

**T.C.  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ**

**OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN DD11 VE DD13  
ÇELİK LEVHALARIN ROBOTİK MAG KAYNAĞINDA  
FARKLI KAYNAK PARAMETRELERİNİN MİKROYAPI VE  
MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**HASAN FATİH TEKBAŞ**

**DENİZLİ, ŞUBAT - 2022**

**T.C.  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ**



**OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN DD11 VE DD13 ÇELİK  
LEVHALARIN ROBOTİK MAG KAYNAĞINDA FARKLI KAYNAK  
PARAMETRELERİNİN MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERE  
ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**HASAN FATİH TEKBAŞ**

**DENİZLİ, ŞUBAT - 2022**

**Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.**

**HASAN FATİH TEKBAŞ**

## ÖZET

### OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN DD11 VE DD13 ÇELİK LEVHALARIN ROBOTİK MAG KAYNAĞINDA FARKLI KAYNAK PARAMETRELERİNİN MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
HASAN FATİH TEKBAŞ

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ

(TEZ DANIŞMANI: DR. ÖĞR. ÜYESİ VOLKAN

ONAR)DENİZLİ, ŞUBAT - 2022

Bu çalışmada otomotiv endüstrisinde kullanımı yaygın olan DD11 ve DD13 düşük karbonlu çeliklerin robotik MAG kaynak yöntemi kullanılarak farklı kaynak parametrelerinde mikroyapı ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Kaynaklı birleştirmelerde iki farklı gaz debisi kullanılmıştır. Gerçekleştirilen birleştirmelerde kaynak amperi olarak 240A, 250A ve 270A, kaynak hızı olarak da 12mm/sn ve 16mm/sn kullanılmıştır. Belirtilen parametreler kullanılarak DD11 ve DD13 levhalar birbirleri ile birleştirilmiştir. Kaynaklı birleştirmeler gerçekleştirildikten sonra her bir parametreden 3 adet olacak şekilde çekme numunesi kesilmiştir. Gerçekleştirilen çekme testleri neticesinde en yüksek çekmedayanımı 12mm/sn kaynak hızına ve 250A kaynak akımına sahip 10 numaralı numunede (326Mpa), en düşük çekme dayanımının ise 16mm/sn kaynak hızına ve 250A kaynak akımına sahip 3 numaralı numunede (241Mpa) olduğu saptanmıştır. Bu çalışma neticesinde DD11 ve DD13 plakaların optimum kaynak parametreleri tespit edilmiştir.

**ANAHTAR KELİMELER: DD11, DD13, MAG,**

## **ABSTRACT**

### **THE EFFECTS OF DIFFERENT WELDING PARAMETERS ON MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES IN ROBOTIC MAG WELDING OF DD11 AND DD13 STEEL PLATES USED IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY**

**MSC THESIS**

**HASAN FATİH TEKBAŞ**

**PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE  
AUTOMOTIVE ENGINEERING**

**(SUPERVISOR:ASSIST PROF. DR. VOLKAN ONAR)**

**DENİZLİ, FEBRUARY 2022**

In this study, microstructure and mechanical properties of DD11 and DD13 low carbon steels, which are widely used in the automotive industry, were investigated using robotic MAG welding method at different welding parameters.

Two different gas flow rates are used in welded joints. 240A, 250A and 270A as welding amperes, 12mm/sec and 16mm/sec as welding speed were used in the joints performed. DD11 and DD13 boards were made, 3 tensile samples were cut from each parameter. As a result of the tensile test performed, it was determined that the highest tensile strength was found in sample 10 (326Mpa) with a welding speed of 12mm/sec and welding current of 250A, and the lowest tensile strength was found in sample Number 3 (241 Mpa) with a welding speed of 16mm/sec and a welding current of 250A. As a result of this study, optimum welding parameters of DD11 and DD13 plates were determined.

**KEYWORDS: DD11, DD13, MAG**

# İÇİNDEKİLER

**Sayfa**

<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iii</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>v</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b> .....	<b>vi</b>
<b>SEMBOL LİSTESİ</b> .....	<b>vii</b>
<b>KISALTMALAR</b> .....	<b>vii</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>viii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. ÇELİK</b> .....	<b>3</b>
2.1 ÇELİKLERİN SINIFLANDIRILMASI.....	3
2.1.1 Kimyasal Bileşimlerine Göre Çeliklerin Sınıflandırılması.....	3
2.1.1.1 Alaşım-sız Çelikler.....	3
2.1.1.2 Paslanmaz Çelikler.....	4
2.1.1.3 Alaşım-lı Çelikler ve Alaşım Elementlerinin Çeliğe Kazandırdığı Özellikler.....	4
2.1.1.3.1 Karbon (C).....	4
2.1.1.3.2 Mangan (Mn).....	4
2.1.1.3.3 Silisyum (Si).....	5
2.1.1.3.4 Krom (Cr).....	5
2.1.1.3.5 Molibden (Mo).....	5
<b>3. ÇELİKLERİN BİRLEŞTİRİLMELERİNDE KULLANILAN KAYNAK YÖNTEMLERİ</b> .....	<b>6</b>
3.1 Örtülü Elektrot Ark Kaynak Yöntemi .....	7
3.2 TIG (Tungsten Inert Gas) Kaynak Yöntemi.....	7
3.3 CMT (Cold Metal Transfer) Kaynak Yöntemi.....	8
3.3.1 CMT Kaynak Yönteminin Genel Üstünlükleri.....	9
3.3.1.1 Düşük Isı Girdisi .....	9
3.3.1.2 Çapaksız Kaynak.....	9
3.3.1.3 Kararlı Ark .....	9
3.4 MIG (Metal Inert Gas) Kaynak Yöntemi .....	10
3.4.1 MIG Kaynak Yönteminin Avantajları .....	10
3.5 MAG (Metal Active Gas) Kaynak Yöntemi .....	11
3.5.1 MAG Kaynak Yöntemi Donanımı.....	11
3.5.2 Koruyucu Gazın Önemi .....	12
3.5.2.1 Karbondioksit Gazı .....	12
3.5.2.2 Argon Gazı .....	12
3.5.3 MAG Kaynak Yönteminin Avantaj ve Dezavantajları .....	13
<b>4. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI</b> .....	<b>14</b>
<b>5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR</b> .....	<b>17</b>
5.1 DD11 ve DD13 Çelikleri.....	17
5.2 Kaynak Teli .....	17
5.3 Koruyucu Kaynak Gazı .....	17
<b>6. YÖNTEM</b> .....	<b>18</b>
6.1 Deney Numunelerin Kaynaklı Birleştirmeleri.....	18
6.2 Çekme Testi Numunesi Elde Edilmesi.....	20

6.3	Metalografik Çalışmalar .....	20
6.4	Çekme Deneyi .....	20
<b>7.</b>	<b>BULGULAR .....</b>	<b>21</b>
7.1	Çekme Deneyi Sonuçları .....	21
7.2	Mikroyapı Görüntüleri.....	24
7.3	Çekme Deneyi Sonuçları .....	33
7.4	SEM ve EDS Analiz Sonuçları.....	34
<b>8.</b>	<b>SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>41</b>
<b>9.</b>	<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>42</b>
<b>10.</b>	<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>46</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 3.1: Kaynak kabiliyetini etkileyen faktörler .....	6
Şekil 3.2: Örtülü elektrot ark kaynak yöntemi .....	7
Şekil 3.3: TIG kaynak yöntemi .....	8
Şekil 3.4: CMT kaynak yönteminde kaynak telinin hareketi .....	9
Şekil 3.5: MIG kaynak yöntemi kaynak donanımı .....	10
Şekil 3.6: MAG kaynak yöntemi kaynak donanımı .....	11
Şekil 3.7: Sırasıyla soldan sağa doğru Argon, Helyum, Argon-Helyum ve CO <sub>2</sub> gazlarının nüfuziyete etkisi .....	12
Şekil 3.8: Farklı koruyucu gazların nüfuziyet farklılıkları .....	13
Şekil 6.9 DD11 ve DD13 levhaların kaynaklı birleşimi .....	18
Şekil 6.10 Çekme Testi Cihazı .....	20
Şekil 7.11 1 ve 4 numaralı numunelerin çekme dayanımlarının karşılaştırılması	21
Şekil 7.12 3 ve 6 numaralı numunelerin çekme dayanımlarının karşılaştırılması	22
Şekil 7.13 10 ve 13 numaralı numunelerin çekme dayanımlarının karşılaştırılması .....	22
Şekil 7.14 12 ve 15 numaralı numunelerin çekme dayanımlarının karşılaştırılması .....	23
Şekil 7.15 16 ve 18 numaralı numunelerin çekme dayanımlarının karşılaştırılması .....	23
Şekil 7.16 3 numaralı numunenin çekme deneyi sonucunda oluşan kopma yüzeyinin SEM görüntüsü .....	34
Şekil 7.17 3 numaralı numunenin kopma yüzeyinin 100 büyütmedeki SEM görüntüsü .....	35
Şekil 7.18 3 numaralı numunenin kopma yüzeyinin 250 büyütmedeki SEM görüntüsü .....	35
Şekil 7.19 3 numaralı numunenin kopma yüzeyinin 500 büyütmedeki SEM görüntüsü .....	36
Şekil 7.20 10 numaralı numunenin kopma yüzeyinin 100 büyütmedeki SEM görüntüsü .....	37
Şekil 7.21 10 numaralı numunenin kopma yüzeyinin 500 büyütmedeki SEM görüntüsü .....	37
Şekil 7.22 10 numaralı numunenin kopma yüzeyinin 100 büyütmedeki SEM görüntüsü .....	38
Şekil 7.23 3 numaralı numunenin kopma yüzeyinin EDS analizi .....	39
Şekil 7.24 10 numaralı numunenin kopma yüzeyinin EDS analizi .....	40



## TABLO LİSTESİ

### Sayfa

Tablo 5:1 DD11 ve DD13 çeliklerinin kimyasal analizleri .....	17
Tablo 5:2 DD11 ve DD13 çeliklerinin mekanik dayanımları .....	17
Tablo 6:3 Numunelerin birleştirilmesinde kullanılan kaynak parametreleri ....	19
Tablo 7:4 Çekme testi sonuçları.....	21
Tablo 7:5 Belirtilen tez numunelerinin kaynak parametreleri bilgisi .....	24
Tablo 7:6 1 numaralı numunenin mikroyapı görüntüleri .....	25
Tablo 7:7 3 numaralı numunenin mikroyapı görüntüleri .....	26
Tablo 7:8 4 numaralı numunenin mikroyapı görüntüleri .....	27
Tablo 7:9 6 numaralı numunenin mikroyapı görüntüleri .....	28
Tablo 7:10 10 numaralı numunenin mikroyapı görüntüleri .....	29
Tablo 7:11 12 numaralı numunenin mikroyapı görüntüleri .....	30
Tablo 7:12 13 numaralı numunenin mikroyapı görüntüleri .....	31
Tablo 7:13 15 numaralı numunenin mikroyapı görüntüleri .....	32
Tablo 7:14 3 ve 10 numaralı numunelerin çekme deneyi sonuçları.....	33

## SEMBOL LİSTESİ

<b>CO<sub>2</sub></b>	:	Karbon Dioksit
<b>Cu</b>	:	Bakır
<b>Fe</b>	:	Demir
<b>FeO</b>	:	Demir Oksit
<b>g/cm<sup>3</sup></b>	:	Öz Kütle Birimi
<b>g/mol</b>	:	Molekül Ağırlığı
<b>kWh</b>	:	Kilowatt Saat
<b>Li</b>	:	Lityum
<b>Mg</b>	:	Magnezyum
<b>Mn</b>	:	Mangan
<b>N/mm<sup>2</sup></b>	:	Mega Paskal
<b>Ni</b>	:	Nikel
<b>O</b>	:	Oksijen
<b>Si</b>	:	Silisyum
<b>Ti</b>	:	Titanyum
<b>Zn</b>	:	Çinko

## KISALTMALAR

<b>CMT</b>	:	Cold Metal Transfer
<b>GMAW</b>	:	Gas Metal Arc Welding
<b>ITAB</b>	:	Isı Tesiri Altındaki Bölge
<b>MAG</b>	:	Metal Active Gas
<b>MIG</b>	:	Metal Inert Gas
<b>TIG</b>	:	Tungsten Inert Gas
<b>V</b>	:	Volt

## ÖNSÖZ

Öncelikle bu zorlu sürece başlamamda etkili olan danışmanım, ağabeyim, hocam Dr.Öğr.Üyesi Volkan ONAR'a , öğrenim sürem boyunca her konuda benden yardımlarını esirgemeyen öğrencilerini kendi evlatlarından ayırmayan çok kıymetli Doç.Dr. Arzum IŞITAN'a, Lisans eğitimim boyunca beni aileden biri olarak gören ve bizlere sırdaş, ağabey, dost olarak yaklaşan Denizli'deki evimiz Mehmet Ali KURT ve ailesine sizlerin nezdinde teşekkürü bir borç bilirim.

Lisans ve yüksek lisans eğitim süresi boyunca beraber yürüdüğümüz iyi, kötü ve mutlu günümde yanımda olan, hayatımın en güzel olayına şahitlik eden nikah şahidim Yüksek İmalat Mühendisi Mert Ali BAYRAK'a sonsuz teşekkür ederim.

Hayatımın başlangıcından bugüne kadar benden hiçbir desteğini esirgemeyen, babam İlyas TEKBAŞ, annem Aysun TEKBAŞ, ağabeyim Metin TEKBAŞ, kardeşim Büşra TEKBAŞ, yengem Fahriye TEKBAŞ ve hayatıma girdiği günden beri aldığım her kararda benim en büyük destekçim olan ve her zaman varlığıyla şükrettiğim yoldaşım, kıymetli hatunum Nur Banu TEKBAŞ'a saygılarımı ve sevgilerimi sunuyorum.

# 1. GİRİŞ

Küresel ekonomide yerini sağlamlaştıran demir-çelik sektörü, geçmiş tarihlerden günümüze toplumların kalkınmasında ve birçok sanayi kollarının gelişmesinde önemli bir etmen olmuştur. Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle orantılı olarak çelik üretiminde büyük yenilikler görülmektedir (Ersöz ve diğ. 2016).

Hızla gelişen otomotiv endüstrisinde üretici firmalar araç güvenliği, hafiflik ve yakıt tasarrufu başlıklarını önemli birer hedef politikası haline getirmişlerdir. Bu sebeptendir ki; hafif metaller olarak adlandırılan alüminyum, magnezyum ve titanyum alaşımlarının otomotiv endüstrisindeki kullanımı önem kazanmaktadır. Buna karşın çelik; kolayca temin edilebilmesi, şekillendirilmeye uygun olması ve çeşitli yöntemlerle kaynaklanabilmesi gibi belirgin farkları sebebiyle taşıtlarda en fazla kullanılan malzeme olmayı sürdürmektedir (Hayat 2010).

Çelik; üretim yöntemlerine, kullanım alanlarına, alaşım durumlarına, kalite durumlarına, fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre sınıflandırılmaktadır. Alaşım durumlarına göre; sade karbonlu, düşük-orta alaşımlı ve yüksek alaşımlı olarak ayrılan çelikler içerdikleri alaşım elementlerine göre farklılık göstermektedir. Bu nedenle alaşımlı çeliklerin fiziksel ve mekanik özelliklerini geliştirmek, kullanılan alaşım elementi ve elementleriyle mümkün olmaktadır. Alaşım elementleri aynı zamanda çelik için önem arz eden kaynaklı birleştirmeleri de birinci dereceden etkilemektedir (Erden 2012).

Kaynaklı birleştirme yöntemleri imalat sektörleri için vazgeçilmez derecede önem arz etmektedir. Sökülemez bir birleştirme yöntemi olan kaynaklı birleştirmelerde aynı zamanda ilave tel kullanılarak ana malzemeye katkı özellikler de kazandırılabilir. Malzemenin kaynak kabiliyetinin derecelendirilmesi; kullanılacak kaynak yöntemi ve kaynak parametrelerinin belirlenmesinde ve oluşabilecek kaynak hatalarına karşın önlem alınabilmesinde önemli rol almaktadır (Tülbentçi ve Kaluç 2001).

Düşük karbonlu çeliklerin kaynaklı birleştirmelerinde ekseriyetle elektrik ark kaynak yöntemi ve gaz altı kaynak yöntemleri tercih edilmektedir. Gaz altı kaynak yöntemleri, koruyucu gaz altında ilave tel kullanarak veya kullanmaksızın, oluşturulan ark ile gerçekleştirilen birleştirmeler olarak tanımlanabilmektedir. Gazaltı kaynak yöntemlerinden birisi olan TIG (Tungsten Inert Gas) kaynak yöntemi ergimeyen tungsten elektrot ile Argon (Ar) veya Helyum (He) gibi asal koruyucu gaz altında gerçekleşmektedir. TIG kaynak yönteminde ilave kaynak teli kullanılabildiği gibi ilave tel kullanılmadan da birleştirme gerçekleştirilebilmektedir. İmalat sektöründe çoğunlukla tercih edilen bir diğer gaz altı kaynak yöntemi ise MAG (Metal Active Gas) kaynak yöntemidir. MAG kaynak yönteminde temel koruyucu gaz olarak CO<sub>2</sub> (Karbon Dioksit) gazı kullanılmaktadır. Seri imalatta TIG kaynak yöntemine göre üstünlük kazanan bu yöntemin, ucuz kurulum maliyeti, düşük işçilik

gideri ve kolay uygulanabilmesi gibi üstünlükleri bulunmaktadır. Tüm gaz altı kaynak yöntemlerinde olduğu gibi MAG kaynak yöntemi de açık alanda kullanıma uygun değildir (Anık 1983).

Bu çalışmada DD11 ve DD13 düşük karbonlu çelikler, robotik MAG kaynak yöntemi ile 240 A (Amper), 250 A ve 270 A kaynak akımı, 12 mm/sn ve 16 mm/sn kaynak hızları kullanılarak birleştirilmiştir. Robotik MAG kaynak yöntemi ile birleştirilen plakalar su testeresi kullanılarak kesilmiştir. Çekme deneyi standartlarına uygun kesilen plakalardan üçer adet çekme numunesi ve bir adet mikroyapı numunesi elde edilmiştir. Numuneler çekme testine, sertlik testine ve mikroyapı incelemesine tabi tutularak elde edilen sonuçlar neticesinde optimum kaynak parametreleri tespit edilmiştir.

## **2. ÇELİK**

Çelik, demirin (Fe) ilk olarak karbon (C) elementi takviyesiyle sertleştirilerek oluşturulan alaşım olarak adlandırılmaktadır. Karbon elementi dışında farklı alaşım elementleri takviyesiyle çeliğe istenilen fiziksel ve mekanik özellikler kazandırılmaktadır. Çelik üretimi demirin cevher halinden gerçekleştirilebildiği gibi hurda çelikten geri dönüşüm yoluyla da üretimi yapılabilmektedir. Çelikler sıcaklık altında şekillene bildiği gibi talaşlı imalat yöntemleri, presleme ve haddeleme gibi soğuk şekillendirme yöntemleriyle de şekil kazandırılmaktadır (Karagöz 2008).

### **2.1 Çeliklerin Sınıflandırılması**

Çelik, %2,06' dan daha küçük oranda karbon içeren alaşım olarak adlandırılmaktadır. Çelikler sınıflandırılırken kimyasal bileşenleri, mamul boyutları ve kullanım alanları olarak ana gruplara ayrılmaktadır (Yüksel ve Meram 2010).

#### **2.1.1 Kimyasal Bileşimlerine Göre Çeliklerin Sınıflandırılması**

##### **2.1.1.1 Alaşimsız Çelikler**

Alaşimsız çeliklerin içerisinde yer alan katkı elementlerin kullanım alt sınır değerleri EN 10020' de belirlenmiştir. Kalite ve soy çelikler olarak iki alt gruba ayrılan alaşimsız çeliklerden kalite çelikler plastik şekillenmeye uygun olmasınakarşın yüzey sertleştirme yöntemleri için uygun değildir. Soy çelikler ise içerisindeki gazlar giderilmiş, kalıntıların asgari düzeye indirildiği ve ısıl işlem yöntemlerine uygun olan, piyasada temiz çelik olarak adlandırılan alaşimsız çeliklerdir (Yüksel ve Meram 2010).

### **2.1.1.2 Paslanmaz Çelikler**

İçerisinde en az %10,50 Krom (Cr) içeren çelikler paslanmaz çelik olarak isimlendirilmektedir. Temel özelliği korozyona karşı yüksek direnç olan paslanmaz çelikler farklı alaşım elementlerinin ilave edilmesiyle yüksek sıcaklığa direnç gösterme ve yüksek mukavemet gösterme gibi farklı özellikler kazanabilmektedir. Paslanmaz çelikler iç yapılarına göre Ferritik (AISI 409,430,439,444), östenitik (AISI 304,316), östenitik-ferritik (AISI 310) ve martenzitik (AISI 420,431,440B) olarak ayrılmaktadır (Yüksel ve Meram 2010).

### **2.1.1.3 Alaşımli Çelikler ve Alaşım Elementlerinin Çeliğe Kazandırdığı Özellikler**

Kendi içerisinde düşük ve yüksek olarak ayrılan alaşımli çeliklerin bileşeninde bulunan en az bir elementin %5 in üzerinde bir oranda bulunması ile yüksek alaşımli, tüm elementlerinin %5 ve %5'in altında bir oranda bulunması ile düşük alaşımli çelikler olarak tanımlanmaktadır (Erden 2012).

#### **2.1.1.3.1 Karbon (C)**

Çeliğin en temel sertleştirici elementi olan karbon, çelikte akma (Re) ve çekme (Rm) dayanımlarını arttırıcı rol oynasa da kaynak kabiliyeti ve şekillenebilirliği olumsuz yönde etkilemektedir (Erden 2012).

#### **2.1.1.3.2 Mangan (Mn)**

Östenit yapıcı özelliği bulunan mangan elementi çeliğin dayanımını arttırmaktadır. Çeliğin kaynaklanabilirliğini arttıran bu element bir miktar esneklikte azalmaya neden olmaktadır (Erden 2012).

### **2.1.1.3.3 Silisyum (Si)**

Çoğunlukla yay çeliklerinde kullanılan silisyum elementi, çeliğin mukavemetinde önemli ölçüde arttırıcı yönde etki etmektedir (Erden 2012).

### **2.1.1.3.4 Krom (Cr)**

Korozyon ve oksidasyona karşı çeliğe koruma sağlayan krom elementi aynı zamanda aşınmaya karşı da gözle görülür derecede katkı sağlamaktadır. Paslanmaz çeliklerde kullanılan krom elementinin kullanım oranı arttıkça kaynak kabiliyeti olumsuz yönde etkilenmektedir (Erden 2012).

### **2.1.1.3.5 Molibden (Mo)**

Tane büyümesini önleyici, aşınmaya karşı direnci arttırıcı ve mekanik özellikler de olumlu yönde katkı sağlayıcı özellikler kazandıran molibden aynı zamanda da korozyona karşı koruma göstermektedir (Erden 2012).



### 3. ÇELİKLERİN BİRLEŞTİRMELERİNDE KULLANILAN KAYNAK YÖNTEMLERİ

Bir veya daha fazla malzemenin ısı, basınç veya her ikisi altında, ilave tel kullanarak veya kullanmaksızın gerçekleştirilen sökülemez birleştirme veya dolgu işlemi kaynak olarak adlandırılmaktadır (Özçömlekçi 2017).

Tüm imalat yöntemlerinden beklenildiği gibi kaynaklı birleştirme yöntemlerinden de beklenen en temel özellikler; imalat amacına uygun olması ve düşük maliyetle istenilen fonksiyonu tam ve uzun vadede yerine getirmesi olarak söylenebilmektedir (Vural ve diğ. 2003).

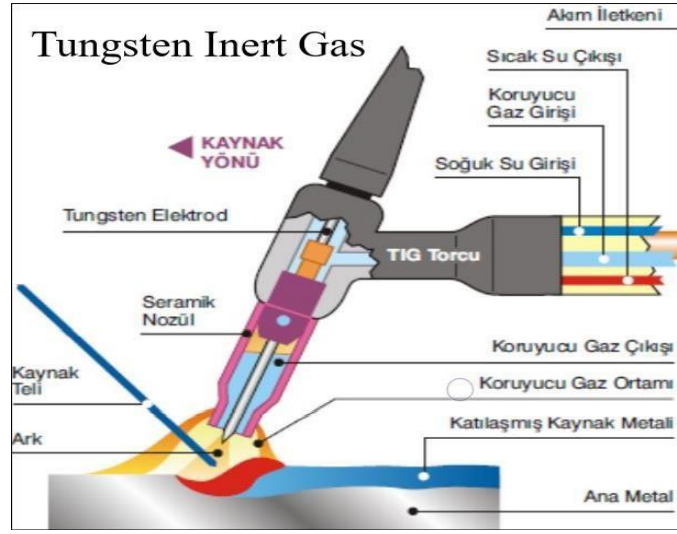


Şekil 3.1: Kaynak kabiliyetini etkileyen faktörler

Kaynak kabiliyeti malzeme, imalat ve konstrüksiyon terimlerine bağlı olmakla birlikte bu terimlerin her biri kaynak kabiliyeti için eşit öneme sahiptir. Kaynak işlemi süresince malzemeye yapılan etkiler nedeniyle malzemede mekanik değişimler meydana gelmektedir. Geleneksel kaynaklı birleştirme yöntemlerinde ustalık halen daha önemli olsa da imalat süreçlerinin kısaltılması hedefi doğrultusunda bu yöntemler otomasyona devşirilmiştir (Vural ve diğ. 2003).



endüstrilerinde kullanılan bu kaynak yöntemi diğer sektörlerde de kullanımı arttırma eğilimi göstermektedir (Bayrak 2021).



Şekil 3.3: TIG kaynak yöntemi

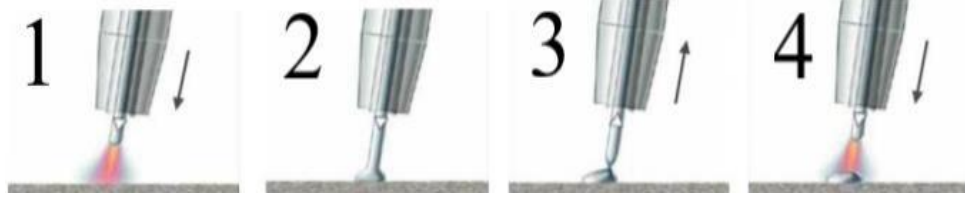
Otomasyona uygun bir kaynak yöntemi olan TIG kaynak yöntemi birçok pozisyonda kaynağa elverişli olmasının yanında ince kesitlere sahip olan malzemelerde yüksek verim alınan bir yöntemdir. Gözle muayene esnasında kaynak dikişi formları ve gözeneksiz yapısı dikkat çekmektedir. Bu kaynak yönteminin en önemli dezavantajı ise kaynak hızının seri üretime uygun olmayacak düzeyde düşük olmasıdır (Koca 2010).

### 3.3 CMT (Cold Metal Transfer) Kaynak Yöntemi

CMT (Cold Metal Transfer) kaynak yöntemi Fronius tarafından 2004 yılında geliştirilerek kaynak teknolojisini kazandırılan önemli bir birleştirme yöntemidir. MIG (Metal Inert Gas) ve MAG (Metal Active Gas) kaynak yöntemlerine göre düşük hızı girdisine sahip CMT kaynak yöntemi ile birçok malzeme birleştirilebilmektedir (Şen 2019).

Kaynak telinin 90 defaya kadar geri çekilmesi ile damlacık oluşturulan CMT kaynak yönteminde düşük akım ile çapaksız bir dikiş elde edilmektedir. Kaynak arkı uzunluklarının ayarlanması mekanik olarak gerçekleştirilebilmektedir. Bu özellik

sayesinde CMT kaynak yöntemi çok fonksiyonlu kullanım alanına sahip bir özellik kazanmasına sebep olmaktadır (Özdemir 2017).



Şekil 3.4: CMT kaynak yönteminde kaynak telinin hareketi

Yukarıda verilen şekil ... öncelikle kaynak teli kaynak banyosuna doğru hareket ettirilir. 2 numaralı bölüme arkın söndüğü ve kabinde kaynak telinin geri çekilerek damlacık oluşturduğu görülmektedir. Son bölümde ise tel en başta ki hareketine devam etmektedir (Özdemir 2017).

### 3.3.1 CMT Kaynak Yönteminin Genel Üstünlükleri

#### 3.3.1.1 Düşük Isı Girdisi

Kaynaklı birleştirme esnasında kaynak telinin hareketi sayesinde yanma fazında kaynak arkı kısa süre kaldığı için CMT kaynak yönteminde düşük ısı girdisi olmaktadır (Ünel 2016).

#### 3.3.1.2 Çapaksız Kaynak

Kaynak telinin geriye çekilmesiyle oluşturulan damlacık sayesinde çapaksız bir kaynak dolgusu oluşmaktadır (Ünel 2016).

#### 3.3.1.3 Kararlı Ark

Mekanik olarak gerçekleşen kaynak arkı boyunun ayarlanması ile belirgin kaynak hızından bağımsız olarak kaynak arkı daima kararlı yapıdadır (Ünel 2016).



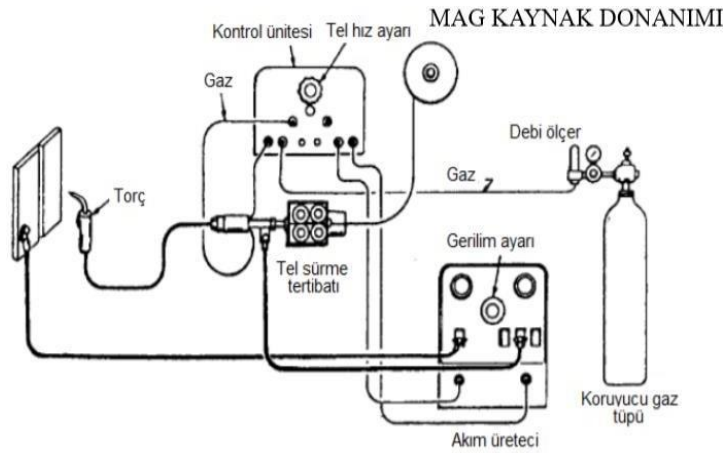
### 3.5 MAG (Metal Active Gas) Kaynak Yöntemi

MAG (Metal Active Gas) kaynak yöntemi CO<sub>2</sub> (Karbondiyoksit) gazının koruyucu gaz olarak kullanıldığı ve eriyen kaynak teli ile malzeme arasında oluşturulan ark sayesinde gerçekleştirilen kaynaklı birleştirme yöntemi olarak isimlendirilmektedir. Özellikle az ve yüksek alaşımlı malzemelerin kaynaklı birleştirmeleri için koruyucu gazlarda karışım denenerek sıçramanın minimize edildiği kaynaklar elde etme yönünde ciddi gelişmeler kaydedilmektedir. Bu kaynak yöntemi ayrıca ince kaynak teli kullanma imkânı sağlamaktadır (Çelik 2013).

#### 3.5.1 MAG Kaynak Yöntemi Donanımı

MAG kaynak yöntemi örtülü elektrot kaynak yöntemine göre daha karmaşık bir kaynak donanımına sahiptir. Bu kaynak donanımı şu şekilde sıralanabilmektedir (Tülbentçi 1998).

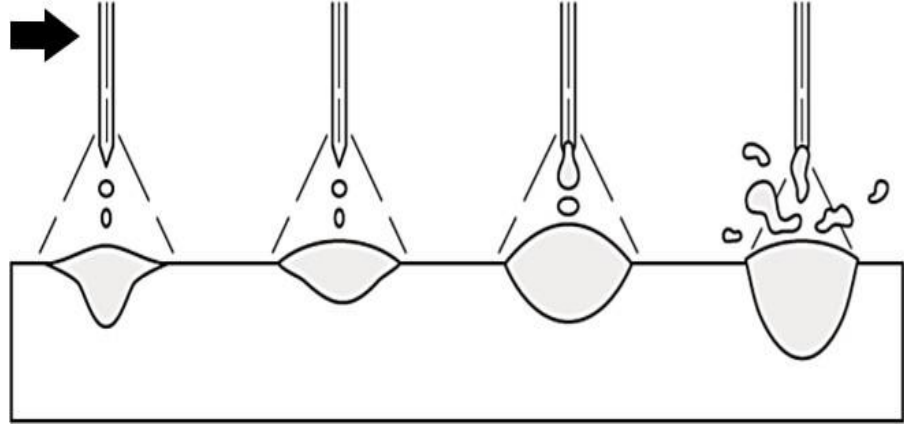
- Kaynak Torcu
- Kaynak Torç Paketi
- Kaynak Teli Sürme Ünitesi
- Kontrol ve Kumanda Sistemi
- Kaynak Akım Üretici
- Koruyucu Gaz



Şekil 3.6: MAG kaynak yöntemi kaynak donanımı

### 3.5.2 Koruyucu Gazın Önemi

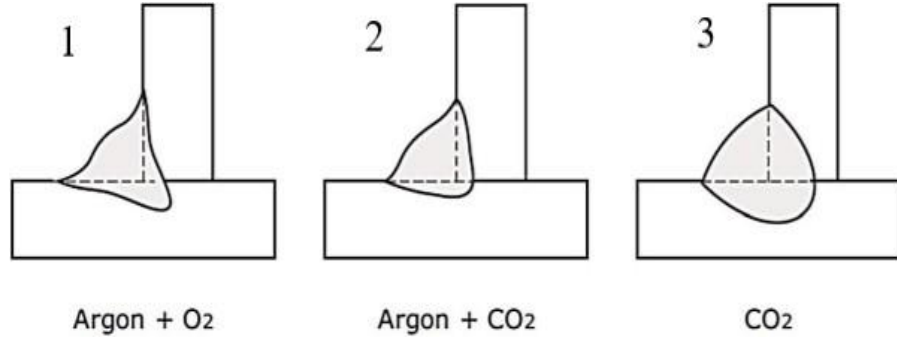
Tüm gazaltı kaynak yöntemlerinin çalışma prensibi koruyucu gazın ark bölgesini atmosferden koruyarak düzgün ve geçerli bir birleşme sağlanması olarak tanımlanmaktadır. Gazaltı kaynak yöntemlerinde Inert ve Active gazlar ayrı ayrı kullanılabilirdiği gibi karışım olarak da kullanılabilir. Inert gazlar kararlı yapıda oldukları için çoğunlukla metal olmayan malzemelerin kaynaklı birleştirmelerinde kullanılmaktadır (Türk 2021).



Şekil 3.7: Sırasıyla soldan sağa doğru Argon, Helyum, Argon-Helyum ve CO<sub>2</sub> gazlarının nüfuziyete etkisi

#### 3.5.2.1 Karbondioksit Gazı

Rengi ve kokusu olmayan bir gaz olan karbondioksit gazı MAG kaynak yönteminde koruyucu olarak kullanılan bir gazdır. Özgül ağırlığı 1.997 kg/cm<sup>3</sup> olan karbondioksit gazı havadan 1,5 kat daha ağırdır. Genellikle alaşımsız çeliklerin kaynaklı birleştirmelerinde kullanılan karbondioksit gazı ile gerçekleştirilen kaynaklarda spreyl ark mümkün olmamaktadır. Kaynak maliyeti açısından uygun oluşu, kolay temin edilebilirliği tercih edilmesinde önemli rol oynasa da kaynak esnasında sıçrama yapması en önemli dezavantajlarından biridir (Türk 2021).



Şekil 3.8: Farklı koruyucu gazların nüfuziyet farklılıkları

### 3.5.3 MAG Kaynak Yönteminin Avantaj ve Dezavantajları

- Kaynak dikişi üzerinde cüruf oluşmaması nedeniyle temizlik süreci oluşmamaktadır.
- Tel sürme ünitesi sayesinde uzun süreli kaynak dikişleri elde edilebilmektedir.
- Otomasyona uygun bir kaynak yöntemidir.
- Birçok kaynak pozisyonunda uygulanabilmektedir.
- Kaynak hızı yüksektir.
- İş güvenliği açısından alınması gereken önlemler daha geniştir.
- Açık alanlarda kullanımı koruyucu gazın işlevini görememesinden ötürü uygun değildir (Karaman ve Gülenç 2016).



## 4. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

M. Hüseyin Çetin ve arkadaşları AISH Östenitik paslanmaz çelik ile düşük karbonlu S235JR malzemelerinin MAG kaynak yöntemi ile farklı parametrelerde birleştirilmeleri üzerine çalışmışlardır. Kaynaklı birleştirmeler 90, 120 ve 190 A olarak üç farklı kaynak akımda ve 7,12,18 mm/s gibi üç farklı kaynak hızındagerçekleşmiştir. Yaptıkları çalışma sonucunda çekme testi sonuçları düşük karbonlu çeliğin mekanik dayanımlarının kaynak bölgesi mekanik dayanımlarından düşük olduğunu elde etmişlerdir. S235JR malzemesi ile AISH 304 malzemesinin kaynaklanabilir olduğunu ispatladıkları bu çalışmada tel hızının artışı kaynak bölgesindeki sertlik değerinin arttığını gözlemlemişlerdir (Çetin ve diğ. 2018).

Nizamettin Kahraman ve arkadaşları bu çalışmada 4 mm kalınlığındaki östenitik paslanmaz çelik levha ile düşük karbonlu çelik levhanın elektrik ark kaynak yöntemiyle birleştirilmesini incelemişlerdir. Elektrik ark kaynak yöntemi kullanılan bu çalışmada AS P-316L ve AS P-347 olmak üzere iki farklı kaynak elektrotu kullanılmıştır. Yaptıkları kaynaklı birleştirme işlemleri sonucunda numuneler çekme deneyine tabi tutulmuştur. Çekme deneyi sonucunda AS P-347 kaynak elektrotu ile yapılan kaynaklı birleştirmelerin AS P-316L kaynak elektrotu ile yapılan kaynaklı birleştirmelere göre daha yüksek dayanıma sahip olduğunu gözlemlemişlerdir. Çekme testi esnasında kopmaların düşük karbonlu çelik kısmından olduğunu tespit etmişlerdir. Yaptıkları eğme deneyi sonuçlarında yırtık ve çatlak gibi olumsuz sonuçlarla karşılaşmamışlardır (Kahraman ve diğ. 2002).

Emine Gündoğdu İş ve arkadaşları düşük karbonlu çeliklerde elektrik ark ve MAG kaynak yönteminin mekanik özelliklere etkisini incelemişlerdir. Bu çalışmada 12 mm kalınlığındaki S355J2 düşük karbonlu çelik levha V kaynak ağzı açılarak kaynaklı birleştirme yapılmıştır. MAG kaynak yönteminde koruyucu gaz olarak M24 karışım gazı kullanılmıştır. İlave kaynak teli olarak MAG kaynak yöntemin de G3Si1, elektrik ark kaynağında ise E423B42H10 kullanılmıştır. Kaynak öncesinde ve kaynak sonrasında herhangi bir ısıl işlem yapılmamıştır. Yapılan kaynaklı birleştirmeler neticesinde numunelere çekme, eğme, çentik darbe ve sertlik deneyleri yapılmıştır. MAG kaynak yöntemi ile birleştirilen levhaların sertlik değerleri elektrik

ark kaynak yöntemi ile birleştirilen levhalara göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. 180° eğme testlerinde her iki yöntem ile birleştirilen numunelerde herhangi bir hasar ve çatlak gözlemlenmemiştir. Tüm numunelerin çekme deneyleri ana malzemedan kopmalarıyla sonuçlanmıştır (İş ve diğ. 2015).

Sabri Kılınçer düşük karbonlu çelikleri toz altı kaynak yöntemi ile kaynaklanabilirliğini incelemiştir. Bu çalışmada 20 mm kalınlığında farklı c (karbon) oranına sahip altı farklı malzeme toz altı kaynak yöntemi ile birleştirilmiştir. Toz altı kaynak yönteminde 4mm kalınlığında OE S1 kaynak teli ve kaynak tozu olarak da OP 1100 tozu kullanılmıştır. Kaynaklı birleştirmelerden kesilen numuneler çekme, darbe çentik, eğme ve sertlik testine tabi tutulmuştur. Çekme testi analizlerine göre karbon oranındaki artışın çekme dayanımını arttırdığı ve uzama miktarını azalttığını gözlemlenmiştir. Çekme testinde kopmalar kaynak bölgesinden değil ana malzemedan olmuştur. Yaptıkları eğme testi sonucunda çatlak ve hasar gözlemlenmemiştir. Toz altı kaynak yöntemi ile birleştirilmiş parçaların sertlik testinde numunelerin sertliklerinin karbon oranıyla doğru orantılı olduğu belirlenmiştir. Yaptıkları mikroyapı incelemelerin de ise karbon oranı arttıkça ferrit oranı azalmakta ve perlit oranı artmaktadır (Kılınçer 1998).

Mustafa Erkin DD11 ve DD13 çeliklerinin kendi aralarında farklı kaynak yöntemleri ile birleştirilmesini incelemiştir. Kaynaklı birleştirmelerde kaynak teli olarak 1,2 kanlığa sahip MG 2 kaynak teli kullanılmıştır. Kaynak hızı olarak 8,12 ve 16 mm/sn kaynak akımı olarak ise 250, 270 ve 290 amper kullanılmıştır. Kaynaklı birleştirmelerden kesilen numuneler çekme, eğme deneylerine ve mikroyapı incelemesine tabi tutulmuştur. Deneyler sonucunda DD11 ve DD13 malzemelerin MIG/MAG kaynak yöntemi ile kaynaklanabildiği tespit edilmiştir. En fazla çarpılma 290 A ve 8 mm/s parametreleri ile birleştirilen numunelerde gözlemlenmiştir. Eğme testi sonucunda numunelerde çatlak veya hasar gözlemlenmemektedir. Mikroyapı incelemeleri neticesinde kaynak hızının artması kaynak nüfuziyetini düşürdüğü gözlemlenmiştir (Erkin 2020).

E. Emre Baran Östenitik paslanmaz çelik ile düşük karbonlu çeliğin kaynaklı birleştirilmesinin mekanik özelliklerini incelemiştir. 14 mm kalınlığındaki parçalara V kaynak ağızı açılıp SG 2 kaynak teli kullanılarak birleştirilmiştir. Yapılan testler neticesinde; kaynak amperi ve kaynak hızının artmasıyla çekme dayanımının

düştüğü, kaynak amperinin artmasıyla kaynak bölgesindeki sertlik değerinin arttığı ve kaynak dikişinin gevrek bir hal aldığı gözlemlenmiştir (Baran 2006).

E. Bahadır Bulut bakır alaşımı levha ile düşük karbonlu çelik levhanın TIG kaynak yöntemi birleştirilmesini incelemiştir. 3 mm kalınlığındaki numunelerin birleştirilmesinde WCrMo9Si kaynak teli kullanılmıştır. Kaynak parametresi olarak bu çalışmada; 300 ve 200 A kaynak amperi olarak belirlenmiştir. Yapılan kaynaklı birleştirmeler neticesinde numuneler çekme ve sertlik testine tabi tutulmuştur. Yaptıkları sertlik ölçümüne göre kaynak dikişine yaklaştıkça sertliğin arttığı gözlemlenmiştir (Bulut 2008).

Y. Erener yaptığı çalışmada gazaltı kaynağının kaynak robotu ile yapılmasında kaynak parametrelerinin analiz etmiştir. Sonuç olarak seçtiği kaynak akımı, gerilim ve kaynak hızının kaynak geometrisine etki ettiğini ve kaynak öncesi kaynak geometrisinin tahmin edilebileceği kanısına varmıştır (Erener 2006).

Y. Okuroğulları yaptığı çalışmasında farklı özelliklere sahip çelikleri gazaltı kaynağı ile birleştirerek bağlantıların mekanik özelliklerinin incelemiştir. Kullanılan çelik çifti (St52 ve S460 MC) için gazaltı kaynağında en iyi mekanik özellikleri sağlayan optimum değerler tespit etmiş ve kullanıcıya sunmuştur (Okuroğulları 2022).

A.B. Özturan, yapmış olduğu yüksek lisans tezinde farklı iki çeliği (Hardox 450 ve S355J2C+N) gazaltı kaynak yöntemi kullanarak birleştirmiştir. Sonuç olarak, kullanılan kaynak yöntemi ile kompleks yapıya sahip konstrüksiyonlarda iki farklı çeliğin başarılı bir şekilde birleştirilebileceğini gözlemlemiş ve kullanıcıya optimum kaynak parametrelerini sunmuştur (Özturan 2022).

## 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 5.1 DD11 ve DD13 Çelikleri

Bu çalışmada otomobil ön salıncak sisteminde kullanılan 200x200x3 ölçülerine sahip DD11 ve DD13 çeliklerinden oluşan levhalar kesilerek kaynak öncesi yüzey hazırlıkları yapılmıştır. Yüzeyleri kaynak için uygun hale gelen levhalar Robotik MAG kaynak yöntemi kullanılarak alın altına pozisyonda kaynak yapılarak tablodaki parametrelere uygun olarak birleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan DD11 ve DD13 çeliklerin kimyasal bileşenleri tablo 5.1’de verilmekte ve mekanik dayanımları tablo 5.2’de verilmektedir.

**Tablo 5:1** DD11 ve DD13 çeliklerinin kimyasal analizleri

%	C	Mn	P	S	Si	Al	Cu	Cr	Ni	Mo	Fe
DD11	0,044	0,231	0,007	0,015	0,015	0,030	0,040	0,024	0,039	0,001	Kalan
DD13	0,040	0,255	0,024	0,001	0,039	0,053	0,027	0,036	0,035	0,004	Kalan

**Tablo 5:2** DD11 ve DD13 çeliklerinin mekanik dayanımları

(N/mm <sup>2</sup> )	Akma Dayanımı (Re)	Çekme Dayanımı (Rm)	% Uzama
DD11	232,4	345,2	43
DD13	229,5	337,3	42

Kaynak sırasında kullanılan parametre ve değişkenlerin seçiminde kaynaklı birleştirmenin mekanik ve mikroyapı özelliklerini direk etkileyen faktör ısı girdisidir. Isı girdisi de kaynak amperi ve kaynak hızına bağlı bir parametredir

### 5.2 Kaynak Teli

Tüm numunelerin kaynaklı birleştirmelerinde MG2 kaynak teli kullanılmıştır.

### 5.3 Koruyucu Kaynak Gazı

Koruyucu gaz olarak saf CO<sub>2</sub> gazı kullanılmıştır.

## 6. YÖNTEM

### 6.1 Deney Numunelerin Kaynaklı Birleştirmeleri

100x100x3 mm kalınlığındaki DD11 ve DD13 levhaları MAG (Metal Active Gas) kaynak yöntemleri ile farklı parametrelerde (12-16 mm/sn kaynak hızlarında, 250-270 A kaynak akımlarında ve iki farklı debide )birleştirilmiştir. Birleştirme işlemi Teknorot firmasında bulunan Fronius TPS 4000 CMT marka robotik kaynak makinası kullanılarak tamamlanmıştır. Kaynak esnasında MG2 kaynak teli kullanılmıştır



şekil 6.9 DD11 ve DD13 levhaların kaynaklı birleşimi

**Tablo 6:3** Numunelerin birleştirilmesinde kullanılan kaynak parametreleri

Parça No	Kaynak Hızı (mm/sn)	Amper	Debi (L\dakika)	ISI GİRDİSİ (kJ\mm]
		(A)		
1	12	250	14	0,27
3	16	250	14	0,2
4	12	270	14	0,3
6	16	270	14	0,22
10	12	250	20	0,27
12	16	250	20	0,2
13	12	270	20	0,3
15	16	270	20	0,22
16	12	240	20	0,26
18	16	240	20	0,19

## 6.2 Çekme Testi Numunesi Elde Edilmesi

Çekme testi numuneleri TS EN ISO 6892 standardına uygun olarak su testeresi ile kesilerek elde edilmiştir.

## 6.3 Metalografik Çalışmalar

Mikroyapı görüntüleme çalışmaları Pamukkale Üniversitesi Teknoloji Fakültesinde gerçekleştirilmiştir.

## 6.4 Çekme Deneyi

Çekme deneyleri 10 kN luk çekme cihazında her bir parametre için 3 adet olacak şekilde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.10 Çekme Testi Cihazı

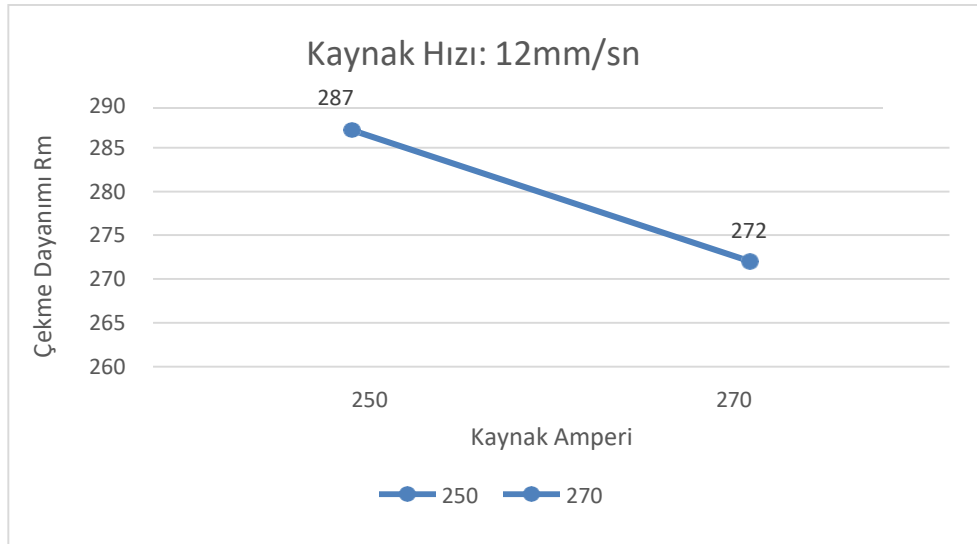
## 7. BULGULAR

### 7.1 Çekme Deneyi Sonuçları

Gerçekleştirilen çekme testi sonuçları tablo 7.4'te verilmektedir.

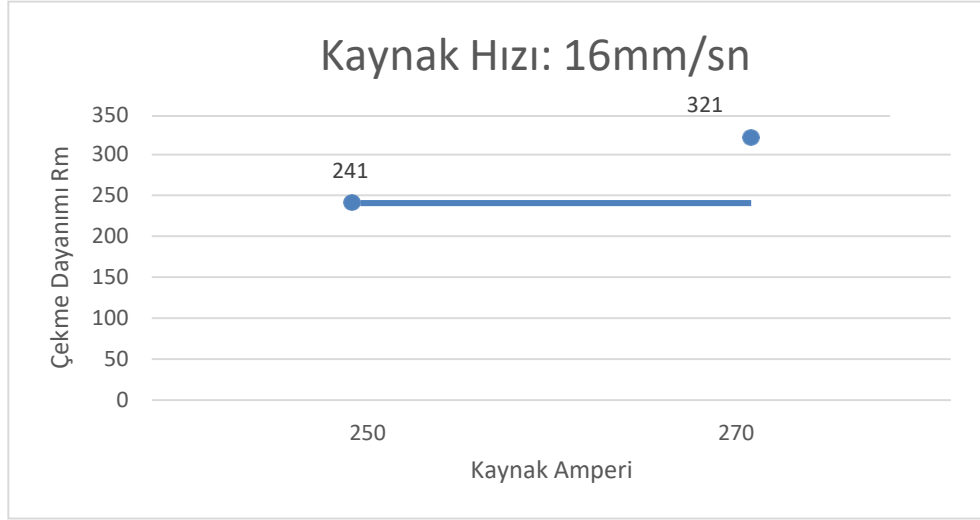
**Tablo 7:4** Çekme testi sonuçları

Parça No	Rm	Uzama %
1	287	20,8
3	241	22,7
4	272	22,5
6	321	21,5
10	326	22,1
12	315	22,8
13	316	20,6
15	320	20,4
16	325	21,7
18	321	23,4

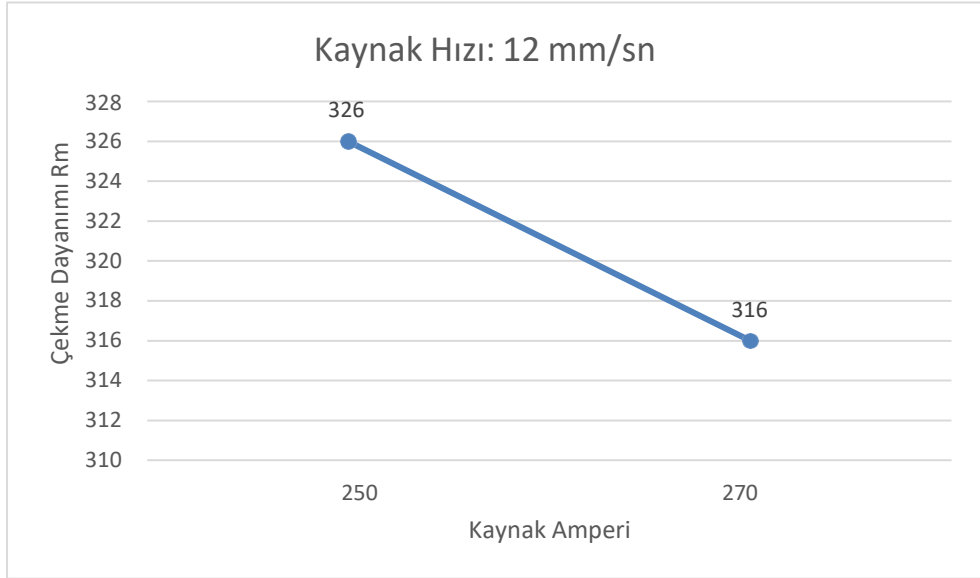


**Şekil 7.11** 1 ve 4 numaralı numunelerin çekme dayanımlarının karşılaştırılması

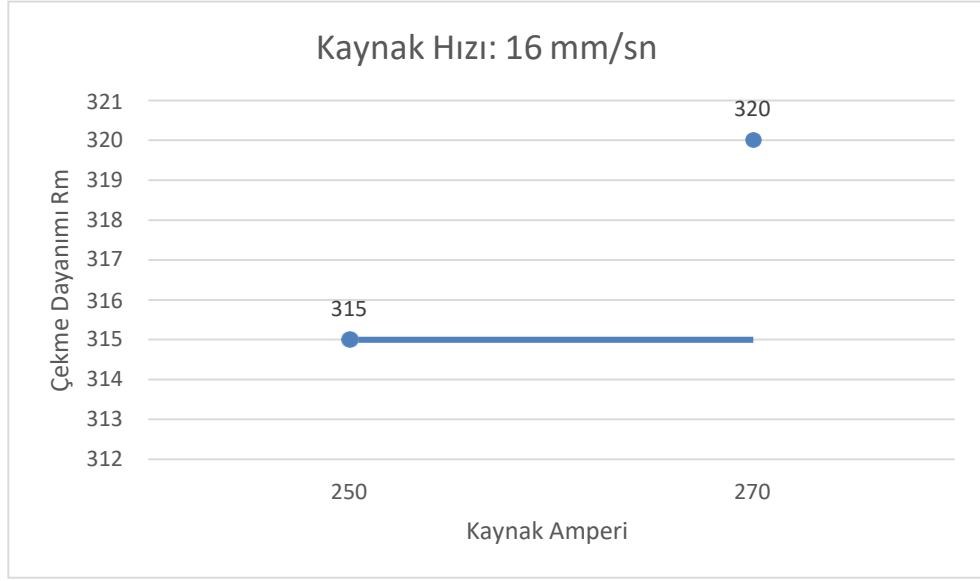




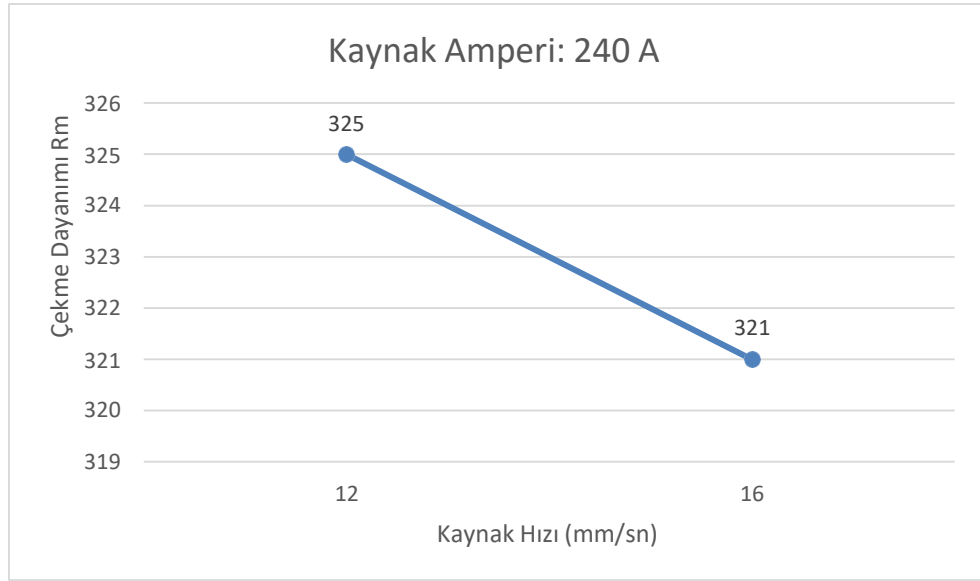
**Şekil 7.12** 3 ve 6 numaralı numunelerin çekme dayanımlarının karşılaştırılması



**Şekil 7.13** 10 ve 13 numaralı numunelerin çekme dayanımlarının karşılaştırılması



**Şekil 7.14** 12 ve 15 numaralı numunelerin çekme dayanımlarının karşılaştırılması



**Şekil 7.15** 16 ve 18 numaralı numunelerin çekme dayanımlarının karşılaştırılması

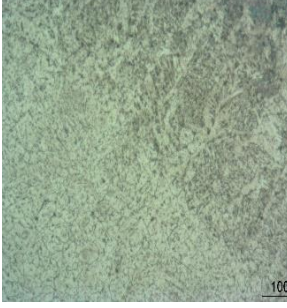
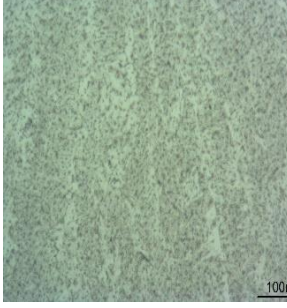
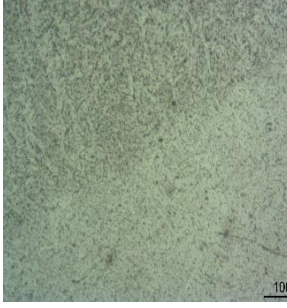
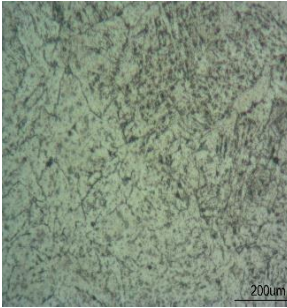
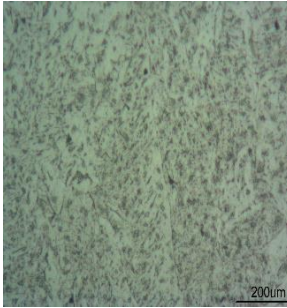
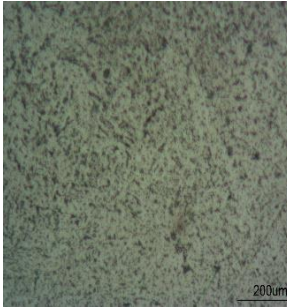
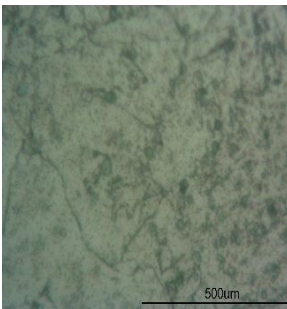
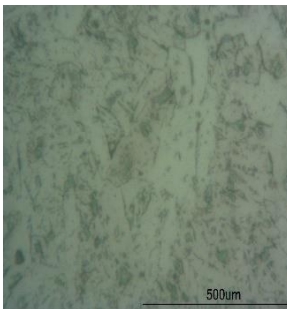
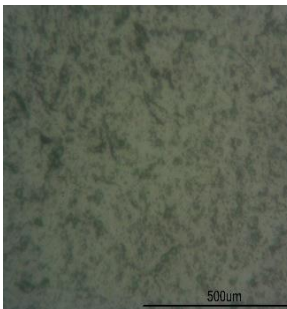
## 7.2 Mikroyapı Görüntüleri

Tablo 7.3' de kaynak parametreleriyle birlikte numaralandırılan numunelerin mikroyapı görüntüleri ilgili tablolarda verilmektedir.

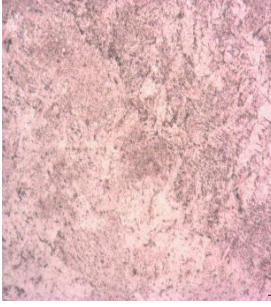
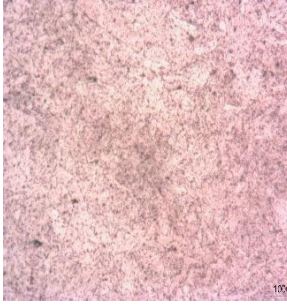
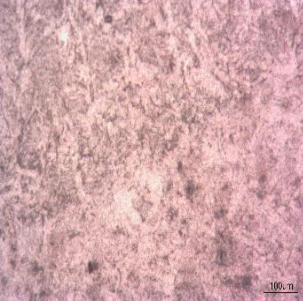
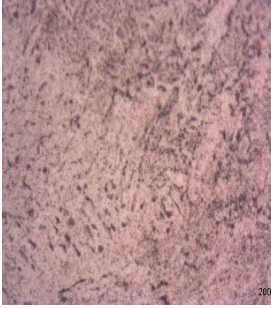
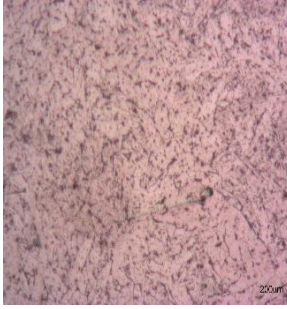
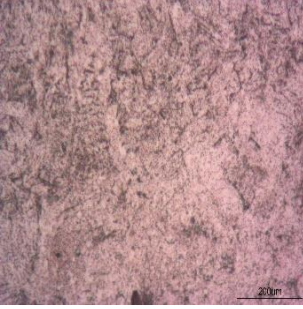
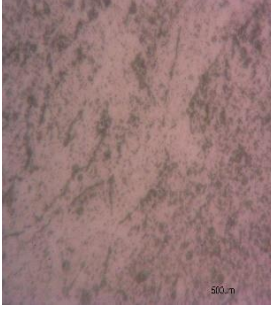
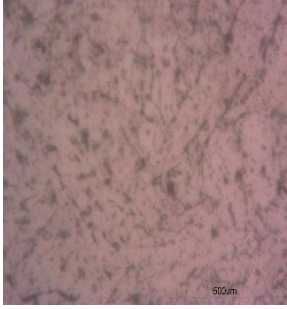
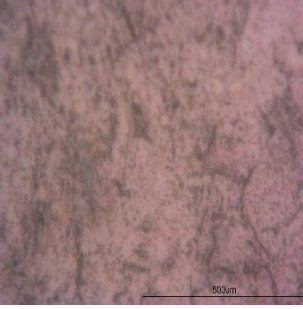
**Tablo 7:5** Belirtilen tez numunelerinin kaynak parametreleri bilgisi

Numune No	Kaynak Hızı (mm/sn)	Amper (A)	Debi
1	12	250	14
3	16	250	14
4	12	270	14
6	16	270	14
10	12	250	20
12	16	250	20
13	12	270	20
15	16	270	20

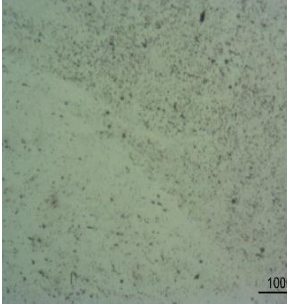
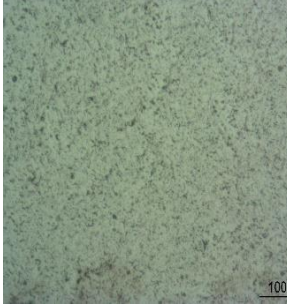
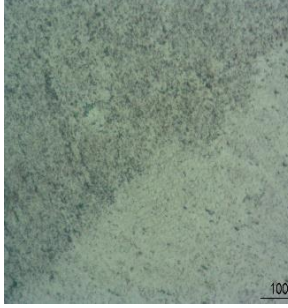
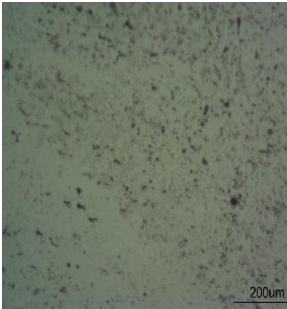
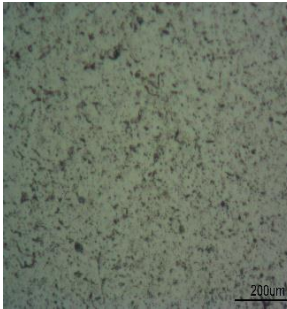
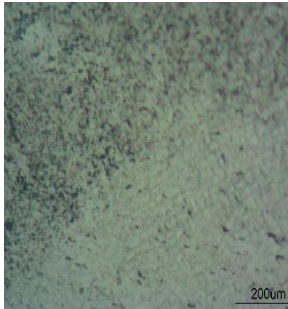
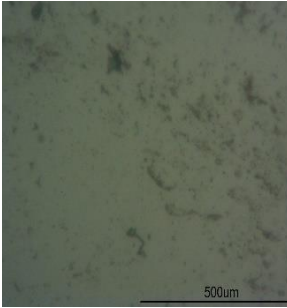
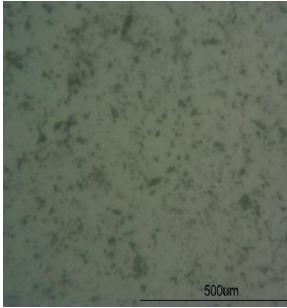
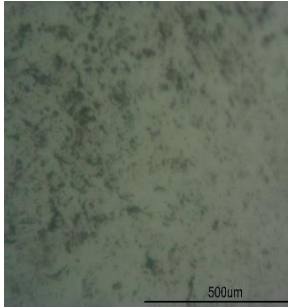
**Tablo 7:6** 1 numaralı numunenin mikroyapı görüntüleri

No	BÜYÜTME	DD11 GEÇİŞ	KAYNAK BÖLGESİ	DD13 GEÇİŞ
1	100X			
	200X			
	500X			

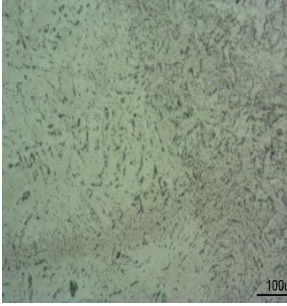
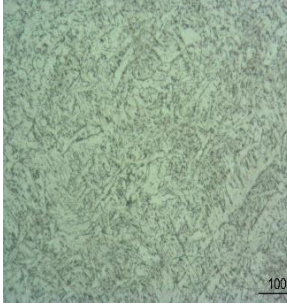
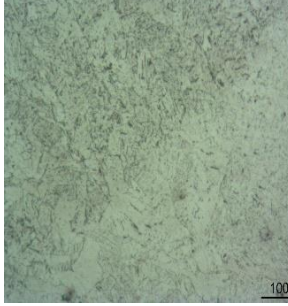
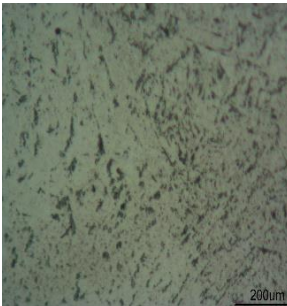
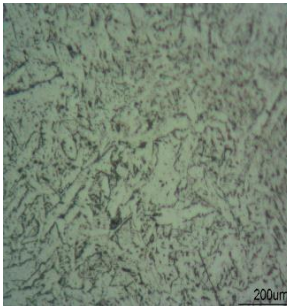
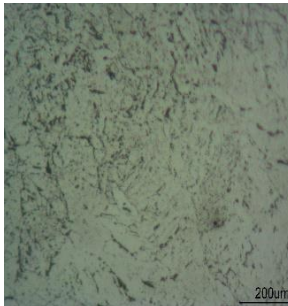
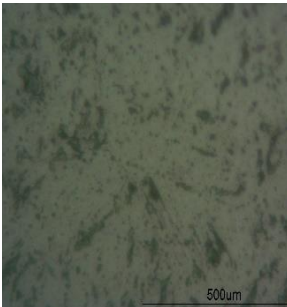
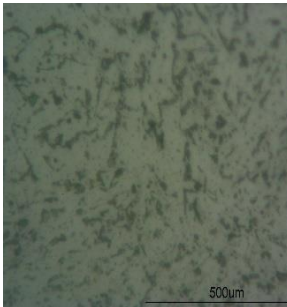
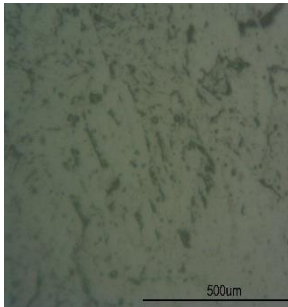
**Tablo 7:7** 3 numaralı numunenin mikroyapı görüntüleri

No	BÜYÜTME	DD11 GEÇİŞ	KAYNAK BÖLGESİ	DD13 GEÇİŞ
3	100X			
	200X			
	500X			

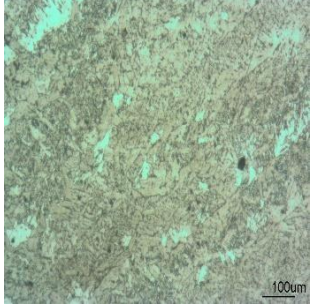
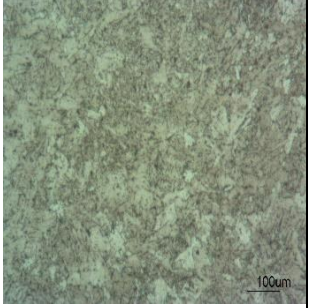
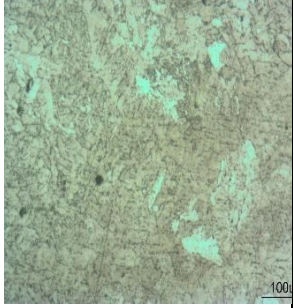
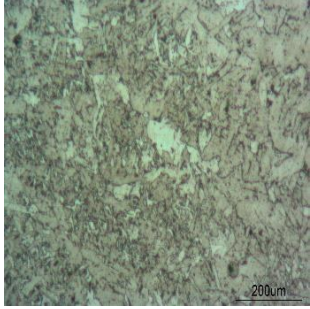
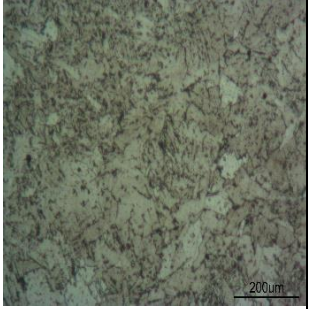
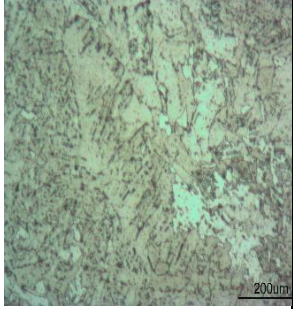
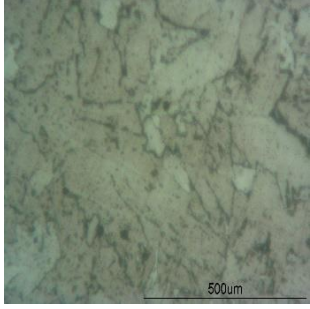
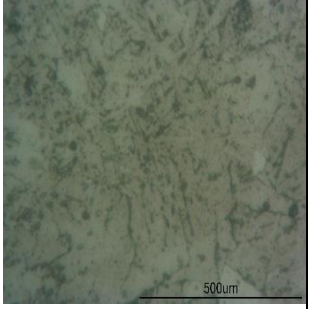
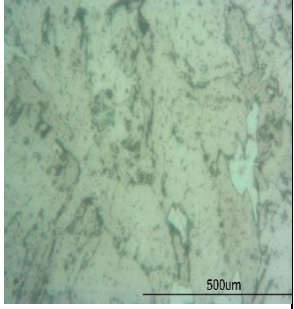
**Tablo 7:8** 4 numaralı numunenin mikroyapı görüntüleri

No	BÜYÜTME	DD11 GEÇİŞ	KAYNAK BÖLGESİ	DD13 GEÇİŞ
4	100X			
	200X			
	500X			

**Tablo 7:9** 6 numaralı numunenin mikroyapı görüntüleri

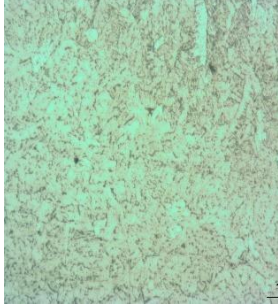
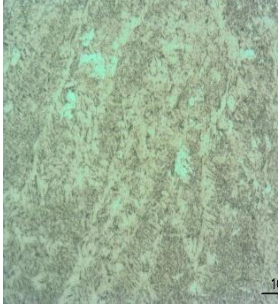
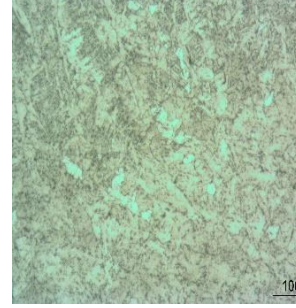
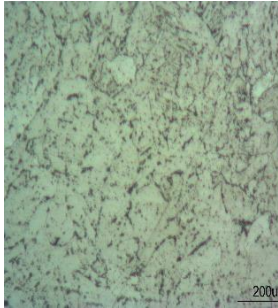
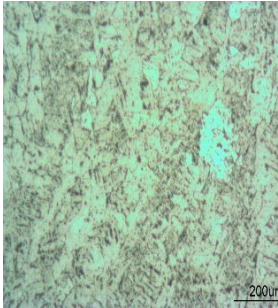
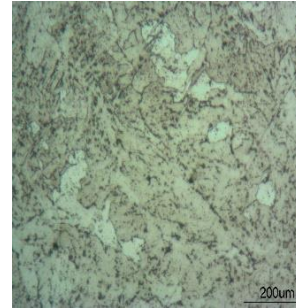
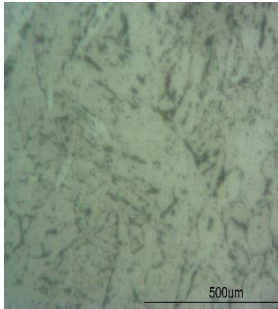
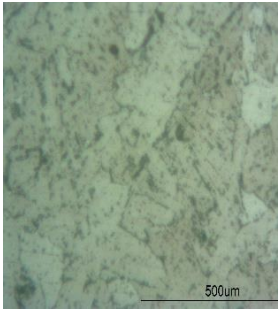
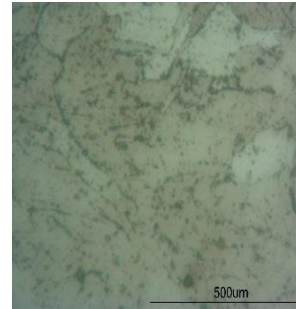
No	BÜYÜTME	DD11 GEÇİŞ	KAYNAK BÖLGESİ	DD13 GEÇİŞ
6	100X			
	200X			
	500X			

**Tablo 7:10** 10 numaralı numunenin mikroyapı görüntüleri

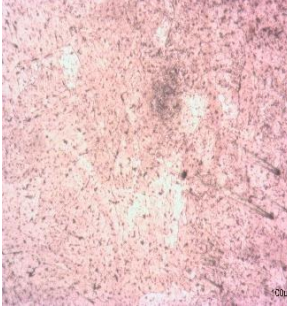
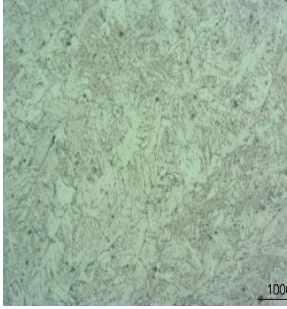
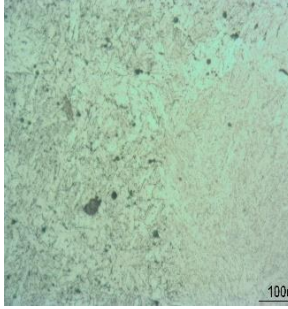
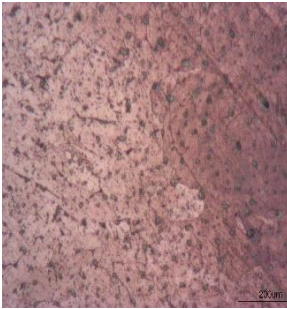
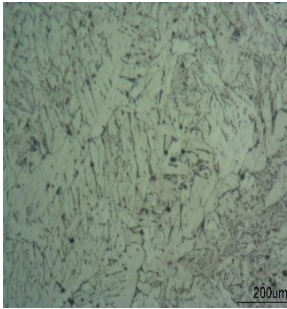
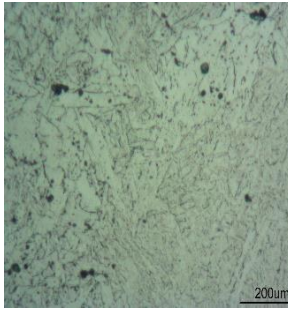

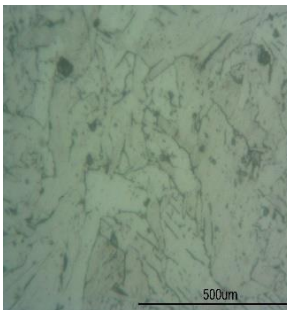
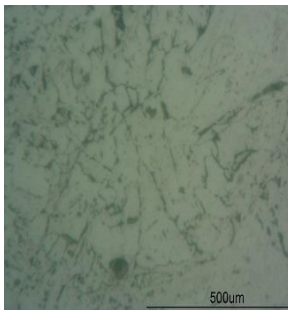
No	BÜYÜTME	DD11 GEÇİŞ	KAYNAK BÖLGESİ	DD13 GEÇİŞ
10	100X			
	200X			
	500X			



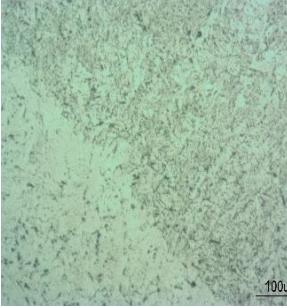
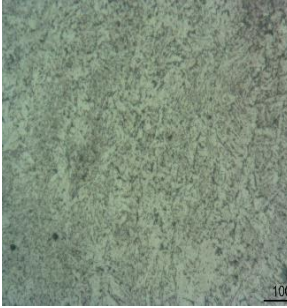
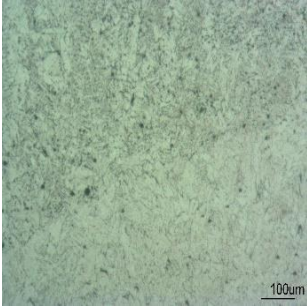
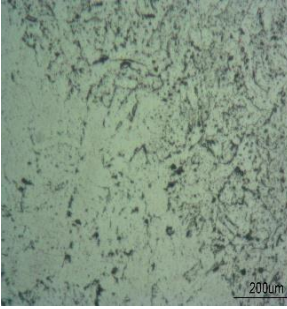
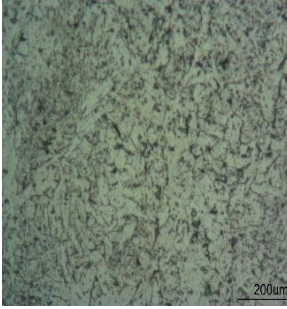
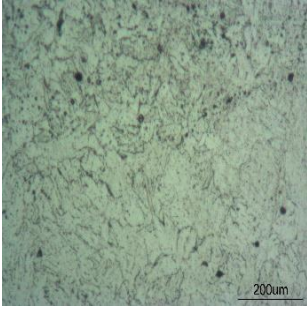
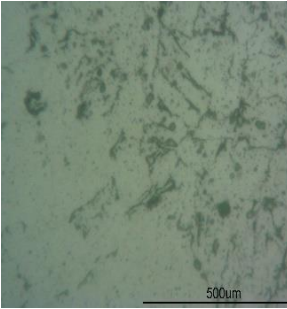
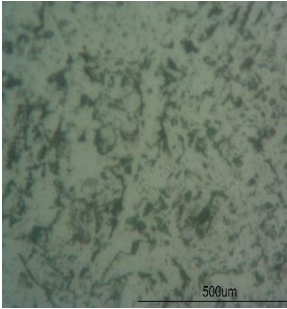
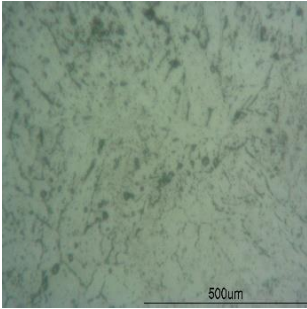
**Tablo 7:11** 12 numaralı numunenin mikroyapı görüntüleri

No	BÜYÜTME	DD11 GEÇİŞ	KAYNAK BÖLGESİ	DD13 GEÇİŞ
12	100X			
	200X			
	500X			

**Tablo 7:12** 13 numaralı numunenin mikroyapı görüntüleri

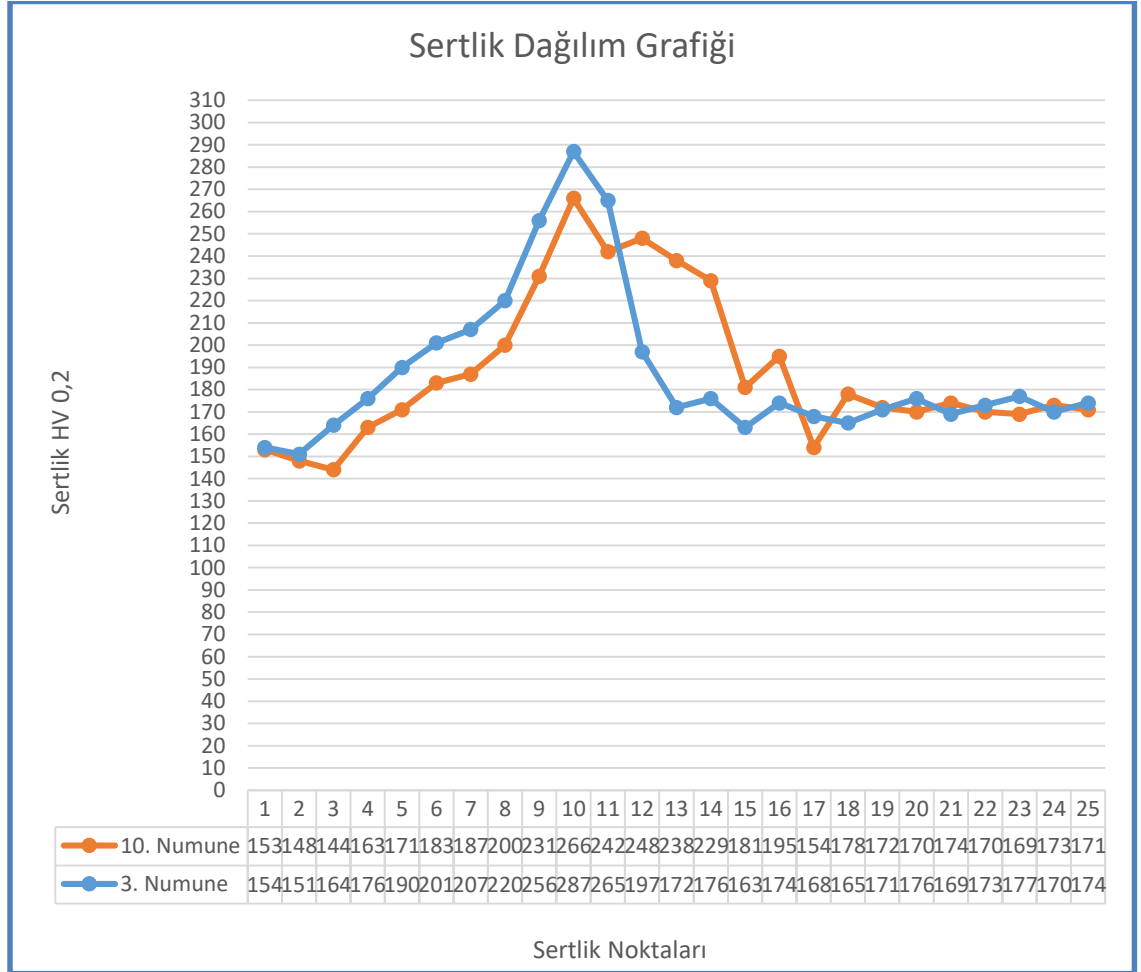
No	BÜYÜTME	DD11 GEÇİŞ	KAYNAK BÖLGESİ	DD13 GEÇİŞ
13	100X			
	200X			
	500X			

**Tablo 7:13** 15 numaralı numunenin mikroyapı görüntüleri

No	BÜYÜTME	DD11 GEÇİŞ	KAYNAK BÖLGESİ	DD13 GEÇİŞ
15	100X			
	200X			
	500X			

Numunelerden alınan mikroyapılar incelendiğinde birleştirmelerin DD13 kısmında oluşan geçiş bölgesinde tanelerin irileştiği ve segragasyonların oluştuğu görülmektedir. bununla beraber alınan sertlik ve çekme deneyler ışığında sertlik artışının en fazla olduğu 3 nolu numunenin DD 13 malzemesinde oluşan iri taneli bölgeden kaynaklı olduğu ve dentrit kollarının diğer birleştirmelere göre daha büyük ve geniş olduğu ve mikroyapı içerisinde çözünmeden yüksek ısılarda ortaya çıkan FeS bileşiğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ve literatürde buna benzer sonuçların olduğu bilinmektedir.

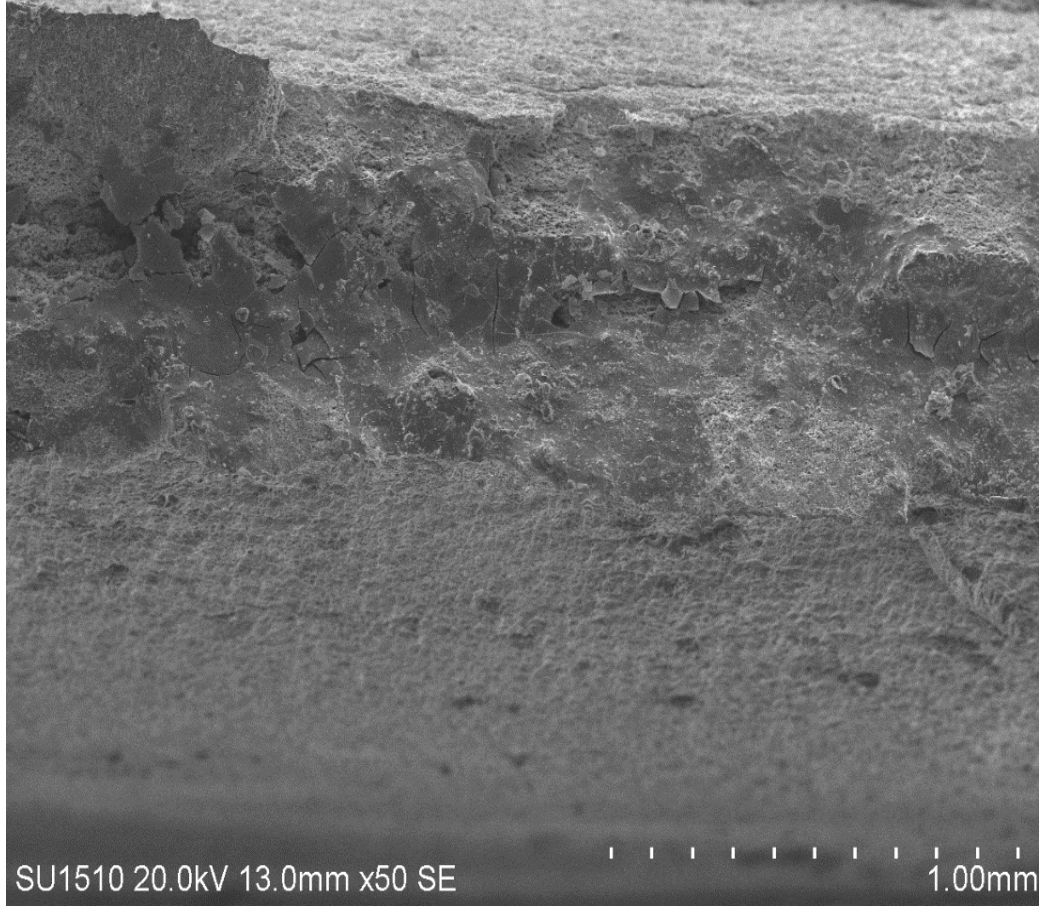
### 7.3 Çekme Deneyi Sonuçları



En düşük çekme dayanımına sahip 3. Numune (16 mm\sn kaynak hızı, 250 Amper ve 14 L\dakika gaz debisi) ile en yüksek çekme dayanımına sahip 10. Numunenin (12 mm\sn kaynak hızı, 250 Amper ve 20 L\dakika gaz debisi) sertlik davranışlarının karşılaştırılması sonucu kaynak hızının artması ile sertlik değerinin arttığı gözlemlenmiştir. Isı girdisinin artması sonucunda yavaş soğumanın olduğu dolayısıyla ısıl şokun azaldığından dolayı sertliğin çok yükselmediği gözlemlenmiştir. Kırılmaların ise Isıl şokun artması le ısı girdisinin düşük olduğu numunede (3. numune) sertliğin arttığı ve kırılmaların DD 13 malzemesinden olduğu gözlemlenmiştir.

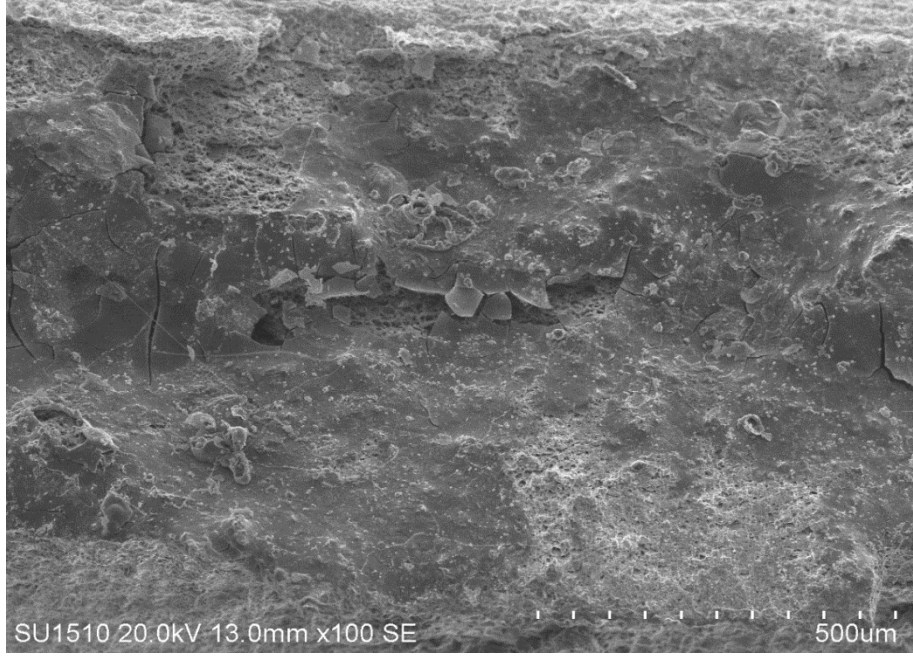
#### 7.4 SEM ve EDS Analiz Sonuçları

Çalışma kapsamında elde edilen numuneler içerisinde en iyi ve en kötü mekanik özelliklere sahip numuneler sırasıyla 3 ve 10 nolu numunelerdir. Bu numunelerin hem kaynaklı hallerinde hem de çekme deneyi uygulandıktan sonra kopma yüzeylerine SEM ve EDS analizi uygulanmıştır.



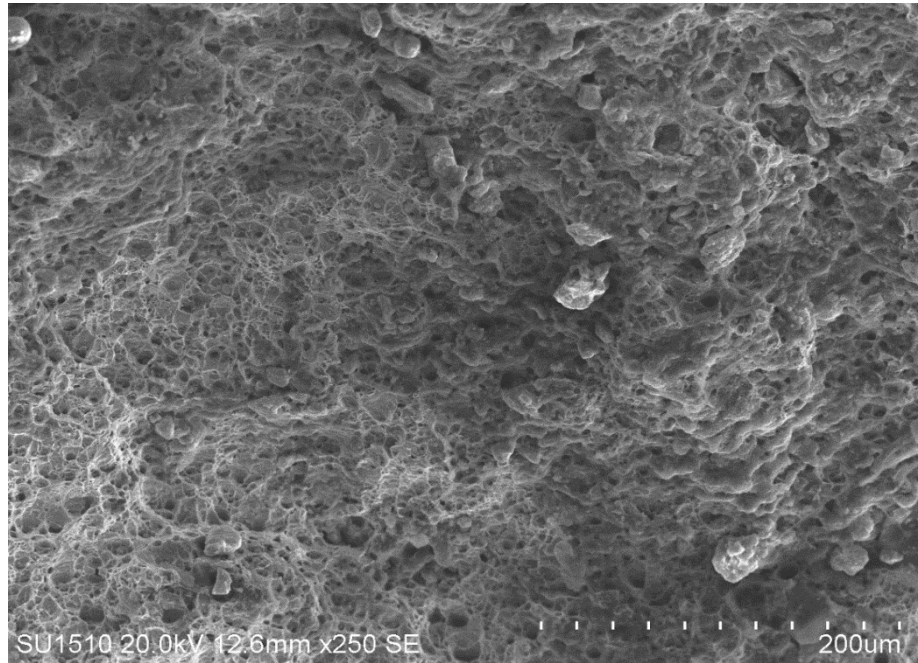
**Şekil 7.16** 3 numaralı numunenin çekme deneyi sonucunda oluşan kopma yüzeyinin SEM görüntüsü

Şekil 7.16' da 3 nolu numunenin 50x büyütmedeki kopma görüntüsünü göstermektedir. Buna göre, ayrılmanın başlamış ve bitiş olduğu yüzeylerde yüksek miktarda çukurcuklar bulunmaktadır. Yüzeyin orta bölgesinde ise düzgün köşelerin bulunduğu oluşumlar görülmektedir.



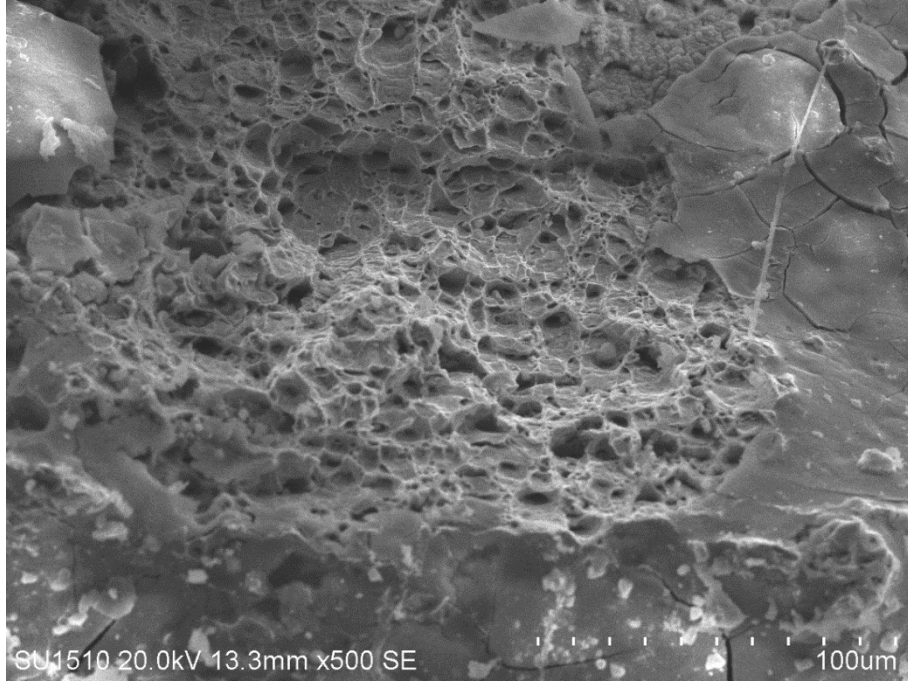
Şekil 7.17 3 numaralı numunenin kopma yüzeyinin 100 büyütmedeki SEM görüntüsü

3 numaralı numuneye ait bu düzgün yüzeylerin detaylı görüntüsü Şekil 7.17’ de gösterilmektedir. Buna göre düzgün bir yüzeyle ayrılma gerçekleşen bu bölgede çeşitli çatlakların bulunduğu da görülmektedir. Bu çatlakların tane sınırlarının çentik etkisi oluşturması veya sert tane kenarlarında bulunan çok az miktarda bulunan perlitik bir yapının çentik etkisi ile bu çatlaklar oluşmuştur.



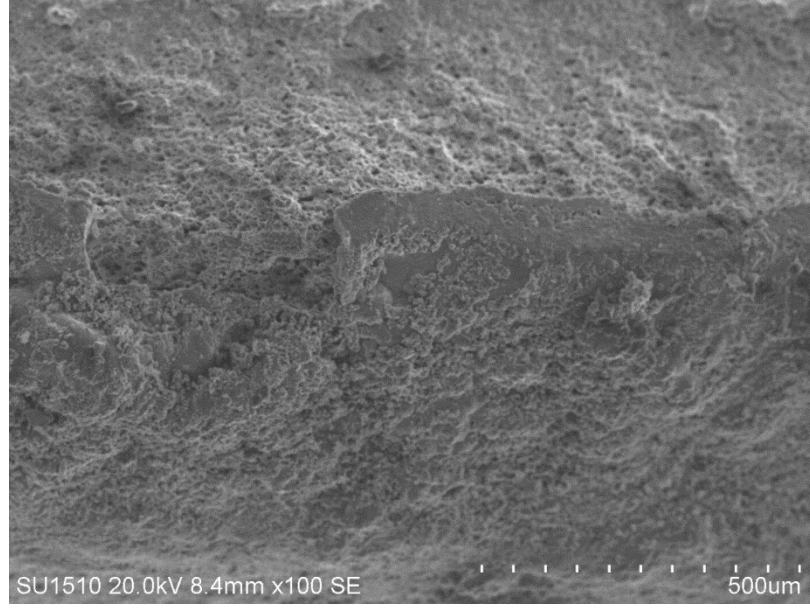
Şekil 7.18 3 numaralı numunenin kopma yüzeyinin 250 büyütmedeki SEM görüntüsü

3 numaralı numunenin kopma yüzeyinde farklı bölgelerden alınan 250x büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.18’ de gösterilmektedir. Buna göre, bu bölgedeki kopma yüzeyi tamamıyla çukurcuklardan oluşmuştur. Ayrıca tomurcuk şeklinde çeşitli yapılara da rastlanmıştır. Çukurcuk şeklinde oluşan ayrılma tanenin sünek ayrıldığı sonucunu bize vermektedir. Düşük karbonun oluşturduğu yumuşak karakteristikli alfa ferritin ayrılmasının bir sonucudur. Ancak tomurcuk şeklindeki yapılar karbon içeriğinin tane kenarlarındaki çökmesi sonucu oluşan gevrek yapıların taneden kopmaması sonucunda oluşmuştur.



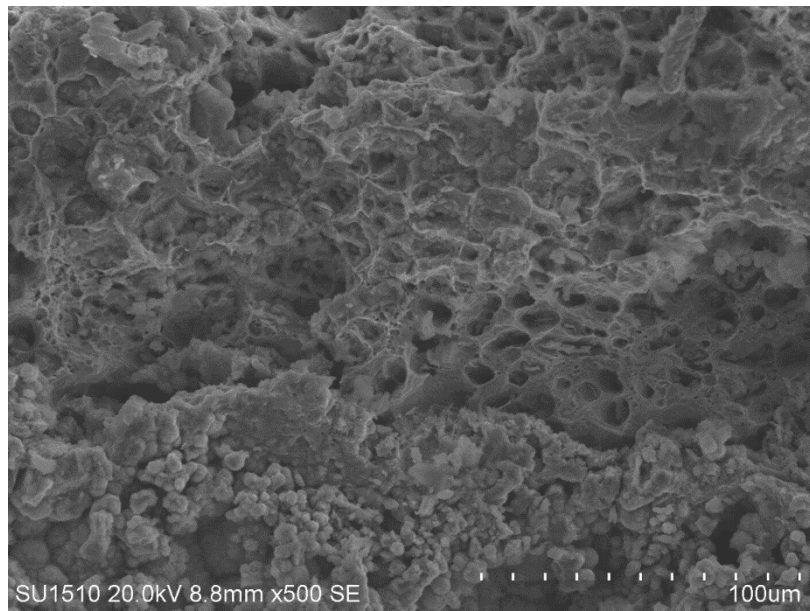
**Şekil 7.19** 3 numaralı numunenin kopma yüzeyinin 500 büyütmedeki SEM görüntüsü

Şekil 7.19 ‘da aynı bölgeden alınan 500x büyütmedeki detay görüntüsü görülmektedir. Buna göre tane kenarlarının çatladığı sağ üst bölgelerde görülmektedir. Bu durumda, Tane yüzeylerinin bu bölgede gevrek bir şekilde ayrıldığını ve tane yüzeylerinden ayrıldığını söyleyebiliriz. Tane yüzeylerinden muntazam bir şekilde ayrılması bu yüzeyde bir doğal ergime sınırı olduğu ve bu sınıra dayanan tanelerin kopma bölgesi oluşturduğu görülmektedir. Bu geçiş bölgesi ısı tesiri altında kalan bölge (ITAB) ile kaynak ergime bölgesinin birleşim noktasıdır. Düzgün yüzeyler ile ayrılan bölgede ergime bölgesinin ve ITAB bölgesinin farklı boyutlarda olması ve tane kenarlarından gevrek bir şekilde ayrılmasına sebebiyet vermiştir. Çukurcuk şeklinde olan bölgeler ise yüzeyin sünek bir şekilde ayrıldığını göstermektedir



Şekil 7.20 10 numaralı numunenin kopma yüzeyinin 100 büyütmedeki SEM görüntüsü

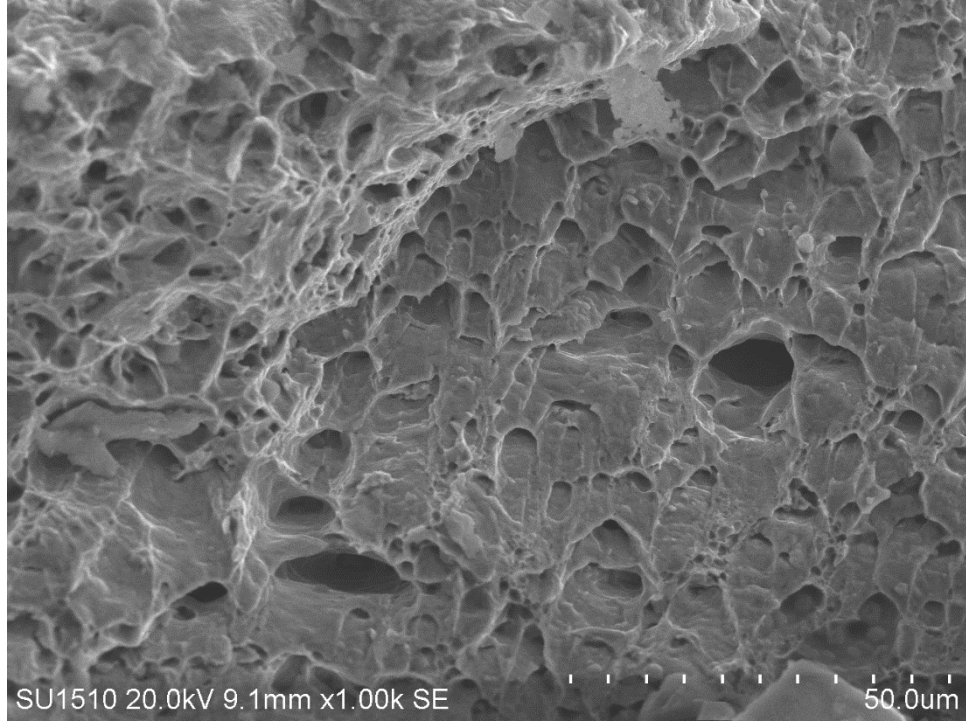
10 numaralı numunenin 100x büyütmede oluşan kopma görüntüsü Şekil 7.20’de gösterilmektedir. Buna göre; ayrılmanın en geç gerçekleştiği bölge kaynak kesitinin ortasıdır. Orta bölgedeki kopma haricindeki bölgelerde tamamıyla çukurcuklar bulunmaktadır. Buna göre, yüzeyin Şekil 7.17’de verilen 3 numaralı numuneye göre daha sünek ayrıldığı görülmektedir. Orta bölgede ise düzgün, çukurcuk olmayan bir yüzeye sahiptir. Kopmanın son aşamasında ayrılma açısının değişmesi kayma bölgeleri oluşturarak düzgün oluşmasını sağlamıştır.



Şekil 7.21 10 numaralı numunenin kopma yüzeyinin 500 büyütmedeki SEM görüntüsü

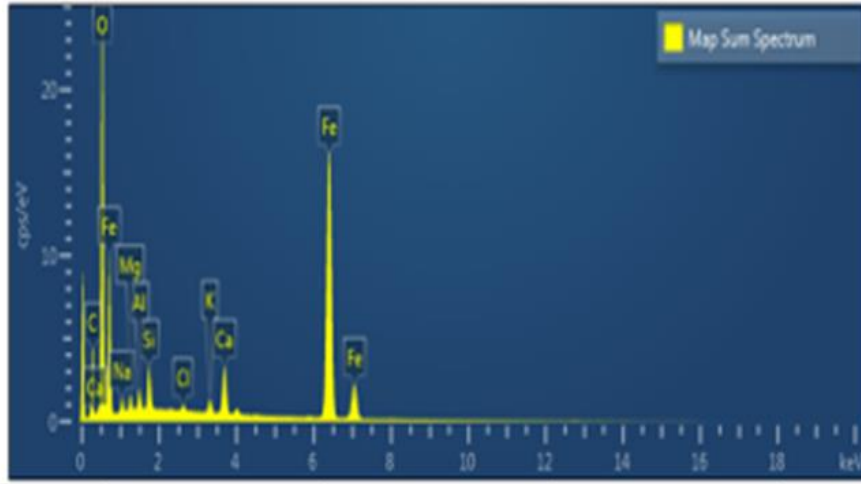
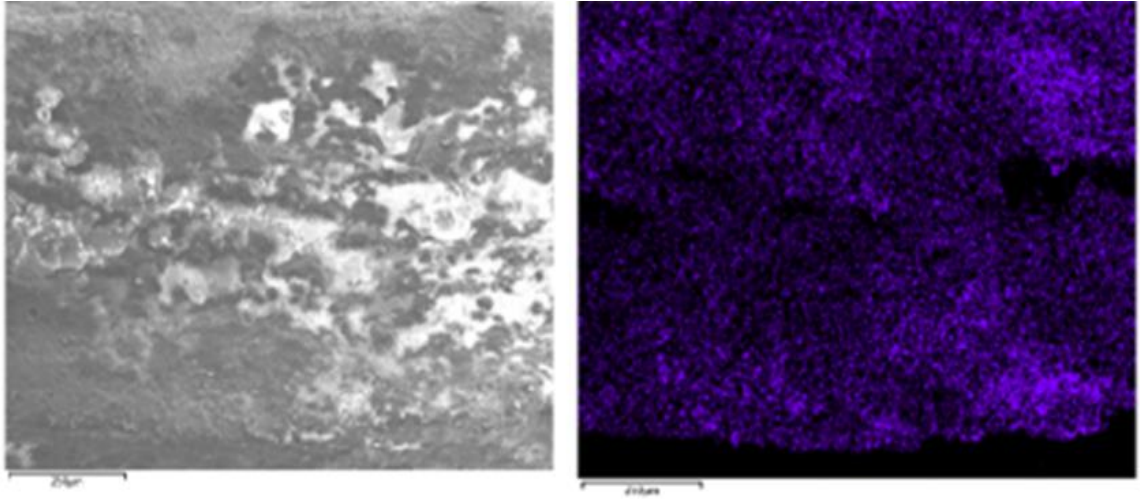


Şekil 7.21’de 10 numaralı numunenin 500x büyütmedeki detay görüntüsü vermektedir. Buna göre, yüzeylerin bir kısmında çukurcuklar ve çevrelerinde düzgün ayrılma yüzeyleri görülmektedir. Bu yüzeylerin ayrılma esnasında gevrek karakteristik göstermiştir. Alt kısımda bulunan tomurcuk şeklindeki oluşumlar gevrek olan çökeltme yapılarının veya oksit oluşumlarını temsil etmektedir.



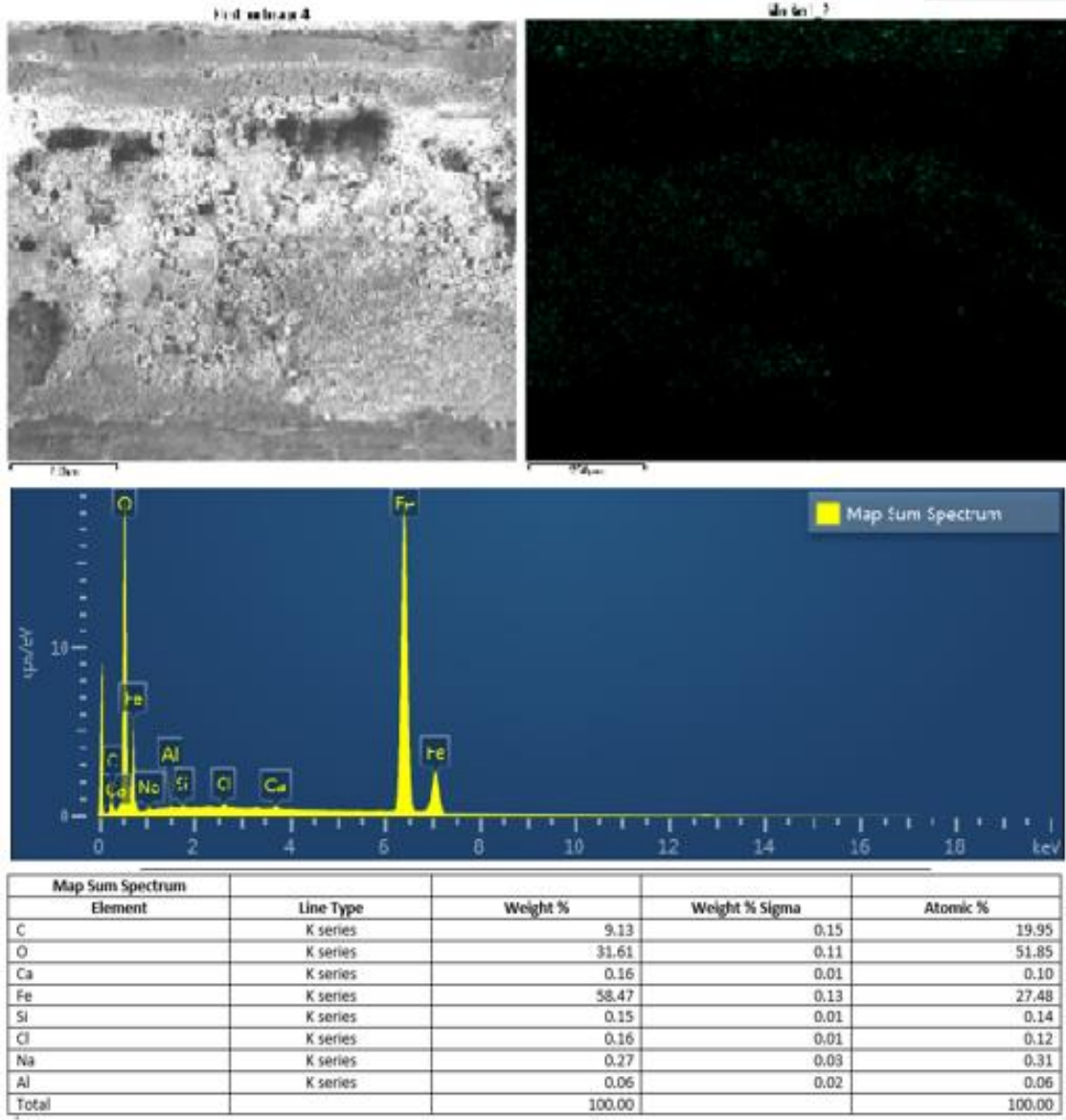
Şekil 7.22 10 numaralı numunenin kopma yüzeyinin 1000 büyütmedeki SEM görüntüsü

Şekil 7.22’ de verilmiş olan 10 numaralı numuneden 1000x büyütmede yönlendirilmiş kopma bölgesinden çekilmiştir. Buna göre, çukurcuk kenarlarının yönlendiği görülmektedir. Ayrıca sol üst kısımda çukurcuk kenarlarındaki ayrılmanın sıvama şeklinde olmadığı görülmüştür. Orta bölgede gerçekleşen sıvama kopmanın bu bölgede kayma şeklinde olduğu ve ardından ayrılmanın yön değiştirerek sol üst köşede ayrılma yönüne yaklaşık olarak dik bir ayrılmanın gerçekleştiği anlaşılmaktadır.



Map Sum Spectrum				
Element	Line Type	Weight %	Weight % Sigma	Atomic %
C	K series	18.10	0.12	31.45
O	K series	38.33	0.08	49.99
Fe	K series	36.43	0.07	13.61
Si	K series	1.41	0.01	1.05
Ca	K series	2.24	0.01	1.17
K	K series	0.58	0.01	0.31
Al	K series	0.82	0.01	0.64
Na	K series	1.10	0.02	1.00
Mg	K series	0.77	0.01	0.66
Cl	K series	0.21	0.01	0.12
Total		100.00		100.00

Şekil 7.23 3 numaralı numunenin kopma yüzeyinin EDS analizi



Şekil 7.24 10 numaralı numunenin kopma yüzeyinin EDS analizi

## 8. SONUÇ VE ÖNERİLER

- DD11 ve DD13 çelik levhalar birbirleriyle robotik MAG kaynak yöntemi kullanılarak sorunsuz bir şekilde birleştirilmiştir.
- Elde edilen çekme testi sonuçlarına göre en yüksek çekme dayanımı 10 numaralı numunede (12mm/sn kaynak hızı, 250A kaynak akımı) 326 Mpa, en düşük çekme dayanımı 3 numaralı numunede (16mm/sn kaynak hızı, 250A kaynak akımı) 241 Mpa olarak saptanmıştır.
- Çekme testi ve mikroyapı incelemeleri neticesinde ısı girdisinin artmasıyla kaynak nüfuziyetinin arttığı sonucuna varılmış olup bu görüş literatür bilgisi ile örtüşmektedir.
- Kaynak hızının artması ile sertlik değerinin arttığı gözlemlenmiştir. Isı girdisinin artması sonucunda yavaş soğumanın olduğu, dolayısıyla ısıl şokun azaldığından dolayı sertliğin çok yükselmediği gözlemlenmiştir.
- Kırılmaların ise ısı şokun artması ile ısı girdisinin düşük olduğu numunede (3.numune) sertliğin arttığı ve kırılmaların DD13 malzemesinde olduğu gözlemlenmiştir.
- Elde edilen sonuçlara göre DD11 ve DD13 malzemelerin birleştirilebilmesi ile pahalı olan DD11 malzemesinin otomobil salıncak sisteminde kullanımı azalmış olacaktır. Ülke ve dünya ekonomisine bu sayede katkıda bulunulacaktır.
- Farklı kaynak yöntemlerinin kullanımı ile kullanılan çelik çiftinin kaynakla birleştirilmesi yaygınlaşacaktır. Bu malzeme çiftinin MAG kaynağında birleştirilmiş olması ile üreticiye optimum kaynak parametreleri sunulmuştur.
- Farklı kalınlıklardaki DD11 ve DD13 çelikleri farklı kaynak yöntemleri de ekleyerek optimum kaynak parametreleri ve uygun kaynak yöntemleri incelenebilir.

## 9. KAYNAKLAR

Anık, S., “Kaynak Teknolojisi El Kitabı”, *Ergör Matbaası*, (1983).

Baran, E.E., “304 Paslanmaz Çeliğinin Kaynak Yoluyla St 37 Çeliği ile Birleştirilmesi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa, (2006).

Baran, M., “Düşük Karbonlu Çelik ve Bakır Malzemelerin Elektrik Ark, TIG ve MIG Kaynağı ile Birleştirilmesi ve Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kütahya, (2007).

Bayrak, M.A., “Farklı Kaynak Yöntemleri ile Birleştirilen 3000 Serisi Alüminyum Alaşımı Plakaların Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, (2021).

Bulut, E.B., “Bakır (Cu) ve Çelik (St37) Plakalarının TIG (Tungsten Inert Gas) Kaynağı Yöntemiyle Kaynaklanabilirliği”, Yüksek Lisans Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, (2008).

Çelik, O., “Gazaltı (MAG) Kaynağında Kullanılan Rutil, Bazik ve Metal Özlü Tellerin Kaynak Metali Özelliklerine Etkisinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2013).

Çetin, M.H., Korkmaz, Ş., Elgaddafi, K.A.B., Çuğ, H., “Östenitik Paslanmaz Çelik ile Düşük Karbonlu Çeliğin Kaynak Edilebilirliği Araştırılması ve Kaynak Parametrelerinin Optimizasyonu”, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6, 1068-1081, Düzce, (2008).

Çetkin, E., “TIG, MIG ve FSW Yöntemleri Kullanılarak Birleştirilen AA7075/AA5182 Kaynaklı Bağlantıların Mikroyapı ve Mekanik

Özelliklerinin Belirlenmesi”, Doktora Tezi, *Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Batman, (2018).

Erden, G.G., “Farklı Kaynak Parametrelerinin Çelik Kaynak Özelliklerine Etkisinin İncelenmesinde Taguchi Yönteminin Kullanılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyon, (2012).

Erkin M., “DD11 ve DD13 Çeliklerinin Farklı Akım Türleri ile Kaynağında Isı Transferinin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Düzce, (2020).

Ersöz, F., Ersöz, T., Erkmn, İ.N., “Dünyada ve Türkiye’de Ham Çelik Üretimine Bakış”, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 32, (2), 1-2, (2016).

Erener, Y., “Kaynak Robotuyla Yapılan Gazaltı Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2006).

Hayat, F., “TRIP Çeliklerinin Otomotiv Endüstrisinde Kullanımının İncelenmesi”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 25, (4), 701-712, (2010).

İş, E.G., Çiçek, B., Gümüş, E., Yılmaz, E., Topuz, P., “Düşük Karbonlu Çeliklerde Elektrik Ark ve MAG Kaynak Yöntemlerinin Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi”, *Uluslararası Demir Çelik Sempozyumu*, Karabük, (2015).

Kahraman, N., Gülenç, B., Akça, H., “Ark Kaynak Yöntemi ile Birleştirilen Östenitik Paslanmaz Çelik ile Düşük Karbonlu Çeliğin İncelenmesi”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 17, 2, 75-85, (2002).

Karagöz, S., “Malzeme Bilgisi”, *AYMYO Yayınları Ders Notu No:00*, Aydın, (2008).

Karaman, N., Gülenç, B., “Modern Kaynak Teknolojisi”, *Epemat Basım Yayın Promosyon San. Ltd. Şti.*, 331, Ankara, (2016).

Kılınçer, S., “Düşük Karbonlu Çeliklerin Tozaltı Ark Kaynak Yöntemi ile Kaynak Edilebilirliğinin ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (1998).

Koca, E., “TIG Kaynak Yöntemiyle Birleştirilen Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2010).

Okuroğulları, Y., “Gazaltı Kaynağı ile Birleştirilen Farklı Özellikteki Çeliklerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa, (2022).

Özçölekçi, C., “Çelik Yapılarda Kaynak Uygulamaları”, Yüksek Lisans Tezi, *Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Manisa, (2017).

Özdemir, C., “Otomotiv Sektöründe Kullanılan DP600 Çeliklerin CMT Kaynak Yöntemi Kullanılarak Birleştirilmesi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, (2017).

Özturan, A.B., “Hardox 450 ve S355J2C+N Çeliklerinin Gazaltı Ark Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmesinin Mikroyapı ve Mekanik Özellikler Bakımından İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Edirne, (2022).

Şen, Y., “DP600, DP800, MS1200, MS1400 Tipi Yüksek Mukavemetli Sacların CMT Kaynak Yöntemiyle Birleştirilmesi Ve Mekanik/Mikroyapı Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Düzce, (2019).

Tülbentçi, K., “MIG-MAG Kaynak Yöntemi”, *Arctech Yayın*, 2, İstanbul, (1998).

Tülbentçi, K., Kaluç, E., “Gaz Ergitme Kaynağı ve Oksijen İle Kesme”, *TMMOB Makine Mühendisleri Odası*, Ankara, (2001).

Türk, M., “S355J0 Çeliğinin MAG Yöntemiyle Birleştirilmesinde Koruyucu Gaz ve Kaynak Telinin Mukavemete, Dikiş Geometrisine Etkisi ve Mikroyapı Karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi*, Sakarya, (2021).

Ünel, E., “CMT-MIG Kaynaklı Alüminyum ve Çelik Bağlantılarının Özellikleri ve Optimizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, (2016).

Vural, M., Piroğlu, F., Çağlayan, Ö.B., Uzgider, E., “Yapı Çeliklerinin Kaynaklanabilirliği”, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 426, (2003).

Yıldız, N., “TIG/MIG Hibrit Kaynağının 1050 Çeliğin Kaynağında Ön Tavlama Etkisinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kastamonu, (2019).

Yüksel, M., Meram, C., “*Malzeme Bilgisine Giriş*”, 2, Ankara: MRK Baskı Ltd. Şti., 349-351, (2010)