



**İSKENDERUN TEKNİK**  
ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK  
LİSANS  
TEZİ**

**DİRENÇ (NOKTA) KAYNAK  
BASKI ÇENELERİNİN  
KAYNAK PERFORMANSINA  
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**Şule TUFAN**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI**

**MAYIS 2022**



**DİRENÇ (NOKTA) KAYNAK BASKI ÇENELERİNİN KAYNAK  
PERFORMANSINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**Şule TUFAN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**MAYIS 2022**

Şule TUFAN tarafından hazırlanan “DİRENÇ (NOKTA) KAYNAK BASKI ÇENELERİNİN KAYNAK PERFORMANSINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile İskenderun Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Dr. Öğr. Üyesi Hasan Hüseyin BİLGİÇ

Uçak Mühendisliği Anabilim Dalı, Necmettin Erbakan Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

.....  
.....

**İkinci Danışman:** Doç. Dr. Ersin BAHÇECİ

Metalurji Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

.....  
.....

**Başkan:** Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Arif ŞEN

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

.....  
.....

**Üye:** Doç. Dr. Çağlar CONKER

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

.....  
.....

**Üye:** Dr. Öğr. Üyesi Bahattin TANÇ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

.....  
.....

Tez Savunma Tarihi: 18/05/2022

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Doç. Dr. Ersin BAHÇECİ

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

## ETİK BEYAN

İskenderun Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülediğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu,
  - Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
  - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
  - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
  - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
  - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

İmza

Şule TUFAN

18/05/2022

# DİRENÇ (NOKTA) KAYNAK BASKI ÇENELERİNİN KAYNAK PERFORMANSINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Şule TUFAN

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Mayıs 2022

## ÖZET

Bu çalışmada Otomotiv sektöründe yoğun olarak üretimi yapılan filtrelerin metal sac kılıflarında kullanılan sac plakalara nokta kaynağı ile birleştirme işlemi yapılmıştır. Delikli yüzeye sahip metal sac kılıflara nokta kaynak birleştirme işlemi en az iki noktadan yapılır. Nokta kaynak sayısı kılıf boy uzunluğuna göre artmaktadır. Çalışma kapsamında birden çok noktadan kaynak edebilecek çok noktalı elektrot tasarımı yapılmıştır. Farklı geometriye sahip elektrotların kaynak performansları incelenmiştir. 0,70 mm kalınlığa sahip GZR 1315 kaliteli kaplamalı saclarda ve CCR 7316 kaliteye sahip kaplamasız saclarda sac yüzeyine delikli form verilmiş plakalar kaynak edilmiştir. Yapılan nokta kaynak kalitesi mekanik testlerle ve mikro/makro yapı testleri ile ortaya koyulmuştur. Çalışma sonucunda tasarımı yapılan çok noktalı elektrot ile kaynak işlem sayısını 4'ten 1'e indirilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Filtre destek elemanı, kaynak, punta kaynağı, kaynak parametreleri,  
Çok Noktalı Kaynak  
Sayfa Adedi : 49  
Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Hasan Hüseyin BİLGİÇ  
2.Danışman : Doç.Dr.Ersin BAHÇECİ

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF RESISTANCE (SPOT) WELDING  
PRESSURE JAWS ON WELDING PERFORMANCE

(M. Sc. Thesis)

Şule TUFAN

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY  
ENGINEERING AND SCIENCE ESNTITUTE

May 2022

ABSTRACT

In this study, the metal sheet plates used in the metal sheet covers of the filters, which are produced intensively in the automotive sector, were joined by spot welding. Spot welding jointing process on metal sheet sheaths with perforated surface is made from at least two points. The number of spot welds increases with the sheath length. Within the scope of the study, a multi-point electrode design that can weld from more than one point has been made. Welding performances of electrodes with different geometries were investigated. Perforated formed plates were welded to the sheet surface in 0.70 mm thick coated sheets of GZR 1315 quality and uncoated sheets of CCR 7316 quality. The spot weld quality has been demonstrated by mechanical tests and micro/macro structure tests. As a result of the study, the number of welding operations was reduced from 4 to 1 with the designed multi-point electrode.

Key Words : Filter support element, welding, spot welding, welding parameters,  
Multi-Spot Welding

Page Number : 49

Supervisor : Assistant Professor Hasan Hüseyin Bilgiç

2. Supervisor : Associate Professor Ersin BAHÇECİ

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmam sırasında bana desteklerini esirgemeyen değerli danışman hocalarım Dr. Öğr. Üyesi Hasan Hüseyin BİLGİÇ, Doç. Dr. Ersin BAHÇECİ ve Ar. Gör. Ali OKTAY GÜL'e sonsuz şükranlarımı sunarım.

Ayrıca şuanda Şampiyon Filtre Ar-Ge Merkezinde çalışmaktayım. Ar-Ge Merkezinde SF.DE.AR.2020.3 nolu proje kapsamında yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen Şampiyon Filtre Ailesine teşekkür ederim.

Son olarak lisansüstü çalışmalarım sırasında her zaman arkamda olan bana her zaman güvenen başta canım annem Selda TUFAN'a ve aileme sonsuz sevgi, saygı ve teşekkürlerimi sunarım

## İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	v
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. DİRENÇ KAYNAK TEKNOLOJİSİ.....	3
2.1. Direnç(Punta Kaynağı) ve Punta kaynağı ile yapılan çalışmalar .....	4
2.2. Filtre imalatında Punta(Nokta) Kaynağı .....	15
3. FİLTRE SEKTÖRÜNDE KULLANILAN SAC MALZEMELER ve ENDÜSTRİDE UYGULAMA ALANLARI.....	17
3.1. CCR Saclar.....	19
3.2. GZR Saclar .....	19
4. MATERYAL ve YÖNTEM .....	21
4.1. Materyal .....	21
4.2. Yöntem.....	22
4.2.1. Nokta kaynak birleştirme işlemi .....	23
4.2.2. Kaynak baskı çene tasarımı ve kullanılan baskı çeneleri.....	24
4.2.3. Kaynak parametrelerinin belirlenmesi .....	26
4.2.4. Çekme analizi.....	27
4.2.5. Metalografik analizi .....	29
4.2.6. Sertlik ölçme analizi .....	30
5. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA .....	32
5.1. Çekme Analizi Sonuçları .....	32



5.2.	Metalografik Test Sonuçları.....	35
5.3.	Sertlik Ölçüm Sonuçları.....	41
6.	SONUÇLAR.....	44
	KAYNAKÇA.....	46



## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1 Kullanılan sacların kimyasal özellikleri .....	22
Çizelge 4.2 Elektrot malzemelerinin özellikleri .....	25
Çizelge 4.3. Kullanılan elektrot resimleri .....	25
Çizelge 4.4. Kaynak parametreleri.....	26
Çizelge 5.1. Kayma gerilmesi sonuçları .....	32
Çizelge 5.2. Çekme Gerilmesi Sonuçları.....	33
Çizelge 5.3 Sertlik ölçme değerleri.....	42

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1 DIN 1090 Standardında belirtilen Direnç Kaynağı Yöntemleri [1] .....	4
Şekil 2.2. Punta Kaynak Çevrimi Gösterimi (1.Sıkma zamanı,2.Kaynak zamanı,3.Tutma zamanı,4.Ayrılma zamanı) [12]. .....	5
Şekil 2.3 Çok noktalı kaynak-Sallanan uç [48]. .....	13
Şekil 2.4 Çok noktalı kaynak -Trispacer uç tutucu [48]. .....	14
Şekil 2.5. Tasarımı yapılan çoklu nokta elektrotu .....	15
Şekil 2.6 a) Kaynak işlemi yapılacak delikli sac b) Punta kaynak işlemi yapılmış delikli sac .....	16
Şekil 3.1 Filtre görseli [53] .....	17
Şekil 3.2 Kullanılan malzeme çeşidine göre filtre ürün grupları [55] .....	18
Şekil 4.1 Numune Görselleri.....	22
Şekil 4.2 Punta Kaynak Makinası .....	23
Şekil 4.3 a) Ayırma testi başarısız b) Ayırma testi başarılı .....	27
Şekil 4.4 Düz ve Delikli Sac levhalar Nokta direnç kaynak numunesi .....	28
Şekil 4.5 Düz ve Delikli Nokta direnç kaynak kaynaklı çekme test numunesi .....	28
Şekil 4.6 Numunelere uygulana çekme testi .....	29
Şekil 4.7. Bakalite alınan numuneler soldan sağa sırası ile KE CCR, TE CCR, KE GZR, TE CCR, NE GZR, NE CCR .....	30
Şekil 4.8. Elmas-piramit vickers ucu .....	31
Şekil 5.1 Kayma gerilmesi sonuç grafiği .....	33
Şekil 5.2 NE CCR ve NE GZR Nokta direnç kaynaklı numunelerin çekme makaslama testi sonrası görünümü.....	34
Şekil 5.3 TE CCR ve TE GZR Nokta direnç kaynaklı numunelerin çekme makaslama testi sonrası görünümü.....	34
Şekil 5.4 KE CCR ve KE GZR Nokta direnç kaynaklı numunelerin çekme makaslama testi sonrası görünümü.....	35

Şekil	Sayfa
Şekil 5.5 TE GZR ile punta kaynak işlemi yapılmış numunenin optik görüntüsü(% 2 Nital) .....	36
Şekil 5.6 TE CCR ile punta kaynak işlemi yapılmış numunenin optik görüntüsü (% 2 Nital) .....	37
Şekil 5.7. NE GZR ile punta kaynak işlemi yapılmış numunenin optik görüntüsü(% 2 Nital) .....	38
Şekil 5.8. NE CCR ile punta kaynak işlemi yapılmış numunenin optik görüntüsü(% 2 Nital) .....	39
Şekil 5.9. KE GZR ile punta kaynak işlemi yapılmış numunenin optik görüntüsü(% 2 Nital) .....	40
Şekil 5.10. KE CCR ile punta kaynak işlemi yapılmış numunenin optik görüntüsü(% 2 Nital) .....	41
Şekil 5.11. Vickers sertlik ölçme yöntemi uygulanması.....	42
Şekil 5.12 Sertlik Değerleri.....	42

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklamalar</b>
<b>mm</b>	Milimetre
<b>m<sup>2</sup></b>	Metrekare
<b>kN</b>	Kilonewton
<b>MPa</b>	Megapaskal
<b>g</b>	gram
<b>Cr</b>	Krom
<b>Ni</b>	Nikel
<b>HV</b>	Vickers Sertliği
<b>C</b>	Karbon
<b>Fe</b>	Demir
<b>Si</b>	Silisyum
<b>Mo</b>	Molibden
<b>Mn</b>	Mangenez
<b>S</b>	Kükürt
<b>Al</b>	Alüminyum
<b>Ti</b>	Titanyum
<b>Hz</b>	Frekans birimi

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklamalar</b>
<b>CCR</b>	Kaplamasız sac
<b>GZR</b>	Kaplamalı sac
<b>ITAB</b>	Isının tesiri altındaki bölge
<b>KE</b>	Karesel şekilli elektrot
<b>NE</b>	Nokta elektrot
<b>TE</b>	Tarak elektrot

## 1. GİRİŞ

Birinci Dünya Savaşından sonra kaynak teknolojisi ilerlemelerini sağlamlaştırmış ve tamir yöntemi olarak kullanılması yanında, üretim aracı haline de gelmiştir. Elektrik direnç kaynağı teknolojisinin pek çok alt grubu bulunmaktadır. Alt gruplardan biri olan direnç (nokta) kaynağıdır. Direnç (nokta) kaynağı veya direnç (punta) kaynak olarak isimlendirilmektedir. Nokta kaynağının otomotiv, otomotiv yan sanayi, havacılık, demiryolu, beyaz eşya, metal mobilya, elektronik, tıbbi bina ve inşaat dahil olmak üzere endüstride uygulamaları bulunmaktadır. Nokta kaynağının robotlar ve manipülasyon sistemleri ile birleştirildiğinde otomatikleştirilebilme kolaylığı göz önüne alındığında, yüksek hacimli üretim hatlarında en yaygın birleştirme işlemidir ve özellikle 100 yılı aşkın bir süredir çelik arabaların yapımında ana birleştirme işlemi olarak kullanılmaktadır.

Maliyet ve kalite faktörleri kaynak birleştirme teknolojisinde önemlidir. İmalatta kaynak bağlantı kalitesi ürünün amacına uygun olması beklenir. Üretimin sonraki aşamasında veya ürün kullanımında meydana gelen arıza maliyeti, hem tamir maliyetini zorlaştırır hem de müşteri güvenin kaybı açısından önem taşır.

Üretim maliyeti, son zamanlar da rekabetçi pazarında diğer önemli faktördür. Sermaye maliyeti ve işletme maliyeti, bir ürünün ömrü boyunca dengeli olması gerekir. Özellikle işletme maliyetine en çok katkıda bulunanlardan biri işçilik olmasından otomasyon önemli bir rol oynamaktadır.

Nokta kaynağı birleştirilecek olan parçaları birbirine bakır çene ile bastırılarak kaynak metali kullanılmayan bir birleştirme yöntemidir. Nokta kaynağı işlemleri, sac birleştirme ve bir dizi başka uygulama alanı için nispeten düşük maliyetli, kaynak yapılan bölgenin dayanımının yüksek olması, korozyon direncinin fazla, sızdırmazlığının ve estetik özelliklerinin iyi olması, ilave birleştirme malzemesi gerektirmemesi ve bu sebeple hafif

olması ve üretim maliyetinin düşük olması, gibi faktörlerden dolayı nokta kaynağı tercih edilmektedir.

Nokta kaynağındaki birçok farklı uygulama kullanılmasından mevcut elektrot malzemeleri ve elektrot konfigürasyonları kullanılmaktadır. Elektrot seçim yapılırken koşullar altında maliyete ve genel elektrot ömrüne bağlıdır [1-4].

Otomotiv yağ/yakıt/hava filtrelerinin üretiminde yaygın olarak direnç(nokta) kaynak yöntemi kullanılmaktadır. Konik uçlu bakır elektrot ile geleneksel punta kaynak makinesinde nokta kaynak yapılmaktadır. Günlük farklı kalınlıklara sahip kaplamalı ve kaplamasız özellikteki ince sacları bir makinede 20000-25000 adet nokta kaynağı tek tek yapılırken bakır uçların performansının düşmesi dolayısıyla kaynak kalitesini de etkilemektedir.

Bu çalışma aynı kaynak zamanı ile kaplamalı ve kaplamasız delikli sacların birleştirme işlemini tek darbede dört uçlu elektrot parçaları kaynak ederek on binlerce darbeyi azaltmayı hedeflemiştir. Üç farklı geometriye sahip bakır elektrot ile aynı kalınlıkta kaplamalı ve kaplamasız özellikteki yüzeyi delikli (perfore) ve düz sacları nokta kaynak yöntemiyle kaynak etmektedir. Bu aşamada aynı kaynak parametreleri kullanılarak üç farklı elektrotun sac üzerindeki performansına etkisini ortaya koymaktır.

Aynı zamanda deliksiz olduğu zaman yüzey alanının teması bu kaynak performansını artırıyor mu yoksa aksine makinenin gücü sabit kaldığı için bozuyor mu bu gibi etkileri gözlemlemektir. İlk aşamada makine performansını koruyarak tek darbede bir ucla değil tasarımı yapılan dört nokta uca sahip elektrot ile delikli sacları nokta kaynak işlemi ile birleştirmektedir.

## 2. DİRENÇ KAYNAK TEKNOLOJİSİ

Elektrik direnç kaynağı, elektrik akımına karşı oluşan direnç ile en az iki malzemenin ısı ve/veya basınç yardımıyla birleştirme yöntemidir. Kaynak birleştirmede sarf malzeme kullanımını gerektirmez. Kaynaklı birleştirmelerin diğer bağlantı tiplerinden hafif olması, mukavemetli olması, hızlı olması, aynı anda çok kaynak yapabilme sarf malzemelerin kullanılmaması gibi avantajları bulunmaktadır. Elektrik direnç kaynağı alüminyum, titanyum ve bakır alaşımları ile yüksek/ düşük dayanımlı ve paslanmaz çeliklerin birleştirme işleminde kullanımı oldukça yaygın olduğunu belirtmiştir [1,5].

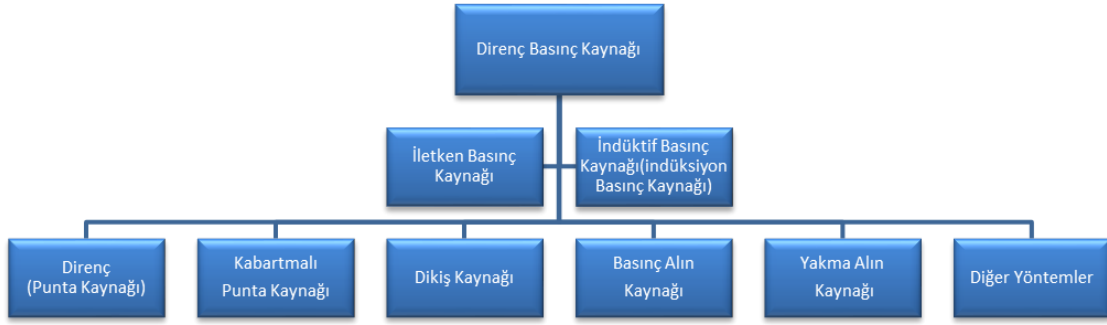
Elektrik direnç kaynağı, kaynak akımı, kaynak süresi, sac metal özelliği, sac metal kalınlığı, elektrot uç türleri gibi parametreler bulunmaktadır. Bunlar kaynak kalitesini etkileyen temel parametrelerdir[4,6-8].

Elektrik Direnç Kaynağı'nın Joule yasasında ifade edilen üç temel parametreden oluşmaktadır. Q ısı enerjisi ( Joule), I akım (A), R direnç (Ohm) ve T (sn) akımın geçtiği süredir[9]. Eşitlik 2.1'de bulunan formülü ile hesaplanır.

$$Q = I^2 \times R \times t \quad (2.1)$$

Direnç Kaynağı, Kabartılı Punta kaynağı, Dikiş kaynağı basınç alın kaynağı, yakma alın kaynağı vd. yöntemleri bulunmaktadır. (Şekil 2.1)





Şekil 2.1 DIN 1090 Standardında belirtilen Direnç Kaynağı Yöntemleri [1]

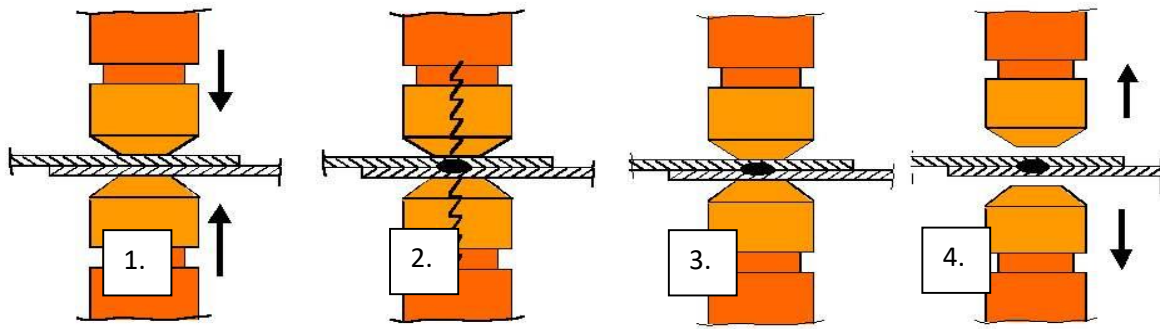
## 2.1. Direnç (Punta Kaynağı) ve Punta kaynağı ile yapılan çalışmalar

Elektrik direnç kaynağı yönteminde malzemenin elektrik akımına karşı bir direncinin malzemeye uygulanan akım bu direnç sebebiyle ısıya dönüşür. Punta kaynağı şematik gösteriminde anlaşıldığı üzere iki baskı çenesi arasına sıkıştırılan parçaların elektrik direnç kaynağına gösterdiği dirençten kaynaklı oluşan ısı etkisiyle birleştirme işlemidir [10]. Akım şiddeti, elektrot kuvveti ve zamanlamanın otomatik kontrolü ile yüksek imalat hızlarında, birbirinin aynı özellikte nokta kaynakları elde edilebilir [11].

### Direnç Kaynağı Çevrim Süresi

Nokta kaynağı 4 zamanda oluşmaktadır.

1. **Sıkma Zamanı:** Malzeme puntalamadan önce elektrotlar tarafından iyice sıkıştırılması için gereken zamandır. Aksi halde punta esnasında ark oluşmasını önlemektedir.
2. **Kaynak Zamanı:** Asıl kaynak akımının malzemeye uygulanma süresidir. Punta kaynağının en önemli parametresidir.
3. **Tutma Zamanı :** Malzeme kaynatıldıktan sonra oluşan ısının soğuması ve çekirdek yapının oluşması için malzemesi baskı altında kalmasıdır. Bu parametre ile kaynak sonrası baskı süresidir.
4. **Ayrılma Zamanı:** Bu parametre sadece tekrarlı punta kaynak işlemi yapılacaksa kullanılır. Tekrarlı punta işleminde pistonun kalkma işlemi bu parametre değeridir. Ayrılma zamanı az olunca tekrarlı punta işlemi daha hızlı, çok olunca daha yavaş gerçekleşir.



Şekil 2.2. Punta Kaynak Çevrimi Gösterimi (1.Sıkma zamanı,2.Kaynak zamanı,3.Tutma zamanı,4.Ayrılma zamanı) [12].

### **Elektrik Direnç Kaynağını Etkileyen Temel Parametreler**

**Kaynak akımı**, nokta kaynağında ısı enerjisini oluşması için en önemli parametrelerden birisidir. Isı iletim, taşınım ve ışınım yoluyla oluşmaktadır. Akım yüksek olur ise elektrotun kaynak parçasına dalması fazla olup ısının en fazla etkili olduğu noktada eriyerek birleşim sağlar. Akım yetersiz olur ise parçalar erimez ve birleşim sağlanmaz. Diğer ana parametreler ile birlikte uygun akım değeri belirlenmelidir [13-14]. Metal parçalarının elektrik direnç kaynağı yönteminde akım, zaman ve basıncın çekme mukavemetini arttırmakta olduğu deneysel olarak çalışmada kanıtlanmıştır[15].

**Kaynak zamanı**, kaynak enerjisiyle doğru orantılı olup kaynak akımıyla ters orantılıdır. Kaynak zamanı düşük olur ise yüksek akım gerektirir yüksek olur ise düşük akım gerektirmektedir. 50 Hz frekanslı bir şebekede 1 periyot 1/50 saniyedir. Kaynak akımı ve basıncı artırılarak kaynak süresi azaltıldığında kısa süreli kaynak elde edilebilir. Aynı zamanda düşük akım kullanarak uzun kaynak süresi ile aynı kaynak çekirdeği elde etmek mümkün olabilir.

**Kaynak direnci**; Kaynak akımının bir elektrottan diğer elektroda geçerken karşılaştığı dirençler toplamıdır. İki çeşit direnç vardır. Malzeme direnci ve temas direncidir. Genel olarak direnç akım yoğunluğuna, sıcaklığa ve malzemenin öz direncine bağlıdır [16-17].

### **Diğer etkileyen parametreler ise;**

**Baskı Kuvveti;** Elektrot ve levha direncinin düşük değerde olmasını sağlar. Baskı ile eriyik metalin kaynak bölgesinden fişkırmasını önler. Kuvvet düşük olur ise direnç yüksek olacağından patlamalara sebep olur. Kuvvet yüksek olur ise çok temas edeceğinden akım yoğunluğu ve direnç düşer dolayısıyla ısı transferi az olur.

**Malzeme özelliği ve yüzey durumu;** Her malzemenin öz direnci farklı olur. Öz direnç malzemenin ısı transferinde ısı iletkenliğini etkilemektedir. Ayrıca kaplamalı yüzeylerde direnç kaynağı oldukça zor olup düşük karbonlu çelikler daha iyi kaynak edilebilmektedir.

**Elektrot Geometrisi ve Elektrot malzemesi;** Elektrot geometrisi kaynak izini doğrudan etkilemektedir. Elektrot temas yüzeyi küçükse akım yüksek olur sıcaklığa sebep olur eğer yüksek ise basınç düşer. Elektrot malzeme seçimi yapılırken ısı, elektrik iletkenliği yüksek olan malzeme seçimi yapılmalıdır. Ayrıca sıcaklığa karşı özelliklerini kaybetmemelidir[17]. Nokta direnç kaynağında parça özelliğine göre elektrot seçimi kaynağın kalitesini etkileyen önemli bir unsurdur. Elektrot uçlarının boyutları; kaynak çekirdeğinin boyutunu, kaynak edilecek metallerinin kalınlığı, şekli ve boyutları ile belirlemektedir [5].

**Kaynak direnci;** Kaynak akımının bir elektrottan diğer elektroda geçerken karşılaştığı dirençler toplamıdır. İki çeşit direnç vardır. Malzeme direnci ve temas direncidir. Genel olarak direnç akım yoğunluğuna, sıcaklığa ve malzemenin öz direncine bağlıdır [17].

Kaynak çekirdeğinin genişliği olarak tanımlanan kaynak çekirdeği boyutu, nokta direnç kaynağını belirleyen en önemli faktörlerden biridir[18-19]. Kaynak çekirdek boyutu ile çekme makaslama deneyi ile doğru orantılıdır. Elektrik direnç kaynağında mekanik özelliklerini değerlendirmek için en sık kullanılan testlerden birisi çekme makaslama deneyidir. Sertlik mekanik dayanımı değerlendirmede etkindir dolayısıyla nokta kaynak işleminde mekanik özellikler değerlendirilirken kaynak sertliği incelenmektedir [20-21].

Otomotiv endüstrisinde araç imalatında en önemli birleştirme yöntemi elektrik direnç nokta kaynak (punta kaynağı) yöntemidir. Günümüzde üretilen araçlar ortalama 4.000 ile 6.000 arasında nokta kaynağı uygulanmaktadır [22-24].

Günümüzde 5-10 mikron kalınlığa sahip kaplamalı saclar direnç kaynağı ile kaynatılmaktadır. Kaplamalı galvanizli sacların nokta direnç kaynağı ile birleştirilmesinde zordur. Kaplamalı sacların yüzeyinde bulunan çinko nedeniyle kaynak işlemi için yüksek akım ve uzun kaynak süresi gerekmektedir. Yüksek akım kaynak elektrotlarının daha kısa ömürlü olmasına neden olmaktadır. Kaplamalı saclarda eriyen çinkoyu uzaklaştırmak için genellikle küresel şekle sahip elektrotlar kullanılır [1, 25].

Ünlükal çalışmasında otomotiv sanayinde direnç nokta kaynağının kullanımını, çeşitli parametrelerini, kullanılan elektrot uçlarının farklı kalınlıklara göre belirleyerek, kaynak çekirdeği etkileyen etmenler, kullanılan makinalar ve bu makinaların parçalarını anlatmış olup TOFAş'taki uygulamalara yer verilmiştir. Ayrıca kaliteli kaynak noktalarının elde edilebilmesinde yalnızca kaynak makinasındaki ayarlanabilir büyüklüklerin (akım şiddeti, elektrot kuvveti, kaynak süresi) etkili olmadığını, aynı zamanda elektrotların türü, elektrotların geometrik şekli ve özelliklerinin büyük bir etkisinin olduğunu uygun elektrot seçilmemesi halinde hatalar meydana geldiğini ve kaynak edilen sac yüzeylerinin önemli olduğundan bahsetmiştir [9].

Tarimer ve ark. çalışmasında Enose, Bnose ve parabolik (ParaCap) tipi elektrot tasarım süreçlerinde geometriler göz önünde bulundurmuştur. Yüksek kaliteli bir punta oluşturmak için, kaynak süresi, akım şiddeti, elektrot nokta geometrisi ve akım yoğunluğunun kaliteyi artırmak için önemli olduğunu çalışmasında belirtmiştir. Enose, Bnose ve parabolik (ParaCap) tipi elektrot Tasarım süreçlerinde geometriler göz önünde bulundurulmuştur. Akım yoğunluklarının üçü arasındaki değişimi elektrot tiplerine göre değişimleri vurgulanmıştır [13].

Vural ve ark. çalışmalarında kaplanmış çelik sacların nokta kaynaklı bağlantılarının ultrasonik testi ve kaynak parametrelerinin optimizasyonu yayınlanan makalede, kaynak sonrası oluşan kaynak çekirdeği nedenlerini inceleyerek bu çekirdek oluşumunda ki hatalardan bahsetmiştir. Bu hataların oluşmasında ki nedenlerden akım, kaynak süresini ve bu parametreleri etkileyen elektrot temas yüzeyinin geniş olması, küçük olması gibi durumlardan bahsetmiştir [26].

Aydın ve ark. Çalışmasında galvanizli sac ile paslanmaz çeliğin nokta direnç kaynağı ile kaynaklana birliğini incelenmiştir. 5 mikron kaplı elektro kaplamalı galvaniz sac ile 9 mikron kalınlığa sahip sıcak kaplamalı galvanizli sacların kaynak ile birleştirmiştir. Kaynak işleminde akım, süre, basınç ve sıkıştırma süreleri aynı kalacak şekilde belirlenmiştir. Elde edilen numunelerin optik mikroskop görüntüleri, mikro yapı ve kesme sıyırma analiz yöntemleri kullanmıştır. Mikro yapı ve SEM görüntülerine göre kaynak birleştirme bölgesinde çatlakların oluştuğunu gözlemlemiştir. Kaplamalı sacların mikro yapılarının homojen olmamasından mukavemetinin de etkilediği sonucuna varmıştır. Ayrıca çalışmasında galvaniz kaplama kalınlığının mümkün olduğu kadar ince ve elektro kaplama yöntemiyle kaplanmış sacların seçilmesi gerektiğini vurgulamıştır [27].

Marashi ve ark. çalışmaların da farklı düşük karbonlu çeliklerin direnç nokta kaynaklarının hata nedenlerini araştırmıştır. Bu incelemeleri mikroyapısal incelemeler, mikrosertlik testleri ve çekme testi ile gerçekleştirmiştir [28].

Mironovs ve ark. çalışmasında delikli sacları üretiminde perforasyon tipi, deliklerin düzeni, kalınlık, genişlik gibi özellikleri ve boyutlarını bahsetmiştir. 1,2 mm kalınlığa sahip sac için 7 mm elektrot çapı ile elektrik direnç kaynağı yöntemi ile kaynak etmiştir. Delikli saclar için nokta kaynağı ve dikiş kaynağının uygun olduğunu belirtmiştir. Delikli sacların delme işleminden sonra temizlik, korozyon koruması ve yağ gidermek için boyama veya galvanizleme yapılmalıdır [29].

Lin ve ark. çalışmalarında 1,2 mm kalınlıklara sahip kaplanmamış yumuşak çelik numunesi ve farklı kalınlıklarda (tek taraflı 7  $\mu$ m ve 14  $\mu$ m) çinko kaplı sacları 5 ile 12 kA arasında değişkenlik gösteren 8-24 döngü kaynak süreleri değiştirilerek nokta kaynak birleştirmesi yapmıştır. 6 mm çapında kubbe şeklinde uçlara sahip kaynak külçe çaplı elektrot ile gerçekleşmiştir. Kaynaklı numunelere soyulma testleri, çapraz gerilim testleri uygulamıştır. Galvaniz kaplı saclar için kaynak süresi belirlemiştir. Ayrıca ön ısıtmalı yapmış olduğu kaynak numunelerinin mukavemetinin arttığı belirtmiştir [30].

İş, U. çalışmasında farklı kalınlık ve özelliklerdeki bu sacların merkez kaynak kalite normlarına göre punta operasyonunun sorunsuz sağlanması için mevcut kaynak makinelerinin parametre değerleri merkez tarafından belirlenmektedir ve kontrol edilmektedir. Çalışmada kaynak bölgesinde oluşan çekirdek çapına etkisinin düşük olduğu

görülen bazı parametrelerin, diğer parametreler ile etkileşim içerisinde olduğunda kaynak çekirdek çapını etkilediği görülmüştür. Bunun yanında akım, basınç, kaynak zamanı ve dövme parametrelerinin kaynak çekirdek çapına doğrudan etkisi olduğu görülmüştür. Kaynak kalitesi değiştirilmeden punta başına enerji 33,33 Wh'den 23,00 Wh'e indirilmiş ve punta başına 31% enerji kazancı sağlanmıştır. Kaynak yapılacak parçada bir çevrimde atılan 18 punta göz önüne alındığında, bir yılda 260.000 adet araç üretiminde toplam 2 413 €'luk kazanç elde edilmiştir. Ayrıca kaynak yapılacak olan parça da çevrim süresi kazancı da sağlanmıştır [31].

Doruk ve ark. çalışmalarında Otomotiv sektörün de araç geliştirme çalışmalarında malzeme, kaplama ve kalınlık gibi sac özelliğine göre punta kaynak parametre değerleri belirlendiğini vurgulamıştır. Çalışmasında sac kalınlığına göre 1,5 mm'ye kadar olan Z-trode elektrot çeşidini, 0,6 mm ve altındaki saclar ve 1,5 mm ve üzerindeki saclar için N-trode çeşidini seçiminin yapıldığını yer vermiştir. Ayrıca tahribatlı muayene ile nokta kaynak çekirdek çapı ve kaynak bağlantılarının kopma şeklinin kaynak kalitesi hakkında bilgi verdiğini belirtmiştir [32].

Selova L. çalışmasında 0,7 mm kalınlığa sahip araç tabanında kullanılan FEPO5 çeliği ve 2mm kalınlığa sahip ara stil hatlarında kullanılan FE600 DP çelik levhalar kullanmıştır. 0,7 mm özellikli sac arasına 2 mm sacı yerleştirerek kaynak akımı, kaynak süresi ve elektrot kuvveti elektrik direnç nokta kaynağı parametreleri değiştirerek gerçekleştirmiştir. Kaynak akımı, kaynak zamanı ve elektrot kuvveti etkilerinin göstermiştir. Kaynak numunelerinin makro yapı ve mekanik özelliklerine etkilerini göstermiştir. Akım değeri artmasıyla çekirdek çapının küçüldüğünden, DP600 çeliğinin daha fazla erimesine neden olduğunu azalmasında ise her iki özellikli malzemede ITAB bölgelerinde sertlik değerlerinin azaldığını vurgulamıştır. Elektrot baskı kuvvetinin artmasıyla çekirdek çapının azaldığını, kaynak süresinin arttırması belli bir süreden sonra kaynak bölgesinde uzamaların olduğunu belirtmiştir [33].

Belarbi ve ark. çalışmalarında elektrik nokta kaynağı elektrot konumunu değiştirerek kaynak mukavemetine etkisi incelemiştir. 1,5 mm kalınlığa sahip AISI 304 paslanmaz çelik sac kullanmıştır. İki elektrot dikey, üst elektrot 45° eğimli, alt elektrot 45° eğimli ve iki elektrot 45° eğimli olmak üzere dört farklı elektrot konumunun etkisini çekme test sonuçlarına göre karşılaştırmıştır. Dört farklı elektrot konumu ile yapılan numunelerin

analiz sonuçları çok yakın çıkmış ancak en iyi sonuç iki elektrotun dikey olarak konumlanmasıyla elde ettiği sonucuna varmıştır [34].

Kumar ve ark. çalışmalarında SS 304 malzemesinin elektrik direnç kaynağı yöntemi kullanarak kaynak akımı, kaynak süresi, basınç ve tutma süresini optimum değerler belirlemek için 4 farklı değer belirleyerek gerçekleştirmiştir. Kaynak bölgesinin külçe çaplarını ve çekme mukavemetine olan etkisi incelemiştir. Kaynak süresinin arttırılması çekme mukavemetini attırdığını vurgulamıştır [35].

Ungureanu ve ark. çalışmaların da trapez oluklu 1,22 mm sacların DP980 çeliğinin direnç nokta kaynağı ile birleştirme yaparak sertlik, kayma direnci ve yorulma ömrünü analiz etmiştir [36].

Yu. Jiang, çalışmasında 2 mm kalınlığa sahip TC4 titanyum alaşımı ve Q235 yumuşak çelik arasına 0,15 mm kalınlığa sahip Ni-Cu alaşımı ara katmanı ile dirençli nokta kaynağı ile birleştirmiştir. Malzemelerin öz dirençlerinin farklılık göstereceğinden TC4 titanyum alaşımına temas eden 10 mm çapında CuCrZr özellikli elektrot, Q235 yumuşak çeliğe temas eden elektrot ise 8 mm çaplı saf bakır özellikli elektrot kullanmıştır. Kaynak akımı, kaynak süresi ve basınç optimum kaynak parametreleri belirlemiştir. Kaynak numunelerine mikrosertlik, kesme testi ve metalografik muayene uygulamıştır [37].

Morales-Sánchez ve ark. Çalışmalarında yüksek dayanımlı 10-13 µm çinko kaplı (AHSS) CP 1000 çeliğin nokta kaynak ile kaynaklanabilirliği üzerine çalışmalar gerçekleştirmiştir. Cu-Cr-Zr alaşımından yapılmış ve aktif yüzü 6 mm olan B-16 elektrotunu kullanmıştır. Kaynak noktasının geometrisi ve mikro yapısı, kaynak çekirdek çapı, sertlik, kesme mukavemeti ve işlemin verimliliği üzerindeki etkiler incelemiştir. Kaynak akımının arttırılmasıyla çinkonun uzaklaştırmayı iyileştirdiğini vurgulamıştır [38].

Yazar ve ark. Çalışmaların da önce kaynak zamanını sabit tutarak sonrasında akım değeri sabit tutarak 3 er farklı KSR (Akım kontrollü) ve IQR (adaptif) mod seçeneğinde parametrelerle çalışarak emek, zaman ve maliyet minimuma indirmeye çalışmıştır. Çekirdek çapı ölçümü yapılarak akım değeri ve kaynak zamanı değerinin 2 modda çekirdek çapına etkisi incelenmiştir. 1,1 mm kalınlığa sahip FEE 340 F çeliği punta kaynak

ile birleştirmiştir. IQR modda kaynak operasyon süresinin %17, enerji maliyetinde %9 daha avantajlı olduğu belirtmiştir [39].

Sabırlı ve ark. çalışmasında çapaklı ve deformasyonlu kaynak noktalarının olmaması gerektiğini vurgulamış bunun için en uygun parametreleri belirlemek aynı zamanda Taguchi metodu ile en iyi parametrelerinin seçimi yapmak için kullanmıştır. Çalışmasında akım değeri ve süresi, uygulanan basınç, kullanılan elektrotun çapı, malzemesi ve yapısı, elektrot tıraşlama ve değişim zamanı, kaynak noktasının pozisyonu, kaynatılan sacların temizliği elektrik direnç kaynak kalitesini etkileyen faktörler olduğunu vurgulamıştır. Kaynak kalitesini bozulmadan istenilen çekirdek çapları elde ederek yapmış olduğu optimizasyon çalışmasında firmaya 15509 dolar yıllık kazanç sağladığını belirtmiştir [40].

Keleş çalışmasında DP600 çinko kaplı sac malzemenin nokta kaynak ile birleştirmiştir. Kaynak işlemini akımı sabit tutarak farklı süreler belirleyerek gerçekleştirmiştir. Kaynak sonrasında elektrotun boyutsal ölçümünü inceleyip ömrüne etkisini göstermiştir. Ayrıca çalışmasından G Tipi, F tipi ve B tipi elektrot kullanmıştır. Her bir elektrot ile yaptığı 300. Kaynak numunelerinin mikro yapısal analizini gerçekleştirmiştir. G, B ve F tipli elektrotların yüzeyinde çinko ve alüminyum metallerinin biriktiğini ayrıca bu yüzeyde biriken metallerin akım uygulama süresi ile paralel olarak arttığını vurgulamıştır [41].

Akkuş, A, çalışmasında galvanizli ve östenitik paslanmaz saclardan aynı özellikli ve her iki özellikli olmaz üzere 3 farklı sacın birbiriyle nokta kaynak birleştirme gerçekleştirmiştir. Deneyinde 6,5 mm çaplı CuCrZr özellikli elektrot kullanmıştır. Her üç tip malzeme kombinasyonunda farklı kuvvetler uygulamıştır. Galvanizli saclardan oluşan birleştirme işleminde 280 kg ağırlık uygulamıştır. Kaynak akım ayarını 5,5 kA başlayarak 0,5 amper attırarak 13,5 k A gerçekleştirmiştir. Kaynak süresi 15, sıkıştırma süresi 25 ve tutma süresi 20 periyot olarak tüm parçalarda kaynak parametresini kullanmıştır. Elde edilen numunelerin çekme testi, sertlik ölçümü ve çekirdek boyut ölçümü gerçekleştirmiştir. Ayrıca kaynaklı bölgelerin ultrasonik muayene ve kopma bölgelerinin tarayıcı elektron mikroskobu ile incelemiştir. 5,5 kA ve 6 kA gibi düşük akım şiddetlerinde gerçekleştirdiği birleştirme işleminde ısı miktarının düşük olması sebebiyle tam bir erime olmadığını gözlemlemiştir. 10 – 10,5 kA akım şiddetinden itibaren çekirdek çapının aşırı büyümesi dolayısıyla da sac yüzeyinde elektrot izlerin oluştuğu gözlemlemiştir [42].



Demir ve ark. Çalışmaların da Kaynak geometrisine kaynak uç tipinin etkisi tespit etmek, üretimde en iyi geometriye sahip ucu kullanmayı amaçlamıştır. Çalışmasında 1,2 mm kalınlığa sahip galvanizli DP600 çeliğini konik yuvarlak, düz R6 ,düz r3, düz konik olmak üzere 4 farklı elektrot uç geometrisi ile aynı kaynak parametreleri kullanılarak nokta kaynak birleştirme işlemi gerçekleştirmiştir. Elektrot uç tipleri DP 600 özellikli çeliği incelenmiştir. Kaynak çekirdek boyutu arttıkça çekme makaslama dayanımı artacağını vurgulamıştır. En yüksek kaynak çekirdek çap değerleri Düz R3 uçlu elektrotlarda, en düşük değerler ise Düz konik elektrot uçlarda olduğu sonucunu elde etmiştir [43].

Akgül çalışmasında boyları 20 mm, çapı 16 mm ve düğme çapı ise 6 mm olan B-tipi elektrot, F-tipi elektrot, G tipi, elektrot ve A tipi elektrot kullanmıştır. Kaynak parametrelerinin belirlerler iken elektrot tiplerinin ve sac kalınlıklarının önemini ortaya koymak için uygulamada 4 farklı özellikli elektrotlar ile 6 farklı kombinasyon yaparak nokta kaynak birleştirme işlemi gerçekleştirmiştir. Deneysel çalışmasında modelleme ile analiz etmiştir. Benzer özelliklere sahip sac malzemeleri için kullanılan elektrot tipi değişince kaynak akım ve süresinin de değişeceğine çalışmasında vurgulamıştır [44].

Murugan ve ark. çalışmalarında elektrot geometrisinin sıvı metal gevreğine olan etkisini araştırmıştır. Kubbe tipi (RWMA-B) ve yarıçap tipi (RWMA-F) olmak üzere iki tip elektrot kullanılmıştır. 1 mm ve 1,2 mm kalınlığa sahip galvanizli saclar kullanmıştır. Yarıçap tipi elektrotun kubbe uçlu elektroda göre elektrot/temas yüzeyi ara yüzünde daha fazla temas yüzeyi olmasından dolayı kaynak işleminde düşük sıcaklık, düşük gerilme ve daha az çinko bulundurduğundan kaynak çekirdeğinde çatlak oluşumunu azalttığı sonucuna varmıştır. Ek olarak çalışmasında elektrot uç geometrisinin kaynak parametresi olduğu vurgulamıştır [45].

Kinoshita ve ark. çalışmalarında R 25, R 60, R 100 ve R 200 elektrot uçları kullanarak direnç nokta kaynağı gerçekleştirmiştir. Çalışmasında elektrot ile ana malzeme temas yüzeyinin elektrot uç geometrisine bağlı olduğunu bunu tanımlamak için sayısal modellemesini yaparak deneysel kaynak sonuçları ile kıyaslamıştır. Daha sonra elektrot şeklini değiştirerek akım yoğunluğu ve ana malzemenin erimiş halini incelemiştir. Elektrotun ucundaki eğrilik yarıçapı ne kadar küçükse, akım yoğunluğunun arttığını dolayısıyla ısının arttığını vurgulamıştır [46].

Dhawale ve ark. çalışmalarında çok noktalı kaynaklı yapının tasarımındaki sorunu çözmek için çok noktalı kaynağın mukavemeti ile tasarım parametreleri arasındaki ilişkileri elde edilmesi gerektiğini vurgulamıştır. Yan yana çok nokta kaynaklı bindirmeli kesme numunesinin çekme kesme mukavemeti üzerindeki etkisini tartışmıştır [47].

US3356821 numaralı alınan patentte Makine strok başına kaynak sayısını iki katına çıkararak kaynak süresini yarıya kadar düşürecek, yüksek ısı birikimini yenmek için su soğutucu bağlantı parçaları ile birlikte gelen Teeter-Tip çift uçlu adaptörler tasarlamıştır. Bun tasarım ile adaptörlerde toplam 1000 lbs'lik basınçlar ileterek her bir uca eşit akım ve basınç sağlamaktadır [48].



Şekil 2.3 Çok noktalı kaynak-Sallanan uç [48].

1975 yılında yayınlanan US3558848 numaralı patenti ile Trispacer uç tutucu adında elektrot ile bir kerede üç nokta kaynağı yapacak akımı ve basıncı üç uç arasında eşit olarak dağılım sağlamaktadır. Bunu yaparken de çalışma kalınlıkları ve elektrot aşınmasındaki değişimleri 3/16-inç'e kadar telafi edebilecek bir tasarım yapılmıştır [48].



Şekil 2.4 Çok noktalı kaynak -Trispacer uç tutucu [48]

Volkswagen üretim tesisinde çok noktalı kaynak yöntemi kullanılmaktadır. 2018 yılında almış olduğu patentte Mafsallı bir yapıya çoklu nokta kaynağı yapısı robotlara entegre edilmiştir [49].

Aynı anda birden çok noktadan punta kaynak işlemi yapan 3 farklı tipte punta kaynak makineleri bulunmaktadır. Bu makineler basınç kontrollü çoklu kaynak makineleri, anahtar kontrollü çoklu kaynak makinesi, Çoklu transformatörlü tip nokta kaynak makineleri ve Özel elektrot tipli çoklu nokta kaynağıdır. Basınç kontrollü çoklu kaynak makinesinde her bir tabanca birbirinden ayrı çalışır ve sadece iş parçası ile temas eden akım taşımaktadır. Anahtar kontrollü çoklu kaynak makinesinde ise; tabancalar ortak valfe bağlanır tüm tabancalar aynı anda basınç uygular. Elektriksel olarak aynı her bir tabanca kontrol anahtarı ile kaynak akımı bir seferde akımı tabanca ile beslenmektedir. Çoklu transformatörlü tipli makinelerde aynı anda basınç uygulanmaktadır ve farklı transformatöre bağlanarak aynı anda kaynak yapılmaktadır. Karışık bir devre yapısı bulunmaktadır. Çoklu elektrot kaynak sistemlerinde genel olarak sabitlenmiş birden çok elektrot ile yapılmaktadır. Bu tarz çok noktalı özel elektrot tiplerinde akımı uçlara eşit olarak bölünerek eşit basınçla yapılmaktadır [50].

Korkut, E Çalışmasında paralel olmayan parçaların yüzeylerinde meydana gelen kuvveti dengeli dağıtan ve denge pozisyonuna geldiğinde kaynak işlemi yapan iki uçlu, soğutlamalı Şekil 2.5'te yer alan elektrot tasarımı gerçekleştirmiştir. Elektrot malzemesi olarak CuCrZr tip Bakır-Krom-Zirkonyum alaşım malzeme kullanmıştır. Kaynak süresi

sabit kalarak çok noktalı elektrotta akım ve basıncı tek noktalı elektroda göre iki katına çıkararak aynı çekirdek çapı ve elde etmiş olduğunu gözlemlenmiştir [50].



Şekil 2.5. Tasarımı yapılan çoklu nokta elektrotu

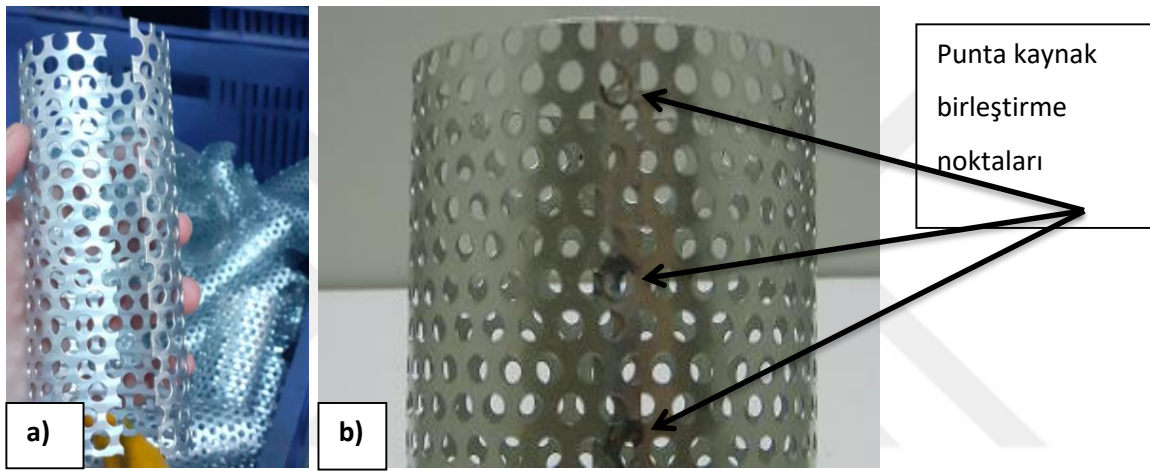
## 2.2. Filtre imalatında Punta(Nokta) Kaynağı

Filtrenin yarımamülü olan iç-dış kılıflar ve alt kapaklarında bulunan bay-pass valfi punta kaynağı ile birleştirilmektedir.

İç destek elemanlarının görevi filtrenin süzücü elemanının mukavemetini arttırmak, büzülmesini engellemek için kullanılmaktadır. Üzerindeki delikler sayesinde yağ akışını engellemez. Delik çapları filtrenin kullanım alanına göre değişkenlik gösterir [10,51]. Ayrıca bazı filtrelerinde iç destek elemanı gibi süzücü kağıdın dış taraftan destekleyen dış destek elemanı da bulunmaktadır.

Filtre yarı mamülü olan iç-dış destek elemanlarının birleştirme işlemlerinde yaygın olarak punta kaynak yöntemi kullanılmaktadır. İç-dış destek elemanlarında kullanılan metaller ve delikler, filtrenin çalışma ortamına göre farklılık gösterir. 0,3, 0,40, 0,50, 0,70 mm ve 1 mm kalınlığa sahip kaplamalı yani GZR (çinko alaşımı) ve kaplamasız CCR kaliteye

sahip özellikte saclar kullanılmaktadır. Rulo halinde gelen saclar öncelikle sac plakalar haline getirilir ve yüzeyi delikli form verilir. Delik form verilen sac plakalar filtre boyuna kesilir ve bükme makinelerinde silindir form verilir. Silindir form verilen parçalar ise punta kaynak işlemi ile birleştirme işlemi yapılır. Şekil 2.6 de kaynak işlemi yapılacak delikli sac ve punta kaynak işlemi yapıldıktan sonra resmi görülmektedir. Filtre kılıf boyları değişkenlik göstermekte olup kılıf boyuna göre nokta sayısı artmaktadır. Bu nedenle iş yükü fazla ve seri üretim gibi üretim parametreleri açısından olumsuzluk yaratmaktadır.

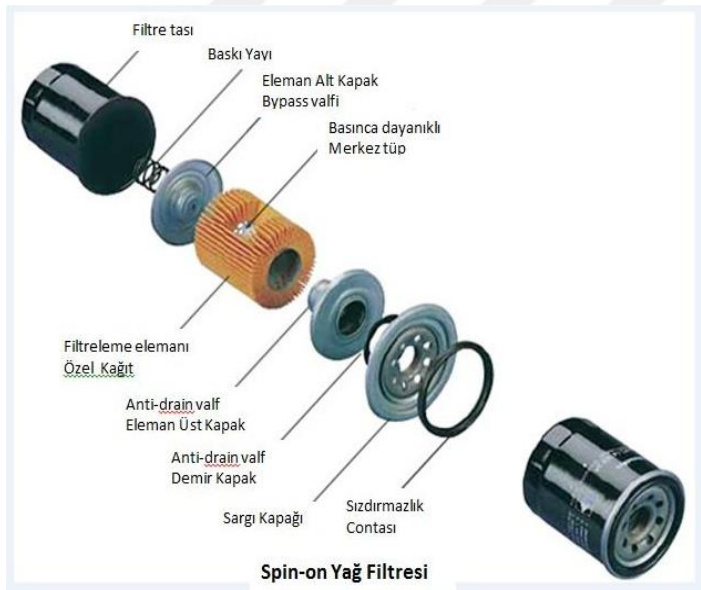


Şekil 2.6 a) Kaynak işlemi yapılacak delikli sac b) Punta kaynak işlemi yapılmış delikli sac

Genel olarak filtreler maksimum 30 bar basınç uygulanarak test edilmektedir dolayısıyla tüm yarımamül ve malzemelerin bu basınç karşısında mukavim olması beklenmektedir.

### 3. FİLTRE SEKTÖRÜNDE KULLANILAN SAC MALZEMELER ve ENDÜSTRİDE UYGULAMA ALANLARI

Filtre temasta bulunduğu akışkanın (hava, yağ, yakıt, su v.b. )içinde bulunan katı partikülleri süzerek ortama temiz akışkanın vermesini sağlayan gözenekli elemanlardır. DOĞAKA'nın yapmış olduğu Hatay filtre sektör analizi raporunda Şekil 3.1'de belirttiği gibi Spin-on Tip Yağ, Spin-on tip Yakıt Filtresi, Ağır İş ve Kamyon Hava Filtresi olmak üzere 3 ürün temsil etmektedir. Yağ ve yakıt filtrelerinin genel olarak metal kovanlı yani dış kısmı metal olan spin-on filtrelerdir. Spin-on filtrelere aynı zamanda atom filtre ve vida dişli filtre olarak isimlendirilmektedir. Yağ ve yakıt filtrelerinin metal kovansız yani filtre kutusu araç üzerinde olan sadece filtre elemanı değişen spinon filtreye oranla metal oranı az olan veya metalsiz(ekolojik filtre) eleman tipli çeşitleri bulunmaktadır [52].



Şekil 3.1 Filtre görseli [53]

Hava filtreleri ise hava da bulunan toz, polen, kum v.b. kirleri ayırarak filtreleme işlemi yapmaktadır. Hava filtresi ve kabin filtresi olarak isimlendirilmektedir [52].

Filtre imalatında CCR sac olarak isimlendirilen soğuk haddelenmiş sürekli tavlama yapılmış rulo sac ve GZR sac yani soğuk haddelenmiş çinko kaplı galvanize çelikler kullanılmaktadır. Tabaka ve rulo sac olarak alımı ambalajlı olarak alımı yapılmaktadır. Saclar; genel olarak sac kesme, diş açma, derin çekme gibi metal işleme yapılmakta olup imalatını kendi bünyesinde yapılmaktadır [54].



Şekil 3.2 Kullanılan malzeme çeşidine göre filtre ürün grupları [55]

### 3.1. CCR Saclar

CCR sac soğuk haddelenmiş sürekli tavlanmış saclardır. Soğuk haddelenmiş çeliklerin geniş bir kimyasal bileşime sahiptir. Genel olarak otomobil gövdesinde, dayanıklı ev aletlerinde, radyatör ve havalandırma ekipmanlarının imalatında, mukavemet, tokluk ve süneklik istenildiği uygulamalarda kullanılmaktadır. Şekillendirme işleminin ve iyi kaynaklanabilirlik ve derin çekme işlemi özelliğine sahiptir. Özellikle düşük karbonlu ve mikrolaşımlandırma yöntemi ile üretilen ürünlerin yüksek mukavemetli düşük alaşımli çelik kalitelerinin otomotiv ve yan sanayisinde kullanılmaktadır [54,56].

Soğuk haddelenmiş çelik saclar ve şeritler kalite olarak ticari kalite, derin çekme kalitesi, ekstra derin çekme kalite, özel söndürülmüş ve yapısal kaliteyi içermektedir. Filtre sektöründe 6112, 6114, 7114, 7124, 7316 gibi kalite saclar kullanılmaktadır. Örneğin 6112 Sac çekme işlemine uygun genel uygulaması bulunmaktadır. 7316 kalite EN 10130:2006 standarda sahip sac, ekstra derin çekme işlemine uygun, çok düşük karbonlu, otomotiv endüstrisine yönelik, soğuk haddelenmiş çelikler olarak bilinmektedir. Ayrıca punta kaynağına uygun olduğu Erdemir 2017 kataloğunda belirtilmektedir.

Düşük karbonlu çelikler % 0.25 oranında karbon bulunduran çeliklerdir. Yumuşak ve çok yumuşak olmak üzere çeşitleri bulunur. Çok Yumuşak çeliklerin %0.7-0.15 arasındaki oranlarda karbon içerir. Yumuşak çelikler ise %0.15-0.25 arasındaki oranlarda karbon içerirler. Kaynak edilebilme özelliği oldukça iyidir [57-59]. CCR saclar yağ, yakıt ve hava filtre yarımamüllerinin demir kapak, alt üst kapak, iç kılıf dış kılıf ve tas kutu üretiminde farklı kalınlıklarda ve kalitede kullanılmaktadır. Proje konusu olan iç kılıf ve dış kılıfların üretiminde 0,30 mm -4,00 mm aralığında kalınlıklara sahip 6112,6224 ve 7316 sac kullanılmaktadır.

### 3.2.GZR Saclar

GZR Sac, soğuk haddelenmiş metalin sıcak daldırma prosesi ile iki tarafı çinko kaplı çeliklerdir. Kaplamalı çeliklerin korozyona karşı dirençlidir. Sıcak daldırma ile çinko kaplama yöntemleri bulunmaktadır. Yığın yönteminde parçalar tek tek daldırılarak istenilen kalınlığa göre kaplanır. Sürekli yöntemde ise birbirine kaynak ile bağlanarak şeritler halinde belli hızda kaplanmaktadır. Sürekli galvanizleme ile üretilen düşük



karbonlu çelik saclar geniş bir aralıkta mekanik özelliklere sahiptir. Galvanizli çelikler derin çekme ve bükme işlemine uygun, kaynaklanabilirliği oldukça iyi olan özelliktedir. Günümüzde çoğu otomobil üreticileri hem iç yüzey hemde dış yüzey parça üretimlerinde kullanmaktadır. Filtre sektöründe 1311, 1313, 1314, 1315 kalitede galvanizli çelikler kullanılmaktadır [54,56].

Çinko, galvaniz, alüminyum veya kalay kaplanmış çelikler, nokta direnç kaynağı ile birleştirilmektedir. Kaplanmış çeliklerin kaynağında, diğer çeliklere göre akım, kaynak akımı ve zamanı yüksek tutulmaktadır. Kaynak işleminde kaynak kaplamın uzaklaştırılması gerekir uzaklaştırılmadığı takdirde zayıf bir bağlantı oluşturabilmektedir. Kaplama tabakasından kaynaklı elektrotlara zarar verir dolayısıyla elektrot ömrü azalır [1,5-6].

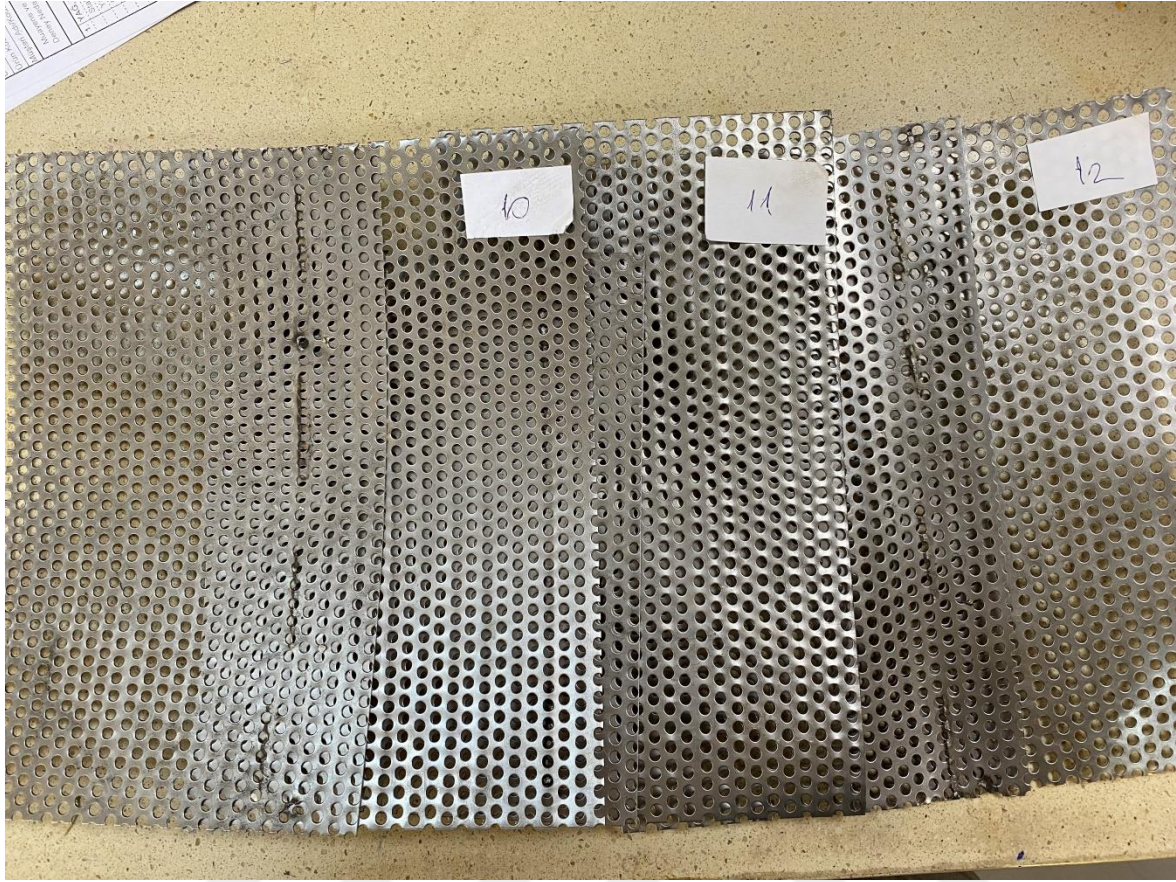
Filtre imalatında GZR saclarda oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Filtrenin yarımamülü olan kutu, sac kapak, demir kapak, alt-üst kapak, iç ve dış kılıflarda farklı kalite ve kalınlıklarda kullanılmaktadır. Genel olarak alt –üst kapaklarda, iç- dış kılıflarda 1311,1315 kaliteli saclar kullanılırken iç kılıflar kullanılırken, sac kapak ve tas kutularda 1315 kalite sac kullanılmaktadır.

## **4. MATERYAL ve YÖNTEM**

Bu tez kapsamında Otomotiv yağ/yakıt/hava filtrelerinin üretiminde kullanılan malzeme ve bu malzemelerin birleştirilmesi sırasında kullanılan kaynak yöntemlerine ait teorik bilgiler verilmiştir.

### **4.1. Materyal**

Çalışmada filtre kılıf üretiminde kullanılan GZR 1315 kalite kaplamalı sac ile ve CCR 7316 kaliteye sahip delikli sac kullanılmıştır. Aynı zamanda düz sacların performansını test edebilmek için GZR 1315 ve CCR 7316 düz saclar da kullanılmıştır. Kullanılan sacların kimyasal özellikleri Çizelge 4.1’de sunulmuştur. 0,70 mm kalınlığa sahip 3 mm çaplı delikli ve düz (deliksiz) olmak üzere saclar birleştirme işleminde kullanılmak için hazırlanmıştır. Bu kapsamda Şekil 4.1’de yer alan 200x100 mm boyutlarında parçalar kesilmiş olup punta kaynak parametreleri belirlenmiştir.



Şekil 4.1 Numune Görselleri

Çizelge 4.1 Kullanılan sacların kimyasal özellikleri [60]

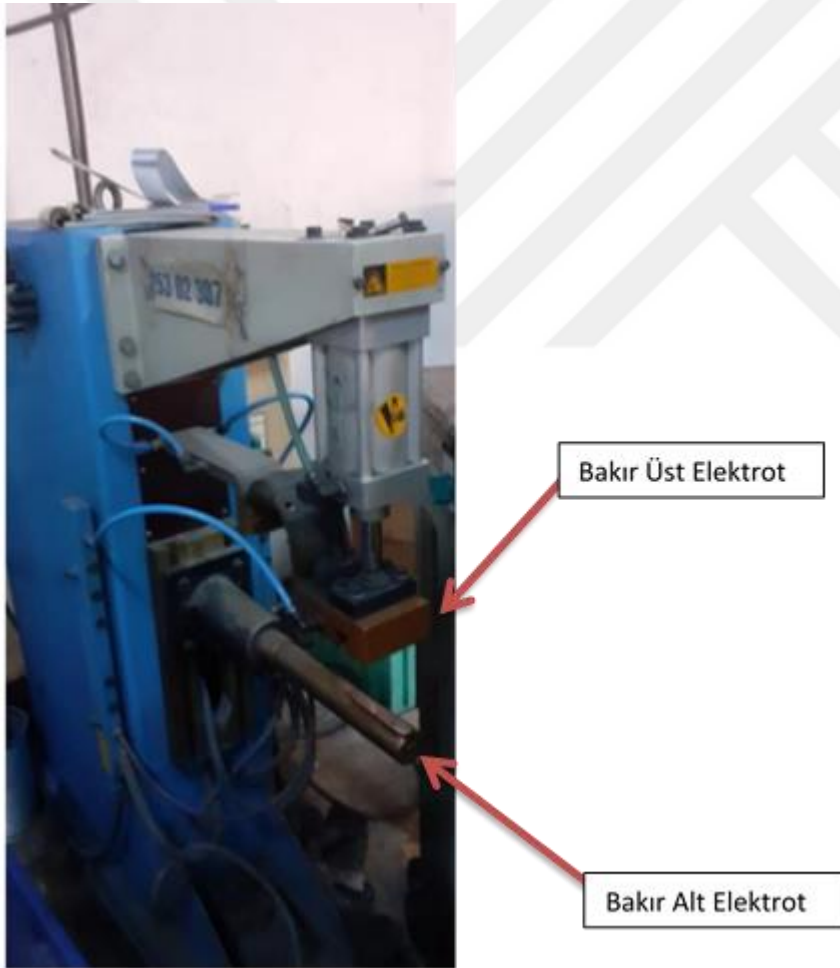
Kaplama Tipi	Üretim Standartı	Kaplama Kalınlığı (gr/m <sup>2</sup> )	KİMYASAL BİLEŞİMİ								
			C %	MN %	P %	S %	SI %	AL %	TI %	Cr %	Ni %
CCR	EN 10130- 2006 DC06	-	0.002	0.109	0.013	0.009	0.006	0.054	0.057	-	-
GZR	DX 56D+Z100B	101	0.002	0.14	0.013	0.008	0.003	0.049	0.045	0.033	0.028

## 4.2.Yöntem

Bu bölümde tez çalışması kapsamında nokta kaynak birleştirme işleminde kullanılan baskı çenelerine, kaynak parametrelerine ve çalışma kapsamında kullanılan test ve analiz yöntemlerine yer verilmiştir.

#### 4.2.1. Nokta kaynak birleştirme işlemi

Tez çalışmasının deneysel uygulamaları Şampiyon Filtre A.Ş bünyesinde bulunan punta kaynak makinasında gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.2’de görseli bulunan punta kaynak makinası; Yerli üretim olan SAĞLAM Makine 30 KVA/400 V-50/60 Hz trafo gücüne sahip 11000 A maksimum akım değerine sahip, akım değeri ayarlanabilen dijital kontrol panolu punta kaynak makinasıdır. Cihaz mikroişlemci kontrollü, tümüyle dijital yapıya sahiptir. LCD ekrana sahip olan sistem, elektronik termometresi ile ölçülen sıcaklığı göstermektedir ve punta makinasına pedal ile start verilmektedir. Sıcaklık kontrolü temassız termometre ile kontrol edilerek gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.2 Punta Kaynak Makinası

Program ayarında inme zamanı, sıkma zamanı, ön kaynak zamanı, ön kaynak akımı, ön kaynak soğutma 1, yüksek zamanı (isteğe bağlı), kaynak zamanı, kaynak akımı, soğutma 2

(isteğe bağlı), pals (isteğe bağlı), son kaynak zamanı (isteğe bağlı), son kaynak akımı (isteğe bağlıdır), düşme zamanı, tutma zamanı (isteğe bağlı), ayrılma zamanı (isteğe bağlıdır), kaynak kuvveti gibi parametreler bulunmaktadır. Çalışmada Kaynak zamanı (saykıl), Kaynak Akımı (kA), pals, Tutma zamanı (saykıl), Basınç(Bar) parametreleri değişken olarak kullanılmış, diğer parametreler ise sabit tutulmuştur.

#### 4.2.2. Kaynak baskı çene tasarımı ve kullanılan baskı çeneleri

Elektrot geometrisi kaynak çekirdeğini doğrudan etkilemektedir [13,26]. Direnç nokta kaynağında sac malzemenin kalınlığına (t) bağlı olarak oluşan çekirdek çapı (Nçap) hesaplanır [61]. Elektrot ucu çok küçük olursa kaynaklar zayıf olur ve yüzey basıncından dolayı sac levhalarda çöküntü olabilir. Elektrot ucunun fazla olması çok yüksek temas direnci meydana getirebilir. Bu nedenle seçilecek elektrot ucu sac ile ilişkilendirilmiş ve teorik ve deneysel olarak saptanmıştır.

$$Nçap = 5 * \sqrt{t} \quad (4.1)$$

Çalışmada 3 farklı geometriye sahip üst elektrot değiştirerek kaynak birleştirme işlemi yapılmıştır. Bu elektrotlar; geleneksel olarak kullanılan konik uca sahip nokta elektrot, diğeri makine ile tedarik edilen dikdörtgenel yüzeye sahip karesel elektrot ve tez kapsamında tasarlanan çok noktalı tarak kaynak elektrot (Tek vuruşta Dört noktadan kaynak edebilen) kullanılarak yapılmıştır. Çok noktalı Tarak elektrot olarak isimlendirilen elektrot kaynak işlemini hızlandıracak dolayısıyla işçilik maliyetini azaltmak için tasarım yapılmıştır. Tasarım; çalışma yapılan makinenin alt çene genişliği ve makine gücü baz alınarak gerçekleştirilmiştir. Tasarımı yapılan elektrotun malzeme seçimi yapılırken; elektriksel ve ısı iletkenliğin iyi olması, sıcaklıkta sertlik özelliğinin iyi olması, darbelere dayanıklılığının ve yumuşama sıcaklığının yüksek olmasından dolayı Çizelge 4.2’de özellikleri yer alan yapılan Cupro CB kodlu bakır alaşımı kullanılmıştır [1]. Tasarımı yapılan üst elektrot torna tezgâhında işlenmiştir. Makinede bulunan alt elektrot ise üst elektrot ile temassızlık olmaması için yüzey taşlama işlemi uygulanmıştır.



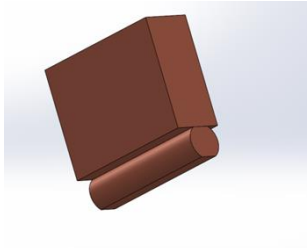



Çizelge 4.2 Elektrot malzemelerinin özellikleri [1]

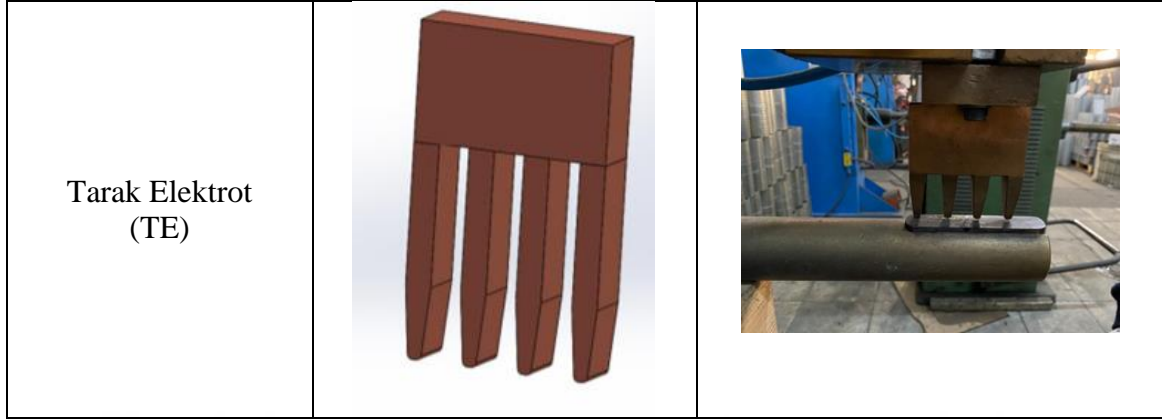
Alaşım	Sertlik HB (20/2,5)(20°C)	Sıcaklık Sertlik HB(10/2,5- 400°C)	Çekme Dayanımı	Elektriksel iletkenlik(20°C'de m/Ωmm <sup>2</sup> )
Cu/Co/Be(Cupro CB)	210-250	170	690-785	25-29

Yapılan çalışmada geleneksel konik uç nokta elektrotu NE, dikdörtgenel yüzeye sahip elektrot yani karesel elektrotu KE, Çok noktalı tarak elektrotu ise TE olarak kısaltılmıştır. Çizelge 4.3’de kullanılan elektrotların görselleri yer almaktadır.

Çizelge 4.3. Kullanılan elektrot resimleri

Elektrot Adı	Sanal Görüntü	Gerçek Görüntü
Nokta Elektrot (NE)		
Karesel Şekilli (KE)		

Çizelge 4.3. (Devamı) Kullanılan elektrot resimleri



### 4.2.3. Kaynak parametrelerinin belirlenmesi

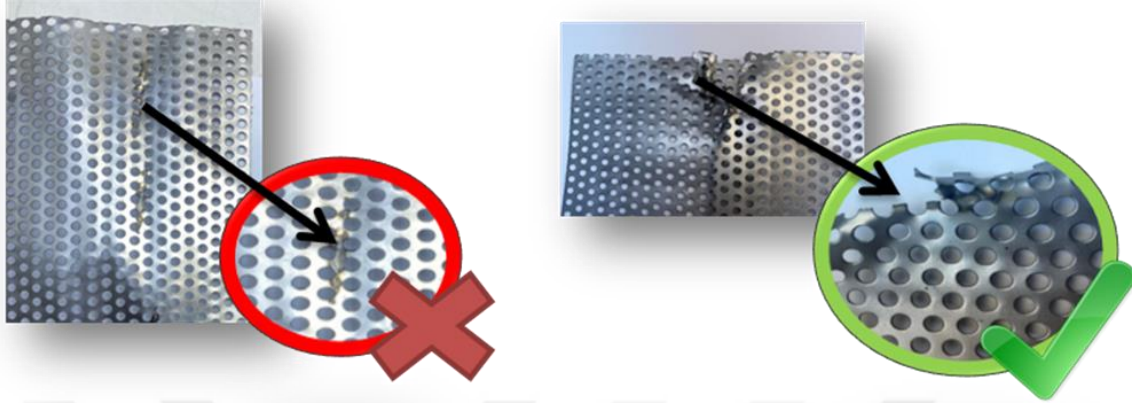
Kaynak parametresi belirlenirken en düşük kaynak akımı 3,3 kA'den en yüksek 10,9 kA'e kadar kaynak akımı arttırılarak belirlenmiştir. Belirlenen kaynak akımı üç farklı elektrot her bir akım değer aralığı arttırılarak gerçekleştirilmiştir. Buna göre Çizelge 4.4'te bulunan kaynak parametreleri belirlenmiştir.

Çizelge 4.4. Kaynak parametreleri

Numune Adı	Sac kalınlığı (mm)	Kaynak zamanı	Kaynak Akımı (kA)	Tutma zamanı	Basınç(Bar)
NE CCR	0,7	5	6,00	4	2,0
NE GZR	0,7	5	6,50	4	2,0
KE CCR	0,7	5	9,35	4	3,5
KE GZR	0,7	5	9,35	4	3,5
TE CCR	0,7	5	9,35	4	3,5
TE GZR	0,7	5	9,35	4	3,5

Kaynak çekirdeğinin oluşup oluşmadığı ayrılma testleri ile kontrol edilmiştir. Ayrılma testleri çekirdeğin silindirik yüzünde (eriyerek birleşen alan) olan, bir sacda çıkıntı, diğerinde ise delik oluşturulmasına bağlı olarak yorumlanmaktadır [62]. Kaynak parçaları kaynak noktalarından ayırma yaparak, kaynak yüzeyinde parçanın kopup kopmadığına bakılmaktadır. Şekil 4.3'te kaynak edilen parçaların kaynak işlemi oluşup oluşmadığı ayrılma yöntemiyle kontrol öncesi ve sonrası yer almaktadır. Kaynak edilen her bir

numune parametresinde ayırma yöntemi uygulanmış olup her üç elektrot için akım değeri bu şekilde belirlenmiştir.

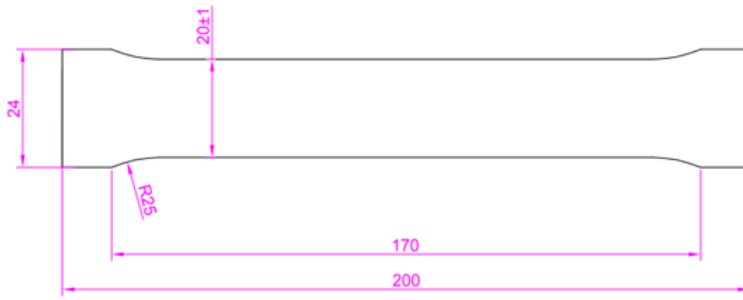
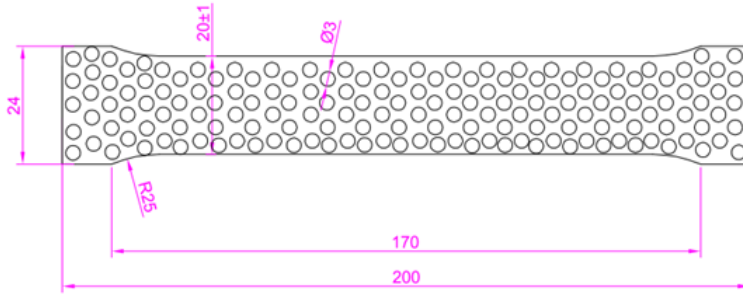


Şekil 4.3 a) Ayırma testi başarısız b) Ayırma testi başarılı

#### 4.2.4. Çekme analizi

Çekme analizi, çekme gerilmesi altında deformasyon davranışını belirlemek için yapılan mekanik testtir. ISO 6892-1 standartlarına uygun çekme testine yapılmıştır. Test numunesi TS 287 EN/ Nisan 1996 Standardında yer alan Şekil 4.4'te yer alan plakalar için hazırlanmıştır. İskenderun Teknik Üniversitesi Bilim ve Teknoloji ve Araştırma Merkezi Laboratuvarında bulunan INSTRON/5969 Marka/Model çekme-basma cihazı ile gerçekleştirilmiş olup punta kaynaklı testlerin mekanik test sonuçlarını belirlemek için analiz gerçekleştirilmiştir. Kullanılan çekme test cihazı 100 N-50 kN kapasiteli ISO 7500-1 standart sınıfında 0,5 hassasiyetli, BluHill Universal genel aplikasyon modülü (global test standartları içerir), Şekil 4.5'te Kaynak edilen numuneler test edildikten sonra kopma yükü ve uzama verileri kaydedilmiştir. Her numune 5'er adet çekme analizi yapılmış olup NE CCR Delikli, NE GZR Delikli, TE CCR Delikli, TE GZR Delikli, NE CCR Düz, NE GZR Düz, KE CCR Düz, KE GZR Düz, TE CCR Düz, TE GZR Düz numunenin ortalama kayma dayanımı hesaplanmıştır.





Şekil 4.4 Düz ve Delikli Sac levhalar Nokta direnç kaynak numunesi



Şekil 4.5 Düz ve Delikli Nokta direnç kaynak kaynaklı çekme test numunesi

$$\tau = \frac{F_{\text{maksimum}}}{A} \quad (4.2)$$

Eşitlik 4.2 kullanılarak kayma gerilmeleri hesaplanmıştır. Eşitlik 4.2’de  $F$  (kN) kopma yükünü ifade etmektedir.  $A$  ( $m^2$ ) ise kaynak alanını ifade etmektedir. Bknz Şekil 4.5 test numunesinin kaynak alanını hesaplanırken kaynak bölgesinde yer alan delik çaplarının çıkarılmasına dikkat edilmelidir.



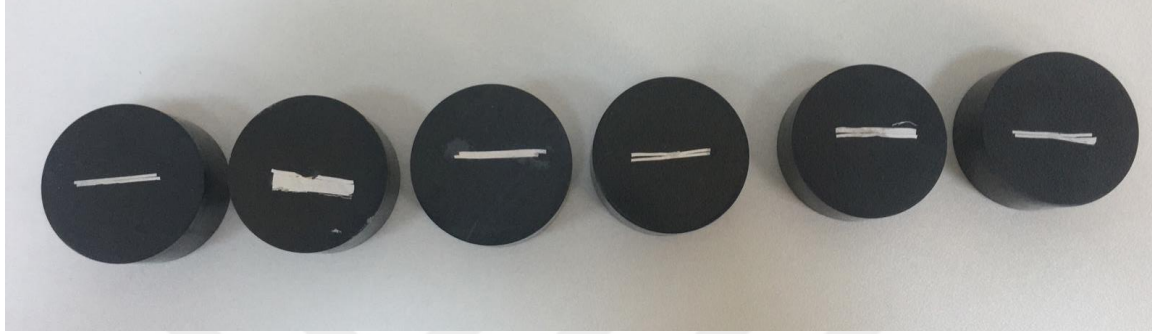
Şekil 4.6 Numunelere uygulana çekme testi

#### 4.2.5. Metalografik analizi

3 farklı elektrot ile yapılan kaplamalı ve kaplamasız toplamda 6 farklı numune metalografik incelemeler için hazırlanmıştır. İlk olarak standart metalografik usullere göre zımparalama, parlatma, dağlama işlemi yapılmıştır. Metalografik incelemeler için kaynak bölgesine dik olarak hassas kesim yapılmış sonrasında Metkon Ecopress 100 özellikli cihazda sıcak bakalit kaplama işlemi ile kaplanmıştır. Bakalite alınan numuneler Metkon marka manuel cihazda sırasıyla kabadan hassasa doğru seri bir şekilde 240-400-600-800-1000-1200# numaralı zımparalarla zımparalama işlemi yapılmıştır. Zımparala işleminden sonra yüzey saf su ve metanolden geçirilmiştir. Sırası ile  $6\mu$ ,  $3\mu$ ,  $1\mu$ ’luk elmas solüsyon ve keçelerle çizik kalmayacak şekilde parlatma işlemi gerçekleştirilmiştir. Parlatma işlemi

tamamlanan numuneler, çelik olması sebebiyle birleşim bölgesinin incelenebilmesi amacıyla %2 nital çözeltisi kullanılarak (%2 Nitrik asit +%98 Etanol) dağlanmıştır.

Mikroyapı incelemeleri için bakalite alınmış numunelere ait görünüm Şekil 4.7’de verilmiştir.

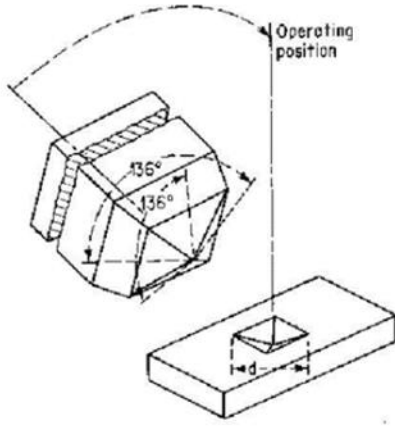


Şekil 4.7. Bakalite alınan numuneler soldan sağa sırası ile KE CCR, TE CCR, KE GZR, TE CCR, NE GZR, NE CCR

Dağlama işleminden sonra numunelerin mikroyapı incelemeleri için Toupcam LCMOS 14000kpa özellikli optik mikroskop kullanılarak incelenmiştir. Bakalite alınan kaynak kesitlerinin 100x ve 400x büyütme yapılarak incelenmiştir.

#### 4.2.6. Sertlik ölçme analizi

Sertlik ölçme yöntemi malzeme mekanik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan bir yöntemdir. Brinell, Rockwell, Vickers v.b. sertlik ölçme yöntemleri genel olarak kullanılmaktadır. Sertlik ölçme yöntemlerinden vickers mikro sertlik ölçme yöntemi kaynak birleştirmelerinde tercih edilmektedir [63-65]. 1 kg üzeri yükler ile uygulanan makro vickers, 30 g ile 1 kg arası yükler ile uygulanan mikro vickers ve 30 g’den daha az yükler ile uygulanan nanovickers olarak tanımlanır. Bu sebeple çalışmada mikrosertlik yöntemi kullanılmıştır. Vickers sertlik ölçme yönteminde parçanın yüzeyinde belirli yük altında Şekil 4.8’deki gibi bastırılan ucun oluşturduğu izin ölçülmesiyle hesaplanmaktadır. Vickers sertlik değeri kg olarak ifade edilen deney yükünün  $\text{mm}^2$  olarak ifade edilen iz alanına bölümüyle hesaplanmakta olup HV olarak gösterilmektedir.



Şekil 4.8. Elmas-piramit vickers ucu

$$VSD = \frac{1,8544P}{d^2} \quad (4.3)$$

Buradaki P parçaya etki eden kuvvet, d taban köşegen uzunluğu olup milimetre değeridir [66]. Sertlik değeri Eşitlik 4.3'teki formül ile hesaplanmaktadır. Bakalite alınan numunelerden mikroyapı incelemeleri yapıldıktan sonra aynı numunelere mikrosertlik testi uygulanmıştır. Bu test işlemi vickers metodu 1 kg uygulanarak Universal Otomatik Sertlik Cihazı ile gerçekleştirilmiştir.

## 5. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

### 5.1.Çekme Analizi Sonuçları

Çizelge 5.1 de kayma gerilmesi hesaplanarak çizelge halinde verilmiştir. Sonuçlardan da görüleceği üzere yapılan kaynakların verimliliği bir biri ile benzer olup, farklılık düz ve delikli saclarda ayırım görül ektedir. Nokta şekilli (NE) ve Tarak şekilli(TE) kaynak ucunda küçük mertebelerde bir kayma gerilmesi olduğu belirlenmiştir. Burada çekme işlemi sırasında hemen hemen bütün testlerin ana malzemeden değil de kaynak bölgesinden koptuğu ve bu tür ürünlerde yeterli seviyelerde dayanım elde edildiği belirlenmiştir. Sadece KE CCR Delikli ve KE GZR Delikli malzemelerde ana malzemeden koptuğu ve buda delikli türde sacların KE türünde bir kaynak ucu ile çok iyi verim alındığı söylenebilir.

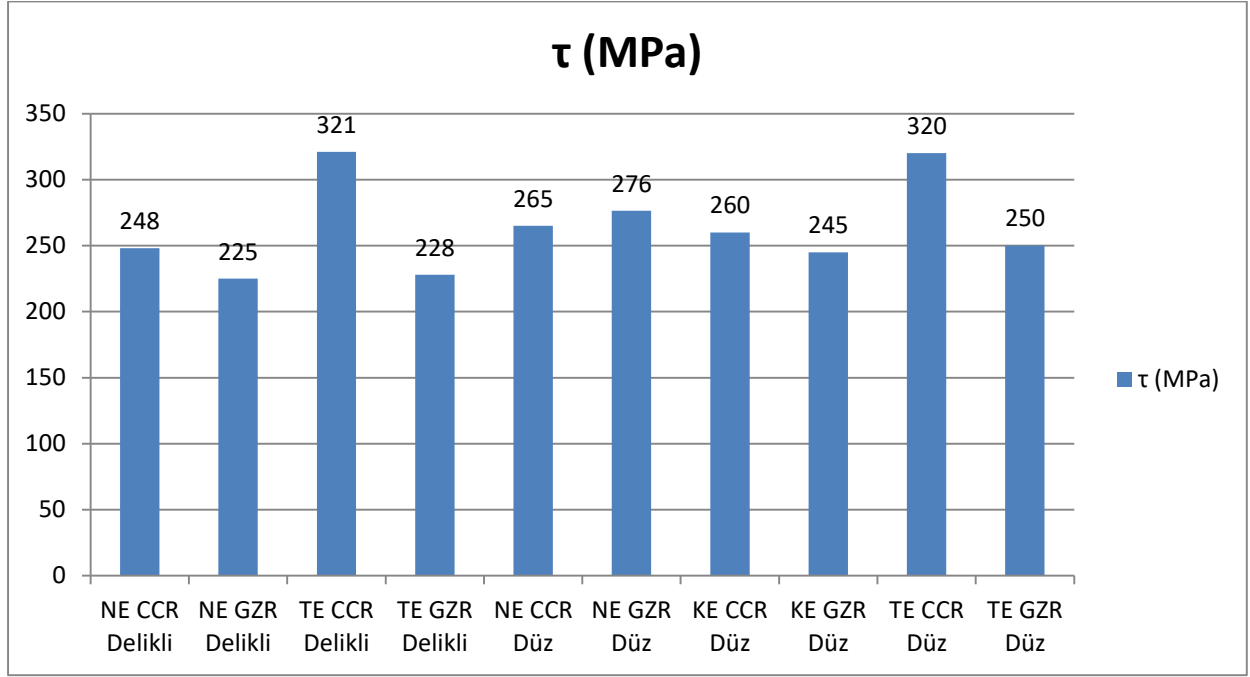
Çizelge 5.1. Kayma gerilmesi sonuçları

Numune Adı	Ortalama Kayma Gerilmesi $\tau$ (MPa)	Ortalama Çekme Kuvveti F(kN)
NE CCR Delikli	248	0,000779
NE GZR Delikli	225	0,000706
TE CCR Delikli	321	0,001008
TE GZR Delikli	228	0,000716
NE CCR Düz	265	0,001872
NE GZR Düz	276	0,001953
KE CCR Düz	260	0,026000
KE GZR Düz	245	0,024500
TE CCR Düz	320	0,006280
TE GZR Düz	250	0,004906

KE CCR Delikli, KE GZR Delikli numunelerin çekme testi sonucunda ana malzemeden kopması sebebinden hesaplanan çekme gerilme sonuçları Çizelge 5.2’de yer verilmiştir.

Çizelge 5.2. Çekme Gerilmesi Sonuçları

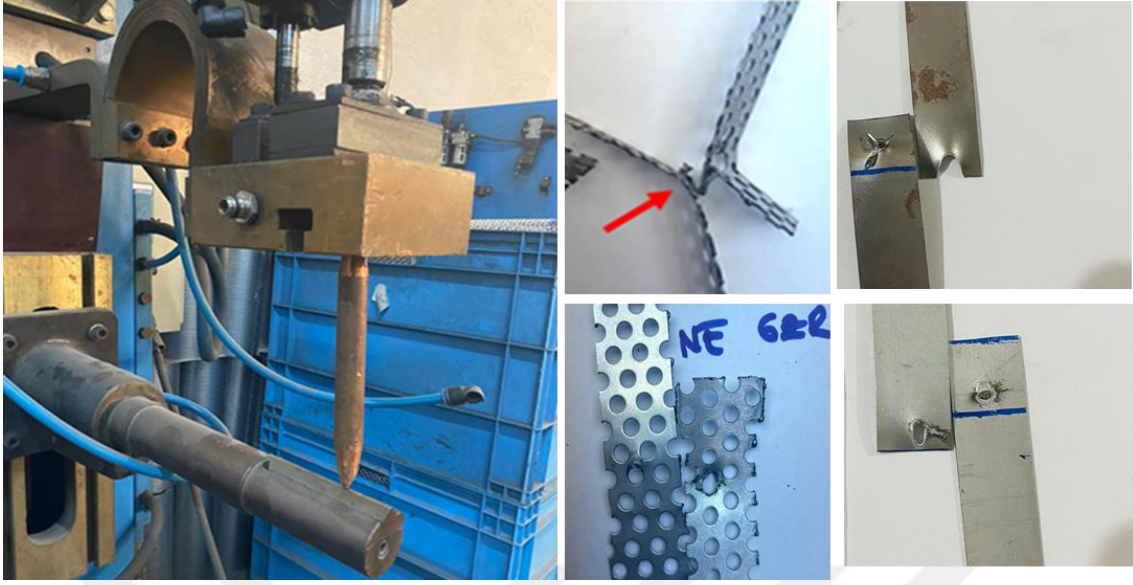
Numune Adı	$\sigma$ (Mpa)	Ortalama Çekme Kuvveti (kN)
KE CCR Delikli	241	0,001605
KE GZR Delikli	224	0,001488



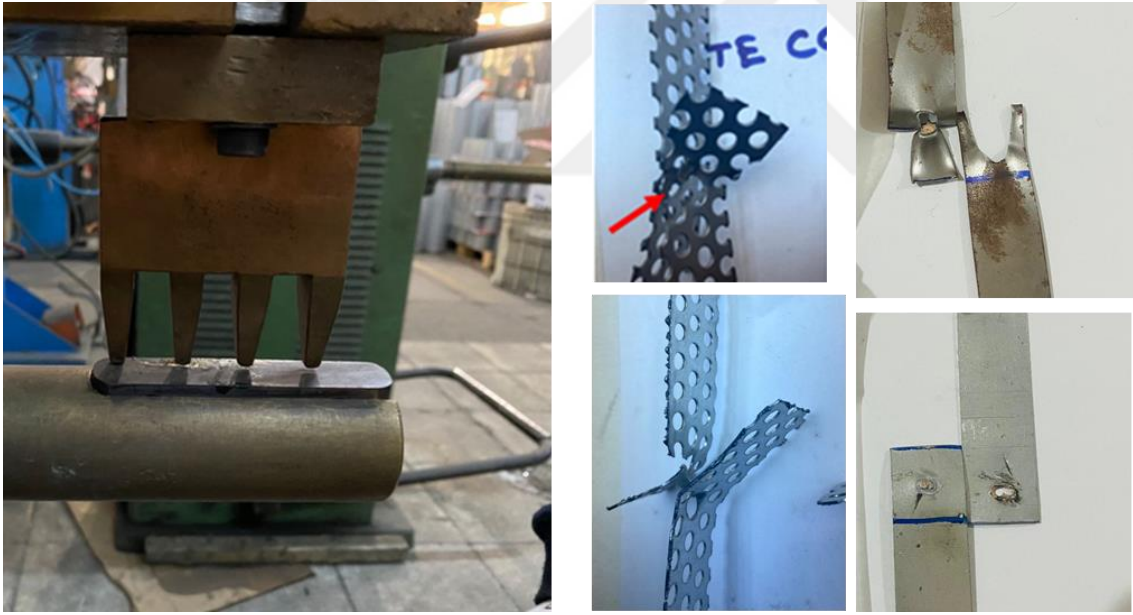
Şekil 5.1 Kayma gerilmesi sonuç grafiği

Çalışmada CCR 7316 kaliteli sac malzeme akma dayanımı 180 MPa, çekme dayanımı ise 270-330 MPa arasındadır. GZR 1315 kaliteli saca ise akma dayanımı 120-180 MPa arasında değişim gösterirken çekme dayanımı ise 260-350 MPa değeri arasında mekanik özelliğe sahiptir [48]. Yapılan testlerde dikkatlice incelendiğinde sac malzemedeki kopmaların dışında yeteri kadar kaynak dayanımı elde edildiğini ispatladığı söylenebilir. Şekil 5.2’de nokta şekilli uc ile kaynatılmış kaplamasız sacın test sonrası deformasyon şekli görülmektedir. Yırtılmanın (plastik deformasyonun) kaynak ITAB bölgesinin çevresinden gerçekleştiği görülmektedir. Buda kaynak veriminin ve kaynaklanabilirliğinin sağlandığını göstermiştir. Aynı şekilde Şekil 5.3 ve Şekil 4.4’te deki görüntülerde kaplamasız olan sacların kaynağında aynı verim sağlanırken. Kaplamalıları da bu kaynak bölgesinin daha dar ve kimyasal kompozisyona bağlı mekanik özelliğini kötüleştirdiği belirlenmiştir. Bu durum metalografik incelemelerde detaylı bir şekilde tartışılmıştır.

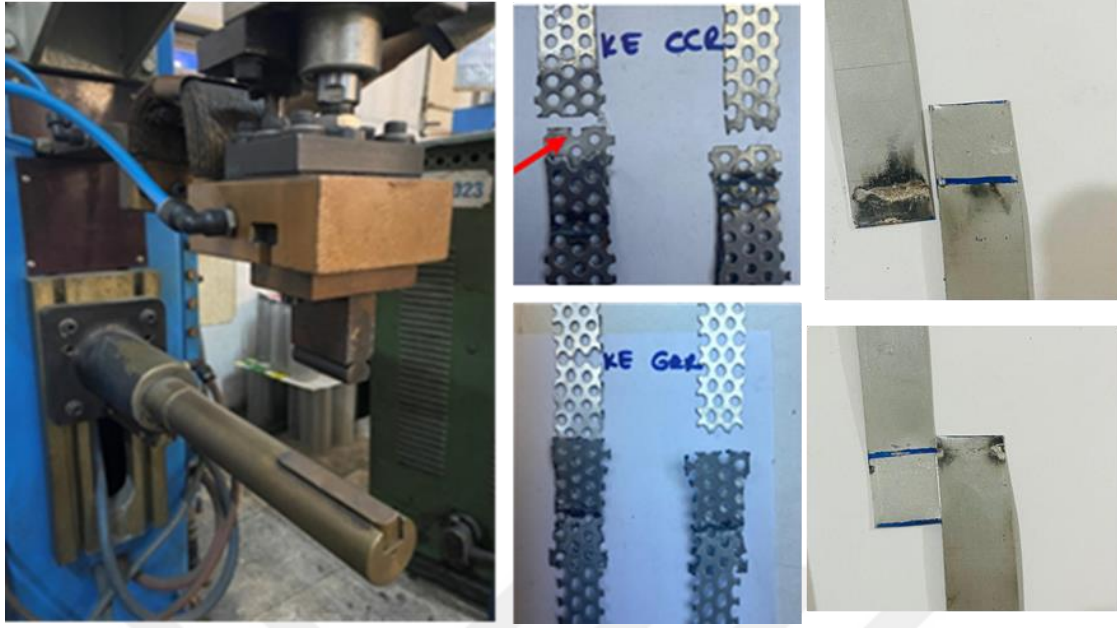




Şekil 5.2 NE CCR ve NE GZR Nokta direnç kaynaklı numunelerin çekme makaslama testi sonrası görünümü



Şekil 5.3 TE CCR ve TE GZR Nokta direnç kaynaklı numunelerin çekme makaslama testi sonrası görünümü



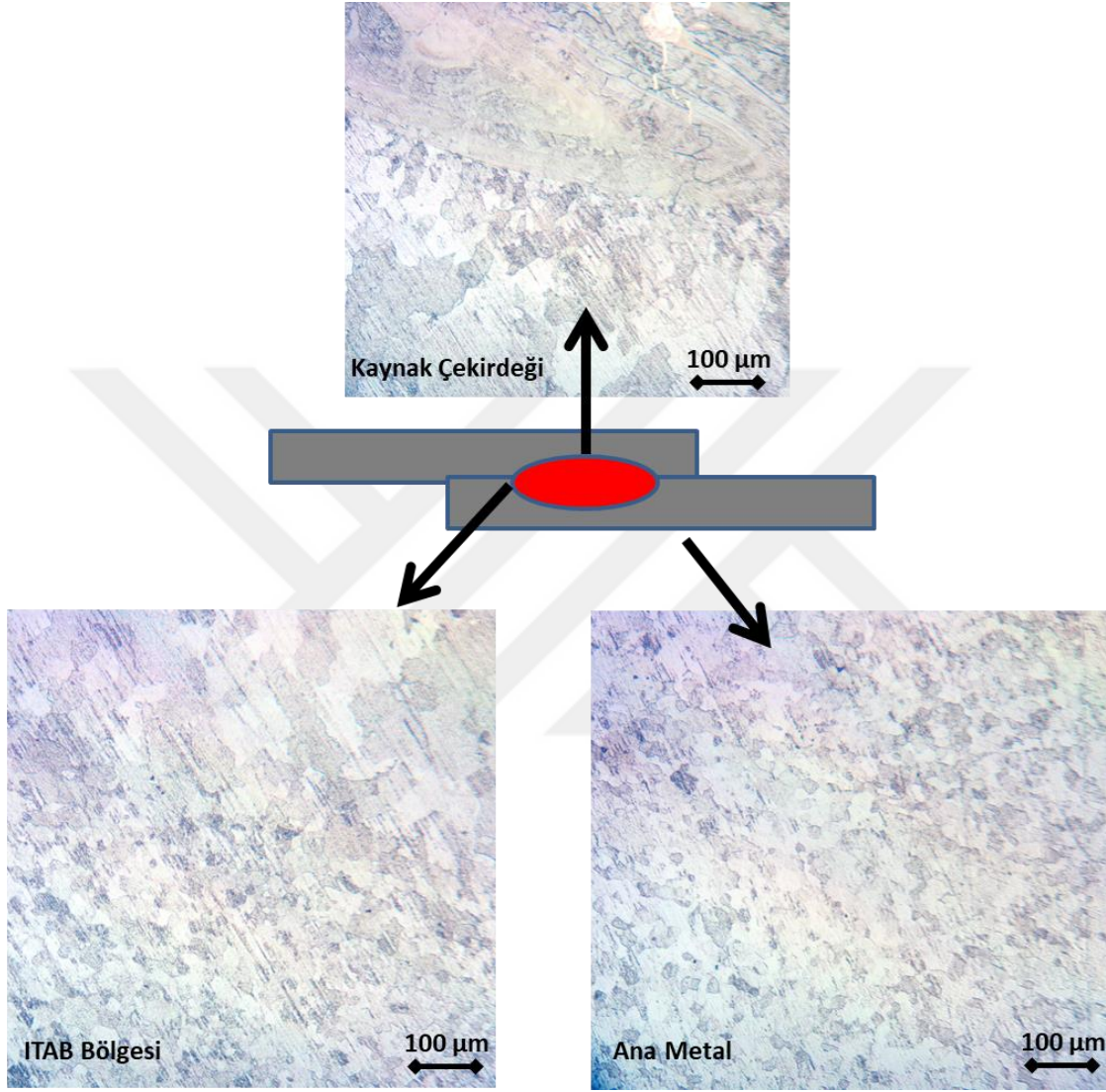
Şekil 5.4 KE CCR ve KE GZR Nokta direnç kaynaklı numunelerin çekme makaslama testi sonrası görünümü

## 5.2. Metalografik Test Sonuçları

Parlatılmış numunelerin kesit görüntülerinden optik mikroskop ile alınan mikroyapı görüntülerinde, kaynak çekirdeğinin yapısını, tanecik boyutu ve kaynak başarısını ortaya koymak için gerçekleştirilmiştir. Kaynak kesitleri 3 ana bölgeden oluşmaktadır. Kaynak çekirdeği, ısı tesiri altında kalan bölge (ITAB) ve ana malzemeden oluşmaktadır. Şekil 5.5’de TE GZR numunesinin optik görüntüsü sunulmuştur. Kaynak metal bölgesinde kaba taneli bir bölgenin varlığı söz konusudur. Bu durum kaynak sonrası hızlı soğuma sonucu olduğu ısı akışı yönünde olduğu tespit edilmiştir. Dar bir ITAB bölgesi sergilediği ve bunun sonucunda kaba taneli bölgenin daha fazla oranda olduğu gözlenmiştir. Bu durum malzemenin o bölgedeki dayanımını düşürdüğü, yapılan mekanik testlerde de gözlenmiştir. Anamalzeme mikro yapısı incelendiğinde düşük alaşımlı çeliklerin ince taneli yapının korunduğu ve sacların üretim hattından geldiği gibi eş eksenli bir tane yapısında olduğu görülmüştür. Burada kaynak ısı tesiri kaldığında kalan bölgeyi ele aldığımızda hemen hemen 2,5 katı kadar daha büyük tanelerin olduğu görülmüştür. Burada ki ITAB bölgesindeki darlığı kapmalı sac malzemenin kimyasal kompozisyonunun sac merkezine göre farklı olmasında etkilediği düşünülmektedir. Mikro yapı dikkatli incelendiğinde



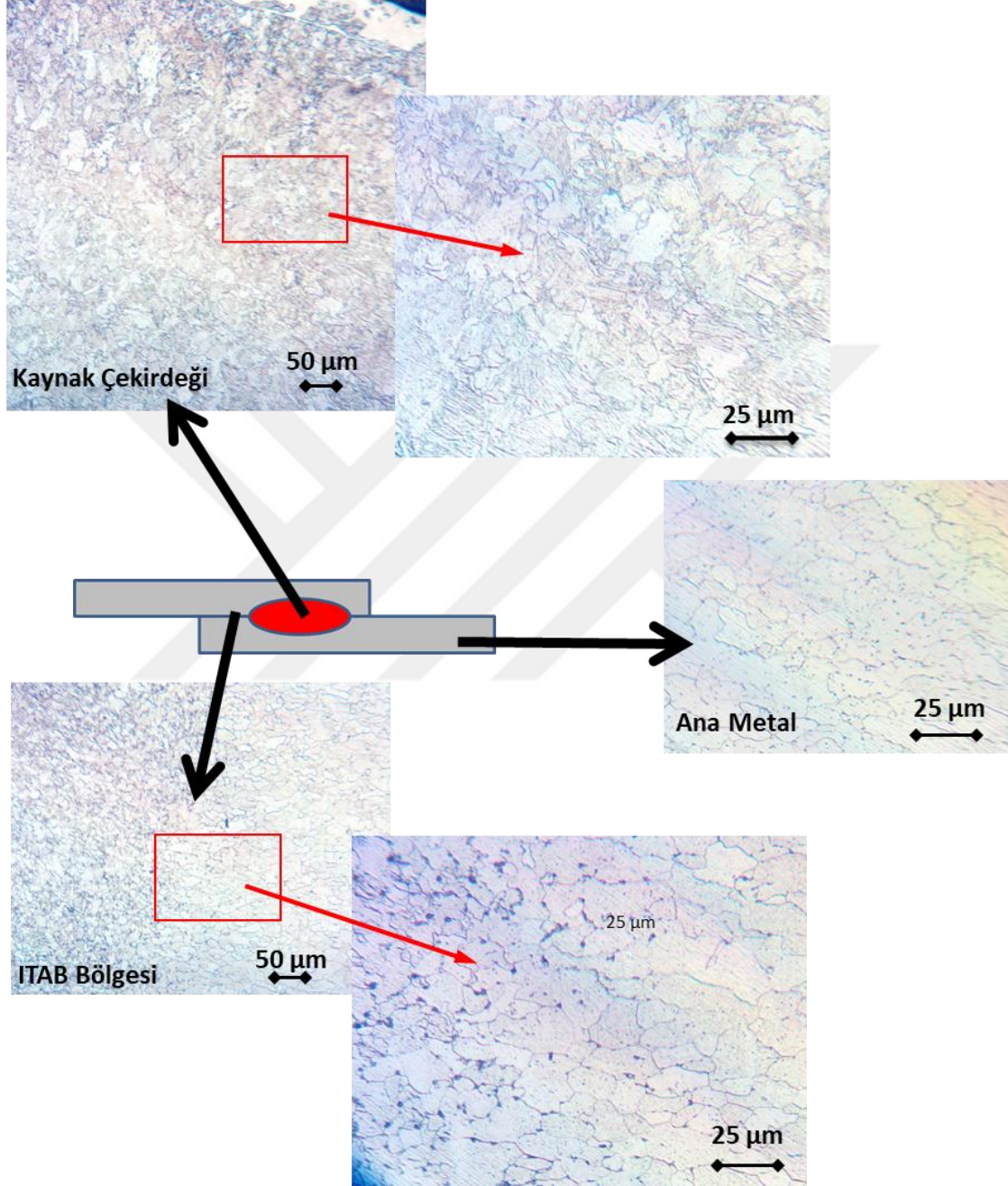
kaynağın olduğu hatta dar bölgede Cr ve Ni gibi tane sınırlarını azaltıcı bir etki olduğu söylenebilir.



Şekil 5.5 TE GZR ile punta kaynak işlemi yapılmış numunenin optik görüntüsü(% 2 Nital)

Şekil 5.6'de TE CCR numunesinin optik görüntüsü incelendiğinde, kaplamasız olan sac kaynağının taraklı olarak yapılması ve her bir tarak ucunun aslında bir nokta kaynak ucuna benzemesi durumu düşünüldüğünde, Şekil 5.8'deki gibi (NE CCR) mikro yapıya benzer bir durum olduğu görülmüştür. Buradan çıkarılacak en verimli sonuçta bu olduğu söylenebilir. Aralarındaki tek fark kaynak ısısının TE tipinde daha düşük oluşacağından kaynak bölgesinin ve dolayısıyla, ITAB bölgesinin dar olduğu tespit edilmiştir. Bunun

sonucunda da düşük ısı girdisine bağılı olarak Şekil 5.5'deki aşırı tane büyümesi olumsuzluğu engellenmiştir.

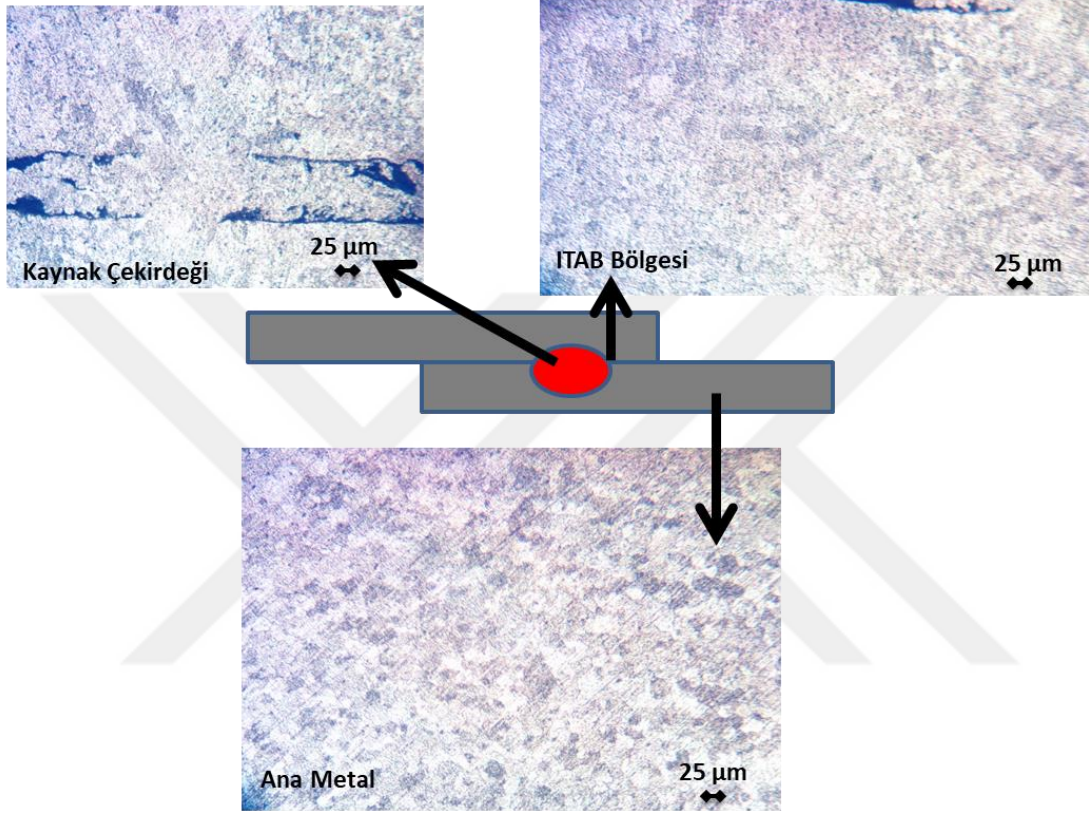


Şekil 5.6 TE CCR ile punta kaynak işlemi yapılmış numunenin optik görüntüsü (% 2 Nital)

Şekil 5.7'de NE GZR numunesinin optik görüntüsü incelendiğinde dar bir alanda kaynağın gerçekleştiği kaynak bölgesinden anlaşılmaktadır. Resimden de görülen saclar arası

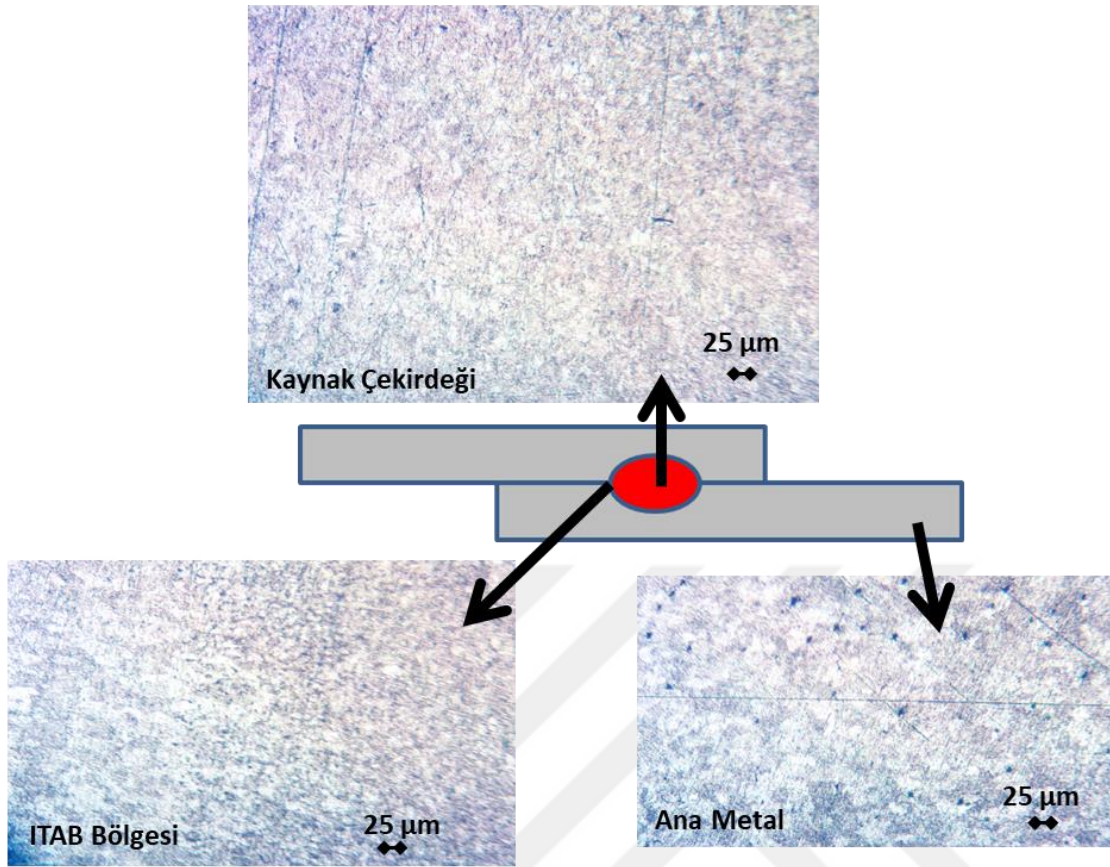


kaynağın oluşmadığı yerlerin varlığına rastlanmıştır. Burada kaplamanın kaynak sırasındaki olumsuz etkisi olduğu görülmüştür. Bu çizgi boyunca bir tutunmama hattı olduğu görülmektedir.



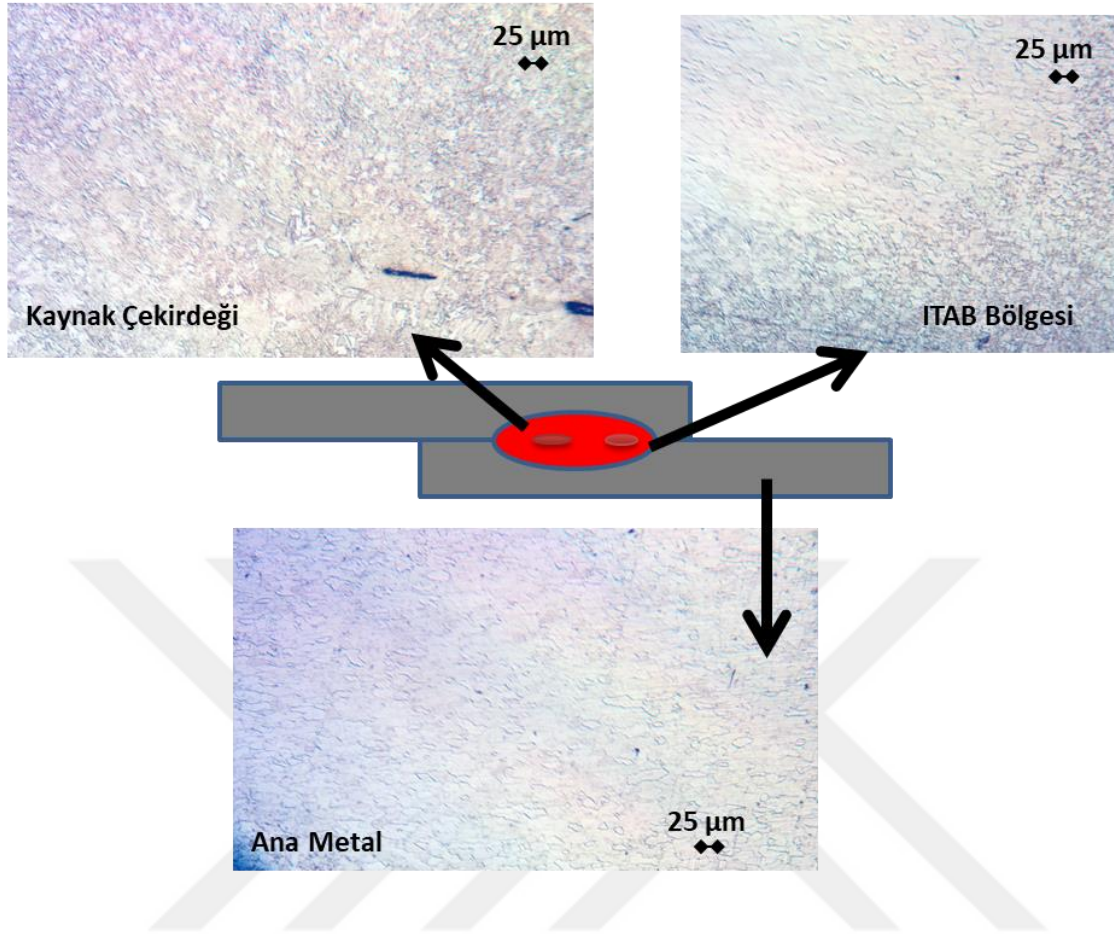
Şekil 5.7. NE GZR ile punta kaynak işlemi yapılmış numunenin optik görüntüsü(% 2 Nital)

Şekil 5.8'de NE CCR numunesinin optik görüntüsü incelendiğinde belirgin olmayan bir kaynak çekirdeği ve ITAB bölgesi görülmüştür. Burada ısı tesirinin ve akabinde soğuma hızının yavaş olduğu düşünülmektedir. Burada uzun olan kaynak ucu hem ısı girdisinin fazla olmasına hem de soğumanın buna bağlı yavaş olmasına bağlı olduğu görülmüştür. Ayrıca ITAB bölgesi incelendiğinde ise ince taneli mikro yapının olduğu, ısının etkisinin fazla olmasında çok dar bir ITAB bölgesinin olduğu gözlenmiştir.



Şekil 5.8. NE CCR ile punta kaynak işlemi yapılmış numunenin optik görüntüsü(% 2 Nital)

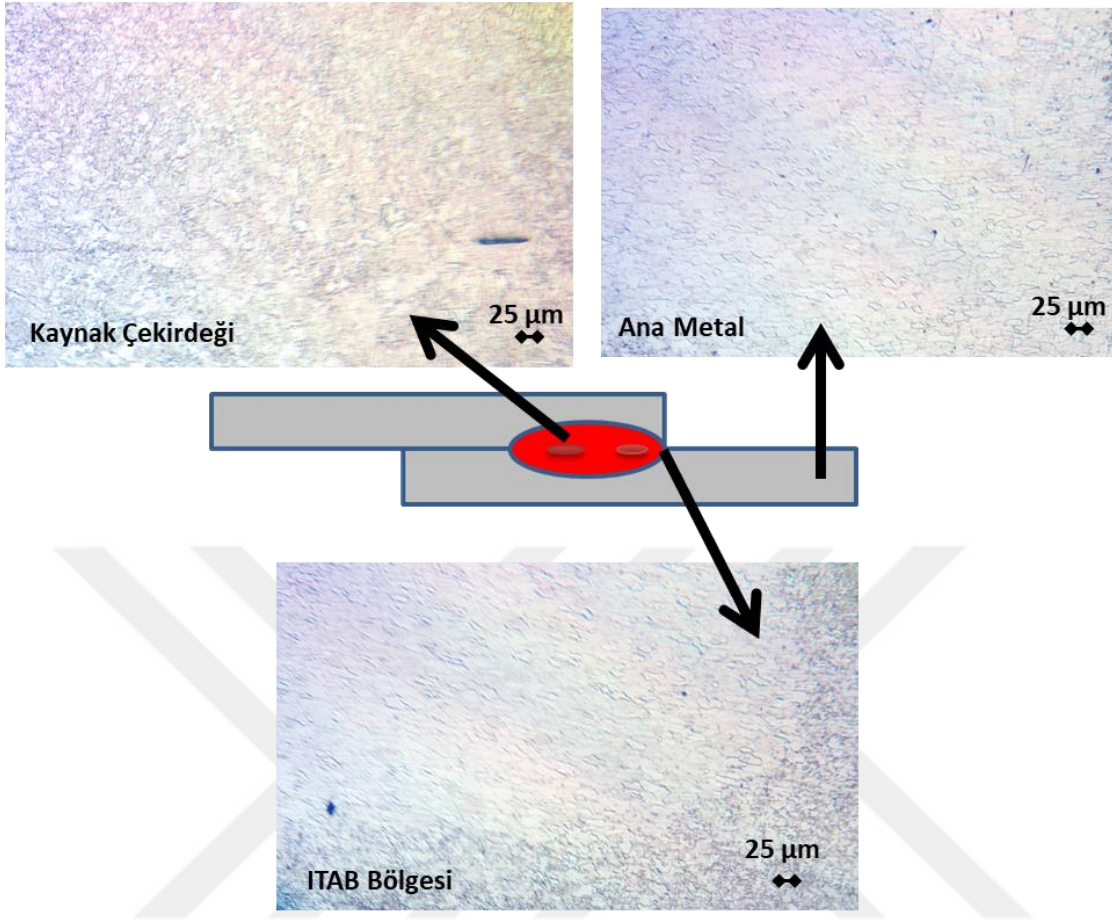
Şekil 5.9'de KE GZR numunesinin optik görüntüsü sunulmaktadır. Ayrıca ITAB bölgesi incelendiğinde ise Şekil 5.6'da olduğu gibi ince taneli bir bölgenin olduğu tespit edildiği bu durumun ise kullanılan karesel elektrotun yüzey alanının geniş olması dolayısıyla ısı girdisinin daha homojen sağlanmasının bir sonucu olduğunun göstergesidir.



Şekil 5.9. KE GZR ile punta kaynak işlemi yapılmış numunenin optik görüntüsü(% 2 Nital)

Şekil 5.10'de KE CCR numunesinin optik görüntüsü sunulmaktadır. Kaynak çekirdeği, ana malzeme ve ITAB bölgesi (ısıdan etkilenen bölge) mikro yapıları kaynak işleminin başarılı bir şekilde gerçekleştirildiğini göstermektedir. Ayrıca kaynak bölgesinde ısı akışı yönünde dentritik bölgelerin oluşumu söz konusudur. Bunun sebebi çeliğin düşük alaşımlı olması dolayısıyla hızlı soğuma sonucu tane büyümesini engelleyecek alaşım elementlerinin bulunmayışıdır. Dikkat çeken diğer bir husus ise kaynak bölgesi tane boyutunun ana metal ve ITAB'a göre daha düşük olmasıdır. Bu durum ısı girdisinin diğer numunelere göre daha düşük olduğu anlamına gelmektedir.

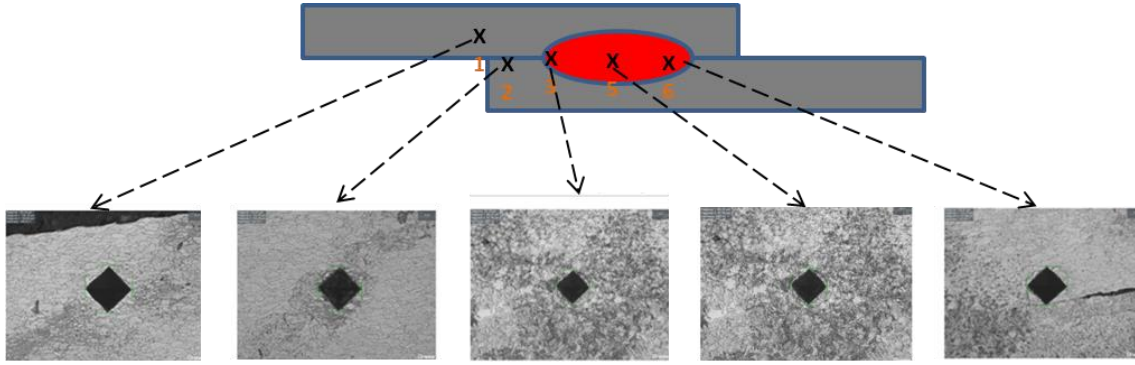




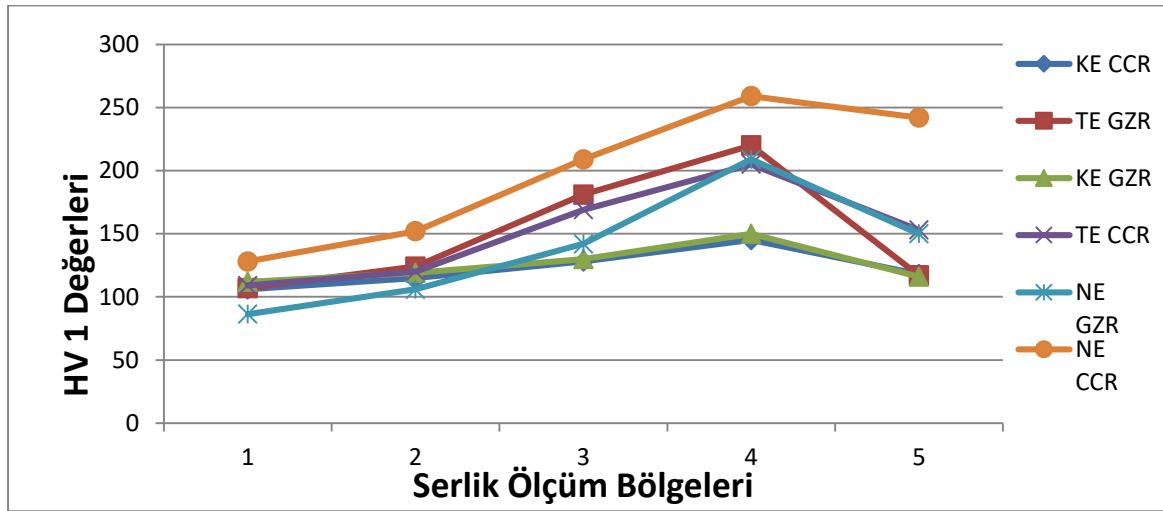
Şekil 5.10. KE CCR ile punta kaynak işlemi yapılmış numunenin optik görüntüsü(% 2 Nital)

### 5.3. Sertlik Ölçüm Sonuçları

3 farklı geometriye sahip punta kaynak elektrotu ile CCR ve GZR sacların nokta direnç kaynaklı birleştirme sonrasında alınan sertlik değerleri metalografik çalışmalardan sonra hazırlanan numunelerin sertlikleri ölçülmüştür. Vickers sertlik ölçme yöntemi kullanılmıştır. Vickers sertlik değerleri Ana metal, ITAB bölgesi ve kaynak bölgesinin olmak üzere Şekil 5.11’de gösterildiği gibi 5 noktanın sertlik ölçümü yapılmıştır. Denklem Bkz. (4.3) ifadesinden hareketle hesaplanan ortalama mikrosertlik (HV) değerleri Çizelge 5.3’te ve Şekil 5.12’de sunulmuştur.



Şekil 5.11. Vickers sertlik ölçme yöntemi uygulanması



Şekil 5.12 Sertlik Değerleri

Çizelge 5.3 Sertlik ölçme değerleri

Numune Adı	Bölüm Numarası	HV1
<b>KE CCR</b>	1	106
	2	115
	3	128
	4	145
	5	118
<b>TE GZR</b>	1	107
	2	124
	3	181
	4	220
	5	117
<b>KE GZR</b>	1	150
	2	142
	3	119
	4	112
	5	116

Çizelge 5.3 (Devamı) Sertlik ölçme değerleri

<b>TE CCR</b>	<b>1</b>	<b>109</b>
	2	120
	3	169
	4	205
	5	153
<b>NE GZR</b>	1	86,3
	2	106
	3	142
	4	209
	5	150
<b>NE CCR</b>	1	128
	2	152
	3	209
	4	259
	5	242

Verilere göre kaynak bölgesi sertlik değerlerinde en yüksek değerler NE CCR iler yapılan kaynaklı numunede olduğu görülmektedir.

Tüm yapılan numunelerin sertlik ölçüm grafiğine bakıldığında en yüksek sertlik değerleri kaynak bölgesinde olduğu anlaşılmaktadır. Kaynak bölgesi sertlik değerleri elektrot ve malzeme özelliklerine göre en yüksekten en aza göre NE CCR, NE GZR, TE GZR, TE CCR, KE GZR, KE CCR şeklinde sıralanmaktadır.



## 6. SONUÇLAR

Nokta kaynağı ile birleştirme işlemi her ne kadar standart bir birleştirme yöntemi gibi görünse de; kaynak zamanı, kaynak baskı kuvveti, uygulama akımı vb. parametreler kaynak kalitesini önemli ölçüde etkilemektedir. Özellikle otomotiv sektöründe çok fazla kullanımı olan filtre iç ve dış kılıfında birleştirme işlemini nokta kaynağı ile gerçekleştirilmektedir. Bu işlem birden fazla noktadan ve ayrı ayrı uygulanmaktadır. Bu çalışma kapsamında dört noktadan birleştirme işlemi için yeni bir üst kaynak baskı çenesi tasarımı yapılmıştır. Bu sayede dört noktadan kaynak işlemi ile parçaların imalat işlemi dört işlemden bir işleme düşürülmüştür. İmalat süresi kısaltılırken kaynak bağlantı kalitesinin de amacına uygun olması beklenir. Bu sebeple tasarımın etkinliği; kaplamalı, kaplamasız, düz ve delikli sacların birleştirme işlemi tek darbeye dört uçlu elektrot ile kaynak edilerek mekanik ve metalografik testlerle ortaya koyulmuştur. Gerçekleştirilen testler ile aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

- NE CCR delikli ve düz sacların kayma gerilmesi sırası ile 248 MPa ve 265 MPa olarak hesaplanmıştır.
- NE GZR delikli ve düz sacların kayma gerilmesi sırası ile 225 MPa ve 276 MPa olarak hesaplanmıştır.
- TE CCR delikli ve düz sacların kayma gerilmesi sırası ile 321 MPa ve 320 MPa olarak hesaplanmıştır.
- TE GZR delikli ve düz sacların kayma gerilmesi sırası ile 228 MPa ve 250 MPa olarak hesaplanmıştır.
- KE elektrodu ile gerçekleştirilen delikli forma sahip sacların çekme analizi sonucunda ana malzemedan koptuğu görülmüş ancak düz saclarda kaynak bölgesinden kopma gerçekleşmiştir. Buna göre elde edilen gerilme sonuçları ise; KE CCR delikli ve düz sacların çekme analizi sonucunda KE CCR delikli sac ana malzemedan kopmuş olup çekme gerilmesi 241 MPa'dır. KE CCR düz saclı numune ise kaynak bölgesinden kopmuş olup kayma gerilmesi 260 MPa olarak hesaplanmıştır.
- KE GZR delikli ve düz sacların çekme analizi sonucunda KE GZR delikli numunenin çekme gerilmesi 241 MPa'dır. KE CCR düz saclı numunesinde kayma gerilmesi 260 MPa olarak hesaplanmıştır.
- Tüm çekme sonuçları incelendiğinde sac malzemedan kopmaların dışında yeteri kadar kaynak dayanımı elde edilmiştir.
- NE CCR delikli ve deliksiz sacların mikro yapılar 50 µm ve 25 µm skalalarında resmedilmiştir. Görüntüler incelendiğinde kaynak çekirdeğinin her iki numunede

benzer şekilde oluştuğu gözlemlenmiştir. Bu sonuç kaynak işleminin dözgün gerçekleştiğini ortaya koymaktadır.

- Punta kaynak sertlikleri vickers HV1 değerlerinde ölçölmüştür. Kaynak bölgesi sertlik değerleri elektrot ve malzeme özelliklerine göre en yüksekten en aza göre NE CCR, NE GZR, TE GZR, TE CCR, KE GZR, KE CCR şeklinde sıralanmaktadır.
- Kaynak edilen numunelerin kesit görüntülerinin mikroyapı görünömlerine optik mikroskop ile kaynak ekirdeği, (ITAB) ve ana malzeme olmak üzere 3 ana bölgeden incelenmiştir.
- TE GZR numunesinin optik görüntüsü incelendiğinde kaynak metali bölgesinde kaba taneli bir bölgenin varlığı söz konusu olduğunu bu durum kaynak sonrası hızlı soğuma sonucu oluştuğu ısı akışı yönünde oluştuğu tespit edilmiştir. Ayrıca dar bir ITAB bölgesi sergilediği ve bunun sonucunda kaba taneli bölgenin daha fazla oranda oluştuğu gözlenmiştir.
- TE CCR numunesinin optik görüntüsü incelendiğinde, (NE CCR) mikro yapıya benzer bir durum olduğu görölmüştür. Aralarındaki tek fark kaynak ısısının TE tipinde daha düşük oluşacağından kaynak bölgesinin ve dolayısıyla, ITAB bölgesinin dar olduğu tespit edilmiştir.
- NE GZR numunesinin optik görüntüsü incelendiğinde dar bir alanda kaynağın gerçekleştiği kaynak bölgesinden anlaşılmaktadır. Resimden de görölen saclar arası kaynağın oluşmadığı yerlerin varlığına rastlanmıştır. Burada kaplamanın kaynak sırasındaki olumsuz etkisi olduğu görölmüştür.
- NE CCR numunesinin optik görüntüsü incelendiğinde belirgin olmayan bir kaynak çekirdeği ve ITAB bölgesi görölmüştür.
- KE GZR numunesinin optik görüntüsünün ITAB bölgesi incelendiğinde ince taneli bir bölgenin oluştuğu tespit edilmiştir.
- KE CCR numunesinin optik görüntüsü incelendiğinde düşük alaşımlı çeliğin kullanılmasından kaynak bölgesinde ısı akışı yönünde dentritik bölgelerin oluşumunu gözlemlenmiştir.
- Optik mikroskop ile alınan mikroyapı görünömleri incelendiğinde kaynak çekirdeğinin yapısını, tanecik boyutu ve kaynak başarısını ortaya koyulmuştur.

Tasarımı yapılan elektrot ile çok noktalı kaynak işlemi gerçekleştirilerek kaynak işlem sayısını 4'ten 1' e indirilmiştir. İleri alışmalar için elektrot ömrünü uzatmak amacıyla tasarıma soğutma sisteminin eklenerek sistem genişletilebilir.

## KAYNAKÇA

1. Koçak H. 2013. Bakır ve Bakır Alaşımları Cilt 4. Blokur Teknik Yayıncılık, 67 s, İstanbul
2. Elektrik direnç kaynağı gelişmeleri <https://www.twi-global.com/search-results.aspx#/?term=spot%20welding%20electrode%20technology&searchType=technical> Erişim (01.01.2022)
3. Kaynak teknolojisinin gelişimi <https://yuneka.com.tr/kaynak-teknolojisinin-tarihsel-gelisimi/> Erişim (01.01.2022)
4. Tezcan, T. (2017). Elektrik direnç kaynağı (Master's thesis, Uludağ Üniversitesi).
5. Yıldırım, O. (2010). Otomotiv endüstrisinde kullanılan nokta direnç kaynak uygulamalarında işlem parametrelerinin etkilerinin incelenmesi.
6. Kaynak birleştirme yöntemi [https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:HjPdLnUHNnOJ:https://a.vys.omu.edu.tr/storage/app/public/mahmutcan.senel/71544/4\)%2520Birle%25C5%259Firme%2520Y%25C3%25B6ntemleri-Kaynak.pdf+&cd=3&hl=tr&ct=clnk&gl=tr](https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:HjPdLnUHNnOJ:https://a.vys.omu.edu.tr/storage/app/public/mahmutcan.senel/71544/4)%2520Birle%25C5%259Firme%2520Y%25C3%25B6ntemleri-Kaynak.pdf+&cd=3&hl=tr&ct=clnk&gl=tr) Erişim (01.02.2021)
7. Özgül, H. G., & Arslan, S. (2018). Farklı elektrik direnç kaynağı parametrelerinin mukavemet üzerine etkilerinin incelenmesi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22(2), 671-677.
8. Vural, m., & Akkuş, A. Kaplanmış çelik sacların nokta kaynaklı bağlantılarının ultrasonik testi ve kaynak parametrelerinin optimizasyonu
9. Ünlükal, E. (2007). Otomotiv Sanayinde Kullanılan Direnç Nokta Kaynak Kalitesinin Arttırılması (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
10. E. Kırar Yüksek Basınca Dayanımlı Yağ Filtresi Tasarımı Yüksek Lisans Tezi Nisan 2015
11. Çimen, M. ve Akkuş, A., (1999) , “Nokta Direnç Kaynağında Sıcaklık Dağılımının İncelenmesi”, Kaynak Teknolojisi II. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı, Kitap No:363, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Ankara
12. Operatörler için direnç kaynağı eğitimi <https://slideplayer.biz.tr/slide/2689159/> Erişim (01.11.2021)
13. Tarimer, I., Arslan, S., Güven, E., & Karabas, M. (2011). A case study of a new spot welding electrode which has the best current density by magnetic analysis solutions. Journal of Electrical Engineering, 62(4), 233
14. Radhika, A., Thenmozhi, G., Balakarthikeyan, M., & Stalin, B. (2020). Krom çeliği kullanarak ERSW işleminde elektrik akımı ve direnç yoluyla kaynak mukavemetinin arttırılması. Materyaller Bugün: Bildiriler , 33 , 4781-4783
15. Güner, R. (2002). Demir esaslı toz metal parçaların elektrik direnç kaynağında optimum kaynak şartlarının belirlenmesi.
16. İncekar, E. (2015). İleri dayanımlı çeliklerin nokta kaynaklı birleştirmelerinde mikroyapının kırılmaya etkisi (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
17. Akyol, M., 2001. Otomotiv Sanayiinde Kullanılan Direnç Nokta Kaynak Uygulamaları Ve Karşılaşılan Sorunlar, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
18. M. Pournavari, H. R. Asgari, S. M. Mosavizadch, P. H. Marashi and M. Goodarzi, "Effect of weld nugget size on overload failure mode of resistance spot welds," Science and Technology of Welding and Joining, vol. 12, no. 3, pp. 217–225, 2007.
19. X. Sun, E. V. Stephens and M. A. Khaleel, "Effects of fusion zone size and failure mode on peak load and energy absorption of advanced high strength steel spot

- welds under lap shear loading conditions," *Engineering Failure Analysis*, vol. 15, no. 4, pp. 356–367, June 2008
20. H. Zhang and J. Senkara, *Resistance Welding Fundamentals and Applications*. Boca Raton, CRC Press, 2011
  21. Z. Duan, Y. Li, M. Zhang, M. Shi, F. Zhu and S. Zhang, "Effects of quenching process on mechanical properties and microstructure of high strength steel", *Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed.*, vol. 27, no. 6, pp. 1024–1028, December 2012
  22. Donders, S., Brughmans, M., Hermans, L., & Tzannetakis, N. (2005). The effect of spot weld failure on dynamic vehicle performance. *Sound and Vibration*, 39(4), 16-25.
  23. Chao, Y. J. (2003). Failure mode of spot welds: interfacial versus pullout. *Science and technology of welding and joining*, 8(2), 133-137.
  24. Doruk, E., Pakdil, M., Gürel, Ç. A. M., Durgun, İ., & Kumru, U. C. (2016). OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE DİRENÇ NOKTA KAYNAĞI UYGULAMALARI. *Mühendis ve Makina*, 57(673), 48-53
  25. Holliday, R., Parker, J. D., & Williams, N. T. (1996). Relative contribution of electrode tip growth mechanisms in spot welding zinc coated steels. *Welding in the World/Le Soudage dans le Monde*, 4(37), 186-193.
  26. Vural, m., & Akkuş, A. Kaplanmış çelik sacların nokta kaynaklı bağlantılarının ultrasonik testi ve kaynak parametrelerinin optimizasyonu
  27. AYDIN, M., & GÜLENÇ, B. (2003). Elektro ve sıcak daldırma metodlarıyla galvaniz kaplanmış çelik sacların paslanmaz çeliğe direnç kaynağı ile kaynaklanabilirliği. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 16(1), 179-187.
  28. Marashi, S. P. H., Pouranvari, M., Salehi, M., Abedi, A., & Kaviani, S. (2010). Overload failure behaviour of dissimilar thickness resistance spot welds during tensile shear test. *Materials Science and Technology*, 26(10), 1220-1225.
  29. Mironovs, V., Lisicins, M., Boiko, I., & Zemchenkova, V. (2012). Manufacturing of Cellular Structures of the Perforated Steel Tape. In *Proceedings of the 8th International Conference of DAAAM Baltic Industrial Engineering* (pp. 688-693).
  30. Lin, H. C., Hsu, C. A., Lee, C. S., Kuo, T. Y., & Jeng, S. L. (2018). Effects of zinc layer thickness on resistance spot welding of galvanized mild steel. *Journal of Materials Processing Technology*, 251, 205-213.
  31. İş, U. (2017). Bir otomobil fabrikası kaporta departmanı'nda kaynak parametre çalışması (Master's thesis, Uludağ Üniversitesi).
  32. Doruk, E., Pakdil, M., Gürel, Ç. A. M., Durgun, İ., & Kumru, U. C. (2016). Otomotiv Sektöründe Direnç Nokta Kaynağı Uygulamaları. *Mühendis ve Makina*, 57(673), 48-53.
  33. Selova, L. (2019). Üçlü sac elektrik direnç nokta kaynak birleşimlerinde kaynak parametrelerinin incelenmesi (Master's thesis, Bursa Uludağ Üniversitesi).
  34. Belarbi, S. S., Habib, L., Ahmed, R. S., & Yahiaou, T. THE INFLUENCE OF ELECTRODES' POSITIONS IN RESISTANCE SPOT WELDING PROCESS UTICAJ POLOŽAJA ELEKTRODA KOD POSTUPKA ELEKTROTPORNOG TAČKASTOG ZAVARIVANJA.
  35. Kumar, R., Chohan, J. S., Goyal, R., & Chauhan, P. (2020). Impact of process parameters of resistance spot welding on mechanical properties and micro hardness of stainless steel 304 weldments. *International Journal of Structural Integrity*
  36. Ungureanu, V., Both, I., Burca, M., Radu, B., Neagu, C., & Dubina, D. (2021). Experimental and numerical investigations on built-up cold-formed steel beams using resistance spot welding. *Thin-Walled Structures*, 161, 107456.

37. Yu. Jiang, Dissimilar Metal Joining of Q235 Mild Steel to Ti6Al4V via Resistance Spot Welding with Ni-Cu Interlayer, *J. Market. Res.*, 2021, 15, p 4086–4101.
38. Morales-Sánchez, G., Collazo, A., & Doval-Gandoy, J. (2021). Influence of the Process Parameters on the Quality and Efficiency of the Resistance Spot Welding Process of Advanced High-Strength Complex-Phase Steels. *Metals*, 11(10), 1545.
39. YAZAR, M., Milat, K. U. L., ÇAYLAK, M., & ALP, A. K. Direnç Punta Kaynak Robotlarında KSR ve IQR (Adaptif Punta) Modun Spot Punta Performansının Karşılaştırılması. *Journal of Materials and Mechatronics: A*, 2(1), 26-36.
40. SABIRLI, A., & FIĞLALI, A. Optimum Çekirdek Çapını Elde Etmek İçin Elektrik Direnç Kaynak Parametrelerinin Taguchi Metoduyla Optimizasyonu. *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 3(2), 223-229.
41. Keleş, Y. (2021). Kaynak zamanının kaynak elektrot ömrüne etkisinin incelenmesi (Master's thesis, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi).
42. Akkuş, A. (2006). Galvanizli ve ostenitik paslanmaz çelik sacların nokta kaynaklı bağlantılarının yorulma dayanımlarının araştırılması.
43. DEMİR, B., ELİTAŞ, M., & KARAKUŞ, H. Nokta Direnç Kaynağı ile Birleştirilen Geliştirilmiş Yüksek Mukavemetli Çeliğin Mekanik Özellikleri Üzerinde Elektrod Uç Tipinin Etkisinin İncelenmesi. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(3), 277-285.
44. Akgül, K., (2017). Otomotiv Sektöründe Kullanılan Kaynak Elektrot Çeşitlerinin, Sac Kalınlıklarının Ve Kaynak Kuvvetinin Kullanılan Kaynak Enerjisi İle Arasındaki İlişkinin Modellenmesi (Gebze Teknik Üniversitesi)
45. Murugan, SP, Mahmud, K., Ji, C., Jo, I., & Park, YD (2019). Direnç nokta kaynağında sıvı metal gevrekliği çatlaması için elektrotun kritik tasarım parametreleri. *Dünyada Kaynak*, 63 (6), 1613-1632.
46. KINOSHITA, H., & YAMANE, S. (2020). Effect of Electrode Radius on Expulsion in Two Pulsed Spot Welding. *QUARTERLY JOURNAL OF THE JAPAN WELDING SOCIETY*, 38(2), 64s-68s.
47. Dhawale, P. A., & Ronge, B. P. (2019). Parametric optimization of resistance spot welding for multi spot welded lap shear specimen to predict weld strength. *Materials Today: Proceedings*, 19, 700-707.
48. Çoklu nokta kaynak <https://www.tuffaloy.com/resistance-welding-alloys/copper-basealloys.html> Erişim (01.02.2020)
49. Voigt A., Graul M. (2018). Method And Device For Resistance Welding And Coupling Of Forces Between Electrodes, Patent no: US 10 , 099 , 312 B2 USA Patent Office.
50. Korkut, E. (2021). Çoklu nokta kaynağı elektrodu tasarımı ve uygulaması (Master's thesis, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi).
51. Kaya, M., 2008. motor yağı filtreleri, testleri ve değişim süreçlerinin araştırılması. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi
52. Filtre çeşitleri <https://samiyonfilter.com.tr/> Erişim Tarihi 01.01.2022
53. İTSO URL: <https://iskenderunso.org.tr/wp-content/uploads/2018/09/filtre3.jpg> Son Erişim Tarihi: 19.10.2021
54. ERDEMİR KATALOĞ  
[https://www.erdemir.com.tr/Sites/1/upload/files/Yassi\\_Urun\\_Katalogu\\_2020\\_TR-4649.pdf](https://www.erdemir.com.tr/Sites/1/upload/files/Yassi_Urun_Katalogu_2020_TR-4649.pdf) Erişim 01.01.2020
55. American Filtration & Separation Society [Amerika Filtreleme ve Arıtma Derneği] Verilerinden Yola Çıkararak Filtre DZA Çalışma Grubu Tarafından Oluşturulmuştur. <https://www.dogaka.gov.tr/assets/upload/dosyalar/hatayfiltredza.pdf>

56. Yıldız, İ. (2006). Otomotiv endüstrisinde kullanılan sacların şekillenebilirlik özellikleri (Master's thesis, Sakarya Üniversitesi).
57. O. Bouaziz, H. Zurob, and M. Huang. 2013. Driving force and logic of development of advanced high strength steels for automotive applications. *Steel Res. Int.*, vol. 84, no. 10, pp. 937–947.
58. Carrie M. Tamarelli (2011). AHSS 101: The Evolving Use of Advanced High-Strength Steels for Automotive Applications, Steel Market Development Institute, 42, Southfield, Michigan U.S.A.
59. Savaşkan, T., “Malzeme Bilimi ve Malzeme Muayenesi”, Papatya BilimYayıncılık, (2019).
60. Gourd, L.M., 1995. Fundamentals of Welding Technology, Birsen Publisher, Istanbul
61. Pouranvari, M. ve Marashi, S., "Critical sheet thickness for weld nugget growth during resistance spot welding of three-steel sheets," *Science and Technology of Welding and Joining*, 16 (1): 162-165 (2011).
62. Anık, S., Anık, S. E. ve Vural, M., (2000), 1000 Soruda Kaynak Teknolojisi El Kitabı, Birsen Yayınevi, İstanbul.
63. J. Petřík, “The micro-hardness of heat treated carbon steel,” *Materials Science (Medziagotyra)*, vol. 20, no. 1, pp. 21-24, 2014
64. H. Karabulut and M. Türkmen, “Temperleme işleminin tozaltı kaynak yöntemi ile birleştirilen mikroalaşımli çeliklerin mekanik özelliklerine etkisi,” *mühendislik dergisi*, vol. 7, no. 3, pp. 587-594, Eylül 2016.
65. M. G. Loshak and L. I. Aleksandrova, “The effect of the indentation load on the results of measuring hardness of superhard materials,” *Journal of Superhard Materials*, vol. 34, no. 5, pp. 305–307, 2012
66. Argıncıklıgil, A. (2019). Çeliklerde VİCKERS sertlik değerlerine uygulanan yük etkisinin incelenmesi (Master's thesis, Sakarya Üniversitesi).

# DİZİN

## A

ana malzeme, 16, 40, 41, 42, 43,  
44, 45

## B

bakır elektrot, 6

## C

CCR sac, 22, 23

## Ç

Çekme Analizi, vii, 30, 37

## D

Delikli sac, ix, 12, 31, 32, 37, 38  
direnç kaynağı, 5, 7, 8, 9, 10, 11,  
12, 13, 24, 51, 53  
Düz, ix, 15, 31, 32, 37

## E

elektrot, iv, viii, x, 6, 7, 10, 11, 12,  
13, 14, 15, 16, 17, 18, 24, 28,  
29, 30, 33, 48, 49, 50, 54

## F

Filtre, iv, vi, vii, ix, 19, 21, 22, 23,  
24, 26, 54

## G

GZR Saclar, vii, 23

## I

ITAB bölgesi, 40, 41, 42, 43, 44,  
45, 46

## K

Kaynak çekirdeği, 40, 41, 42, 43,  
44, 45

## M

Metalografik Analizi, 33

## N

Nokta kaynağı, 5, 8, 49

## P

Punta kaynağı, vii, 7, 8

## S

Sertlik Ölçme analizi, 35

## U

ultrasonik muayene, 15



**TEKNOVERSITE**





teknoversite **AYRICALIĞINDASINIZ**

**İSTE**

