

**T.C.**  
**BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**  
**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**MUTFAK FIRINI SANAYİNDE KULLANILAN IZGARA**  
**TELLERİNİN DİRENÇ NOKTA KAYNAK KALİTESİNİN**  
**ARTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**FATİH TAŞKIN**

**TEZ DANIŞMANI**

**Prof. Dr. YAHYA ALTUNPAK**

**BOLU, ARALIK - 2022**

## KABUL VE ONAY SAYFASI

**Fatih TAŞKIN** tarafından hazırlanan “**Mutfak Fırını Sanayinde kullanılan Izgara Tellerinin Direnç nokta Kaynak Kalitesinin Artırılması**” adlı tez çalışması jürimiz tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak oy birliği kabul edilmiştir. 4/01/2023

### Jüri Üyeleri

### İmza

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

.....

Üye  
Doç. Dr. Nürettin AKÇAKALE  
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

.....

Üye  
Doç. Dr. Fevzi Çakmak BOLAT  
Kocaeli Üniversitesi

.....

**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Onayı**

**Prof. Dr. İbrahim KÜRTÜL**  
**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü**

## ETİK BEYAN

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- 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 çalışmasında 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.

Teze ilişkin \_\_/\_\_/\_\_\_\_ tarihinde Turnitin adlı intihal tespit programından enstitü müdürlüğünce belirlenen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan benzerlik raporuna göre, tezin benzerlik oranı % \_\_\_\_ olarak tespit edilmiştir.

.....

**FATİH TAŞKIN**

## ÖZET

**MUTFAK FIRINI SANAYİNDE KULLANILAN IZGARA TELLERİNİN  
DİRENÇ NOKTA KAYNAK KALİTESİNİN ARTIRILMASI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
FATİH TAŞKIN  
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. YAHYA ALTUNPAK)**

**BOLU, ARALIK - 2022  
XIV + 68**

Elektrik direnç punta (nokta) kaynağı beyaz eşya, otomotiv, savunma sanayi sektörü gibi oldukça geniş bir alanda kullanılan en önemli birleştirme yöntemlerinden birisidir. Direnç punta kaynağında, dolgu metaline ihtiyaç olmaması, otomasyona uygun bir yöntem olması, iş güvenliği açısından daha az riskli ve nispeten temiz ve çevreci bir proses olması, yöntemin en büyük avantajıdır. Bu çalışmada Ø6,5 mm ve Ø2,3 mm düşük karbonlu ve düşük silisli SAE 1006 kalite teller, 2 farklı elektrot malzemesi ile farklı kaynak parametreleri (kaynak süresi ve kaynak akımı) kullanılarak direnç punta kaynağı ile birleştirilmiştir. Kaynak bağlantılarının maksimum çekme dayanımı belirlenmiş, mikro yapıları incelenmiş ve optimum parametreler ile kaynak yapılarak elektrotların birbirleri ile ömürleri kıyaslanmıştır. Kaynaklar, 40 kA kapasiteli ve programlanabilir bir lojik kontrolör (PLC) tarafından kontrol edilen 1000 Hz’de çalışan akım kontrollü ve zamanlayıcı endüstriyel direnç punta kaynağı makinesi (HKTM) kullanılarak yapılmıştır. Kaynağı yapılmış ürünlerin optik muayenesi Nikon marka mikroskop kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Maksimum çekme dayanımının ölçülmesi için ise Chatillon marka dinamometre kullanılmıştır. Elektrotların deformasyon ölçümünde ise Mitutoyo marka mihengir kullanılmıştır.

Kaynak çalışmalarında, maksimum çekme dayanımı ve ızgara tellerinin kaynak dikişlerinin kalitesi açısından gereken kaynak süreleri, bu çalışmada her bir elektrot için ayrı bulunmuştur. Örneğin en iyi kaynak parametreleri CuCoBe elektrodu için 9 kA’da 12 ms, CuNi<sub>3</sub>Si elektrodu için ise 9 kA’da 16 ms’dir. Bu farklılık, elektrotların elektrik iletkenliklerine atfedilebilir. Ayrıca kaynak elektrotlarında oluşan deformasyon miktarı açısından en uygun elektrot malzemesi de tespit edilmeye çalışılmıştır. CuCoBe elektrodu CuNi<sub>3</sub>Si elektroduna göre eşit baskı sayısında daha az deformasyona uğramıştır. Ancak her iki elektrodun deformasyon oranı kaynak kalitesi açısından kabul edilebilir sınırlar içerisinde bulunmuştur. Bu sonuçlar ışığında elektrot maliyet analizi de yapılarak minimum parça maliyeti açısından en uygun elektrot malzemesinin CuNi<sub>3</sub>Si elektrodu olduğu kanaatine varılmıştır.

**ANAHTAR KELİMELELER:** Direnç Punta kaynağı, CuNi<sub>3</sub>Si elektrot, CuCoBe elektrot, SAE 1006 tel

## **ABSTRACT**

### **INCREASING THE RESISTANCE SPOT WELDING QUALITY OF THE GRILL WIRES USED IN THE KITCHEN OVEN INDUSTRY**

**MSC THESIS**

**FATİH TAŞKIN**

**BOLU ABANT İZZET BAYSAL UNIVERSITY**

**INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES**

**DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING**

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

**BOLU, NOVEMBER 2022**

**XIV + 68**

Electric resistance spot welding is one of the most important joining methods used in a wide area such as white goods, automotive and defense industry. In resistance spot welding, the biggest advantage of the method is that there is no need for filler metal, it is a suitable method for automation, it is a less risky and relatively clean and environmentally friendly process in terms of work safety. In this study, Ø6.5 mm and Ø2.3 mm low carbon and low silicon SAE 1006 quality wires were welded with resistance spot welding using 2 different electrode materials and different welding parameters (welding time and welding current). The maximum tensile strength of the welding joints was determined, the microstructures were examined and the lifetimes of the electrodes were compared with each other by welding with the optimum parameters. The welds are made using a current controlled and timed industrial resistance spot welding machine (HKTM) operating at 1000 Hz with a capacity of 40 kA and controlled by a programmable logic controller (PLC). Optical examination of welded products was carried out using Nikon brand microscope. Chatillon brand dynamometer was used to measure the maximum tensile strength. Mitutoyo brand gauge was used to measure the deformation of the electrodes. Welding times required in terms of maximum tensile strength and quality of weld seams of grid wires in welding studies were found separately for each electrode in this study. For example, the best welding parameters are 12 ms at 9 kA for CuCoBe electrode and 16 ms at 9 kA for CuNi<sub>3</sub>Si electrode. This difference can be attributed to the electrical conductivity of the electrodes. In addition, the most suitable electrode material was tried to be determined in terms of the amount of deformation in the welding electrodes. The CuCoBe electrode underwent less deformation than the CuNi<sub>3</sub>Si electrode at the same oppression number. However, the deformation rate of both electrodes was within acceptable limits in terms of weld quality. In the light of these results, electrode cost analysis was also performed and it was concluded that the most suitable electrode material in terms of minimum part cost was the CuNi<sub>3</sub>Si electrode.

**KEYWORDS:** Resistance spot welding, CuNi<sub>3</sub>Si electrode, CuCoBe electrode, SAE 1006 wire

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

<b>KABUL VE ONAY SAYFASI</b> .....	<b>iii</b>
<b>ETİK BEYAN</b> .....	<b>iv</b>
<b>ÖZET</b> .....	<b>v</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>vi</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>vii</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>viii</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b> .....	<b>x</b>
<b>FOTOĞRAF LİSTESİ</b> .....	<b>xi</b>
<b>KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ</b> .....	<b>xii</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>xiv</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. GENEL BİLGİLER</b> .....	<b>4</b>
2.1 Kaynak Teknolojisi.....	4
2.1.1 Elektrik Direnç Kaynağı Yöntemleri.....	4
2.2 Çelikler .....	24
2.2.1 Çeliklerin Sınıflandırılması .....	25
2.2.2 Fırın Izgara Üretiminde Kullanılan Çelikler .....	26
2.3 Çapraz Tel Direnç Kaynak Tekniği .....	27
2.3.1 Düşük karbonlu çelikten fırın iç ızgara üretimi .....	28
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM</b> .....	<b>31</b>
<b>4. BULGULAR VE TARTIŞMA</b> .....	<b>39</b>
4.1 Mekanik Özellikler .....	39
4.2 Elektrotların Baskı Sayılarının Karşılaştırılması .....	56
<b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER</b> .....	<b>58</b>
<b>6. KAYNAKLAR</b> .....	<b>60</b>
<b>7. EKLER</b> .....	<b>63</b>

# ŞEKİL LİSTESİ

## Sayfa

Şekil 2.1. Alın kaynağı uygulamaları; a) Elektrik direnci ile b) Parçaları birbirine bastırarak .....	6
Şekil 2.2. Yakma Alın Kaynak Ekipmanı.....	6
Şekil 2.3. Dikiş Kaynağı Çalışma Prensibi.....	7
Şekil 2.4. Farklı Dikiş Kaynağı Uygulamaları .....	7
Şekil 2.5. Yüksek Frekans Direnç Kaynağı .....	8
Şekil 2.6. EDNK Temel Devresi (AC) .....	9
Şekil 2.7. EDNK Kaynak Çevrimi.....	10
Şekil 2.8. EDNK Direnç Bölgeleri .....	10
Şekil 2.9. Sabit Enerji Miktarında EDNK Dirençlerinin Değişimi .....	11
Şekil 2.10. Standart elektrot uç şekilleri .....	14
Şekil 2.11. Kaynak kabiliyeti diyagramı.....	15
Şekil 2.12. Elektrotların temas durumuna göre oluşan kaynak çekirdekleri; a) aynı ekseninde olmayan, b) paralel olmayan elektrotlar.....	20
Şekil 2.13. Tek Noktalı Direk Kaynak .....	22
Şekil 2.14. Çok Noktalı Direk Kaynak .....	22
Şekil 2.15. Tek Noktalı Dolaylı Kaynak.....	23
Şekil 2.16. Çok Noktalı Dolaylı Kaynak .....	23
Şekil 2.17. Ayarlamının tanımı için A ve B parametreleri.....	27
Şekil 2.18. Düşük karbonlu çelik olan örnek bir ürüne ait iş akış şeması .....	28
Şekil 2.19. Düşük karbonlu çelikten üretilen ürünün Nikel-Krom kaplama iş akış şeması .....	30
Şekil 2.20. Düşük karbonlu çelik malzemenin ürün aşamasındaki operasyonları a) Direnç Punta Kaynağı (1. Operasyon), b) Direnç Punta Kaynağı (2. Operasyon), c) Trim Operasyonu (3. Operasyon), d) Pres Operasyonu (4. Operasyon), e) Alın Kaynak Operasyonu (5. Operasyon), f) Nikel-Krom kaplanarak elde edilen örnek bir fırın iç ızgarası.....	30
Şekil 4.1. CuCoBe elektrotlar, farklı kaynak akımları kullanılarak kaynaklanmış numunelerin çekme dayanımı üzerine kaynak zamanının etkisi; a) 8kA, b) 9kA, c) 10kA, d) 12kA .....	41
Şekil 4.2. CuCoBe elektrot kullanılarak ve kaynak süresi değerleri sabit tutularak yapılmış kaynaklanmış numunelerin çekme dayanımı üzerine kaynak akımının etkisi .....	42
Şekil 4.3. CuNi <sub>3</sub> Si elektrotlar, farklı kaynak akımları kullanılarak kaynaklanmış numunelerin çekme dayanımı üzerine kaynak zamanının etkisi; a) 8kA, b) 9kA, c) 10kA, d) 12kA .....	44
Şekil 4.4. CuNi <sub>3</sub> Si elektrot kullanılarak ve kaynak süresi değerleri sabit tutularak yapılmış kaynaklanmış numunelerin çekme dayanımı üzerine kaynak akımının etkisi .....	45
Şekil 4.5. 8 ms kaynak zamanı ve farklı elektrotlar ve kaynak akımları kullanılarak kaynaklanmış numunelerin maksimum yük grafiği .....	46
Şekil 4.6. 12 ms kaynak zamanı ve farklı elektrotlar ve kaynak akımları kullanılarak kaynaklanmış numunelerin maksimum yük grafiği .....	47
Şekil 4.7. 16 ms kaynak zamanı ve farklı elektrotlar ve kaynak akımları kullanılarak kaynaklanmış numunelerin maksimum yük grafiği .....	47

<b>Şekil 4.8.</b> Farklı elektrotlar ve kaynak zamanları kullanılarak 8 kA akımdaki maksimum yük grafiği .....	48
<b>Şekil 4.9.</b> Farklı elektrotlar ve kaynak zamanları kullanılarak 9 kA akımdaki maksimum yük grafiği .....	59
<b>Şekil 4.10.</b> Farklı elektrotlar ve kaynak zamanları kullanılarak 10 kA akımdaki maksimum yük grafiği .....	50
<b>Şekil 4.11.</b> Farklı elektrotlar ve kaynak zamanları kullanılarak 12 kA akımdaki maksimum yük grafiği .....	51
<b>Şekil 4.12.</b> CuCoBe ve CuNi <sub>3</sub> Si elektrotlarının 15000 baskı sonrasında oluşan deformasyonun karşılaştırılması .....	57
<b>Şekil 7.1.</b> CuCoBe elektrodu iletkenlik raporu .....	63
<b>Şekil 7.2.</b> CuNi <sub>3</sub> Si elektrodu iletkenlik raporu .....	64
<b>Şekil 7.3.</b> CuCoBe elektrodu sertlik raporu .....	65
<b>Şekil 7.4.</b> CuNi <sub>3</sub> Si elektrodu sertlik raporu .....	66
<b>Şekil 7.5.</b> CuCoBe elektrodu kimyasal analiz raporu .....	67
<b>Şekil 7.6.</b> CuNi <sub>3</sub> Si elektrodu kimyasal analiz raporu .....	68



## TABLO LİSTESİ

### Sayfa

<b>Tablo 2.1.</b> Elektrot Ucu Malzemesi ve Özellikleri, Baz Metal: Cu. ....	13
<b>Tablo 2.2.</b> Direnç nokta kaynağı için istenmeyen yüzey koşulları.....	19
<b>Tablo 2.3.</b> Elektrot ömrüne etkileyen faktörlerin etkime durumları. ....	21
<b>Tablo 3.1.</b> Deneylerde kullanılan SAE 1006 düşük karbonlu çeliğin kimyasal kompozisyonu ve mekanik özellikleri.....	31
<b>Tablo 3.2.</b> Deneylerde kullanılan Elektrot malzemelerinin spektral analizi ....	31



# FOTOĞRAF LİSTESİ

## Sayfa

<b>Fotoğraf 3.1.</b> Kaynak çalışmalarında kullanılan direnç punta kaynak makinesi .....	32
<b>Fotoğraf 3.2.</b> Direnç nokta kaynağı için tasarlanan fikstür ve fikstürün kaynak prosesinde makinedeki farklı konumları a) Hasır kaynak fikstürü b) Tellerin kaynaktan önce fikstüre dizilmiş şekli c) ve d) Fikstürün kaynak operasyonundaki farklı konumları e) Fikstürün kaynak işleminden sonra başlangıç konumu .....	33
<b>Fotoğraf 3.3.</b> Direnç nokta kaynağı ile birleştirilmiş bir fırın iç ızgarası .....	34
<b>Fotoğraf 3.4.</b> a) CuCoBe elektrodunun c) CuNi <sub>3</sub> Si elektrodunun kaynak öncesi, b) CuCoBe elektrodunun d) CuNi <sub>3</sub> Si elektrodunun kaynak sonrası fotoğrafları.....	35
<b>Fotoğraf 3.5.</b> a) CuCoBe b) CuNi <sub>3</sub> Si elektrotları için direnç punta kaynak makinesi parametre ayar sayfası .....	36
<b>Fotoğraf 3.6.</b> Nikon marka optik mikroskop .....	37
<b>Fotoğraf 3.7.</b> Chatillon çekme test cihazı .....	37
<b>Fotoğraf 3.8.</b> Mitutoyo Mihengir .....	38
<b>Fotoğraf 4.1.</b> CuCoBe elektrodu kullanılarak a) 8 kA ve 8 ms b) 9 kA ve 12 ms c) 12 kA ve 16 ms kaynak parametreleri ile yapılan kaynağın 50 büyütmedeki kaynak çekirdeği fotoğrafı.....	52
<b>Fotoğraf 4.2.</b> CuCoBe elektrodu kullanılarak a) 8 kA ve 8 ms b) 9 kA ve 12 ms c) 12 kA ve 16 ms kaynak parametreleri ile yapılan kaynağın kaynaklı ürün fotoğrafı.....	52
<b>Fotoğraf 4.3.</b> CuNi <sub>3</sub> Si elektrodu kullanılarak a) 8 kA ve 8 ms b) 9 kA ve 16 ms c) 12 kA ve 16 ms kaynak parametreleri ile yapılan kaynağın 50 büyütmedeki kaynak çekirdeği fotoğrafı.....	53
<b>Fotoğraf 4.4.</b> CuNi <sub>3</sub> Si elektrodu kullanılarak a) 8 kA ve 8 ms b) 9 kA ve 12 ms c) 12 kA ve 16 ms kaynak parametreleri ile yapılan kaynağın kaynaklı ürün fotoğrafı.....	54
<b>Fotoğraf 4.5.</b> (a) CuCoBe elektrodunun (b) CuNi <sub>3</sub> Si elektrodunun kaynak öncesi fotoğrafları.....	56
<b>Fotoğraf 4.6.</b> (a) CuCoBe elektrodunun (b) CuNi <sub>3</sub> Si elektrodunun 15000 kaynak sonrası fotoğrafları .....	56
<b>Fotoğraf 4.7.</b> CuCoBe ve CuNi <sub>3</sub> Si elektrotları üzerinden 15000 kaynak sonrası oluşan deformasyonun (iz derinliği) mihengir yardımı ile ölçülmesi .....	57

## KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ

<b>Q</b>	: Üretilen ısı miktarı
<b>I</b>	: Kaynak akımı
<b>K</b>	: Sıcaklık sabiti
<b>R</b>	: Kaynak akımının geçtiği devredeki elektrik dirençlerinin toplamı
<b>P</b>	: Güç
<b>t</b>	: Kaynak akımının devrede kalma süresidir
<b>R1</b>	: Üst elektrodun malzeme direnci
<b>R2</b>	: Üst elektrot - üst iş parçası arasındaki geçiş direnci
<b>R3</b>	: Üst parçanın malzeme direnci
<b>R4</b>	: Üst parça - alt parça arasındaki geçiş direnci
<b>R5</b>	: Alt parçanın malzeme direnci
<b>R6</b>	: Alt elektrot - alt parça arasındaki geçiş direnci
<b>R7</b>	: Alt elektrodun malzeme direnci
<b>Cu</b>	: Bakır
<b>Co</b>	: Kobalt
<b>Be</b>	: Berilyum
<b>Ni</b>	: Nikel
<b>Si</b>	: Silisyum
<b>Cr</b>	: Krom
<b>Mn</b>	: Mangan
<b>Fe</b>	: Demir
<b>C</b>	: Karbon
<b>Co<sub>2</sub></b>	: Karbondioksit
<b>EDK</b>	: Elektrik direnç kaynağı
<b>EDNK</b>	: Elektrik direnç nokta kaynağı
<b>DC</b>	: Doğru akım
<b>AC</b>	: Alternatif akım
<b>kA</b>	: Kilo Amper
<b>N</b>	: Newton
<b>ms</b>	: Mili Saniye
<b>mm</b>	: Milimetre
<b>YP</b>	: Akma dayanımı

<b>TS</b>	: Çekme dayanımı
<b>MIG</b>	: Metal nötr (Inert) gaz
<b>MAG</b>	: Metal Aktif gaz
<b>TIG</b>	: Tungsten nötr (Inert) gaz
<b>ITAB</b>	: Isının tesiri altındaki bölge
<b>PLC</b>	: Programlanabilir lojik denetleyici



## TEŞEKKÜR

Tez çalıőmam aőamasında destek ve emeklerini esirgemeyen, değerli bilgi ve deneyimleri ile bana yol gosteren, danışman hocam sayın Prof. Dr. Yahya Altunpak'a sonsuz teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Yüksek lisans eğitim-öğretim hayatımda ve özellikle tez yazım sürecinde desteğini hiç esirgemeyen değerli eőim, yol arkadaőım Hülya Canan Kocaarslan Taşkın'a, bu süreçte dünyaya gözlerini açarak beni motive eden, bizi mutlu eden prensesim, güzel kızım Zümra Nas Taşkın'a da sonsuz teşekkür ederim.



# 1. GİRİŞ

Kaynak, konstrüksiyon üretiminde en yaygın kullanılan imal yöntemlerinden birisidir. Basınç kaynağı ve ergitme kaynağı temel iki kaynak yöntemidir. En çok kullanılan kaynak yöntemlerinden birisi basınç kaynağı yöntemlerinden olan elektrik direnç punta kaynağıdır. Direnç punta kaynağının, proses zamanının kısa olmasından kaynaklı üretim hızının yüksek olması, ilave dolgu malzeme gerektirmemesi, otomasyona elverişli olması, ısı tesiri altındaki bölgenin küçük olması, iş kazalarına ve yaralanmalara neden olabilecek açık alevin olmaması, kaynak için uzman operatör gerekmemesi ve kaynak kalitesinin bir operatörden ziyade makinenin tutarlılığına ve ekipmanlarına bağlı olması gibi avantajlara sahip olması başlıca tercih sebepleridir. Günümüzde üretilen sedan araç gövdelerinde ortalama 5000 punta kaynağı uygulanmaktadır (Doruk, 2015; Donders ve Arkadaşları, 2005; Geißler ve Hahn 2011; Sonat ve Doyum 1999). Bir araç gövdesindeki kaynaklı birleştirmelerin yaklaşık % 85'i direnç punta kaynağıdır (Doruk, 2015).

Mutfak fırınında kullanılan tel ızgaralarında, her bir markanın ve her bir ürünün kendi tasarımına özgü içerdiği tel sayısı ve buna bağlı olarak direnç nokta kaynak adeti vardır. Ortalama bir üründe 40-50 adet direnç punta kaynağı mevcuttur. Sadece Mefa A.Ş. bünyesinde, Arçelik A.Ş. Pişirici Cihazlar İşletmesi, Bsh, Candy Haier, Defy ve Electrolux vb. firmalar için günlük yaklaşık 18.000 adet fırın iç ızgarası üretilmektedir. Bu da Mefa A.Ş.'nin günlük fırın iç ızgara üretiminde yaklaşık 720.000-900.000 direnç punta kaynağının kullanıldığını göstermektedir. Türkiye'deki beyaz eşya üretici firmaları için üretim yapan diğer firmalar da düşünüldüğünde bu sayının çok daha yüksek olacağı açıktır. Beyaz eşya endüstrisi alanında yapılacak kaynaklama çalışmalarında optimum kaynak parametrelerinin tespiti ve araştırılmalarının hem kaynak mukavemeti hem de elektrot ömrü açısından ne kadar önemli ve elzem olduğu açık bir şekilde görülmektedir. İlave olarak otomobillerin tekerleklerinin bağlantısında, vidaların sökölüp takılmasında kullanılan bijon anahtarının üretimi gibi farklı alanlarda da kullanılan direnç punta kaynağı yaygın bir kullanım alanına sahiptir.

İş parçalarından geçen elektrik akımına karşı, iş parçalarının gösterdiği direnç sonucu ortaya çıkan ısı ve eş zamanlı uygulanan elektrot basıncının belli bir süre uygulanmasıyla yapılan birleştirme tekniğine direnç punta kaynağı denir. Belli bir süre boyunca, iki metal malzeme arasındaki temas noktasında ergime başlar. Uygulanan elektrik akımının kesilmesinden sonra da oluşan kaynak banyosunun soğuyarak katılaşmasını tamamlanıncaya kadar elektrotlara uygulanan basınç devam ettirilir. Standart bir punta direnç kaynak makinası, temel olarak elektrotlara basınç uygulayabilmek için kullanılan bir mekanik sistem ile şebekeden gelen elektrik gerilimini azaltan bir transformatörden meydana gelir. Günümüzde kullanılan otomatik direnç kaynak makinelerinin çoğunda akım ve zaman kontrollü direnç punta kaynak makinesi kullanılmaktadır (Anık, 1991; Akkuş, 2006; Megep 2014)

Direnç punta kaynaklı yapılar için optimum kaynak parametrelerini (kaynak süresi ve basınç gibi) tespit edebilmek için mekanik deneylerin yanı sıra sonlu elemanlar yöntemi ile yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır (Onsekiz ve Altunpak, 2018; Shanmugam ve Arkadaşları, 2010; Zhang ve Taylor, 2000; Salvini ve Arkadaşları, 2000).

Az karbonlu çeliklerin punta direnç kaynağı ile ilgili yapılan çalışmaların büyük bir çoğunluğu yassı mamullerin (otomotiv kaporta sacı gibi) kaynağı üzerinedir (Doruk, 2015). Çapraz telli çeliklerin direnç kaynağı üzerine yapılan çalışmalar ise genellikle inşaat mühendisliği alanlarında kullanılan yaklaşık 8-10 mm kalınlığındaki çapraz çubuk inşaat çeliklerinin (hasır) direnç kaynağı ile ilgilidir (Nielsen ve Arkadaşları, 2021).

Çapraz tel kaynağı, en yaygın kullanılan direnç kaynağı uygulamalarından biridir. Çapraz tel kaynağının birincil kullanımı elektronik endüstrisinde ve tel örgü imalatındadır. Elektronikte, ampullerin ömrü boyunca eklemlerin karşılaşacağı yükleri nihai arıza modlarıyla birlikte tartışan Goodman'ın (1950) sunduğu gibi, ampullerde teller birbirine kaynak yapılır. Knowlson (1967), elektronikte diğer çapraz tel kaynağı örneklerini verir; dirençler, kapasitörler, diyotlar ve transistörler gibi çeşitli bileşenlerin birbirine yakın küçük cihazlara kaynaklanması örnekleridir. Tel örgüler alışveriş arabalarında ve beton yapıların güçlendirilmesinde çeşitli

ürünlerde kullanılmaktadır. Direnç kaynağı, yine yaygın olarak kullanılan tel örgülerin dokuma yapılarına bir alternatif oluşturmaktadır. Tel örgülerin büyük ölçekli üretiminde, çapraz tel kaynaklarının tüm sıraları eş zamanlı olarak gerçekleştirilir (Nielsen ve Arkadaşları, 2021).

Çapraz tel kaynağı ile ilgili çalışmalar yapan Jones (1948), Wängsjö ve Palmqvist (1958), Fukumoto ve arkadaşları (2008) mikro tellerin çapraz tel kaynağını ve kaynak sonrası ortaya çıkan mikro yapıları ve bu yapıların kaynak mukavemetine etkilerini incelemişlerdir (Nielsen ve Arkadaşları, 2021).

Çapraz tel kaynağı uygulamalarında çeşitli tel çapları ve malzemeler denenmiştir. Her bir malzeme ve yüzey koşulları için ortaya çıkan farklı davranışlar ve zorluklar tartışılmıştır (Nielsen ve Arkadaşları, 2021).

## 2. GENEL BİLGİLER

### 2.1 Kaynak Teknolojisi

En az iki malzemeyi, ısı ve/veya basınç metalleri ilave bir metal kullanarak veya kullanmaksızın yapılan sökülemez birleştirme tekniğine kaynak denir (Geliş 2014). Kaliteli bir kaynaklı bağlantı oluşturabilmek için gerekli ön temizlik, hazırlık yapılmalı daha sonra yeterli ısı, süre ve basınç uygulanmalıdır.

Kaynak yöntemleri genel olarak aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir (eminerdin@hititedutr).

1. Oksi – Yanıcı Gaz Kaynağı (Ör. Oksi – asetilen kaynağı vb.)
2. Basınç Kaynak Yöntemleri (Ör. Sürtünme kaynağı, Dövme kaynağı vb.)
3. Elektrik Ark Kaynak Yöntemleri (Ör. Elektrik ark kaynağı)
4. Direnç Kaynak Yöntemleri (Ör. Direnç punta kaynağı)
5. Özel Kaynak Yöntemleri (Ör. Lazer ışın kaynağı)

Bu kısımda bazı direnç kaynak yöntemleri aşağıda başlıklar altında anlatılmıştır.

#### 2.1.1 Elektrik Direnç Kaynağı Yöntemleri

1877 yılında Elihu Thomson tarafından keşfedilen direnç punta kaynak yöntemi, 1898 yılında ilk olarak düşük karbonlu çeliklere uygulanmıştır. Direnç kaynak yöntemlerinin kullanımı özellikle ikinci dünya savaşından sonra artarak günümüze kadar devam etmiştir (Onsekiz ve Altunpak, 2018; Coşkun, 2009).

Özellikle otomotiv, çelik konstrüksiyonlar ve beyaz eşya endüstrisi olmak üzere elektroteknik, boru ve profil üretimi gibi birçok alanda kullanılan farklı malzemelerin kaynağında yaygın olarak kullanılmaktadır (Onsekiz ve Altunpak, 2018; Anık ve Arkadaşları, 2000).

Bu kadar çok alanda kullanılabilir olmasının nedenleri şu şekilde sıralanabilir:

Seri üretime uygun olması, nitelikli kaynakçıya gerek olmaması, kısa üretim süresi, otomasyona uygunluk ve yüksek kaynak dayanımı gibi avantajlarının yanında yüksek elektrik sarfıyatı, ilk donanım maliyeti gibi bazı dezavantajları da bulunmaktadır (Altun, 2012; Hwang ve Arkadaşları, 2010; Kaluç ve Taban, 2004; Ünlükal, 2007). Dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Kontrol altında tutulması gereken kaynak parametreleri çok fazladır. Yüksek güç tüketimi gerektirir. Özellikle tek fazlı makinalarda güç tüketimi yüksektir.
- Bağlantılar minimum bozulmayla oluşturulur.
- Levhalar arasındaki çekirdeğin çevresindeki çentikten dolayı, nokta kaynakları düşük gerilme ve yorulma dayanımlarına sahiptir. Bir nokta kaynağı bağlantısından parçanın dayanımının tamamı elde edilemez, çünkü bu kaynaktan erime süresizdir ve basınç etkisi ile temin edilen bindirme kaynağın homojen dağılımını güçleştirmektedir.
- Ekipman açısından bazı dezavantajları vardır; ilk donanım kurulumunun maliyeti fazladır. Punta kaynak akım yolu için kullanılan malzemelerin sökülmesi ve tamiri zordur.

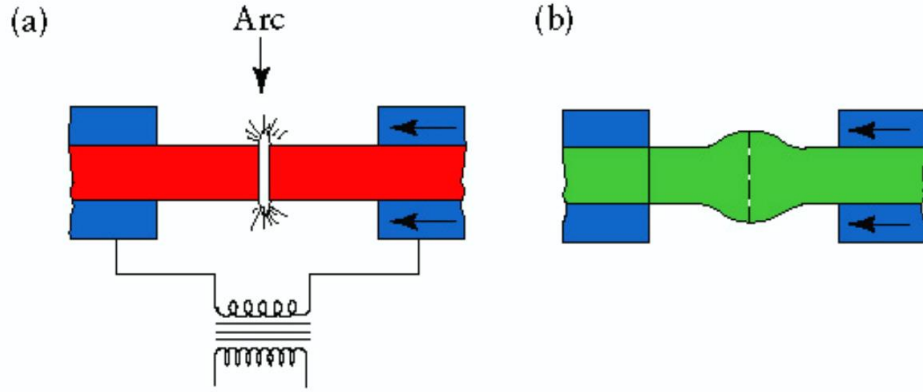
Direnç kaynağı yöntemleri, genellikle dört ana gruba ayrılmaktadır.

1. Alın kaynağı
2. Dikiş kaynağı
3. Yüksek frekanslı direnç kaynağı
4. Nokta kaynağı

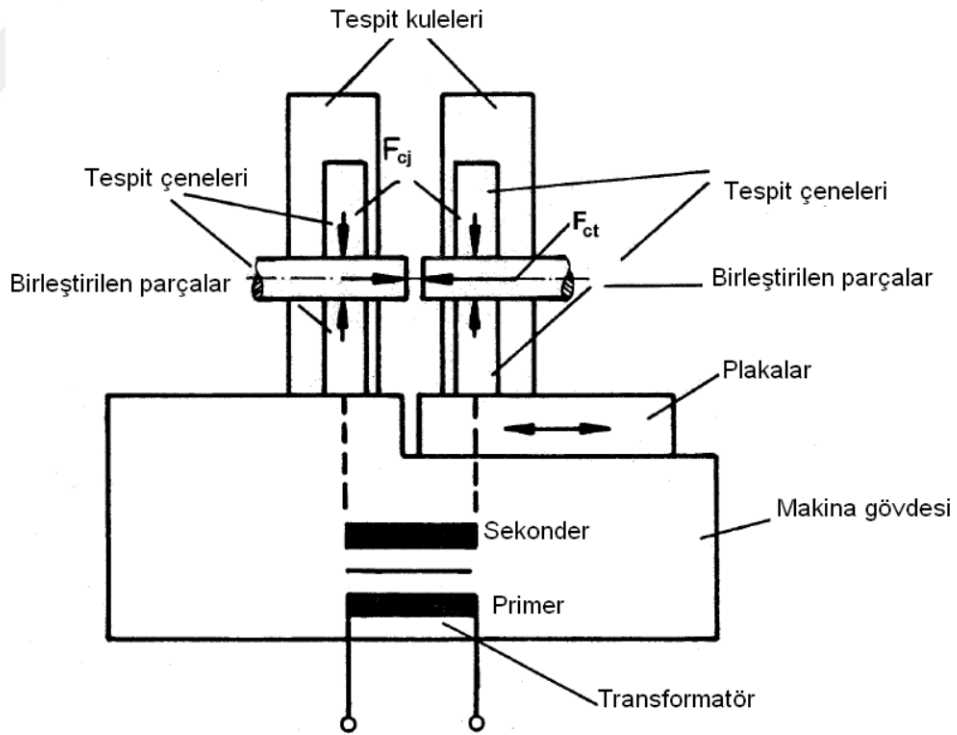
#### 2.1.1.1 ALIN KAYNAĞI YÖNTEMİ

Alın kaynağı, genellikle silindirik veya aynı geometriye sahip parçaların kaynağında tercih edilen bir kaynak türüdür. Elektrik direnci ile ısıtılarak ve basınçla yapılan veya sadece parçaların birbirine bastırılması ile yapılan alın

kaynağı olmak üzere genellikle iki tür uygulaması vardır (Şekil 2.1a ve b). Yakma alın kaynağında ise parçalar temas etmeden akım uygulanır (Şekil 2.2).



Şekil 2.1. Alın kaynağı uygulamaları; a) Elektrik direnci ile b) Parçaları birbirine bastırarak (Gavas ve Arkadaşları, 2015)

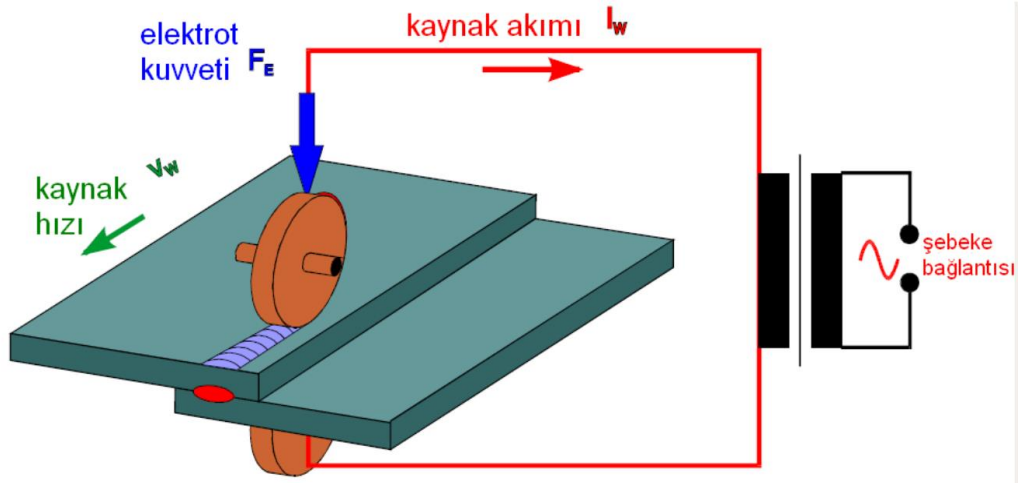


Şekil 2.2. Yakma Alın Kaynak Ekipmanı (Tezcan ve Çakır 2017; Gedik Ü. Kay. Müh. Notları 2010)

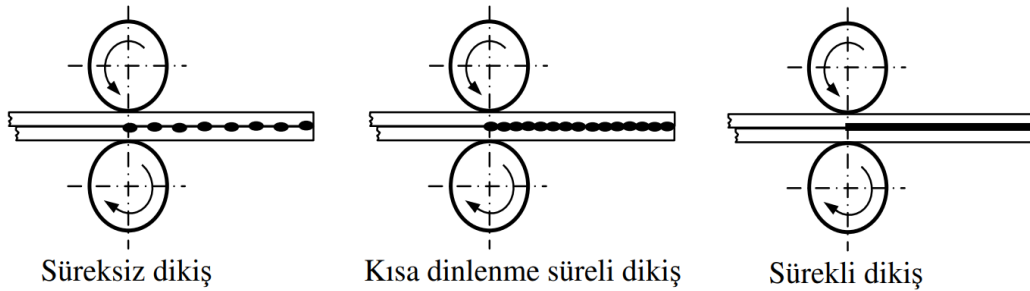
### 2.1.1.2 DİKİŞ KAYNAĞI YÖNTEMİ

Dikiş kaynağı, dönel özel formlarda üretilmiş elektrotlarla gerçekleştirilen, seri bir punta kaynağı olarak tanımlanabilir (Şekil 2.3). Bu yöntemin diğer direnç kaynak yöntemlerine göre en büyük üstünlüğü, sürekli dikişler elde edilerek sızdırmazlığın da sağlanabilmesidir. Taşıt yakıt tankları üretimi, bulaşık makinesi ve çamaşır makinesi gibi beyaz eşya sektöründe de sızdırmazlık gereken birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır (Kaya, 2010).

Birleştirilecek parçalar, bindirilmiş şekilde iki bakır elektrot arasında alınarak belirli bir akım, basınç ve süre uygulanarak iki parça arasındaki temas noktasında oluşan dirençten dolayı ısınan malzemeler bu noktada ergir ve kaynak dikişi oluşur. Elektrik akımının uygulama süresine bağlı olarak farklı tiplerde dikişler elde edilebilmektedir. Şekil 2.4'te de farklı impulslar kullanılarak yapılmış elektrik direnç dikiş kaynak uygulamaları görülmektedir (Kahraman ve Gülenç 2009).



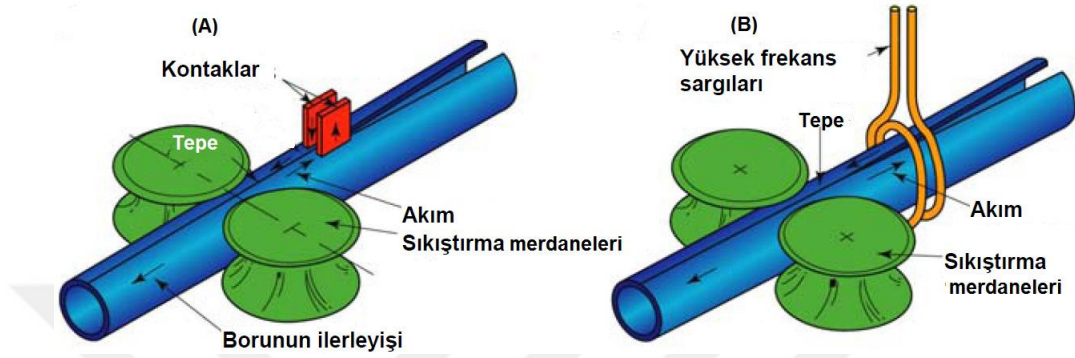
Şekil 2.3. Dikiş Kaynağı Çalışma Prensibi (Tezcan ve Çakır 2017).



Şekil 2.4. Farklı Dikiş Kaynağı Uygulamaları (Kaya, 2010).

### 2.1.1.3 YÜKSEK FREKANS DİRENÇ KAYNAĞI YÖNTEMİ

Yüksek frekans direnç kaynağı yönteminde, ısı kaynağı olarak öncelikle yüksek frekanslı bir alternatif akım uygulanır ve hemen sonra yeterli baskı kuvveti uygulanarak kaynak gerçekleştirilir (Şekil 2.5).

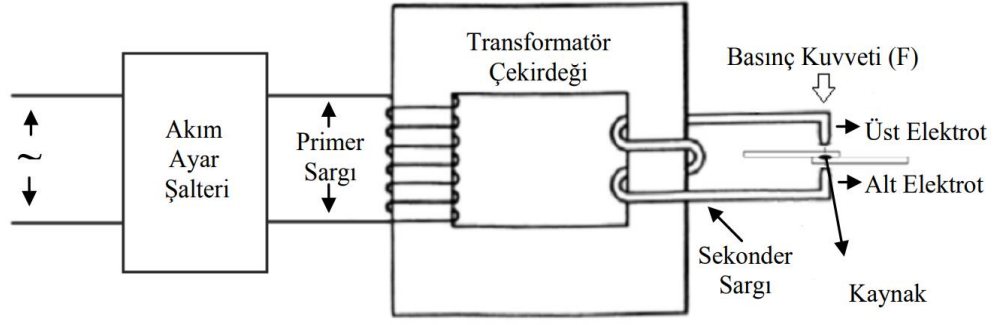


Şekil 2.5. Yüksek Frekans Direnç Kaynağı (Onsekiz ve Altunpak, 2018)

### 2.1.1.4 ELEKTRİK DİRENÇ NOKTA KAYNAĞI YÖNTEMİ

Elektrik direnç punta kaynağı (EDNK); iki veya daha fazla iş parçasının birleştirilmesinde kullanılır (Gugel, 1995). En çok düşük karbonlu çelik sacların ve tellerin birleştirilmesinde kullanılan bu yöntem paslanmaz çeliklerin birleştirilmesinde de yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. (Onsekiz ve Altunpak, 2018; Gavas ve Arkadaşları, 2015; Akyol, 2001).

Elektrik direnç punta kaynağında (EDNK) için gerekli olan bir temel devre Şekil 2.6' da verilmiştir.

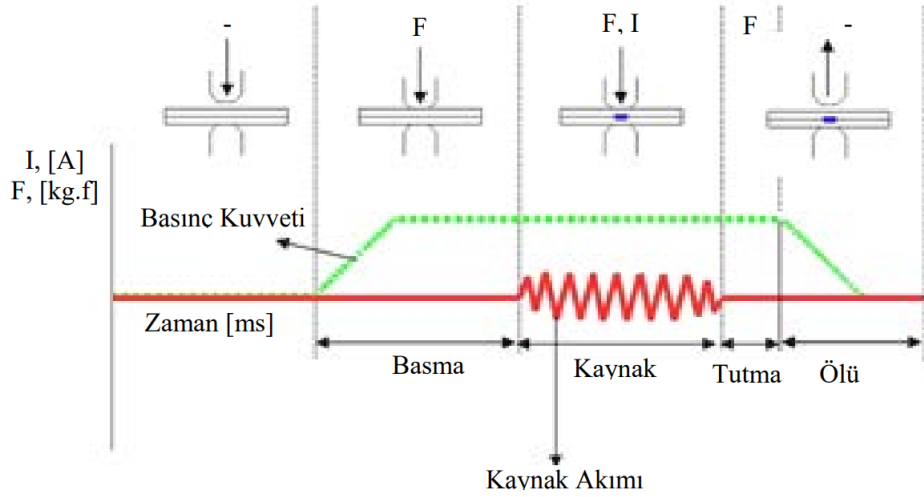


**Şekil 2.6.** EDNK Temel Devresi (AC) (Altun, 2012)

Kaynak süresince gereken akım transformatörlerden sağlanır. Bu transformatörlerin dış karakteristikleri, kaynak akımı arttıkça gerilimi hızla düşecek şekildedir. Bu tip transformatörlerin yük akımları arttıkça gerilimleri azalmaktadır. Elektrotların birleşmeleri ve ayrılmaları sırasında bir ark oluşmaması için bazı mekaniksel veya elektriksel düzenekler ve kontrol birimleri gereklidir. (Peşint ve Ürkmez 2000).

Elektrik direnç kaynağı esnasında akım, basınç ve ölü sürelerin belirlenmesi ve kontrolü oldukça kritiktir. Bu süreç Şekil 2.7'deki gibi özetlenebilir (Altun, 2012; Keleş, 2008; Kurşungöz, 1986).

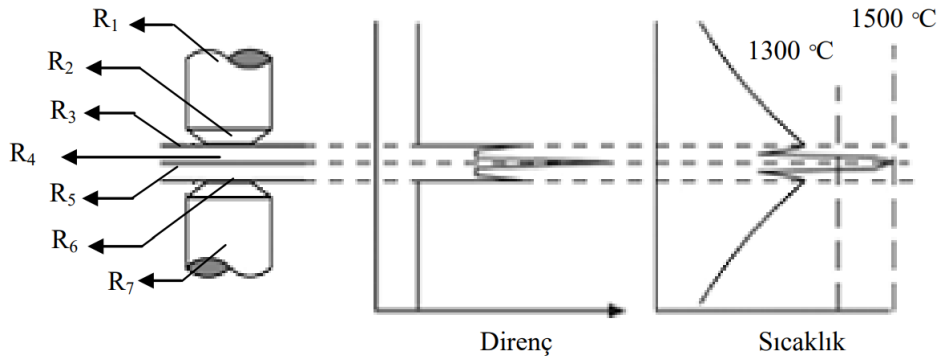
EDNK için gereken basınç kuvveti, pnömatik, hidrolik veya mekanik olarak sağlanır. Daha hızlı ve ekonomik olması, pnömatik sistemlerin daha çok tercih edilmesini sağlamaktadır. Tüm sistemler, genellikle alt elektrot sabit olup üst elektrot hareketli olacak şekilde çalışır (Altun, 2012; Esendir, 2008).



Şekil 2.7. EDNK Kaynak Çevrimi (Altun, 2012; Keleş, 2008)

#### 2.1.1.4.1 ISI OLUŞUMU VE NEDENLERİ

Temelde EDNK makinesi, sekonder sargısı kaynak malzemeleri ve hava boşlukları üzerinden kısa devre edilen bir transformatördür. Burada sekonder tarafta çeşitli direnç bölgelerine sahip bir elektrot sistemi (Şekil 2.8) oluşur.

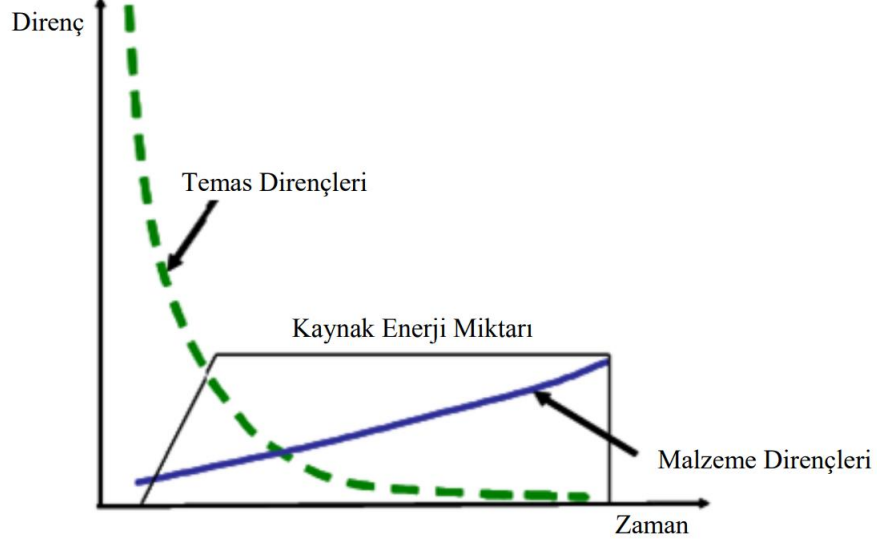


Şekil 2.8. EDNK Direnç Bölgeleri (Altun, 2012; Anonymous, 2009)

Bu dirençler:

- R<sub>1</sub>: Üst elektrodun malzeme direnci,
- R<sub>2</sub>: Üst elektrot - üst iş parçası arasındaki geçiş direnci,
- R<sub>3</sub>: Üst parçanın malzeme direnci,
- R<sub>4</sub>: Üst parça - alt parça arasındaki geçiş direnci,

- R<sub>5</sub>: Alt parçanın malzeme direnci,  
R<sub>6</sub>: Alt elektrot - alt parça arasındaki geçiş direnci,  
R<sub>7</sub>: Alt elektrodun malzeme direncidir.



**Şekil 2.9.** Sabit Enerji Miktarında EDNK Dirençlerinin Değişimi (Altun, 2012; Kelkar, 2004)

Sabit bir enerji miktarı sisteme uygulandığında temas dirençlerinin (R<sub>2</sub>, R<sub>4</sub>, R<sub>6</sub>) basınç etkisi ile azaldığı, malzeme dirençlerinin (R<sub>1</sub>, R<sub>3</sub>, R<sub>5</sub>, R<sub>7</sub>) ise sıcaklık etkisi ile arttığı görülebilir. (Şekil 2.9) Dinamik haldeki bu dirençler (\*) yeniden isimlendirildiğinde sekonder seri toplam direnci (R<sub>T</sub>):

$$R_T = R_1^* + R_2^* + R_3^* + R_4^* + R_5^* + R_6^* + R_7^* \quad (\Omega)$$

şeklindedir.

Elektrotlar arasında meydana gelen ısı miktarı Q üretilen ısı, K sıcaklık sabiti, P güç, I kaynak akımı, R kaynak akımının geçtiği devredeki elektrik dirençlerinin toplamı ve t kaynak akımının devrede kalma süresidir (Altun, 2012).

$$Q = K.P.t$$

$$Q = K. I^2.R.t \quad (\text{Joule kanunu})$$

#### 2.1.1.4.2 NOKTA DİRENÇ KAYNAĞI DEĞİŞKENLERİNİN İNCELENMESİ

Kaynak işlemi sırasında istenilen kaynak çekirdeği büyüklüğü, akım şiddeti ve zamanın uygun bir şekilde ayarlanmasıyla elde edilir. Kaynak zamanı kısa tutulursa kaynak çapı yetersiz olur. Eğer gereğinden uzun tutulursa ergimiş bölge büyür ve ergiyik dışarı fışkırır.

Gelişen teknolojiye bağlı olarak daha kısa sürede ve daha az enerji ile yüksek basınç ve akım uygulayabilen kaynak teknikleri geliştirilmiştir (Almus, 2006).

Elektrot bileşimi ve şekli, kaynak akımı, kaynak zamanı, kaynak kuvveti, kaynaklanacak malzeme türü, kaynaklanacak iş parçaların yüzeyleri ve kaynaklı noktalar arasındaki mesafenin ısınma üzerine etkisi, kaynak kalitesini etkileyen başlıca kaynak değişkenleridir (Kaya, 2010; Hayat, 2005).

##### 2.1.1.4.2.1 ELEKTROT BİLEŞİMİ VE ŞEKLİNİN ISINMA ÜZERİNE ETKİSİ

Elektrotların ısınmasını minimumda tutabilmek için, elektrotlar yüksek elektrik iletkenliği, düşük temas direncine ve elektrot ucundaki ısının uzaklaştırılabilmesi için de yüksek ısı iletkenliğine sahip olmalıdırlar. Ayrıca uygulanan yüksek basınca dayanabilecek kadar yüksek ısı direncine olmalıdır. Aynı bileşimde ve kalınlıktaki parçalar kaynak edildiğinde, elektrotların uç çapları aynı olmalıdır. Özellikle elektrodun ucunun aşınması veya mantarlaşma kaynak çekirdeğinin çapını arttırmaktadır. Bu durum ise akım yoğunluğunun azalmasına ve açığa çıkan ısının yeterli olmamasına neden olacak ve dolayısıyla kaynak kalitesi olumsuz yönde etkilenecektir (Kaya, 2010; Anık, 1993).

- Elektrotların Malzemesi ve Boyutları

Direnç kaynağı uygulamalarında önceleri çok iyi iletken oldukları için genellikle saf bakır elektrotlar kullanılmıştır. Ancak daha yüksek akım şiddeti, elektrot kuvveti ve kaynak hızının kullanıldığı otomasyon sistemlerinde, yüksek mekanik (yeterli sertlik ve sıcaklık dayanımı gibi) ve fiziksel (yeterli elektrik ve ısı iletkenlik) özelliklere sahip birçok farklı sert bakır alaşımı, elektrot malzemesi

olarak kullanılmaya başlanmıştır. Kaynak yapılacak iş parçası malzemesine en uygun özelliklere sahip elektrot alaşımı kullanılmalıdır. Örneğin, alüminyum parçaların direnç kaynağında yüksek iletkenliğe sahip elektrot malzemeleri, paslanmaz çeliklerin kaynağında yüksek sertlik ve basma dayanımına sahip elektrot malzemeleri daha çok tercih edilmektedir. Genellikle sertlik ve dayanım arttıkça alaşımların elektrik iletkenlikleri düşmektedir (ASM Metals Handbook, 1983; Almus, 2006). Elektrot malzemelerinin ısı iletkenliği, elektrik iletkenliği ve sürtünme direnci yüksek olmalıdır. Bu özellikleri yüksek sıcaklıklarda da bozulmamalıdır (Ünlükal, 2007). Elektrotlar aşırı deformasyona uğramadan üzerindeki uygulanan kuvvetlere direnç gösterebilmelidir (Kaya, 2010; Keleş, 2008).

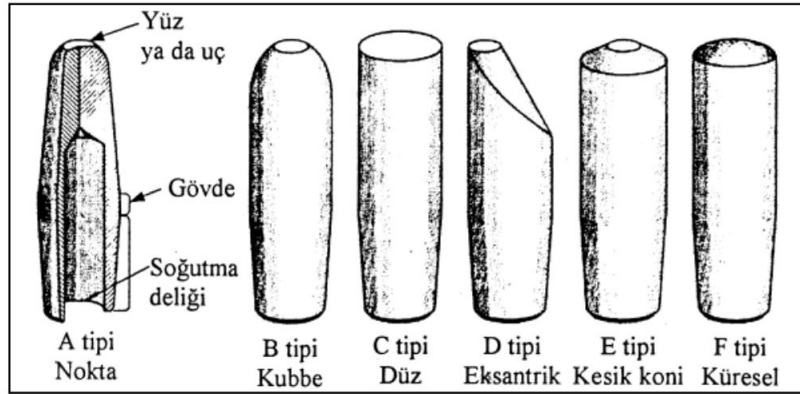
Kaynak uygulamalarında kullanılan bazı sert bakır alaşım elektrotlarının kimyasal bileşimi, mekanik ve fiziksel özellikleri aşağıdaki tablo 2.1’de verilmiştir (Esendir, 2008; Ünlükal, 2007)

**Tablo 2.1.** Elektrot Ucu Malzemesi ve Özellikleri, Baz Metal: Cu (Altun, 2012; Ünlükal, 2007)

Grup	Klas	Bileşenler	Mekanik Özellikler			Uygulama
			HRB	Elektrik İletkenliği (%IACS)	Mukavemet (ksi)	
A	1	% 1 Cd	50-65	80	(+) 40-60	Düşük karbon çelikleri
	2	% 0,8 Cr	65-75	70-75	(+) 45-65	Düşük karbon çelikleri
	3	% 0,5 Be % 1 Ni	90	45	(+) 85-100	Düşük karbon çeliklerinin kalın kesimleri
B	10	Cu-W refraktör metalleri	72	35	(-) 135	Yüksek sıcaklık, yüksek basınç ve düşük soğutma proseslerinde kullanılır
	11		94	28	(-) 160	
	12		98	27	(-) 170	
	13	Alaşımsız W HRA	69	30	(-) 200	
	14	Alaşımsız Mo	85	30	-	
C	20	% 0,5 – 1,1 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	78	-	Galvanizli çelik sac

Elektrotların özellikle uç şekil ve boyutları, kaynak yapılacak iş parçalarının cinsine, şekline ve boyutlarına göre saptanır. Şekil 2.10’da altı farklı tip uç şekillerine sahip bazı standart elektrotlar gösterilmiştir. Direnç kaynak

endüstrisinde, en çok kesik koni uçlu ve küresel uçlu olan elektrotlar tercih edilmektedir.



Şekil 2.10. Standart elektrot uç şekilleri (Kaya, 2010; Anık, 1983)

Küresel uçlu elektrotlar kullanıldığında, elektrot temas yüzeyinin iş parçası yüzeylerine paralel olarak, hassas bir biçimde ayarlanması gerekmemektedir. Bu nedenle, küresel uçlu elektrot, üst elektrotun dairesel hareket yaparak iş parçasına yaklaştığı kaynak makinelerinde rahatlıkla kullanılabilen bir elektrottur. Bu elektrot mükemmel bir sıkıştırma ve iş parçası yüzeylerinde kaynak sonrası daha iyi bir görünüm sağlar. Soğuma hızları daha yüksek olduğundan alüminyum ve alaşımlarının kaynağında kullanılır (Yener, 1999; Anık, 1983; ASM Metals Handbook, 1983; Almus, 2006).

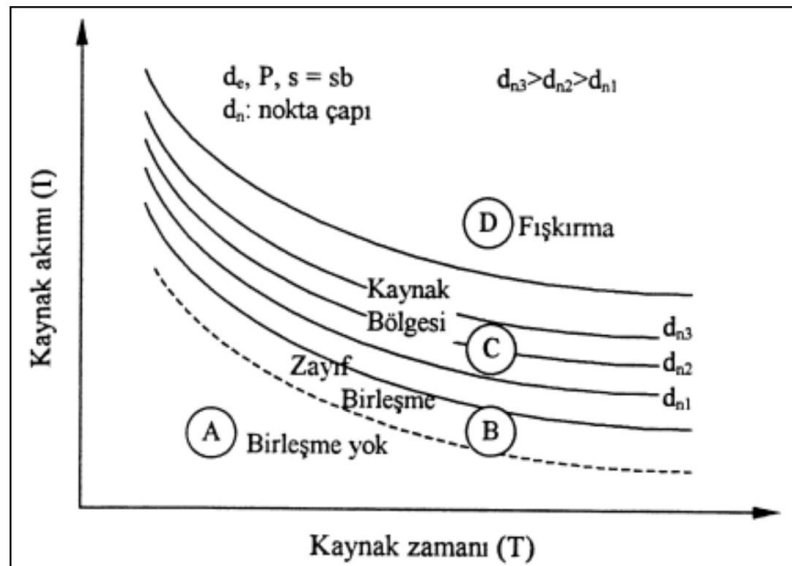
#### 2.1.1.4.2.2 KAYNAK AKIMININ ETKİSİ

Direnç kaynağı esnasında gerekli olan en önemli etmenlerden birisi kaynak akımıdır. Isı formülünde de görüleceği üzere akımın karesi kadar bir çarpan etkisi oluşturmaktadır. Bu nedenle, kaynak akım değerini seçerken oldukça dikkatli olmak gerekmektedir (Yener, 1999).

Çeliğin ısı iletkenliği bakırın ısı iletkenliğinin yaklaşık % 12'si kadardır. Bu nedenle kaynak esnasında kaynak akımının etkisiyle çelik iş parçaları ara yüzeyinde oluşan ısı, özellikle su soğutmalı elektrotlardan iletilmesine göre çok daha yavaş uzaklaşmaktadır. Isıyı yeterince hızlı iletemeyen çelik parça ara yüzeyi ergime sıcaklığına ulaşarak kaynak dikişini oluşturur. Kullanılan elektrodun uç çapının

zamanla deforme olarak büyümesi, akım yoğunluğunda azalmaya neden olacağı için dikkat edilmelidir (Yener, 1999; ASM Metals Handbook, 1983).

Bir levha malzemesi için hazırlanmış bir kaynak kabiliyeti diyagramı (akım-zaman diyagramı) aşağıda gösterilmiştir (Şekil 2.11). Bu diyagramda; A bölgesinde herhangi bir ergime yoktur. B bölgesinde ergime olmadan basıncın etkisiyle zayıf bir birleşme vardır. C bölgesinde ise malzeme türüne bağlı ergimiş bölge ve kaynak dikişi oluşur. Ergimiş kaynak bölgesinin büyüklüğü, bu bölge içine doğru artış gösterir. Genellikle oluşan punta noktasının çapı  $d_n$ , elektrod çapı  $d_e$ 'ye eşit olur. Kaynak uygulamaların, akım ve zaman değerleri C bölgesinin üst sınırına yakın olacak şekilde seçilmektedir. D bölgesinde ise, C bölgesinin üst sınırından itibaren fişkırmaya kusuru görülür (Kaya, 2010; Yener, 1999).



Şekil 2.11. Kaynak kabiliyeti diyagramı (Kaya, 2010; Yener, 1999; Almus, 2006)

#### 2.1.1.4.2.3 KAYNAK ZAMANININ ETKİSİ

Kaynak süresi gereğinden daha az olursa kaynak çekirdeği çapı küçük olur ve kaynak dayanımı da azalır. Kaynak süresi gereğinden daha uzun tutulursa bu sefer ergimiş bölge büyür ve elektrot basıncının da etkisiyle aradan fişkırmaya ve hem dayanım düşer hem de görünüm açısından kaynak çekirdeği bozulur. Isı (enerji) formülü ( $Q = K \cdot I^2 \cdot R \cdot t$ ) dikkate alındığında; toplam direnç sabit olmak şartıyla, ısı

geçişi zamanın fonksiyonudur. Yeterli çekirdek çapının oluşması için gerekli süre, kaynak akımı yükseltirse de çok fazla değişmeyecektir (Yener, 1999).

Kaynak akımının yükseltilmesinde fişkırtma olmaması için elektrot basıncını da biraz arttırmak gerekir. Kısa kaynak süresi ve yüksek akım şiddeti ya da uzun kaynak süresi ve düşük akım şiddeti kullanarak, aynı nokta çapını elde etmek mümkündür. Düşük karbonlu alaşımsız çeliklerin kaynağında, kısa süreli kaynak için gerekli kaynak süresi aşağıdaki bağıntıyla belirlenebilir (Anık, 1983).

$$T = 8.s$$

Burada;

T (periyod): kaynak süresi, (50 Hz frekanslı bir şebekede 1 periyot 1/50 sn)

s (mm): levha kalınlığı

Daha uzun elektrot ömrü için elektrodun aşırı ısınmasından dolayı kaynaklı parçalarda ısıdan etkilenen bölgenin (ITAB) daha küçük olması ve ısı verimliliği gibi nedenlerden dolayı kaynaklarda kısa süreli kaynak tekniği daha çok tercih edilmektedir. Ancak karbon oranı nispeten yüksek olan (% 0,3 C gibi) ve sıkıştırılması zor olan bazı çeliklerde kaynak sonrası sertleşmeyi önlemek için uzun kaynak süresi kullanılabilir (Yener, 1999; Anık, 1983; Almus, 2006).

#### 2.1.1.4.2.4 ELEKTROT KUVVETİNİN ETKİSİ

Elektrotlara uygulanan kuvvet statik hale geldikten sonra kaynak işlemi başlatılır. Kaynak için gerekli temas direnci genellikle kuvvetle ters orantılıdır. Diğer bir ifadeyle baskı kuvveti arttıkça, temas direnci düşecektir. Bu düşme oranı kaynak yapılacak malzemeye göre değişmektedir. Kaynakta boşluk ve çatlama tehlikesinin olmaması ve kaynak dikişinin dayanımının artırılması gibi nedenlerden dolayı uygulanan sıkıştırma basıncının kaynak akımı kesildikten sonra da devam ettirilmesi gerekir. Basıncın gereğinden yüksek olması durumunda hem elektrotta hem de kaynak edilen malzemede ezilme ve çarpılma sonucu istenmeyen deformasyonlar meydana gelebilir (Almus, 2006).

Ancak, özellikle daha yüksek dayanımlı bazı çelikler aynı zamanda yüksek geri yaylanmaya sahip olduklarından dolayı düşük karbonlu çeliğe oranla daha

yüksek elektrot kuvveti gerektirirler (Yener, 1999). Artan elektrot kuvvetlerinde genellikle daha yüksek akım değerleri kullanılmaktadır. Elektrot kuvveti, kaynak esnasında, kaynaklı parçalar arasından fişkırmaya meyilli sıvı metali halen katı durumdaki ergimemiş metal çukuru içinde hapsederek fişkırmayı engellemektedir. Kaynak dikişinin sıvı halden soğuması ve katılaşması esnasında, elektrot kuvvetinin uygulamaya devam edilmesi, dövme etkisi yaparak çekme ve büzülme nedeniyle meydana gelebilecek boşluk ve çatlakları önleyebilmektedir (Yener, 1999; Anık, 1983).

#### 2.1.1.4.2.5 KAYNAK EDİLECEK METALİN KİMYASAL BİLEŞENİ

Ergime noktası, yoğunluk, özgül ve gizli ergime ısısı gibi özellikler ve dolayısıyla kaynak esnasında kullanılan parametreler (Kaynak akımı, süresi ve elektrot basıncı) kaynak yapılacak metallerin kimyasal bileşiminden önemli oranda etkilenmektedir. Çeliklerin bileşiminde genellikle az bulunan bazı elementler de kaynak kabiliyetini etkilemektedir. Örneğin Fosfor ve kükürt çekirdek ara yüzeyinde yırtılmayı arttırabilmektedir. Titanyum ise çekirdek çapını, kaynak dayanımını düşürebilmektedir. Azot ve oksijen oranlarının yüksek olması ara yüzey hasarına neden olmaktadır. Hidrojen de kaynak metalinin hasarını arttırmaktadır (Hayat, 2005; Yener, 1999; ASM Metals Handbook, 1983).

#### 2.1.1.4.2.6 KAYNAK EDİLECEK PARÇALARIN YÜZEYLERİNİN ETKİSİ

Yüksek kaynak kalitesi elde edebilmek için, elektrotlarla iş parçası yüzeyindeki direnç minimum olmalıdır. Kaynak yapılacak metallerin yüzeyleri genellikle yeterince düzgün değildir ve düşük elektrot basınçları kullanıldığında, gerçek temas bölgesi tüm temas bölgesinin sadece küçük bir yüzdesi olacaktır. Elektrot kuvveti arttırıldığında, gerçek metal-metal temas bölgesi artar ve böylece elektrik direnci düşer. Yani yüzey direnci uygulanan elektrot kuvvetiyle ters orantılıdır.

Kaynak yapılacak yüzeyler kaynak öncesi, özellikle elektrotla temas edebilecek kısımlarında varsa kir, yağ, cüruf, pas ve oksit filmleri yeterince

temizlenmelidir. Kaynak metaline karışacak bu maddeler, inklüzyonlar, kaynak boşluklarına veya diğer iç kusurlara neden olabilir (Yener, 1999; Anık, 1983; ASM Metals Handbook, 1983).

Punta direnç kaynaklarında istenmeyen bazı yüzey durumları ortaya çıkabilmektedir. İstenmeyen bu yüzey koşulları, bunların nedenleri ve sonuçları Tablo 2.2’de belirtilmiştir (Yener, 1999).



**Tablo 2.2.** Direnç nokta kaynağı için istenmeyen yüzey koşulları (Yener, 1999)

<b>Yüzey Koşulu Tipi</b>	<b>Sebeup</b>	<b>Sonuç</b>
<b>Derin Elektrot İzi</b>	1. Uygun seçilmemiş elektrot yüzeyi 2. Elektrot kuvvetinin kontrol edilememesi 3. Yüksek temas direnci (düşük elektrot kuvveti) nedeniyle çok hızlı ısı üretimi	1. Kaynak alanı çevresindeki metal kalınlığın azalması nedeniyle kaynak mukavemetinin düşmesi 2. Kötü görünüş
<b>Yüzey ergimesi</b> (genellikle derin elektrot izi ile birlikte)	1. Curuflu veya kirli Yüzey 2. Düşük elektrot kuvveti 3. Parçaların kaymış olması 4. Yüksek kaynak akımı 5. Elektrotların düzgün şekilli olmaması 6. Basın ve akım sırasının uygun olmaması	1. Ergimiş metalin fişkırması nedeniyle çekirdek boyutlarının küçülmesi 2. Kaynak bölgesinde büyük boşluklar 3. Parçanın dış yüzeyinden yarıkların temizlenmesi nedeniyle maliyetin artması 4. Elektrotların sık sık düzeltilmesi nedeniyle üretim zamanının harcanması
<b>Kötü şekilli kaynak</b>	1. Parçaların ayarsızlığı 2. Elektrotların aşırı aşınmış olması veya düzgün olmayan elektrot formu, elektrotların kayması 3. Elektrotların yüzey temizliğinin kötü olması	1. Ara temas yüzeyinin değişmesi nedeniyle kaynak mukavemetinin düşmesi 2. Ergimiş metalin fişkırması
<b>Parça üzerinde elektrot kopması</b> (genellikle yüzey ergimesi ile birlikte)	1. Curuflu ve kirli olması 2. Düşük elektrot kuvveti veya yüksek kaynak akımı 3. Elektrot temas yüzeylerinin bakımının yetersiz olması 4. Elektrot kuvveti ve kaynak akımının sırasının bozuk olması	1. Kötü Görünüş 2. Korozyon direncinin düşmesi 3. Ergimiş metal fişkırması varsa, kaynak mukavemetinin düşmesi 4. Elektrot ömrünün kısalması
<b>Çatlaklar, derin boşluklar veya küçük delikler</b>	1. Kaynak çekirdeği katılaşmadan önce elektrot kuvvetinin kaldırılması 2. Ergimiş metalin fişkırmasına neden olacak şekilde aşırı ısı üretimi 3. Parça yüzeylerinin birbirine yaklaşmaması ve dolayısıyla elektrot kuvvetinin artırılması	1. Çatlak veya süreksizliğin kaynak alanının dışına uzaması sonucu veya gerilme altında yorulma dayanımının düşmesi 2. Çatlak veya boşluklarda korozif maddelerin birikmesi nedeniyle korozyonun artması

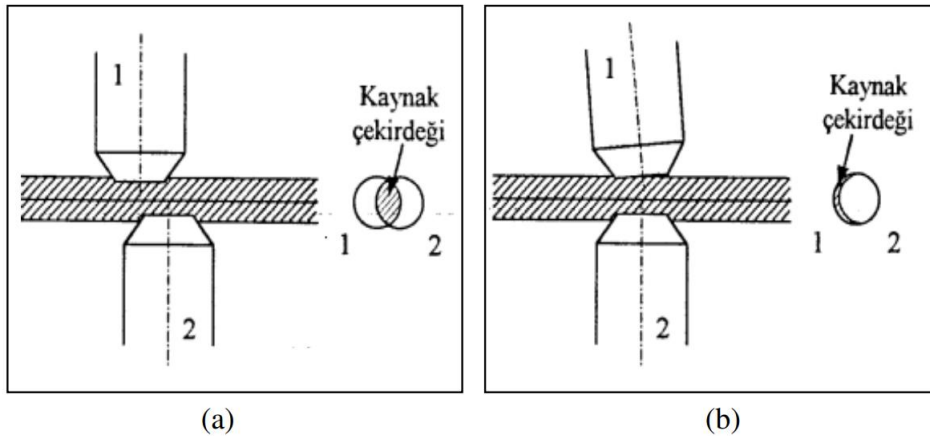
#### 2.1.1.4.2.7 KAYNAKLI NOKTALAR ARASINDAKİ MESAFENİN ETKİSİ

Direnç nokta kaynağında önemli konulardan birisi de şönt (şant) etkisidir. Bu etki, arka arkaya iki veya daha fazla kaynak noktası olduğunda ortaya çıkar. İkinci ve bunu takip eden kaynak noktaları olduğunda elektrik akımının bir bölümü bir

önceki kaynağa doğru hareket ederken, kalan kısmı ikinci kaynak noktasındaki elektrotlar arasındaki metallere akar. İki punta kaynağı arasındaki mesafe yeterince büyükse, yolun direnci yüksek olacağı için şöntlenme etkisi ihmal edilebilir. Ancak iki kaynak noktası arası mesafe kısa ise akımın önemli bir kısmı ilk nokta kaynağına atlar. Bu durumun en belirgin olumsuz sonuçlarından biri, kaynağın mekanik özelliklerindeki değişikliklerle bağlantılı olarak bir sonraki kaynak çekirdek çapının azalmasıdır. Şönt etkisini önlemek için, kaynak noktaları arasındaki mesafe (en az 3 nokta çapı büyüklüğü) artırılmalıdır. Ayrıca daha yüksek elektrik akımı ve elektrot kuvveti ile daha kısa kaynak süreleri kullanılabilir (Yener, 1999; Anık, 1983; ASM Metals Handbook, 1983; Almus, 2006).

#### 2.1.1.4.2.8 ELEKTROT VE İŞ PARÇASININ TEMAS DURUMLARI

Kaynak kalitesi etkileyen diğer önemli bir faktör de elektrotların ve kaynaklanacak iş parçaları arasındaki temas şeklidir. Elektrotlar, kaynağın yapılacağı iş parçalarına dik, dolayısıyla birbirine paralel olmalıdır. Ayrıca alt ve üst elektrotlar aynı eksende olması gerekmektedir. Şekil 2.12a'da aynı eksende olmayan, Şekil 2.12b'de ise birbirine paralel olmayan elektrotların sebep olduğu hatalı (küçük) kaynak çekirdekleri görülmektedir.



**Şekil 2.12.** Elektrotların temas durumuna göre oluşan kaynak çekirdekleri; a) aynı eksende olmayan, b) paralel olmayan elektrotlar (Kaya, 2010)

#### 2.1.1.4.3 ELEKTROT ÖMRÜ

Elektrotların ömrü, kaynak kalitesi, nokta yüzey görünümü bozulmadan ve elektrot ucunun tekrar işlenmeden yapılabilen kaynak sayısıdır. Tablo 2.3’de elektrot ömrüne etkileyen faktörlerin etkime durumları verilmiştir.

**Tablo 2.3.** Elektrot ömrüne etkileyen faktörlerin etkime durumları (Onsekiz ve Altunpak, 2018)

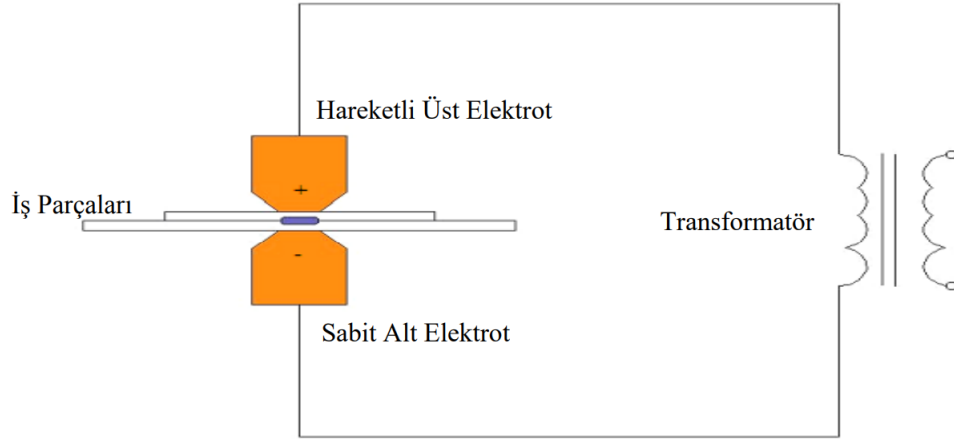
Faktör	Elektrot ömrü
Sertlik (sıcakta, soğukta)	Arttırır
Elektrot malzemesinin iletkenliği (elektrik, ısı)	Arttırır
Elektrot malzemesinin yumuşama sıcaklığı	Arttırır
Elektrot malzemesinin soğutulması	Arttırır
Statik elektrot basma kuvveti	Önce arttırır sonra azaltır
Dinamik elektrot basma kuvveti	Azaltır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

#### 2.1.1.4.4 EDNK MAKİNE TASARIMLARI

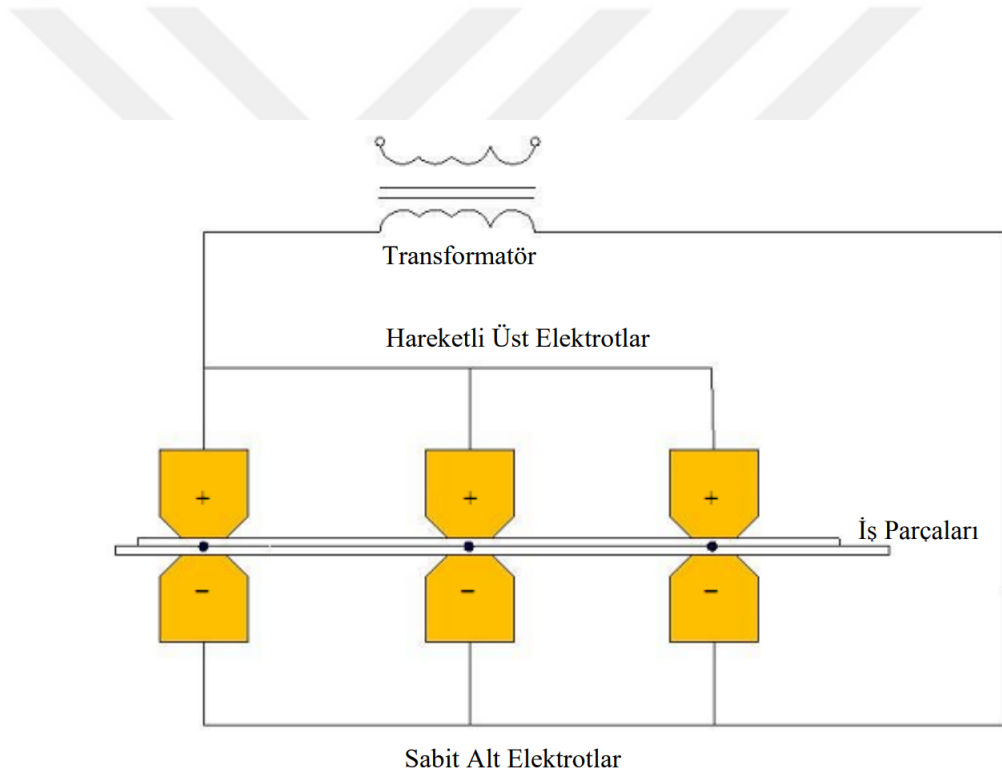
EDNK makinelerini, tasarımı bakımından iki grupta sınıflandırmak mümkündür.

- Tek noktalı kaynak
- Çok noktalı kaynak

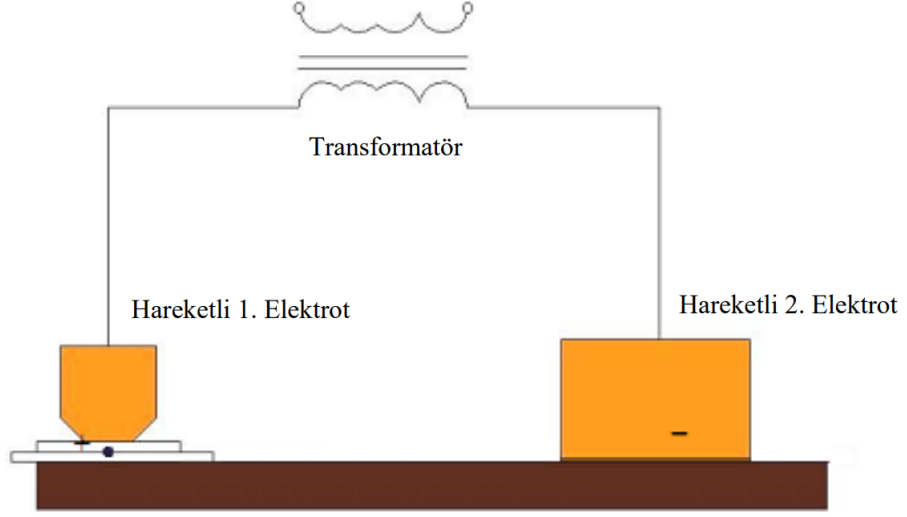
Tek noktalı kaynak, akımın uygulandığı periyot boyunca bir kaynak noktası olarak elde edilir (Şekil 2.13), çok noktalı kaynakta ise aynı anda iki veya daha çok kaynak noktası elde edilir (Şekil 2.14). Çok noktalı kaynak, tasarım şekline bağlı olarak paralel veya seri noktalar olmak üzere 2 gruba ayrılabilir.



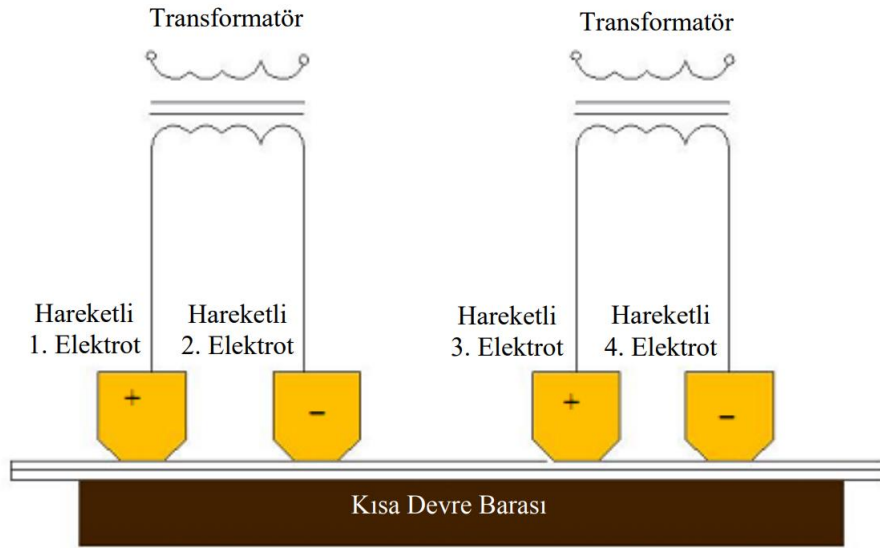
Şekil 2.13. Tek Noktalı Direk Kaynak (Altun, 2012)



Şekil 2.14. Çok Noktalı Direk Kaynak (Altun, 2012)



Şekil 2.15. Tek Noktalı Dolaylı Kaynak (Altun, 2012)



Şekil 2.16. Çok Noktalı Dolaylı Kaynak (Altun, 2012)

#### 2.1.1.4.5 DIRENÇ PUNTA KAYNAĞI HATALARI

Direnç punta kaynağı hatalarını iç hatalar ve dış hatalar olmak üzere iki başlık altında gruplandırabiliriz.

##### ➤ İç Hatalar

- Kaynak Nüfuziyeti
  - Yetersiz Nüfuziyet
  - Aşırı Nüfuziyet
- Simetri
- Gaz Kabarcıkları ve gözeneklilik
- İç Çatlaklar

##### ➤ Dış Hatalar

- Yüzey Yanması
- Levha Ayrılması
- Fıskırma
- Distorsiyon
- Aşırı Ezilme
- Dış Çatlaklar
- Bakır Birikmesi

## 2.2 Çelikler

Çelik, diğer bazı alaşım elementlerini de bileşimlerinde bulundurabilen bir demir-karbon (Fe-C) alaşımıdır. Manganez, Fosfor, Kükürt ve Silisyum gibi bazı elementler üretim esnasında kullanılan cevher ve kok kömürü gibi maddelerden kaynaklanan elementler olup, alaşımsız çelik içerisinde belirli oranlarda bulunurlar. Örneğin Mn %1.60 ve Si %0.50 değerinin genellikle altında olmalıdır. Daha fazla oranda Mn ve Si elementi bulunursa söz konusu elementler çelik alaşım elementleri olarak değerlendirilirler. Diğer elementler (Cr, Ni, Mo, V vb.) ise istenilen miktarlarda alaşımlı çelik üretimi için çelik bünyesine ilave edilirler. Çelikler genellikle ya kimyasal bileşimlerine veya kullanım yerlerine göre

sınıflandırılmaktadır. Kimyasal bileşimlerine göre; genel olarak alaşımsız ve alaşımlı çelikler olmak üzere genel olarak iki gruba ayrılmaktadır (Gavas ve arkadaşları 2015).

### 2.2.1 Çeliklerin Sınıflandırılması

Çeliklerin bazı ortak özelliklere ve kullanım alanlarına göre gruplara ayrılması veya sistematik olarak düzenlenmesidir. Çelikler içeriklerine (kompozisyonuna), piyasaya arz edildikleri kesit şekillerine göre, kullanım yerlerine veya bazı özelliklerine göre çeşitli şekillerde sınıflandırılabilir. Çelikler için yapılan bu sınıflandırmalardan en yaygın olarak kullanılanı bileşimine göre çeliklerin sınıflandırılmasıdır.

Bu sınıflandırmalardan bazıları aşağıda verilmiştir;

#### A) Çelikleri kimyasal kompozisyonlarına göre sınıflandırma

##### 1. Sade karbonlu çelikler;

- Düşük karbonlu çelikler ( $C < \%0.25$ )
- Orta karbonlu çelikler ( $\%0.25 < C < \%0.55$ )
- Yüksek karbonlu çelikler ( $\%0.55 < C$ )

##### 2. Alaşım çelikler

- Düşük alaşımlı çelikler (Alaşım oranı %5'den daha az)
- Yüksek alaşımlı çelikler (Alaşım oranı %5'den daha fazla)

#### B) Çelikleri kullanım yerlerine göre sınıflandırma

##### 1. Yapı çelikleri

- Genel yapı çelikleri
- İnce taneli yapı çelikleri
- Otomat çelikleri,
- Sementasyon çelikleri,
- Nitrürasyon çelikleri,
- Islah çelikleri,
- Yay çelikleri,
- Soğuğa dayanıklı çelikler,
- Isıya dayanıklı çelikler,

- Yüksek ısıya dayanıklı çelikler,
- Paslanmaz çelikler

## 2. Takım Çelikleri

- Alaşım-sız takım çelikleri,
- Alaşım-lı takım çelikleri
- Yüksek alaşım-lı takım çelikleri

C) Piyasaya arz edildikleri kesit şekillerine göre sınıflandırma (Boru, Yuvarlak ve Altı köşe çubuk, Plaka, Sac, Profil vb.)

### 2.2.2 Fırın Izgara Üretiminde Kullanılan Çelikler

Fırın ızgarası üretiminde, süneklığı, kaynak kabiliyeti ve üretim maliyeti vb. özellikler göz önüne alınarak genellikle düşük karbonlu çelikler (yaklaşık % 0,05-0,06 C'lu SAE 1006 çeliği) tercih edilmektedir. Ancak, özel sipariş durumlarında, daha yüksek maliyetli olan östenitik paslanmaz çelikler de bu amaçla kullanılabilir.

#### 2.2.2.1 DÜŞÜK KARBONLU ÇELİKLER

Otomotiv sektöründe, beyaz eşya sanayinde, çeşitli mühendislik yapılarının imalatında (çivi, tel, cıvata, boru vb.) ve inşaat alanlarında düşük karbonlu çelik yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu çelikler piyasada genellikle sac, şerit, tel, boru ve profil gibi çeşitli yarı mamuller halinde bulunmaktadır. Yapılarında genellikle % 0,05-0,25 oranında karbon içerirler. Günümüzde en çok üretilen ve geniş kullanım alanı olan düşük karbonlu çelikler nispeten yüksek süneklığe sahiptirler. Plastik şekillendirme yöntemlerine, talaşlı imalat ve kaynakla birleştirilme yöntemleri ile üretime uygundur. Ayrıca birçok çelik türlerine göre genellikle daha düşük malzeme ve üretim maliyetine sahiptirler. Düşük dayanıma sahip olan az karbonlu çeliklerin süneklilikleri ve kaynak kabiliyetleri kaybolmadan akma dayanımları genellikle, tane küçültme ile, soğuk şekillendirme (pekleşme) ile veya az bir alaşım ilavesi (HSLA alaşımları gibi) ile veya uygun bir ısıl işlem ile (çift fazlı çelikler gibi) artırılabilir.

### 2.2.2.2 OSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİKLER

Bileşiminde yaklaşık %18 Cr ve %8 -10 Ni bulunan östenitik paslanmaz çeliklerin toplam paslanmaz çelik üretimi içerisindeki payı yaklaşık %70' dir. Mükemmel korozyon dayanımına ve kaynak edilebilme kabiliyetine sahiptirler. Plastik şekillendirmeye uygun ve özellikle yükseklik sıcaklık dayanımları iyidir. Isıl işleme uygun olmayan bu çeliklerin gerektiğinde akma dayanımları soğuk şekillendirme (pekleşme) ile artırılabilir.

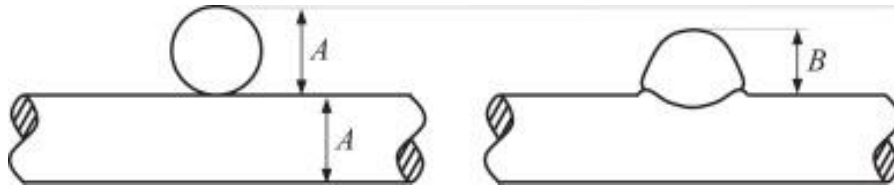
### 2.3 Çapraz Tel Direnç Kaynak Tekniği

Çapraz tel kaynağı birçok günlük uygulamada kullanılır. Çapraz tel kaynağı, çelik çubukların çelik ızgara tellerle birleştirilmesi için kullanılan bir direnç kaynağı işlemidir.

Çapraz tel kaynağı için değerlendirme parametrelerinden biri, Direnç Kaynağı İmalatçıları Birliği'nde (2003) tanımlanan S'dir. S, sıkıştırmanın doğrudan bir ölçüsüdür ve belirli bir kuvvet seviyesi için ısı girişinin dolaylı bir ölçüsüdür (Şekil 2.17).

$$S=(A-B)/A \quad (2.1)$$

Burada; A, ilk tel çapıdır, B, son yüksekliğidir;

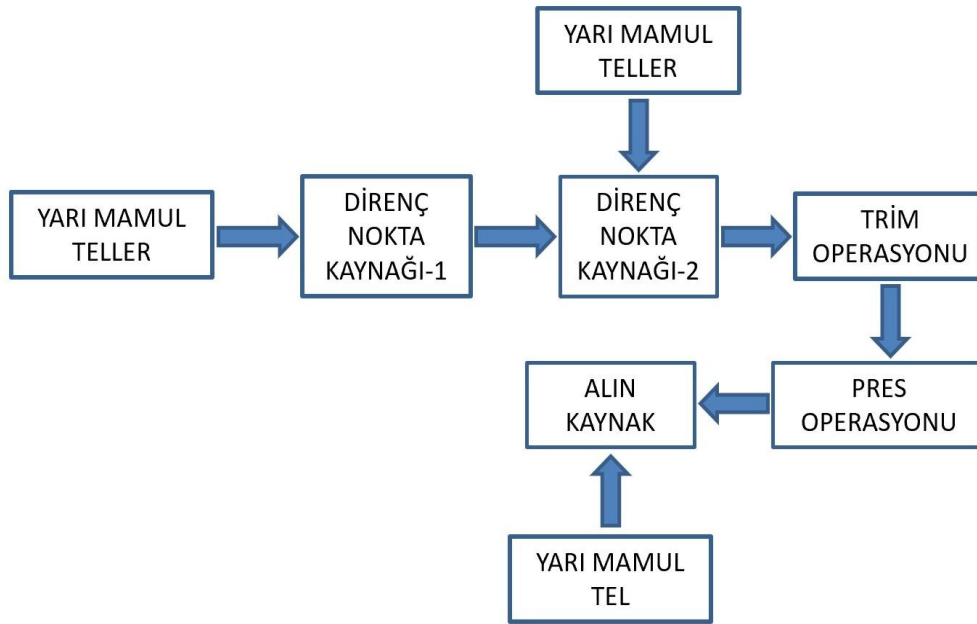


Şekil 2.17. Ayarlamının tanımı için A ve B parametreleri (Nielsen ve Arkadaşları, 2021)

### 2.3.1 Düşük karbonlu çelikten fırın iç ızgara üretimi

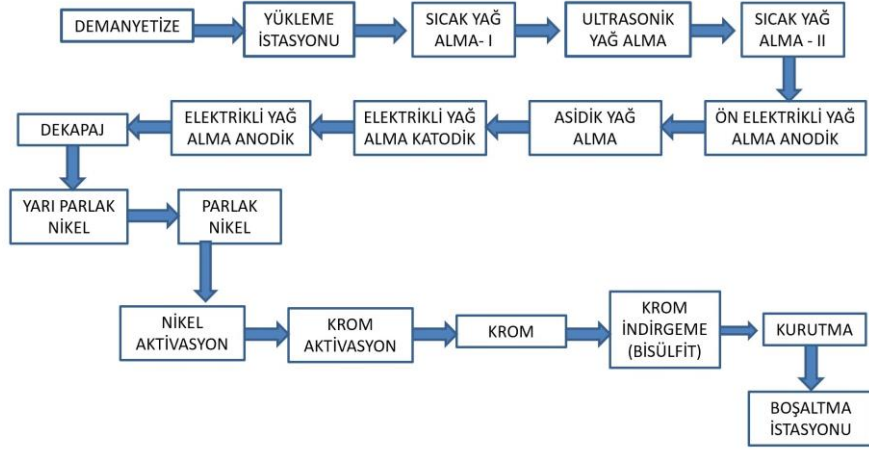
Düşük karbonlu çelikten (SAE 1006) fırın iç ızgara üretimi için ilk proses olarak tel çekme (haddeleme) işlemi ile istenen çaplarda tel üretimi yapılmaktadır. Form verilmesi gereken teller ise pres operasyonunda veya özel form makinalarında işleme tabi tutulurlar. Daha sonra, farklı yapıdaki direnç nokta kaynak makinelerinde teller tek kademeli veya birkaç kademeli kaynak operasyonu ile birleştirilerek ürün haline getirilirler. Son olarak kaynaklanmış ürünler ön hazırlık (demanyatize) ve nikel-krom kaplama hattına girerek prosesini tamamlamış olurlar.

Şekil 2.18’de düşük karbonlu çelikten fırın iç ızgara üretimi için örnek bir ürünün iş akış şeması yer almaktadır. İlk operasyonda yarı mamul teller direnç nokta kaynağı ile birleştirilmektedir (Şekil 2.20a). İkinci proseste, ilave yarı mamul teller ile ikinci direnç nokta kaynağı yapılmaktadır (Şekil 2.20b). Bir sonraki proseste trim (kırpma) operasyonu ile tellerin üründen dışarıda kalan kısımları kırılmaktadır (Şekil 2.20c). 4. proseste ürüne form verebilmek için, ürüne özel tel kalıpları ile pres operasyonuna tabi tutulur (Şekil 2.20d). Son proseste ise ilave yarı mamul tel ilave edilerek alın kaynak operasyonu yapılır ve prosesler tamamlanmış olmaktadır (Şekil 2.20e).

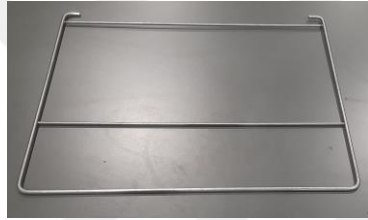


Şekil 2.18. Düşük karbonlu çelik olan örnek bir ürüne ait iş akış şeması

Şekil 2.19’da görüleceği üzere nikel-krom kaplama hattının iş akış şeması yer almaktadır. Demanyatize prosesinde ızgara üretimi sırasında oluşan manyetikliğin <5 Gauss olacak şekilde düşürülmesi sağlanır. Gauss birimi <5 değerine düşürülmediği takdirde ürünün kaplaması kalitesiz olacaktır. Yükleme operasyonunda kaplanacak ızgaraların askılara asılması, ürün koduna göre program seçilmesi yapılır. Ultrasonik Temizleme prosesinde ses dalgaları ile çözelti içerisinde temizlik sağlayacak güç elde edip ızgaranın üretiminden kaynaklanan demir tozu vb. kirliliklerin temizlenmesi sağlanır. Sıcak Yağ Alma prosesinde sıcak alkali ve emülgatör içeren çözelti ile ızgaranın üzerindeki yağ vb. kirliliklerin temizliği yapılır. Ön Elektrikli Yağ Alma (Anodik) operasyonunda Alkali çözeltide ızgaraya (+), anotlara (-) akım vererek yüzeylerden hidroliz ile gaz çıkışı sağlayıp fiziksel temizlik yapılır. Asidik Yağ Alma operasyonunda yüzeyde olan pas, kaynak bölgelerinde oluşan oksitlenme ile birlikte kirliliklerin temizliği sağlanır. Elektrikli Yağ Alma (Anodik) prosesinde Alkali çözeltide ızgaraya (+), anotlara (-) akım vererek yüzeylerden hidroliz ile gaz çıkışı sağlayıp fiziksel temizlik yapılır. Elektrikli Yağ Alma (Katodik) operasyonunda Alkali çözeltide ızgaraya (-), anotlara (+) akım vererek yüzeylerden hidroliz ile gaz çıkışı sağlayıp fiziksel temizlik yapılır. Dekapaj prosesinde Alkali işlemlerden çıkan parçanın Nikel kaplama öncesinde asidik hale getirilmesi sağlanır. Yarı Parlak Nikel operasyonunda ızgaranın parlak nikel kaplamadan önce korozyon direnci için yarı parlak nikel ile kaplanması yapılır. Parlak Nikel, üründeki dekoratif görüntüyü sağlamak amacıyla kaplanır. Krom Aktivasyon, Krom kaplama öncesinde parçanın olası pasiflenmesini gidermek amacıyla uygulanan procestir. Krom Kaplama, Nikel üzerine kaplanarak dekoratif görünüm sağlanır. Bisülfid prosesinde parça üzerinde çözeltiden kaynaklı kalan krom+6’nın indirgenerek krom +3’e dönüşmesi sağlanır. Kurutma prosesinde durulama sularından kalan suların uzaklaştırılması sağlanır. Boşaltma prosesi olan son operasyonda ise askılardan ürünlerin alınması yapılır ve proses tamamlanmış olur (Şekil 2.20f).



**Şekil 2.19.** Düşük karbonlu çelikten üretilen ürünün Nikel-Krom kaplama iş akış şeması



(a)



(b)



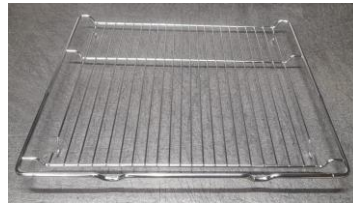
(c)



(d)



(e)



(f)

**Şekil 2.20.** Düşük karbonlu çelik malzemenin ürün aşamasındaki operasyonları

- a) Direnç Punta Kaynağı (1. Operasyon), b) Direnç Punta Kaynağı (2. Operasyon), c) Trim Operasyonu (3. Operasyon), d) Pres Operasyonu (4. Operasyon), e) Alın Kaynak Operasyonu (5. Operasyon), f) Nikel-Krom kaplanarak elde edilen örnek bir fırın iç ızgarası

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada; beyaz eşya sanayide kullanılan Ø6,5 mm'lik ve Ø2,3 mm'lik SAE 1006 kalite düşük karbonlu çelik seçilmiştir. Bu çalışmada kullanılan SAE 1006 düşük karbonlu çeliğin firma kataloğunda belirtilen kimyasal kompozisyonu ve mekanik özellikleri Tablo 3.1'de verilmiştir. Kaynak çalışmalarında kullanılan elektrot malzemelerinin ilgili firmaların (Sağlam metal, Arslan kaynak metal) kataloğunda yer alan spektral analiz değerleri ise Tablo 3.2'de verilmiştir. Söz konusu elektrotların kimyasal kompozisyon, sertlik ve elektrik iletkenliği değerlerinin ölçümü Mefa firması aracılığı ile TSE' de yaptırılmış olup bu çalışmanın sonuna eklenmiştir (Bkz. EK1-6). Analiz sonuçlarının incelemesinden de görüleceği üzere elde edilen sonuçlar firmaların katalog değerleri ile uyumlu çıkmıştır.

**Tablo 3.1.** Deneylede kullanılan SAE 1006 düşük karbonlu çeliğin kimyasal kompozisyonu ve mekanik özellikleri (Ege Çelik Endüstrisi San. Tic. A.Ş. Kalite Belgesi EN 10204 3.1)

Kimyasal kompozisyon (%)						Mekanik Özellikler	
C	Si	Mn	P	S	Cu	YP(MPa)	TS(MPa)
0,05	0,05	0,35	0,01	0,01	0,19	242	353

YP (Akma dayanımı); TS (Çekme dayanımı)

**Tablo 3.2.** Deneylede kullanılan elektrot malzemelerinin spektral analizi (Arslan Kaynak Metal – Le bronze Industriel, <https://www.saglammetal.com/tr/bakir/sert-bakir-alasimlari/cupro-nsh-cuni3si>)

Alaşım Standartı	Kimyasal Kompozisyon (%)	Sertlik (HB)	Elektrik İletkenliği (IACS %)
CuCoBe (CB4) ASTM B441 - B534 - B 870 : C17500	Co 2.3 , Be 0.5 , kalamı Cu	220-266	≥43
CuNi3Si (Cupro NSH) UNS No: C18000	Ni 3 , Si 0.9 , Cr 0.4 , Diğerleri maks 0.2 , kalamı Cu	220-240	40-43

Kaynak çalışmaları 40 kA kapasiteli, 1000 Hz'de çalışan, akım ve zaman kontrollü bir programlanabilir bir mantık denetleyicisi olan direnç punta kaynak makinesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ürünlerin kaynak çalışmasında 20x40x80 mm ebatlarında Arslan Kaynak Metal firmasından temin edilen CuCoBe

(CB4) ve Sağlam Metal firmasından temin edilen  $\text{CuNi}_3\text{Si}$  (Cupro NSH) elektrotlar kullanılmıştır. Kaynak çalışmalarında 480 N sabit elektrot baskı kuvveti kullanılmış ve sırası ile 8, 12 ve 16 ms kaynak zamanları ve 8, 9, 10 ve 12 kA kaynak akımı değerleri kullanılarak farklı kaynak parametreleri denenmiştir.

Kaynak çalışmalarında kullanılan 40 kA kapasiteli, 1000 Hz'de çalışan, akım ve zaman kontrollü direnç punta kaynak makinesinin fotoğrafı, fotoğraf 3.1'de verilmiştir. Tez çalışmasında su soğutmalı punta direnç kaynak makinesi kullanılmıştır.

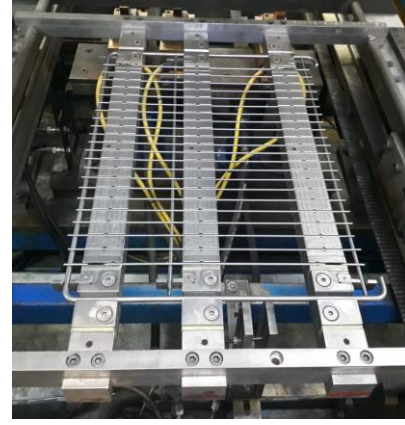


**Fotoğraf 3.1.** Kaynak çalışmalarında kullanılan direnç punta kaynak makinesi

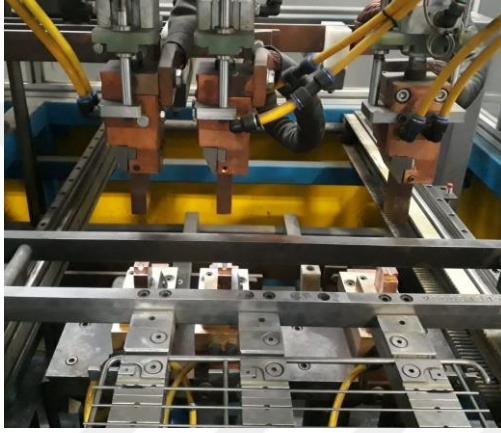
Aşağıdaki şekillerde ise tellerin direnç punta kaynağı ile birleştirilmesinde standartlık sağlanması için tasarlanıp kullanılan hasır kaynak fikstürü (fotoğraf 3.2a), tellerin kaynaktan önce fikstüre dizilmiş şekli (fotoğraf 3.2b), fikstürün kaynak için makinedeki farklı konumları (fotoğraf 3.2c ve fotoğraf 3.2d) ve kaynak operasyonu bittikten sonra fikstürün başladığı konuma gelmesi gösterilmektedir (fotoğraf 3.2e).



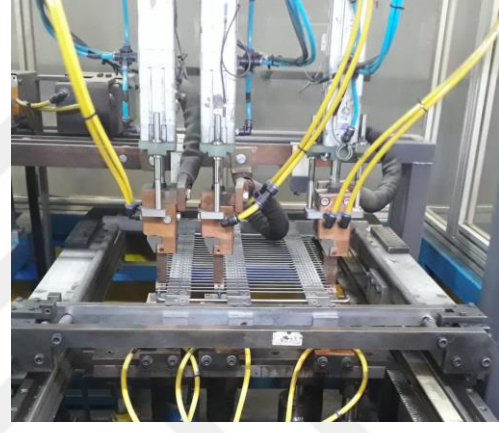
(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

**Fotoğraf 3.2.** Direnç punta kaynağı için tasarlanan fikstür ve fikstürün kaynak prosesinde makedeki farklı konumları a) Hasır kaynak fikstürü b) Tellerin kaynaktan önce fikstüre dizilmiş şekli c) ve d) Fikstürün kaynak operasyonundaki farklı konumları e) Fikstürün kaynak işleminden sonra başlangıç konumu

Fotoğraf 3.3'te ise krom kaplama öncesi direnç punta kaynağı operasyonu tamamlanmış bir fırın iç ızgarası fotoğrafı gösterilmektedir.



**Fotoğraf 3.3.** Direnç nokta kaynağı ile birleştirilmiş bir fırın iç ızgarası

Fotoğraf 3.4'te tellerin direnç punta kaynağı ile birleştirilmesinde kullanılan 2 farklı elektrodun başlangıçta ve belirli bir baskıya ulaştıktan sonraki fotoğrafları yer almaktadır.

Fotoğraf 3.4a'da CuCoBe elektrodun kaynak öncesi fotoğrafı, fotoğraf 3.4b'de ise CuCoBe elektrodunun kaynak işlemi sonrası fotoğrafı gösterilmiştir. Fotoğraf 3.4c'de CuNi<sub>3</sub>Si elektrodunun kaynak öncesi fotoğrafı, fotoğraf 3.4d'de ise CuNi<sub>3</sub>Si elektrodunun kaynak işlemi sonrası fotoğrafı gösterilmiştir.



(a)



(b)



(c)

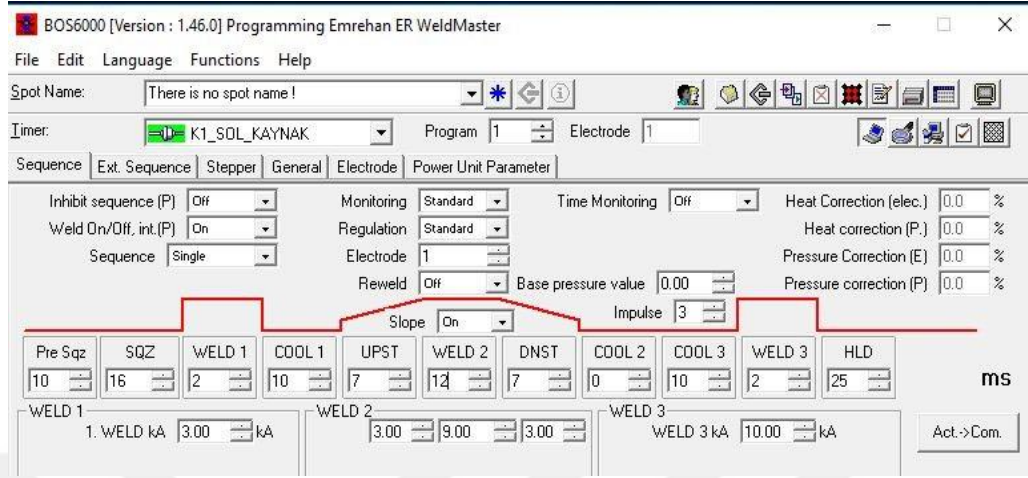


(d)

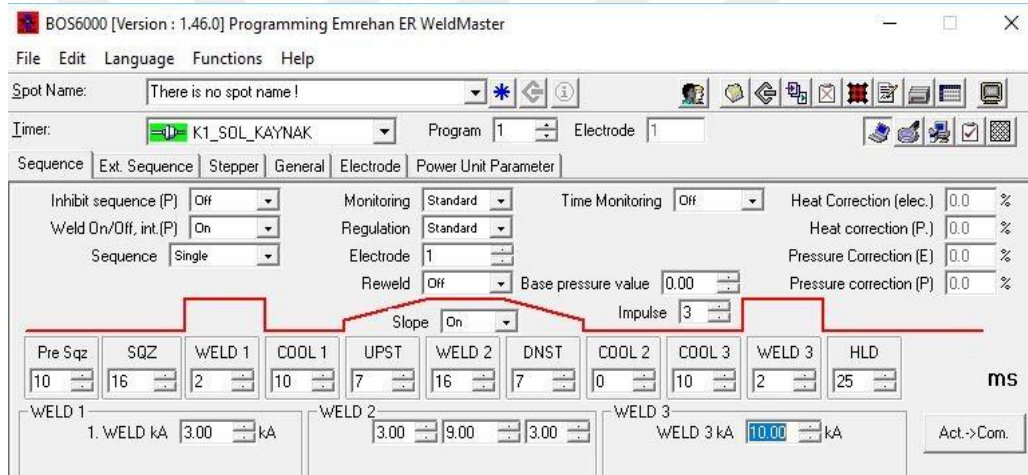
**Fotoğraf 3.4.** a) CuCoBe elektrodunun c) CuNi<sub>3</sub>Si elektrodunun kaynak öncesi, b) CuCoBe elektrodunun d) CuNi<sub>3</sub>Si elektrodunun kaynak sonrası fotoğrafları

Fotoğraf 3.5'te CuCoBe ve CuNi<sub>3</sub>Si elektrotları için ayrı ayrı kullanılmış olan direnç punta kaynak makinesinin parametre ayar sayfaları yer almaktadır. Burada kaynak çalışmalarında kullanılan kaynak parametreleri ve kaynak prosesi tanımlanmaktadır. Bu çalışmada seçilen kaynak akımının CuCoBe elektrodu için 9

KA olduğu, kaynak süresinin ise 12 ms olduğu, CuNi<sub>3</sub>Si elektrodu için ise kaynak akımının 9 kA, kaynak zamanının ise 16 ms olduğu görülmektedir.



(a)



(b)

**Fotoğraf 3.5.** a) CuCoBe b) CuNi<sub>3</sub>Si elektrotları için direnç punta kaynak makinesi parametre ayar sayfası

Metalografik inceleme için numuneler standart metalografi prosedürü kullanılarak hazırlanmış ve numuneler hazırlanan bir solüsyonda (nitrik asit ile) dağlanmıştır. Fotoğraf 3.6'da gösterilen Nikon marka optik mikroskop kullanılarak kaynaklı düşük karbonlu çelik numunelerin kaynak çekirdeği incelenmiştir.



**Fotoğraf 3.6.** Nikon marka optik mikroskop

Fotoğraf 3.7’de, kaynaklı parçaların maksimum çekme dayanımını tespit edebilmek için çekme testlerinin yapıldığı Chatillon marka çekme deney cihazı gösterilmektedir. Bu test cihazı kullanılarak, kaynaklı numunelerin maksimum çekme dayanımları ölçülmüştür.

Fotoğraf 3.8’de ise kaynak yapılmış ve belirli baskı sayılarına ulaştığında elektrotlarda oluşan deformasyon miktarının ölçüldüğü Mitutoyo marka Mihengir görülmektedir.



Fotoğraf 3.7. Chatillon çekme test cihazı



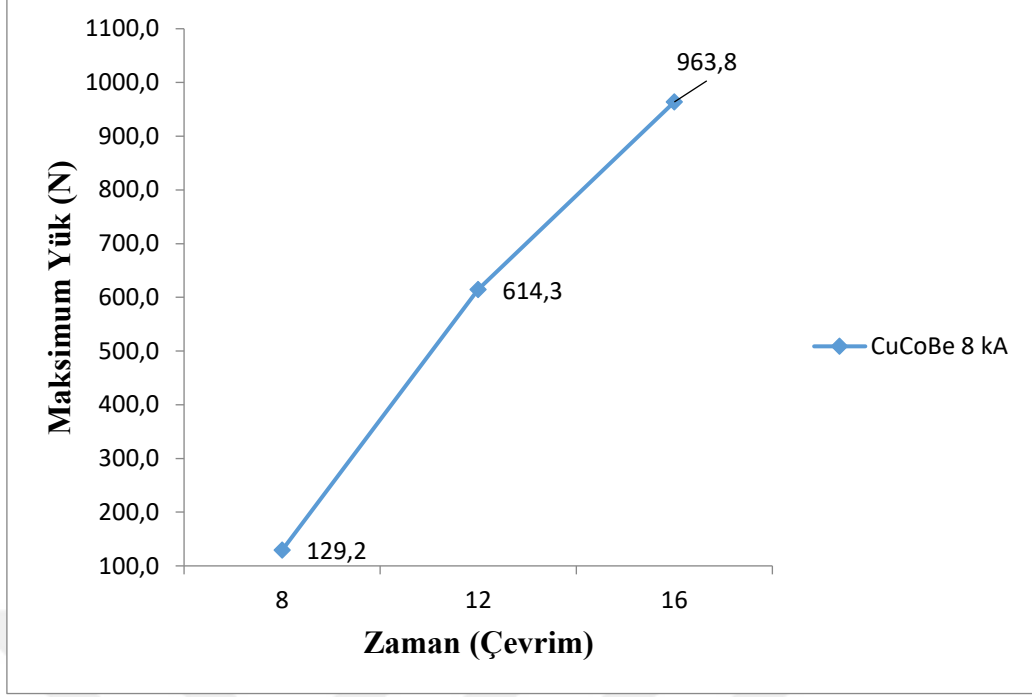
Fotoğraf 3.8. Mitutoyo Mihengir

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

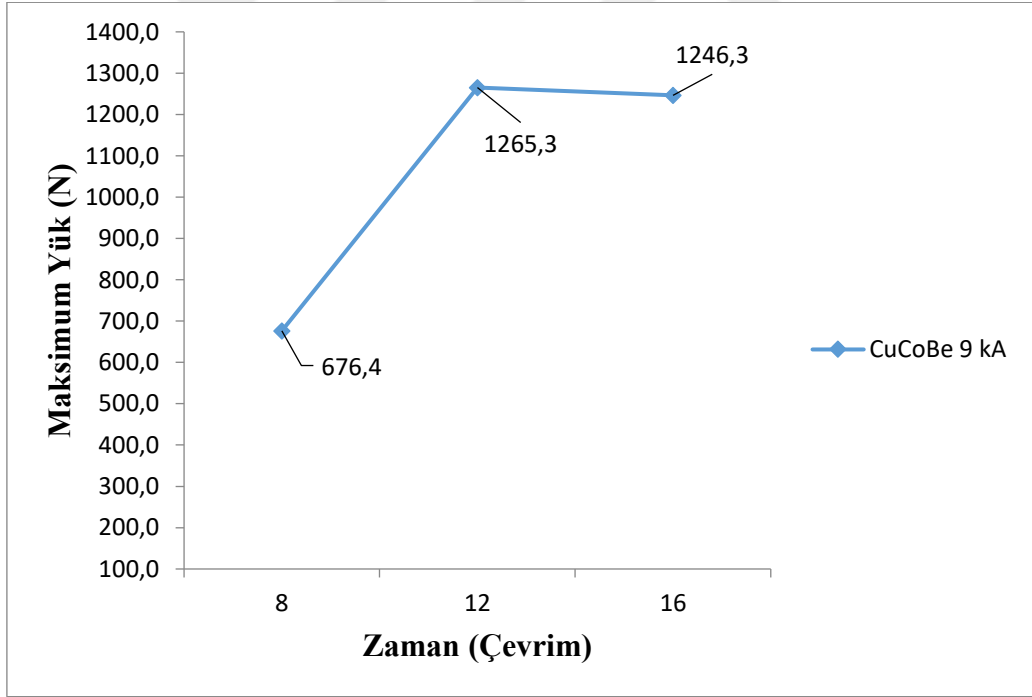
### 4.1 Mekanik Özellikler

Her iki elektrot için farklı kaynak parametreleri denenerek direnç kaynağı ile birleştirilmiş ızgara tellerinin ayrı ayrı maksimum çekme yükleri araştırılmıştır. Bu amaçla sırası ile 8, 9, 10 ve 12 kA kaynak akımı değerleri ve her bir kaynak akımı için de sırası ile 8, 12 ve 16 ms kaynak zamanları kullanılmıştır. Tüm bu kaynak çalışmalarında 480 N elektrot baskı kuvveti ise sabit tutulmuştur. Deneyler sonrasında çizilen grafiklerde dikey eksen maksimum çekme yükünü, yatay eksen ise kaynak zamanlarını göstermektedir.

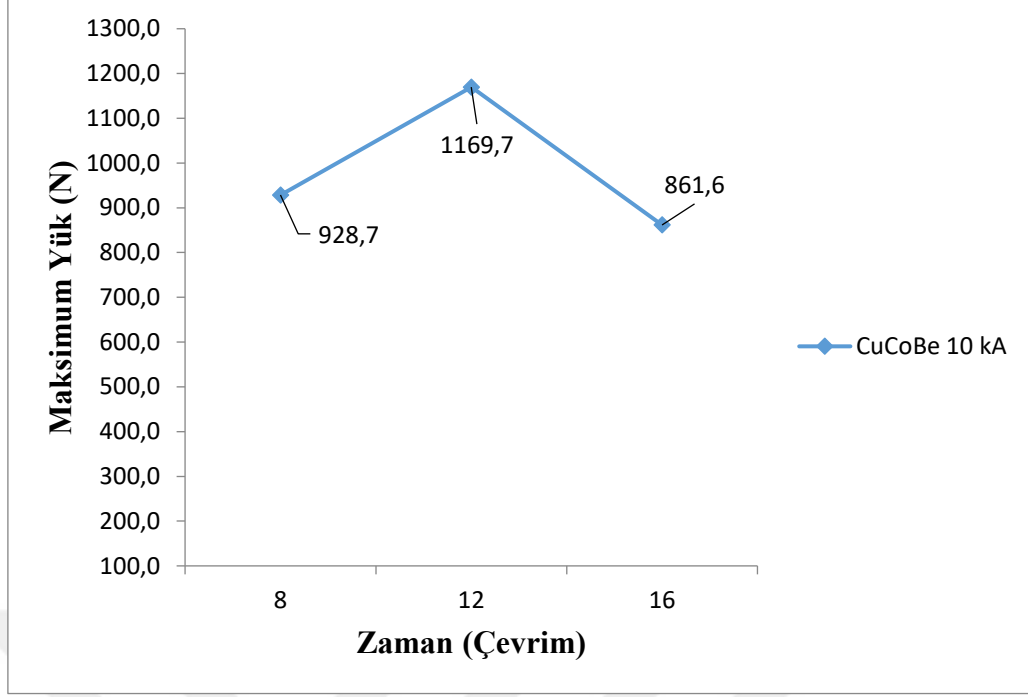
Şekil 4.1'deki grafiklerin incelenmesinden de görüleceği üzere CuCoBe elektrot ve 8 kA kaynak akımı değeri kullanılarak kaynak yapılmış parçaların çekme deneylerinde maksimum çekme yükü değeri (963,8N) 16 ms kaynak süresinde elde edilmiştir (Şekil 4.1a). Ancak 9 kA akım çevriminde yapılan çekme deneylerinde maksimum çekme yükü değeri (1265,3N) 12 ms kaynak süresinde elde edilmiştir. 16 ms kaynak süresi sonunda ise kaynak dayanımının bir miktar azaldığı Şekil 4.1b' de izlenmektedir. 10 kA akım çevriminde yapılan çekme deneylerinde maksimum çekme yükü değeri (1169,7N) 9 kA'deki duruma benzer şekilde 12 ms kaynak süresinde elde edilmiş ve 16 ms kaynak süresi sonunda ise kaynak dayanımının belirli bir miktar azaldığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.1c). Son olarak CuCoBe elektrot ile 12 kA kaynak akımında yapılan çekme deneylerinde maksimum çekme yükü (942,8N) 12 ms kaynak süresi sonrasında elde edilmiş olup, 16 ms kaynak süresi sonunda bir miktar azaldığı şekil 4.1d'de izlenmektedir.



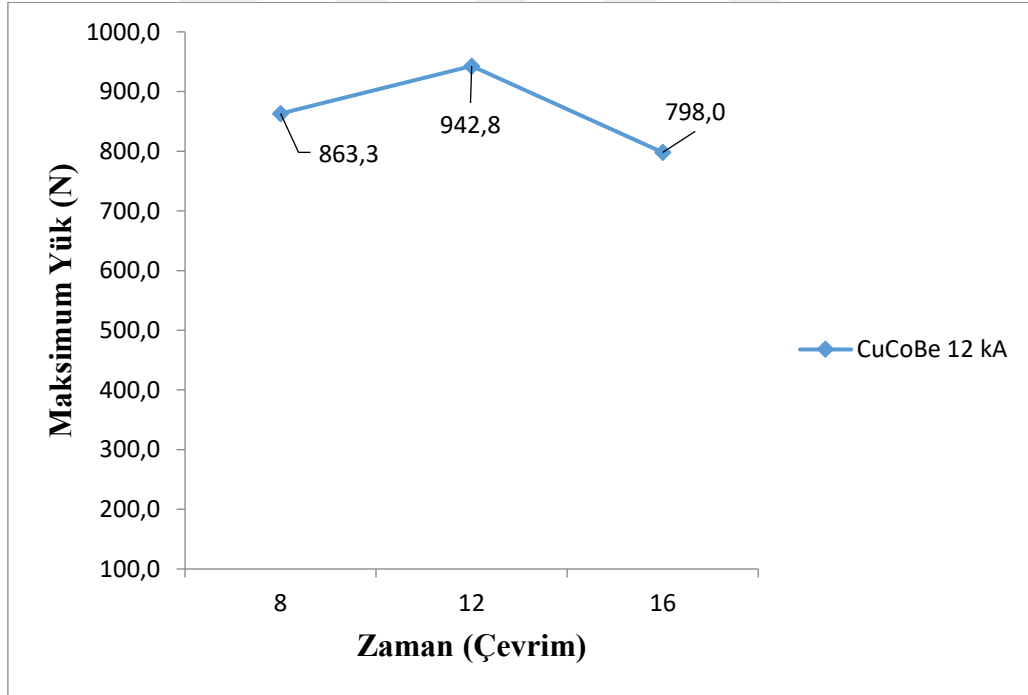
(a)



(b)



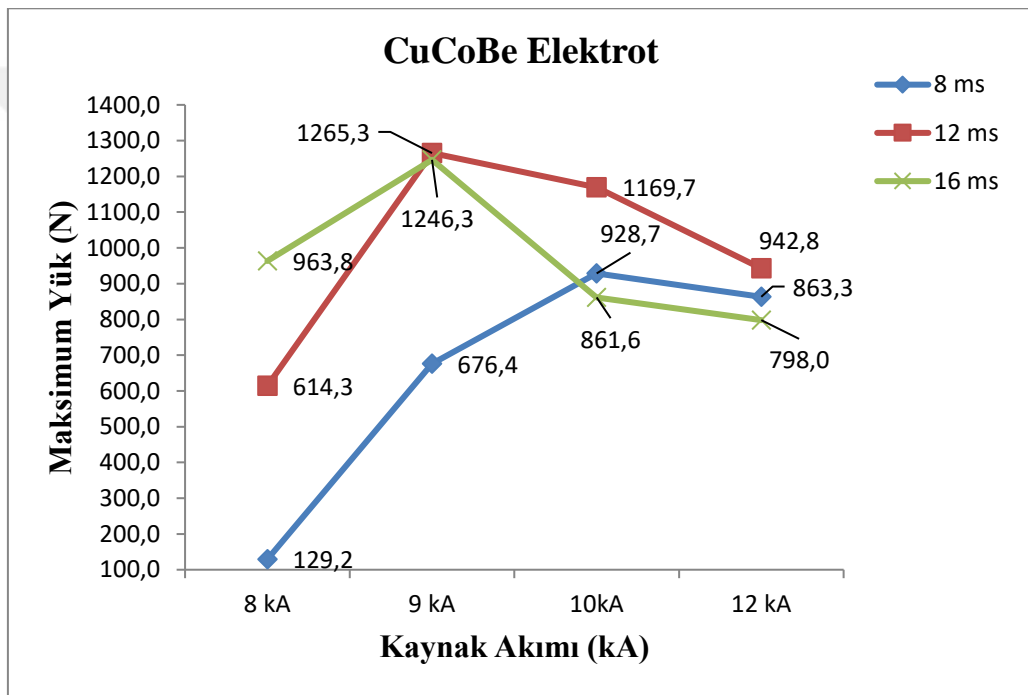
(c)



(d)

**Şekil 4.1.** CuCoBe elektrotlar, farklı kaynak akımları kullanılarak kaynaklanmış numunelerin çekme dayanımı üzerine kaynak zamanının etkisi;  
a) 8kA, b) 9kA, c) 10kA, d) 12kA

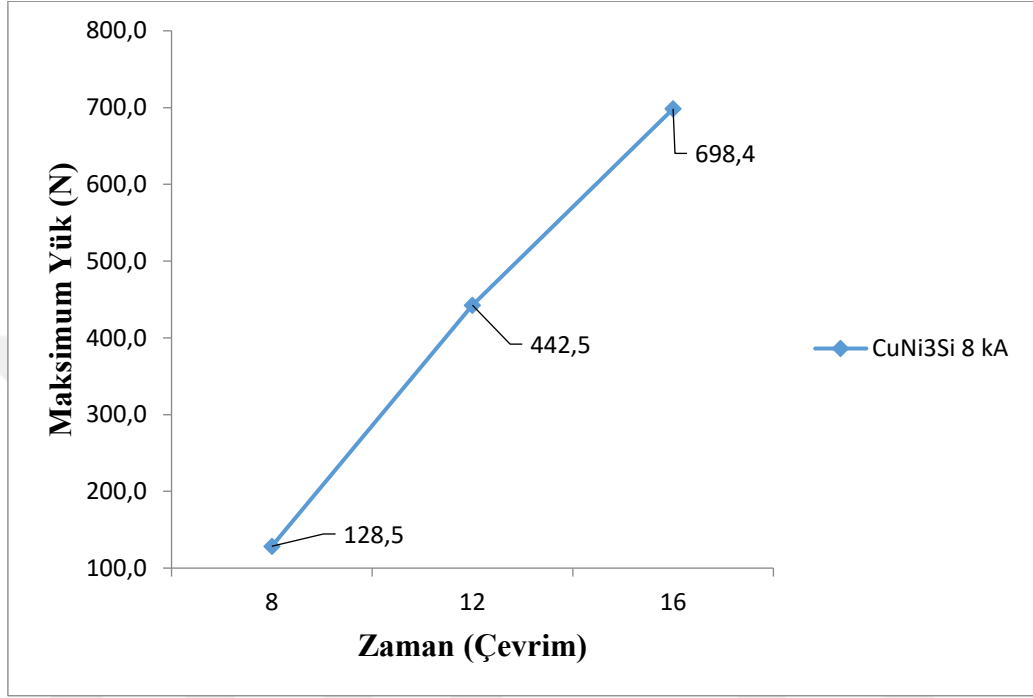
Şekil 4.2’de CuCoBe elektrot kullanılarak ve farklı kaynak parametreleri ile yapılan direnç nokta kaynağı çalışmalarında elde edilen maksimum çekme yükü değerleri gösterilmiştir. Kaynak süresi değerleri sabit tutularak yapılmış olan kaynaklanmış parçaların çekme dayanımı üzerine kaynak akımı değerlerinin etkisi görülmektedir. Grafiklerde açıkça görüldüğü gibi 8 kA kaynak akımı değerinin tüm kaynak akımı değerlerinde yapılan denemelerde yetersiz kaldığı ve kaynak dayanımını düşürdüğü görülmektedir. 8 ve 12 ms kaynak zamanının kullanıldığı çalışmalarda, maksimum kaynak dayanımı için kaynak akımı değerinin 9 kA olması gerektiği açık olarak görülmektedir.



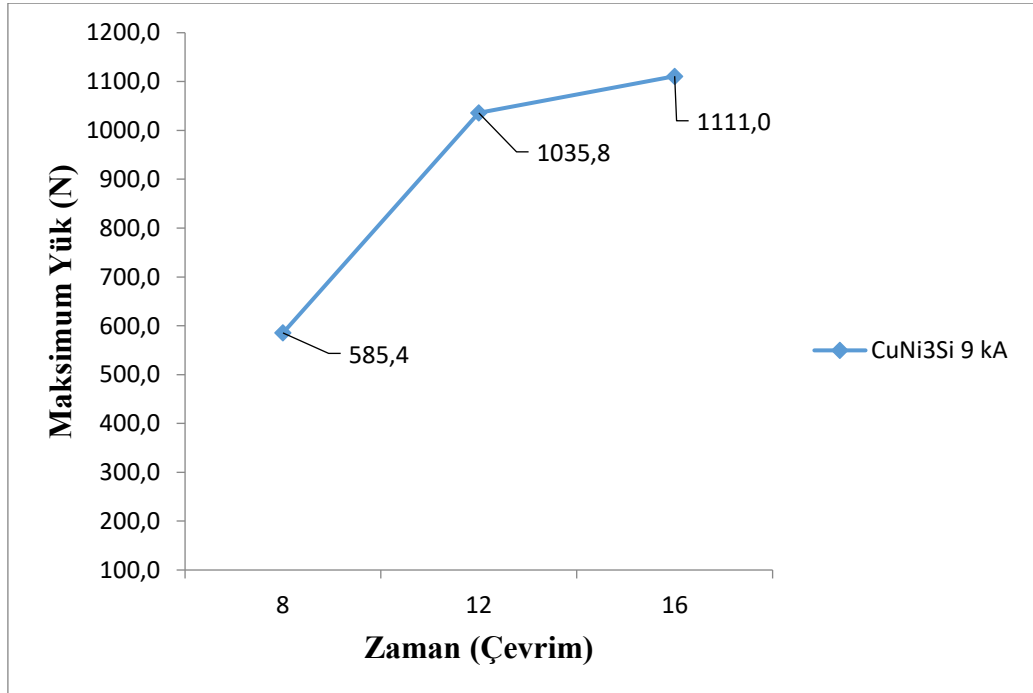
**Şekil 4.2.** CuCoBe elektrotlar ve farklı kaynak süreleri kullanılarak kaynaklanmış numunelerin çekme dayanımı üzerine kaynak akımının etkisi

Şekil 4.3’teki grafiklerin incelenmesinden de görüleceği üzere CuNi<sub>3</sub>Si elektrot ve 8 kA kaynak akımı değeri kullanılarak kaynak yapılmış parçaların çekme deneylerinde maksimum çekme yükü değeri (698,4 N) 16 ms kaynak süresinde elde edilmiştir (Şekil 4.3a). 9 kA akım çevriminde yapılan çekme deneylerinde de maksimum çekme yükü değeri (1111,0N) benzer şekilde 16 ms kaynak süresinde elde edilmiştir (Şekil 4.3b). Ancak CuNi<sub>3</sub>Si elektrot ile 10 kA akım çevriminde yapılan çekme deneylerinde ise maksimum çekme yükü değeri (983,6N) 12 ms kaynak süresinde elde edilmiştir. 16 ms kaynak süresi sonunda ise

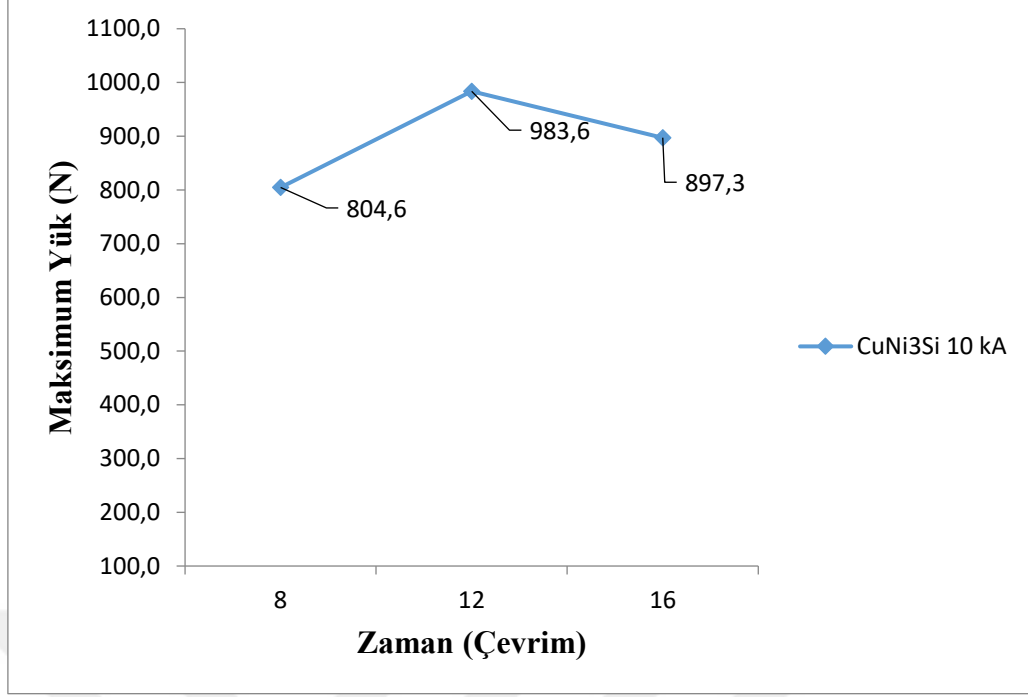
kaynak dayanımının belirli bir miktar azaldığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.3c). Son olarak 12 kA kaynak akımında yapılan çekme deneylerinde maksimum çekme yükü (823,0N) 8 ms kaynak süresi sonrasında elde edilmiş olup, 12 ve 16 ms kaynak süresince azaldığı şekil 4.3d’de izlenmektedir.



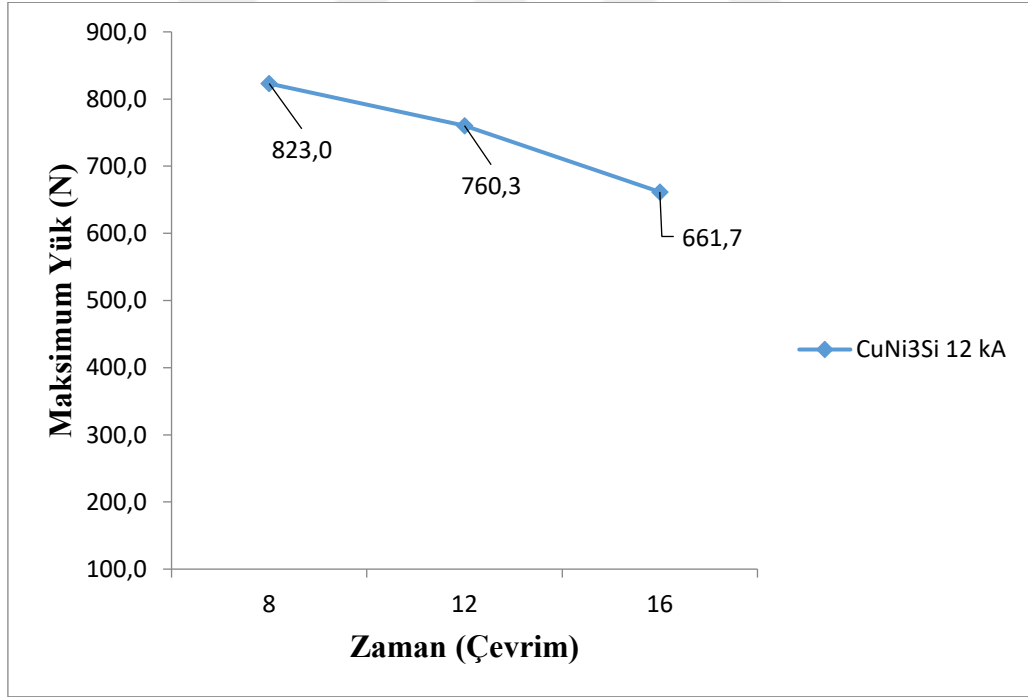
(a)



(b)



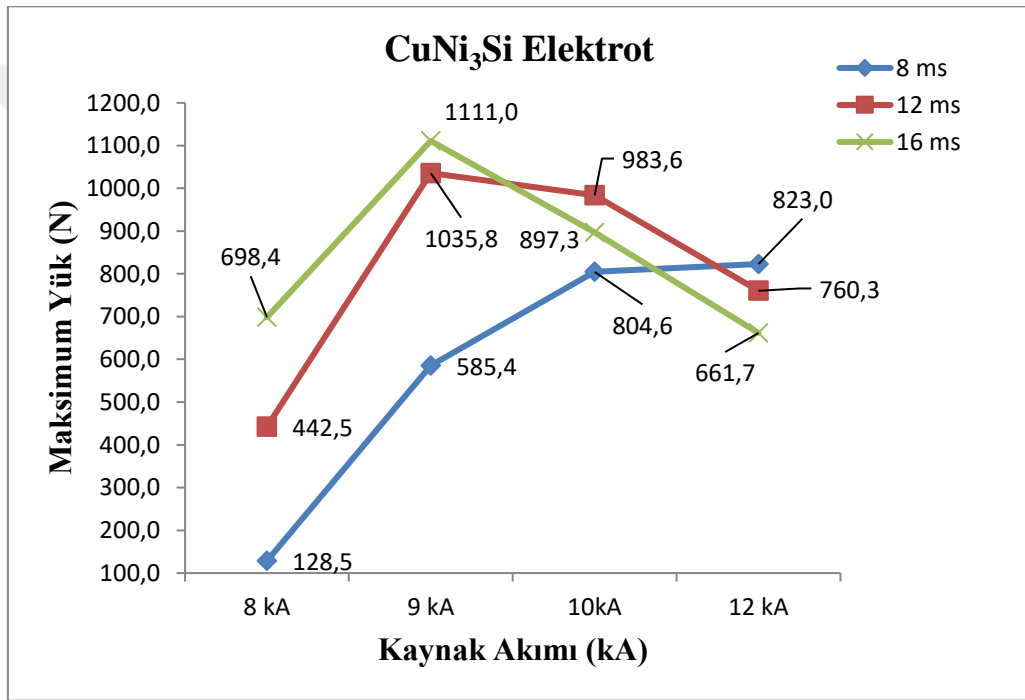
(c)



(d)

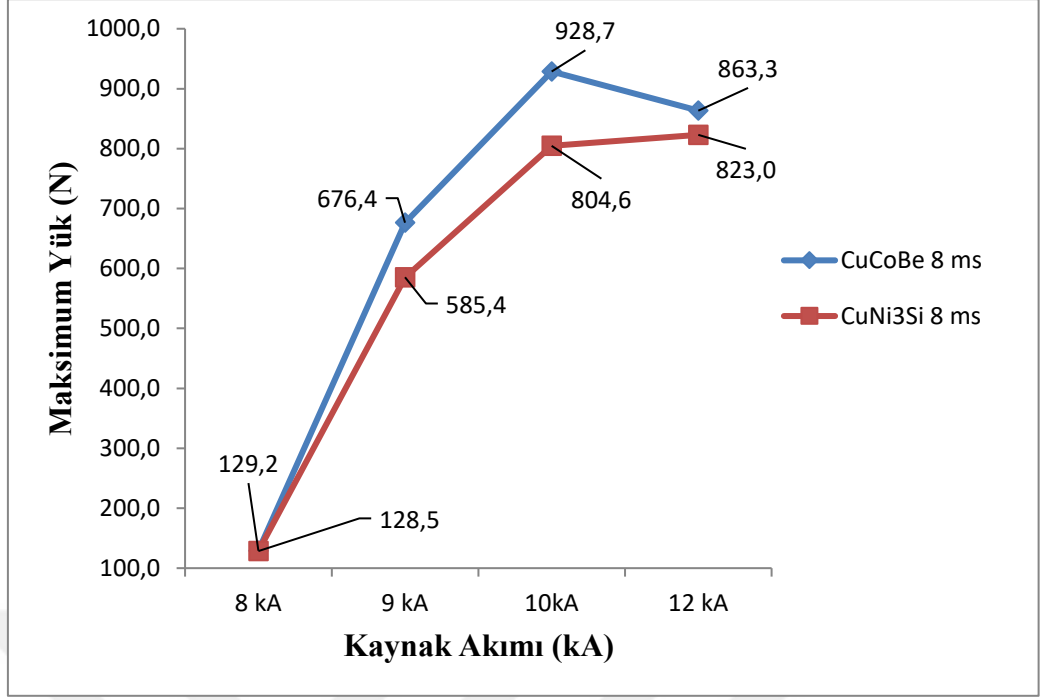
**Şekil 4.3.** CuNi<sub>3</sub>Si elektrotlar, farklı kaynak akımları kullanılarak kaynaklanmış numunelerin çekme dayanımı üzerine kaynak zamanının etkisi; a) 8kA, b) 9kA, c) 10kA, d) 12kA

Şekil 4.4'te CuNi<sub>3</sub>Si (bakır-nikel-silisyum) elektrot kullanılarak ve farklı kaynak parametreleri ile yapılan direnç nokta kaynağı çalışmalarında elde edilen maksimum çekme yükü değerleri gösterilmiştir. Kaynak süresi değerleri sabit tutularak yapılmış olan kaynaklanmış parçaların çekme dayanımı üzerine kaynak akımı değerlerinin etkisi görülmektedir. Grafiklerde açık olarak görüldüğü gibi 8kA kaynak akımı değerinin CuCoBe elektrotlarla yapılan kaynak çalışmalarına benzer şekilde yetersiz kaldığı ve kaynaklı parçaların çekme dayanımını düşürdüğü görülmektedir. Tüm denemelerde maksimum kaynak dayanımı için 9 kA kaynak akımı değerinin kullanılması gerektiği açık olarak görülmektedir.



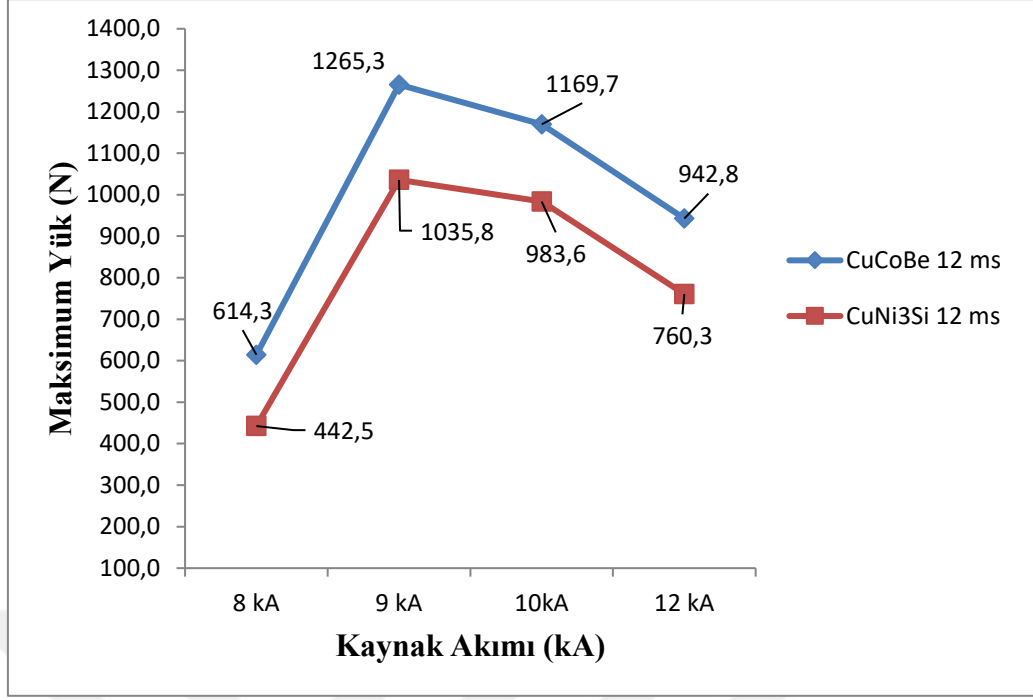
**Şekil 4.4.** CuNi<sub>3</sub>Si elektrotlar ve farklı kaynak süreleri kullanılarak kaynaklanmış numunelerin çekme dayanımı üzerine kaynak akımının etkisi

Şekil 4.5'te; 8 ms kaynak zamanı sabit tutularak kaynak akımlarına göre CuCoBe ve CuNi<sub>3</sub>Si elektrotları ile kaynağı yapılmış numunelerin maksimum kopma yükü değerleri karşılaştırılmalı olarak tek bir grafik üzerinde gösterilmiştir. Grafikler 8 ms kaynak zamanında; CuCoBe elektrodu için en iyi çekme dayanımını veren kaynak akımı değerinin 10 kA olması gerektiğini, CuNi<sub>3</sub>Si elektrodu için ise en iyi çekme dayanımını veren kaynak akımı değerinin 12 kA olması gerektiğini göstermektedir. Burada maksimum çekme yükü değeri 928,7N CuCoBe elektrotlar ile yapılan kaynaklı parçalarda elde edilmiştir.



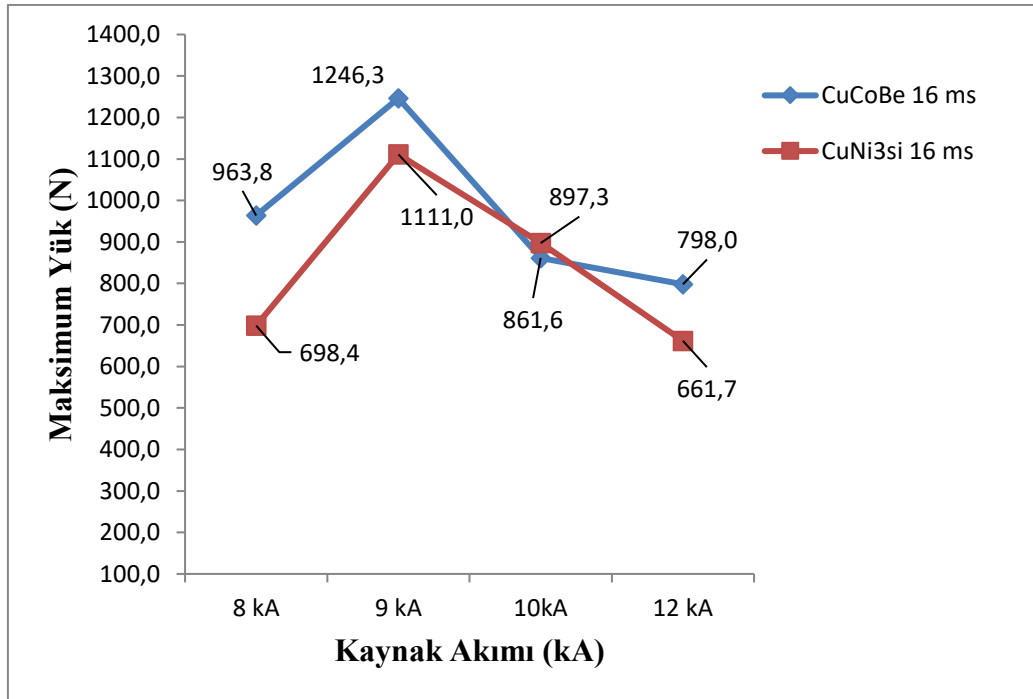
**Şekil 4.5.** 8 ms kaynak zamanı ve farklı elektrotlar ve kaynak akımları kullanılarak kaynaklanmış numunelerin maksimum yük grafiği

Şekil 4.6'da ise 12 ms kaynak zamanı sabit tutularak yapılan deneylerde; her iki elektrot ile de yapılan kaynak çalışmalarında 8 kA'den 9 kA'e geçerken çekme dayanımları yükselmiş, daha sonra kaynak akımını 10 ve 12 kA'e artırdığımızda kaynak çekme dayanımlarında bariz bir şekilde düşüş yaşanmıştır. Bu durum 16 ms kaynak zamanı sabit tutularak yapılan deneylerde de açık olarak görülebilmektedir (Şekil 4.7).



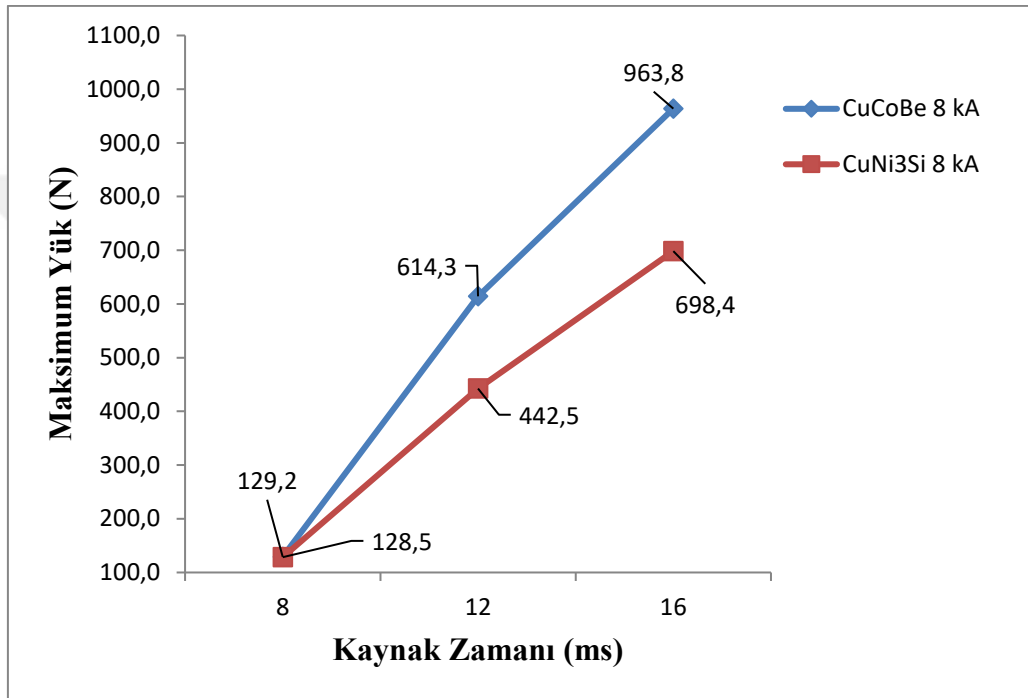
**Şekil 4.6.** 12 ms kaynak zamanı ve farklı elektrotlar ve kaynak akımları kullanılarak kaynaklanmış numunelerin maksimum yük grafiği

Şekil 4.7’de farklı elektrot ve akımlar kullanılarak 16 ms kaynak zamanındaki maksimum yük grafiği verilmiştir.



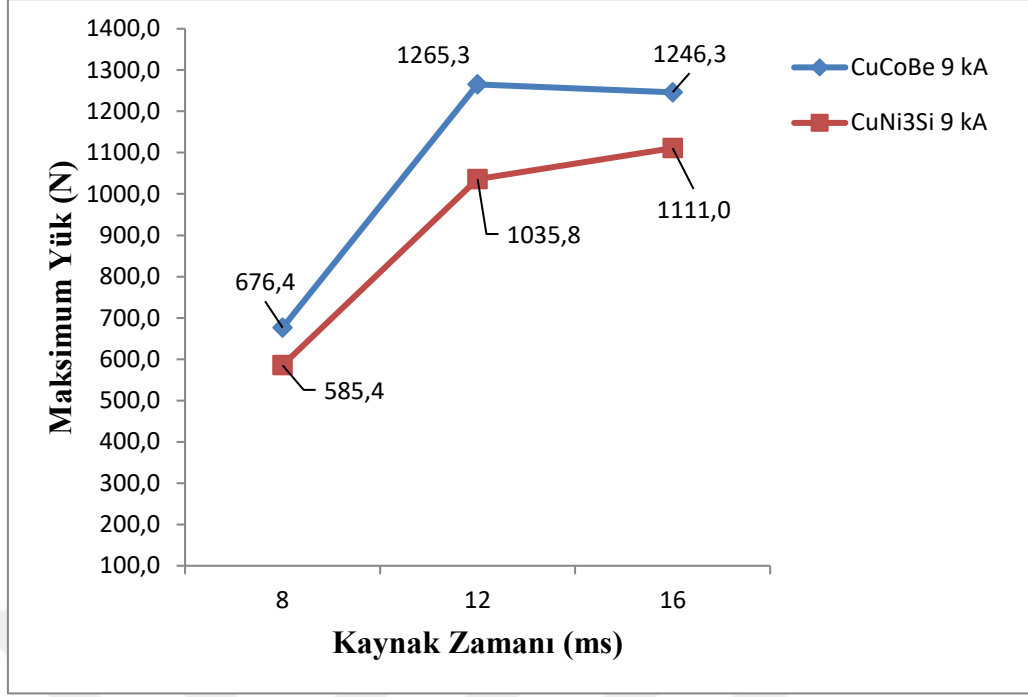
**Şekil 4.7.** 16 ms kaynak zamanı ve farklı elektrotlar ve kaynak akımları kullanılarak kaynaklanmış numunelerin maksimum yük grafiği

Şekil 4.8’de 8 kA kaynak akımı sabit tutularak kaynak zamanlarına göre CuCoBe ve CuNi<sub>3</sub>Si elektrotları ile kaynaklanmış numunelerin maksimum kopma yükü değerleri karşılaştırmalı olarak tek bir grafikte gösterilmiştir. Grafik 8 kA kaynak akımında; her iki elektrot için de en iyi çekme dayanımını veren kaynak zamanı değerinin 16 ms olması gerektiğini göstermektedir. Bu şartlarda, maksimum çekme yükü değeri (963,8N) CuCoBe elektrotlar ile yapılan kaynaklı parçalarda elde edilmiştir.



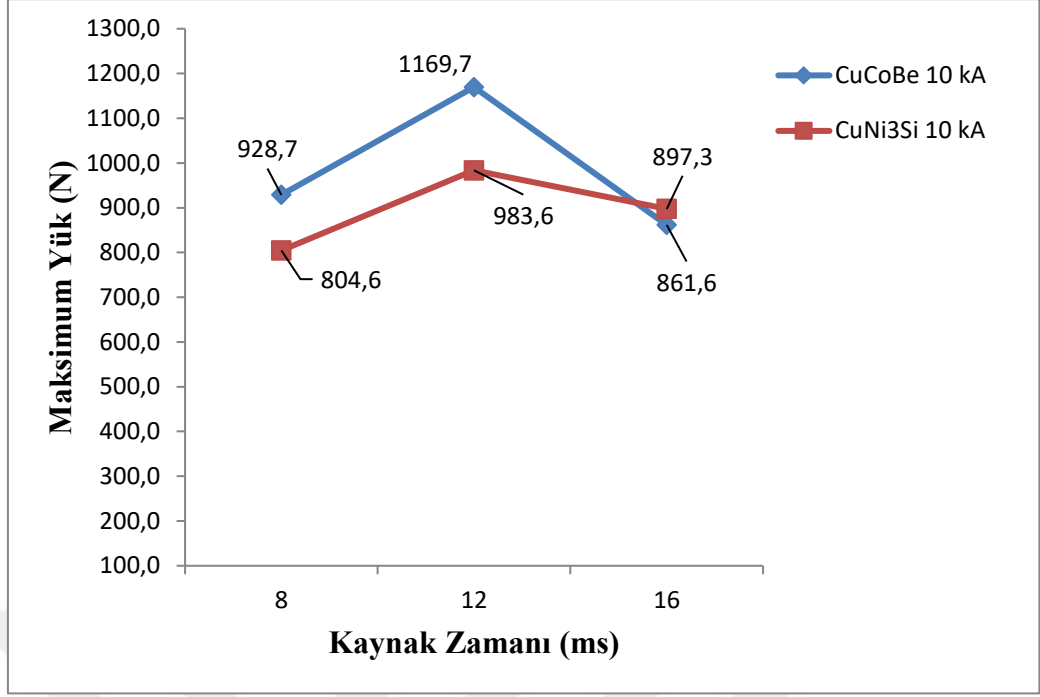
**Şekil 4.8.** Farklı elektrotlar ve kaynak zamanları kullanılarak kaynaklanmış numunelerin 8 kA akımdaki maksimum yük grafiği

Şekil 4.9’da 9 kA kaynak akımı sabit tutularak yapılan deneyler tek bir grafik üzerinde gösterilmiştir. CuCoBe elektrodu ile yapılan kaynak çalışmalarında 8 ms’den 12 ms’ye kadar kaynak dayanımının arttığı, 12 ms’den 16 ms’ye kadar ise kaynak dayanımında bir miktar düşüş yaşandığı gözlemlenmiştir. CuNi<sub>3</sub>Si elektrodu ile yapılan kaynak çalışmalarında ise kaynak zamanı arttıkça kaynak dayanımının arttığı izlenmiştir. Burada maksimum çekme yükü değeri (1265,3N) CuCoBe elektrotlar ile yapılan kaynaklı parçalarda 12 ms kaynak zamanı sonucunda elde edilmiştir.



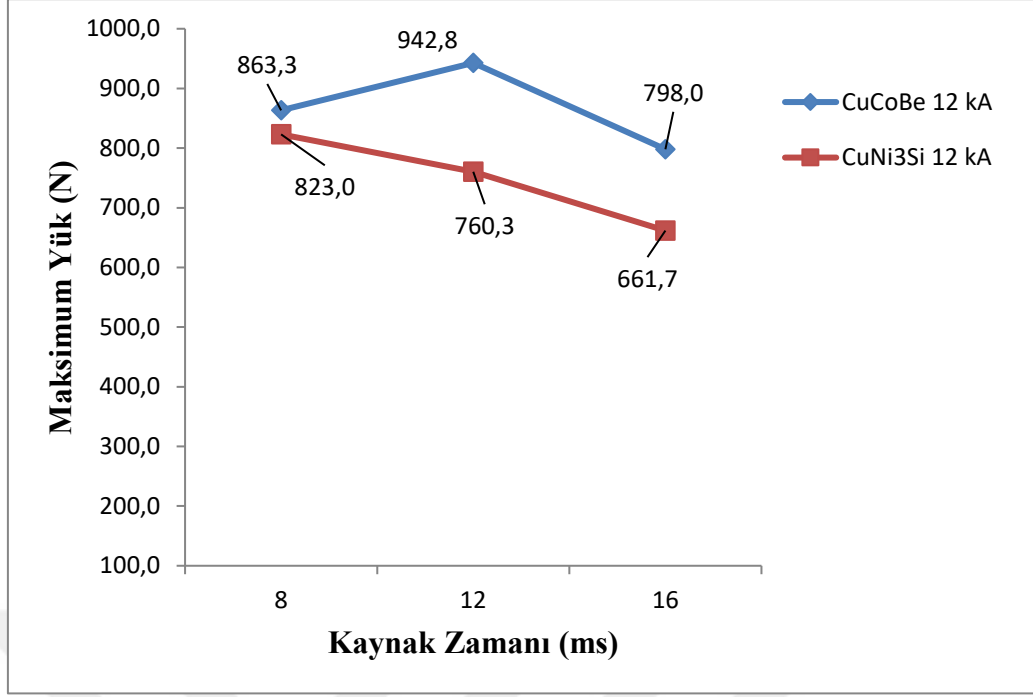
**Şekil 4.9.** Farklı elektrotlar ve kaynak zamanları kullanılarak kaynaklanmış numunelerin 9 kA akımdaki maksimum yük grafiği

Şekil 4.10’da 10 kA kaynak akımı sabit tutularak yapılan deneylerde, her iki elektrot içinde kaynak dayanımında 8 ms’den 12 ms’ye kadar artış yaşandığı daha sonra ise farklı oranda düşüş yaşanmaya başladığı gözlemlenmiştir. Burada maksimum çekme yükü değeri (1169,7N) CuCoBe elektrotlar ile yapılan kaynaklı parçalarda 12 ms kaynak çevrimi sonucunda elde edilmiştir.



**Şekil 4.10.** Farklı elektrotlar ve kaynak zamanları kullanılarak kaynaklanmış numunelerin 10 kA akımdaki maksimum yük grafiği

Şekil 4.11’de ise 12 kA kaynak akımı sabit tutularak yapılan deneylerde CuCoBe elektrodu ile yapılan kaynak çalışmalarında 8 ms’den 12 ms’ye kadar kaynak dayanımının arttığı, 12 ms’den 16 ms’ye kadar ise kaynak dayanımında bir miktar düşüş yaşandığı gözlemlenmiştir. CuNi<sub>3</sub>Si elektrodu ile yapılan kaynak çalışmalarında ise kaynak zamanı arttıkça kaynak dayanımının azaldığı izlenmiştir. Burada, CuCoBe elektrotlar ile yapılan deneylerde; maksimum çekme yükü değeri (942,8N) ile 12 ms kaynak zaman çevriminde, CuNi<sub>3</sub>Si elektrotlar ile yapılan deneylerde ise maksimum çekme yükü değeri (823,0N) ile 8 ms kaynak zaman çevrimi sonucunda elde edilmiştir.



**Şekil 4.11.** Farklı elektrotlar ve kaynak zamanları kullanılarak kaynaklanmış numunelerin 12 kA akımdaki maksimum yük grafiği

Fotoğraf 4.1’de CuCoBe elektrodunun 8 kA ve 8 ms, 9 kA ve 12 ms ve 12 kA ve 16 ms kaynak parametreleri ile yapılan kaynağın, Nikon marka optik mikroskopta 50 büyütmedeki kaynak çekirdeği görüntüleri yer almaktadır. Görüntülerden anlaşılacağı üzere 8 kA ve 8 ms kaynak parametrelerinde tam anlamı ile bir kaynak çekirdeği oluşmamıştır. Chatillon çekme test cihazı ile ürünün çekme dayanımı kontrol edildiğinde şekil 4.5’te de görüleceği üzere 129,2 N değerinde kaldığı görülüyor. 9 kA ve 12 ms kaynak parametrelerinde görüntüden anlaşılacağı üzere tam anlamı ile belirgin bir kaynak çekirdeği oluştuğu görülmektedir. Fotorafta kaynak çekirdeğinin etrafında görülen izler ise numunenin iç yapısını incelemek üzere kesme işlemi yapılırken ortaya çıkan izlerdir. Chatillon çekme test cihazı ile ürünün çekme dayanımı kontrol edildiğinde şekil 4.9’da görüleceği üzere 1265,3 N değerinde olduğu görülüyor. Müşteri taleplerinin kaynaklı ızgara çekme dayanımı için en az 750 N olduğu göz önüne alındığında söz konusu çekme dayanımı değerleri ihtiyacı rahatlıkla karşılayabilmektedir. 12 kA ve 16 ms kaynak parametrelerinde ise görüntülerden anlaşılacağı üzere tam anlamı ile bir kaynak çekirdeği oluşmadığı ve kaynak çevresinde fişkırmalar meydana geldiği anlaşılmaktadır. Chatillon çekme test cihazı ile ürünün çekme dayanımı kontrol

edildiğinde şekil 4.11’de de görüleceği üzere 798 N değerinde değerinde kaldığı görülüyor.



(a)

(b)

(c)

**Fotoğraf 4.1.** CuCoBe elektrodu kullanılarak a) 8 kA ve 8 ms b) 9 kA ve 12 ms c) 12 kA ve 16 ms kaynak parametreleri ile yapılan kaynağın 50 büyütmedeki kaynak çekirdeği fotoğrafı

Fotoğraf 4.2’de CuCoBe elektrodunun 8 kA ve 8 ms, 9 kA ve 12 ms ve 12 kA ve 16 ms kaynak parametreleri ile yapılan kaynağın, kaynaklı ürün fotoğrafları yer almaktadır. Görüntülerden de görüleceği üzere 8 kA ve 8 ms kaynak parametrelerinde çok fazla nüfuziyet olmadığı, 12 kA ve 16 ms kaynak parametrelerinde ise kaynak çekirdeğinde fışkırma meydana geldiği belirgin bir şekilde görülmektedir.



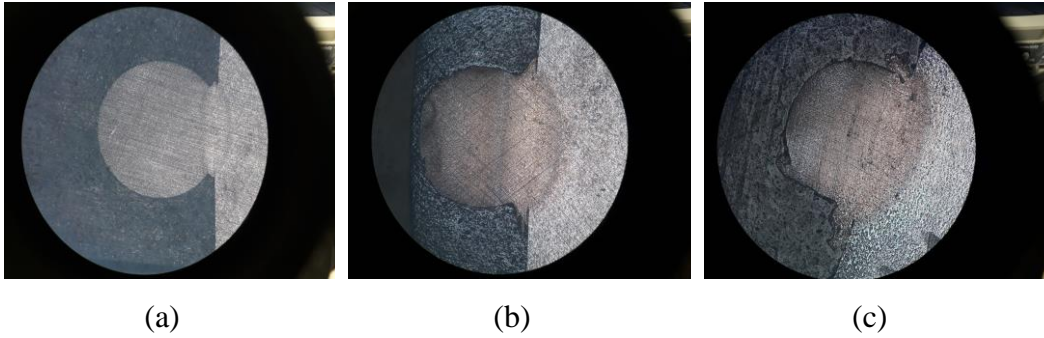
(a)

(b)

(c)

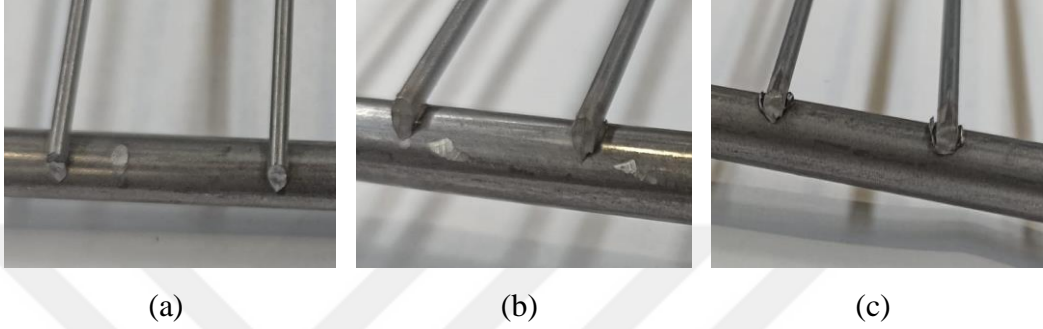
**Fotoğraf 4.2.** CuCoBe elektrodu kullanılarak a) 8 kA ve 8 ms b) 9 kA ve 12 ms c) 12 kA ve 16 ms kaynak parametreleri ile yapılan kaynağın kaynaklı ürün fotoğrafı

Fotoğraf 4.3'te  $\text{CuNi}_3\text{Si}$  elektrodunun 8 kA ve 8 ms, 9 kA ve 16 ms ve 12 kA ve 16 ms kaynak parametreleri ile yapılan kaynağın, Nikon marka optik mikroskopta 50 büyütmedeki kaynak çekirdeği görüntüleri yer almaktadır. Görüntülerden anlaşılacağı üzere 8 kA ve 8 ms kaynak parametrelerinde tam anlamı ile bir kaynak çekirdeği oluşmamıştır. Chatillon çekme test cihazı ile ürünün çekme dayanımı kontrol edildiğinde şekil 4.5'te de görüleceği üzere 128,5 N değerinde kaldığı görülüyor. 9 kA ve 16 ms kaynak parametrelerinde görüntüden anlaşılacağı üzere tam anlamı ile belirgin bir kaynak çekirdeği oluştuğu görülmektedir. Fotoğrafta kaynak çekirdeğinin etrafında görülen izler ise numunenin iç yapısını incelemek üzere kesme işlemi yapılırken ortaya çıkan izlerdir. Chatillon çekme test cihazı ile ürünün çekme dayanımı kontrol edildiğinde şekil 4.9'da görüleceği üzere 1111,0 N değerinde olduğu görülüyor. Müşteri taleplerinin kaynaklı ızgara çekme dayanımı için en az 750 N olduğu göz önüne alındığında söz konusu çekme dayanımı değerleri ihtiyacı rahatlıkla karşılayabilmektedir. 12 kA ve 16 ms kaynak parametrelerinde ise görüntülerden anlaşılacağı üzere tam anlamı ile bir kaynak çekirdeği oluşmadığı ve kaynak çevresinde fişkırmalar meydana geldiği anlaşılmaktadır. Chatillon çekme test cihazı ile ürünün çekme dayanımı kontrol edildiğinde şekil 4.11'de de görüleceği üzere 661,7 N değerinde değerinde kaldığı görülüyor.



**Fotoğraf 4.3.**  $\text{CuNi}_3\text{Si}$  elektrodu kullanılarak a) 8 kA ve 8 ms b) 9 kA ve 16 ms c) 12 kA ve 16 ms kaynak parametreleri ile yapılan kaynağın 50 büyütmedeki kaynak çekirdeği fotoğrafı

Fotoğraf 4.4'te  $\text{CuNi}_3\text{Si}$  elektrodunun 8 kA ve 8 ms, 9 kA ve 12 ms ve 12 kA ve 16 ms kaynak parametreleri ile yapılan kaynağın, kaynaklı ürün fotoğrafları yer almaktadır. Görüntülerden de görüleceği üzere 8 kA ve 8 ms kaynak parametrelerinde çok fazla nüfuziyet olmadığı, 12 kA ve 16 ms kaynak parametrelerinde ise kaynak çekirdeğinde fışkırma meydana geldiği belirgin bir şekilde görülmektedir.



**Fotoğraf 4.4.**  $\text{CuNi}_3\text{Si}$  elektrodu kullanılarak a) 8 kA ve 8 ms b) 9 kA ve 12 ms c) 12 kA ve 16 ms kaynak parametreleri ile yapılan kaynağın kaynaklı ürün fotoğrafı

Formül 2.1'e göre kaynakların sıkıştırma değerlerine bakıldığında ise;

Ürünlerin kaynak nüfuziyeti, aynı veya yakın parametrelerde CuCoBe elektrodu ve CuNi<sub>3</sub>Si elektrodunda 0,05 değerlerinde yakın çıkmıştır.

Çalışmamızda;

A=2,3 mm, B değeri parametrelere göre farklılık göstermektedir.

- Kaynak akımı: 8 kA, Kaynak zamanı: 8 ms olduğu durumda; kaynak nüfuziyeti (ortalama 0,35 mm)

$$S = (A - B) / A$$

$$S = (2,3 - 1,95) / 2,3$$

$$S = 0,152$$

- Kaynak akımı: 9 kA, Kaynak zamanı: CoCoBe elektrodu için 12 ms, CuNi<sub>3</sub>Si elektrodu için ise 16 ms olduğu durumda; kaynak nüfuziyeti (ortalama 0,7 mm)

$$S = (A - B) / A$$

$$S = (2,3 - 1,6) / 2,3$$

$$S = 0,304$$

- Kaynak akımı: 12 kA, Kaynak zamanı: 16 ms olduğu durumda; kaynak nüfuziyeti (ortalama 0,9 mm)

$$S = (A - B) / A$$

$$S = (2,3 - 1,4) / 2,3$$

$$S = 0,391$$

Kaynak çekme yükü, kaynak kalitesi, ürünün görseli (fişkırmaya vs.) vb. göz önüne alındığında, S=0,304 sıkıştırma ölçüsünün sahip olduğu parametreler (CuCoBe elektrodu için kaynak akımı 9 kA, kaynak zamanı 12 ms, CuNi<sub>3</sub>Si elektrodu için ise kaynak akımı 9 kA, kaynak zamanı 16 ms) optimum parametrelerdir. S=0,391 oranında bu çalışmada kaynak bölgesinde fişkirmalar meydana gelmektedir. S=0,152 oranında ise kaynak çok az nüfuziyete sahip olmuştur.

## 4.2 Elektrotların Baskı Sayılarının Karşılaştırılması

Elektrotların ömürlerini karşılaştırabilmek adına CuCoBe elektrodu ve CuNi<sub>3</sub>Si elektrodu ile optimum kaynak değerlerinde kaynak yapılmış ve belirli baskı sayılarına (15000 kaynak sonrası) ulaştığında elektrotlarda oluşan deformasyon (iz derinliği) mitutoyo marka mihengir yardımı ile ölçülmüş ve karşılaştırılmıştır.



(a)



(b)

**Fotoğraf 4.5.** (a) CuCoBe elektrodunun (b) CuNi<sub>3</sub>Si elektrodunun kaynak öncesi fotoğrafları



(a)



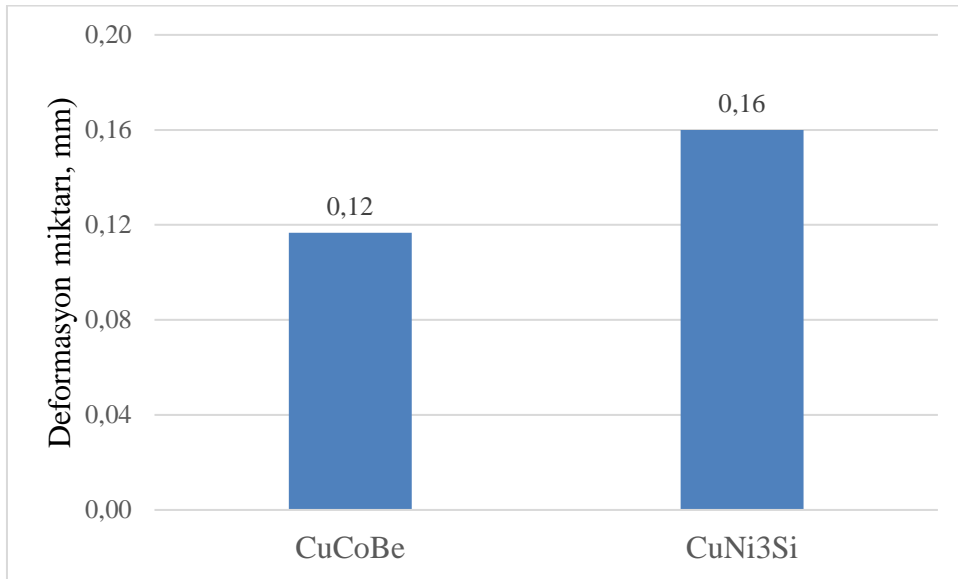
(b)

**Fotoğraf 4.6.** (a) CuCoBe elektrodunun (b) CuNi<sub>3</sub>Si elektrodunun 15000 kaynak sonrası fotoğrafları



**Fotoğraf 4.7.** CuCoBe ve CuNi<sub>3</sub>Si elektrotları üzerinden 15000 kaynak sonrası oluşan deformasyonun (iz derinliği) mihengir yardımı ile ölçülmesi

Şekil 4.12'den anlaşılacağı üzere 15000 baskı sonrasında CuNi<sub>3</sub>Si elektrotlarda oluşan deformasyon (iz derinlikleri) oranı CuCoBe elektrotlara kıyasla yaklaşık %33 daha fazla oluşmuştur. Ancak bu durum kaynaklanmış parçaların çekme dayanımı, kalitesi ve elektrot kullanım ömürleri üzerinde önemli bir olumsuzluğa neden olmamıştır. CuCoBe elektrotların içerdiği Be elementinin insan sağlığı üzerinde olumsuz etkisi ve CuNi<sub>3</sub>Si elektrotların fiyatlarının, dolayısıyla kaynaklı parça üretim maliyetinin daha düşük olması göz önüne alındığında tel ızgara direnç kaynak işlemlerinde CuNi<sub>3</sub>Si elektrotların kullanılmasının daha uygun olacağı öngörülmüştür.



**Şekil 4.12.** CuCoBe ve CuNi<sub>3</sub>Si elektrotlarının 15000 baskı sonrasında oluşan deformasyonun karşılaştırılması

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada; beyaz eşya sanayide kullanılan  $\text{Ø}6,5$  mm'lik ve  $\text{Ø}2,3$  mm'lik SAE 1006 kalite düşük karbonlu çeliklerin kaynak çalışmaları, akım ve zaman kontrollü bir programlanabilir direnç punta kaynak makinesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ürünlerin kaynaklanmasında  $20 \times 40 \times 80$  mm ebatlarında CuCoBe ve CuNi<sub>3</sub>Si elektrotlar kullanılmıştır. Kaynak çalışmalarında 480 N sabit elektrot baskı kuvveti kullanılmış ve sırası ile 8, 12 ve 16 ms kaynak zamanları ve 8, 9, 10 ve 12 kA kaynak akımı değerleri kullanılarak farklı kaynak parametreleri denenmiştir. Optik mikroskop kullanılarak kaynaklı düşük karbonlu çelik ürünlerinin kaynak çekirdeği incelenmiştir. Chatillon marka bir test cihazı manuel kullanılarak, kaynaklanmış numunelerin maksimum çekme yükü değerleri ölçülmüştür. Kaynaklı parçaların mekanik özellikleri, maksimum çekme yükü açısından tanımlanmıştır. Ayrıca iki farklı elektrodun (CuCoBe ve CuNi<sub>3</sub>Si) eşit baskı sayılarındaki deformasyonları mihengir yardımı ile ölçülmüştür. Bu tez kapsamında kullanılan kaynaklı parçaların deneysel sonuçlarından elde edilebilen bulgular aşağıdaki gibidir;

1. Yapılan çalışmalar sonucunda; SAE 1006 kalite düşük karbonlu çeliklerin direnç punta kaynağında maksimum dayanımı verecek en iyi kaynak parametrelerinin CuCoBe elektrodu için 9 kA de 12 ms, CuNi<sub>3</sub>Si elektrodu için ise 9 kA de 16 ms olduğu tespit edilmiştir. Her iki elektrot malzemesi için kaynak akımı değerinin aynı olduğu, ancak kaynak zamanı açısından az bir fark olduğu görülmektedir. Kaynak süreleri arasındaki bu fark elektrot malzemelerinin elektrik iletkenlik değerleri arasındaki farklılığa atfedilebilir.
2. Özellikle 12 kA kaynak akımında kaynak zamanı arttıkça CuCoBe elektrodu ile yapılanlar hariç olmak üzere CuNi<sub>3</sub>Si elektrodu ile kaynaklanmış ürünlerin çekme dayanımları belirgin olarak düşmüştür.
3. Her iki elektrotla yapılan tüm denemelerde 8 kA kaynak akımı yetersiz kalmıştır. 12 kA kaynak akımı ise genellikle kaynak çekirdeği bölgesinde sıvı metal fişkırması ve dayanım azalması meydana gelmiştir.

4. Optimum kaynak parametrelerinde (CuCoBe elektrodu için kaynak akımı 9 kA, kaynak zamanı 12 ms, CuNi<sub>3</sub>Si elektrodu için ise kaynak akımı 9 kA, kaynak zamanı 16 ms) sıkıştırma değeri S=0,304 olarak ölçülmüştür. Çalışmada sıkıştırma değerinin, S=0,152 olduğu durumda kaynak çekme yükünün ve kaynak nüfuziyetinin yetersiz olduğu, sıkıştırma değerinin S=0,391 olduğu durumda ise, kaynak çekme yükünün optimum parametrelerde elde edilen kaynak çekme yükünden bir miktar düşüş yaşadığı, kaynak bölgesinde ise fişkirmalar meydana geldiği gözlemlenmiştir.
5. CuNi<sub>3</sub>Si elektrodu CuCoBe elektroduna göre eşit baskı sayısında daha fazla deformasyona uğramıştır. Fakat bu deformasyon miktarının kaynaklı numunelerin kaynak kalitesine ve üründe yüzey bozukluğu (elektrot izi) gibi görüntü kalitesine (estetiğe) zararı olmamıştır.
6. Berilyum elementinin insan sağlığına zararı düşünüldüğünde ve çalışma yapılan firmada yıllık elektrot tüketiminin takribi 5 ton/yıl olduğu göz önüne alındığında CuCoBe elektrodunun daha pahalı olması, direnç punta kaynağı uygulamalarında CuNi<sub>3</sub>Si elektrodunun kullanımının ilgili firmalar açısından çok daha avantajlı olduğu söylenebilir.

Yukarıdaki araştırma sonuçları; direnç punta (nokta) kaynağı ile kaynaklanacak malzemeler için en uygun kaynak parametrelerini araştıran kaynak mühendislerinin çalışmalarında kullanacakları farklı elektrot malzemelerinin kaynak süresine ve kaynak maliyetine olan etkisini de araştırmaları ve dikkate almaları gerektiğini göstermektedir.

## 6. KAYNAKLAR

(Bu tez çalışmasında APA atıf sistemi kullanılmıştır.)

- Akkuş, A. (2006). Galvanizli ve Östenitik Paslanmaz Çelik Sacların Nokta Kaynaklı Bağlantılarının Yorulma Dayanımlarının Araştırılması. *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü* Doktora Tezi, İstanbul.
- Akyol, M. (2001). Otomotiv Sanayiinde Kullanılan Direnç Nokta Kaynak Uygulamaları ve Karşılaşılan Sorunlar. *İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Almus, Z. (2006). Nokta direnç kaynağında ara bağlayıcının birleşme özelliklerine etkilerinin araştırılması. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Altun, Y. (2012). Ütü masası imalatında kullanılan Nokta Direnç Kaynak Manipülatorün Kontrolü. *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik – Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı* Yüksek Lisans Tezi, Konya.
- Anık, S. (1991). Kaynak Tekniği El Kitabı, Gedik Holding Yayını, İstanbul.
- Anık, S. (1993). 1000 Soruda Kaynak Teknolojisi El Kitabı, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Anık, S., & Anık, E.S., & Vural, M. (2000). 1000 Soruda Kaynak Teknolojileri El Kitabı, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Anık, S. (1983) “Kaynak teknolojisi el kitabı”, Güris Makine ve Montaj Sanayi A.S., 175-193
- Anonymous, (2009), Ruukki more with Metals - Resistance Welding Manual, Rautaruukki Corporation.
- Arslan Kaynak Metal – Le bronze Industriel
- Coşkun, M.H. (2009) Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan IF 7114 ve DP600 Çelik Sacların Direnç Nokta Kaynağı (RSW) ve Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı (FSSW) Yöntemleri ile Birleştirilmesi. *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli.
- Donders, S., & Brughmans, M., & Hermans, L., & Tzannetakis, N. (2005) “TheEffect of Spot WeldFailure on DynamicVehiclePerformance”, IMAC-XXIII, the 23rd International Modal Analysis Conference, Orlando, February,
- Doruk, E. (2015). Otomotiv sektöründe direnç noktağı tofaş uygulamaları. Kaynak kongresi IX. Ulusal kongre ve sergisi bildiriler kitabı.
- Ege Çelik Endüstrisi San. Tic. A.Ş. Kalite Belgesi EN 10204 3.1
- eminerdin@hititedutr
- Esendir, E. (2008) Farklı Metallerin Nokta Direnç Kaynağı ile Birleştirilmesi. *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Gavas, M., & Yaşar, M., & Aydın, M., & Altunpak, Y. (2015) Üretim yöntemleri ve imalat Teknolojileri
- Gedik Ü. Kay. Müh. Notları 2010
- Geißler, G., & Hahn, T. (2011) “Process Development For Multi-Disciplinary Spot Weld Optimization With CAX-LOCO, LS-OPT and ANSA”, 8th EuropeanUsers Conference, Strasbourg, France,
- Geliş, K. (2014). Meslek Yüksek Okulu Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü Makine Programı Kaynak Teknolojisi Ders Notları, Ağrı.

- Gugel M.D. (1995). Electrode Wear Mechanisms During the Resistance Spot Welding of Hot-Dipped Galvanized Steel, PhD Thesis, MTU, Michigan.
- Hayat, F. (2005). Çift-fazlı çeliklerin nokta direnç kaynağında mho ile kaynak süresinin mekanik özelliklere etkisi. *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, Karabük.
- <https://www.saglammetal.com/tr/bakir/sert-bakir-alasimlari/cupro-nsh-cuni3si>
- Hwang, I.S., & Yoon H.J., & Kang M.J., & Kim D.C. (2010), Weldability of 440 MPa Galvanized Steel with Inverter DC Resistance Spot Welding Process, *Archives of Materials Science and Engineering*, vol.42, s. 37-44.
- Kahraman, N., & Gülenç B. (2009). Modern kaynak teknolojisi, Epa-Mat Basım Yayın Ltd. Sti., Ankara, 1-99
- Kaluç, E., & Taban, E. (2004). Elektrik Direnç Kaynak Yöntemleri, İleri Kaynak Teknolojisi Ders Notları, Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, 138, 56-61.
- Kaya, Y. (2010). Titanyum saçların nokta direnç kaynağı ile kaynaklanabilirliğinin araştırılması. *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metal Eğitimi Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi*, Karabük.
- Keleş, S. (2008) Tasarım ve İmalatı Yapılan Punta Kaynak Makinasında Nesne Yönelimli İşlem Planlama Sisteminin Uygulanması. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, Kütahya.
- Kelkar, G. P. (2004), “Why use multiple-impulse resistance welding?”, *Practical Welding*.
- Kurşungöz, N. (1986). Alüminyum Esaslı Malzemenin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Temas Direncinin İncelenmesi. *Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi*, Eskişehir.
- MEGEP (2014). “Elektrik Direnç Kaynağı”, <http://megep.meb.gov.tr/mte-program-modul/moduller-pdf/%20Direnc%20A7%20Kayna%C4%9F%C4%B1pdf>,
- Nielsen, C.V. & W. Zhang, & N. Bay & P.A.F. Martins. (2021). “Cross-wire welding analyzed by experiments and simulations” *Journal of Advanced Joining Processes*, Volume 3.
- Onsekiz, M., & Altunpak, Y. (2018). Beyaz eşya sanayisinde kullanılan ferritik paslanmaz çeliklerin direnç kaynağı mukavemetine direnç elektrot malzeme tipinin etkisi. *Abant İzzet Baysal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi*, Bolu.
- Peşint, M. A., & Ürkmez, A. (2000). Elektrik Makinaları II-Transformatörler, MEB Yayınları, Onbeşinci Baskı, İıcak Matbaası.
- Salvini, P., & Francesco, V., & Vullo V. (2000). “A spot weld finite element for structural modelling”, *International Journal of Fatigue*, 22: 645-656,
- Shanmugam, N. & Buvanashakaran, G. & Sankaranarayanan, & K. Kumar, S. (2010). “A transient finite element simulation of the temperature and bead profiles of T-joint laser welds”, *Materials and Design*, 31: 4528-45427,
- Sonat M., & Doyum A.B. (1999). Direnç Punto Kaynaklarının Ultrasonik Muayenesi, Kaynak Teknolojisi II. Ulusal Kongresi, s.97-106, Ankara.
- Tezcan, T., & Çakır, M. C. (2017). Elektrik direnç kaynağı. *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi*, Bursa.
- Ünlükal, E. (2007). Otomotiv Sanayinde Kullanılan Direnç Nokta Kaynak Kalitesinin Artırılması. *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul.

Welding brazing, and soldering, resistance spot welding”, 9th edition ASM Metals Handbook, U.S.A., 469-493 (1983).


Yener, S. (1999). Otomotiv sanayinde kullanılan direnç nokta kaynak elektrodu ömrünün deneysel analizi. *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi* istanbul.

Zhang, Y., & Taylor, D. (2000). Sheet thickness effect of spot welds based on crack propagation, Engineering F.




## 7. EKLER

### EK 1

	TSE DENEY ve KALİBRASYON MERKEZİ BAŞKANLIĞI ELEKTROTEKNİK LABORATUVARI GEBZE MÜDÜRLÜĞÜ HEADSHIP OF TSE TEST and CALIBRATION CENTER ELECTROTECHNICAL LABORATORY (GEBZE)	275565	
		09-22	
<b>MUAYENE - DENEY SONUÇLARI</b> TEST RESULTS			
DENEY RAPORU TS 13602 Bakır ve bakır alaşımları - Çekilmiş yuvarlak kesitli bakır tel - Elektriksel iletkenlerin imalatı için			
<b>Sponsor</b>	:	MEFA ENDÜSTRİ METALURJİ MAKİNA ELEKTRONİK VE KİMYA SANAYİ TİCARET A. Ş.	
<b>Numune Tipi</b>	:	CB-4 tip 210 mm uzunluğunda 289,38mm <sup>2</sup> kesit alana sahip çubuk	
<b>Numune no</b>	:	2022-246415	
<b>Madde</b>	<b>Şartlar+Deney</b>	<b>Özdirenç</b> ( $\Omega \times \text{mm}^2/\text{m}$ )	<b>İletkenlik</b> (Ms/m)
8.4	Elektriksel özdirenç, teslim edildiği haldeki mamul üzerinde (sonuç 20°C'deki eşdeğer değere düzeltilecek ise) 20°C±1°C veya başka sıcaklıkta doğrudan ölçme yoluyla tayin edilmelidir. Özdirenç (p)= (Direnç * Kesit alan) / Uzunluk İletkenlik: 1/p	0,036	27,7


Şekil 7.1. CuCoBe elektrodu iletkenlik raporu

## EK 2

	TSE DENEY ve KALİBRASYON MERKEZİ BAŞKANLIĞI ELEKTROTEKNİK LABORATUVARI GEBZE MÜDÜRLÜĞÜ HEADSHIP OF TSE TEST and CALIBRATION CENTER ELECTROTECHNICAL LABORATORY (GEBZE)	275576	
		09-22	
<b>MUAYENE - DENEY SONUÇLARI</b> TEST RESULTS			
DENEY RAPORU TS 13602 Bakır ve bakır alaşımları - Çekilmiş yuvarlak kesitli bakır tel - Elektriksel iletkenlerin imalatı için			
<b>Sponsor</b>	:	MEFA ENDÜSTRİ METALURJİ MAKİNA ELEKTRONİK VE KİMYA SANAYİ TİCARET A. Ş.	
<b>Numune Tipi</b>	:	NSH-2 (Yeni) tip 210 mm uzunluğunda 314 mm <sup>2</sup> kesit alana sahip çubuk	
<b>Numune no</b>	:	2022-246414	
<b>Madde</b>	<b>Şartlar+Deney</b>	<b>Özdirenç</b> ( $\Omega \times \text{mm}^2$ )/m	<b>İletkenlik</b> (Ms/m)
8.4	<b>Elektriksel özdirenç</b> , teslim edildiği haldeki mamul üzerinde (sonuç 20°C'deki eşdeğer değere düzeltilecek ise) 20°C±1°C veya başka sıcaklıkta doğrudan ölçme yoluyla tayin edilmelidir. <b>Özdirenç (p)</b> = (Direnç * Kesit alan) / Uzunluk <b>İletkenlik</b> : 1/p	0,043	23,3


Şekil 7.2. CuNi3Si elektrodu iletkenlik raporu

### EK 3

		TSE DENEY ve KALİBRASYON MERKEZİ BAŞKANLIĞI OSTİM LABORATUVARLARI MÜDÜRLÜĞÜ				
						269110
						09-22
<b>MUAYENE - DENEY SONUÇLARI TEST RESULTS</b>						
<b>Sertlik Testi Sonuçları</b>						
Numune	Ölçüm Skalası	Ölçüm Sonucu 1	Ölçüm Sonucu 2	Ölçüm Sonucu 3	ORTALAMA	
CB4-1	HBW	260	257	252	256,3	
<b>DENEY ve CİHAZIN BİLGİLERİ</b>						
Adı	Sertlik Cihazı	Uygulanan Yük	187,5 Kg	Deney Tarihi	02/09/2022	
Markası	<input type="checkbox"/> EmcoTest <input type="checkbox"/> Indentec MG 46 <input type="checkbox"/> Indentec MG 47 <input type="checkbox"/> Tinius Olsen <input type="checkbox"/> Reichert BL 3. <input checked="" type="checkbox"/> Qness Q750MS			Uygulanan Standard	<input checked="" type="checkbox"/> TS EN ISO 6506-1 <input type="checkbox"/> TS EN ISO 6507-1 <input type="checkbox"/> TS EN ISO 6508-1	
Numune Hazırlanış Şekli ve Yeri	Mak. Lab. (Atölye)	Kullanılan Uç	2,5 mm	Ortam ve Deney Sıcaklığı	Oda Sıcaklığı	
Bakalite Alma	<input type="checkbox"/> Var <input checked="" type="checkbox"/> Yok			Operatör	M. Emin ULUÇAY	


**Şekil 7.3. CuCoBe elektrodu sertlik raporu**

**EK 4**

		TSE DENEY ve KALİBRASYON MERKEZİ BAŞKANLIĞI OSTİM LABORATUVARLARI MÜDÜRLÜĞÜ				
						269064
						09-22
<b>MUAYENE - DENEY SONUÇLARI TEST RESULTS</b>						
<b>Sertlik Testi Sonuçları</b>						
Numune	Ölçüm Skalası	Ölçüm Sonucu 1	Ölçüm Sonucu 2	Ölçüm Sonucu 3	ORTALAMA	
E4	HBW	236	233	237	235,3	
<b>DENEY ve CİHAZIN BİLGİLERİ</b>						
Adı	Sertlik Cihazı	Uygulanan Yük	187,5 Kg	Deney Tarihi	02/09/2022	
Markası	<input type="checkbox"/> Emco Test <input type="checkbox"/> Indentec MG 46 <input type="checkbox"/> Indentec MG 47 <input type="checkbox"/> Timius Olsen <input type="checkbox"/> Reichert BL 3. <input checked="" type="checkbox"/> Qness Q750MS			Uygulanan Standard	<input checked="" type="checkbox"/> TS EN ISO 6506-1 <input type="checkbox"/> TS EN ISO 6507-1 <input type="checkbox"/> TS EN ISO 6508-1	
Numune Hazırlanış Şekli ve Yeri	Mak.Lab. (Atölye)	Kullanılan Uç	2,5 mm	Ortam ve Deney Sıcaklığı	Oda Sıcaklığı	
Bakalite Alma	<input type="checkbox"/> Var <input checked="" type="checkbox"/> Yok			Operatör	M. Emin ULUÇAY	


**Şekil 7.4. CuNi3Si elektrodu sertlik raporu**

**EK 5**

 TSE DENey ve KALİBRASYON MERKEZİ BAŞKANLIĞI OSTİM LABORATUVARLARI MÜDÜRLÜĞÜ					269402	
<b>MUAYENE - DENEY SONUÇLARI TEST RESULTS</b>					09-22	
<b>Kimyasal analiz sonuçları</b>						
Numune	% Zn	% Sn	% Fe	% Ni	Değerlendirme Standardı	SONUÇ
CB4-1	0,004	0,011	0,013	0,068	-	-
	% Si	% Cr	% Co*	% Be*		
	0,008	0,005	2,33	0,533		
	% Al	% Cu				
	0,003	KALAN				
<b>Açıklama:</b> * lı olan elementlerin değerleri bilgi amaçlıdır.						
DENEY YAPILAN CİHAZIN			DENEYE AİT BİLGİLER			
Adı	Optik Emisyon Spektrometresi		Numune Hazırlanış Şekli ve Yeri	Ostim Lab. Müd.		
Markası	SPEKTRO LAB (M12)		Deney Tarihi	02/09/2022		
Demirbaş no			Uygulanan Standard	-		
Cihaz tipi	OES		Ortam Sıcaklığı	22 °C		
Kapasite	-		Operatör	Sena YILDIZ		

**Şekil 7.5. CuCoBe elektrodu kimyasal analiz raporu**

**EK 6**

 <b>TSE DENey ve KALIBRASYON MERKEZİ BAŞKANLIĞI OSTİM LABORATUVARLARI MÜDÜRLÜĞÜ</b>		<b>MUAYENE - DENEY SONUÇLARI TEST RESULTS</b>				269190
						09-22
<b>Kimyasal analiz sonuçları</b>						
Numune	% Zn	% Pb	% Sn	% P	Değerlendirme Standardı	SONUÇ
Y3	0,007	0,010	0,021	0,011	-	-
	% Mn	% Fe	% Ni*	% Si*		
	0,005	0,271	2,47	0,854		
	% Cr*	% Sb	% Zr*	% Cu		
	0,439	0,059	0,237	KALAN		
<b>Açıklama:</b> * lı olan elementlerin değerleri bilgi amaçlıdır.						
DENEY YAPILAN CİHAZIN			DENEYE AİT BİLGİLER			
Adı	Optik Emisyon Spektrometresi		Numune Hazırlanış Şekli ve Yeri		Ostim Lab. Mfud.	
Markası	SPEKTRO LAB (M12)		Deney Tarihi		02/09/2022	
Demirbaş no			Uygulanan Standard		-	
Cihaz tipi	OES		Ortam Sıcaklığı		22 °C	
Kapasite	-		Operatör		Sena YILDIZ	
<b>Şekil 7.6. CuNi3Si elektrodu kimyasal analiz raporu</b>						