üzerine kaynak zamanının etkisi.

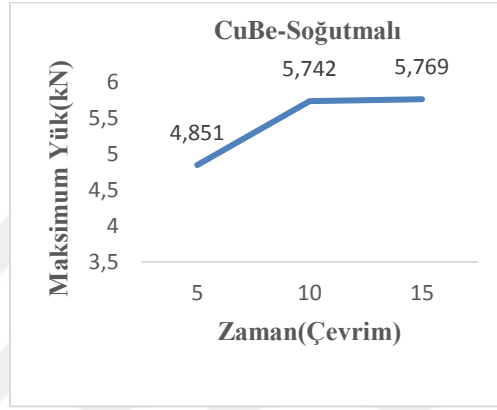


**Şekil 7.27.** CuCoBe elektrodu kullanılarak, 15 çevrim kaynak zamanı ve 4 bar sabit elektrot kuvvetinde 3,4(solda), 4,4(ortada), 5,4(sağda) kA kaynak akımında yapılan soğutmasız kaynaklı numunelerin kaynak çekirdeğinin görünümü.



(a)

(b)



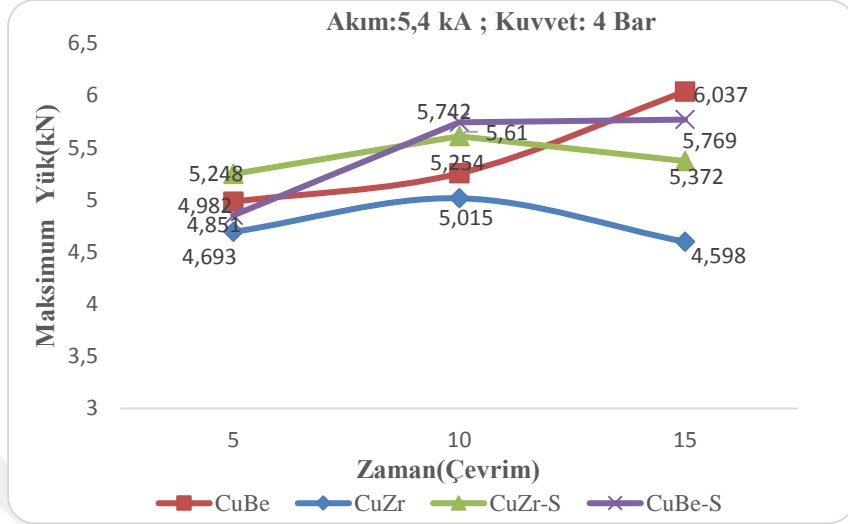
(c)

**Şekil 7.28.** CuCoBe elektrodu kullanılarak 4 bar sabit elektrot kuvvetinde 3,4(a), 4,4(b), 5,4(c) kA kaynak akımında yapılan soğutmalı kaynaklı numuneler üzerine kaynak zamanının etkisi.

Şekil 7.29’da CuCoBe ve CuCrZr elektrotları kullanılarak yapılan soğutmalı ve soğutmasız kaynaklı numunelerin 5,4 kA kaynak zamanı ve 4 bar elektrot baskı kuvvetinde, kaynak zamanına (çevrim) bağlı maksimum çekme yükü değerleri gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü üzere maksimum çekme yükü değeri ( 6,037 kN) CuCoBe elektrodunun soğutmasız yapılmış kaynaklı numunesinde elde edilmiştir. Artan kaynak süresinde CuCoBe ile yapılan kaynaklı numunelerin kaynak kalitesinin ve çekme dayanımı açısından daha iyi olduğu görülmektedir. CuCrZr elektrodu kullanılarak yapılan soğutmasız ve soğutmalı kaynaklarda 15 çevrimde azalma görülmektedir. Bunun sebebi yüksek akım ( 5,5 kA ) ve yüksek zaman (15 çevrim) girdilerinde CuCrZr elektrodu kullanılarak yapılan kaynaklı numunelerde bozulma meydana gelmesidir. Elektrot baskı kuvveti üzerinden düşünürsek CuCrZr için 2 bar elektrot baskı kuvveti değerinin daha uygun olduğunu açıklanmıştı. Şekil 7.30(sağ)’da



CuCrZr elektrodu ile soğutmasız olarak yapılan bozuk kaynak çekirdeği gösterilmektedir. Şekil 7.30'da artan kaynak zamanına (5, 10, 15 çevrim) bağlı kaynak çekirdek kalitesindeki bozulma görülmektedir.



**Şekil 7.29.** CuCoBe ve CuCrZr elektrotları ile yapılan soğutmalı ve soğutmasız kaynaklı numunelerin 4 bar elektrot kuvvetinde 5,4 kA kaynak akımında kaynak zamanının artışına bağlı olarak maksimum çekme yükündeki değişimler.



**Şekil 7.30.** CuCrZr elektrodu kullanılarak soğutmasız, 5,4 kA kaynak akımı ve 4 bar elektrot baskı kuvvetinde artan kaynak çevriminde çekirdek görünümleri (5(solda), 10(ortada), 15(sağda) çevrim ).

Östenitik 304 paslanmaz çelik kullanılarak yapılan nokta kaynaklı numunelerde artan kaynak akımına bağlı olarak belli bir optimum değere kadar, kaynak dayanımı ve kaynak çekirdek çapının arttığı gözlenmiştir. Araştırmacılar da östenitik paslanmaz çelik üzerine yaptıkları çalışmalarda benzer sonuçlara ulaşmışlar (Bina vd., 2014; Özyürek, 2007; Shamsul vd., 2007; Jamaludin ve Hisyam, 2007 ). Ayrıca artan kaynak zamanına bağlı olarak farklı atmosferlerde yapılan çalışmalarda kaynak çapının ve kaynak mukavemetinin arttığı gözlenmiştir Kocabekir vd. (2008)

yaptıkları çalışmada, farklı atmosferlerde gerçekleştirilen direnç nokta kaynağı işleminde benzer sonuçlara ulaşmışlardır.



## 8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada; beyaz eşya sanayide kullanılan 0,6 mm'lik AISI 304 kalite östenitik paslanmaz çelikler farklı elektrotlar ve kaynak parametreleri kullanılarak direnç nokta kaynak kabiliyetleri araştırılmıştır. Numunelerin kaynaklanmasında 6 mm çapında ve 45° kesik koni uçlu soğutmalı ve soğutmasız CuCo<sub>2</sub>Be ve CuCrZr elektrotlar kullanılmıştır. Çalışmalarda sırasıyla 2, 3 ve 4 bar elektrot baskı kuvvetleri ve sırasıyla 5, 10 ve 15 çevrim (1 çevrim=0,02 s) kaynak zamanları ve sırasıyla 3,4, 4,4 ve 5,4 kA kaynak akımı değerleri kullanılmıştır. Optik mikroskop kullanılarak östenitik paslanmaz çelik numunelerin kaynak çekirdeği ve çevresinin mikroyapısı incelenmiştir. 100 g'lık yük 10 saniye uygulama süresi kullanılarak kaynaklanmış numunelerinin kaynak çekirdeği üzerinden Vickers mikrosertlikleri ölçülmüştür. Ayrıca 1 mm/dk'lık sabit çekme hızında kaynaklı birleştirmelerin maksimum çekme yükleri tespit edilmiştir. Deney sonuçlarından elde edilen bulgular aşağıdaki gibidir;

- Kaynak çekirdeğinde, ferrit oranı açısından iki belirgin bölge göze çarpmaktadır. İkinci bölgede çekirdek kenarındaki δ-ferrit oranı birinci bölgeye oranla daha yüksektir. Genel olarak ikinci bölgede, oldukça sınırlı bir alanda hızlı bir katılma ile küçük ve eş eksenli tane oluşumu, sonrasında ise birinci bölgeye yani çekirdek merkezine doğru ise dendritik katılma ve tane yapısının meydana geldiği görülmektedir. Ayrıca düşük akım ve kaynak sürelerinde (3,4 kA kaynak akımı, 5 çevrim kaynak zamanı) kaynak dikişi içerisinde boşluklar gözlenmiştir. Genel olarak kaynaklı bölgede oldukça dar bir ısıdan etkilenen bölgenin (ITAB) oluştuğu gözlenmektedir.
- Kaynaklanmış östenitik paslanmaz çeliklerin ısıdan etkilenen bölgesinde (ITAB) tane kabalaşmasının meydana gelmiştir ve tipik füzyon bölgesi (FZ) olduğunu gösteren büyük sütunsal ferrit tanelerinin oluşmuştur.
- Mikrosertlik ölçümlerinde; çekirdek merkezi sertlikleri genel olarak az miktar düşük çıkmıştır. Bu durum çekirdek merkezindeki nispeten yavaş soğuma etkisiyle meydana gelen düşük orandaki tane irileşmesine atfedilmiştir.

- AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklerin direnç nokta kaynağında maksimum dayanımı verecek en iyi kaynak parametreleri her iki elektrot malzemesi için farklıdır. CuCrZr elektrodu ile yapılan kaynaklarda elektrot soğutma sisteminin genel olarak çekme dayanımını arttırmakta, maksimum çekme dayanımı (5,717 kN) veren kaynak parametreleri ise; 5,4 kA, 10 çevrim ve 2 bar elektrot baskı kuvvetidir. CuCo<sub>2</sub>Be elektrodu ile yapılan kaynaklarda ise elektrot soğutma sisteminin genel olarak çekme dayanımını azaltmakta, maksimum çekme dayanımı (6,037 kN) veren kaynak parametreleri ise, 5,4 kA, 15 çevrim ve 4 bar elektrot baskı kuvvetidir.
- Artan kaynak akımı ve kaynak zamanı ısı girdisi artışına neden olmaktadır. Bunun sonucunda kaynaklı numunelerin çekirdek çapı boyutları artan kaynak akımı ve kaynak zamanına bağlı olarak artış göstermiştir. Kaynak çekirdek çapının artması kaynak dayanımını arttırmaktadır. Ancak CuCrZr elektrotlar ile yapılan deneylerde 5,4 kA akım, 15 çevrim kaynak süresi ve 4 bar elektrot kuvveti kullanıldığı durumlarda kaynak çekirdeği bölgesinde bozulma ve ergiyik fişkırması oluşmuş ve sonuç olarak kaynak dayanımı da düşmüştür.

Yukarıdaki araştırma sonuçları, direnç nokta kaynağı ile birleştirilecek malzemeler için en uygun kaynak parametrelerini araştırırken kaynak esnasında kullanacakları farklı elektrot malzemelerini ve soğutma şeklinin de dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. Bu alanda çalışan araştırmacıların paslanmaz direnç nokta kaynağı için en uygun kaynak parametrelerini tespit ederken, kullanacakları elektrot malzemeleri ve soğutma sistemlerini de dikkate almaları verimlilik açısından faydalı olacaktır. Bu çalışmanın benzerlerinin farklı çelikler, elektrot malzemeleri ve soğutma sistemleri kullanılarak yapılması literatür açısından oldukça yararlı olacaktır. Çünkü literatürde, bu alanda yapılan sistematik çalışmalar yeterli değildir.

## 9. KAYNAKLAR

- A designer handbooks series No. 9 002. (1988), Welding of Stainless Steels and Other Joining Methods, The Nickel Development Institute.
- Aktaş S (2008) Otomotiv Sektöründe Kullanılan Dual Faz Sacların Direnç Nokta Kaynağında Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Anık S (1991) Kaynak Tekniği El Kitabı, Gedik Eğitim Vakfı Kaynak Teknolojisi ve Eğitim Araştırma ve Muayene Enstitüsü, İstanbul.
- Anık S (1991) Kaynak Tekniği El Kitabı, Yöntemler Donanımlar, Gedik Eğitim Vakfı, Kaynak Teknolojisi Eğitim Araştırma ve Muayene Enstitüsü, İstanbul.
- Anık S , Anık S ve Vural M (1993) 1000 Soruda Kaynak Teknolojisi El Kitabı (Cilt 1), Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Anık S, Dikicioğlu A ve Vural M (2006) İmal Usulleri, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Aran A ve Temel MA (2004) Paslanmaz Çelik Üretimi Kullanımı Standartları (2 b.), Sarıtaş Teknik Yayını, İstanbul.
- Aslanlar S, Ogur A, Ozsarac U and Ilhan E (2008) “Welding Time Effect on Mechanical Properties of Automotive Sheets in Electrical Resistance Spot Welding”, Materials and Design, 29: 1427–31.
- Atlas Steels (2013), Stainless Steel Grade Datasheets, [www.atlassteels.com](http://www.atlassteels.com), 2 Nisan 2019.
- Aydın M, Yaşar M, Gavas M ve Altunpak Y (2015) Üretim Yöntemleri ve İmalat Teknolojileri (4.Baskı b.), Seçkin Yayınevi, Ankara.
- Bina MH, Jamali M, Shamanian M and Sabet H (2014) “Investigation on The Resistance Spot Welded Austenitic/Ferritic Stainless Steel ”, Int J Adv Manuf Technol 75(9) : 1371-1379.
- Black J and Kohser RA (2008) Materials Processes in Manufacturing, John Wiley Sons Inc, USA.
- Ceyhun V (1992) Ferritik ve Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Karbonlu Çelik ile Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Bağlantının Çekme-Makaslama Dayanımına ve Taneler Arası Korozyona Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Yüksek Öğretim Kurulu Başkanlığı Tez Merkezi, İstanbul.

- Çatalbaş Y, Kuştutan G ve Arabacı U (2018) "AISI 304 Paslanmaz Çeliğin Nokta Direnç Kaynağında Birleştirmenin Mekanik Özelliklerine Soğuma Hızının Etkisi", Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C, Tasarım ve Teknoloji, 294-307.
- Durgut E ve Kaçar R (2011) "Dubleks Paslanmaz Çeliklerin Nokta Direnç Kaynağında Akım Şiddeti ve Kaynak Zamanının Etkisi", Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der, 341-348.
- Doruk E, Pakdil M, Çam G, Durgun İ ve Kumru UC (2016) "Otomotiv Sektöründe Direnç Nokta Kaynağı Uygulamaları", Mühendis ve Makina, 57: 673, 48-53.
- Fidaner O, Kurtulmuş M ve Yükler Aİ (2010) "Galvenize Çeliklerin Nokta Kaynağında Elektrotların Deformasyonu", 2. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi, Balıkesir.
- Groover MP (2011) Fundamentals of Modern Manufacturing, John Wiley Sons Co., Fourth Edition, USA.
- Gündüz S and Hayat F (2008) "An effect of heat input, weld atmosphere and weld cooling conditions on the Resistance Spot Weldability of 316L Austenitic Stainless Steel", Journal of Materials Processing Technology, 327-335.
- Habib L, Ahmed RS and Habib B (2017) "Experimental Study of Spot Weld Parameters in Resistance Spot Welding", Journals of Mechanics and Mechanical Engineering, 22: 179-186.
- Hayat F (2005) Çift-Fazlı Çeliklerin Nokta Direnç Kaynağında Mho ile Kaynak Süresinin Mekanik Özelliklere Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Jamaludin SB and Hisyam M (2007) "Study of spot welding of austenitic stainless steel type 304", Journal of Applied Sciences Research, 1494-1499.
- Kalpakjian S and Schmid SR (2014) Manufacturing Engineering and Technology, Pearson Education South Asia Pte Ltd, Seventh Edition, Singapore.
- Karamış MB (2015), İmalat Yöntemleri, Birinci Basım, Kayseri.
- Karcı F, Kaçar R and Gündüz S (2009) "The Effect of Process Parameter on the Properties of Spot Welded Cold Deformed AISI304 Grade Austenitic Stainless Steel", Journal of Materials Processing Technology, 4011-4019.
- Kianersi D, Mostafaei A and Amadeh AA (2014) "Resistance Spot Welding Joints of AISI 316L Austenitic Stainless Steel Sheets: Phase Transformations, Mechanical Properties and Microstructure Characterizations", Materials and Design, 251-263.

- Kocabekir B, Kaçar R, Gündüz S and Hayat F (2008) "An Effect of Heat Input, Weld Atmosphere and Weld Cooling Conditions on the Resistance Spot Weldability of 316L Austenitic Stainless Steel" *Journal of Materials Processing Technology*, 327-335.
- Kotecki D and Armao F (2003) *Stainless Steels Welding Guide*, The Lincoln Electric Company, Canada.
- Linnert GE (1994) *Welding Metallurgy Carbon and Alloy Steels*, The American Welding Society, USA.
- Lippold JC and Kotecki DJ (2005) *Welding Metalurgy and Weldability of Stainless Steel*, John Wiley and Sons Inc, USA.
- Megep (2007) *Elektrik Direnç Nokta Kaynağı Ders Notları*, T.C Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara.
- Miller Electric Mfg Co (2012) *Handbook for Resistance Spot Welding*, USA.
- O'Brien A and Guzman C (2007) *Welding Handbook, Welding Process, Part 2 (9 b.)*. American Welding Society, Miami.
- Odabaş C (2007), *Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı*, Askaynak.
- Onsekiz M and Altunpak Y (2017) "Effect of Electrode Materials Type on Resistance Spot Welding of AISI 430 Ferritic Stainless Steel", *Journal of Engineering Research in Africa*, 53-58.
- Özyürek D (2008) " An Effect of Weld Current and Weld Atmosphere on the Resistance Spot Weldability of 304L Austenitic Stainles Steel", *Materials and Design*, 29: 597-603.
- Padilha AF, Plaut RL and Rios PR (2003) " Annealing of Cold-worked Austenitic Stainless Steels", *ISIJ International*, 135-143.
- Pramanik A and Basak AK (2015) "Stainless Steel Microstructure, Mechanical Properties And Methods of Application", Nova Science Publishers Inc, New York.
- Shamsul JB and Hisyam MM (2007) "Study of Spot Welding of Austenitic Stainless Steel Type 304", *J Appl Sci Res* 3(11): 1494–9.
- Shelly K and Sahota DS (2017) "A Review Paper on Resistance Spot Welding of Austenitic Stainless Steel 316", *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*, 47(7), 424-429.
- Singh R (2010) *Introduction to Basic Manufacturing Processes and Workshop Technology*, New Age International Publishers, New Delhi.

Subrammanian A and Jabaraj BD (2013) ” Research on Resistance Spot Welding of Stainless Steel - An Overview”, International Journal of Scientific, Engineering Research”, 4 (12): 1741- 1750.

Vinas J, Kascak L and Abel M (2012) " Analysis of Materials for Resistance Spot Welding Electrodes", 393-397.

Vural M and Akkus A (2004) "On the Resistance Spot Weldability of Galvanized Interstitial Free Steel Sheets with Austenitic”, J Mater Process Technol, 153–6.





## 10. ÖZGEÇMİŞ

**Adı Soyadı** : Ali Güray ERTEM

**Doğum Yeri ve Tarihi** : Ankara - 16.11.1992

**Lisans Üniversite** : Sakarya Üniversitesi

**Y. Lisans Üniversite (varsa):** Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

**Elektronik posta** : alig.ertem@gmail.com.tr

**İletişim Adresi** : Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi