



**T. C.  
SIVAS CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SOĞUK METAL TRANSFER KAYNAĞI (CMT) İLE X10CrMoNbV9-1 (P91)  
– X5CrNi18-10 (S304) MALZEME ÇİFTİNİN KAYNATILABİLİRLİĞİNİN  
VE GERİLİM GİDERME ISIL İŞLEM GEREKSİNİMİNİN  
ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Hamza SEVEN**

**(201592221120)**

**İmalat Mühendisliği Ana Bilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Turhan KURŞUN**

**SIVAS**

**AĞUSTOS 2019**

Hamza SEVEN'in hazırladığı ve "SOĞUK METAL TRANSFER KAYNAĞI (CMT) İLE X10CrMoNbV9-1(P91) – X5CrNi18-10 MALZEME ÇİFTİNİN BİRLİKTE KAYNATILABİLİRLİĞİNİN VE GERİLİM GİDERME ISIL İŞLEM GEREKSİNİMİNİN ARAŞTIRILMASI" adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

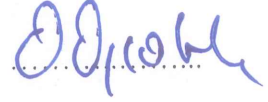
**Tez Danışmanı**      **Prof. Dr. Turhan KURŞUN**  
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi



**Jüri Üyesi**            **Doç. Dr. Tanju TEKER**  
Adıyaman Üniversitesi



**Jüri Üyesi**            **Dr. Öğr. Üyesi Onur ÖZSOLAK**  
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi



Bu tez, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak onaylanmıştır.

**Prof. Dr. Özlem Pelin CAN**  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ



Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Senatosu'nun 20.08.2014 tarihli ve 7 sayılı kararı ile kabul edilen Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırlanmıştır.



Bütün hakları saklıdır.

Kaynak göstermek alıntı ve gönderme yapılabilir.

Hamza SEVEN, 2019



Çalışma sırasında bana destek olan aileme ve tüm arkadaşlarıma...

## ETİK

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- ✓ Bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- ✓ Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- ✓ Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere, bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu ve atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- ✓ Bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ✓ Tezin herhangi bir bölümünü, Cumhuriyet Üniversitesi veya bir başka üniversitede, bir başka tez çalışması olarak sunmadığımı; beyan ederim.

7.08.2019

Hamza SEVEN

## KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR

Bilgi ve deneyimlerinden sürekli yararlandığım, tezin her aşamasında yardımlarını esirgemeyen Danışman Hocam Prof. Dr. Turhan KURŞUN'a çok teşekkür ederim.

Bu tezin test aşamasında desteğini sağlayan GEDİK, KİWA MEYER ve ERCİYES ÜNİVERSİTESİ TAUM test merkezine;

Hayatımın her anında yanımda olan aileme ve en zor zamanlarımda yardımını her zaman hissettiğim, eşim Yasemin ACISU SEVEN'e teşekkür ederim.



## ÖZET

### SOĞUK METAL TRANSFER KAYNAĞI (CMT) METODU İLE X10CrMoNbV9-1 (P91)/ X5CrNi18-10 (S304) MALZEME ÇİFTİNİN KAYNATILABİLİRLİĞİNİN VE GERİLİM GİDERME ISIL İŞLEM GEREKİNİMİNİN ARAŞTIRILMASI

Hamza SEVEN

Yüksek Lisans Tezi

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof.Dr.Turhan KURŞUN

2019, 182+xxiv sayfa

Bu çalışmada; x10CrMoNbV9 (P91) – X5CrNi18-10 (S304) malzeme çiftleri ön ısıtma ve gerilim giderme ısı işlemleri uygulanarak ve uygulanmaksızın CMT ve MIG kaynak yöntemleri ile birleştirilmiştir. CMT ve MIG kaynağı ile birleştirilen malzeme çiftlerine çekme testi, çentik darbe testi ve mikrosertlik testleri uygulanmıştır. Ayrıca kaynak metali, ana metal ve geçiş bölgeleri optik mikroskop (OM), (SEM), (EDS) ve SEM elementel haritalama analizleri ayrıntılı olarak incelenmiştir. Kaynak morfolojilerine yapılan (OM) ve (SEM) analizlerinde ısı işlemsiz Kaynak yapılan birleşimlerin mikroyapısında mikro çatlaklar olduğu ve yoğun martenzitik yapı oluşumu tespit edilmiştir. Bu oluşumların CMT yönteminde daha az olduğu yapılan mekanik testlerin sonuçları ile de desteklenmiştir. Isıl işlemlerle yapılan birleşimlerde mikro çatlakların olmadığı mikroyapıda martenzitin yanı sıra beynitik yapılarında olduğu tespit edilmiştir. (EDS) ve elementel haritalama analizlerinde ana metal, kaynak metali ve geçiş bölgelerinde elementel difüzyonun olduğu ve kaynaklanabilirliğin iyi olduğu anlaşılmaktadır. CMT ile birleştirilen malzeme çiftlerinin çekme mukavemeti ve mikrosertlik değerlerinin yakın olduğu ön ısı yapılmaksızın Kaynak yapılan CMT kaynağında mikro çatlaklardan dolayı sünekliğinin iyi olmadığı tespit edilmiştir. Gerilim giderme ısı işlemi gereksinimi MIG' e göre CMT de daha az olduğu yapılan mikrosertlik testinden ve mikroyapı analizlerinden anlaşılmaktadır.

**Anahtar kelimeler:** P91, AISI 304, CMT ve MIG Kaynağı, Isıl İşlem, Mikroyapı



## **ABSTRACT**

### **INVESTIGATION OF WELDABILITY AND STRESS RELIEVING HEAT TREATMENT REQUIREMENTS OF X10CrMoNbV9-1 (P91)/X5CrNi18-10 (S304) MATERIAL PAIR BY COLD METAL TRANSFER WELDING (CMT) METHOD**

**Hamza SEVEN**

**Master of Science Thesis**

**Department of Manufacturing Engineering**

**Supervisor: Prof. Dr. Turhan KURŞUN**

**2019, 182+xxiv pages**

In this study; X10CrMoNbV9 (P91)- X5CrNi18-10 (S304) material pairs were combined with CMT and MIG welding methods with and without preheating and stress relieving heat treatments. Tensile test, notch impact test and micro hardness tests were applied to the material pairs joined with CMT and MIG welding. Interface weld metal, base metal and transition regions optical microscope (OM), (SEM), (EDS) and SEM elemental mapping analyzes were examined in detail. In the analysis of the weld morphology (OM) and (SEM), it was determined that there were micro cracks in the micro structure of the welded joints without heat treatment and the formation of dense martensitic structure. The fact that these occurrences were less in the CMT method was supported by the results of the mechanical tests. It was found that in the heat treated joints, there were no micro-cracks, but martensite as well as bainitic structures. In EDS / EDS and elemental mapping analyzes, it is understood that elemental diffusion is good in base metal, weld metal and transition regions. It has been found that the ductility of the CMT welds, which are welded without preheating, where the tensile strength and microhardness values of the material pairs joined with CMT are close, is not good due to micro cracks. The need for stress relief heat treatment can be understood from the microhardness test and micro structure analysis, which is less in CMT than MIG.

**KeyWords:** P91,AISI 304, CMT and MIG Welding, Heat Treatment, Microstructure

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	viii
<b>ABSTRACT</b> .....	ix
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	x
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	xiii
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	xx
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR</b> .....	xxiv
<b>1.GİRİŞ</b> .....	1
1.1 Kaynağın Tanımı .....	1
1.2 Kaynağın Sınıflandırılması.....	1
1.2.1 Basınç kaynağı usulleri .....	3
1.2.2 Ergitme kaynağı usulleri .....	3
1.3 Gazaltı Ark Kaynağı.....	4
1.3.1 Gazaltı ark kaynağı türleri .....	4
1.3.2 MIG/MAG Kaynağı .....	4
1.4 Soğuk Metal Transfer Kaynağı (CMT) .....	6
1.4.1 CMT Prosesi.....	7
1.4.2 CMT Prosesinin özellikleri .....	8
1.4.3 CMT varyasyonları.....	9
1.4.4 CMT uygulamaları .....	11
1.5 Çeliklerin Sınıflandırılması .....	11
1.6 Paslanmaz Çelikler .....	13
1.6.1 Paslanmaz çeliğin tanımı ve sınıflandırılması.....	13
1.6.2 Östenitik paslanmaz çelikler .....	16
1.6.3 Ferritik paslanmaz çelikler .....	18
1.6.4 Martenzitik paslanmaz çelikler .....	19
1.6.5 Östenitik-ferritik paslanmaz çelikler .....	20
1.6.6 Çökelme sertleştirilmesi uygulanabilen paslanmaz çelikler.....	20
1.7 Yüksek Sıcaklıkta Sürünme Dayanımlı Ferritik Çelikler.....	21
1.7.1 Yüksek sıcaklıkta sürünme dayanımlı ferritik X10CrMoNbV9-1(P91) çeliğinin özellikleri .....	25
1.8 Ön Isıtma ve Gerilim Giderme Isıl İşlemi .....	26
1.8.1 Ön ısıtma .....	26
1.8.2 Gerilme giderme ısıl işlemi .....	27
1.8.3 Kaynakta ısıl işlemi gerekli kılan malzeme koşulları.....	27

1.8.4 Isıl işlem gereksinimi .....	28
1.8.5 X10CrMoNbV9-1(P91) Malzemesine kaynak sonrası gerilim giderme ısıtılmasının uygulanması .....	29
1.9 Literatür Taraması .....	31
<b>2. MATERYAL ve METOT</b> .....	<b>41</b>
2.1 Deneysel Çalışmanın Amacı .....	41
2.2 Deneysel Çalışmada Kullanılan Ekipmanlar .....	42
2.3 MIG ve CMT Kaynakları Öncesi Hazırlıklar .....	43
2.3.1 Kaynak ağız hazırlığı .....	43
2.3.2 Kaynak ağız şeklinin seçilmesinde dikkate alınması gereken hususlar ..	44
2.3.3 V Kaynak ağız hazırlığı .....	44
2.3.4 P91 ve S304 Malzemelerin kaynak ağız hazırlığı .....	45
2.3.5 Kaynak parametrelerinin seçimi .....	55
2.4. MIG ve CMT Kaynak İşlemleri .....	56
2.4.1 1. Malzeme Çiftinin Kaynağı .....	56
2.4.2 3. Malzeme Çiftinin Kaynağı: .....	61
2.5.1 2. Malzeme Çiftinin Kaynağı .....	64
2.5.2 4. Malzeme Çiftinin Kaynağı .....	68
<b>3. BULGULAR</b> .....	<b>73</b>
3.1 Mekanik Testler .....	73
3.1.1 Çekme testi analizleri .....	73
3.1.2 Çentik darbe testi analizleri .....	81
3.1.3 Mikrosertlik ölçümü analizleri .....	86
3.2 Malzeme İyapı (Mikroyapı) Analizleri .....	87
3.2.1 Kaynakla birleştirilen malzeme çiftinin mikroyapı analizleri .....	90
3.2.2 Kaynak yapma öncesi mikroyapı incelemesi .....	92
3.3 Kaynaklı Birleştirmelerin Mikroyapısından Alınan Optik Mikroskop, SEM ve EDS Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi .....	93
3.3.1 CMT kaynağı sonrası 4. Malzeme çiftinin optik mikroskop görüntülerinin değerlendirilmesi .....	93
3.3.2 CMT Kaynağı sonrası 4. Malzeme çiftinin taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntülerinin değerlendirilmesi .....	94
3.3.3 CMT Kaynağı sonrası 4. Malzeme çiftinin (EDS) analizlerinin değerlendirilmesi .....	98
3.3.4 CMT Kaynağı sonrası 4. Malzeme çiftinin EDS elementel haritalanması .....	105

3.3.5 CMT Kaynağı sonrası 2. Malzeme çiftinin optik mikroskop görüntülerinin değerlendirilmesi .....	113
3.3.6. CMT Kaynağı sonrası 2. Malzeme çiftinin taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntülerinin değerlendirilmesi .....	115
3.3.7 CMT Kaynağı sonrası 2. Malzeme çiftinin (EDS) analizlerinin değerlendirilmesi .....	118
3.3.8 CMT Kaynağı sonrası 2. Malzeme çiftinin elementel haritalaması.....	125
3.3.9 MIG Kaynağı sonrası 3. Malzeme çiftinin optik mikroskop görüntülerinin değerlendirilmesi .....	133
3.3.10 MIG Kaynağı sonrası 3. Malzeme çiftinin SEM görüntülerinin değerlendirilmesi .....	135
3.3.11. MIG Kaynağı sonrası 3. Malzeme çiftinin EDS analizi değerlendirilmesi .....	138
3.3.12 MIG Kaynağı sonrası 3. Malzeme çiftinin elementel haritalaması.....	146
3.3.13 MIG Kaynağı sonrası 1. Malzeme çiftinin optik mikroskop görüntülerinin değerlendirilmesi .....	154
3.3.14 MIG Kaynağı sonrası 1. Malzeme çiftinin taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntülerinin değerlendirilmesi .....	157
3.3.15 MIG Kaynağı sonrası 1. Malzeme çiftinin EDS analizi değerlendirilmesi .....	159
3.3.16 CMT Kaynağı sonrası 1. Malzeme çiftinin elementel haritalanması..	166
<b>4.SONUÇLAR .....</b>	<b>175</b>
<b>5 KAYNAKLAR .....</b>	<b>177</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>182</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1: Gaz altı kaynak donanımı.....	4
Şekil 1.2: MIG/MAG kaynağı şematik görünümü .....	5
Şekil 1.3: CMT prosesinin ark teknolojileriyle karşılaştırılması.....	10
Şekil 1.4: Demir karbon denge diyagramı.....	12
Şekil 1.4: Demir karbon denge diyagramı.....	12
Şekil 1.5: Schaeffler diyagramı.....	15
Şekil 1.6: AISI P91 ve AISI P22 kalite çeliklerin et kalınlıklarına ve ağırlıklarına göre karşılaştırılması. ....	26
Şekil 1.7: P91 Malzemesinin gerilim giderme ısı işlem grafiği. ....	29
Şekil 2.1: “V” Kaynak ağız detayları.....	45
Şekil 2.2: 1 No’lu S304 malzemesine 30 -35° “v” Kaynak ağızı. ....	46
Şekil 2.3: 2 No’lu S304 malzemesine 30 -35° “v” Kaynak ağızı. ....	47
Şekil 2.4: 3 No’lu S304 malzemesine 30 -35° “v” Kaynak ağızı. ....	48
Şekil 2.5: 4 No’lu S304 malzemesine 30 -35° “v” Kaynak ağızı. ....	49
Şekil 2.6: 1 No’lu P91 Malzemesine 30 -35° “v” Kaynak Ağızı.....	51
Şekil 2.7: 2 No’lu P91 malzemesine 30 -35° “v” Kaynak ağızı. ....	52
Şekil 2.8: 3 No’lu P91 malzemesine 30 -35 ° “v” Kaynak ağızı. ....	53
Şekil 2.9: 4 No’lu P91 malzemesine 30 -35 ° “v” Kaynak ağızı. ....	54
Şekil 2.10: 1. Malzeme çifti.....	57
Şekil 2.11: 1. Malzeme çiftinin kaynak öncesi birleşimi .....	57
Şekil 2.12: 1. Malzeme çiftinin kaynak öncesi X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemeye ön ısıtması.....	58
Şekil 2.13: 1. Malzeme çiftinin kaynak sırasındaki görünümü. ....	58
Şekil 2.14: 1. Malzeme çiftinin kaynak sonrasındaki görünümü .....	58
Şekil 2.15: 1. Malzeme çiftinin gerilim giderme ısı işlem grafiği.....	60
Şekil 2.16: 3. Malzeme çiftinin kaynak öncesi birleşimi. ....	61
Şekil 2.17: 3. Malzeme çiftinin kaynak sırasındaki görünümü .....	62
Şekil 2.18: 3. Malzeme çiftinin kaynak sonrasındaki görünümü .....	62
Şekil 2.19: 2. Malzeme çiftinin CMT kaynak makinası.....	64
Şekil 2.20: 2. Malzeme çiftinin kaynak öncesi birleşimi .....	66
Şekil 2.21: 2. Malzeme çiftinin ilk paso kaynağı. ....	66
Şekil 2.22: 2. Malzeme çiftinin kaynak sonrası görünümü. ....	66
Şekil 2.23: 2. Malzeme çiftinin CMT kaynağı .....	67
Şekil 2.24: CMT kaynağında kullanılan koruyucu inert gaz (M11).....	67

<b>Şekil 2.25:</b> CMT kaynağı makinesi .....	67
<b>Şekil 2.26:</b> 4. Malzeme çiftinin kaynak öncesi birleşimi. ....	69
<b>Şekil 2.27:</b> 4. Malzeme çiftinin kaynağı.....	69
<b>Şekil 2.28:</b> 4. Malzeme çiftinin kaynak sonrası görünümü. ....	70
<b>Şekil 2.29:</b> 4. Malzeme çiftinin üzerine termokapıların bağlanması. ....	70
<b>Şekil 2.30:</b> 4. Malzeme çiftinin ısıl işlem rezistanslarının bağlanması. ....	70
<b>Şekil 2.31:</b> 4. Malzeme çifti gerilim giderme ısıl işlem grafiği .....	72
<b>Şekil 3.1:</b> 1. Malzeme çifti çekme numunesi.....	76
<b>Şekil 3.2:</b> 2. Malzeme çifti çekme numunesi.....	76
<b>Şekil 3.3:</b> 3. Malzeme çifti çekme numunesi.....	77
<b>Şekil 3.4:</b> 4. Malzeme çifti çekme numunesi.....	77
<b>Şekil 3.5:</b> 1. Malzeme çifti, 2. Malzeme çifti, 3. Malzeme çifti, ve 4. Malzeme çiftinin çekme testi sonrası sünekliklerinin karşılaştırılması.....	78
<b>Şekil 3.6:</b> 1. Malzeme çifti, 2. Malzeme çifti, 3. Malzeme çifti, ve 4. Malzeme çiftinin çekme testi sonrası akma gerilmelerinin karşılaştırılması. ....	78
<b>Şekil 3.7:</b> 1. Malzeme çifti, 2. Malzeme çifti, 3. Malzeme çifti, ve 4. Malzeme çiftinin çekme testi sonrası çekme gerilmelerinin karşılaştırılması.....	78
<b>Şekil 3.8:</b> 1. Malzeme çifti, 2. Malzeme çifti, 3. Malzeme çifti, ve 4. Malzeme çiftinin çekme testi sonuçlarının karşılaştırılması. ....	79
<b>Şekil 3.9:</b> 1. Malzeme çifti çentik darbe deneyi parçası. ....	84
<b>Şekil 3.10:</b> 2. Malzeme çifti çentik darbe deneyi parçası. ....	84
<b>Şekil 3.11:</b> 3. Malzeme çifti çentik darbe deneyi parçası. ....	85
<b>Şekil 3.12:</b> 4. Malzeme çifti çentik darbe deneyi parçası. ....	85
<b>Şekil 3.13:</b> 1. Malzeme çifti, 2. Malzeme çifti, 3. Malzeme çifti, ve 4. Malzeme çiftinin çentik darbe tokluğunun karşılaştırılması. ....	86
<b>Şekil 3.14:</b> 1. Malzeme çifti, 2. Malzeme çifti, 3. Malzeme çifti, ve 4. Malzeme çiftinin mikrosertlik değerlerinin karşılaştırılması. ....	87
<b>Şekil 3.15:</b> Schaeffler diyagramında S304 ana metal ile S310 kaynak metalinin bölgesi.....	90
<b>Şekil 3.16:</b> Kaynak öncesi ana malzemenin optik görüntüsü. ....	92
<b>Şekil 3.17:</b> 4. Malzeme çiftinin CMT kaynağı sonrası optik görüntüsü.....	93
<b>Şekil 3.18:</b> 4. Malzeme çiftinin CMT kaynağı sonrası S304 ve P91 ana metali ve kaynak metalinin sem görüntüsü. ....	94
<b>Şekil 3.19:</b> 4. Malzeme çiftinin CMT kaynak sonrası P91 tarafı ana metali ve kaynak metali sem görüntüsü.....	95
<b>Şekil 3.20:</b> 4. Malzeme çiftinin CMT kaynak sonrası S304 tarafı ana metali ve kaynak metali sem görüntüsü. ....	97

<b>Şekil 3.21:</b> 4. Malzeme çifti X10CrMoVNb9-1 (P91) malzeme tarafı kaynak metalinin EDS analizini gösteren SEM.....	98
<b>Şekil 3.22:</b> 4. Malzeme çifti X10CrMoVNb9-1 (P91) malzeme tarafı kaynak metalinin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS grafiği.....	98
<b>Şekil 3.23:</b> 4. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesinin EDS analizini gösteren SEM.....	99
<b>Şekil 3.24:</b> 4. Malzeme çifti ün X10CrMoVNB9-1 (P91) malzemesinin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS grafiği.....	99
<b>Şekil 3.25:</b> 4. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) – KM'nin ara yüzeyinin EDS analizini gösteren SEM. ....	100
<b>Şekil 3.26:</b> 4. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) – KM'nin ara yüzeyinin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS grafiği.....	100
<b>Şekil 3.27:</b> 4. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) malzemesinin EDS analizini gösteren SEM. ....	101
<b>Şekil 3.28:</b> 4. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) malzemesinin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS grafiği.....	101
<b>Şekil 3.29:</b> 4. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) – KM'nin ara yüzeyinin EDS analizini gösteren SEM.....	102
<b>Şekil 3.30:</b> 4. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) – KM'nin ara yüzeyinin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS grafiği.....	102
<b>Şekil 3.31:</b> 4. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) malzeme tarafı kaynak metalinin EDS analizini gösteren SEM.....	103
<b>Şekil 3.32:</b> 4. Malzeme çifti X5CrNi18-10 (S304) malzeme tarafı kaynak metalinin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS grafiği.....	103
<b>Şekil 3.33:</b> 4. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) – km'nin elementel haritalamasını gösteren SEM.....	105
<b>Şekil 3.34:</b> 4. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) ana metali ile KM'nin elementel haritalanması. ....	106
<b>Şekil 3.35:</b> 4. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) ile KM'nin toplam EDS grafiği .....	107
<b>Şekil 3.36:</b> 4. Malzeme ÇİFTİNİN X5CrNi18-10 (S304) ile KM'nin ağırlıklı Fe ve Cr elementlerini gösteren EDS grafiği .....	107
<b>Şekil 3.37:</b> 4. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) – KM'nin elementel haritalamasını gösteren SEM.....	108
<b>Şekil 3.38:</b> 4. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) ana metali İle KM'nin elementel haritalanması. ....	109
<b>Şekil 3.39:</b> 4. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) ile KM'nin toplam EDS grafiği .....	110
<b>Şekil 3.40:</b> 4. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) ile KM'nin ağırlıklı Fe ve Cr elementlerini gösteren EDS grafiği .....	110
<b>Şekil 3.41:</b> 2. Malzeme çiftinin CMT Kaynağı sonrası optik görüntüsü.....	113

<b>Şekil 3.42:</b> 2. Malzeme çiftinin CMT kaynağı sonrası sem görüntüsü. ....	115
<b>Şekil 3.43:</b> 2. Malzeme çiftinin CMT kaynağı sonrası sem görüntüsü. ....	116
<b>Şekil 3.44:</b> 2. Malzeme çifti X10CrMoVNb9-1 (P91) malzeme tarafı kaynak metalinin EDS analizini gösteren sem. ....	118
<b>Şekil 3.45:</b> 2. Malzeme çifti X10CrMoVNb9-1 (P91) malzeme tarafı kaynak metalinin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS grafiği. ....	118
<b>Şekil 3.46:</b> 2. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesinin EDS analizini gösteren SEM. ....	119
<b>Şekil 3.47:</b> 2. Malzeme çifti ün X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesinin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS grafiği. ....	119
<b>Şekil 3.48:</b> 2. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) – KM'nin ara yüzeyinin eds analizini gösteren SEM. ....	120
<b>Şekil 3.49:</b> 2. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) – KM'nin ara yüzeyinin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS grafiği. ....	120
<b>Şekil 3.50:</b> 2. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) malzemesinin EDS analizini gösteren SEM. ....	121
<b>Şekil 3.51:</b> 2. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) malzemesinin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS grafiği. ....	121
<b>Şekil 3.52:</b> 2. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) – KM'nin ara yüzeyinin EDS analizini gösteren SEM. ....	122
<b>Şekil 3.53:</b> 2. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) – KM'nin ara yüzeyinin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS grafiği. ....	122
<b>Şekil 3.54:</b> 2. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) malzeme tarafı kaynak metalinin EDS analizini gösteren SEM. ....	123
<b>Şekil 3.55:</b> 2. Malzeme çifti X5CrNi18-10 (S304) malzeme tarafı kaynak metalinin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS grafiği. ....	123
<b>Şekil 3.56:</b> 2. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) – KM'nin elementel haritalamasını gösteren SEM. ....	125
<b>Şekil 3.57:</b> 2. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) ana metali ile KM'nin elementel haritalanması. ....	126
<b>Şekil 3.58:</b> 2. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) ile KM'nin toplam EDS grafiği. ....	127
<b>Şekil 3.59:</b> 2. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) ile KM'nin ağırlıklı Fe ve Cr elementlerini gösteren EDS grafiği. ....	127
<b>Şekil 3.60:</b> 2. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) – KM'nin elementel haritalamasını gösteren SEM. ....	128
<b>Şekil 3.61:</b> 2. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) ana metali ile KM'nin elementel haritalanması. ....	129
<b>Şekil 3.62:</b> 2. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) ile KM'nin toplam EDS grafiği. ....	130



<b>Şekil 3.63:</b> 2. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) ile KM'nin ağırlıklı Fe ve Cr elementlerini gösteren EDS grafiği .....	130
<b>Şekil 3.64:</b> 3. Malzeme çiftinin MIG kaynağı sonrası optik görüntüsü. ....	133
<b>Şekil 3.65:</b> 3. Malzeme çiftinin MIG kaynağı sonrası SEM görüntüsü. ....	136
<b>Şekil 3.66:</b> 3. Malzeme çifti X10CrMoVNb9-1 (P91) malzeme tarafı kaynak metalinin EDS analizini gösteren SEM. ....	138
<b>Şekil 3.67:</b> 3. Malzeme çifti X10CrMoVNb9-1 (P91) malzeme tarafı kaynak metalinin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS grafiği.....	138
<b>Şekil 3.68:</b> 3. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesi EDS analizini gösteren SEM. ....	139
<b>Şekil 3.69:</b> 3. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesi elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS grafiği.....	139
<b>Şekil 3.70:</b> 3. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesi-KM Ara yüzeyi EDS analizini gösteren SEM. ....	140
<b>Şekil 3.71:</b> 3. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesi-KM Ara yüzeyi elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS grafiği.....	140
<b>Şekil 3.72:</b> 3. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) malzemesinin EDS analizini gösteren SEM. ....	141
<b>Şekil 3.73:</b> 3. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) malzemesinin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS grafiği.....	141
<b>Şekil 3.74:</b> 3. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) malzemesi tarafı KM'nin EDS analizini gösteren SEM.....	142
<b>Şekil 3.75:</b> 3. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) malzemesi tarafı KM'nin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS grafiği.....	142
<b>Şekil 3.76:</b> 3. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) malzemesi-KM ara yüzeyinin eds analizini gösteren SEM. ....	143
<b>Şekil 3.77:</b> 3. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) malzemesi-KM ara yüzeyinin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS grafiği.....	143
<b>Şekil 3.78:</b> 3. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) – KM'nin elementel haritalamasını gösteren SEM.....	146
<b>Şekil 3.79:</b> 3. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) – KM'nin elementel haritalaması.....	147
<b>Şekil 3.80:</b> 3. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) ile KM'nin toplam EDS grafiği. ....	148
<b>Şekil 3.81:</b> 3. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) ile KM'nin ağırlıklı Fe ve Cr elementlerini gösteren EDS grafiği. ....	148
<b>Şekil 3.82:</b> 3. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) – KM'nin elementel haritalamasını gösteren SEM.....	149
<b>Şekil 3.83:</b> 3. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) – KM'nin elementel haritalaması.....	150

<b>Şekil 3.84:</b> 2. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) ile KM'nin toplam EDS grafiği	151
<b>Şekil 3.85:</b> 2. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) ile KM'nin ağırlıklı Fe ve Cr elementlerini gösteren EDS grafiği.	151
<b>Şekil 3.86:</b> 1. Malzeme çiftinin MIG kaynağı sonrası optik mikroskop görüntüsü.	154
<b>Şekil 3.87:</b> 1. Malzeme çiftinin MIG kaynağı sonrası SEM görüntüsü.	157
<b>Şekil 3.88:</b> 1. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) malzemesinin EDS analizini gösteren SEM.	159
<b>Şekil 3.89:</b> 1. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) malzemesinin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS grafiği.	159
<b>Şekil 3.90:</b> 1. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) malzemesi KM ara yüzeyinin eds analizini gösteren SEM.	160
<b>Şekil 3.91:</b> 1. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) malzemesi KM ara yüzeyinin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS grafiği.	160
<b>Şekil 3.92:</b> 1. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) malzemesi tarafı kaynak metalinin EDS analizini gösteren SEM.	161
<b>Şekil 3.93:</b> 1. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) malzemesi tarafı kaynak metalinin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS grafiği.	161
<b>Şekil 3.94:</b> 1. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesi tarafı EDS analizini gösteren SEM.	162
<b>Şekil 3.95:</b> 1. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesi tarafı elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS grafiği.	162
<b>Şekil 3.96:</b> 1. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) Malzemesi-KM'nin ara yüzeyinin EDS analizini gösteren SEM.	163
<b>Şekil 3.97:</b> 1. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesi-Km'nin ara yüzeyinin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS grafiği.	163
<b>Şekil 3.98:</b> 1. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesin EDS analizini gösteren SEM.	164
<b>Şekil 3.99:</b> 1. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS grafiği.	164
<b>Şekil 3.100:</b> 1. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) – KM'nin elementel haritalamasını gösteren SEM.	166
<b>Şekil 3.101:</b> 1. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) – KM'nin elementel haritalamasını gösteren SEM.	167
<b>Şekil 3.102:</b> 1. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) ile KM'nin toplam EDS grafiği.	168
<b>Şekil 3.103:</b> 1. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) ile KM'nin ağırlıklı Fe ve Cr elementlerini gösteren EDS grafiği.	168
<b>Şekil 3.104:</b> 1. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) – KM'nin elementel haritalamasını gösteren SEM.	169

- Şekil 3.105:** 1. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) – KM'nin elementel haritalamasını gösteren SEM..... 170
- Şekil 3.106:** 1. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) ile KM'nin toplam EDS grafiği. .... 171
- Şekil 3.107:** 1. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) ile KM'nin ağırlıklı Fe ve Cr elementlerini gösteren EDS grafiği. .... 171
- Şekil.3.108:** 1. Malzeme çifti, 2. Malzeme çifti, 3. Malzeme çifti ve 4. Malzeme çiftinin test bölgesine göre (EDS) testlerinin karşılaştırılması..... 174



## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1 Paslanmaz çeliklerin fiziksel özellikleri .....	16
Çizelge 1.2 Östenitik paslanmaz çeliklerin nominal kimyasal analizi .....	17
Çizelge 1.3 Ferritik paslanmaz çeliklerin nominal kimyasal analizi .....	19
Çizelge 1.4 Martenzitik paslanmaz çeliklerin nominal kimyasal analizi20	
Çizelge 1.5 Yaygın olarak kullanılan östenitik- ferritik paslanmaz çelikler .....	20
Çizelge 1.6 Martenzitik paslanmaz çeliklerin nominal kimyasal analizi .....	21
Çizelge 1.7 Yaygın olarak yüksek sıcaklıkta kullanılan sürünme dayanımlı ferritik çelikler .....	23
Çizelge 1.8 AISI P91 kalite çeliğin kimyasal kompozisyonu.....	25
Çizelge 1.9 AISI P91 kalite çeliklerin oda sıcaklığında astm ve dın standartlarına göre bazı mekanik özellikleri .....	26
Çizelge 1.10 Karbon eşdeğerliğine bağlı olarak ısıl işlem gereksinimi.....	27
Çizelge 1.11 Gerilme giderme yapılması gereken malzeme tipleri.....	28
Çizelge 1.12 Gerilme giderme gereksinimi gerektirmeyen malzemeler .....	28
Çizelge 2.1 Kaynak ağızı seçim tablosu .....	43
Çizelge 2.2 V Kaynak ağız seçimi değerleri.....	45
Çizelge 2.3 1 No'lu S304 malzemesinin kaynak ağız ölçüleri, kaynak prosesi ve uygulanacak ısıl işlemler .....	46
Çizelge 2.4 2 No'lu S304 malzemesinin kaynak ağız ölçüleri, kaynak prosesi ve uygulanacak ısıl işlemler.....	47
Çizelge 2.5 3 No'lu S304 malzemesinin kaynak ağız ölçüleri, kaynak prosesi ve uygulanacak ısıl işlemler .....	48
Çizelge 2.6 4 No'lu S304 malzemesinin kaynak ağız ölçüleri, kaynak prosesi ve uygulanacak ısıl işlemler.....	49
Çizelge 2.7 1 No'lu P91 Malzemesinin Kaynak Ağız Ölçüleri, Kaynak Prosesi ve Uygulanacak Isıl İşlemler.....	51
Çizelge 2.8 2 No'lu P91 malzemesinin kaynak ağız ölçüleri, kaynak prosesi ve uygulanacak ısıl işlemler .....	52
Çizelge 2.9 3 No'lu P91 malzemesinin kaynak ağız ölçüleri, kaynak prosesi ve uygulanacak ısıl işlemler .....	53
Çizelge 2.10 4 No'lu P91 malzemesinin kaynak ağız ölçüleri, kaynak prosesi ve uygulanacak ısıl işlemler .....	54
Çizelge 2.11 Kaynak parametrelerinin kaynak dikişine etkisi [58].....	55
Çizelge 2.12 MIG ve CMT yöntemleriyle Kaynak yapılan kaynaklı birleştirmelerin adı ve birleştirilen malzemeler .....	56
Çizelge 2.13 1. Malzeme çiftinin kaynağında kullanılan kaynak parametreleri.....	59
Çizelge 2.14 3. Malzeme çiftinin kaynağında kullanılan kaynak parametreleri.....	63

<b>Çizelge 2.15</b>	2. Malzeme çiftinin kaynak parametreleri .....	65
<b>Çizelge 2.16</b>	4. Malzeme çiftine kaynağı için kaynak parametreleri.....	71
<b>Çizelge 3.1</b>	1. Malzeme çiftinin çekme deneyi.....	73
<b>Çizelge 3.2</b>	2. Malzeme çiftinin çekme deneyi.....	74
<b>Çizelge 3.3</b>	3. Malzeme çifti ve 4. Malzeme çiftinin çekme deneyi.....	75
<b>Çizelge 3.4</b>	1. Malzeme çifti çentik darbe deneyi.....	81
<b>Çizelge 3.5</b>	2. Malzeme çifti çentik darbe deneyi.....	82
<b>Çizelge 3.6</b>	3. Malzeme çifti ve 4. Malzeme çifti çentik darbe deneyi.....	83
<b>Çizelge 3.7</b>	Kaynaklı parçalara uygulanan iç yapı analiz listesi.....	88
<b>Çizelge 3.8</b>	Kaynaklı malzemelerin iç yapı analizi haritası.....	89
<b>Çizelge 3.9</b>	X5CrNi18-10 (S304) malzemesinin kimyasal kompozisyonu .....	91
<b>Çizelge 3.10</b>	X8CrNi25-21(S310) malzemesinin kimyasal kompozisyonu. ....	91
<b>Çizelge 3.12</b>	4. Malzeme çifti ün X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesinin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS. ....	99
<b>Çizelge 3.13</b>	4. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) – KM'nin ara yüzeyinin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS. ....	100
<b>Çizelge 3.14</b>	4. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) malzemesinin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS. ....	101
<b>Çizelge 3.15</b>	4. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) – KM'nin ara yüzeyinin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS. ....	102
<b>Çizelge 3.16</b>	4. Malzeme çifti X5CrNi18-10 (S304) malzeme tarafı kaynak metalinin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS. ....	103
<b>Çizelge 3.17</b>	4. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) ile KM'nin toplam EDS. .	107
<b>Çizelge 3.18</b>	4. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) ile KM'nin ağırlıklı Fe ve Cr elementlerini gösteren EDS.....	107
<b>Çizelge 3.19</b>	4. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) ile KM'nin toplam EDS. ....	110
<b>Çizelge 3.20</b>	4. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) ile KM'nin ağırlıklı Fe ve Cr elementlerini gösteren EDS.....	110
<b>Çizelge 3.21</b>	2. Malzeme çifti X10CrMoVNb9-1 (P91) malzeme tarafı kaynak metalinin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS.....	118
<b>Çizelge 3.22</b>	2. Malzeme çifti ün X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesinin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS.....	119
<b>Çizelge 3.23</b>	2. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) – km'nin ara yüzeyinin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS.....	120
<b>Çizelge 3.24</b>	2. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) malzemesinin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS.....	121
<b>Çizelge 3.25</b>	2. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) – KM'nin ara yüzeyinin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS.....	122

<b>Çizelge 3.26</b>	2. Malzeme çifti X5CrNi18-10 (S304) malzeme tarafı kaynak metalinin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS .....	123
<b>Çizelge 3.27</b>	2. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) ile KM'nin Toplam EDS. 127	
<b>Çizelge 3.28</b>	2. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) ile KM'nin ağırlıklı Fe ve Cr elementlerini gösteren EDS.....	127
<b>Çizelge 3.29</b>	2. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) ile KM'nin toplam EDS. ....	130
<b>Çizelge 3.30</b>	2. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) ile KM'nin ağırlıklı Fe ve Cr elementlerini gösteren EDS.....	130
<b>Çizelge 3.31</b>	3. Malzeme çifti X10CrMoVNb9-1 (P91) malzeme tarafı kaynak metalinin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS .....	138
<b>Çizelge 3.32</b>	3. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesi elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS .....	139
<b>Çizelge 3.33</b>	3. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesi-KM Ara yüzeyi elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS. ....	140
<b>Çizelge 3.34</b>	3. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) malzemesinin Elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS. ....	141
<b>Çizelge 3.35</b>	3. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) malzemesi tarafı KM'nin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS. ....	142
<b>Çizelge 3.36</b>	3. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) malzemesi-KM ara yüzeyinin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS. ....	143
<b>Çizelge 3.37</b>	3. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) ile KM'nin toplam EDS .....	148
<b>Çizelge 3.38</b>	3. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) ile KM'nin ağırlıklı Fe ve Cr elementlerini gösteren EDS.....	148
<b>Çizelge 3.39</b>	2. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) ile KM'nin toplam EDS ..	151
<b>Çizelge 3.40</b>	2. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) ile KM'nin ağırlıklı Fe ve Cr elementlerini gösteren EDS.....	151
<b>Çizelge 3.41</b>	1. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) malzemesinin Elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS .....	159
<b>Çizelge 3.42</b>	1. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) malzemesi KM ara yüzeyinin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS .....	160
<b>Çizelge 3.43</b>	1. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) malzemesi tarafı kaynak.. 161 metalinin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS.....	161
<b>Çizelge 3.44</b>	1. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesi tarafı..... 162 elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS grafiği. ....	162
<b>Çizelge 3.45</b>	1. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesi-Km'nin ara yüzeyinin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS .....	163
<b>Çizelge 3.46</b>	1. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesin elementlerini .....	164

<b>Çizelge 3.47</b> 1. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) ile KM'nin toplam EDS ..	168
<b>Çizelge 3.48</b> 1. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) ile KM'nin ağırlıklı Fe ve Cr elementlerini gösteren EDS.....	168
<b>Çizelge 3.49</b> 1. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) ile KM'nin toplam EDS .....	171
<b>Çizelge 3.50</b> 1. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) ile KM'nin ağırlıklı Fe ve Cr elementlerini gösteren EDS.....	171



## SİMGELER VE KISALTMALAR

<b>KM</b>	Kaynak Metali (Kaynak dolgu metali)
<b>ITAB</b>	Isı Tesiri Altındaki Bölge
$\acute{\alpha}$	Kaynak Ağız Açısı
$\sigma$	Sigma Fazı
$\delta$	Delta Ferrit Fazı
<b>MPa</b>	Gerilme Değeri
<b>Hv</b>	Vickers Sertliği
<b>J</b>	joule



## 1.GİRİŞ

Modern mühendislik endüstrisinde, metallerin birleştirilmesinde birleştirme teknikleri sürekli artan talep ve problemleri karşılamak zorundadır. Günümüzde çok farklı birleştirme teknikleri geliştirilmiş olmasına rağmen, önemli olan birleştirme yönteminin kendisinden beklenen fonksiyonları maksimum olarak yerine getirebilmesidir. Bu birleştirme tekniklerinin başında gelenlerden bir tanesinde kaynak tekniğidir. Kaynaklı birleştirme tekniği otomotiv sektöründen Termik Santral, Dogal Gaz Çevrim Santrali ve Nükleer Santral gibi birçok endüstriyel alanda yaygın bir uygulama alanı bulabilmektedir. Kaynaklı birleştirme tekniğinde istenen talep ve problemlerden bazıları proses kararlılığı, benzer olmayan malzeme özelliklerinin bir araya getirilerek kaynaklanabilmesi, düşük ısı girdisi yüksek sıcaklığa, basınç ve korozyon ortama dayanıklı malzemelerin kaynaklanabilmesi ve ekonomiklik olarak gösterilebilir. Bunun yanı sıra şimdiye kadar mekanik yöntemlerle veya yapıştırma yöntemi ile birleştirilen bazı kompozit malzemelerin termik yoldan birleştirilebilmesi daha önemli sonuçlar verecektir. Günümüzde geliştirilen bazı kaynak yöntemleri yukarıda belirtilen kriterleri karşılayabilmek için ümit verici görünmektedir [1].

### 1.1 Kaynağın Tanımı

Kaynak tatbik edileceği malzemenin cinsine göre, metal kaynağı ve plastik malzeme kaynağı olarak ele alınır.

Metal kaynağı: Metalik malzemeyi ısı veya basınç veya her ikisini birden kullanarak ve aynı cinsten ve erime aralığı aynı veya yaklaşık bir malzeme katarak veya katmadan birleştirmeye "metal kaynağı" adı verilir. İki parçanın birleştirilmesinde ilave bir malzeme kullanılırsa, bu malzemeye "ilave metal" adı verilir.

Plastik malzeme kaynağı: Aynı veya farklı cinsten termoplastik (sertleşmeyen plastik) malzemeyi ısı ve basınç kullanarak ve aynı cinsten bir plastik ilave malzeme katarak veya katmadan birleştirmeye, "plastik malzeme kaynağı" adı verilir [2].

### 1.2 Kaynağın Sınıflandırılması

Temel olarak kaynaklanan malzemenin cinsine göre, kaynak sırasında tatbik edilen işlemlere ve kaynak işleminin maksadına göre sınıflandırma yapılır.

*a) Kaynak uygulandığı malzeme cinsine göre ikiye ayrılır*

Metal malzeme kaynağı: Metalik malzemeyi ısı veya basınç veya her ikisini birden kullanarak aynı cinsten ve erime aralığı aynı olan veya yaklaşık bir malzeme katarak veya katmadan yapılan sökülemes Şekildeki birleştirmeye “Metal Malzeme Kaynağı” adı verilir.

Plastik malzeme kaynağı: Aynı veya farklı cinsten termoplastik (sertleşmeyen plastik) malzemeyi ısı ve basınç kullanarak ve aynı cins bir plastik ilave malzeme katarak veya katmadan yapılan sökülemes Şekildeki birleştirmeye “plastik malzeme kaynağı” denir.

*b) Kaynak yapılış gagesine göre ikiye ayrılır;*

Birleştirme kaynağı: iki veya daha fazla malzemeyi sökülemes bir bütün haline getirmek için yapılan kaynağa birleştirme kaynağı denir.

Dolgu kaynağı: Bir iş parçasının hacmindeki eksikliği tamamlamak veya hacmini büyütme, ayrıca korozyona veya aşındırıcı tesirlere karşı korumak maksadıyla üzerine sınırlı bir alan dâhilinde malzeme kaynak etmektir. Kaplama, zırhlama, tampon tabaka kaplama örnek olarak verilebilir.

*c) Kaynak uygulanış şekline göre dörde ayrılır;*

El kaynağı: Kaynak, yalnız el ile sevk edilen bir kaynak aleti vasıtası ile yapılır.

Yarı mekanize kaynak: Kaynak aleti el yerine kısmen mekanize edilmiş bir vasıta ile sevk edilir.

Tam mekanize kaynak: Kaynak aleti el yerine tamamen mekanize edilmiş bir makine ile sevk edilir.

Otomatik kaynak: Gerek kaynak işlemi gerekse iş parçasının değiştirilmesi gibi bütün ana ve yardımcı işlemler tam olarak mekanize edilmiştir.

*d) Kaynak, işlemin cinsine göre ikiye ayrılır;*

Eritme kaynağı: Malzemeyi yalnız sıcaklığın tesiri ile bölgesel olarak eritip, bir ilave metal katarak veya katmadan sökülemeyecek Şekilde birleştirmektir.

Basınç kaynağı: Malzemeyi genellikle ilave metal katmadan basınç altında bölgesel olarak ısıtıp sökülemeyecek Şekilde birleştirmektir. [2]

### **1.2.1 Basınç kaynağı usulleri**

Ergime sıcaklığı altında ısıtılan malzemelere baskı uygulanarak yapılan birleştirme türüne basınç kaynağı denir. Yöntem; dışarıdan ısı uygulayarak veya uygulamadan, genellikle ilave metal kullanmaksızın basınç altında bölgesel olarak ısıtıp birleştirir. Basınç kaynağı usulleri aşağıdaki gibi sıralanır.

Soğuk basınç kaynağı

Ultrasonik kaynak

Sürtünme kaynağı

Ocak kaynağı

Döküm basınç kaynağı

Gaz basınç kaynağı

Elektrik direnç kaynağı

Elektrik ark basınç kaynağı

Difüzyon kaynağı

### **1.2.2 Ergitme kaynağı usulleri**

Ergitme kaynağı, malzemeyi yalnız sıcaklığın tesiri ile bölgesel olarak eriterek, bir ilave metal katarak veya katmadan sökülemeyecek şekilde birleştirmektir. Ergitme kaynağı usulleri aşağıdaki gibi sıralanır. [2]

Elektrik direnç ergitme kaynağı

Laser ışını ile kaynak

Elektron bombardımanı ile kaynak

Gaz ergitme kaynağı

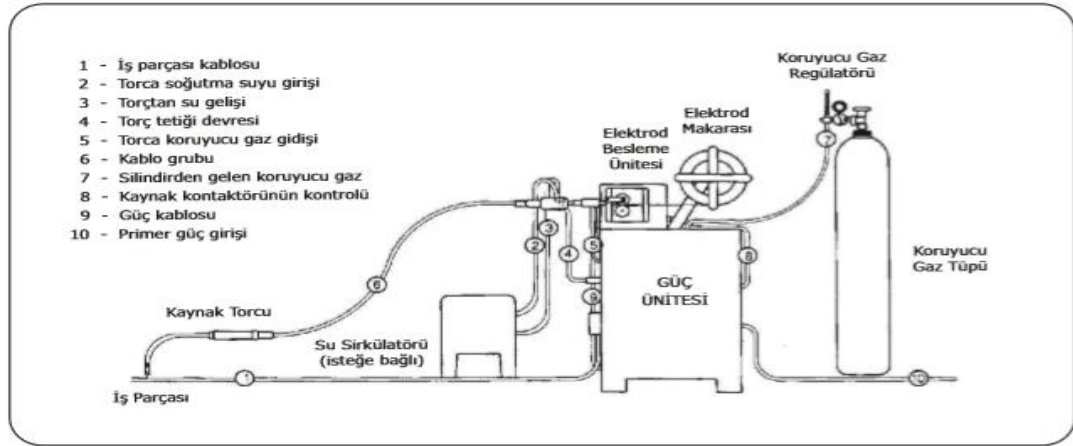
Ark Kaynak Yöntemleri

- Elektrik ark kaynağı
- Gazaltı ark kaynağı
- Tozaltı ark kaynağı

- Plazma ark kaynağı
- Saplama ark kaynağı

### 1.3 Gazaltı Ark Kaynağı

Kaynak yapılacak bölgenin bir gaz ortamı ile korunduğu, ark kaynağı türü “gaz altı ark kaynağı” olarak adlandırılır [3].



Şekil 1.1: Gaz Altı Kaynak Donanımı. [4]

#### 1.3.1 Gazaltı ark kaynağı türleri

a) *Eriyen Elektrotla Yapılan Gaz altı Ark kaynağı*

Soy gaz atmosferinde (MIG)

Karbondiyoksit atmosferinde (MAG)

b) *Erimeyen Elektrotla Yapılan Gaz altı Ark kaynağı*

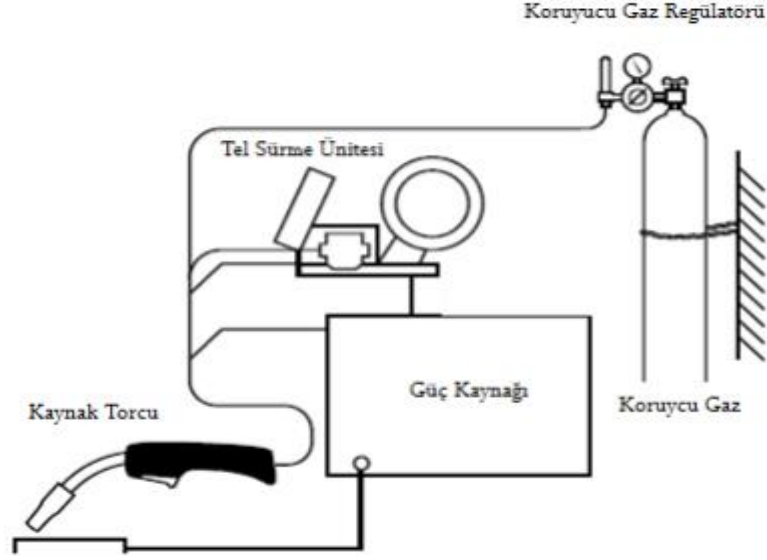
Erimeyen tek elektrotla (TIG)

Erimeyen çift elektrotla (Ark Atom)

#### 1.3.2 MIG/MAG Kaynağı

MIG/MAG kaynağı ya da diğer adı ile eriyen elektrotla gaz altı kaynağı tanım olarak, dolgu metali görevi gören ve sürekli beslenen elektrot ile iş parçası arasında oluşan arkın ısıttığı metallerin birleşimini sağlayan bir ark kaynağı yöntemidir [3]. Kaynakçı tarafından ilk ayarlar yapıldıktan sonra arkın elektriksel karakteristiğinin kendi kendine ayarını otomatik olarak kaynak makinası sağlar. Bu nedenle yarı

otomatik kaynakta kaynakçının gerçekleştirdiği elle kontroller, kaynak hızı, doğrultusu ve torcun pozisyonundan ibarettir. Uygun donanım seçilip, uygun ayarlar yapıldığında ark boyu ve akım şiddeti (elektrot besleme hızı) kaynak makinası tarafından otomatik olarak sabit değerlerde tutulur [3]. MIG/MAG kaynağı için gerekli donanım Şekil: 1.2’te gösterilmiştir.



**Şekil 1.2: MIG/MAG Kaynağı Şematik Görünümü**

Kaynak donanımı 4 temel gruptan oluşmuştur [3]:

Kaynak torcu ve kablo grubu

Elektrot besleme ünitesi

Güç ünitesi

Koruyucu gaz ünitesi

Torç ve kablo grubu üç görevi yerine getirir. Koruyucu gazı ark bölgesine taşır, elektrotu temas tüpüne iletir ve güç ünitesinden gelen akım kablosunu temas tüpüne iletir. Kaynak torcunun tetiğine basıldığı zaman, iş parçasına aynı anda gaz, güç ve elektrot iletilir ve ark oluşur. Ark boyunun kendi kendisini ayarlamasını sağlamak için tel besleme ünitesi ile güç ünitesi arasında ilişki sağlayan iki türlü çözüm mevcuttur. Bunlardan en fazla bilinenin de sabit gerilimli bir güç ünitesi (yatay gerilim akım karakteristiği sağlayan güç ünitesi) ile sabit hızlı elektrot besleme ünitesi kullanılmaktadır. İkinci çözüm ise azalan bir gerilim-akım karakteristiği sağlar ve elektrot besleme ünitesinin besleme hızı ark gerilimi yoluyla kontrol edilir.

Sabit gerilim / sabit besleme hızı çözümünde torcun pozisyonundaki değişme kaynak akımında değişmeye neden olur. Kaynak akımındaki değişme ise derhal serbest elektrot uzunluğunu değiştirerek (elektrot erime hızı değiştiğinden) ark boyunun sabit kalmasını sağlar. Torcu iş parçasından uzaklaştırma nedeniyle serbest elektrot uzunluğunda meydana gelen artma kaynak akımında azalmaya neden olarak elektrotta direnç ısıtmasının da aynı değerde kalmasını sağlar. Diğer çözümde ise, ark geriliminde meydana gelen değişmeler elektrot besleme sisteminin kontrol devrelerini yeniden ayarlar ve bu sayede elektrot besleme hızı uygun bir şekilde değiştirilir [3].

#### **1.4 Soğuk Metal Transfer Kaynağı (CMT)**

Modern birleştirme tekniği sürekli artan talepleri karşılamak zorunda kalmıştır. Bu hususta önemli kriterlerden bazıları şunlardır: Proses kararlılığı, tekrarlanabilirlik ve ekonomiklik. Spesifik malzeme özelliklerinin bir araya getirilmesi ilginç perspektifler açısından ümit verici olmuştur. Böylesi birleştirmeler şimdiye kadar sadece mekanik yöntemle veya yapıştırarak elde ediliyordu. Değişik özelliklere sahip metalleri termik yoldan birleştirmek ise çok daha ilginç sonuçlar veriyor. Bu alanda ağırlıklı olarak çelik ve alüminyumun birleştirilmesi, örneğin taşıt üretiminde, şimdiye değin hayal bile edilmeyen yeniliklere yol açmaktadır.

Aynı olmayan malzemelerin birleştirilmesi ilgili malzeme özelliklerinin çok iyi bilinmesini gerektirir. Alüminyum öncelikle düşük özgül ağırlığı, optimal kullanım ve işleme özellikleri ile kolay tercih ediliyor. Buna karşın çelik, sağlamlığı ve düşük maliyeti nedeniyle birçok alanda vazgeçilmez durumda olmuştur. Gerekli olan diğer somut bilgiler, korozyon davranışı, ısı genleşme katsayısı ve atomik özellikleridir. Çelik ve alüminyumun yoğun ısı altında birleştirilmesi sırasında her iki malzemenin birleşme sınırında intermetalik faz denilen bir oluşum ortaya çıkmaktadır. Isı girdisi arttıkça intermetalik faz daha büyümekte ve birleşimin mekanik-teknolojik özellikleri daha kötüleşmektedir. Aynı zamanda kimyasal-fiziksel özellikler de uygun önemler alınmasını gerektirir. Örneğin her iki malzemenin sahip olduğu farklı ısı genleşme katsayısı birleştirme bölgesinde bir gerilim alanının oluşmasına neden olmaktadır. Oldukça artan korozyon eğilimi de göz ardı edilemez. Bunu nedeni çeliğin alüminyum karşısındaki yüksek elektrokimyasal gerilim farkıdır.

Şimdiye değin çelik ve alüminyumun birleştirilmesi ile ilgilenen teknolojiler belli geometriler için veya çok masraflı kontrol tekniği kullanımı ile gerçekleşmiştir. Çelik ve alüminyumun kaynak tekniği açısından uyumsuz oldukları çoğu metalürji uzmanı için geçerli kabul edilen görüş olmasına karşın, yapılan detaylı araştırma çalışmaları MIG/MAG kaynağının çelik ve alüminyumun ark kaynağı yoluyla birleştirilmesi konusunda başarılı olabileceğini göstermektedir.

MIG/MAG yönteminin çeliğin alüminyumla birleştirilmesi işleminin gereklilikleri ile daha iyi uyum sağlamasını amaçlayan çalışmaların sonunda CMT yöntemi ortaya çıkmıştır. CMT kontrollü ve neredeyse akımsız gerçekleşen bir metal geçişine izin vermektedir. Alüminyum-temel malzemesi, alüminyum-ilave malzemesi ile birlikte erir ve bu eriyik galvanize çelik malzemesini nemlendirir. Kaynak teli hızlı aralıklarla akış yönünün tersine doğru hareket eder. Kaynak telinin tam belirlenmiş şekilde geriye çekilmesi kontrollü bir damlacık transferinin ve temiz, cüruf süz bir metal geçişinin gerçekleşmesini sağlar. Tel hareketi çok yüksek frekansla gerçekleşir ve torç üzerinde, çabuk tepki veren, şanzıman sız bir tel tahriki gerektirir. Ana tel sürmenin bu hareketi takip edemeyeceği açıktır. Bu yüzden tel sürme hortumu, telin ek ileri-geri hareketini dengeleyecek bir tel tamponu ile donatılmıştır [5].

#### **1.4.1 CMT Prosesi**

Kısa arkla veya daha çok bu arkın sistematik devamsızlığına dayanmaktadır. Ortaya çıkan sonuç "sıcak-soğuk-sıcak-soğuk" olarak değişen bir düzendir. Bu "sıcak-soğuk" prosesi ark basıncını büyük oranda azaltır. Elektrot, normal kısa arkta kaynak banyosuna daldırılırken hasar görür ve yüksek akımda aniden erir. Bunun aksine, CMT prosesinde geniş bir proses penceresi vardır ve yüksek stabilite elde edilir. Bu örneğin, kaynak torcunun yönünün aniden değiştirildiği durumlarda önemlidir. CMT prosesini diğer benzer kısa ark proseslerinden farklı kılan üç önemli kriter vardır: Tel hareketleri proses regülasyonu ile birleştirilir, ısı girdisi düşürülür ve metal transferi sıçrama olmadan gerçekleşir. Asıl yenilik ise, kaynak hareketlerinin kaynak prosesi ve prosesin tüm regülasyonu ile birleştirilmiş olmasıdır. Kısa devre meydana geldiğinde, dijital proses regülasyonu hem güç kaynağını keser hem de tellerin geri çekilmesini kontrol eder. Bu ileri-geri hareket, saniyede en fazla yetmiş kezlik bir frekans ile gerçekleşir ( $\cong 70$  Hz). Telin geri çekilme hareketi, kısa devre sırasın damlacık transferine yardımcı olur. Elektrik enerjisinin ısıya dönüşmesi belirleyici

bir özellik olup, bazen ark kaynağının önemli bir yan etkisidir. Neredeyse akımsız damlacık transferi ile CMT prosesi oluşan ısı miktarını büyük oranda düşürür. Ayrıca, kısa devrenin kontrollü devamsızlığı düşük kısa devre akımını da beraberinde getirir. Güç kaynağındaki kesinti sebebiyle; ark, ark süresi boyunca yalnızca birleştirilecek malzemelere ısı gönderir [6].

#### **1.4.2 CMT Prosesinin özellikleri**

##### *a) Dijital proses regülasyonu*

İlk defa, tel hareketi doğrudan proses regülasyonuna bağlanmıştır. Dijital proses regülasyonu olası bir kısa devreyi algılamakta ve geri çekme yoluyla damlacık transferini desteklemektedir. Tüm işlem dijital olarak yönetilir. Bu, geleneksel kısa ark kaynağı ile arasındaki birinci önemli farktır [7].

##### *b) Isı girdisi*

İkinci fark ise, neredeyse akımsız olarak gerçekleşen malzeme geçişidir. Tel ileri doğru hareket eder ve kısa devre oluştuğunda tekrar geri çekilir. Tamamen otomatik... Arkın kendisi bu sayede yanma evresinde çok kısa bir süre için ısı uygular ve bunun ardından ısı uygulaması hemen düşürülür.

##### *c) Sıçrıntı oranı*

Tam buradan üçüncü önemli fark doğar. Telin geriye doğru hareketi, kısa devre sırasında damlacık transferini destekler. Kısa devre kontrol edilir ve kısa devre akımı düşük tutulur. Sonuç olarak, çapaksız malzeme transferi elde edilir. Titiz damlacık transferi, her kısa devreden sonra hemen hemen aynı miktarda ilave metal eritilmesini garantiler. Ve tüm bu farklar, şimdiye kadar ancak zahmetli bir şekilde gerçekleştirilebilen uygulamaları mümkün kılmıştır: Sıçramasız kaynak ve lehim dikişleri, çelik ile alüminyum kaynak bağlantıları, 0,3 mm'den itibaren olan levhaların kaynatılabilmesi, hatta alın kaynağı geometrisi ile kaynak banyosu altlığı olmadan kaynatılabilir.

##### *d) Kararlı ark*

CMT teknolojisi, sadece düşük bir ısı girdisi ile çalışan bir kaynak ve lehim çözümü sunmakla kalmamakta, karşı konulamayacak bir avantajı da beraberinde getirmektedir: Hiçbir şekilde istikrarını bozmayan stabil bir ark. Geleneksel metal



gazaltı kaynağında işlem parçasının yüzeyi ve kaynak hızı, ark stabilizesini hassas bir şekilde etkileyebilir. CMT ile ark uzunluğu mekanik olarak algılanmakta ve ayarlanmaktadır. Yani işlem parçasının yüzey özellikleri ne olursa olsun veya ne kadar hızlı kaynak yapılmak istenirse istensin ark stabil kalır. Böylece, bu kaynak prosesi her yerde ve her pozisyonda uygulanabilmektedir. Çünkü, yeni bir sistem ancak doğru kullanıldığı takdirde mantıklıdır [7].

#### *e) Entegre tel hareketi*

Bu yenilikçi prosesin hayata geçirilebilmesi için yeni sistem bileşenlerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Tel beslemede de yeni teknolojik yollara başvurulmuştur. İki tel sürücü tesis edilmiştir. Burada öndeki sürücü teli saniyede 70 defaya kadar ileri-geri oynatırken (SyncroPuls'la karşılaştırıldığında sadece 5 defaya kadar), arkadaki sürücü ise teli itmektir. Her iki sürücü de, dijital olarak ayarlanmaktadır. Öndeki sürücü yüksek düzeyde dinamik AC servo motora sahiptir. Bu sürücü doğru bir tel sevkini ve sabit presleme basıncını sağlamaktadır.

Burada torç hortum paketinin sürücü ünitesinden ayrılabilmesi son derece yeni bir gelişmedir. Bu sayede robot kullanımında TCP'nin (tool center point) tekrar ayarlanması gerekmeden hızlı bir değişim mümkün kılınmıştır. Ayrıca, iki sürücü arasında bunları birbirinden ayıran ve tel için ek depolama kapasiteleri sağlayan tel tamponu bulunmaktadır. Bu tampon sayesinde, telin güç kullanılmadan hareket etmesi sağlanmıştır. Tel tamponunda spiral değişimi de son derece kolaydır: Açılır, spiral çıkartılır, yenisi yerleştirilir.

### **1.4.3 CMT varyasyonları**

#### *a) CMT Pulse*

Bu proses bir darbe döngüsünü bir CMT döngüsü ile birleştirir ve bu nedenle daha yüksek ısı verir. Hedeflenen ayarlanabilir değişken darbe ilavesi çok büyük bir güç aralığı ve esneklik sağlar [7].

#### *b) CMT Advanced*

CMT 'den daha da soğuk. Burada kaynak akımının polaritesi proses regülasyonuna entegredir. Polarite değişimi kısa devre fazında gerçekleşir; böylelikle kanıtlanmış

CMT proses kararlılığı emniyete alınır. Sonuç ise hedeflenen ısı girdisi, çok yüksek boşluk doldurma kapasitesi ve %60'a kadar daha yüksek ergime gücü sağlar.

c) *CMT Advanced Pulse*

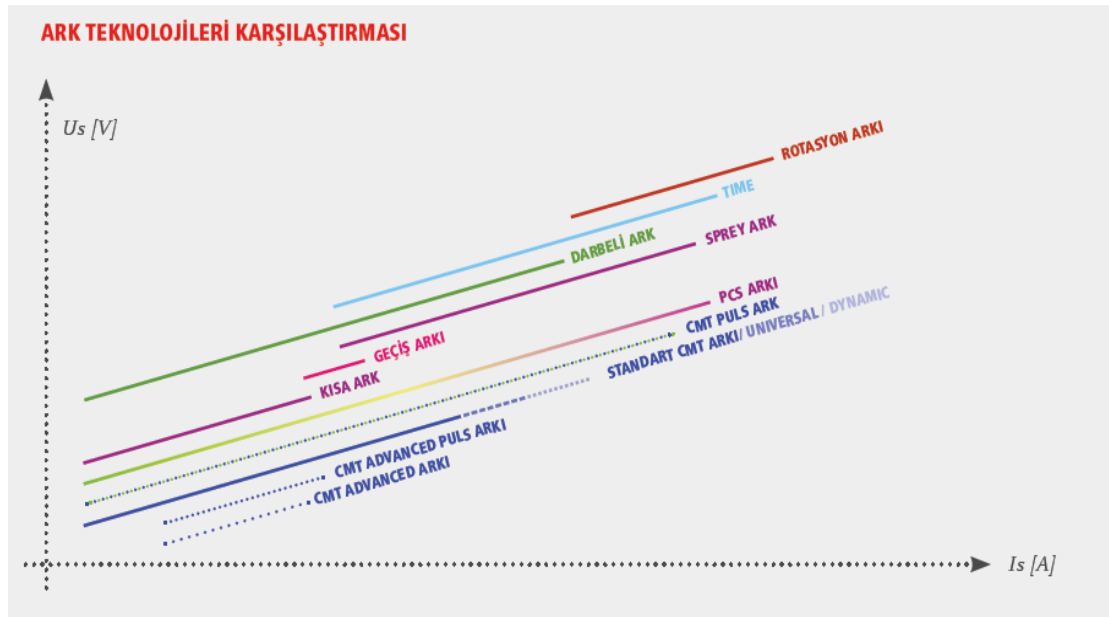
Negatif kutuplu CMT döngüleri ve pozitif kutuplu darbe döngüleri kombinasyonu ile arkın kesin doğruluğu ve arka yüksek düzeyde hakimiyet hedeflenir.

d) *CMT Lehim*

Mevcut CMT kaynak sistemleri, basit sistem uyarlamalarıyla CMT Braze + olarak dönüştürülebilir. Bunun için, özel bir torçboynu ve uyarlanmış bir karakteristik gereklidir. İnce konik gaz nozulu formu, koruyucu gazın arkı odaklamasını sağlar. Bu sayede CMT lehimlemelerinde eşsiz avantajlar ortaya çıkar. Lehim hızı 3 m/dk, Yaygın, temiz dikiş ve mükemmel dikiş görünümü ve %60'a kadar daha az koruyucu gaz [7].

e) *CMT Çiftel*

Basit sistem yapısı ve birbirinden bağımsız olarak ayarlanabilen iki güç kaynağının senkronize start özelliği, iki kaynak teli ve bir gaz nozulu CMT prosesinde bir araya getirilmiştir. Ark kararlılığı, derin kaynak nüfuziyeti, mükemmel kaynak dikiş ergimesi ve çok az çapak oluşumu özellikleriyle donatılmıştır [7].



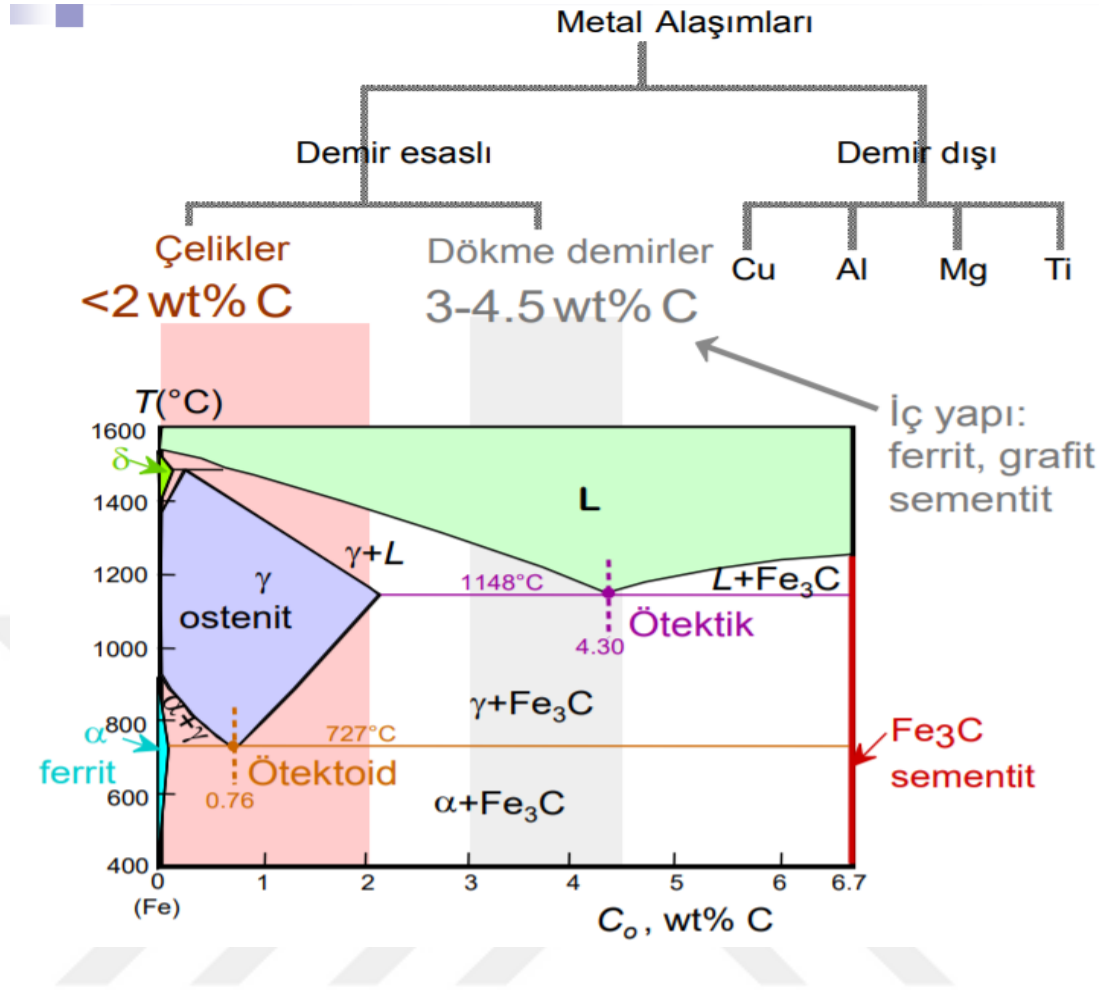
Şekil 1.3: CMT prosesinin ark teknolojileriyle karşılaştırılması [7].

#### **1.4.4 CMT uygulamaları**

Tamamıyla yeni uygulamalar ortaya çıkıyor. O halde CMT prosesi için tipik kullanım alanları nelerdir? Hangi işlem maddeleri veya malzemeler soğuşu tercih eder? Daha 0,3 mm'den itibaren tüm ince levhalar, galvanizli levhaların MIG lehimli ve alüminyum ile çeliğin birleştirilmesi. Ve görsel açıdan en yüksek kalite söz konusu olduğu tüm uygulamalar. Bugüne kadar bu tür uygulamalar ancak zahmetli şartlar altında (örn. kaynak altlığı) mümkündü ve başka ekleme teknolojilerine geçilmekteydi. Burada da elbette kaynak bağlantısının avantajlarından vazgeçilmesi gerekiyordu. CMT ise, şimdiye kadar imkânsız görüneni mümkün kılmaktadır, kaynak teknolojisine yeni standartlar getirmektedir. Bu proses, otomotiv ve yan sanayiinden ağır sanayii ve boru hattı imalatına, tamir ve bakıma kadar neredeyse tüm kullanım alanları için uygun bir çözüm oluşturmaktadır. Tüm otomatize, robot destekli veya manuel işlemler bu prosesle uygulanabilir. Tüm ana ve ek işlem malzemeleri rahatça kullanılabilir [7]

#### **1.5 Çeliklerin Sınıflandırılması**

Çelik; Demir oranı, içerdiği diğer elementlerin hepsinden daha fazla olan, genelde %2'den daha az karbon içeren alaşımlara çelik denir. Çelik içinde sadece C değil, farklı oranlarda alaşım elementleri ve empürite elementler bulunur. Çeliğin iç yapısı ve içerdiği elementlerin kimyasal bileşimi çeliğe farklı özellikler kazandırır ki bu elementlere alaşım elementleri denir.



Şekil 1.4: Demir karbon denge diyagramı [8].

a) Kimyasal bileşimlerine göre

Alaşım sız çelikler

Alaşımlı çelikler

b) Kalitelerine göre

Temel çelikler

Kalite çelikler

Soy çelikler

c) Mamul Şekillerine göre

Yassı çelikler

Uzun çelikler

Kısa çelikler

*d) Kullanım yerlerine göre*

Yapı çelikleri

Takım çelikleri

Yay çelikleri

Hız çelikleri

Paslanmaz çelikler

*e) Üretim yöntemlerine göre*

Bessemer ve Thomas çeliği

Siemens-Martin çeliği

Elektrik ark ve elektrik endüksiyon çeliği

Pota çeliği

Oksijenli konverter çeliği

Vakum çeliği

Puddel ve Kaldo çeliği

*f) Dokusal durum ve metalografik yapılarına göre*

*g) Fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre*

*h) Sertleştirme ortamlarına göre*

## **1.6 Paslanmaz Çelikler**

### **1.6.1 Paslanmaz çeliğin tanımı ve sınıflandırılması**

Paslanmaz çelikler, öncelikli olarak korozyona karşı dayanım amacıyla geliştirilen ve Fe-Cr, Fe-Cr-C ve Fe-Cr-Ni sistemine dayanan yüksek alaşımlı önemli bir çelik grubudur.

Alaşımsız ve az alaşımlı çelikler korozyon etkilerine karşı dayanıklı değildir. Bileşimlerinde en az %10,5 Cr bulunan çelikler ise; yüzeylerine kuvvetle tutunan yoğun, tok ve çok ince bir krom oksit tabakası ( $Cr_2O_3$ ) sayesinde pasifleşerek korozyona dayanıklı hale gelirler [9]. Bu tür çeliklere paslanmaz çelik adı verilir. EN 10088-1: 2005 standardında, paslanmaz çeliklerin en az %10,5 Cr, en çok %1,2 C içermesi gerektiği belirtilmiştir.

Paslanmaz çelikte, korozyona ve oksidasyona karşı dayanım sağlayan ve mutlaka olması gereken element kromdur. Kromun oksijene karşı olan ilgisi demirden

fazladır. Bu yüzden mevcut oksijenle kendisi birleşerek çeliğin yüzeyinde 20-30 µm kalınlığında pasif krom oksit tabakası oluşturur. Bu tabaka yüzeyde kaplama etkisi yaparak elektrolit ile anot-katot arasındaki bağlantıyı keser. %10,5 Cr içeren paslanmaz çelikte meydana gelen krom oksit tabakası orta seviyedeki korozif etkilere dayanım gösterir [10].

Krom oksit tabakası oksitleyici ortamlarda stabil olurken, indirgen ortamlarda stabilitesini kaybeder ve tabaka incelmeye başlar. Bu oksit tabakası herhangi bir mekanik etkiyle hasar görebilir. Böyle bir durumda, eğer ortam oksitleyici ise tabaka kendi kendini tamir eder. Artan Cr, Ni, Mo miktarı ile bu tabakanın stabilitesi artar ve daha şiddetli korozif ortamlara karşı dayanım artar. Krom, çeliğin yüksek sıcaklıklardaki mekanik özelliklerini korumasını sağlar. Bu yüzden kromlu paslanmaz çelikler, yüksek sıcaklıklarda sürünmeye karşı dayanıklı çelikler olarak da kullanılmaktadır.

Paslanmaz çelikler mükemmel korozyon dayanımlarına ek olarak, düşük ve yüksek sıcaklıklarda kullanılabilirleri, farklı mekanik özelliklere sahip türlerinin bulunması, Şekil verme kolaylığı ve estetik görünüm gibi özelliklere sahiptir. Günümüzde paslanmaz çelik tüketimi toplumların refah seviyesinin bir göstergesi sayılmaktadır [11].

Paslanmaz çelikler mikroyapılarına göre 5 temel gruba ayrılırlar. Bu gruplar aşağıda belirtilmiştir [12].

Östenitik Paslanmaz Çelikler

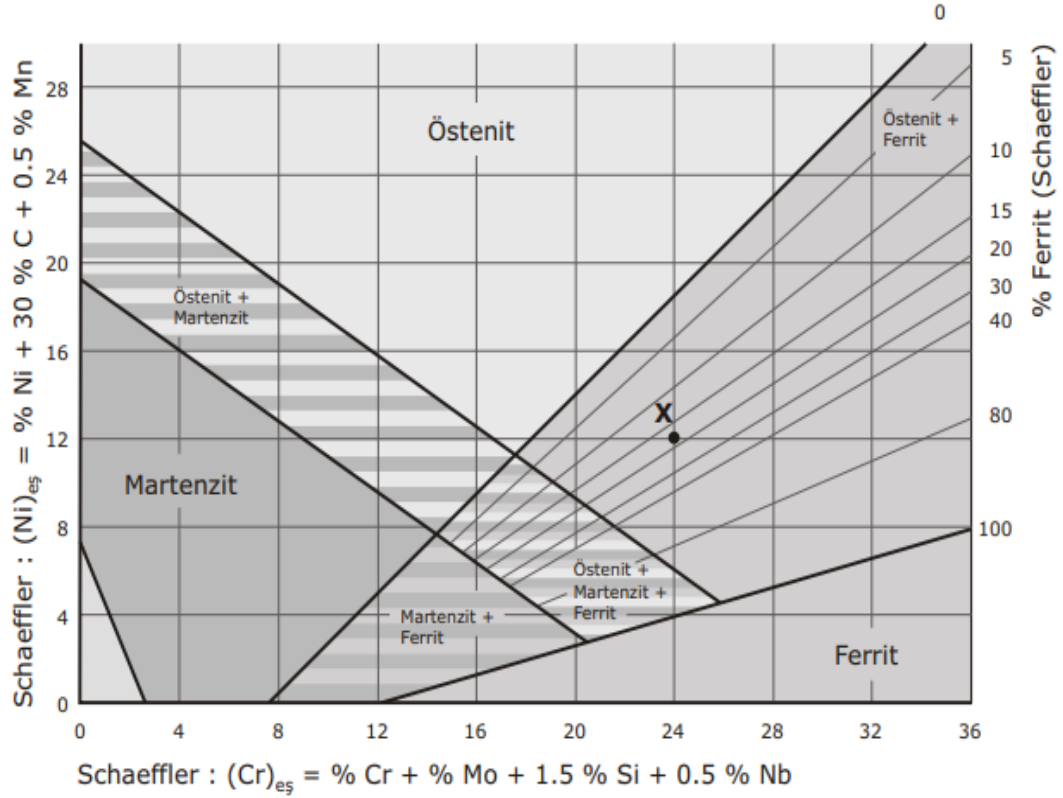
Ferritik Paslanmaz Çelikler

Östenitik-Ferritik Paslanmaz Çelikler

Martenzitik Paslanmaz Çelikler

Çökelme Sertleştirilmesi Uygulanabilen Paslanmaz Çelikler

Paslanmaz çeliklerde mikroyapı krom ve nikel miktarlarına bağlı olarak değişir. Krom ostenit bölgesini daraltır, nikel ise genişletir [10]. Şekil 1.5'te Krom ve nikel miktarlarına bağlı olarak paslanmaz çeliklerde oluşan mikroyapılar şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 1.5: Schaeffler diyagramı[10].

Paslanmaz çeliklerde bazı alaşım elementleri de krom veya nikel gibi davranır. Molibden, silisyum, niyobyum da krom gibi ostenit bölgesini daraltırken, karbon ve mangan ise nikel gibi ostenit bölgesini genişletir [10]. Paslanmaz çelik gruplarının her birinin tipik mekanik özellikleri farklıdır. Ayrıca her bir grup, belirli korozyon şekillerine karşı hassasiyet/dayanım bakımından farklılık gösterir. Ancak, her bir grup belirli sınırlar içinde tatmin edici bir bileşim aralığına sahiptir. Bu yüzden, her bir grup geniş bir aralıktaki korozyon ortamlarında kullanılabilir [12].

Paslanmaz çelikler içerisinde en yaygın olarak kullanılanlar östenitik ve ferritik paslanmaz çelikler olup kullanım oranları tüm paslanmaz çelikler içinde %95'e ulaşmaktadır.[9] Günümüzde paslanmaz çeliklerin gösteriminde EN ve AISI standartları yaygın olarak kullanılmaktadır. AISI standardında östenitik paslanmaz çelikler 200 ve 300'lü sayılarla, ferritik ve martenzitik paslanmaz çelikler ise 400'le başlayan sayılarla ifade edilir. Paslanmaz çelik seçiminde kullanılmak üzere; paslanmaz çelik grupları, temel alaşım elementi içerikleri, mekanik ve fiziksel özellikleri, avantajları, dezavantajları ve uygulama alanları kısaca Çizelge 1.1'de gösterilmiştir.

**Çizelge 1.1** Paslanmaz çeliklerin fiziksel özellikleri [10].

Fiziksel Özellikler	Östenitik Paslanmaz Çelikler	Ferritik Paslanmaz Çelikler	Martenzitik Paslanmaz Çelikler	Çökeltme İle Sertleşebilen Paslanmaz Çelikler
Elastisite Modülü (GPa)	195	200	200	200
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	8.0	7.8	7.8	7.8
Isıl Genleşme Katsayısı (μm/m°C)	16.6	10.4	10.3	10.8
Isıl İletkenlik (W/mk)	15.7	25.1	24.2	22.3
Özgül Isı (J/k °K)	500	460	460	460
Elektriksel Direnç (μΩcm)	74	61	61	80
Manyetik Geçirgenlik	1.02	600 - 1100	700 - 1000	95
Ergime Aralığı (°C)	1375 - 1450	1425 - 1530	1425 - 1530	1400 - 1440

## 1.6.2 Östenitik paslanmaz çelikler

Östenitik paslanmaz çelikler paslanmaz çeliklerin en çok kullanılan türüdür. Yüzey merkezli kübik kafese sahip östenitik içyapılarını hem oda sıcaklığında hem de yüksek sıcaklıklarda korudukları için normalleştirme ve sertleştirme ısıl işlemleri bu çeliklere uygulanamaz. Mekanik dayanımları sadece soğuk Şekillendirme ile artırılabilir [11]. Östenitik krom nikelli paslanmaz çelikler, martenzitik ve ferritik kromlu paslanmaz çeliklerden daha iyi korozyon dayanımına sahiptir. İçyapının ostenit olması, geçiş sıcaklığı altında görülen gevrekleşmeyi ortadan kaldırır. Hem sıfır altı (-270 °C'ye kadar) hem de yüksek sıcaklıklardaki korozyon dayanımlarının ve mekanik özelliklerinin üstünlüğü, bu çeliklerin birçok alanda bir yapı çeliği olarak kullanılmasına olanak sağlamıştır.

Östenitik paslanmaz çeliklerin yapısına katılan alaşım elementleri, bu çeliklerin mekanik ve korozyon özelliklerine çeşitli Şekilde etki eder. C içeriğinin östenitik paslanmaz çeliklerin korozyon davranışına olumsuz etkileri bulunmaktadır. Bu yüzden C içeriği %0,03'e kadar düşürülmüş östenitik paslanmaz çelikler üretilmiştir. Östenitik paslanmaz çeliklerde, korozyona dayanım amacıyla ilave edilen kromun ferrit yapıcı etkisi, ostenit yapıcı alaşım elementleri ilave edilerek giderilir. Nikel ve mangan temel ostenit oluşturuçlarıdır. Östenitik paslanmaz çelikler genellikle %16 ile %26 arasında Cr, %35'e kadar Ni ve %20'ye kadar Mn içerirler [11].

Östenitik paslanmaz çeliklere, krom ve nikel ilave olarak asitlere ve klorürlü çözeltilere karşı korozyon dayanımı sağlamak için molibden, karbür çökeltmesine karşı titanyum ve niyobyum, düşük sıcaklık (sıfır altı) dayanım özelliklerini iyileştirmek için azot ilavesi yapılır. Azot, ayrıca deformasyon sertleşmesi oranını artırır ve karbür çökeltmesini azaltır [10]. Yüksek derecede deformasyon sertleşmesi ile östenitik paslanmaz çelikler, yüksek akma ve çekme dayanımına sahip



olmaktadır. Ayrıca bu yüksek akma ve çekme dayanımında dahi sünekliklerinin ve tokluklarının bir kısmını korumaları önemli bir özelliktir. Yaygın olarak kullanılan östenitik paslanmaz türleri çizelge 1.2’de gösterilmiştir.

**Çizelge 1.2** Östenitik paslanmaz çeliklerin nominal kimyasal analizi[10],(ASTM Metals handbook, 9. Baskı, cilt 3).

Türü	UNS Numarası	Kimyasal Analiz Değerleri (%) *							Diğer
		C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	
201	S20100	0.15	5.5-7.5	1.00	16.0-18.0	3.5-5.5	0.06	0.03	0.25 N
202	S20200	0.15	7.5-10.0	1.00	17.0-19.0	4.0-6.0	0.06	0.03	0.25 N
205	S20500	0.12-0.25	14.0-15.5	1.00	16.5-18.0	1.0-1.75	0.06	0.03	0.32-0.40 N
216	S21600	0.08	7.5-9.0	1.00	17.5-22.0	5.0-7.0	0.045	0.03	2.0-3.0 Mo; 0.25-0.5 N
301	S30100	0.15	2.00	1.00	16.0-18.0	6.0-8.0	0.045	0.03	
302	S30200	0.15	2.00	1.00	17.0-19.0	8.0-10.0	0.045	0.03	
302B	S30215	0.15	2.00	2.0-3.0	17.0-19.0	8.0-10.0	0.045	0.03	
303**	S30300	0.15	2.00	1.00	17.0-19.0	8.0-10.0	0.20	min. 0.15	0.06 Mo
303Se**	S30323	0.15	2.00	1.00	17.0-19.0	8.0-10.0	0.20	0.06	min 0.15 Se
304	S30400	0.08	2.00	1.00	18.0-20.0	8.0-10.5	0.045	0.03	
304H	S30409	0.04-0.10	2.00	1.00	18.0-20.0	8.0-10.5	0.045	0.03	
304L	S30403	0.03	2.00	1.00	18.0-20.0	8.0-12.0	0.045	0.03	
304LN		0.03	2.00	1.00	18.0-20.0	8.0-10.5	0.045	0.03	0.10-0.15 N
	S30430	0.08	2.00	1.00	17.0-19.0	8.0-10.0	0.045	0.03	3.0-4.0 Cu
304N	S30451	0.08	2.00	1.00	18.0-20.0	8.0-10.5	0.045	0.03	0.10-0.16 N
304HN	S30452	0.04-0.10	2.00	1.00	18.0-20.0	8.0-10.5	0.045	0.03	0.10-0.16 N
305	S30500	0.12	2.00	1.00	17.0-19.0	10.5-13.0	0.045	0.03	
308	S30800	0.08	2.00	1.00	19.0-21.0	10.0-12.0	0.045	0.03	
308L		0.03	2.00	1.00	19.0-21.0	10.0-12.0	0.045	0.03	
309	S30900	0.20	2.00	1.00	22.0-24.0	12.0-15.0	0.045	0.03	
309S	S30908	0.08	2.00	1.00	22.0-24.0	12.0-15.0	0.045	0.03	
309S Nb	S30940	0.08	2.00	1.00	22.0-24.0	12.0-15.0	0.045	0.03	8 x % C - Nb
309 Nb+Ta		0.08	2.00	1.00	22.0-24.0	12.0-15.0	0.045	0.03	8 x % C - Nb+Ta
310	S31000	0.25	2.00	1.50	24.0-26.0	19.0-22.0	0.045	0.03	
310S	S31008	0.08	2.00	1.50	24.0-26.0	19.0-22.0	0.045	0.03	
312		0.15	2.00	1.00	30.0 nom.	9.0 nom.	0.045	0.03	
314	S31400	0.25	2.00	1.5-3.0	23.0-18.0	19.0-22.0	0.045	0.03	
316	S31600	0.08	2.00	1.00	16.0-18.0	10.0-14.0	0.045	0.03	2.0-3.0 Mo
316F**	S31620	0.08	2.00	1.00	16.0-18.0	10.0-14.0	0.20	min. 0.10	1.75-2.5 Mo
316H	S31609	0.04-0.10	2.00	1.00	16.0-18.0	10.0-14.0	0.045	0.03	2.0-3.0 Mo
316L	S31603	0.03	2.00	1.00	16.0-18.0	10.0-14.0	0.045	0.03	2.0-3.0 Mo
316LN		0.03	2.00	1.00	16.0-18.0	10.0-14.0	0.045	0.03	2.0-3.0 Mo; 0.10-0.30 N
316N	S31651	0.08	2.00	1.00	16.0-18.0	10.0-14.0	0.045	0.03	2.0-3.0 Mo; 0.10-0.16 N
317	S31700	0.08	2.00	1.00	18.0-20.0	11.0-15.0	0.045	0.03	3.0-4.0 Mo
317L	S31703	0.03	2.00	1.00	18.0-20.0	11.0-15.0	0.045	0.03	3.0-4.0 Mo
317M		0.03	2.00	1.00	18.0-20.0	12.0-16.0	0.045	0.03	4.0-5.0 Mo
321	S32100	0.08	2.00	1.00	17.0-19.0	9.0-12.0	0.045	0.03	min 5 x % C - Ti
321H	S32109	0.04-0.10	2.00	1.00	17.0-19.0	9.0-12.0	0.045	0.03	min 5 x % C - Ti
329	S32900	0.10	2.00	1.00	25.0-30.0	3.0-6.0	0.045	0.03	1.0-2.0 Mo
330	N08330	0.08	2.00	0.75-1.50	17.0-20.0	34.0-37.0	0.040	0.03	
330HC		0.40	1.50	1.25	19.0 nom.	35.0 nom.			
332		0.04	1.00	0.50	21.5 nom.	32.0 nom.	0.045	0.03	
347	S34700	0.08	2.00	1.00	17.0-19.0	9.0-13.0	0.045	0.03	min 10 x % C - Nb+Ta
347H	S34709	0.04-0.10	2.00	1.00	17.0-19.0	9.0-13.0	0.045	0.03	min 10 x % C - Nb+Ta
348	S34800	0.08	2.00	1.00	17.0-19.0	9.0-13.0	0.045	0.03	0.2 Cu; min 10 % C - Nb+Ta
348H	S34809	0.04-0.10	2.00	1.00	17.0-19.0	9.0-13.0	0.045	0.03	0.2 Cu; min 10 % C - Nb+Ta

AISI 304 paslanmaz çeliği; korozyon dayanımı, kaynak kabiliyeti ve Şekillendirilebilme özelliği iyi olduğu için gıda endüstrisinde, bira, şarap, süt gibi içeceklerin taşınmasında ve depolanmasında, kapı ve pencere çerçevelerinde, çatı olukları ve soğutma kapları gibi birçok uygulamada kullanılır. Ayrıca AISI 304

paslanmaz çeliğinde, taneler arası korozyona karşı dayanımı artırmak için karbon içeriği azaltılmış olan AISI 304L paslanmaz çeliği geliştirilmiştir. AISI 304L paslanmaz çeliği, AISI 304 çeliğinin kullanıldığı tüm alanlarda başarılı bir şekilde kullanılabilir. Molibden içeren AISI 316 paslanmaz çeliği ise AISI 304 paslanmaz çeliğinden daha iyi korozyon dayanımına sahiptir. AISI 316 paslanmaz çeliğinde, taneler arası korozyona karşı dayanımı artırmak için karbon içeriği azaltılmış olan AISI 316L paslanmaz çeliği geliştirilmiştir.

AISI 316 paslanmaz çeliği; denizcilik ve kimya endüstrisinde, yiyecek ve içeceklerin taşınması, depolanması ve üretilmesinde, düşük ve yüksek sıcaklık uygulamalarında ve mimari uygulamalarda yaygın bir şekilde kullanılır.

### **1.6.3 Ferritik paslanmaz çelikler**

Ferritik paslanmaz çelikler, %11 ile %30 arasında Cr ve çok az miktarlarda C, N, Ni gibi ostenit yapıcı element içerirler. Ferritik paslanmaz çelikler oda sıcaklığında hacim merkezli kübik kafes yapısına sahiptirler. Manyetik olan bu çelikler ısı ile sertleştirilemezler. Bu çeliklerin düşük toklukları ve gevrekleşme hassasiyetleri olduğu için makine elemanı olarak kullanımı özellikle kaynaklı montajlar ve kalın kesitler için sınırlıdır [13]. Ferritik paslanmaz çeliklerin sertleştirilebilmeleri ancak soğuk şekil değiştirme ile mümkün olmaktadır. Östenitik krom nikelli paslanmaz çeliklere nazaran şu üstün özelliklere sahiptirler;

Klorürlü çözeltilerde gerilmeli korozyon çatlamaına karşı dayanıklıdır,

Daha yüksek akma dayanımına sahiptir,

Daha az soğuk şekil değiştirme sertleşmesi gösterirler,

750 °C'ye kadar manyetikleşme özelliğine sahiptirler [9].

Ferritik paslanmaz çelikler pahalı bir element olan nikel içermemelerinden dolayı krom nikelli östenitik paslanmaz çeliklerden daha ekonomiktirler. Yaygın olarak kullanılan ferritik paslanmaz çelik türleri Çizelge 1.3'te gösterilmiştir.

**Çizelge 1.3** Ferritik paslanmaz çeliklerin nominal kimyasal analizi[10],(ASTM Metals handbook, 9. Baskı, cilt 3).

Türü	UNS Numarası	Kimyasal Analiz Değerleri (%) *							Diğer
		C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	
405	S40500	0.08	1.00	1.00	11.5-14.5		0.04	0.03	0.10-0.30 Al
409	S40900	0.08	1.00	1.00	10.5-11.75		0.045	0.045	min 6 x % C - Ti
429	S42900	0.12	1.00	1.00	14.0-16.0		0.04	0.03	
430	S43000	0.12	1.00	1.00	16.0-18.0		0.04	0.03	
430F**	S43020	0.12	1.25	1.00	16.0-18.0		0.06	0.15 min.	0.06 Mo
430FSe**	S43023	0.12	1.25	1.00	16.0-18.0		0.06	0.06	min 0.15 Se
430Ti	S43036	0.10	1.00	1.00	16.0-19.5	0.75	0.04	0.03	min 5 x % C - Ti
434	S43400	0.12	1.00	1.00	16.0-18.0		0.04	0.03	0.75-1.25 Mo
436	S43600	0.12	1.00	1.00	16.0-18.0		0.04	0.03	0.75-1.25 Mo min 5 x % C - Nb+Ta
442	S44200	0.20	1.00	1.00	18.0-23.0			0.03	
444	S44400	0.025	1.00	1.00	17.5-19.5	1.00	0.04 0.04	0.03	1.75-2.5 Mo ; 0.035 N 0.2 + 4 (% C+% N) - Ti+Nb
446	S44600	0.20	1.50	1.00	23.0-27.0			0.03	0.25 N
18-2FM**	S18200	0.08	2.50	1.00	17.5-19.5		0.04	0.15 min.	
18SR		0.04	0.30	1.00	18.0		0.04		2.0 Al ; 0.4 Ti
26-1 (E-Brite)	S44625	0.01	0.40	0.40	25.0-27.5	0.50	0.02	0.02	0.75-1.5 Mo ; 0.015 N 0.2 Cu ; 0.5 - Ni+Cu
26-1Ti	S44626	0.06	0.75	0.75	25.0-27.0	0.50	0.04	0.02	0.75-1.5 Mo ; 0.04 N 0.2 Cu ; 0.2-1.0 Ti
29-4	S44700	0.01	0.30	0.20	28.0-30.0	0.15	0.025	0.02	3.5-4.2 Mo
29-4-2	S44800	0.01	0.30	0.20	28.0-30.0	2.0-2.5	0.025	0.02	3.5-4.2 Mo
Monit	S44635	0.25	1.00	0.75	24.5-26.0	3.5-4.5	0.04	0.03	3.5-4.5 Mo 0.3-0.6 Ti+Nb
Sea-cure/ Sc-1	S44660	0.025	1.00	0.75	25.0-27.0	1.5-3.5	0.04	0.03	2.5-3.5 Mo 0.2 + 4 (% C + % N) - Ti+Cb

#### 1.6.4 Martenzitik paslanmaz çelikler

Martenzitik paslanmaz çelikler, bileşimlerinde %11,5 ile %18 arasında Cr ve %0,15 ile %1,2 arasında C içerirler. Martenzitik paslanmaz çelikler Fe-C alaşımlarına benzer bir şekilde ostenitleştirilir ve su verme ile sertleştirilir. Daha sonra tokluk ve sünekliği artırmak için temperleme yapılır. Bu alaşımlar manyetikdir ve bu çeliklerin ısıtılma işlemi görmüş yapıları hacim merkezli tetragonaldır [13]. Martenzitik paslanmaz çeliklerde mekanik dayanım, alaşımın karbon miktarına bağlı olarak ısıtılma işlemi ile elde edilir. Karbon miktarının artması ile dayanım artar fakat süneklik ve tokluk düşer. Martenzitik paslanmaz çeliklerde aşınma dayanımı karbon miktarına oldukça bağlıdır. Martenzitik paslanmaz çeliklerin korozyon dayanımını ve tokluk özelliklerini iyileştirmek için molibden ve nikel ilavesi yapılır.

Martenzitik paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyetleri düşüktür. Genellikle yüksek çekme, yorulma, sürünme dayanımı gerektiren ve fazla korozif olmayan ortamlarda tercih edilirler [9]. Martenzitik paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyetlerini geliştirmek için az karbonlu krom nikelli martenzitik paslanmaz çelikler üretilmiştir

[9]. Yaygın olarak kullanılan martenzitik paslanmaz çelik türleri Çizelge 1.4'te gösterilmiştir.

**Çizelge 1.4** Martenzitik paslanmaz çeliklerin nominal kimyasal analizi[10],(ASTM Metals handbook, 9. Baskı, cilt 3).

Türü	UNS Numarası	Kimyasal Analiz Değerleri (%) *							Diğer
		C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	
403	S40300	0.15	1.00	0.50	11.5-13.0		0.04	0.03	
410	S41000	0.15	1.00	1.00	11.5-13.0		0.04	0.03	
410Nb	S41040	0.18	1.00	1.00	11.5-13.5		0.04	0.03	0.05-0.30 Nb
410S	S41008	0.08	1.00	1.00	11.5-13.5	0.6	0.04	0.03	
414	S41400	0.15	1.00	1.00	11.5-13.5	1.25-2.50	0.04	0.03	
414L		0.06	0.50	0.15	12.5-13.0	2.5-3.0	0.04	0.03	0.5 Mo ; 0.03 Al
416	S41600	0.15	1.25	1.00	12.0-14.0		0.04	0.03	0.6 Mo
416Se**	S41623	0.15	1.25	1.00	12.0-14.0		0.06	0.06	min 0.15 Se
416 Plus X**	S41610	0.15	1.5-2.5	1.00	12.0-14.0		0.06	min 0.15	0.6 Mo
420	S42000	min. 0.15	1.00	1.00	12.0-14.0		0.04	0.03	
420F**	S42020	min. 0.15	1.25	1.00	12.0-14.0		0.06	min 0.15	0.6 Mo
422	S42200	0.20-0.25	1.00	0.75	11.0-13.0	0.5-1.0	0.025	0.025	0.75-1.25 Mo 0.75-1.25 W 0.15-0.30 V
431	S43100	0.20	1.00	1.00	15.0-17.0	1.25-2.50	0.04	0.03	
440A	S44002	0.60-0.75	1.00	1.00	16.0-18.0		0.04	0.03	0.75 Mo
440B	S44003	0.75-0.95	1.00	1.00	16.0-18.0		0.04	0.03	0.75 Mo
440C	S44004	0.95-1.20	1.00	1.00	16.0-18.0		0.04	0.03	0.75 Mo

### 1.6.5 Östenitik-ferritik paslanmaz çelikler

Östenitik-ferritik paslanmaz çeliklerde içyapı ostenit ve ferrit fazlarından oluşur. Östenitik-ferritik paslanmaz çelikler; %18-%28 oranlarında Cr, %4,5-%8 oranlarında Ni içermektedirler. Ayrıca östenitik-ferritik paslanmaz çeliklerin çoğunluğu %2,5%4 oranları arasında Mo içerir. Östenitik-ferritik paslanmaz çeliklerin tavllanmış halde akma dayanımları 550 MPa ile 690 MPa arasında değişmektedir ki, bu değer sadece östenitik veya sadece ferritik faza sahip paslanmaz çelikten elde edilebilecek akma dayanımının yaklaşık iki katıdır [13].

Östenitik-ferritik paslanmaz çeliklerin yapıları östenitik paslanmaz çeliklere göre daha iyi gerilmeli korozyon çatlak dayanımı ve ferritik paslanmaz çeliklere göre daha iyi tokluk ve süneklilik verir [13]. Yaygın olarak kullanılan östenitik-ferritik paslanmaz çelik türleri Çizelge 1.5'te gösterilmiştir.

**Çizelge 1.5** Yaygın olarak kullanılan östenitik- ferritik paslanmaz çelikler

[10],(ASTM Metals handbook, 9. Baskı, cilt 3).

2205	S31803	0.03	2.0	1.0	22.0	5.5	0.03	0.02	3.0 Mo ; 0.14 N
2304	S32304	0.03	2.5	1.0	23.0	4.0			0.1 N
255		0.04	1.5	1.0	25.5	5.5			3.0 Mo ; 0.17 N ; 2.0 Cu
NU744LN		0.067	1.7	0.44	21.6	4.9			2.4 Mo ; 0.10 N ; 0.2 Cu
2507	S32750	0.03	1.2	0.8	25.0	5.5	0.035	0.02	4 Mo ; 0.28 N

### 1.6.6 Çökeltme sertleştirilmesi uygulanabilen paslanmaz çelikler

Çökeltme sertleştirilmesi, ikincil fazın küçük tanecikler şeklinde matris fazı içerisinde çökeltmesinin sağlandığı alaşım sistemlerinde dayanım artırmak için kullanılan en önemli sertleştirme yöntemlerinden biridir. Çökeltme sertleştirilmesi denge diyagramlarında solvüs eğrisi içeren alaşım sistemlerine uygulanabilir. [9] Çökeltme ikincil faz taneciklerinin, dislokasyon hareketlerini engellemesiyle sertlik artışı meydana gelir. Çökeltme sertleştirilmesi uygulanabilen paslanmaz çeliklerin içyapıları östenitik, yarı östenitik veya martenzitik olabilir. Çökeltme oluşumu için Al, Ti, Nb ve Cu elementleri ile alaşımlama yapılır. Bu sayede dayanımları 1700 MPa'a kadar çıkan paslanmaz çelikler elde edilebilmektedir [13].

Çökeltme sertleşmesi uygulanabilen paslanmaz çelikler yüksek sünekliğe, tokluğa ve orta ile iyi arasında değişen korozyon dayanımına sahiptirler. Bu çeliklerin martenzitik paslanmaz çeliklere göre daha yüksek mekanik ve korozyon dayanımları vardır. [9] Yaygın olarak kullanılan çökeltme sertleştirilmesi uygulanabilen paslanmaz çelik türleri Çizelge 1.6'da gösterilmiştir.

**Çizelge 1.6** Martenzitik paslanmaz çeliklerin nominal kimyasal analizi[10],(ASTM Metals handbook, 9. Baskı, cilt 3).

Türü	UNS Numarası	Kimyasal Analiz Değerleri (%) *							Diğer
		C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	
Çökeltme Yoluyla Sertleşebilen Paslanmaz Çelikler									
PH 13-8 Mo	S13800	0.05	0.10	0.10	12.25-13.25	7.5-8.5	0.01	0.008	2.0-2.5 Mo ; 0.90-1.35 Al ; 0.01 N
15-5 PH	S15500	0.07	1.00	1.00	14.0-15.5	3.5-5.5	0.04	0.03	2.5-4.5 Cu ; 0.15-0.45 Nb + Ta
17-4 PH	S17400	0.07	1.00	1.00	15.5-17.5	3.0-5.0	0.04	0.03	3.0-5.0 Cu ; 0.15-0.45 Nb + Ta
17-7 PH	S17700	0.09	1.00	1.00	16.0-18.0	6.5-7.75	0.04	0.03	0.75-1.15 Al
PH 15-7 Mo	S15700	0.09	1.00	1.00	14.0-16.0	6.5-7.75	0.04	0.03	2.0-3.0 Mo ; 0.75-1.5 Al
17-10 P		0.07	0.75	0.50	17.0	10.5	0.28		
A286	S66286	0.08	2.00	1.00	13.5-16.0	24.0-27.0	0.04	0.03	1.0-1.5 Mo ; 2.0 Ti ; 0.3 V
AM350	S35000	0.07-0.11	0.5-1.25	0.50	16.0-17.0	4.0-5.0	0.04	0.03	2.5-3.25 Mo ; 0.07-0.13 N
AM355	S35500	0.10-0.15	0.5-1.25	0.50	15.0-16.0	4.0-5.0	0.04	0.03	2.5-3.25 Mo
AM363		0.04	0.15	0.05	11.0	4.0			0.25 Ti
Custom 450	S45000	0.05	1.00	1.00	14.0-16.0	5.0-7.0	0.03	0.03	1.25-1.75 Cu ; 0.5-1.0 Mo 8 x % C - Nb
Custom 455	S45500	0.05	0.50	0.50	11.0-12.5	7.5-9.5	0.04	0.03	0.5 Mo ; 1.5-2.5 Cu ; 0.8-1.4 Ti ; 0.1-0.5 Nb
Stainless W	S17600	0.08	1.00	1.00	16.0-17.5	6.0-7.5	0.04	0.03	0.4 Al ; 0.4-1.2 Ti

## 1.7 Yüksek Sıcaklıkta Sürünme Dayanımlı Ferritik Çelikler

Molibden, 530 ° C'ye kadar servis sıcaklıkları için sürünmeye dayanıklı ferritik çelikler geliştirmek için kullanılan kilit alaşım elementidir. Sürünmeye dayanıklı çeliklerin ana kullanım alanları, tüm ürün formlarını kullanan elektrik üretimi ve petrokimya tesisleridir. Buhar türbinleri büyük dövme ve döküm gerektirirken, basınçlı kaplar, kazanlar ve boru sistemleri borular, borular, levhalar ve bağlantı parçaları gerektirir. Yüksek sürünme mukavemetine ek olarak, sertleştirilebilirlik, korozyon direnci ve kaynaklanabilirlik gibi diğer malzeme özellikleri de önemlidir. Bu özelliklerin nispi önemi, özel uygulamaya bağlıdır. Örneğin, büyük türbin rotorları iyi sertleşebilirliğe sahip çelikler gerektirir, oysa elektrik santrali boruları ve boruları iyi kaynaklanabilirliğe sahip olmalıdır. Buna rağmen, bu farklı uygulamalarda kullanılan alaşımlar, sürünme mukavemetini arttırmak için aynı mekanizmaları kullanır [14].

Katı çözeltideki molibden çeliğin sürünme hızını çok etkili bir şekilde azaltır. Yüksek sıcaklıkta servis sırasında karbürlerin pıhtılaşmasını ve kalınlaşmasını (Ostwald olgunlaşması) yavaşlatır. Yüksek sıcaklık dayanımı açısından en iyi sonuçlar, üst bainitten oluşan bir mikroyapı üretmek için su verme ve temperleme yoluyla elde edilir. İyileştirilmiş termodinamik verimlilik, enerji santrali teknolojisinin gelişimini yönlendiren hedeftir ve hem gelişmiş tesis tasarımları hem de bu tasarımları desteklemek için daha iyi özelliklere sahip yeni çelikler gerektirmektedir.

Sürünmeye dayanıklı ferritik çelikler, dünyadaki elektrik santralleri, petrol rafinerileri ve petrokimya tesisleri için tercih edilen malzemeler olmaya devam etmektedir. CMn çelikleri, Mo çelikleri, düşük alaşımlı CrMo çelikleri ve %9-12 Cr çelikleri olarak sınıflandırılırlar. Çok sayıda farklı çelik sınıfından dolayı, Çizelge 1.7'de her bir gruba tipik olarak yalnızca birkaç temsilci içermektedir.

**Çizelge 1.7** Yaygın olarak yüksek sıcaklıkta kullanılan sürünme dayanımlı ferritik çelikler [14].

EN designation	ASTM grade	Chemical composition (mass%)						
		C	Cr	Ni	Mo	V	Nb	Others
<b>CMn-steels</b>								
P 235	A	max. 0.16	max. 0.30	max. 0.30	max. 0.08			max. 0.30 Cu
P 355		max. 0.22					0.015 – 0.10	
<b>Mo Steels</b>								
16Mo3		0.12 – 0.20			0.25 – 0.35			
9NiCuMoNb5-8-4		max. 0.17	max. 0.30	1.00 – 1.30	0.25 – 0.50		0.015– 0.045	0.50-0.80 Cu
<b>CrMo-steels</b>								
13CrMo4-5	T/P11	0.10 – 0.17	0.70 – 1.10		0.45 – 0.65			
11CrMo9-10	T/P22	0.08 – 0.15	2.00 – 2.50		0.90 – 1.20			
8CrMoNiNb9-10		max. 0.10	2.00 – 2.50	0.30 – 0.80	0.90 – 1.10		min. 10x%C	
7CrMoVTiB10-10	T/P24	0.05 – 0.10	2.20 – 2.60		0.90 – 1.10	0.20 – 0.30		0.05-0.10 Ti 15-70 ppm B
	T/P23	0.04 – 0.10	1.90 – 2.60		0.05 – 0.30	0.20 – 0.30	0.02 – 0.08	1.45-1.75 W
<b>9-12% Cr-steels</b>								
X11CrMo9-1	T/P9	0.08 – 0.15	8.0 – 10.0		0.90– 1.00			
X20CrMoNiV11-1		0.17 – 0.23	10.0 – 12.5	0.30 – 0.80	0.80 – 1.20	0.25 – 0.35		
X10CrMoVNb9-1	T/P91	0.08 – 0.12	8.00 – 9.50	max. 0.40	0.85 – 1.05	0.18 – 0.25	0.06 – 0.10	
X11CrMoWVNb9-1-1	T/P911	0.09 – 0.13	8.50 – 9.50	0.10 – 0.40	0.90 – 1.10	0.18 – 0.25	0.06 – 0.10	0.90-1.10 W
	T/P92	0.07 – 0.13	8.50 – 9.50	max. 0.40	0.30 – 0.60	0.15 – 0.25	0.04 – 0.09	1.50-2.00 W
	T/P122	0.07 – 0.13	10.0 – 12.5	max. 0.50	0.25 – 0.60	0.15 – 0.30	0.04 – 0.10	0.30-1.70 Cu 1.50-2.50 W

Kimyasal bileşimlerin alaşımlar arasındaki değişkenliği, mikroyapıda bir karmaşıklık oluşturur, bu da alaşımlar arasında farklı güçlendirme mekanizmalarına ve büyüklük sırasına göre değişen sürünme kopma kuvvetlerine neden olur.

P235 ve Nb-microalloyed varyantı P355, ferrit-perlit mikroyapıya sahip tipik CMn-çeliklerdir. Karbon ve manganez, bu çeliklerin kuvvetini en güçlü şekilde etkileyen alaşım elementleridir. P355'teki Nb ilavesi, tane büyüklüğünü iyileştirmekte ve P235'e kıyasla daha yüksek akma mukavemeti ile sonuçlanmaktadır, ancak sürünme kopma mukavemeti artışı oldukça küçüktür. Her iki çelik de 400 ° C'de uygulama sınırlarına ulaşıyor.

Mo çeliklerinde, %0,3 molibden tarafından sağlanan çözelti sertleşmesi, sürünme kopma mukavemetinin artmasının ana nedenidir. Yaygın olarak WB 36 olarak bilinen 9NiCuMoNb5-6-4, kısmen niobium'un tane rafine etme etkisinin neden olduğu 16Mo3 üzerindeki verim gücünde çarpıcı bir artış göstermektedir. Bakır çökeltmesiyle ilave sertleşme de akma dayanımını artırır.

Kimyasal bileşimlerin alaşımlar arasındaki değişkenliği, mikroyapıda bir karmaşıklık oluşturur, bu da alaşımlar arasında farklı güçlendirme mekanizmalarına ve büyüklük sırasına göre değişen sürünme kopma kuvvetlerine neden olur.

P235 ve Nb-microalloyed varyantı P355, ferrit-pearlit mikroyapıya sahip tipik CMn-çeliklerdir. Karbon ve manganez, bu çeliklerin kuvvetini en güçlü şekilde etkileyen alaşım elementleridir. P355'teki Nb ilavesi, tane büyüklüğünü iyileştirmekte ve P235'e kıyasla daha yüksek akma mukavemeti ile sonuçlanmaktadır, ancak sürünme kopma mukavemeti artışı, oldukça küçüktür. Her iki çelik de 400 ° C'de uygulama sınırlarına ulaşıyor.

Molibden güçlendirme potansiyeli tam olarak kullanılamaz, çünkü sürünme sünekliği artan molibden içeriği ile güçlü bir şekilde azalır. Mo çeliklerinin uygulanmasındaki bir başka sınırlama, grafitleştirme olarak bilinen, 500 ° C'nin üzerindeki demir karbürlerin ayrışmasıdır. Her iki soruna da bir çözüm, molibden ile birlikte kromla alaşım yapmaktır. Aslında, CrMo çelikleri, elektrik santrallerinde buhar sıcaklığının 500 ° C'yi geçmesine izin veren ilk çeliklerdi. Klasik CrMo çeliklerinin 13CrMo4-5 (T / P11) ve 11CrMo9-10 (T / P22) özellikleri Tablo 1.7'de gösterilmektedir. Bu alaşımların sürünme kopma mukavemeti, yüksek Mo içeriğinden dolayı basit Mo çeliklerinin kuvvetini önemli bir oranda aşıyor. CrMo çelikleri, 500 ° C'nin üzerinde stabil olan ve grafitleşmeyi önleyen krom karbürler oluşturur. Krom ayrıca yüksek sıcaklıklarda oksidasyon direncini artırır. Yeni geliştirilen çelikler 7CrMoVTiB10-10 (T / P24) ve T / P23 oldukça yüksek mukavemet özelliklerine sahiptir. Bu



alaşım T / P22'ye benzer bir mikroyapıya dayanır. Güçleri, T / P24 durumunda titanyum, vanadyum ve bor ile ilave alaşımlama ve T / P23'te tungsten, vanadyum, niyobyum ve bor ile önemli ölçüde arttırılır [14].

### 1.7.1 Yüksek sıcaklıkta sürünme dayanımlı ferritik X10CrMoNbV9-1(P91) çeliğinin özellikleri

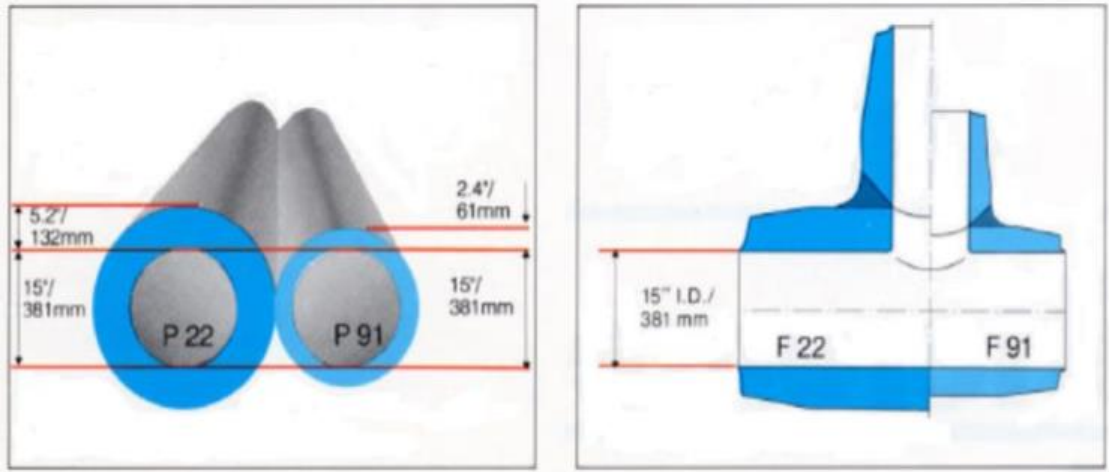
1980 yıllarının sonlarına doğru enerji santrallerinde yüksek sıcaklık şartlarına dayanıklı ve yüksek sürünme direncine sahip olmasını nedeniyle kullanılmaya başlanmıştır [15]. Ferritik-martenzit mikroyapıda olan AISI P91 kalite ferritik çeliklerin yapısına vanadyum, niyobyum ve azot alaşım elementleri optimize edilmiştir. ASTM göre AISI P91 kalite çeliğin kimyasal kompozisyonu Çizelge 1.8'de gösterilmektedir.

**Çizelge 1.8** AISI P91 kalite çeliğin kimyasal kompozisyonu [14], [59]

	Kimyasal bileşim, % ağı.											
	C	Mn	P	S	Si	Cr	Mo	V	Nb	N	Al	Ni
min	0.08	0.30	-	-	0.20	8.0	0.85	0.18	0.06	0.03		
maks	0.12	0.60	0.02	0.01	0.50	9.5	1.05	1.05	0.1	0.07	0.04	0.4

Ferritik çeliklerin gelişim evrelerine göre 2.döneme ait olan AISI P91 kalite çelikler, P22 kalite çeliklerin geliştirilmesiyle kullanılmaya başlanmıştır. AISI P91 kalite çeliğin mekanik özelliklerine bağlı olarak en büyük üstünlüğü et kalınlığının %54 daha ince ve ağırlığının %65 daha hafif kullanılmasına imkân sağlamasıdır. Şekil 1.6'da AISI P91 ve AISI P22 kalite çeliklerin et kalınlıklarına ve ağırlıklarına göre karşılaştırılması gösterilmiştir. Kazanlarda malzemenin cidar kalınlığının azaltılması ısı farkları nedeniyle meydana gelen iç gerilmeler azaltılmış olur [16].

Mekanik özellikleri bakımından AISI P91 kalite çelikler krom yüzdesine ve mikro alaşımına bağlı olarak korozyon direnci, ısı iletkenliği ve sürünme direnci daha iyidir.



**Şekil 1.6:** AISI P91 ve AISI P22 kalite çeliklerin et kalınlıklarına ve ağırlıklarına göre karşılaştırılması [16], [17].

**Çizelge 1.9** AISI P91 kalite çeliklerin oda sıcaklığında astm ve din standartlarına göre bazı mekanik özellikleri [16], [17].

Standart	ASTM	DIN
Malzeme	AISI P91	X10CrMoVNb9-1
Yapılan İşlemler	Normalizasyon + Temperleme	Normalizasyon + Temperleme
Akma dayanımı, MPa	415	450
Çekme Dayanımı, MPa	585	620
Kopma uzaması, %	20	19
Darbe Direnci, J	-	27

## 1.8 Ön Isıtma ve Gerilim Giderme Isıl İşlemi

### 1.8.1 Ön ısıtma

Kaynak dikişi etrafında sıcaklık dağılımını homojenleştirmek ve kaynak dikişinin soğuma hızını düşürerek malzemenin sertleşmesini ve kırılgan bir hal almasını bir nebze de olsa önlemektedir. Başlıca etkileri şu şekildedir:

Kaynak dikişi ve ısı tesiri altında kalan bölgede (ITAB) muhtemel oluşabilecek çekme gerilmelerini minimize eder.

Dikiş sıcaklığının Ms (martenzit dönüşümünün başlangıç sıcaklığı) sınırına yaklaşması ferrit, perlit ve beynit dönüşümlerini geciktirerek zaman kazandırılır ve martenzit yapısı daha az oluşur.

Sıcaklık, hidrojen yayılımı için gerekli eşik seviyesinin üzerinde tutularak hidrojen kaynağın ısıl etki alanını terk etmesi sağlanarak hidrojen kırılgenliğinin oluşması engellenmiş olmaktadır [17],[18].

**Çizelge 1.10** Karbon eşdeğerliğine bağlı olarak ısıl işlem gereksinimi [17],[18].

Karbon Eşdeğeri, %	Ön Isıtma	Gerilme Giderme
< 0.40	Gereksiz	Gereksiz
0.40 – 0.60	Gerekli	Gereksiz
> 0.60	Zorunlu	Zorunlu

### 1.8.2 Gerilme giderme ısıl işlemi

Demir ve demir-dışı metallere uygulanan talaşlı işlem, soğuk Şekillendirme ve kaynak gibi ön imalat işlemleriyle meydana gelen iç kalıcı gerilmeleri gidermek amacıyla yapılan tavlama yöntemidir [19]. Malzemeyi A1 alt kritik sıcaklığın altında standartlara göre tavsiye edilen sıcaklığın aralığına kadar ısıtmak, o sıcaklıkta malzeme kalınlığına göre belli bir süre beklettikten sonra yavaş bir Şekilde soğutarak gerilme giderme tavlaması yapılmaktadır.

### 1.8.3 Kaynakta ısıl işlemi gerekli kılan malzeme koşulları

Kaynak işleminden sonra havada soğutmaya maruz kalan malzemeler sertlik kazanarak gerilme giderme tavlamasına tabii tutulmak zorunda kalır. Sertleşme eğilimi iki temel faktöre bağlıdır:

Malzeme cinsi veya bileşimi

Cidar kalınlığı

Çizelge 1.11’de gerilme giderme tavlaması özellikle ferritik alaşımlı çeliklere özgü bir proses olduğu görülmektedir. Kısmen yüksek alaşımlı (paslanmaz) çeliklerin martenzitik türleri için de ihtiyaç duyulsa da kaynak teknolojisi itibariyle çok fazla gereksinim duyulmamaktadır.

**Çizelge 1.11** Gerilme giderme yapılması gereken malzeme tipleri [17],[18].

<b>GERİLİM GİDERME TAVLAMASI GEREKTİREN MALZEMELER</b>	
1.	Ferritik çelikler
1.1.	Karbonlu çelikler
1.2.	Düşük alaşımlı çelikler
2.	Yüksek alaşımlı (paslanmaz) çeliklerin martenzitik türleri

Isıl işlem gereksinimi için diğer bir önemli faktör olan cidar kalınlığı kaynak sonrası gerilme giderme üzerinde etkilidir. Tavlama, et kalınlığı 13 mm ve üzerindeki alaşımlı ve karbon çeliklerine uygulanır [19].

#### 1.8.4 Isıl işlem gereksinimi

Alaşım katkıları arttıkça sertleşme kabiliyeti de beraberinde artarak kaynaklanabilirlik azalır. Karbon eşdeğeri, alaşım elementlerinin kaynak kabiliyeti üzerindeki etkilerini tayin etmemize yardımcı olan bir veridir. Karbon eşdeğeri şu formülle hesaplanır:

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo}{5} + \frac{Cu + Ni}{15}$$

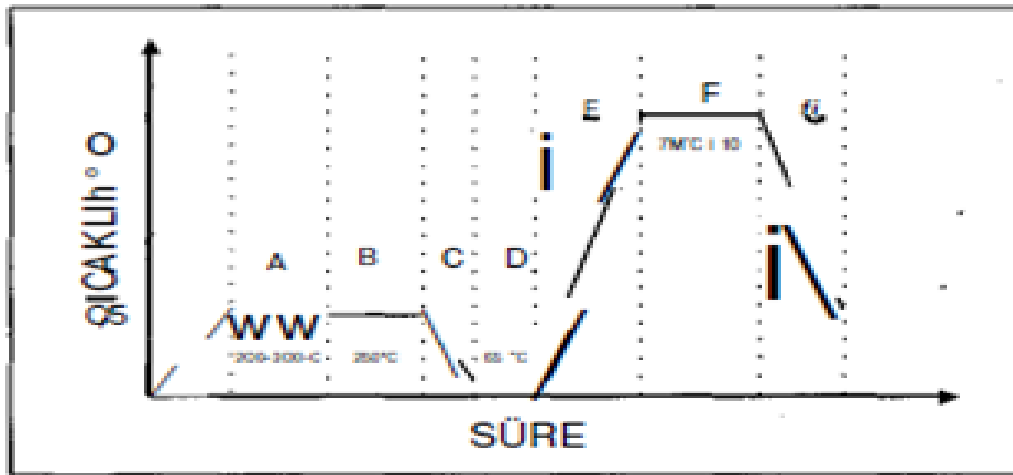
Karbon eşdeğerini hesaplama formülünde de görüldüğü üzere Mo, Cr ve V elementleri kaynaklanabilirlik üzerine etkisi yüksektir. Bu nedenle; yüksek sıcaklıklarda dayanımı ile bilinen Cr-Mo ve Cr-V alaşımları ısıl işlem yapılmadan kaynak edilebilmeleri imkansızdır. Düşük alaşımlı çelikler kaynak eşdeğerine göre ön ısıtma çizelge 1.10 ve gerilme giderme gereksinimi açısından 3 gruba ayrıldığını çizelge 1.11 ve çizelge 1.12 gösterilmiştir.

**Çizelge 1.12** Gerilme giderme gereksinimi gerektirmeyen malzemeler [17],[18].

<b>GERİLİM GİDERME TAVLAMASI GEREKTİRMEYEN MALZEMELER</b>	
1.	Östenitik (paslanmaz) çelikler
2.	Nikel ve alaşımları
3.	Bakır ve alaşımları
4.	Alüminyum ve alaşımları
5.	Titanyum ve alaşımları

### 1.8.5 X10CrMoNbV9-1(P91) Malzemesine kaynak sonrası gerilim giderme ısıl işleminin uygulanması

ASME standartlarına göre yapılan kazan ve boru imalatında kullanılan 9Cr-1 Mo-V-Nb-N (P91) malzemelerde (ASME 31.1)'e göre kaynak sonrası gerilim giderme ısıl işlem sıcaklıklarının Şekil 1.7'de gösterildiği gibi 704-760 °C arasında yapılması tanımlanmıştır. P91 Cr-Mo çelikleri sertleşebilir çeliklerdir, düşük ve yüksek sıcaklıklarda diğer düşük alaşımlı çeliklerde olduğu gibi iç yapısında faz dönüşümleri gerçekleşebilir. Soğuma esnasında sertliğin ve dayanım mukavemetinin artmasıyla darbe tokluğu ve sünekliğinde azalma meydana gelecektir. Temel olarak malzemedeki standartlar içinde kimyasal kompozisyondaki varyasyonlara rağmen genel olarak Ac1b sıcaklığı ortalama 810 °C derece, Martensit başlangıcı (Ms)390 °C derece, martensit bitiş sıcaklığı (Mf)100 °C derece olarak kabul edilmektedir (Bur at, S.B., Kaynak Teknolojisi IV. Ulusal Kongresi).



**Şekil 1.7:** P91 Malzemesinin gerilim giderme ısıl işlem grafiği (Bur at, S.B., Kaynak Teknolojisi IV. Ulusal Kongresi).

A: Kaynak sırasında soğuk çatlak riskini en aza indirmek için en az 200 °C derecelik ön-tav gerekmektedir. Kök paso kaynaklarını TIG kaynak yöntemi ile kaynatılırken ön-tav sıcaklığını kaynak banyosunu kontrol edebilmek için bir miktar düşürülebileceğini belirtmiştir. TIG yönteminin ışı girdisinin yüksek olması ve hidrojen ve oksijen absorpsiyonunun en az olduğu bilinen bir yöntem olması dolayısıyla. Belçika'da yapılan testlerde ise yine TIG kaynak yöntemi ile Kaynak yapılan malzeme kalınlığı düşük ve çapı küçük kazan borularının yöntemine bağlı

yüksek ısı girdisinden dolayı 150 °C dereye kadar düşük ön-tav kullanılabilceği belirtilmiştir. Pasolar arası sıcaklığının 300 °C derecenin üstüne çıkmaması özellikle Si ve Nb içeren kaynak metalinde sıcak çatlak riskini en az düzeyde tutabilmek için bir zorunluluk haline gelmiştir. [20] Yapılan çalışmalarda ön-tav sıcaklığının malzeme bazında martensit başlangıç sıcaklığına göre seçilmesinin önemli olduğunu, martensit başlangıç sıcaklığının standartlarda izin verilen kimyasal kompozisyon limitleri içinde 70 °C varyasyon gösterdiği gözlenmiştir (Bur at, S.B., Kaynak Teknolojisi IV. Ulusal Kongresi).

B: Kaynak sonrası hidrojen tavlama gerekmektedir. Özellikle Elektrot, Tozaltı ve Özlü Gazaltı kaynağında hidrojen difüzyonunun maksimum olduğu yöntemlerde sürenin daha uzun tutulup hidrojen çıkışına daha fazla zaman ayrılmalıdır. Kaynak metalinde kalan Hidrojeni tamamen gidermek 'Hidrojen tavlama' ile hatta kaynak sonrası ısıtma işlemi de tamamen giderilmesi mümkün değildir, sadece en aza indirmek için alınmış tedbirdir. 200 -300 °C sıcaklıkta en az 2 saat beklenmelidir. Üst limit sıcaklıkta daha kısa süreli beklenebilir.

C: Hidrojen tavlama sonrası kaynak bölgesinin izolasyon malzemesi ile sarılarak kendi halinde soğumaya bırakılması gerekmektedir.

D: Martensit (Mf) bitiş sıcaklığının ortalama 100 °C derece olmasından dolayı kaynak bölgesinin tamamen Martensite dönüşmüş olması gerekmektedir. Eğer yapı tamamen martensite dönüşümü tamamlanmadı ise yapıda östenitik bölge kalacaktır. Gerilim giderme ısıtma işlemi sırasında kalan östenitik yapı martensite dönüşecek ve imalat sonunda kaynak bölgesinde temperlenmemiş sert ve kırılabilir bir martensitik yapı elde edilecektir. Çeşitli çalışmalarda kaynaklı işlem görmüş malzemelerin 70-80 °C de bir saat boyunca bekletilmesinin kaynak yapısının tamamen martensite dönüşmesi için yeterli olduğu tespit edilmiştir. Teorik olarak yapılması mümkün olsa da imalatı böyle bir kritik malzemeye tahribatsız muayene (NDT) yapmadan 1 saat 70 °C derecede bekleyip 760 °C derecede ısıtma işlemi almak riskli ve maliyetlidir. NDT kontrolleri için oda sıcaklığına soğuyan malzeme için standart prosedürlere uyulduğu takdirde herhangi bir risk oluşmamaktadır. Kaynağın tamamlanması ile ısıtma işlemi arasında kalan süreyi mümkün olduğunca kısa tutmak hidrojen kırılabilirliği riskini minimize etmek için gereklidir.

E&G: Isıtma ve Soğutma hızlarının standartlarda verilen kalınlığa göre değerleri hiçbir şekilde aşılmaması malzemenin tokluk mukavemeti için çok önemlidir. Isıtma ve soğutma hızının düşük olması ısı farklılıklarının minimumda olmasını, temperleme sıcaklık aralığında daha uzun süre kalmasını ve buna bağlı olarak temperleme işleminin daha kararlı olmasını sağlayacaktır (Bur at, S.B., Kaynak Teknolojisi IV. Ulusal Kongresi).

F: Kaynaklı imalat evresinin son ve en can alıcı noktası kaynak sonrası gerilim giderme işleminin sıcaklığı ve süresinden oluşmaktadır. Pek çok çalışma P91 malzemelerin kaynak sonrası gerilim giderme işleminde optimum mekanik özelliklerin 760 °C derecede yapılan işlemlerde elde edildiğini gözlemlemiştir (BUR AT, S.B., Kaynak Teknolojisi IV. Ulusal Kongresi), (R. W. Svindeman ve ark), 2001, Irving, B. Ve ark), [21], [22].

### **1.9 Literatür Taraması**

Hongtao Zhang J.F. ve ark., (2009), yaptığı çalışmada ince alüminyum sac kaynaklarında CMT kısa devre metal transfer kaynağını kullanmışlardır. Kaynak işlemi sırasında sıçramasız kaynağı ve düşük ısı girişini gerçekleştirebildiğini, ince tabakaları kaynak yaparken düşük ısı girişi ile küçük deformasyon olduğunu gözlemlemiştir [23].

Ahmad R ve ark., (2011), yaptığı çalışmada kaynak sonrası ısıl işlemin, Gaz metal ark kaynağı soğuk metal transfer yöntemi ile kaynaklanmış AA6061 ek yerlerinin mekanik ve mikroyapı özellikleri üzerine etkisini araştırmışlardır. GMAW CMT metodu ile kaynaklanmış AA6061 bağlantılarının mekanik özelliklerini ve mikroyapı özelliklerini geliştirebildiği gözlemlenmiştir [24].

Pickin C.G. ve ark., (2011), yaptığı çalışmada soğuk metal transfer (CMT) işleminin karakterizasyonu ve düşük dilüsyon kaplaması için uygulamasını araştırmışlardır. Alüminyum alaşım kaynak için sinerjik soğuk metal transfer (CMT) işleminin işlem özellikleri incelenmiştir. Basit bir arka aydınlatma sistemi kullanılarak ve ark izleme yoluyla damlacık transfer modları belirlenmiştir. Değiştirilen kısa devre modu, düşük parametre aralığı için açıkken, orta ila üst parametre aralığı için, bir sprey ve kısa devre transferi kombinasyonuna dayanan iki bölümlü bir aktarma modu gözlemlendi. CMT işlemi, daha az çatlağa duyarlı bir bileşim sergileyen bir yarı-ikili (Al-Cu)

tabakanın birikmesini sağlayan daha fazla seyreltme kontrolü sergilemiştir. Bu tabakaya, bir ikili doldurma teli kullanarak potansiyel olarak çatlamayı ortadan kaldırabilen geleneksel MIG kaynağı uygulanabilir [25].

Lin J. ve ark., (2013), yaptığı çalışmada alüminyum ve çinko kaplı elik arasındaki CMT lehimli votka bağlantılarının kayma dayanımını araştırmışlardır. CMT eklemlerinin arayüz katmanındaki maksimum prensip gerilme ve deformasyon enerjisi, arayüz arıza tahmini için başarısızlık kriteri olarak kabul edilmiştir. Kaynak metalinde, HAZ'da ve CMT lehimli bağlantıların alüminyum tarafının taban metalindeki eşdeğer plastik gerilme, füzyon hattında meydana gelen başarısızlık tahmini için bir kriter olarak kullanılmıştır. CMT bağlantılarının kayma dayanımı ve iki arıza modu, geliştirilen sayısal model ile doğru bir şekilde tahmin edilebilir [26].

Cao R.ve ark., (2013), yaptığı çalışmada soğuk metal transferi ile yumuşak elik ile alüminyum alaşımlarının birleştirilmesi araştırılmıştır. Soğuk metal transferi (CMT) kaynak-lehimleme işlemi, birbirine benzemeyen metalleri birleştirmek için potansiyel bir yöntem sağlar. Bu araştırmada, CMT kaynak teknolojisi ile çeşitli 1 mm kalınlığında alüminyum alaşımları 1 mm kalınlığında hafif çeliğe (Q235) bağlandığı gözlemlenmiştir [27].

Ola O.T. ve ark., (2014), yaptığı çalışmada Nikel bazlı INCONEL 718 süper alaşımında soğuk metal transfer kaplamasının incelenmesi araştırılmıştır. CMT işleminin, INCONEL 718 süper alaşımının düşük seyreltilmiş kaplaması için uygun olduğunu ve hatasız kaplama üretme kabiliyetine sahip olduğu ve alaşım için bir tamir yöntemi olarak kullanılmak için büyük bir potansiyele sahip olduğu gösterilmiştir [28].

Cao R. ve ark., (2014), yaptığı çalışmada otomotiv uygulamaları için AA6061-T6-galvanizli çelikten soğuk metal transfer spot fiş kaynağı yapılmış çalışmada 1 mm kalınlığında Al AA6061-T6 ila 1 mm kalınlığında galvanizli elik (yani Q235) ile birleştirilmiş soğuk metal transferi (CMT) spot fişi incelenmiştir. Kaynak değişkenleri, alüminyum 4043 tel ve% 100 argon koruyucu gaz ile 25 mm'lik bir üst üste binme bölgesinin ortasındaki bir fiş kaynağı için optimize edilmiştir. Mikroyapılar ve elementel dağılımlar, enerji dağıtıcı X-ışını spektrometresi ile taramalı elektron mikroskobu ile karakterize edilmiş. CMT spot fiş kaynaklı birleşim



yerlerinin mekanik testi yapılmış. Al AA6061T6-galvanizli çeliğin CMT punta kaynak yöntemiyle birleştirilmesinin uygun olduğu tespit edilmiştir [29].

Cao R. ve ark., (2014), yaptığı çalışmada Soğuk metal transfer kaynağı- saf titanyum TA2'nin magnezyum alaşımı AZ31B'ye lehimlemesi araştırılmıştır. Ti / Mg CMT eklemlerinin mikroyapısı tanımlanmış ve optik mikroskopi (OM), taramalı elektron mikroskobu (SEM), enerji dağıtıcı spektroskopisi (EDS) ve X-ışını kırınımı (XRD) ile tanımlanmış. Çeşitli kaynak parametrelerinin mekanik özellikleri karşılaştırılmış ve analiz edilmiştir. Uygun kaynak değişkenlerinde istenen kaynak görünümüne sahip istenen Ti / Mg CMT bağlantıları ve mekanik özellikler sağlanmıştır [30].

Shu F.Y ve ark., (2014), yaptığı çalışmada CMT + P MIX kaynağı ile dar aralıklı derzlerde yumuşatılmış ana metal FEM modellemesi araştırılmıştır. Ark, baz metal ve dolgu metalleri arasındaki etkileşimlere dayanarak dar aralıklı CMT ve CMT + P MIX kaynağı için geçerli olan gerekli bir sonlu elemanlar yöntemi (FEM) modeli oluşturulmuştur. Model, termal döngülerin araştırılmasında ve AA7A52 taban plakalarının yumuşatılmış bölgesinin tanımlanmasında kullanılmıştır. Düşük frekans davranışı, deneysel koşullar altında beklenmeyen düşük soğutma oranlı tarikatlar biçiminde ortaya çıkmıştır. Termal döngüdeki tahminlerin güvenilirliği, termal döngü işleminin kızılötesi görüntüleme test sonuçlarıyla desteklenmiştir [31].

Taban E. ve ark., (2014), yaptığı çalışmada robotik Soğuk Metal Transfer (CMT) kaynağı ile 5083-H111 ve 6082-T651 alüminyum alaşımlarını kaynatılması mekanik ve mikroyapısal özelliklerinin araştırılması yapılmıştır. Darbeli Robotik Soğuk Metal Transferi (CMT) -Metal İnert Gaz (MIG) teknolojisi kullanılarak 6 mm kalınlığındaki plakalar kullanılarak hem benzer hem de farklı alaşım kaynakları olarak üretilmiştir. Görsel ve radyolojik inceleme gibi tahribatsız muayeneler, ileri yıkıcı testlerden önce gerçekleştirilmiştir. Kaynaklı bağlantılardan çıkarılan numunelere çekme, bükme ve yorulma testleri uygulanmıştır. CMT-MIG, yüksek kaynak hızında iyi bir birleşim verimliliği ve iyi gerilme ve yorulma performansı sağlamıştır [32].

Cheolhee Kim K.M. ve ark., (2015), yaptığı çalışmada Soğuk metal transfer işlemi kullanılarak Al 5052 alaşımının çelik sac ile birleştirilmesi çalışılmıştır. Al 5052 alaşımı, düşük ısı girişli soğuk metal transferi (CMT) ark kaynağı kullanılarak sıcak daldırma alüminize çelik saclara birleştirilmiştir. Birbirine benzemeyen metal

birleşimde dört çeşit dolgu teli (Al 4043, 4047, 5356, 5183) incelenmiştir. Alüminize çelik sacların kullanılmasıyla, ıslanabilirlik galvanizli çelikle karşılaştırıldığında nispeten zayıf olmasına rağmen, farklı metaller arasında daha düşük bir birleşim mukavemeti ile sonuçlanan daha düşük bir intermetalik bileşik (IMC) tabaka kalınlığı gözlemlendi [33].

Zhijiang Wang Z. ve ark., (2016), yaptığı çalışmada AZ31 magnezyum alaşımlı tel ile soğuk metal transfer kaynağının ark özellikleri araştırılmış. AZ31 magnezyum alaşımlı tel ile soğuk metal transfer (CMT) kaynağının ark özellikleri incelenmiştir. Kaynak arkı, kaynak havuzu ve erimiş damlacık arasında oluşturuldu ve asimetric bir çan şekli olarak sergilendi. Erimiş damlacıkların buharlaşması, kendisini tel ekseninden uzatarak geri tepme kuvveti verdi. Orta ve üst güç aralığında, kovulan damlacık transfer işlemi gözlemlendi. Erimiş damlacıklar, tel ekseninden sapmış ve damlacık buharlaşmasının geri tepme kuvveti etkisiyle, kaynak havuzunun dışına düşerek ve ark stabilitesinden ödün vermeyen tel ucundan ayrılmıştır [34].

Kadoi K. ve ark., (2016), yaptığı çalışmada Cr-Mo-V döküm çeliklerinin uzun süreli kullanılmış buhar türbini kutuları için düşük erime noktalı dolgu teli kullanarak CMT lehimleme ile çatlak onarımı kaynağı araştırılmıştır. Düşük erime noktalı dolgu teli kullanılarak yapılan CMT lehimlemesinin, işlemin termal döngüsü sırasındaki ısı girişini ve tepe sıcaklığını GTA yüzey erime sırasındakilere kıyasla azalttığı bulunmuştur. Böylece, işlem, ısıdan etkilenen bölgede (HAZ) intermetalik ve martensit gibi sertleştirilmiş fazların oluşumunun inhibe edilmesine yardımcı olmuştur. BAg-8 gibi düşük erime noktalı dolgu teli kullanılarak CMT lehimleme, buhar türbini kutularının tamiri için umut verici bir aday yöntemdir. Bununla birlikte, pratik kullanım için uygun bir dolgu teli tasarlamak için türbin çalışması sırasında alaşım ayırımının yapılması gerekir [35].

Zhou C. ve ark., (2017), yaptığı çalışmada Soğuk Metal Transferi sırasında metal damlacıklarının analizi araştırılmıştır. Bu rapor, kaynakçı parametreleri ile damlacık özellikleri arasındaki korelasyonu, tek bir damlacık aktarıldığı bir tek aşamalı CMT karakteristiğinde inceler. Deney tasarımı ve istatistiksel analiz sayesinde, biriken metal damlasının ağırlığının CMT'nin çıkış enerjisi ile doğrusal bir ilişkiye sahip olduğu ve ağırlığın kesin olarak CMT parametrelerinin ayarlanmasıyla kontrol edilebildiği ortaya çıkmıştır [36].

BingLi Y. ve ark., (2017), yaptığı çalışmada 1 mm kalınlığında AA6061-T6 malzemesine soğuk metal transfer nokta kaynağı çalışılmıştır. Çelikten alüminyuma geçişi ele almak için, sonuç olarak alüminyum alaşımları için etkili bir tek taraflı birleştirme işleminin geliştirilmesini sağlayan bir gaz metal ark kaynağı çeşidi, yani, genel ısı girişini azaltma yaklaşımında benzersiz olan soğuk metal transferi CMT, seçilmiştir. Sonuçlar CMT ark modunun en az kaynak hatasıyla anlaşılabilir şekilde en güçlü kaynakları elde edebileceğini göstermiştir. Bu kaynaklar ayrıca, 1 mm + 1 mm AA6061-T6 tabaka kombinasyonunun tek taraflı nokta kaynağı için dört kaynak modu arasında en yüksek mukavemet ve süneklığe neden olan en az kısmi yırtılma kusurunu sergiledi [37].

Liu Y.B. ve ark., (2017), yaptığı çalışmada CMT yöntemiyle kaynaklı Al / Ti ekleminin mikroyapısal karakterizasyonu ve mekanik özellikleri- Yardımlı hibrit manyetik alan araştırılmıştır. Saf titanyum TA2 ve alüminyum alaşımı 6061-T6'yı birleştirmek için yeni bir dış aksel manyetik alan (EMF) hibrid CMT kaynak lehimleme işlemi kabul edildi. Manyetik yoğunluğun ve frekansın, sonuçta ortaya çıkan birleşimlerin mikroyapı ve mekanik özellikler üzerindeki etkileri ortaya çıkarılmıştır. Deneysel sonuçlar, manyetik alanın, TA2 plakası üzerindeki erimiş dolgu metalinin akışkanlığını ve yüzey yayılabilirliğini etkileyebileceğini ve böylece güvenilir Al / Ti birleşimi oluşturduğunu göstermiştir [38].

Chen M. ve ark., (2017), yaptığı çalışmada hafif çeliğin CMT kaynağı üzerine güncel dalga şekli etkileri araştırılmıştır. CMT periyodlarının ve kısa devre zamanlarının dağılımları, farklı çeliğin CMT kaynağı için proses stabilitesini değerlendirmek üzere, farklı kaynak koşulları altında aynı anda algılanan elektriksel dalga formları ve metal transfer görüntülerinin analiz edilmesiyle oluşturulur. Önceden ayarlanmış tel besleme hızı sabit tutulduğunda bile, birikme oranı, ortalama tel besleme hızı ve damlacık boyutu arttıkça yükselme akımı veya yükselme süresi artar. Takviye akımı veya takviye süresi arttıkça, kaynak genişliği ve penetrasyon belirgin şekilde artar ve donatı çok az değiştiği gözlenmiştir [39].

González J. ve ark., (2017), yaptığı çalışmada GMAW kaynak ve CMT teknolojisi ile ek imalat araştırılmıştır. Geometrik koşulların ve yüzey bitiminin ölçümleri dikkate alınarak bu optimal koşullar sunulmuştur. Önerilen ilave üretim sistemi, bir Fronius TPS 4000 CMT R kaynak makinesinin bir BF30 Vario Optimun CNC freze

makinesine entegre edilmesinden oluşur. Malzeme seçildikten sonra, ilk katmanı yapmak için en uygun koşullar elde edilmiştir. Ayrıca tanımlanan duvarın geometrik şekli de tahmin edilmiştir. Prizmatik ve silindirik parçalar gibi daha önceki basit geometriler üretilmiştir [40].

Prakash S. ve ark., (2018), yaptığı çalışmada ısı işleminin CMT kaynaklı Alüminyum alaşımlı 2024'ün mikroyapı ve mekanik özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmada, 2 mm kalınlığında alüminyum levha 4043 dolgu malzemesi kullanılarak kaynaklanmıştır. Kaynak yapıldıktan sonra, aynı 530 ° C'de 45 dakika süreyle çözelti haline getirilir ve daha sonra 175 ° C'de 8 saat süreyle yaşlandırılır. Yaşlanmış AA2024 alaşımının, çözülmüş alaşımdan daha fazla 41 MPa gerilme mukavemetine sahip olduğu gözlenmiştir. HAZ'ın mikrosertlik dağılımı, yaşlılarda 250 HV artış eğilimi ve çözülmüş durumda 145 HV düşüş eğilimi göstermektedir. Mekanik özelliklerin artırılması, ısı işlem sırasında çökelti oluşumuna bağlanmıştır [41].

Garg A. ve ark., (2018), yaptığı çalışmada Soğuk Metal Transferi birleştirme işlemi sırasında nüfuz etme derinliğini ve boncuk genişliğini arttırmak için model referans uyarlamalı denetleyici araştırıldı. Alüminyum 6061 alaşımlı levhaların Soğuk Metal Transfer (CMT) işlemiyle birleştirilmesi için uyarlanmış bir kontrol şeması kullanılmıştır. MRAC'ın, tasarım karmaşıklıklarını en aza indirmenin yanı sıra hızlı bir şekilde iyi kaynak bağlantıları sağlayarak ve artan kalite sağlayarak kaynak performansını iyileştirdiğini vurgulamıştır [42].

Shen J. ve ark., (2018), yaptığı çalışmada ultrasonik dövme işleminin Al alaşımlarının CMT kaynaklarının yüzey kalitesi üzerine etkileri araştırılmıştır. Ultrasonik taşlama işleminden sonra, kaynak yüzeyine yakın kaynak gözeneklerinin gözenek sayısı ve gözenek alanı yüzdesi azalır. Taneler, ciddi deformasyon katmanı ve geçiş katmanı içinde önemli ölçüde rafine edilir. Ultrasonik dövme işleminden sonra, gözenek fraksiyonunun azalması nedeniyle kaynak boncuk yüzeyinin elastik modülü hafifçe artar. Ciddi deformasyon katmanının ve geçiş katmanının sertlik değerleri artar, bu da kaynaklı bağlantıların aşınma direncinin artmasına yol açmıştır [43].

Yang S. ve ark., (2018), yaptığı çalışmada Robot soğuk metal transfer Al5.5Zn2.5Mg2.2Cu alüminyum alaşımlı birleşimlerin mikroyapı ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Al5.5Zn2.5Mg2.2Cu alüminyum alaşımları robot soğuk

metal transfer metodu kullanılarak kaynaklanmıştır. Kaynak bölgesinde bir Mg<sub>2</sub>Si fazının bulunduğunu, Al matrisinde çözünen kaynağın yakınındaki katı çözelti bölgesinde büyük miktarda MgZn<sub>2</sub>'nin bulunduğunu ve dışlayıcı yumuşatıcı bölgede çöken MgZn<sub>2</sub>'nin bulunduğunu göstermektedir. Mekanik özellikler, ana metal, ısıdan etkilenen bölge ve kaynaklı bölgeden çıkarılan lokal örnekler kullanılarak ölçüldü. Baz metal, kaynaklanmış bölgenin aksine, en yüksek çekme dayanımına ve akma dayanımına sahiptir. Isıdan etkilenen bölgenin gerilme mukavemeti, ana metalinkinin%92'siydi ve ısıdan etkilenen bölgedeki tane sınırı çökeltilerinin sertleşmesine bağlı olarak uzaması%16,7 artmıştır [44].

Lei Y. ve ark., (2018), yaptığı çalışmada Soğuk metal transfer kaynağı kullanılarak lokasyona bağlı termal tarihçesi, mikroyapı ve ark özellikleri araştırılmıştır. Önceden oluşturulmuş katmanlardan gelen ön ısıtma etkisinin artık gerilmeleri azaltmak için etkili bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir; soğutma hızı ilk önce hızlı bir şekilde azalmış ve daha sonra 15-25 katlarında sabit tutulmuştur. AM kısmının a-Fe fazının zirveleri, baz metal ile karşılaştırıldığında çözünen atomların birleşmesinin bir sonucu olarak nispeten daha küçük bir Bragg'in açısına doğru hafifçe kaymıştır. Farklı katmanlardaki çatlakların olmadığı, yüksek bir yoğunlaşma seviyesinin göstergesi olan küçük miktarlarda gözenekler mevcuttu. Biriken çökeltilmiş mikroyapı, α-Fe tane sınırlarında çökelen (Fe, Cr) 23C6 faz ile birlikte martensit ve ferritten oluşmuştur. Sertlik ve UTS, 5-15'inci katlarda hafifçe değişti ve daha sonra, 20'nci kattan süneklik pahasına hızla arttı; kırılma işlemi sünekten (1. ila 10. katlar) karışık moda (15. ila 20. katlar) ve nihayet kırılma kırılmaya (25. kat) dönüşmüştür [45].

Selvi S. ve ark., (2018), yaptığı çalışmada Soğuk Metal Transferi (CMT) teknolojisinin genel bakışı çalışılmıştır. Soğuk metal transfer teknolojisi, farklı metallerin ve daha kalın malzemelerin kaynağında, kontrollü metal biriktirme ve düşük ısı girişi ile geliştirilmiş kaynak boncuk estetiği üreterek devrim yarattı. Bu çalışmada, proses, kaynak kombinasyonları, lazer-CMT hibrit kaynak ve CMT kaynak uygulamaları kritik bir şekilde incelenmiştir. Çeşitli temel metal kombinasyonları için uzunluk olarak mikroyapı ve diğer kaynak karakteristikleri tartışılmıştır [46].

Shen J. ve ark., (2018), yaptığı çalışmada TIG akımının, 6061-T6 alüminyum alaşımlı contalarının TIG-CMT hibrit kaynağında mikroyapısal ve mekanik özelliklere etkisi araştırılmıştır. 4 mm kalınlığında Al6061 plakaları başarıyla kaynaklandı. TIG akımı arttıkça, kaynak işleminin ısı girişi arttı. Al6061'deki sertleşme fazı, kaynak işlemi tarafından sağlanan ısı girişine duyarlıdır. Mikroyapısal dönüşüm nedeniyle, ısıdan etkilenen bölgede (HAZ) mekanik özelliklerde (yumuşama fenomeni) bir düşüş görünmez şekilde ortaya çıktı. TIG akımının artmasıyla, eklemlerin mikroyapıları sertleşti ve kısmen erimiş bölgenin (PMZ) ve eklemlerin HAZ'ın genişliği genişledi. Mg<sub>2</sub>Si'nin bir çökeltme kuvvetlendirici fazı HAZ'da ortaya çıktı. Yumuşatılmış bölgede elde edilen sertlik baz metalin (BM) yaklaşık olarak% 50 idi. Eklemler kırılmadan önce iyi deformasyon kabiliyeti göstermiştir. Baz malzemeye kıyasla, eklemlerin mukavemeti ve uzaması sırasıyla yaklaşık% 40 ve% 50 azalmıştır [47].

Arivarasu M. ve ark., (2018), yaptığı çalışmada AA7075 Kaynağının CMT işlemi kullanarak karakterizasyonu araştırılmıştır. Çalışma da ER5356 ile dolgu teli olarak diğer kaynak tekniklerine kıyasla düşük ısı girişi kullanan 6 mm kalınlığında AA7075 çift alın ek yerinin kaynak karakteristiğinin soğuk metal transferi (CMT) işlemi ile incelenmesi amaçlanmıştır. Kaynaklanan birleşim, optik mikroskop ve enerji dağıtıcı spektroskopisi ile karakterize edildi. Mekanik özellikler çekme testi ve darbe testi ile ölçülmüştür. Optimize edilmiş kaynak parametreleri altında, eklem nihai gerilme mukavemeti 181 MPa, alüminyum alaşımlı ana metalin%40'ına ulaşırken, darbe enerjisinin taban alaşımından%52,4 daha az olduğu 5.95 N-m olduğu bulundu. Kaynağın düşük verimliliği, kaynak yaparken plakanın alt tarafının yönünü tersine çevirerek ve inert gaz basıncını arttırarak daha da azaltılabilen kaynak kusurları nedeniyle görülebilir [48].

Singh J. ve ark., (2019), yaptığı çalışmada MIG-CMT'nin alüminyumdan çeliğe kaynakla lehimlenmesi çalışılmıştır. MIG-CMT lehimleme tekniği, arayüzde intermetalik bileşiklerin oluşumunu ve büyümesini geciktirmede yararlı olan düşük ısı girdisini kullanır. CMT'de, kısa devre aşamasında, dolgu telinin geri çekilmesi, EMF eklenmeden, erimiş haldeki erimiş haldeki metalin transferini sağlar. Bu değerlendirme, Al'a çeliğe katılırken ortaya çıkan zorlukları vurgulamaktadır ve esas olarak intermetalik bileşiklerin oluşumunu baskılayarak eklem özelliklerini iyileştirme yöntemlerini tartışmaktadır. Proses parametrelerinin etkisi, dolgu telinin

kimyasal bileşimi vb. Ve lehimlenmiş eklem metalurjik ve mekanik özellikleri üzerindeki etkileri de incelenmiştir. Ayrıca, Silicon ve Zinc'in mucizevi rolü sistematik olarak incelenmiştir [49].

Chen S. ve ark., (2019), yaptığı çalışmada Hibrit lazer-CMT ile çeliğin alüminyuma alın kaynağı çalışılmıştır. 5052 alüminyum alaşımı ve Q235 düşük karbon çeliğinde homojen olmayan kaynak homojenliği ve Q235 düşük karbonlu çelikten kaynaklanacak bir kaynaktaki lehimleme, lehimleme bağlantısında ER5356 kaynak teli ile bir lazer penetrasyon kaynak lehimini önerilmiştir. Tel besleme hızı, kiriş ofseti ve kaynak hızının kaynak şekli, arayüzey mikroyapıları ve birleşimlerin çekme dayanımı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Arayüzey intermetalik bileşikler (IMC'ler) katmanı, Fe<sub>2</sub>Al<sub>5</sub> ve Fe<sub>4</sub>Al<sub>13</sub>'ten oluşmuştur ve kalınlıklar 3-5 µm'ye kontrol edilmiştir. En yüksek gerilme mukavemeti 80 MPa'dan daha yüksek bir seviyeye ulaştı ve eklem, IMC'nin tabakası boyunca arayüz boyunca kırılmıştır [50].

Wang L. ve ark., (2019), yaptığı çalışmada darbeli frekansın ark davranışı ve ultra yüksek frekanslı darbeli AC CMT kaynağı ile 2198 Al-Li alaşımının damlacık transferi üzerine etkisi araştırılmıştır. UHF-ACCMT arkının iyi bir stabilite sergilediğini göstermektedir. Ortalama UHF-ACCMT yay uzunluğu, darbe akımı frekansı 20'den 60kHz'e yükselirken azaldı. Akım frekansındaki bir artış elektriksel iletkenliği azaltarak, arkın tel ucundan metal metale doğru uzatma mesafesinin azalmasına yol açmıştır. Ortalama yay çapının akım frekansına etkisi, ortalama yay uzunluğuyla ters orantılıdır. Ayrıca, damlacık çapı, 20 ila 50kHz arasındaki darbe akımı frekanslarında bir artışla azalırken, damlacık uzunluğu azalmıştır. Sıkıştırma etkisi ile ilgili olarak, darbe akımı frekansındaki bir artış, birim zaman başına damlacık boyunca akan artan bir akım yoğunluğuna atfedilebilecek sıkıştırma kuvvetini arttırdı. 60 ila 80 kHz arasında yayın çapı ve damlacıkların uzunluğu optimum aralıkta tutulmuştur [51].

Panigrahi S.K. ve ark., (2019), yaptığı çalışmada AA 2219 alüminyum alaşımının östenitik paslanmaz çelik AISI 321'e soğuk metal transfer kaynağı araştırılmıştır. Al-Si dolgu maddesi (AA 4047) kullanılarak yapılan CMT kaynağından önce, paslanmaz çelik taban metali, alüminyum alaşımıyla 0.3 mm ila 1.2 mm arasında değişen farklı kalınlıklarda sürtünme ile yüzeylendi. Alüminyum kaplama kalınlığının eklemlerin kayma dayanımı ve kırılma modu üzerindeki etkisi

araştırılmıştır. 0.6 mm kalınlığında alüminyum kaplama kullanılarak üretilen eklemeler, kaplama / paslanmaz çelik arayüzeyinde veya yakınında meydana gelen bir başarısızlıkla en yüksek mukavemeti (260 N / mm) göstermiştir. Aslen intermetalik olmayan bu ara yüzün, CMT kaynağından sonra ince bir Fe-Al intermetalik katman geliştirdiği bulundu. Alüminyumun paslanmaz çelik üzerine sürtünme yüzeyinin ardından CMT kaynağının tur konfigürasyonunda alüminyum ile paslanmaz çeliğin birleştirilmesinde ümit verici bir yaklaşım olduğu görülmektedir [52].

Arora K.S. ve ark., (2019), yaptığı çalışmada CMT lehimli DP780 bağlantılarının dayanımının belirlenmesinde boncuk şeklinin ve dağınık intermetalik fazların rolü araştırılmıştır. Boncuk şekli ve intermetalik fazların biriken boncuktaki dağılımının rolünü ve lehimlenmiş votka bağlantılarının yük taşıma kapasitelerine etkilerini değerlendirmektedir. Sonuçlar, Fe-Al-Cu intermetalik fazların, baz metalin erimesi ve çözünmesi nedeniyle biriken boncukta oluştuğunu ve dağıldığını gösterdi. Boncuk şekli ve boncuk içindeki dağınık intermetalik fazların miktarı eklem kuvvetini önemli ölçüde etkiledi [53].

Bakshi R. ve ark., (2019), yaptığı çalışmada Soğuk metal transferi ve plazma transferli ark kaynağı işlemleri kullanılarak H13 çeliğinde Stellite 21 sert yüzeyinin mikroyapı, seyreltme ve aşınma davranışının karşılaştırılması araştırılmıştır. Soğuk metal transferi (CMT) işlemi ve geleneksel plazma transferli ark kaynağı (PTAW) işlemi ile üretilen H13 çeliği üzerinde Stellite 21 sert yüzey kaplamasının karşılaştırmalı bir çalışması yapıldı. CMT işleminin düşük ısı girişi, Stellite 21 kaplamada PTAW işleminden daha ince mikroyapı ve daha az seyreltme ile sonuçlanmıştır [54].



## 2. MATERYAL ve METOT

### 2.1 Deneysel Çalışmanın Amacı

Termik Santral, Dogal Gaz Çevrim Santrali ve Nükleer Santral gibi endüstriyel tesislerde yüksek sıcaklığa, basınca ve korozif ortama dayanıklı malzemelerin kaynaklı birleştirilmesi yapılmaktadır. X10CrMoNbV9-1 (P91) malzemesi yüksek alaşımlı, 650 °C'ye kadar mekanik özelliklerini koruyabilen ve yüksek basınçlara dayanabilen endüstriyel tesislerde genelde basınçlı kab ve borularda kullanılan sürünme dayanımlı ferritik çeliktir. Bu malzemenin kaynaklı birleştirilmesinde malzemeye min. 200 °C ön ısıtma, pasolar arası sıcaklık max. 350 °C ve 720-770 °C arasında gerilim giderme uygulanmaktadır [1]. Endüstriyel tesislerin imalatı ve montajı esnasında gerilim gidermenin süresi uzun olduğu için oldukça zaman kaybı olmaktadır.

X5CrNi18-10 (S304) malzemesi ise; 925 °C de oksitlenme direncini koruyabilen ve korozif ortamlara oldukça direnç gösterebilen östenitik paslanmaz çelik grubundadır. Kaynak esnasında pasolar arası sıcaklık max. 200 °C olup ön ısıtma ve gerilim giderme ısıl işlemine ihtiyaç duyulmamaktadır. Bu malzemenin kaynağında 800-500 °C arasında oldukça gevrek bir yapıya sahip olan sigma fazı oluşmaktadır.

Bu özellikleri açıklanan iki malzemenin birbirleriyle kaynaklı birleştirme açısından oldukça uzak olduğu görülmektedir. X10CrMoNbV9-1(P91) Malzemesine kaynak sonrası gerilim giderme ısıl işlemi yapılmak zorunda iken X5CrNi18-10 (S304) ile X10CrMoNbV9-1(P91) malzemesi kaynak edilip gerilim giderme ısıl işlemi yapıldığında X5CrNi18-10 (S304) paslanmaz malzemesinde sigma fazı oluşacaktır. Bu nedenle gerilim giderme ısıl işlemi uygulanamayacaktır. Bu malzemelerin kaynaklı birleştirmesi için ısı girdisi çok düşük bir kaynak yöntemi olan CMT yöntemi ile gaz altı kaynağı olan MIG yöntemi seçilerek kaynaklı birleştirmenin mikroyapı ve mekanik özellikleri karşılaştırılmıştır.

Yüksek ısı ve sıcaklığa dayanıklı, kaynak esnasında yüksek sertleşme kabiliyetine sahip olan X10CrMoNbV9-1(P91) malzemeyi ve yüksek ısı ve korozif ortama dayanıklı X5CrNi18-10(304) malzemeyi birbiri ile ısı girdisi düşük bir kaynak prosesi olan Soğuk Metal Transfer Kaynağı (CMT) yöntemi ile kaynak yapabilmek, MIG kaynak yöntemi ile kaynak yapıp MIG/CMT karşılaştırmasını yapmak ve

gerilim giderme ısıtma işlemi ihtiyacını azaltmak ve/veya ortadan kaldırmak hedeflenmiştir.

Deneysel çalışmada, X5CrNi18-10 (S304) - X10CrMoVNb9-1 (P91) malzeme çifti, X8CrNi25-21(310) kaynak dolgu metali kullanılarak 4 farklı malzeme çifti olacak şekilde kaynak edilmiştir. 1. Malzeme çifti, ön ısıtma ve gerilim giderme ısıtma işlemleri uygulanarak MIG yöntemi ile, 2. Malzeme çifti, ön ısıtma ve gerilim giderme ısıtma işlemleri uygulanmaksızın CMT yöntemi ile, 3. Malzeme çifti, ön ısıtma ve gerilim giderme ısıtma işlemleri uygulanmaksızın MIG yöntemi ile ve 4. Malzeme çifti, ön ısıtma ve gerilim giderme ısıtma işlemleri uygulanarak CMT yöntemi ile kaynak edilmiştir. Çizelge 2.12' de özetletmiştir.

## **2.2 Deneysel Çalışmada Kullanılan Ekipmanlar**

Deneysel çalışmada kullanılan ekipmanlar;

CMT kaynak makinası (fronius),

MIG/MAG kaynak makinası (Nuriş),

Ön ısıtma için kullanılan asetilen pürmüzü,

Gerilim giderme ısıtma işlemi cihazı (weldotherm)

Sıcaklık ölçer,

Kaynak dolgu malzemesi (S310),

Kaynak koruyucu gazı (M11),

Mekanik testlerden çekme testi, galdabini marka cihaz ve

Çentik darbe testi, Zwick marka cihaz ile Gedik Üniversitesi ve Kiwameyer test

kuruluşuna ait laboratuvarlarda,

(Erciyes Üniversitesi Taum Test Merkezinde, Parça hazırlama; Minitom kesme,

kalıblama ve parlatma cihazı ile,

Mikrosertlik, Emco Test Duroscan cihazı ile

(SEM) Scanning Electron Microscope, LEO 440 ile

ve (EDS) Energy Dispersive Spectrometry: 600i X-Ray cihazı kullanarak

yapılmıştır.

## 2.3 MIG ve CMT Kaynakları Öncesi Hazırlıklar

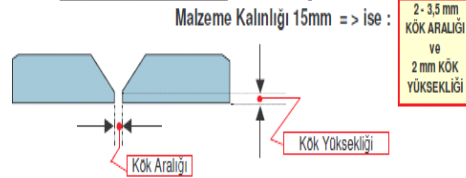
### 2.3.1 Kaynak ağız hazırlığı

Ark kaynağı bir ergitme ve devamında katılaştırma sürecidir, bir başka anlamıyla da bir döküm işlemidir. Dolayısı ile dökümün yapılacağı bir boşluk (kalıp) gereksinimi vardır. Buna “Kaynak Ağızı” denir. Kaynak ağızı, kaynak edilecek parçanın et kalınlığı, cinsi, kaynak yöntemi ve kaynak pozisyonuna göre değişmektedir. Genellikle konstrüksiyonların imalat projelerinde veya eklerinde uygulanacak kaynak ağızı Şekil ve ölçüleri verilmektedir. Çok geniş bir literatürü içeren bu kavramın basit ve genel anlamı ile örneklenmesi gerekirse aşağıdaki gibi bir tablo verilebilir.

Çizelge 2.1: Kaynak ağızı seçim tablosu [55].

### KAYNAK AĞZI SEÇİM TABLOSU

MALZEME KALINLIĞI (mm)	ÖRTÜLÜ ELEKTROD ARK KAYNAĞI YÖNTEMİNDE						MIG - MAG KAYNAK YÖNTEMİNDE	
	TEK TARAFTAN KAYNAK			ÇİFT TARAFTAN KAYNAK			60°	60°
	ALTLIK KULLANILMAYAN BİRLEŞTİRME	ALIN BİRLEŞTİRME	"V" BİRLEŞTİRME	ALIN BİRLEŞTİRME	"X" BİRLEŞTİRME	"T" BİRLEŞTİRME		
0,5		0 mm KÖK ARALIĞI						
1	0 mm KÖK ARALIĞI	0 mm KÖK ARALIĞI					0 mm KÖK ARALIĞI	
2	0 mm KÖK ARALIĞI	1,5 mm KÖK ARALIĞI						
3								
4							2-3 mm KÖK ARALIĞI	
5								
6			2-3 mm KÖK ARALIĞI ve 2 mm KÖK YÜKSEKLİĞİ	2-4 mm KÖK ARALIĞI				
7								
8								
9								
10							1-3 mm KÖK ARALIĞI	



Bu uygulamada en önemli konu; mekanik yöntemlerle açılan (flex taşı, karbon, oluk açma elektrotları, torna, freze, planya vb.) bir kaynak ağızı bölgesinde keskin uç, köşe ve kenar oluşturacak noktalar bırakılmaması ve kesme sonucu oluşacak çapaklı

bölümlerin mutlaka kaynak öncesi alınması ve pah yapılmasıdır. Aksi takdirde, bu keskin ve sivri bölümler yüksek ark sıcaklığında ergime yerine yanmaya uğrayacak ve burada oluşan kaynak metali içinde yanma sonucu oluşan oksit kalıntıları kaynaktan beklenen mukavemeti alamamamıza neden olacaktır [55] .

### 2.3.2 Kaynak ağız şeklinin seçilmesinde dikkate alınması gereken hususlar

1. Kaynak pozisyonu ve arka tarafa erişilip erişilememesi,
2. Kaynak edilecek metalin kalınlığı, işin kaç pasoda bitirilmesinin arzu edildiği ve birleştirmenin çeşidi,
3. Eldeki elektrotun nüfuziyet derecesi,
4. Kaynak işlemine paralel olarak oluşan şekil değiştirmeleri önleme imkânının olup olmaması,
5. Ana metalin tabiatı,
6. Kaynak ağızı hazırlanması ve yığılacak kaynak metali miktarı ile ilgili ekonomidir [56].

### 2.3.3 V Kaynak ağızı hazırlığı

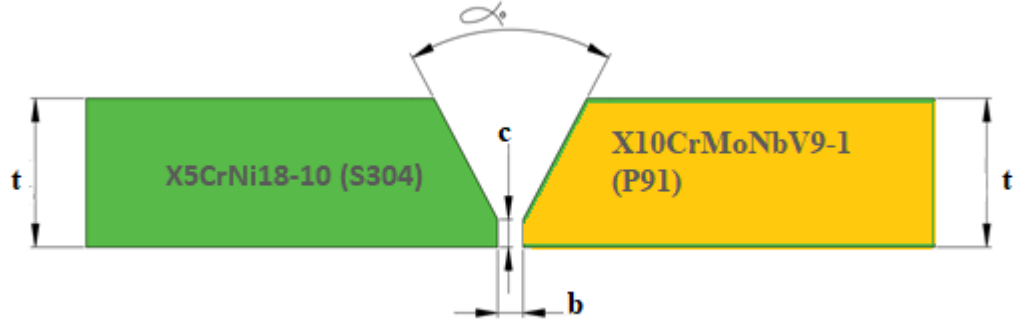
V Kaynak ağızı, tek taraflı kaynakla uç uca, tamamen nüfuz etmiş bir birleştirme elde etmek içindir. Küt alın kaynağının kullanma sınırlarının üstünde; fakat 20 mm'nin altında kalınlıklarda kullanılır. Gerçekten daha büyük kalınlıklarda eğilme önemli olduğu gibi terk edilen metal hacmi fazla olur ve dolayısıyla X ağızlı hazırlıklara başvurulur.

*Bir V Kaynak ağızını belirten ölçüler şunlardır;*

“**ü**” ağız açısıdır. Bu açı tatbik edilen kaynak usulü, pozisyonu ve tersten kaynak imkanının bulunup bulunmamasına bağlıdır.

“**c**” kök yüksekliğidir. Bu da “**ü**” ve kaynak pozisyonuna bağlıdır.

“**b**” kök aralığıdır. Bu dahi “**ü**”, usul ve pozisyona bağlıdır.



Şekil 2.1: V Kaynak ağız detayları.

Çizelge 2.2 V Kaynak ağız seçimi değerleri [56]

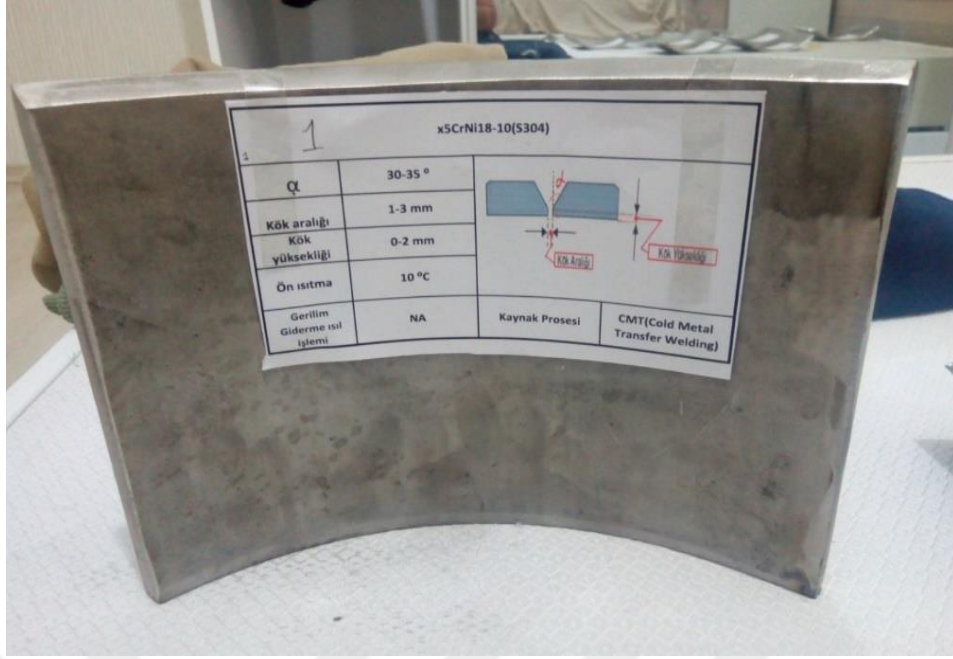
Kullanım Şekli	$\alpha$	c	b
Bütün Pozisyonlar	60	0 – 3	1 – 2
Tavan Kaynağı	70	1.5	1.5
Dikey yüzeyde yatay	55	1.5 – 2.5	1.5 – 2.5
Her pozisyonda (borular)	75	1.5 – 2.5	0.5 – 1.5

$\alpha$  küçüldükçe b arttırılmalı ve c azaltılmalıdır. Ortalama olarak yukarıdaki değerler alınabilir.

### 2.3.4 P91 ve S304 Malzemelerin kaynak ağız hazırlığı

#### a) X5CrNi18-10 (S304) Malzemesinin kaynak ağız hazırlığı

10 mm kalınlığındaki X5CrNi18-10 (S304) paslanmaz çeliklerin kaynağa hazırlığı; kaynak dizaynını, kaynak ağzının ve bölgesinin hazırlığını ve temizliği içerir. Ağız hazırlamada plazma kesme yöntemi kullanılmıştır. Fakat kesme yüzeylerinde oluşan oksitler ve ısıdan etkilenen bölgeler 1-2 mm taşlanarak temizlenmiştir. Kaynak edilecek yüzeylerde kaynak hatalarının oluşmasına neden olan kir, yağ, boya v.b. bırakılmamıştır. Bu tür kirlilikler, aseton ve tiner kullanılarak temizlenmiştir. Kaynak edilecek bölgelerde ve kullanılan kaynak malzemelerinde nem azaltılmıştır. Aksi halde kaynak dikişinde gözenek oluşumu kaçınılmaz olacaktır. X5CrNi18-10 (S304) çelikler çalışma ortamında hiçbir şekilde karbonlu çeliklerle temas ettirilmemiştir. Temizleme fırçaları özel paslanmaz çelikten yapılmış, kullanılan taşlar bu iş için uygun seçilip başka malzemelerde kullanılmamıştır.



Şekil 2.2: 1 No'lu S304 malzemesine 30 -35° V Kaynak ağızı.

Çizelge 2.3 1 No'lu S304 malzemesinin kaynak ağız ölçüleri, kaynak prosesi ve uygulanacak ısıl işlemler.

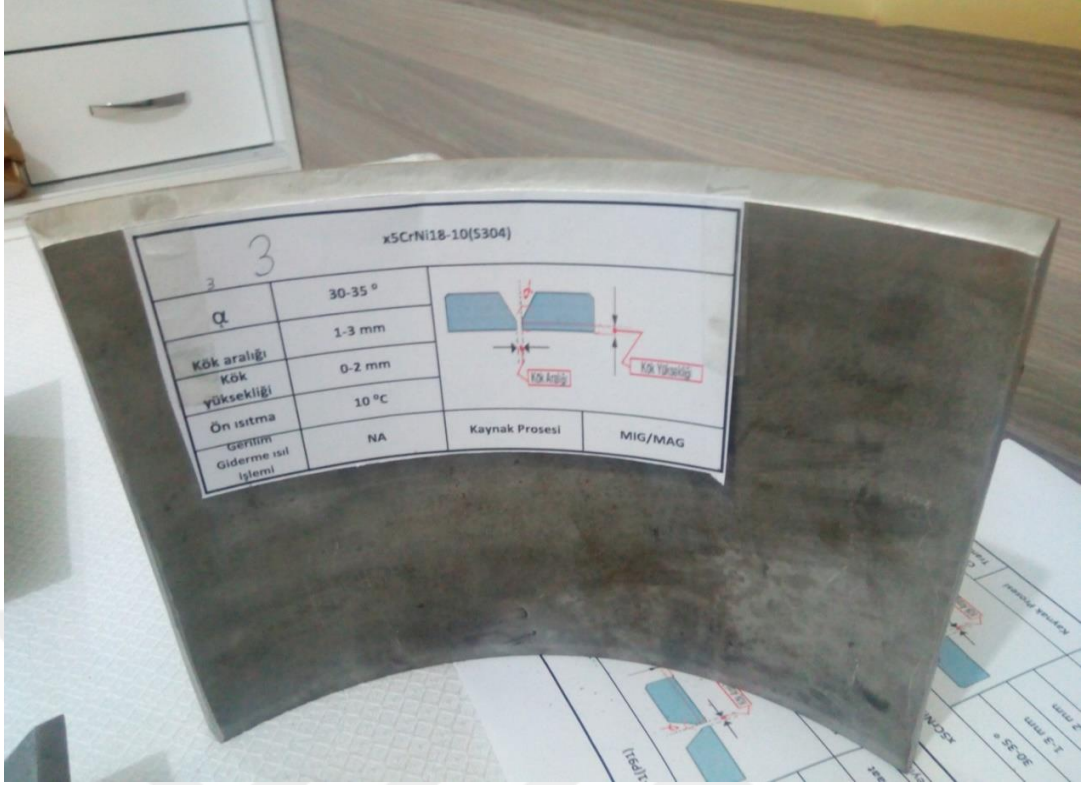
1 No'lu X5CrNi18-10 (S304) parça			
$\alpha$	30-35 °		
Kök aralığı	1-3 mm		
Kök yüksekliği	0-2 mm		
Ön ısıtma	10 ° C		
Gerilim Giderme ısıl işlemi	730 ° C/1h	Kaynak Prosesi	MIG
# ısıl işlem sadece kaynak metaline uygulanacaktır.			



Şekil 2.3: 2 No'lu S304 malzemesine 30 -35° V Kaynak ağızı.

Çizelge 2.4 2 No'lu S304 malzemesinin kaynak ağız ölçüleri, kaynak prosesi ve uygulanacak ısıl işlemler.

2 No'lu X5CrNi18-10 (S304) parça			
$\alpha$	30-35°		
Kök aralığı	1-3 mm		
Kök Yüksekliği	0-2 mm		
Ön ısıtma	10° C		
Gerilim Giderme ısıl işlemi	NA	Kaynak Prosesi	CMT (Cold Metal Transfer Welding)



Şekil 2.4: 3 No'lu S304 malzemesine 30 -35° V Kaynak ağzı.

Çizelge 2.5 3 No'lu S304 malzemesinin kaynak ağız ölçüleri, kaynak prosesi ve uygulanacak ısıl işlemler.

3 No'lu X5CrNi18-10 (S304) parça			
$\alpha$	30-35 °		
Kök aralığı	1-3 mm		
Kök Yüksekliği	0-2 mm		
Ön ısıtma	10 ° C		
Gerilim Giderme ısıl işlemi	NA	Kaynak Prosesi	MIG





Şekil 2.5: 4 No'lu S304 malzemesine 30 -35° V Kaynak ağızı.

Çizelge 2.6 4 No'lu S304 malzemesinin kaynak ağız ölçüleri, kaynak prosesi ve uygulanacak ısıt işlemler.

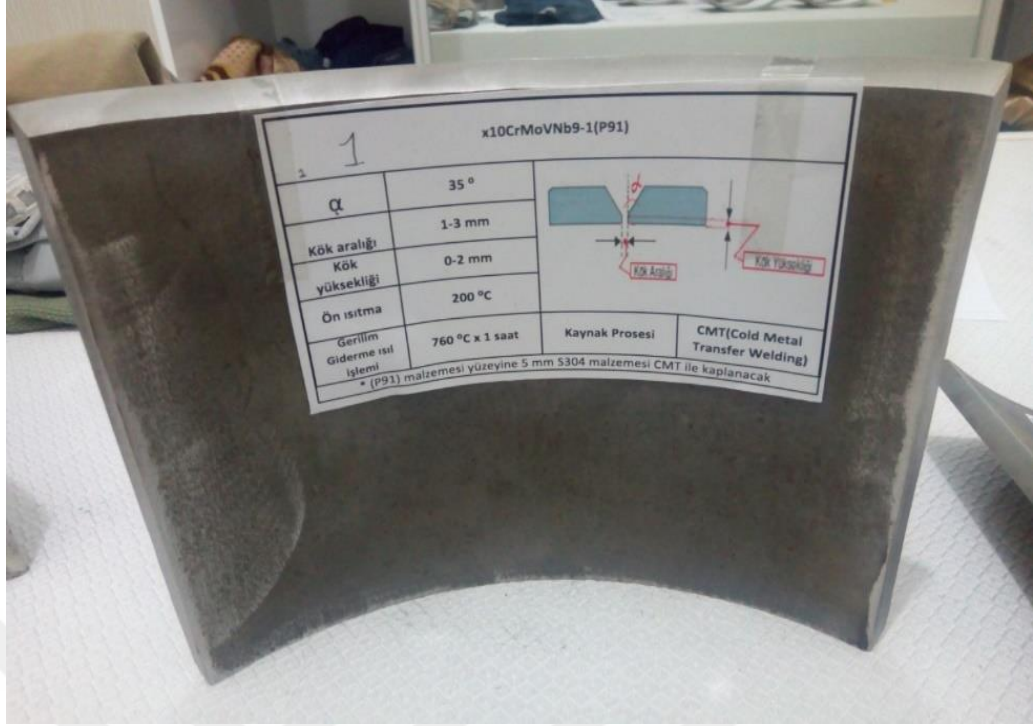
4 No'lu X5CrNi18-10 (S304) parça			
$\alpha$	30-35 °		Kaynak Prosesi CMT (Cold Metal Transfer Welding)
Kök aralığı	1-3 mm		
Kök Yüksekliği	0-2 mm		
Ön ısıtma	10 ° C		
Gerilim Giderme ısıtılması	730 ° C/1h		
# ısıt işlem sadece kaynak metaline uygulanacaktır.			

*b) X10CrMoVNb9-1 (P91) Malzemesinin kaynak ağız hazırlığı*

10 mm kalınlığındaki P91 malzemesi martenzit oluşumu yüksek olan bir çelik olduğundan yüksek ısı girdisine sahip kesme talaş kaldırma yöntemleri kullanılmasıyla malzeme özellikleri değişecektir. Bu yüzden daha düşük ısı girdisi olan motorla kesme ve taşlama ile belirlenen kaynak ağızı açılmıştır.

*İşlem sırası aşağıdaki gibidir;*

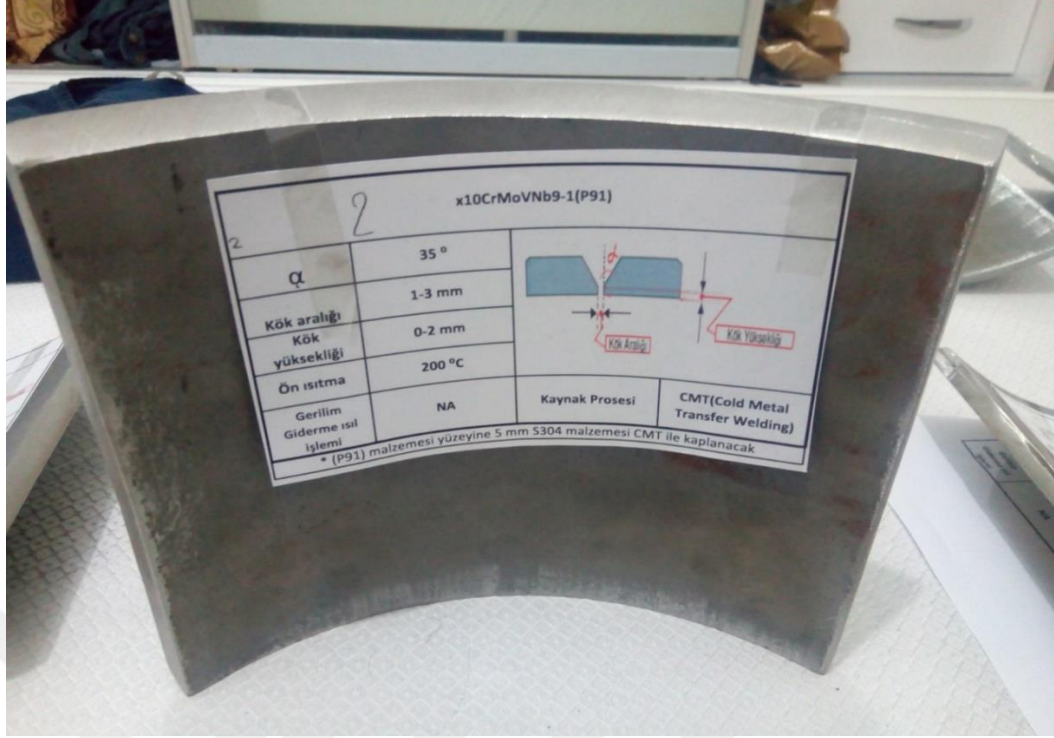
1. Parçalar seçilir. İstenilen boyutlarda işaretlenir.
2. V Kaynak ağızı seçildikten sonra 30- 35<sup>0</sup> olacak şekilde taş motoru ile kesilir.
3. Yüzey pürüzlülüğünü iyileştirmek için yüzeyin fleks taşı ile her yerde homojen açı elde edilir.
4. Kaynak yapmadan önce yüzeyde atmosferden veya çevreden dolayı oluşabilecek kirlilikleri tinerle temizlenecektir.



Şekil 2.6: 1 No'lu P91 Malzemesine 30 -35° V Kaynak ağızı.

Çizelge 2.7 1 No'lu P91 Malzemesinin Kaynak Ağız Ölçüleri, Kaynak Prosesi ve Uygulanacak Isıl İşlemler.

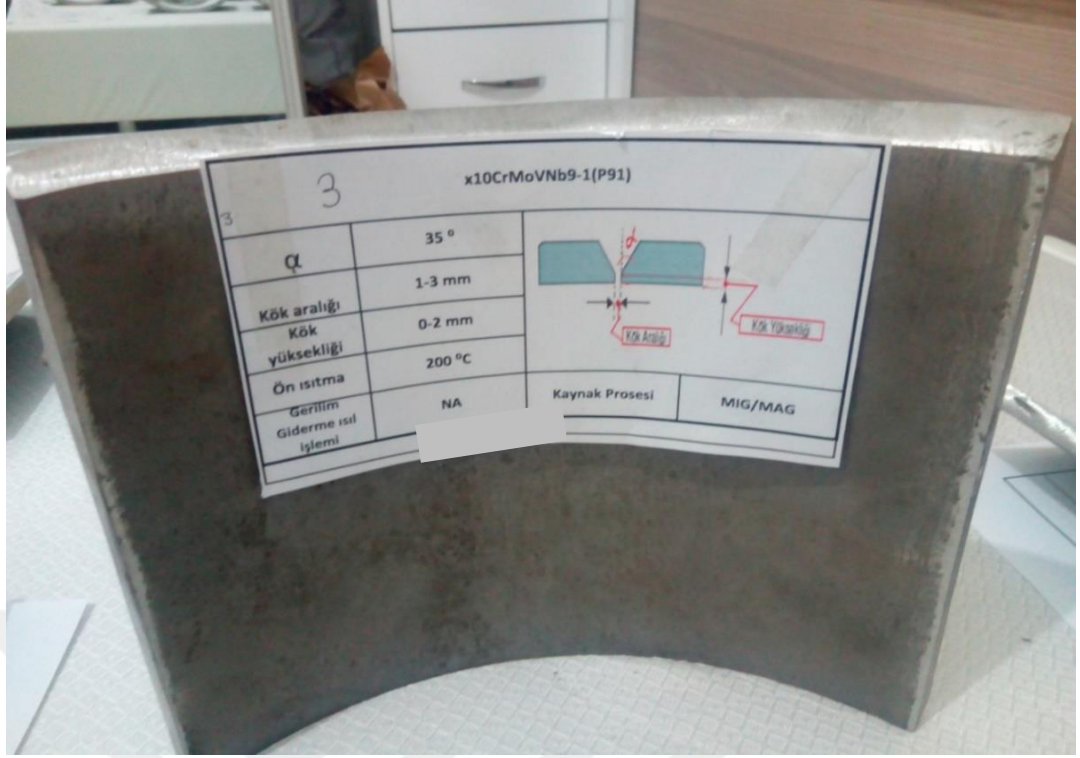
1 No'lu x10CrMoVNb9-1 parça			
α	30-35°		
Kök aralığı	1-3 mm		
Kök yüksekliği	0-2 mm		
Ön ısıtma	150-200 °C		
Gerilim Giderme ısıtma işlemi	730 °C/h	Kaynak Prosesi	MIG



Şekil 2.7: 2 No'lu P91 malzemesine 30-35° V Kaynak ağzı.

Çizelge 2.8 2 No'lu P91 malzemesinin kaynak ağız ölçüleri, kaynak prosesi ve uygulanacak ısıl işlemler.

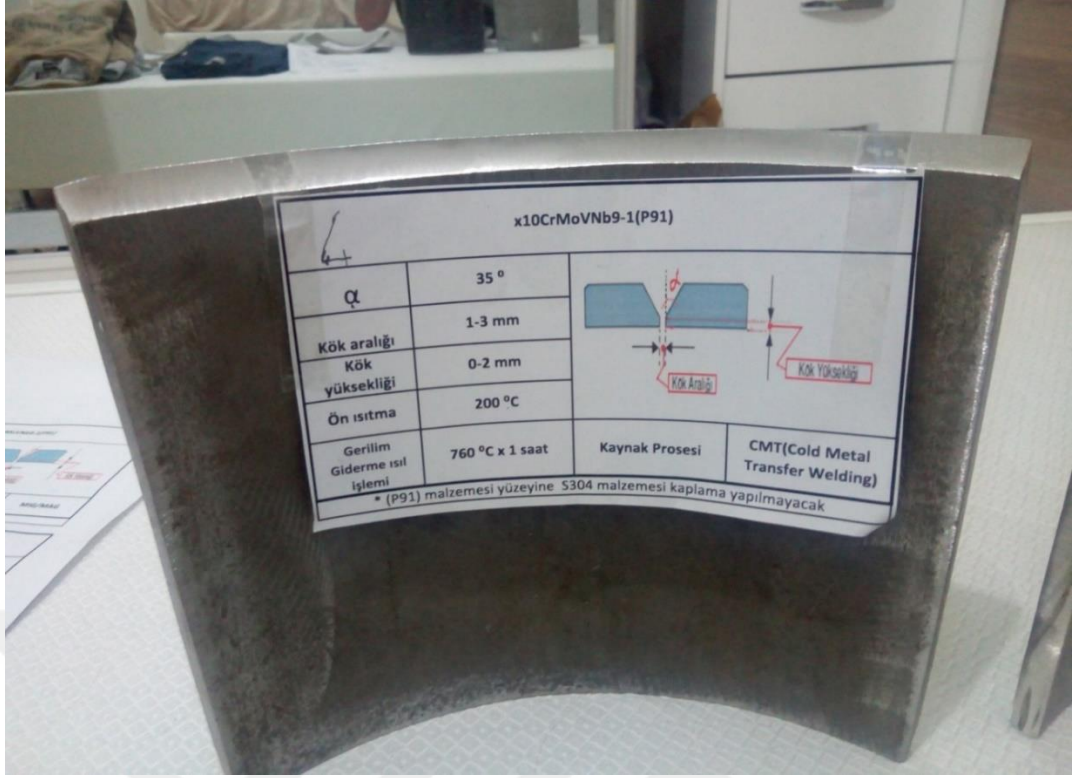
2 No'lu x10CrMoVNb9-1 parça			
$\alpha$	30-35°		
Kök aralığı	1-3 mm		
Kök yüksekliği	0-2 mm		
Ön ısıtma	NA		
Gerilim Giderme ısıl işlemi	NA	Kaynak Prosesi	CMT (Cold Metal Transfer Welding)



Şekil 2.8: 3 No'lu P91 malzemesine 30 -35° V Kaynak ağzı.

Çizelge 2.9 3 No'lu P91 malzemesinin kaynak ağız ölçüleri, kaynak prosesi ve uygulanacak ısıt işlemler.

3 No'lu x10CrMoVNb9-1 parça			
$\alpha$	30-35°		Kaynak Prosesi MIG
Kök aralığı	1-3 mm		
Kök yüksekliği	0-2 mm		
Ön ısıtma	NA		
Gerilim Giderme ısıtma işlemi	NA		



Şekil 2.9: 4 No'lu P91 malzemesine 30 -35 ° V Kaynak ağızı.

Çizelge 2.10 4 No'lu P91 malzemesinin kaynak ağız ölçüleri, kaynak prosesi ve uygulanacak ısı işlemler.

4 No'lu x10CrMoVNb9-1 parça			
$\alpha$	30-35 °		Kaynak Prosesi CMT (Cold Metal Transfer Welding)
Kök aralığı	1-3 mm		
Kök yüksekliği	0-2 mm		
Ön ısıtma	200 ° C		
Gerilim Giderme ısı işlemleri	715 ° C/1h		

### 2.3.5 Kaynak parametrelerinin seçimi

Kaynak dikişinin istenilen özelliklerde olabilmesi ve kaynak işleminin düzgün yapılabilmesi için kaynak parametrelerinin seçimi oldukça büyük önem arz eder [57].

**Çizelge 2.11** Kaynak parametrelerinin kaynak dikişine etkisi [58].

Kaynak Parametrelerinin Değişimi	DİKİŞ BOYUTLARI							
	Nufuziyet		Erime Gücü		Dikiş Yüksekliği		Dikiş Geniştir	
	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓
Akım Şiddeti ve Tel İlerleme Hızı	↑	↓	↑	↓	↑	↓	*	*
Gerilimi	+	+	*	*	*	*	↑	↓
Kaynak Hızı	+	+	*	*	↓	↑	↑	↓
Serbest Tel Uzunluğu	↓	↑	↑	↓	↑	↓	↓	↑
Tel Çapı	↓	↑	↓	↑	*	*	*	*
Koruyucu Gaz (CO <sub>2</sub> )	↑	↓	*	*	*	*	↑	↓
Torç Açısı	Sağa Kaynak (25°)	Sola Kaynak	*	*	*	*	Sola Kaynak	Sağa Kaynak

★ Etkisi Yok  
+ Az Etkili

↑ Artar

↓ Azalır

## 2.4. MIG ve CMT Kaynak İşlemleri

**Çizelge 2.12** MIG ve CMT yöntemleriyle Kaynak yapılan kaynaklı birleştirmelerin adı ve birleştirilen malzemeler

<b>Kaynaklı Birleştirme Adı</b>	<b>Birleştirilen Malzemeler</b>		<b>Kaynak Prosesi</b>
1. Malzeme çifti <b>(Parça-1)</b>	1 No'lu P91 Malzemesi	1 No'lu S304 Malzemesi	MIG (Ön ısıtma ve gerilim giderme ısısl işlemli)
2. Malzeme çifti <b>(Parça-2)</b>	2 No'lu P91 Malzemesi	2 No'lu S304 Malzemesi	CMT (Ön ısıtma ve gerilim giderme ısısl işlemsiz)
3. Malzeme çifti <b>(Parça-3)</b>	3 No'lu P91 Malzemesi	3 No'lu S304 Malzemesi	MIG (Ön ısıtma ve gerilim giderme ısısl işlemsiz)
4. Malzeme çifti <b>(Parça-4)</b>	4 No'lu P91 Malzemesi	4 No'lu S304 Malzemesi	CMT (Ön ısıtma ve gerilim giderme ısısl işlemli)

### 2.4.1 1. Malzeme çiftinin kaynağı

X10CrMoVNb9-1 (P91) ve X5CrNi18-10 (S304) malzeme çifti MIG kaynak yöntemi ile kaynak edilmiştir. Kaynak yapma işlemi NURİŞ MIG/MAG 500 RWS tipi kaynak makinası ile gerçekleştirilmiştir. Kaynak parametreleri olan Amper, Voltaj, Tel Sürme Hızı, Kaynak yapma Pozisyonu, Uygulanacak Isıl İşlemler, Koruyucu Gazın Debisi ve Kullanılacak Dolgu Malzemesinin Tipi ayarlanmıştır. Aşağıda gösterilen Çizelge 2.13'te 1. Malzeme çiftine ait kaynak parametreleri görülmektedir.

Kaynak işlemine başlamadan önce X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesi 150-200 °C derece arasında ön ısıtma uygulanmıştır. Kaynak dolgu malzemesi için ER310 paslanmaz tel kullanılmıştır. Kaynak yapma işlemi 2 pasoda gerçekleşmiştir. Her paso için uygulanan amper, voltaj, tel sürme hızı ve kaynak hızı kaydedilmiştir. Kullanılan koruyucu gazımız M11 inert gaz olup 12-14 lt/dk debi ile akmıştır. Pasolar arası sıcaklığımız ısı tebeşiri yardımıyla 250-290 °C arasında tutulmuştur. Kaynak yapma pozisyonu PA (yatay) konumunda yapılmıştır. Kaynak sonrası temizlik yapılarak 1. Malzeme çiftinin kaynak yapma işlemi tamamlanmıştır.



Kaynak yapma işlemi sonrasında X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesine gerilim giderme ısıl işlemi uygulanmıştır. 1. Malzeme çifti gerilim giderme ısıl işlem makinasına bağlanmıştır. Parçayı ısıtma işlemi, ısıl işlem makinasının seramik rezistansları sayesinde gerçekleşmiştir. Sıcaklık takibi ise rezistansların altına atılan termo kapılar sayesinde gerçekleşmiştir. Her termo kapılar recordere bağlıdır ve ısıl işlem grafiğindeki bir çizgiyi temsil ederler. Recorder, termo kapıdan aldığı değeri belirli zaman periyodunda grafiğe işlemiştir. Gerilim giderme ısıl işlemi grafikte takip edilerek 150 °C/h ile 730°C 'e kadar ısıtılmıştır. 730°C'de 1.5 saat beklenmiştir. Daha sonra 200 °C'e kadar 150 °C/h soğutma hızında soğutulmuştur. En sonunda 1. Malzeme çiftine bağlanan rezistans ve termo kapılar sökülür parça temizlenmiştir. Şekil 2.15'te gerilim giderme ısıl işlem grafiğinde sıcaklığın zamana bağlı olarak değişimi takip edilmiştir.



Şekil 2.10: 1. Malzeme çifti.



Şekil 2.11: 1. Malzeme çiftinin kaynak öncesi birleşimi



**Şekil 2.12:** 1. Malzeme çiftinin kaynak öncesi X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemeye ön ısıtması.



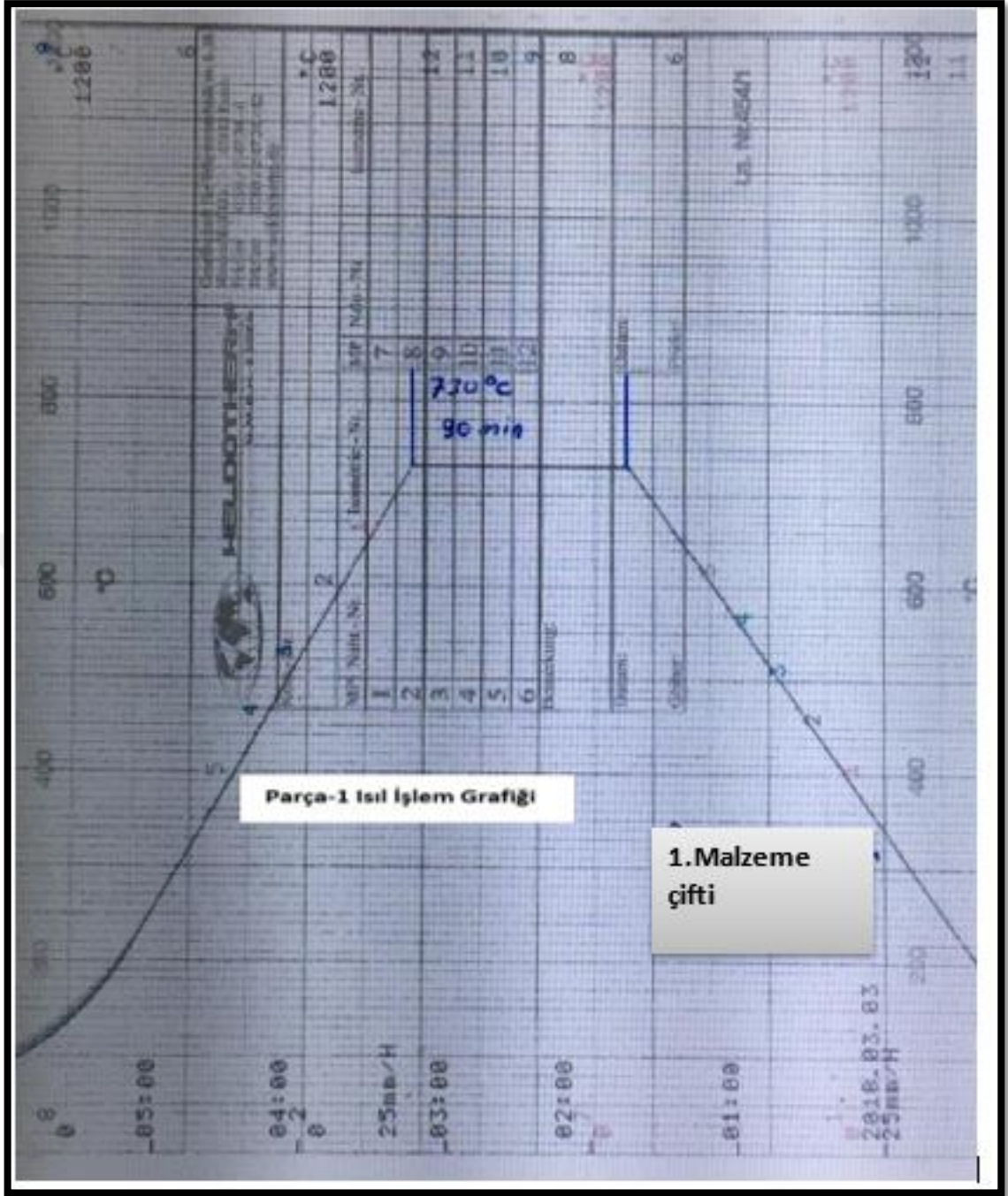
**Şekil 2.13:** 1. Malzeme çiftinin kaynak sırasındaki görünümü.



**Şekil 2.14:** 1. Malzeme çiftinin kaynak sonrasındaki görünümü.

Cizelge 2.13 1. Malzeme çiftinin kaynağında kullanılan kaynak parametreleri

I.Malzeme Çifti		KAYNAK YÖNTEM SPESİFİKASYONU									
WPS No:	NA	Malzeme Spesificas.:	X10CrMoVNb9-1(P91) ve X5CrNi18-10(S304)								
İmalatçı/Muayene Kuruluşu WPQR No:	NA										
İlgili Standart :	EN15609-2	Kalınlık Aralık	t:10 mm								
Kaynak Yöntemi/Uygula.	131 (MIG)	Dış Çap	-								
Kaynak Tipi	BW	Kaynak Pozisyonu	PA X Plaka Plate □ Boru Tube								
Kaynak Dizayını/					Kaynak Sırası/						
Paso	Yöntem	Yapılış Şekli	Tel Elektrot Tipi		Isı Girdisi J/mm	Akım (A)	Voltaj (v)	Akım Tipi/ Polarite	Tel Sürme Hızı m/dk	Kaynak İlerleme Hızı mm/s	
			Sınıf	Çap mm							
1	131	Manuel	ER 310	1		173-198	14-24	DC+	6.1-7.1	3.4-4.2	
2	131	Manuel	ER 310	1		181-204	19-26	DC+	6.8-7.4	3.5-4.2	
111-Elle Ark Kaynağı/						PA	Yatay/				
131-MIG Kaynağı/						PB	Yatay Köşe/				
121-Tozaltı Kaynağı/						PC	Yan/				
M-El Kaynağı/Manual						PD	Tavan Köşe				
SA-Yarı Otomatik/						PE	Tavan/				
A-Otomatik						PF	Aşağıdan Yukarıya/				
FW:Köşe Kaynağı			BW:Alın Kaynağı/			PG	Yukarıdan Aşağıya/				
X Gas / □ Flux				M11 TS EN ISO 14175		Punta Bilgileri					
Gaz Debisi: □ Gas Flow Rate □				12-14 L/dk		Boy mm	—	Arahk mm	—		
Kaynak Ağzının Hazırlanması: TS EN ISO 9692-1				—		Arkadan Yarma:		□ Evet/ □ Hayır/			
Ön Isıtma(TS EN ISO 13916):				150-200 °C		Diğer Bilgiler: Other information		X Düz/□ Dalgalı/ Paso			
Pasolar Arası Sıcaklık: (TS EN ISO 13916)				250-290 °C		Özel Notlar/ *Kaynakta önce puntalar taşlanacak/*Kaynak Ağzuları Pirlük,yağ ve pas' ten arındırılacak/					
Hazırlayan/			Hamza SEVEN IWE			Onaylayan/			Hamza SEVEN IWE		
Tarih, İmza/			1.01.2018			Tarih, İmza/			1.01.2018		



Şekil 2.15: 1. Malzeme çiftinin gerilim giderme ısıl işlem grafiği.

### 2.4.2 3. Malzeme çiftinin Kaynağı

X10CrMoVNb9-1 (P91) ve X5CrNi18-10 (S304) malzeme çifti MIG kaynak yöntemi ile kaynatılacaktır. Kaynak yapma işlemi NURİŞ MIG/MAG 500 RWS tipi kaynak makinası ile gerçekleştirilecektir. Kaynak parametreleri olan Amper, Voltaj, Tel Sürme Hızı, Kaynak yapma Pozisyonu, Uygulanacak Isıl İşlemler, Koruyucu Gazın Debisi ve Kullanılacak Dolgu Malzemesinin Tipi ayarlanacaktır. Aşağıda gösterilen Çizelge 2.14'te 3. Malzeme çiftine ait kaynak parametreleri görünmektedir.



**Şekil 2.16:** 3. Malzeme çiftinin kaynak öncesi birleşimi.

Kaynak yapma işlemi yukarıdaki tablodaki değerlere göre yapılmıştır. Kaynak dolgu malzemesi için ER310 paslanmaz tel kullanılmıştır. Kaynak yapma işlemi 2 pasoda gerçekleşmiştir. Her paso için uygulanan Amper, Voltaj, Tel Sürme Hızı ve Kaynak hızı kaydedilmiştir. Kullanılan koruyucu gazımız M11 inert gaz olup 12-14 lt/dk debi ile akmıştır. Pasolar arası sıcaklığımız ısı tebeşiri yardımıyla 250-290 °C arasında tutulmuştur. Kaynak yapma pozisyonu PA konumunda yapılmıştır. Kaynak sonrası temizlik yapılarak 3. Malzeme çiftinin kaynak yapma işlemi tamamlanmıştır.



**Şekil 2.17:** 3. Malzeme çiftinin kaynak sırasındaki görünümü.



**Şekil 2.18:** 3. Malzeme çiftinin kaynak sonrasındaki görünümü

Çizelge 2.14 3. Malzeme çiftinin kaynağında kullanılan kaynak parametreleri

3.Malzeme Çifti		KAYNAK YÖNTEM SPESİFİKASYONU									
WPS No:	NA		Malzeme Spesifikas.:	X10CrMoVNb9-1(P91) ve X5CrNi18-10(S304)							
İmalatçı/Muayene Kuruluşu WPQR No:	NA										
İlgili Standart :	EN15609-2		Kalınlık Aralığı	t:10 mm							
Kaynak Yöntemi/Uygula.	131 (MIG)		Dış Çap	-							
Kaynak Tipi	BW		Kaynak Pozisyonu	PA X Plaka Plate □ Boru Tube							
Kaynak Dizaynı/					Kaynak Sırası/						
Paso	Yöntem	Yapılış Şekli	Tel Elektrot Tipi		Isı Girdisi J/mm	Akım (A)	Voltaj (V)	Akım Tipi/ Polarite	Tel Sürme Hızı m/dk	Kaynak Hız mm/s	
			Sınıf	Çap mm							
1	131	Manuel	ER 310	1		175-190	14-25	DC+	6.1-7.2	3-4.2	
2	131	Manuel	ER 310	1		180-200	18-28	DC+	6.7-7.3	3.1-4.2	
111-Elle Ark Kaynağı/						PA	Yatay/				
131-MIG Kaynağı/						PB	Yatay Köşe/				
121-Tozaltı Kaynağı/						PC	Yan/				
M-El Kaynağı/Manual						PD	Tavan Köşe				
SA-Yarı Otomatik/						PE	Tavan/				
A-Otomatik						PF	Aşağıdan Yukarıya/				
FW:Köşe Kaynağı			BW:Alın Kaynağı/			PG	Yukarıdan Aşağıya/				
X Gas / □ Flux					M11 TS EN ISO 14175	Punta Bilgileri					
Gaz Debisi: □ Gas Flow Rate □					12-14 L/dk	Boy mm	-	Aralık mm	-		
Kaynak Ağzının Hazırlanması: TS EN ISO 9692-1					-	Arkadan Yarma:		□ Evet/ □ Hayır/			
On Isıtma(TS EN ISO 13916):					-	Diğer Bilgiler: Other Information		X Düz/□ Dalgah/ Pase			
Pasolar Arası Sıcaklık: (TS EN ISO 13916)					250-290 °C	Özel Notlar/ *Kaynakta önce puntalar tıplanacak/*Kaynak Ağzları Püskürtme yağ ve pas' tan arındırılacak/					
Hazırlayan/			Hamza SEVEN IWE			Onaylayan/			Hamza SEVEN IWE		
Tarih, İmza/			1.01.2018			Tarih, İmza/			1.01.2018		

### 2.5.1 2. Malzeme Çiftinin Kaynağı

X10CrMoVNb9-1 (P91) ve X5CrNi18-10 (S304) malzeme çifti CMT kaynak yöntemi ile kaynatılacaktır. Kaynak yapma işlemi Fronius CMT Advanced tipi kaynak makinası ile gerçekleştirilmiştir. Kaynak parametreleri olan Voltaj, Tel Sürme Hızı, Kaynak yapma Pozisyonu, Uygulanacak Isıl işlemler, Koruyucu Gazın Debisi ve Kullanılacak Dolgu Malzemesinin Tipi ayarlanacaktır. Aşağıda gösterilen Çizelge 2.15’te 2. Malzeme çiftine ait kaynak parametreleri görünmektedir.



**Şekil 2.19:** 2. Malzeme çiftinin CMT kaynak makinası.

Şekil 2.19’da yarı otomatik fronius CMT makinası görünmektedir. Kaynak operatörü tarafından kaynak yapılacak malzeme hazırlanacaktır. Makinaya parça boyu, kaynak yapılacak yer ve gideceği yön tanımlanır. Amper, Voltaj, Tel Sürme Hızı Kaynak Hızı, Koruyucu gazın Debisi, Elektrot Kutuplama ve Kaynak yapma Pozisyonu kaynağa başlamadan önce makinaya girilmiş ve deneme yapılmıştır. CMT kaynağı kaynağa başladığında tel sürme ünitesindeki motor devreye girerek saniyede 60-80 defa itip çekmiştir. Tel sıcak metali itip çekerek kaynak yapma işlemi devam edilmiştir.

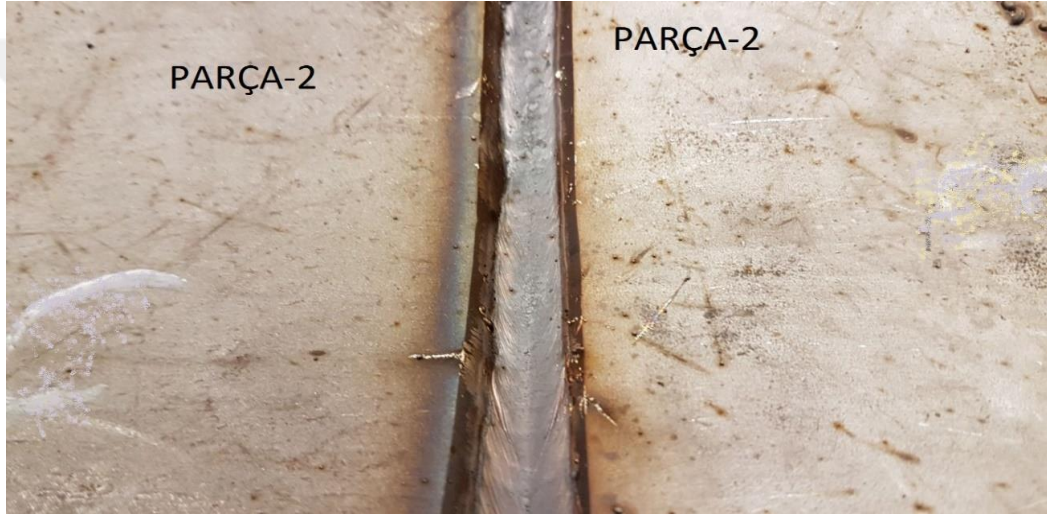


Çizelge 2.15 2. Malzeme çiftinin kaynak parametreleri

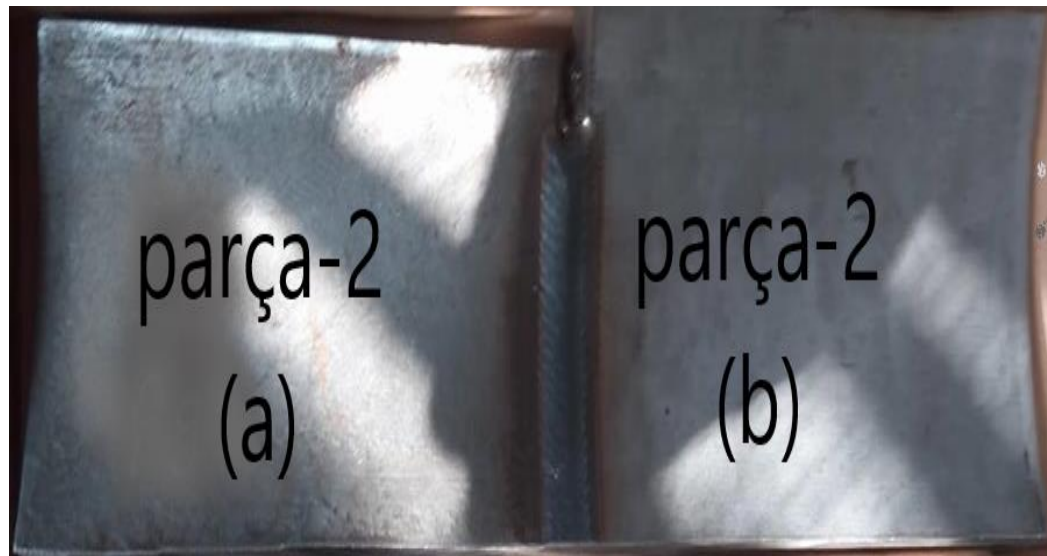
2.Malzeme Çifti		KAYNAK YÖNTEM SPESİFİKASYONU									
WPS No:	NA	Malzeme Spesifikas.:	X10CrMoVNb9-1(P91) ve X5CrNi18-10(S304)								
İmalatçı/Muayene Kuruluşu WPQR No:	NA										
İlgili Standart :	EN15609-2	Kalınlık Aralığı	t:10 mm								
Kaynak Yöntemi/Uygula.	131 (CMT)	Dış Çap	-								
Kaynak Tipi	BW	Kaynak Pozisyonu	PA	X Plaka Plate □ Boru Tube							
Kaynak Dizaynı/					Kaynak Sırası/						
Paso	Yöntem	Yapılış Şekli	Tel Elektrot Tipi		Isı Girdisi J/mm	Akım (A)	Voltaj (v)	Akım Tipi/ Polarite	Tel Sürme Hız m/dk	Kaynak İlerleme Hızı mm/s	
			Sınıf	Çap mm							
1	131	Y.Otomatik	ER 310	1		145-160	14-22	DC+	6.2-7.5	3.7-4.2	
2	131	Y.Otomatik	ER 310	1		140-183	18-25	DC+	6.7-7.5	3.7-4.2	
111-Elle Ark Kaynağı/						PA	Yatay/				
131-MIG Kaynağı/						PB	Yatay Köşe/				
121-Tozaltı Kaynağı/						PC	Yan/				
M-El Kaynağı/Manual						PD	Tavan Köşe				
SA-Yarı Otomatik/						PE	Tavan/				
A-Otomatik						PF	Aşağıdan Yukarıya/				
FW:Köşe Kaynağı			BW:Alın Kaynağı/			PG	Yukarıdan Aşağıya/				
X Gas / □ Flux				M11 TS EN ISO 14175		Punta Bilgileri					
Gaz Debisi: □ Gas Flow Rate □				12-14 L/dk		Boy mm	—	Aralık mm	—		
Kaynak Ağzının Hazırlanması: TS EN ISO 9692-1				—		Arkadan Yarma:			□ Evet/ □ Hayır/		
Ön Isıtma(TS EN ISO 13916):				—		Diğer Bilgiler: Other Information			X Düz/□ Dalgalı/ Paso		
Pasolar Arası Sıcaklık: (TS EN ISO 13916)				250-290 °C		Özel Notlar/ *Kaynaktan önce puntalar taşlanacak/*Kaynak Ağzuları Pistlik,yağ ve pas' tan arındırılacak/					
Hazırlayan/			Hamza SEVEN IWE			Onaylayan/			Hamza SEVEN IWE		
Tarih, İmza/			1.01.2018			Tarih, İmza/			1.01.2018		



Şekil 2.20: 2. Malzeme çiftinin kaynak öncesi birleşimi



Şekil 2.21: 2. Malzeme çiftinin ilk paso kaynağı.



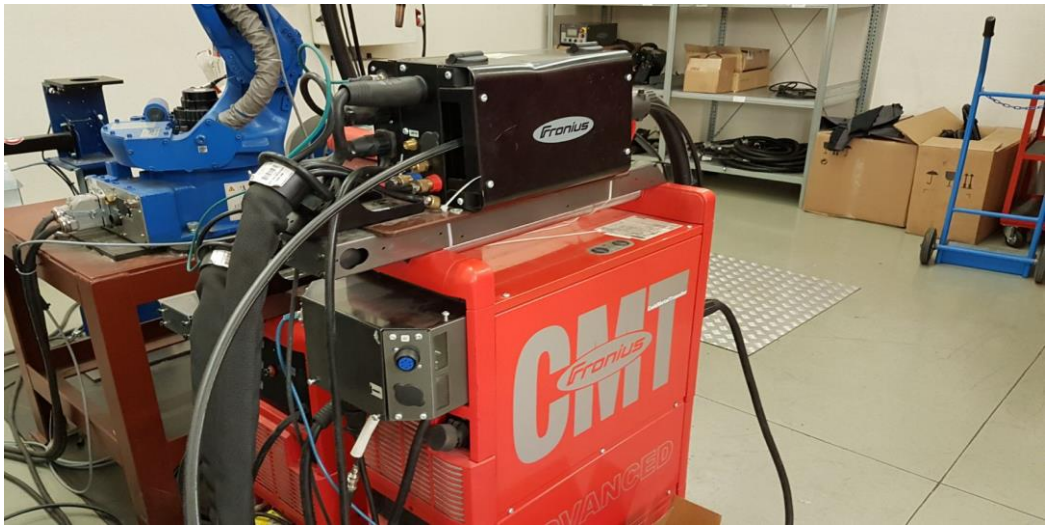
Şekil 2.22: 2. Malzeme çiftinin kaynak sonrası görünümü.



Şekil 2.23: 2. Malzeme çiftinin CMT kaynağı



Şekil 2.24: CMT kaynağında kullanılan koruyucu inert gaz(M11)



Şekil 2.25: CMT kaynağı makinesi

Kaynak yapma işlemi yukarıdaki tablodaki değerlere göre yapılmıştır. Kaynak dolgu malzemesi için ER310 paslanmaz tel kullanılmıştır. Kaynak yapma işlemi 2 pasoda gerçekleşmiştir. Her paso için uygulanan voltaj, tel sürme hızı ve kaynak hızı kaydedilmiştir. Kullanılan koruyucu gazımız M11 inert gaz olup 13-14 lt/dk debi ile akmıştır. Pasolar arası sıcaklığımız ısı tebeşiri yardımıyla 250-290 °C arasında tutulmuştur. Kaynak yapma pozisyonu PA konumunda yapılmıştır.

Kaynak yapma işlemi tamamlandıktan sonra Şekil 2.22'de görüldüğü gibi kaynak dikiş formu düzgün ve kaynak görsel hataları yoktur. 2. Malzeme çifti mekanik ve malzeme iç yapı analizleri için hazırlanacaktır.

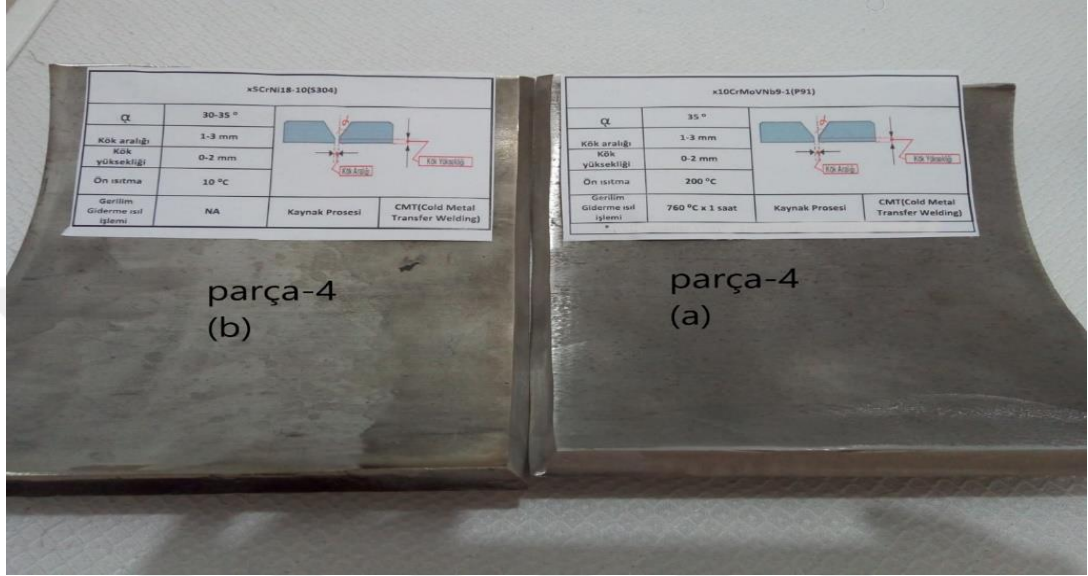
#### **2.5.2 4. Malzeme çiftinin Kaynağı**

X10CrMoVNb9-1 (P91) ve X5CrNi18-10 (S304) malzeme çifti CMT kaynak yöntemi ile kaynatılacaktır. Kaynak yapma işlemi Fronius CMT Advanced tipi kaynak makinası ile gerçekleştirilecektir. Kaynak parametreleri olan Voltaj, Tel Sürme Hızı, Kaynak yapma Porsiyonu, Uygulanacak ısı işlemler, Koruyucu Gazın Debisi ve Kullanılacak Dolgu Malzemesinin Tipi ayarlanacaktır. Aşağıda gösterilen tabloda 2.16'da 4. Malzeme çiftine ait kaynak parametreleri görünmektedir.

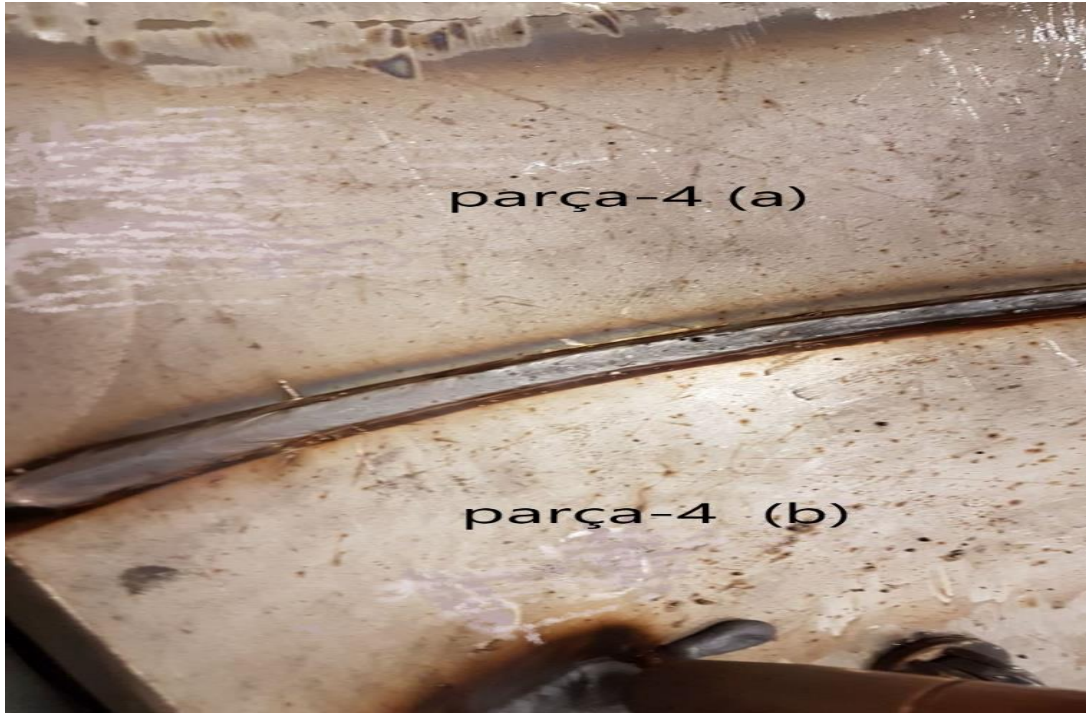
Kaynak işlemine başlamadan önce X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesi 150-200 °C derece arasında ön ısıtma uygulanmıştır. Kaynak dolgu malzemesi için ER310 paslanmaz tel kullanılmıştır. Kaynak yapma işlemi 2 pasoda gerçekleşmiştir. Her paso için uygulanan voltaj, tel sürme hızı ve kaynak hızı kaydedilmiştir. Kullanılan koruyucu gazımız M11 inert gaz olup 13-16 lt/dk debi ile akmıştır. Pasolar arası sıcaklığımız ısı tebeşiri yardımıyla 250-290 °C arasında tutulmuştur. Kaynak yapma pozisyonu PA konumunda yapılmıştır. Kaynak sonrası temizlik yapılarak 3. Malzeme çifti' kaynak yapma işlemi tamamlanmıştır.

Kaynak yapma işlemi sonrasında X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesine gerilim giderme ısı işlemi uygulanmıştır. 4. Malzeme çifti gerilim giderme ısı işlem makinasına bağlanmıştır. Parçayı ısıtma işlemi ısı işlem makinasının seramik rezistansları sayesinde gerçekleşmiştir. Sıcaklık takibi ise rezistansların altına atılan termo kapılar sayesinde gerçekleşmiştir. Her termo kapılar recordera bağlıdır ve ısı işlem grafiğindeki bir çizgiyi temsil ederler. Recorder, termo kapıdan aldığı değeri belirli zaman periyodunda grafiğe işler. Gerilim giderme ısı işlemi grafikte

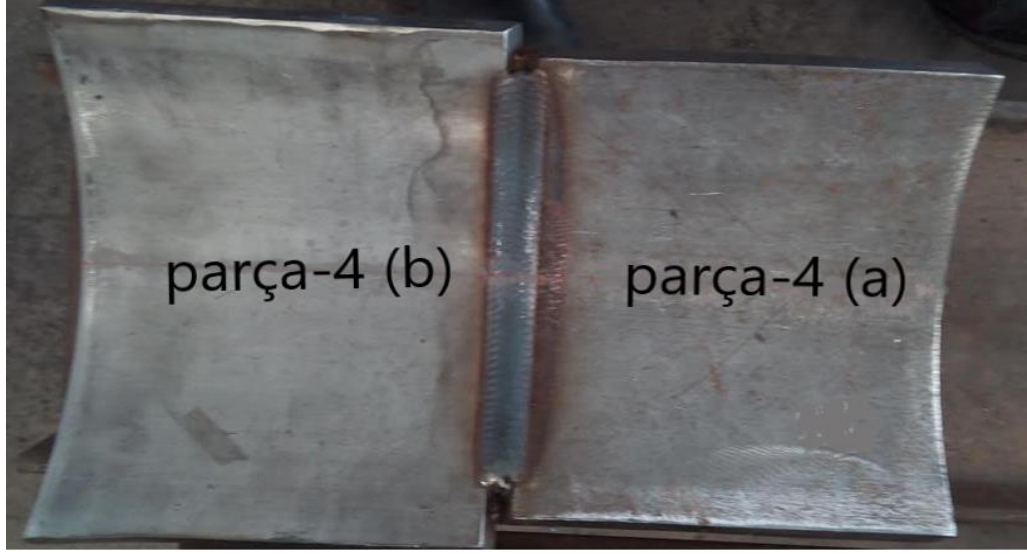
takip edilerek 150° C/h ile 715°C'e kadar ısıtılmıştır. 715°C'de 1-1,5 saat beklenmiştir. Daha sonra 200°C'e kadar 150°C/h soğutma hızında soğutulmuştur. En sonunda 4. Malzeme çiftine bağlanan rezistans ve termo kapıllar sökülürmüş parça temizlenmiştir. Şekil 2.31'de gerilim giderme ısıl işlem grafğinde sıcaklığın zamana bağlı olarak değişimi takip edilmiştir.



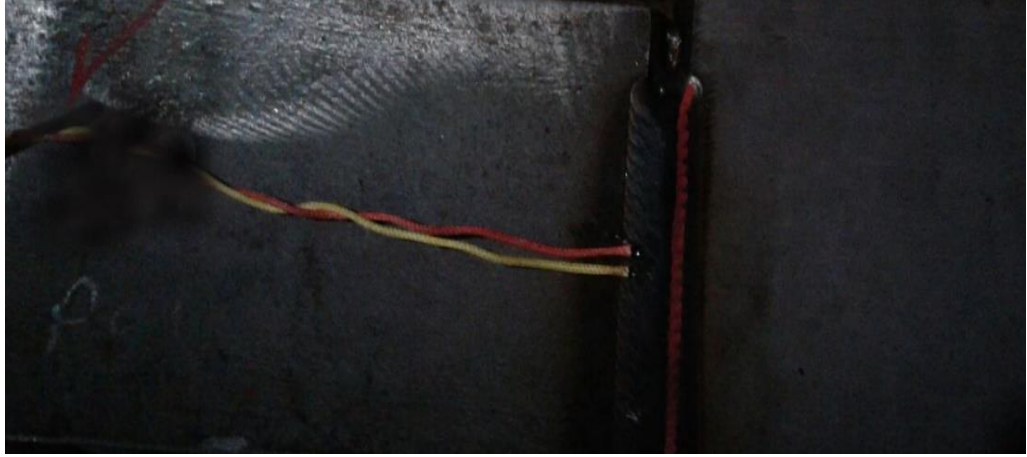
Şekil 2.26: 4. Malzeme çiftinin kaynak öncesi birleşimi.



Şekil 2.27: 4. Malzeme çiftinin kaynağı.



Şekil 2.28: 4. Malzeme çiftinin kaynak sonrası görünümü.



Şekil 2.29: 4. Malzeme çiftinin üzerine termokapıların bağlanması.

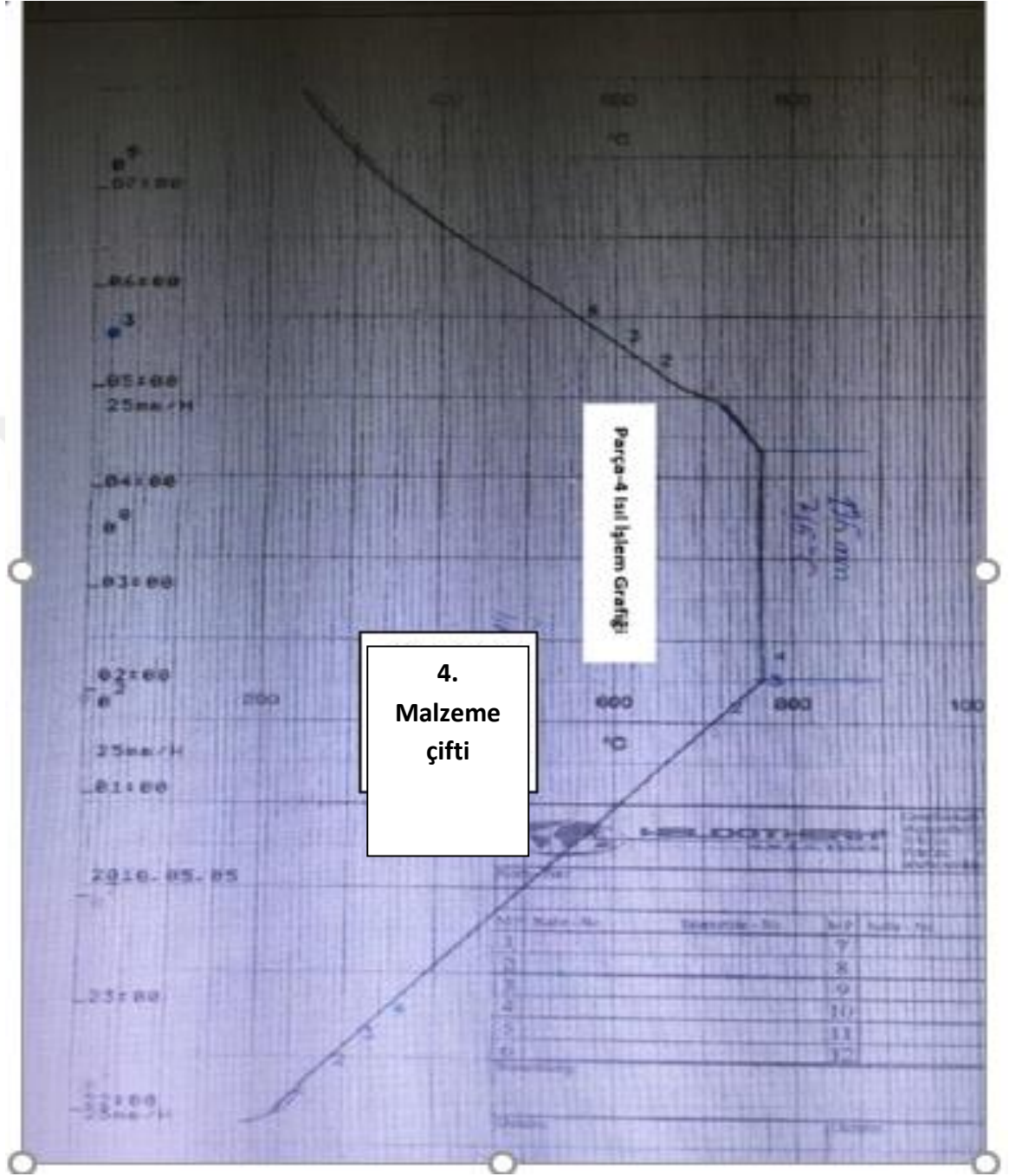


Şekil 2.30: 4. Malzeme çiftinin ısı işlem rezistanslarının bağlanması.

4. Malzeme çiftinin Isıl işlem rezistanslarının bağlanması Şekil 2.30’da görüldüğü gibi ısı yalıtımını sağlamak için taş yünü kullanılmıştır. Sıcaklık ölçerler(termokaplı) bir kablo ile seramik rezistansların altından geçirilmiştir.

Çizelge 2.16 4. Malzeme çiftine kaynağı için kaynak parametreleri

4.Malzeme Çifti		KAYNAK YÖNTEM SPESİFİKASYONU									
WPS No:	NA	Malzeme Spesifikas.:	X10CrMoVNb9-1(P91) ve X5CrNi8-10(S304)								
İmalatçı/Muayene Kuruluşu WPQR No:	NA										
İlgili Standart :	EN15609-2	Kalınlık Aralığı	t:10 mm								
Kaynak Yöntemi/Uygula.	131 (CMT)	Dış Çap	-								
Kaynak Tipi	BW	Kaynak Pozisyonu	PA	X Plaka Plate □ Boru Tube							
Kaynak Dizaynı/				Kaynak Sırası/							
Paso	Yöntem	Yapılış Şekli	Tel Elektrot Tipi		Isı Girdisi J/mm	Akım (A)	Voltaj (v)	Akım Tipi/ Polarite	Tel Surme Hızı m/dk	Kaynak Hareket Hızı mm/s	
1	131	Y.Otomatik	ER. 310	1		155-165	14-23	DC+	6.5-7.8	3.6-4.9	
2	131	Y.Otomatik	ER. 310	1		145-189	17-22	DC+	6.6-7.9	3.8-4.9	
111-Elle Ark Kaynağı/						PA	Yatay/				
131-MIG Kaynağı/						PB	Yatay Köşe/				
121-Tozaltı Kaynağı/						PC	Yan/				
M-El Kaynağı/Manual						PD	Tavan Köşe				
SA-Yarı Otomatik/						PE	Tavan/				
A-Otomatik						PF	Aşağıdan Yukarıya/				
FW:Köşe Kaynağı			BW:Ahm Kaynağı/			PG	Yukarıdan Aşağıya/				
X Gas / □ Flux				M11 TS EN ISO 14175		Punta Bilgileri					
Gaz Debisi: □ Gas Flow Rate □				12-14 L/dk		Boy mm	—	Aralık mm	—		
Kaynak Ağzının Hazırlanması: TS EN ISO 9692-1				—		Arkadan Yarma:		□ Evet/ □ Hayır/			
Ön Isıtma(TS EN ISO 13916):				150-200 °C		Diğer Bilgiler: Other Information		X Düz/□ Dalgah/ Paso			
Pasolar Arası Sıcaklık: (TS EN ISO 13916)				250-290 °C		Özel Notlar/ *Kaynakta önce puntalar taşlanacak/*Kaynak Ağzuları Pistlik,yağ ve pas' tan arındırılacak/					
Hazırlayan/			Hamza SEVEN IWE			Onaylayan/			Hamza SEVEN IWE		
Tarih, İmza/			1.01.2018			Tarih, İmza/			1.01.2018		



**Şekil 2.31:** 4. Malzeme çifti gerilim giderme ısıl işlem grafiği.

4. Malzeme çiftinin kaynağı sırasındaki bütün değerler yukarıdaki Çizelge 2.16'da gösterilmiştir. Gerilim giderme ısıl işlemleri tamamlanmıştır. Malzeme mekanik ve mikro analiz testlerine geçilmiştir.



### 3. BULGULAR

#### 3.1 Mekanik Testler

##### 3.1.1 Çekme testi analizleri

Çekme testi, Kiwa meyer kuruluşu ile Gedik test merkezlerinde 1. Malzeme çifti, 2. Malzeme çifti, 3. Malzeme çifti ve 4. Malzeme çifti için ayrı ayrı yapılmıştır. Test, TS EN ISO 4136 standartının gereksinimlerine göre yapılmıştır.

Çizelge 3.1 1. Malzeme çiftinin çekme deneyi



Rapor No : W-TT-BW-18-499

Adı Soyadı : HAMZA SEVEN  
Firma : HT METAL MAKİNA LTD. ŞTİ.  
Malzeme : x10CrMoVNb9-1 (P91)  
Esas Malzeme Grubu : x5CrNi18-10(s304)  
Birleştirme : BW  
Malzeme Kalınlığı : 10mm  
Kaynak İşlemi : 135

Kabul Kriterlerine Dayanarak Muayene Sonucu  
Temperature / Sıcaklık: 23 ± 5 °C

Tip / No	Çekme Kuvveti F (Newton)	Akma Dayanımı Re (N/mm <sup>2</sup> )	Çekme Dayanımı Rm(N/mm <sup>2</sup> )	Uzama % Z	Kırılma yeri
1	141095	421	564	25	ITAB

Deney Numunesi (Parça No:1)



Mühür



Tarih

17.09.2018

Deney Sorumlusu

EMRULLAH YANMAZ

Laboratuva Sorumlusu

BÜŞRA KAPLAN

Kiwa Meyer Belgelendirme Hizmetleri A.Ş.  
İTOSB (İstanbul Tuzla Organize Sanayi Bölgesi) 9. Cadde No:15  
Tepeören Mevkii Tuzla-İstanbul/Türkiye  
TEL: +90 216 593 25 75 FAX: +90 216 593 25 74  
www.kiwa.com.tr

I.P.FR.043/06.01.2014/R0

1/1

## Çizelge 3.2 2. Malzeme çiftinin çekme deneyi






### ÇEKME TEST RAPORU / TENSILE TEST REPORT

Müşteri/Customer	KIWA MEYER BELGELENDİRME HİZMETLERİ A.Ş.		
Adres/Adress	İTOSB 9. CAD. NO:15 TEPEÖREN TUZLA İSTANBUL/TÜRKİYE		
Rapor Numarası/Report No	GTMNTS18115		
Tarih Date	Numune Geliş/Arrival Date	Test Tarihi/Date of Test	Rapor Tarihi/Date of Report No
	04.05.2018	08.05.2018	08.05.2018
Ortam Şartları Atmospheric Conditions	Ortam Sıcak./Ambient Temp.	Basınç/Pressure	Nem Oranı/Humidity Ratio
	22°C	1029 hPa	62%
Malzeme Standartı/Material Standart	P91-S304		
Test Standartı/Test Standard	TS EN ISO 4136		
Genişletilmiş Ölçme Belirsizliği %95, k=2 Expanded Meas. Uncertainty %95, k=2	%95 güvenilirlik için "k" değeri 2 alınarak genişletilmiş ölçme belirsizliği hesaplanmıştır. (expanded measurement uncertainty is calculated for %95 reliability assuming k=2)		

Numune Adı Sample Name	Numune Tipi Type of Sample	Kesit Alanı Cross Sec. Area A (mm <sup>2</sup> )			Ölçme Boyu Gauge Len. L <sub>g</sub> (mm)		Alt Akma Dayanımı Yield Str. Rp 0,2 (MPa) ±%2,3		Üst Akma Dayanımı Yield Str. Rp 1,0 (MPa) ±%2,3		Çekme Dayanımı Tensile Str. Rm (MPa) ±%1,62		Uzama Elong. A5 (%) ±%1,6	Kesit Daralması Red in Area Z (%)±3,32
		Kalınlık Thick.	Genişlik Width	Çap Diamet.	İlk Boy İni. Len.	Son Boy Fin. Len.	Kp	MPa	Kp	MPa	Kp	MPa		
2 NOLU PARÇA	Dikdörtgen Rectan.	10,14	25,54		80	88	10000	379			13200	500	10	-
Kaynak Bölgesinden Koptu		258,98												

Bu belgede yer alan sonuçlar, merkezimize gönderilen ve yukarıda özellikleri verilen numuneye/numunelere aittir. Bu rapor standartlara uygunluk belgesi veya kalite beyan sertifikası yerine kullanılamaz. Kopyalanması ve çoğaltılması ancak merkezimizin yazılı izni ile mümkündür. İmzasız ve mühürsüz raporlar geçersizdir.  
The results stated in this document, referred to our center and given the above characteristics of the sample / samples belong. This report is not available to use rather than certificate of quality or certificate of conformity to standards. Reprinting and reproduction, but is possible with the written permission of center. Unsigned and unsealed reports are invalid.

Muayeneyi Yapan Operator  Fatih ÖZTÜRK	Kontrol Eden Inspector	Onaylayan Approving Authority  Mehmet AVAZ 
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

R 4001/03

Ankara Cad. No:306 Şeyhli / Pendik - İSTANBUL Tel: 0216 378 79 41 Faks : 0216 378 20 45  
Web : www.gediktest.com e-mail: info@gediktest.com

### Çizelge 3.3 3. Malzeme çifti ve 4. Malzeme çiftinin çekme deneyi



#### ÇEKME TEST RAPORU / TENSILE TEST REPORT

Müşteri/Customer	KIWA MEYER BELGELENDİRME HİZMETLERİ A.Ş.		
Adres/Address	İTOSB 9. CAD. NO:15 TEPEÖREN TUZLA İSTANBUL/TÜRKİYE		
Rapor Numarası/Report No	GTMNTS18144		
Tarih Date	Numune Gelişi/Arrival Date	Test Tarihi/Date of Test	Rapor Tarihi/Date of Report No
	30.05.2018	01.06.2018	01.06.2018
Ortam Şartları Atmospheric Conditions	Ortam Sıcak./Ambient Temp.	Basınç/Pressure	Nem Oranı/Humidity Ratio
	22°C	1029 hPa	62%
Malzeme Standartı/Material Standart	x10CrMoVNb9-1 (P91) - x5CrNi18-10(s304)		
Test Standardı/Test Standard	TS EN ISO 4136		
Genişletilmiş Ölçme Belirsizliği %95, k=2 Expanded Meas. Uncertainty %95, k=2	%95 güvenilirlik için "k" değeri 2 alınarak genişletilmiş ölçme belirsizliği hesaplanmıştır.(expanded measurement uncertainty is calculated for %95 reliability assuming k=2)		

Numune Adı Sample Name	Numune Tipi Type of Sample	Kesit Alanı Cross Sec. Area A (mm <sup>2</sup> )			Ölçme Boyu Gauge Len. L <sub>0</sub> (mm)		Alt Akma Dayanımı Yield Str. Rp 0,2 (MPa) ±%2,3		Üst Akma Dayanımı Yield Str. Rp 1,0 (MPa) ±%2,3		Çekme Dayanımı Tensile Str. Rm (MPa) ±%1,62		Uzama Elong. AS (%) ±%1,6	Kesit Daralması Red in Area Z (%)±3,32
		Kalınlık Thick.	Genişlik Width	Çap Diamet.	İlk Boy Ini. Len.	Son Boy Fin. Len.	Kp	MPa	Kp	MPa	Kp	MPa		
3 NUMARA Kaynak Bölgesinden Koptu	Dikdörtgen Rectan.	10,28	25,4		75	80	11100	417	11400	428	11750	441	7	-
4 NUMARA Ana Malzemeden Koptu	Dikdörtgen Rectangular	9,6	25,55		75	105	10000	400	12600	504	15350	614	40	-

Bu belgede yer alan sonuçlar, merkezimize gönderilen ve yukarıda özellikleri verilen numuneye/numunelere aittir. Bu rapor standartlara uygunluk belgesi veya kalite beyan sertifikası yerine kullanılamaz. Kopyalanması ve çoğaltılması ancak merkezimizin yazılı izni ile mümkündür. İmzasız ve mühürsüz raporlar geçersizdir.  
The results stated in this document, referred to our center and given the above characteristics of the sample / samples belong. This report is not available to use rather than certificate of quality or certificate of conformity to standards. Reprinting and reproduction, but is possible with the written permission of center. Unsigned and unsealed reports are invalid.

Muayene Yapan Operator Fatih ÖZTÜRK	Kontrol Eden Inspector	Onaylayan Approving Authority Mehmet AVAZ
-------------------------------------------	---------------------------	-------------------------------------------------

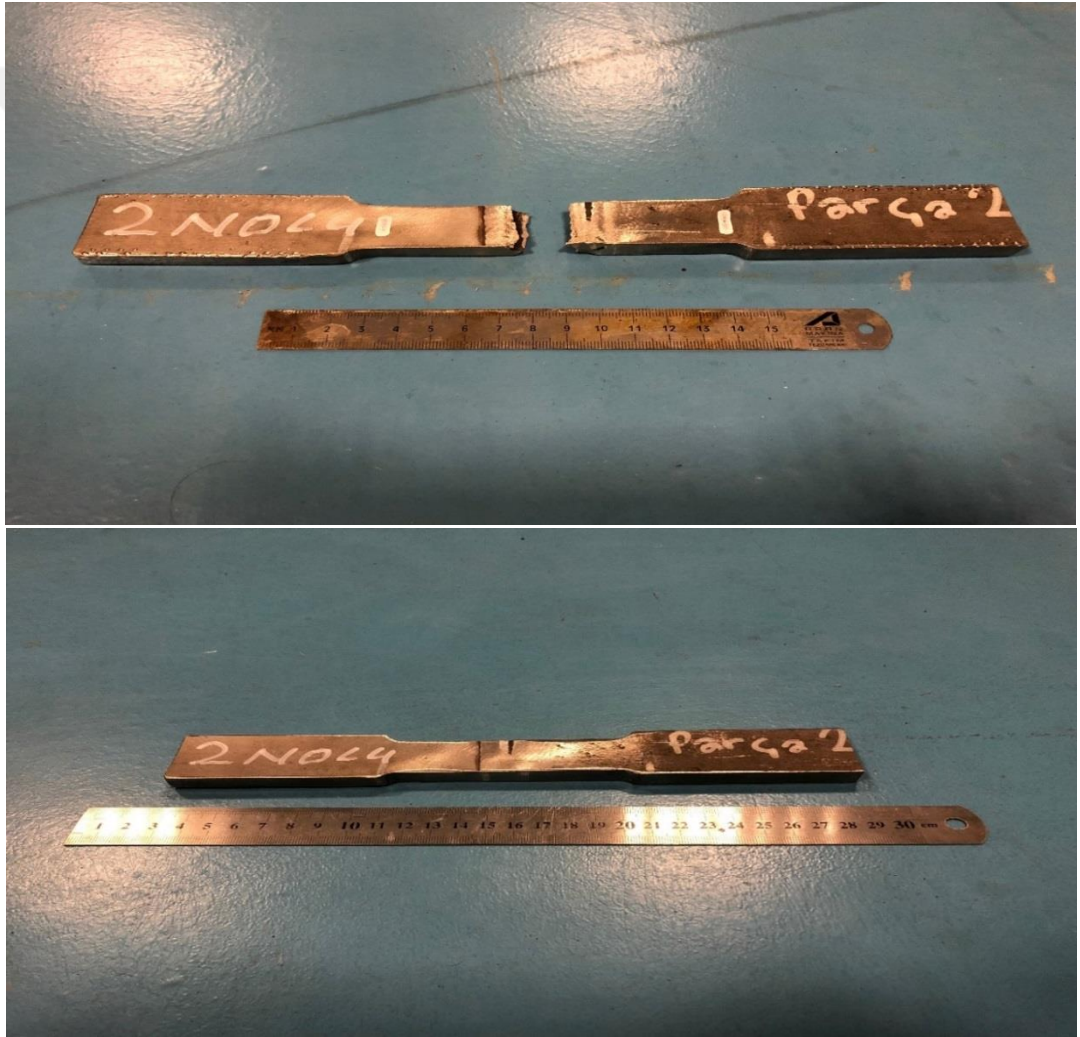
Ankara Cad. No:306 Şeyhli / Pendik – İSTANBUL Tel: 0216 378 79 41 Faks : 0216 378 20 45

R 4001/03

Web : [www.gediktest.com](http://www.gediktest.com) e-mail: [info@gediktest.com](mailto:info@gediktest.com)



Şekil 3.1: 1. Malzeme çifti çekme numunesi.



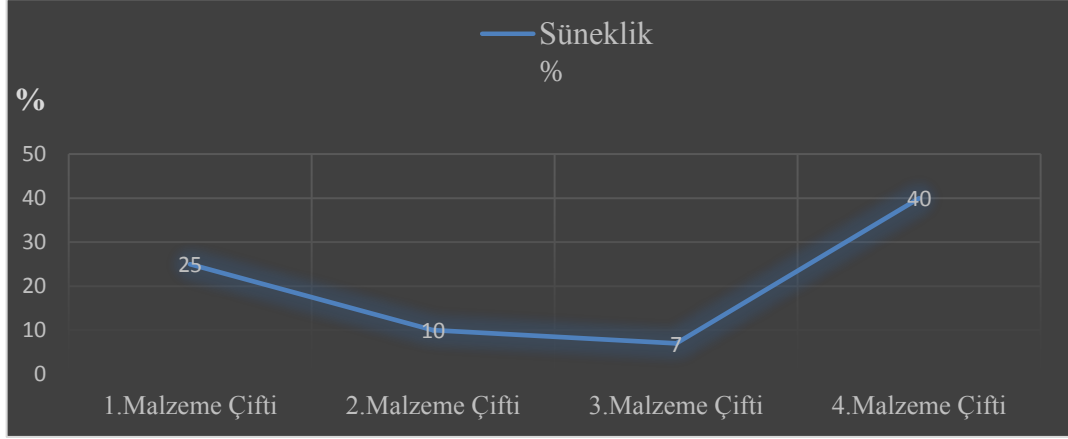
Şekil 3.2: 2. Malzeme çifti çekme numunesi.



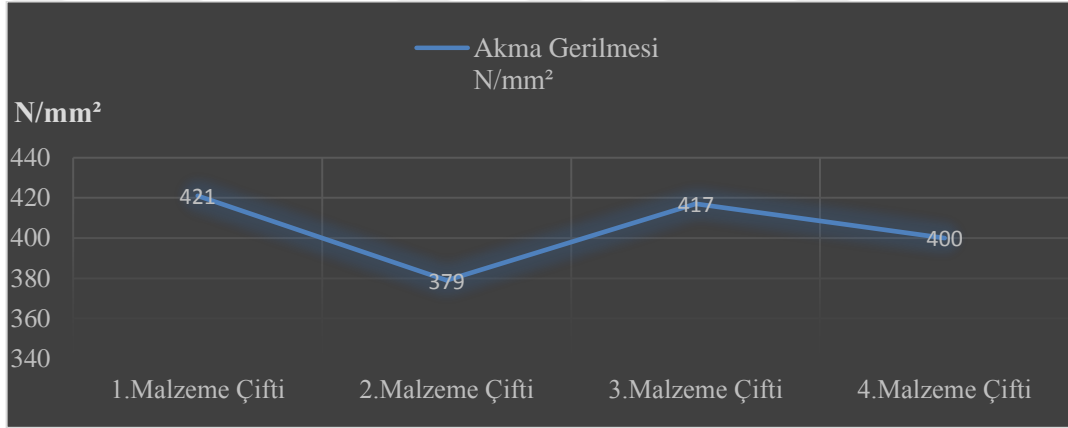
**Şekil 3.3:** 3. Malzeme çifti çekme numunesi.



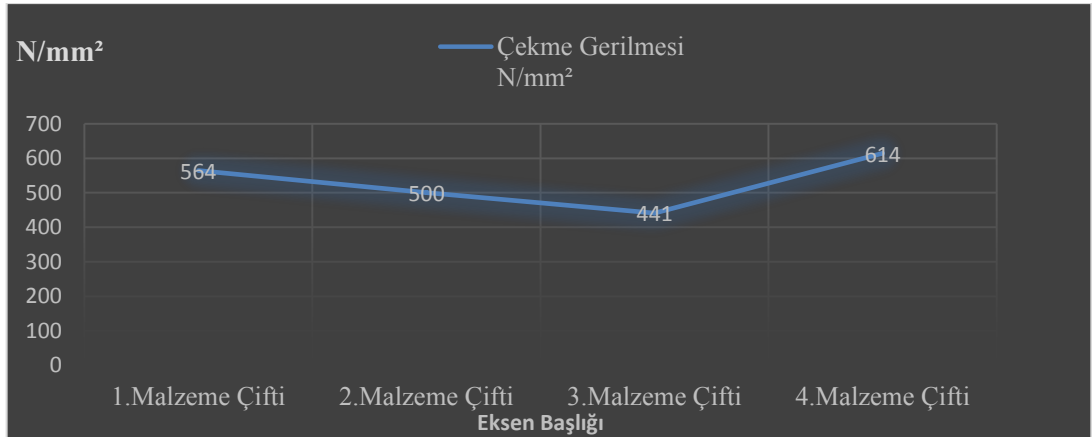
**Şekil 3.4:** 4. Malzeme çifti çekme numunesi.



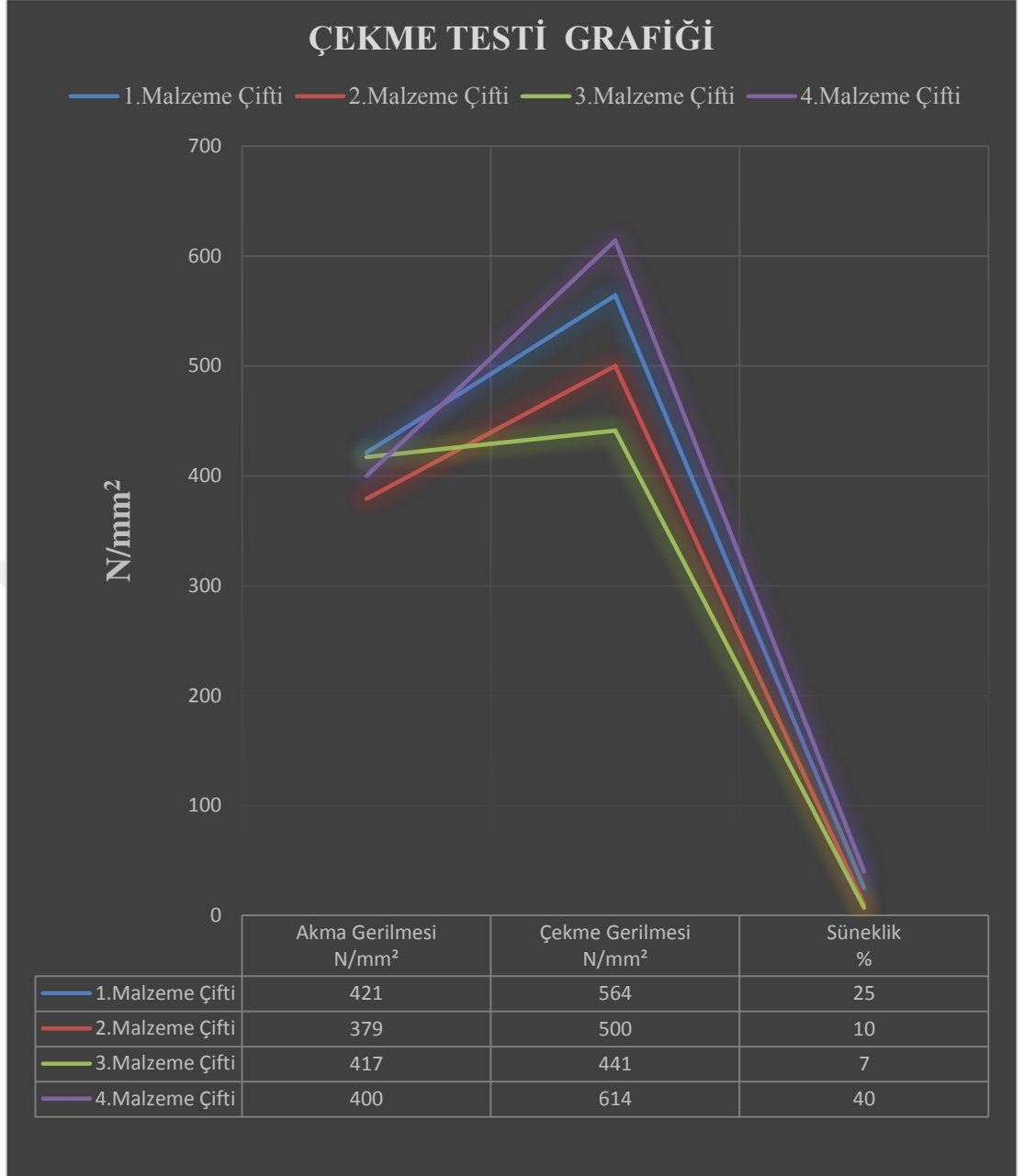
**Şekil 3.5:** 1. Malzeme çifti, 2. Malzeme çifti, 3. Malzeme çifti, ve 4. Malzeme çiftinin çekme testi sonrası sünekliklerinin karşılaştırılması.



**Şekil 3.6:** 1. Malzeme çifti, 2. Malzeme çifti, 3. Malzeme çifti, ve 4. Malzeme çiftinin çekme testi sonrası akma gerilmelerinin karşılaştırılması.



**Şekil 3.7:** 1. Malzeme çifti, 2. Malzeme çifti, 3. Malzeme çifti, ve 4. Malzeme çiftinin çekme testi sonrası çekme gerilmelerinin karşılaştırılması.



**Şekil 3.8:** 1. Malzeme çifti, 2. Malzeme çifti, 3. Malzeme çifti, ve 4. Malzeme çiftinin çekme testi sonuçlarının karşılaştırılması.

Ön ısı ve gerilim giderme ısıl işlemleri aynı kaynak prosesi ve farklı kaynak prosesleri (MIG/MIG ve MIG/CMT) ile kaynak edilen malzeme çiftlerinde farklılık göstermiştir. MIG prosesi ile kaynayan 1. ve 3. Malzeme çiftlerinde Şekil.3.8’de görüldüğü gibi 1. Malzeme çiftinin çekme gerilmesi, 3. Malzeme çiftinden daha yüksek olduğu, CMT prosesi ile kaynayan 4. Malzeme çiftinden daha düşük olduğu tespit edilmiştir. CMT prosesi ile kaynayan 2. ve 4. Malzeme çiftlerinde Şekil.3.8’de görüldüğü gibi ön ısı ve gerilim giderme ısıl işlemleri uygulanarak kaynak edilen 4.

Malzeme çiftinin çekme gerilmesi, ön ısı ve gerilim giderme ısı işlemleri uygulanmaksızın kaynak edilen 2. Malzeme çiftinden daha yüksek olduğu, MIG prosesi ile ön ısı ve gerilim giderme ısı işlemleri uygulanmaksızın kaynak edilen 3. Malzeme çiftinin, CMT prosesi ile ön ısı ve gerilim giderme ısı işlemleri uygulanmaksızın kaynak edilen 2. Malzeme çiftinin çekme gerilmesinden düşük olduğu tespit edilmiştir.

Ön ısı ve gerilim giderme ısı işlemleri uygulanarak ya da uygulanmadan kaynak edilen CMT ve MIG yöntemleri karşılaştırıldığında CMT yönteminin MIG yöntemine göre daha yüksek çekme dayanımına sahip olduğu tespit edilmiştir. Ön ısı ve gerilim giderme ısı işlemleri uygulanması, aynı kaynak prosesi ile kaynak edilen malzeme çiftlerinde de daha yüksek çekme dayanımı elde etmiştir.


Şekil.3.8'de görüldüğü gibi ön ısı ve gerilim giderme ısı işlemleri uygulanmadan CMT ile kaynaklanan 2. Malzeme çiftinin MIG ile ön ısı ve gerilim giderme ısı işlemleri uygulanmadan kaynaklanan 3. Malzeme çiftine göre daha sünek davrandığı, ön ısı ve gerilim giderme ısı işlemleri uygulanarak CMT yöntemi ile kaynaklanan 4. Malzeme çifti' e göre daha az sünek davrandığı tespit edilmiştir.



### 3.1.2 Çentik darbe testi analizleri

Çentik Darbe Testi, Kiwameyer kuruluşu ile Gedik test merkezlerinde 1. Malzeme çifti, 2. Malzeme çifti, 3. Malzeme çifti ve 4. Malzeme çifti için ayrı ayrı yapılmıştır. Çentik darbe testi, “V” çentik 2mm olarak TS EN ISO 148-1 standardı gereksinimlerine göre yapılmıştır.

Çizelge 3.4 1. Malzeme çifti çentik darbe deneyi

 <b>GEV</b> Gedik Eğitim Vakfı						
ÇENTİK TEST RAPORU / CHARPY TEST REPORT						
Müşteri/Customer	Kiwa Meyer Belgelendirme					
Adres/Address	İstanbul Tuzla O.S.B 9. Cad. No:15, Tepeören Mevkii, 34959 Tepeören Osb/Tuzla/İstanbul					
Rapor Numarası/Report No	GTMCHR18155					
Tarih Date	Numune Geliş/Arrival Date	Test Tarihi/Date of Test		Rapor Tarihi/Date of Report No		
	13.09.2018	14.09.2018		14.09.2018		
Ortam Şartları Atmospheric Conditions	Ortam Sıcak./Ambient Temp.	Basınç/Pressure		Nem Oranı/Humidity Ratio		
	22°C	1029 hPa		62%		
Malzeme Standartı/Material Standart	N/A					
Pandül Anma Enerjisi Nom. Energ. Of Pend.	294,3J					
Çentik Şekli/Type of The Nothc	V Çentik 2mm.					
Test Standartı/Test Standard	TS EN ISO 148-1					
Genişletilmiş Ölçme Belirsizliği %95, k=2 Expanded Meas. Uncertainty %95, k=2	%95 güvenilirlik için "k" değeri 2 alınarak genişletilmiş ölçme belirsizliği hesaplanmıştır.(expanded measurement uncertainty is calculated for %95 reliability assuming k=2)					

Numune Adı Sample Name	Boyutlar Dimensions (mm)		Test Sıcaklığı Test Temp. (°C)	Darbe Enerjisi Impact Enrg. Kp.m (J) ± % 1,15		Darbe Tokluğu Impact Tough. Kp.m/cm2 (J/cm2) ± % 1,62	Açıklamalar Remarks
	Yükseklik Height	Genişlik Width					
Kaynaklı Çentik Numunesi -1	10	7,5	20	58	56 54	70	KAYNAK WELD

Bu belgede yer alan sonuçlar, merkezimize gönderilen ve yukarıda özellikleri verilen numuneye/numunelere aittir. Bu rapor standartlara uygunluk belgesi veya kalite beyan sertifikası yerine kullanılmaz. Kopyalanması ve çoğaltılması ancak merkezimizin yazılı izni ile mümkündür. İmzasız ve mühürlü raporlar geçersizdir.  
The results stated in this document, referred to our center and given the above characteristics of the sample / samples belong. This report is not available to use rather than certificate of quality or certificate of conformity to standards. Reprinting and reproduction, but is possible with the written permission of center. Unsigned and unsealed reports are invalid.

Muayeneyi Yapan Operator  Fatih ÖZTÜRK	Kontrol Eden Inspector	Onaylayan Approving Authority  Mehmet AVAZ
-------------------------------------------------	---------------------------	-----------------------------------------------------

Ankara Cad. No:306 Şeyhli / Pendik – İSTANBUL Tel: 0216 378 79 41 Faks : 0216 378 20 45  
Web : [www.gediktest.com](http://www.gediktest.com) e-mail: [info@gediktest.com](mailto:info@gediktest.com)

R 4006/03

Çizelge 3.5 2. Malzeme çifti çentik darbe deneyi

Müşteri/Customer	KİWA MEYER BELGELENDİRME HİZMETLERİ A.Ş.					
Adres/Adress	İTOSB 9. CAD. NO:15 TEPEÖREN TUZLA İSTANBUL/TÜRKİYE					
Rapor Numarası/Report No	GTMCHR18071					
Tarih Date	Numune Geliş/Arrival Date	Test Tarihi/Date of Test	Rapor Tarihi/Date of Report No			
	08.05.2018	08.05.2018	08.05.2018			
Ortam Şartları Atmospheric Conditions	Ortam Sıcak./Ambient Temp.	Basınc/Pressure	Nem Oranı/Humidity Ratio			
	22°C	1029 hPa	62%			
Malzeme Standartı/Material Standart	N/A					
Pandül Anma Enerjisi Nom. Energ. Of Pend.	294,3J					
Çentik Şekli/Type of The Nothc	V Çentik 2mm.					
Test Standartı/Test Standard	TS EN ISO 148-1					
Geniştirilmiş Ölçme Belirsizliği %95, k=2 Expanded Meas. Uncertainty %95, k=2	%95 güvenirlik için "k" değeri 2 alınarak genişletilmiş ölçme belirsizliği hesaplanmıştır. (expanded measurement uncertainty is calculated for %95 reliability assuming k=2)					
Numune Adı Sample Name	Boyutlar Dimensions (mm)		Test Sıcaklığı Test Temp. (°C)	Darbe Enerjisi Impact Energ. Kp.m (J) ± % 1,15	Darbe Tokluğu Impact Tough. Kp.m/cm2 (J/cm2) ± % 1,62	Açıklamalar Remarks
2 NOLU PARÇA	Yükseklik Height 10	Genişlik Width 7,5	20	68	85	İTAB HAZ


Bu belgede yer alan sonuçlar, merkezimize gönderilen ve yukarıda özellikleri verilen numuneye/numunelere aittir. Bu rapor standartlara uygunluk belgesi veya kalite beyan sertifikası yerine kullanılmaz. Kopyalanması ve çoğaltılması ancak merkezimizin yazılı izni ile mümkündür. İmzasız ve mühürlü raporlar geçersizdir.  
The results stated in this document, referred to our center and given the above characteristics of the sample / samples belong. This report is not available to use rather than certificate of quality or certificate of conformity to standards. Reprinting and reproduction, but is possible with the written permission of center. Unsigned and unsealed reports are invalid.

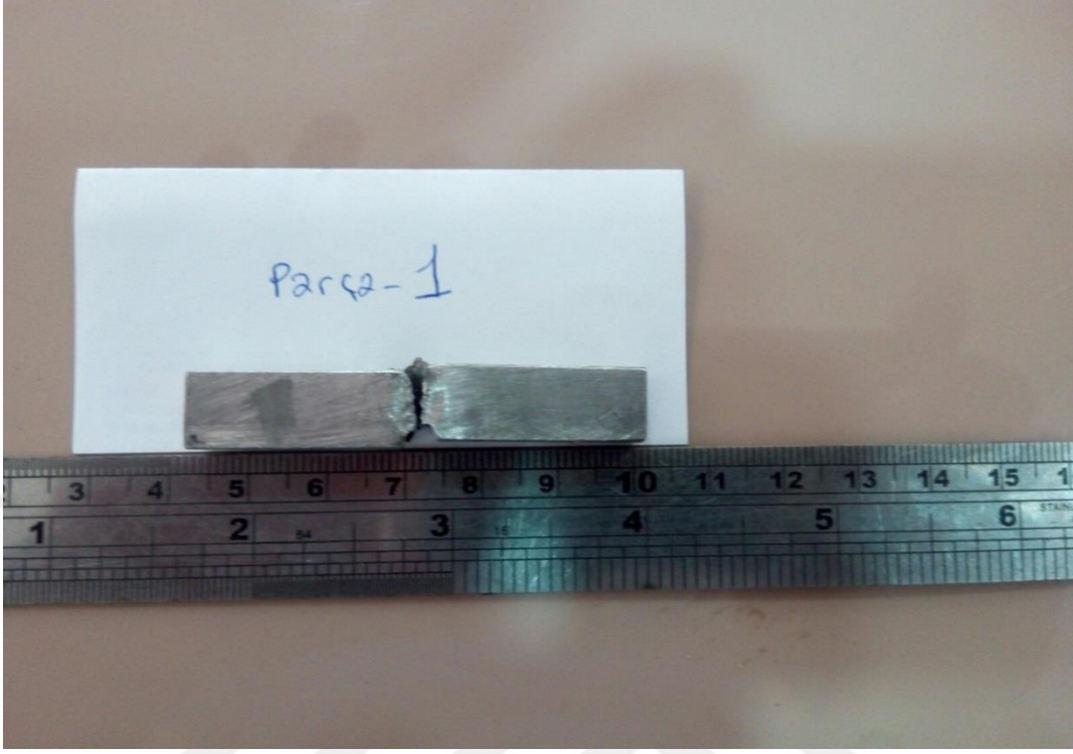
Muayeneyi Yapan Operator Fatih ÖZTÜRK	Kontrol Eden Inspector	Onaylayan Approving Authority Mehmet AVAZ
---------------------------------------------	---------------------------	-------------------------------------------------

Ankara Cad. No:306 Şeyhli / Pendik - İSTANBUL Tel: 0216 378 79 41 Faks : 0216 378 20 45  
Web : www.gediktest.com e-mail: info@gediktest.com

R 4006/03

Çizelge 3.6 3. Malzeme çifti ve 4. Malzeme çifti çentik darbe deneyi

 <b>GEV</b> <small>Gedik Eğitim Vakfı</small>		<b>ÇENTİK TEST RAPORU / CHARPY TEST REPORT</b>				
Müşteri/Customer	KIWA MEYER BELGELENDİRME HİZMETLERİ A.Ş.					
Adres/Address	İTOSB 9. CAD. NO:15 TEPEÖREN TUZLA İSTANBUL/TÜRKİYE					
Rapor Numarası/Report No	GTMCHR18089					
Tarih Date	Numune Geliş/Arrival Date 30.05.2018	Test Tarihi/Date of Test 01.06.2018	Rapor Tarihi/Date of Report No 01.06.2018			
Ortam Şartları Atmospheric Conditions	Ortam Sıcak./Ambient Temp. 22°C	Basınç/Pressure 1029 hPa	Nem Oranı/Humidity Ratio 62%			
Malzeme Standartı/Material Standart	x10CrMoVNb9-1 (P91) - x5CrNi18-10(s304)					
Pandül Anma Enerjisi Nom. Energ. Of Pend.	294,3J					
Çentik Şekli/Type of The Nothc	V Çentik 2mm.					
Test Standardı/Test Standard	TS EN ISO 148-1					
Genişletilmiş Ölçme Belirsizliği %95, k=2 Expanded Meas. Uncertainty %95, k=2	%95 güvenilirlik için "k" değeri 2 alınarak genişletilmiş ölçme belirsizliği hesaplanmıştır. (expanded measurement uncertainty is calculated for %95 reliability assuming k=2)					
Numune Adı Sample Name	Boyutlar Dimensions (mm)		Test Sıcaklığı Test Temp. (°C)	Darbe Enerjisi Impact Enrg. Kp.m (J) ± % 1,15	Darbe Tokluğu Impact Tough. Kp.m/cm2 (J/cm2) ± % 1,62	Açıklamalar Remarks
	Yükseklik Height	Genişlik Width				
3 NUMARA	10	7,5	20	70 70	88	KAYNAK WELD
4 NUMARA	10	7,5	20	72 72	90	KAYNAK WELD



Şekil 3.9: 1. Malzeme çifti çentik darbe deneyi parçası.



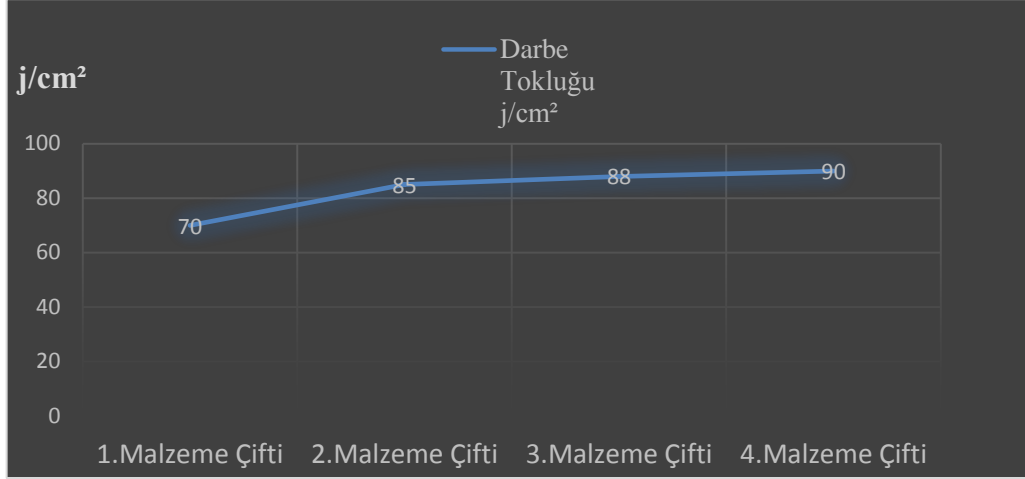
Şekil 3.10: 2. Malzeme çifti çentik darbe deneyi parçası.



Şekil 3.11: 3. Malzeme çifti çentik darbe deneyi parçası.



Şekil 3.12: 4. Malzeme çifti çentik darbe deneyi parçası.



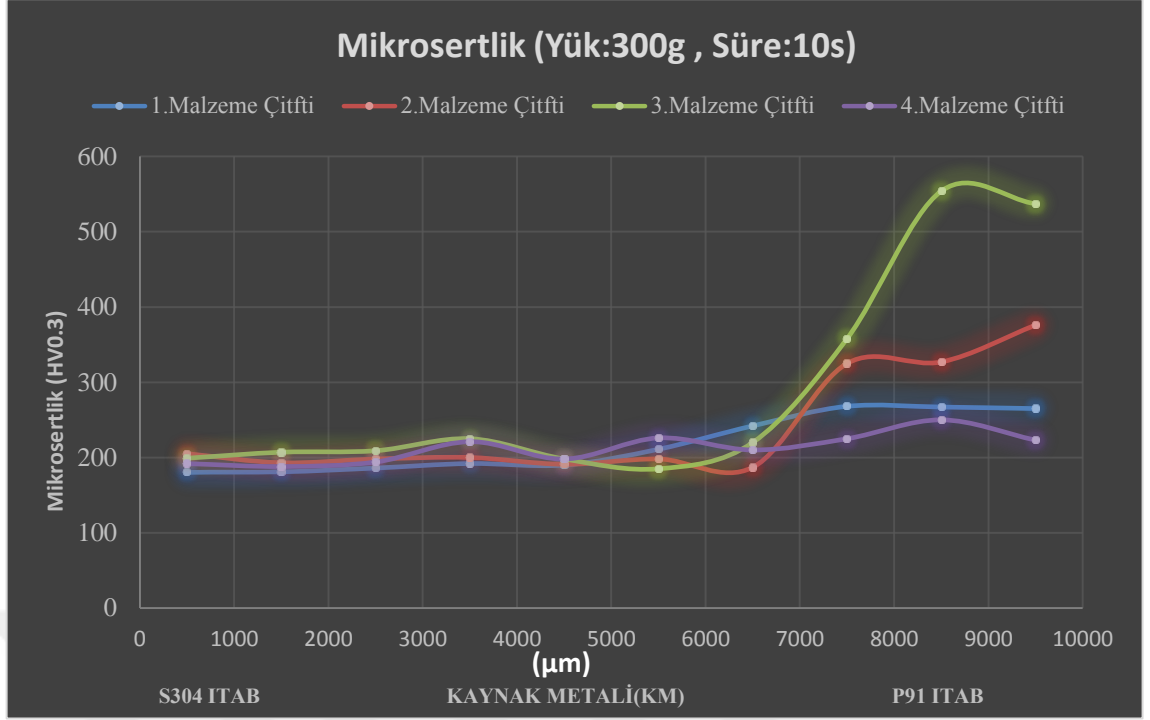
**Şekil 3.13:** 1. Malzeme çifti, 2. Malzeme çifti, 3. Malzeme çifti, ve 4. Malzeme çiftinin çentik darbe tokluğunun karşılaştırılması.

Şekil 3.13’de görüldüğü gibi ön ısı ve gerilim giderme ısıl işlemi uygulanarak CMTprosesi ile kaynak edilen 4. Malzeme çiftinin darbe tokluğu, ön ısı ve gerilim giderme ısıl işlemi uygulanmadan CMT ve MIG ile kaynak edilen sırasıyla 2. ve 3. Malzeme çiftlerinden daha iyi olduğu ve ön ısı ve gerilim giderme ısıl işlemi Uygulanarak MIG yöntemi ile kaynak edilen 1. Malzeme çiftinden daha yüksek darbe enerjisi sağladığı tespit edilmiştir.

### 3.1.3 Mikrosertlik ölçümü analizleri

Mikrosertlik Testi, Erciyes üniversitesi taum test merkezinde 1. Malzeme çifti, 2. Malzeme çifti, 3. Malzeme çifti ve 4. Malzeme çifti için ayrı ayrı yapılmıştır.

1. Malzeme çiftinin P91 malzemesi ısı tesiri altında kalan bölge (ITAB)’deki mikrosertlik değeri, 3. Malzeme çiftinin aynı bölgesinden daha düşük olduğu, 4. Malzeme çiftinin aynı bölgesinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. 2. Malzeme çiftinin P91 malzemesi ısı tesiri altında kalan bölge (ITAB)’deki mikrosertlik değeri, 3. Malzeme çiftinin aynı bölgesinden daha düşük olduğu, 4. Malzeme çiftinin aynı bölgesinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.


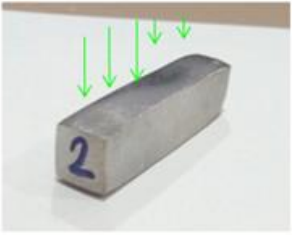

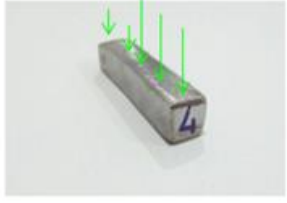


**Şekil 3.14:** 1. Malzeme çifti, 2. Malzeme çifti, 3. Malzeme çifti, ve 4. Malzeme çiftinin mikrosertlik değerlerinin karşılaştırılması

### 3.2 Malzeme İyapı (Mikroyapı) Analizleri

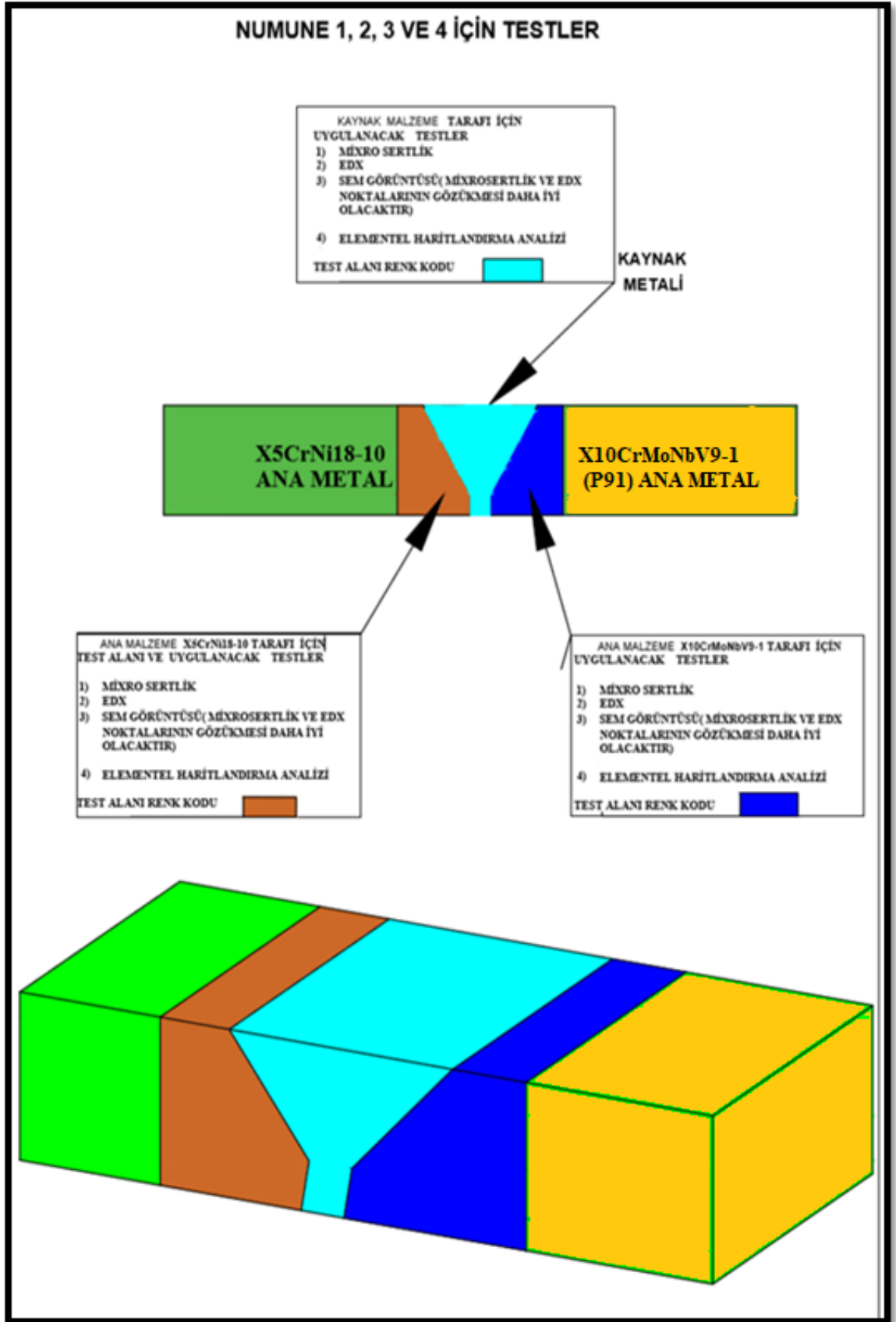
1. Malzeme çifti, 2. Malzeme çifti, 3. Malzeme çifti ve 4. Malzeme çiftinin kaynakla birleştirilmesinden sonra mikroyapı ile ilgili değerlendirme yapı bilmek için mikroyapı analizleri uygulanmıştır. Mikroyapı analizleri Erciyes üniversitesi Taum Test merkezinde gerçekleştirilmiştir. Uygulanan testler ve test bölgeleri Çizelge 3.7 ve Çizelge 3.8'de verilmiştir.

**Çizelge 3.7** Kaynaklı parçalara uygulanan iç yapı analiz listesi

X10CrMoNbV9-1(P91)-X5CrNi18-10(S304) KAYNAKLA BİRLEŞTİRİLMİŞ MALZEMELERE UYGULANACAK TESTLER							
Parça No	Malzeme özellikleri		SEM Görüntüleme	SEM-EDX	SEM MAPPING Elementel Haritalama	Optik mikroskop görüntüleme	Malzeme Test Bölgesi
1	Malzeme	X10CrMoNbV9-1 -X5CrNi18-10	✓	✓	✓	✓	
	Dolgu Teli	S310					
	Kaynak Sonrası Isıl İşlem	730°C de 90 dk					
2	Malzeme	X10CrMoNbV9-1 -X5CrNi18-10	✓	✓	✓	✓	
	Dolgu Teli	S310					
	Kaynak Sonrası Isıl İşlem	Yoktur					
3	Malzeme	X10CrMoNbV9-1 -X5CrNi18-10	✓	✓	✓	✓	
	Dolgu Teli	S310					
	Kaynak Sonrası Isıl İşlem	Yoktur					
4	Malzeme	X10CrMoNbV9-1 -X5CrNi18-10	✓	✓	✓	✓	
	Dolgu Teli	S310					
	Kaynak Sonrası Isıl İşlem	715°C de 90 dk					



Çizelge 3.8 Kaynaklı malzemelerin iç yapı analizi haritası

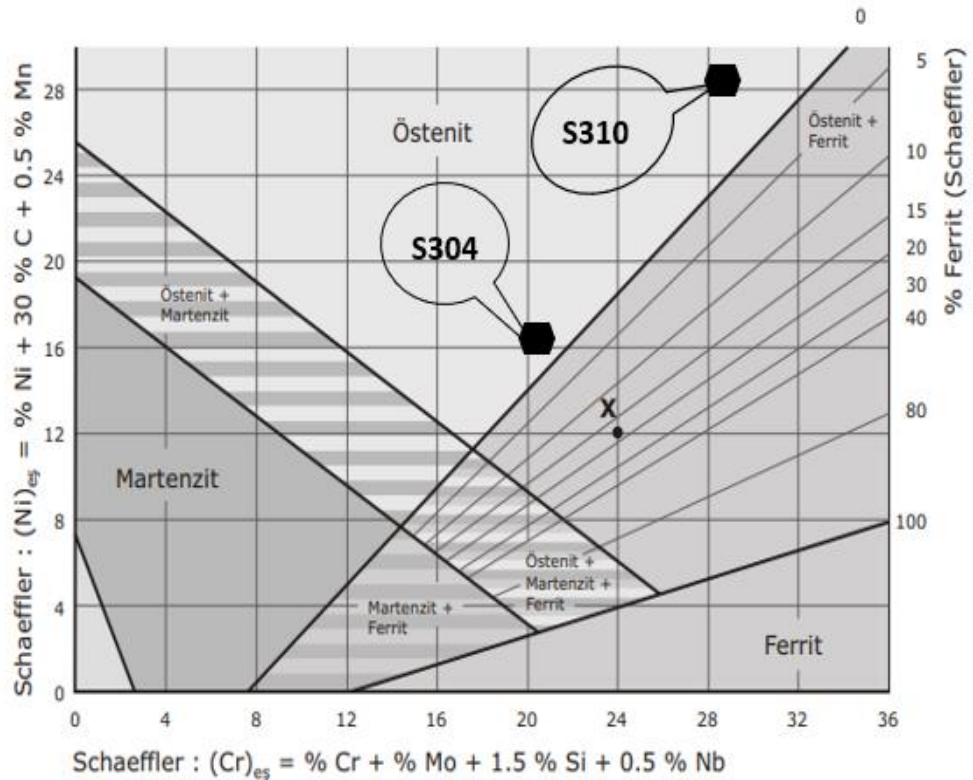


### 3.2.1 Kaynakla birleştirilen malzeme çiftinin mikroyapı analizleri

X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesi ile X5CrNi18-10 (S304) malzemesinin X8CrNi25-21(S310) kaynak dolgu metali kullanılarak kaynak edilmiştir. Kaynak yapma işlemi soğuk metal transfer kaynağı ve MIG yöntemi ile yapılmıştır. Ergitme kaynak yönteminde kaynatılacak ara yüzeylerin dolgu malzemesi ile ark oluşturarak ergime sıcaklığına yükselmesi ve kaynak metalinin ana malzeme içerisinde hızlı katılaşması ile gerçekleşmektedir.

Ergime ve katılaşma sırasında ana metalin ve kaynak metalinin mikroyapısında meydana gelebilecek fazları tespit edebilmek ve mikroyapısını değerlendirebilmek için kaynak metali ve ana metallerin paslanmaz malzeme tipini belirlenmiştir. Paslanmaz malzemelerin kendi içinde hangi grupta olduğu Schaeffler diyagramından Ni ve Cr eşdeğerliğine göre tespit edilmiştir.

Kaynak dolgu malzemesinin ve Kaynak yapılan malzeme çiftinin Schaeffler diyagramı yardımıyla paslanmaz malzeme tipinin belirlenmesi:



**Şekil 3.15:** Schaeffler diyagramında S304 ana metal ile S310 kaynak metalinin bölgesi [10]

$$\text{Karbon Eşdeğerliği } C_{eş} = \% C + \% Mn/6 + \% Si/24 + \% Ni/40 + \% Cr/5 + \% Mo/4 \quad [ 3.1 ]$$

$$\text{Karbon Eşdeğerliği } C_{eş} = \%C + (\%Si + \%P) /3 \quad [ 3.2 ]$$

$$\text{Krom Eşdeğerliği } Cr_{eş} = \% Cr + \% Mo + 1.5\% Si + 0.5\% Nb \quad [ 3.3 ]$$

$$\text{Nikel Eşdeğerliği } Ni_{eş} = \% Ni + 30 \% C + 30\% N + 0.5\% Mn \quad [ 3.4 ]$$

a) Kaynak yapılan malzeme çiftinden X5CrNi18-10 (S304) paslanmaz malzemesinin kimyasal kompozisyonuna göre  $Cr_{eş}$ ,  $Ni_{eş}$  ve  $C_{eş}$  değerliklerinin hesaplanması:

**Çizelge 3.9** X5CrNi18-10 (S304) malzemesinin kimyasal kompozisyonu [60]

S304	Kimyasal bileşim, (% ağı.)							
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	N
Min.	—	—	—	—	—	18	8	—
Maks.	0.08	2	0.75	0.045	0.03	20	10.5	0.1

$$Cr_{eş} = \% Cr + \% Mo + 1.5\% Si + 0.5\% Nb = 20 + 1.12 = 21.12$$

$$Ni_{eş} = \% Ni + 30 \% C + 30\% N + 0.5\% Mn = 10.5 + 2.4 + 3 + 1 = 16.9$$

$$C_{eş} = \%C + (\%Si + \%P) /3 = 0.08 + 0.265 = 0.345$$

X5CrNi18-10 (S304) malzemesinin  $Cr_{eş} = 21.12$  ve  $Ni_{eş} = 16,9$  olarak hesaplanmıştır. Schaeffler diyagramından faydalanarak, bu malzemenin krom ve nikel eşdeğerliklerine göre östenitik paslanmaz çelik olduğu tespit edilmiştir.

b) X8CrNi25-21(S310) Kaynak dolgu malzemesinin kimyasal kompozisyonuna göre  $Cr_{eş}$ ,  $Ni_{eş}$  ve  $C_{eş}$  değerliklerinin hesaplanması:

**Çizelge 3.10** X8CrNi25-21(S310) malzemesinin kimyasal kompozisyonu [60].

Kaynak dolgu malzemesi (KM) S310	Kimyasal bileşim, % ağı.							
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	N
Min.	—	—	—	—	—	24	19	—
Maks.	0.1	2	1.5	0.045	0.015	26	22	0.11

$$Cr_{eş} = \% Cr + \% Mo + 1.5\% Si + 0.5\% Nb = 26 + 2.25 = 28.25$$

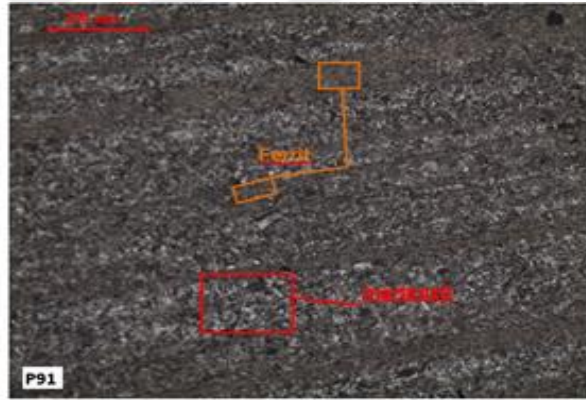
$$Ni_{eş} = \% Ni + 30 \% C + 30\% N + 0.5\% Mn = 22 + 3 + 3.3 + 1 = 29.3$$

$$C_{eş} = \%C + (\%Si + \%P)/3 = 0.1 + 0.515 = 0.615$$

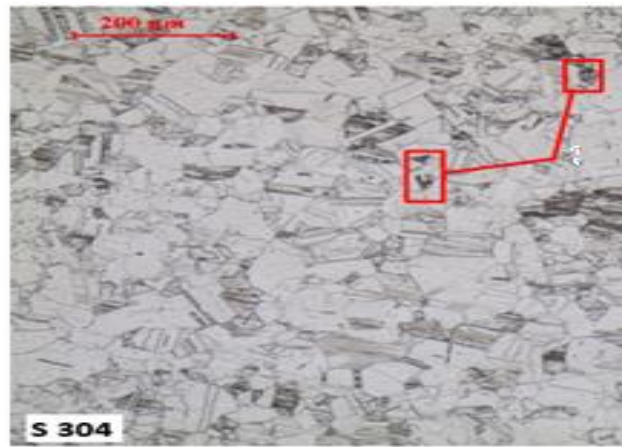
X8CrNi25-21(S310) Kaynak dolgu malzemesinin  $Cr_{eş} = 28.25$  ve  $Ni_{eş} = 29.3$  olarak hesaplanmıştır. Schaeffler diyagramından faydalanarak, Bu kaynak dolgu malzemenin krom ve nikel eşdeğerliklerine göre östenitik paslanmaz çelik olduğu tespit edilmiştir.

$C_{eş}$ ,  $Ni_{eş}$  ve  $Cr_{eş}$  eşdeğerlikleri, kaynak dolgu malzemesi seçimi, katılaşma sırasında mikroyapıda meydana gelebilecek fazların belirlenmesi ve kaynak edilebilirlik hakkında yardımcı olmuştur.

### 3.2.2 Kaynak yapma öncesi mikroyapı incelemesi



(a)



(b)

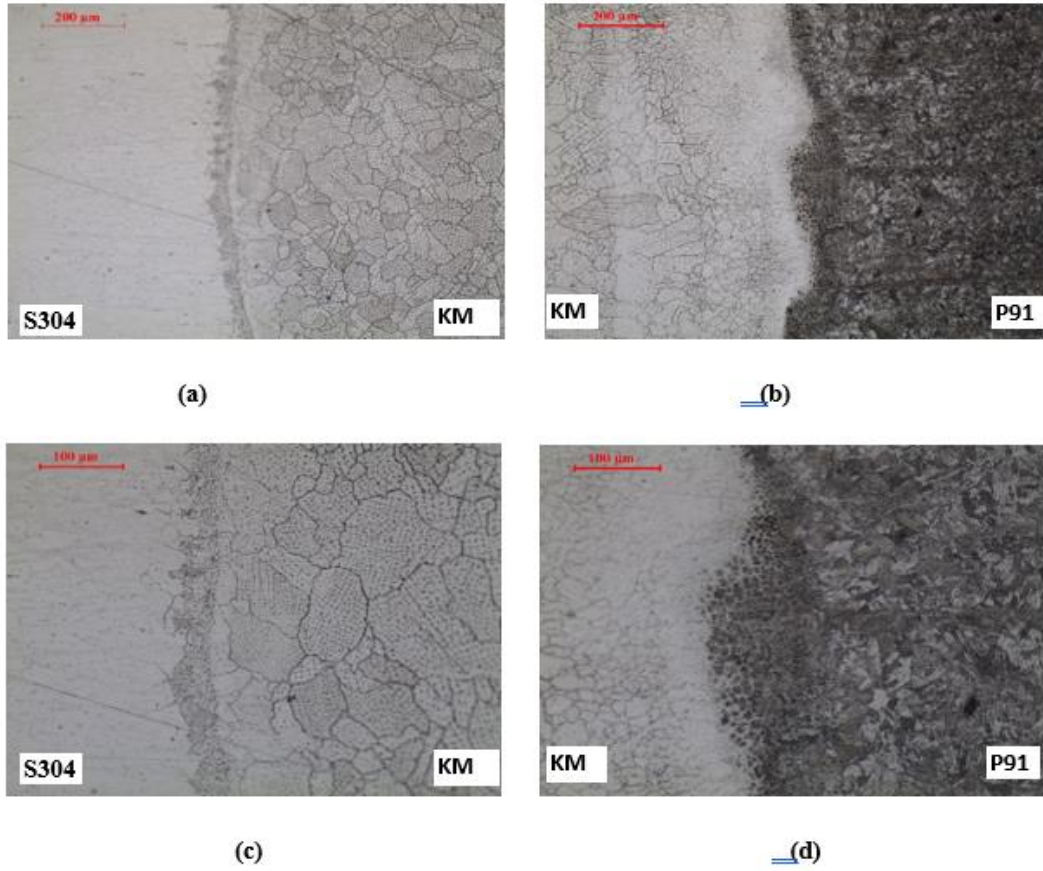
**Şekil 3.16:** Kaynak öncesi ana malzemenin optik görüntüsü.

(a) X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesi ferritik matriste ince dağılmış martenzit yapı.

(b) X5CrNi18-10 (S304) malzemesi östenitik matris.

### 3.3 Kaynaklı Birleştirmelerin Mikroyapısından Alınan Optik Mikroskop, SEM Elementel Haritalama ve EDS Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

#### 3.3.1 CMT kaynağı sonrası 4. Malzeme çiftinin optik mikroskop görüntülerinin değerlendirilmesi



**Şekil 3.17:** 4. Malzeme çiftinin CMT kaynağı sonrası optik görüntüsü.

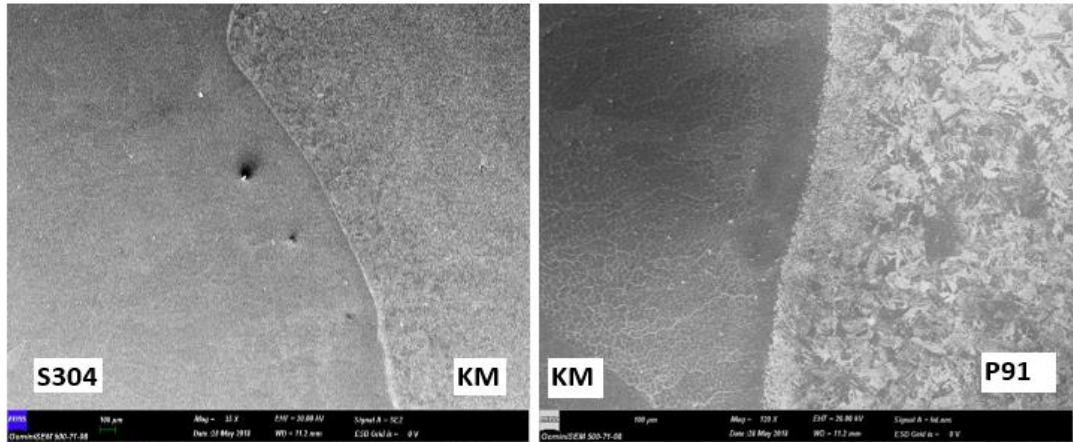
CMT kaynağı öncesi ön ısıtma ve CMT kaynağı sonrası gerilim giderme ısıtma işlemleri uygulanmıştır.

(a) ve (c)' de X5CrNi18-10 (S304) malzemesinin kaynak bölgesi, kaynak – ana metal ara yüzeyi ve ITAB bölgesi görünmektedir. Kaynak metalinin östenitik paslanmaz çelik olmasına rağmen mikroyapıda östenit yapısının içinde delta-ferrit görünmektedir. Kaynak metalindeki taneler, arayüzeyden itibaren irileşmektedir. Kaynak – Ana

metal Ara yüzeyinde tanesınırlarında karbürler görünmektedir. ITAB ince taneli östenitikyapı görünmektedir.

(b) ve (d)' de X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesinin kaynak bölgesi, kaynak – ana metal ara yüzeyi ve ITAB bölgesi görünmektedir. ITAB bölgesinde ignemsi martenzitik, beynitik ve ferritik yapı görünmektedir. Arayüzey’de  $\delta$ -ferritin katılma sırasında tane boyutunu sınırlayarak kaynak – ana metal ara yüzeyin de ince taneli bir yapı görünmektedir. Aynı zamanda arayüzeyde ignemsi martenzitik yapı daha yoğun görünmektedir. Kaynak metalinde ince taneli östenitikyapı içerisinde yoğunluğu azalmış  $\delta$ -ferrit gözlemlenmektedir. Kaynak metaline tane yapısı X5CrNi18-10 (S304) tarafındaki kaynak metaline göre daha ince olduğu anlaşılmaktadır. Bunun nedeni X10CrMoVNb9-1 (P91) den kaynak metaline yayılan Nb'nin tane sınırlarında karbür oluşturarak tane büyümesini yavaşlatmış olması ihtimaldir.

### 3.3.2 CMT Kaynağı sonrası 4. Malzeme çiftinin taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntülerinin değerlendirilmesi



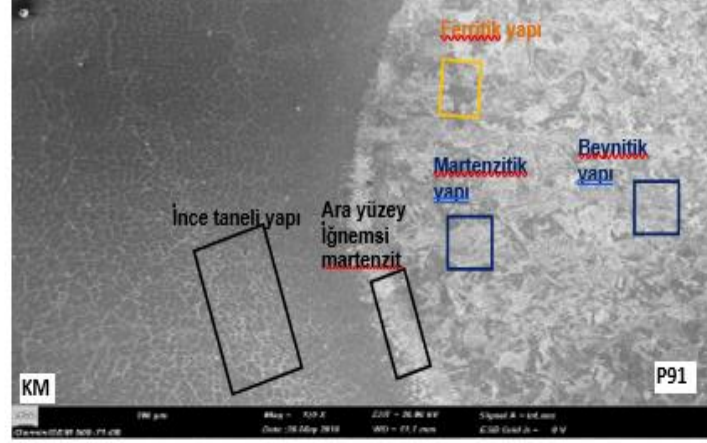
(a)

(b)

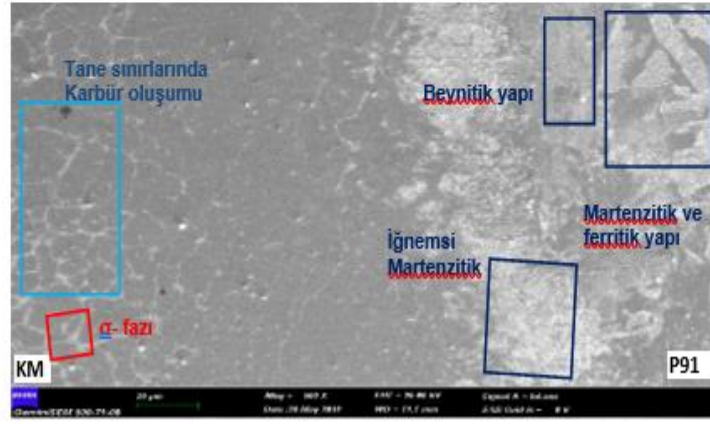
**Şekil 3.18:** 4. Malzeme çiftinin CMT kaynağı sonrası S304 ve P91 ana metali ve kaynak metalinin SEM görüntüsü.

(a)'da X5CrNi18-10 (S304) malzemesinin kaynak bölgesi, kaynak – ana metal ara yüzeyi ve ITAB bölgesi.

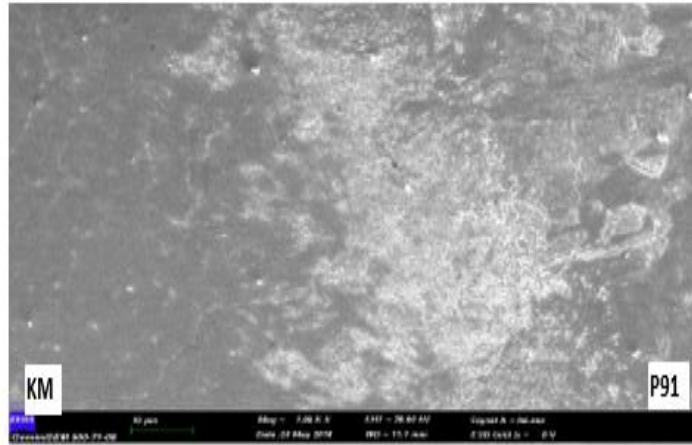
(b)'de X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesinin kaynak bölgesi, kaynak – ana metal ara yüzeyi ve ITAB bölgesi.



(a)



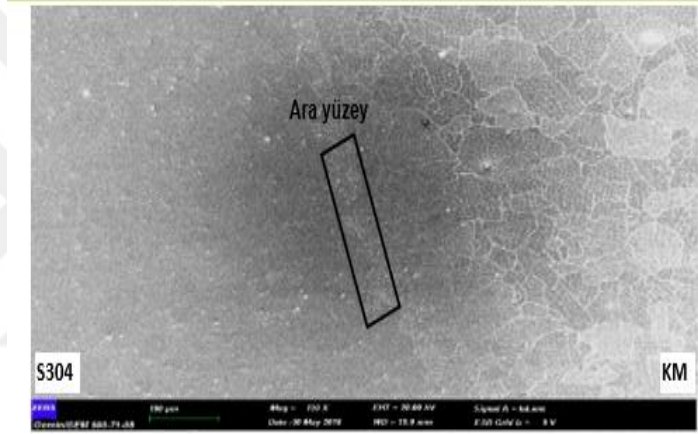
(b)



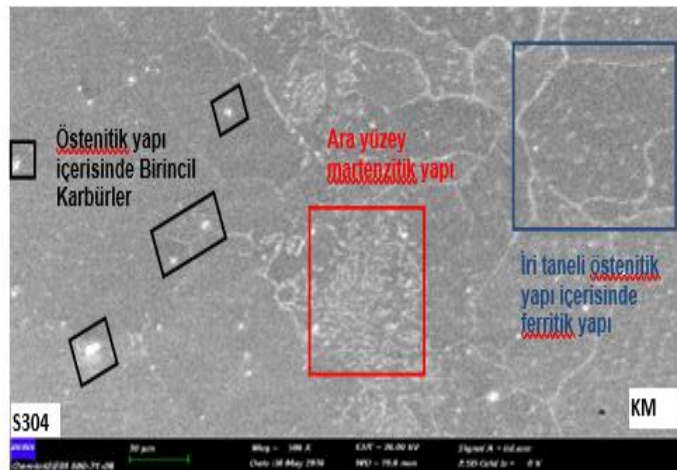
(c)

Şekil 3.19: 4. Malzeme çiftinin CMT kaynak sonrası P91 tarafı ana metali ve kaynak metali sem görüntüsü.

(a), (b), (c)'de X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesinin kaynak bölgesi, kaynak – ana metal ara yüzeyi ve ITAB bölgesi görünmektedir. İgnemsi martenzit kaynak metali – anametal ara yüzeyinden başlayarak anametalde doğru kabalaşır. Soguk metal kaynağı (CMT) ısı girdisi düşük olduğundan katılaşma hızlı olacak ve ignemsi martenzitik ilk katılaşmadan itibaren başlayacaktır. ITAB bölgesinde martenzitik, beynitik ve ferritik yapı beraber bulunmaktadır. Kaynak sonrası gerilim giderme ısıl işlemi uygulandığından dolayı martenzitin bir kısmı beynite dönüşmüştür. Kaynak metalinde tanesinirlerinde karbürler yer alarak tanelerin büyümesini durdurmuştur. Sigma fazının oluşumu oldukça azdır. Bunun nedeni soguk metal transfer kaynağı ısı girdisi düşük ve hızlı kaynak olduğundan malzemeler yüksek sıcaklığa çok uzun süre maruz kalmadan hızlı bir geçiş sağlamış olmasındandır.

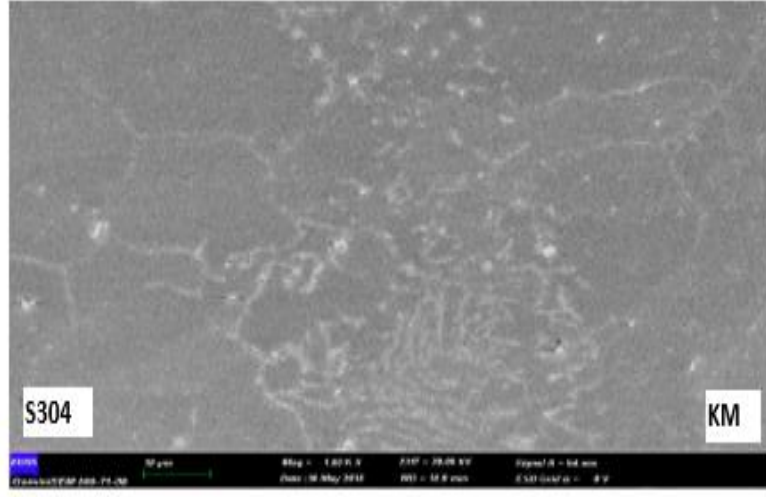


(a)



(b)





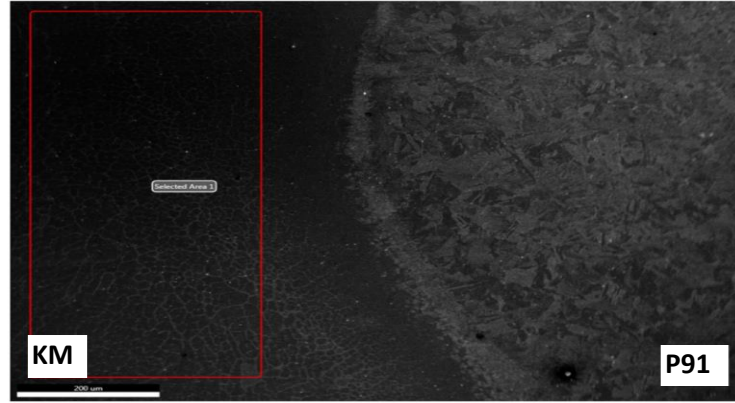
(c)

**Şekil 3.20:** 4. Malzeme çiftinin CMT kaynak sonrası S304 tarafı ana metali ve kaynak metali sem görüntüsü.

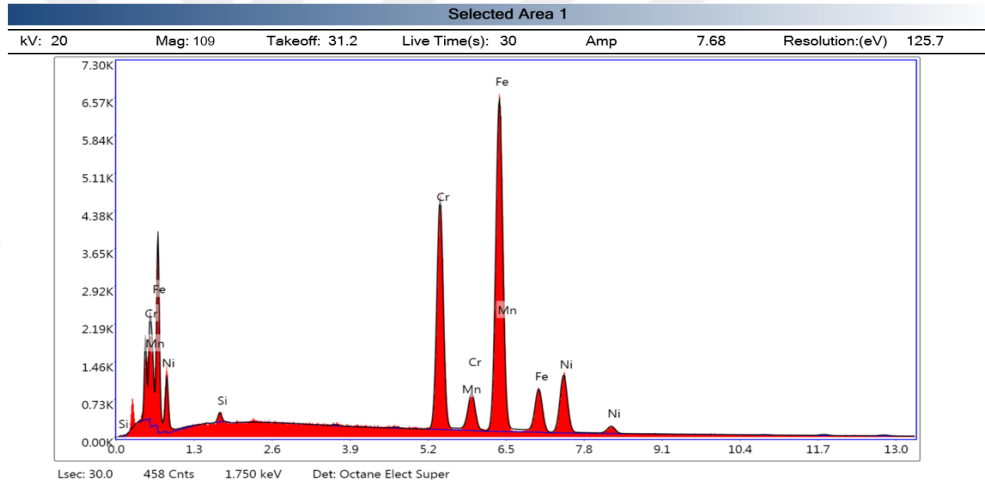
(a), (b), (c)'de X5CrNi18-10 (S304) malzemesinin kaynak bölgesi, kaynak – ana metal ara yüzeyi ve ITAB bölgesi görünmektedir.

X5CrNi18-10 (S304) ana metali ve kaynak metali ara yüzeyinde iğnemi martenzitik yapı ve birincil karbürler görünmektedir. Ana metalin östenitik yapısındaki tanelerin içerisinde ve tane sınırlarında karbürler yer almaktadır. Kaynak metali iri östenitik tanelerin içerisinde  $\delta$ -ferritik yapılar gözlemlenmektedir. Ana metalden kaynak metaline difüze olan karbür yapıcı elementler yeterli olmadığından dolayı taneler irileşmiş olması ihtimaldir.

### 3.3.3 CMT Kaynağı sonrası 4. Malzeme çiftinin (EDS) analizlerinin değerlendirilmesi



Şekil 3.21: 4. Malzeme çifti X10CrMoVNb9-1 (P91) malzeme tarafı kaynak metalinin EDS analizini gösteren SEM.

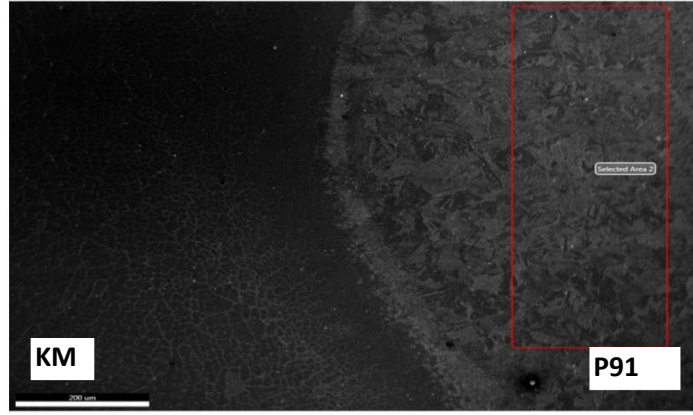


Şekil 3.22: 4. Malzeme çifti X10CrMoVNb9-1 (P91) malzeme tarafı kaynak metalinin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS grafiği.

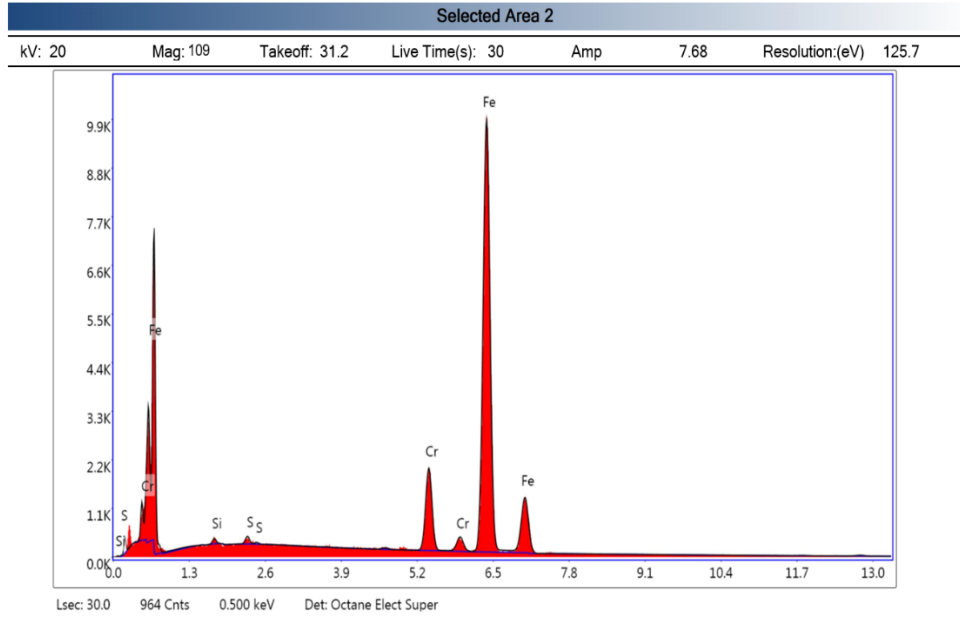
Çizelge 3.11 4. Malzeme çifti X10CrMoVNb9-1 (P91) malzeme tarafı kaynak metalinin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS grafiği.

#### eZAF Smart Quant Results

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.
SiK	0.54	1.06	52.13
CrK	26.3	27.75	1984.78
MnK	0.95	0.95	61.88
FeK	57.54	56.53	3105.38
NiK	14.67	13.71	582.02



**Şekil 3.23:** 4. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesinin EDS analizini gösteren SEM.

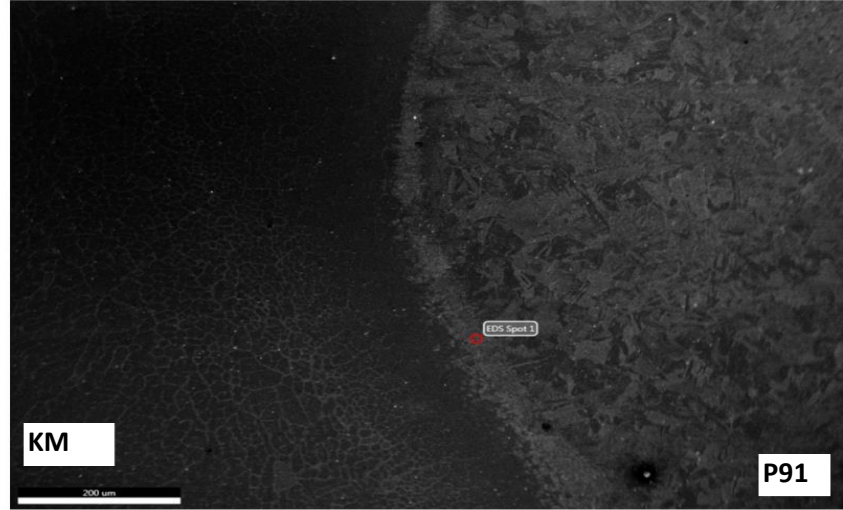


**Şekil 3.24:** 4. Malzeme çifti ün X10CrMoVNB9-1 (P91) malzemesinin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS grafiği.

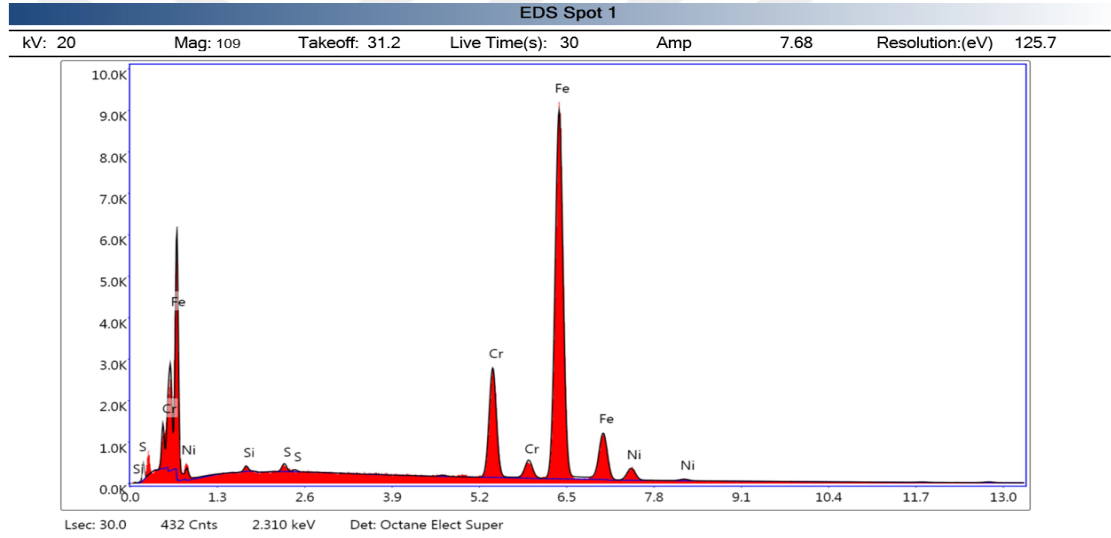
**Çizelge 3.12** 4. Malzeme çifti ün X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesinin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS.

### eZAF Smart Quant Results

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.
SiK	0.35	0.68	32.41
S K	0.47	0.8	51.59
CrK	10.9	11.54	824.24
FeK	88.28	86.98	4682.65



**Şekil 3.25:** 4. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) – KM'nin ara yüzeyinin EDS analizini gösteren SEM.



**Şekil 3.26:** 4. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) – KM'nin ara yüzeyinin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS grafiği.

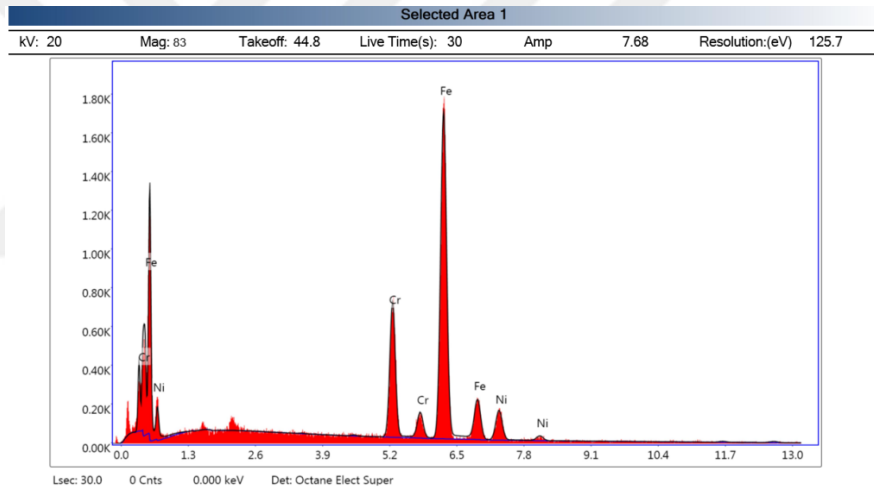
**Çizelge 3.13** 4. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) – KM'nin ara yüzeyinin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS.

### eZAF Smart Quant Results

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.
SiK	0.37	0.73	35.24
S K	0.51	0.87	57.25
CrK	15.45	16.31	1174.59
FeK	79.79	78.46	4287.59
NiK	3.88	3.63	149.3



**Şekil 3.27:** 4. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) malzemesinin EDS analizini gösteren SEM.

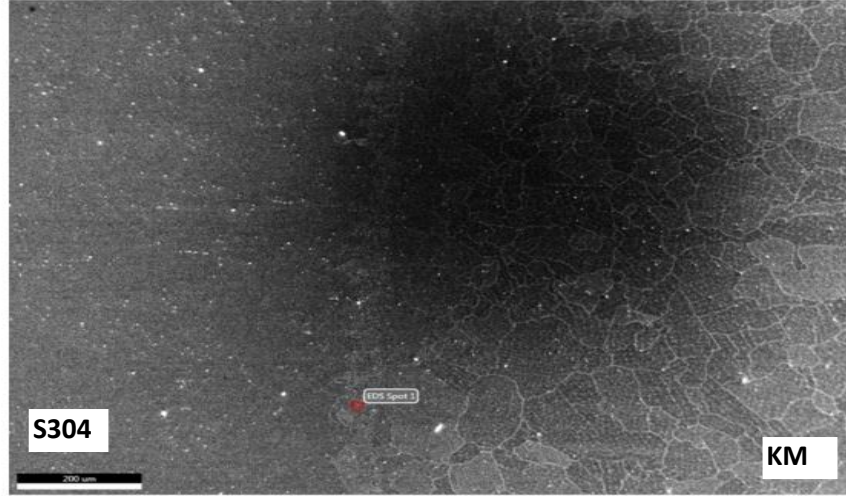


**Şekil 3.28:** 4. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) malzemesinin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS grafiği.

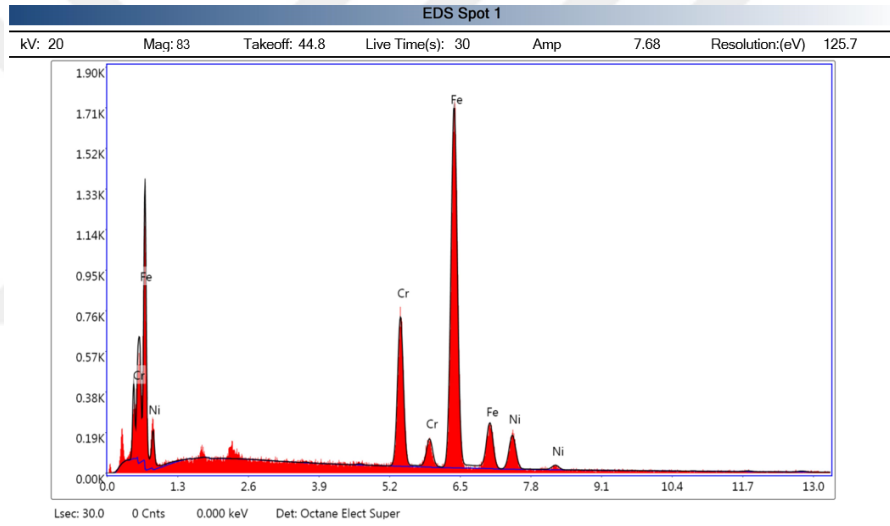
**Çizelge 3.14** 4. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) malzemesinin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS.

### eZAF Smart Quant Results

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.
CrK	19.39	20.63	317.23
FeK	71.19	70.5	832.61
NiK	9.41	8.87	81.03



Şekil 3.29: 4. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) – KM'nin ara yüzeyinin EDS analizini gösteren SEM.

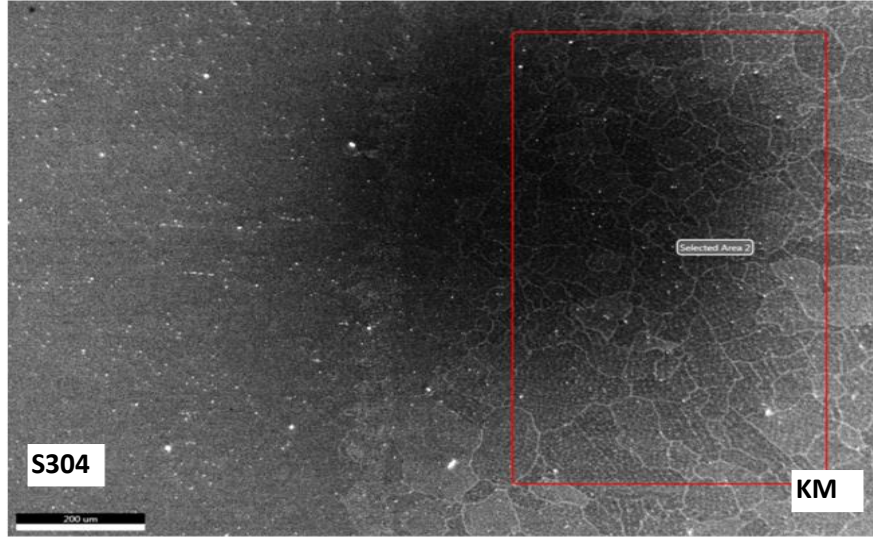


Şekil 3.30: 4. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) – KM'nin ara yüzeyinin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS grafiği.

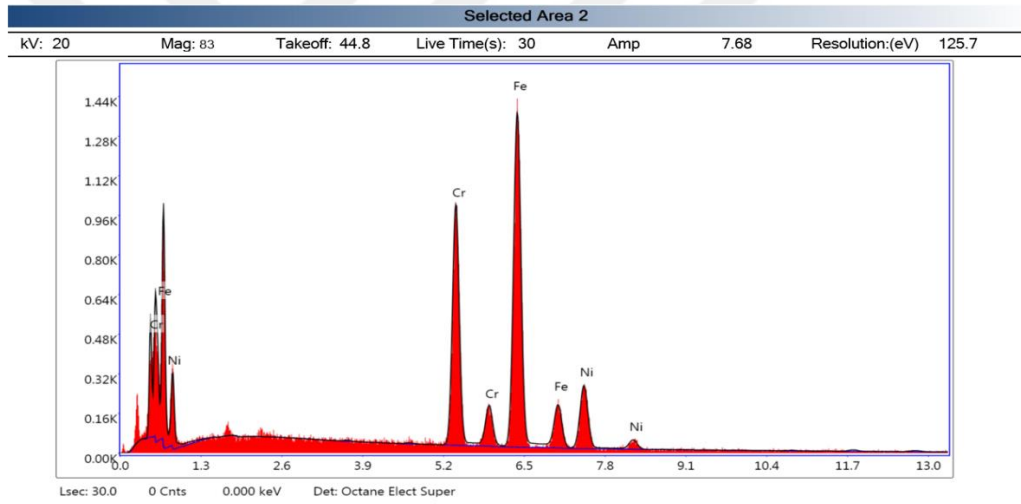
Çizelge 3.15 4. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) – KM'nin ara yüzeyinin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS.

### eZAF Smart Quant Results

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.
CrK	19.37	20.61	315.11
FeK	70.9	70.22	824.76
NiK	9.73	9.17	83.3



**Şekil 3.31:** 4. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) malzeme tarafı kaynak metalinin EDS analizini gösteren SEM.



**Şekil 3.32:** 4. Malzeme çifti X5CrNi18-10 (S304) malzeme tarafı kaynak metalinin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS grafiği.

**Çizelge 3.16** 4. Malzeme çifti X5CrNi18-10 (S304) malzeme tarafı kaynak metalinin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS.

### eZAF Smart Quant Results

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.
CrK	27.4	29.06	445.32
FeK	57.12	56.4	669.77
NiK	15.48	14.54	135.3

4. Malzeme çiftinin soğuk metal transfer kaynağı ile kaynak yapıldıktan sonra 4. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesi, X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesi tarafı kaynak metali (KM), X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesi- kaynak metali (KM) ara yüzeyi, X5CrNi18-10 (S304) malzemesi, X5CrNi18-10 (S304) malzemesi tarafı kaynak metali (KM) ve X5CrNi18-10 (S304) malzeme- kaynak metali (KM) ara yüzeyinden EDS analizi yapılmıştır.

Kaynak metalinin ısı tesiri altında (ITAB) kalan X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesinden alınan EDS grafiğinin sonuçlarına göre Cr, Si ve S elementlerinin kimyasal kompozisyonundaki yüzdeleri artığı görülmüştür. Bu elementler kaynak havuzundan ana metale doğru difüze olmuştur. Ana metalin (ITAB) bölgesinde artan bu elementler  $Cr_{eş}$  ve  $Cr_{eş}$  eşdeğerliklerine artıracak malzemede sert ve kırılğan yapı olan martenzit oluşumunu artırmıştır.

X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesi tarafı kaynak metali (KM) malzemesinden alınan EDS analizine göre Ni, Mn, Si elementlerini kimyasal kompozisyonundaki yüzdelerin azaldığı görülmüştür. Azalan elementler X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesi – KM metali ara yüzeyine difüze olmuşlardır.

X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesi – KM metali ara yüzeyinden alınan EDS analizinin sonuçlarına göre  $Cr_{eş}$  ve  $Ni_{eş}$  değerlikleri hesaplanmıştır.  $Cr_{eş}$ : 15.50 ve  $Ni_{eş}$ : 6,7 olarak bulunmuştur.  $Cr_{eş}$  ve  $Ni_{eş}$  göre scheffler diyagramından faydalanılarak, ara yüzeyin martenzitik bir yapı olduğu söylenebilir.

Kaynak metalinin ısı tesiri altında kalan X5CrNi18-10 (S304) malzemesinden alınan EDS grafiğinin sonuçlarına göre Cr ve Ni miktarı ana metaldeki yüzdelerini korumuştur.

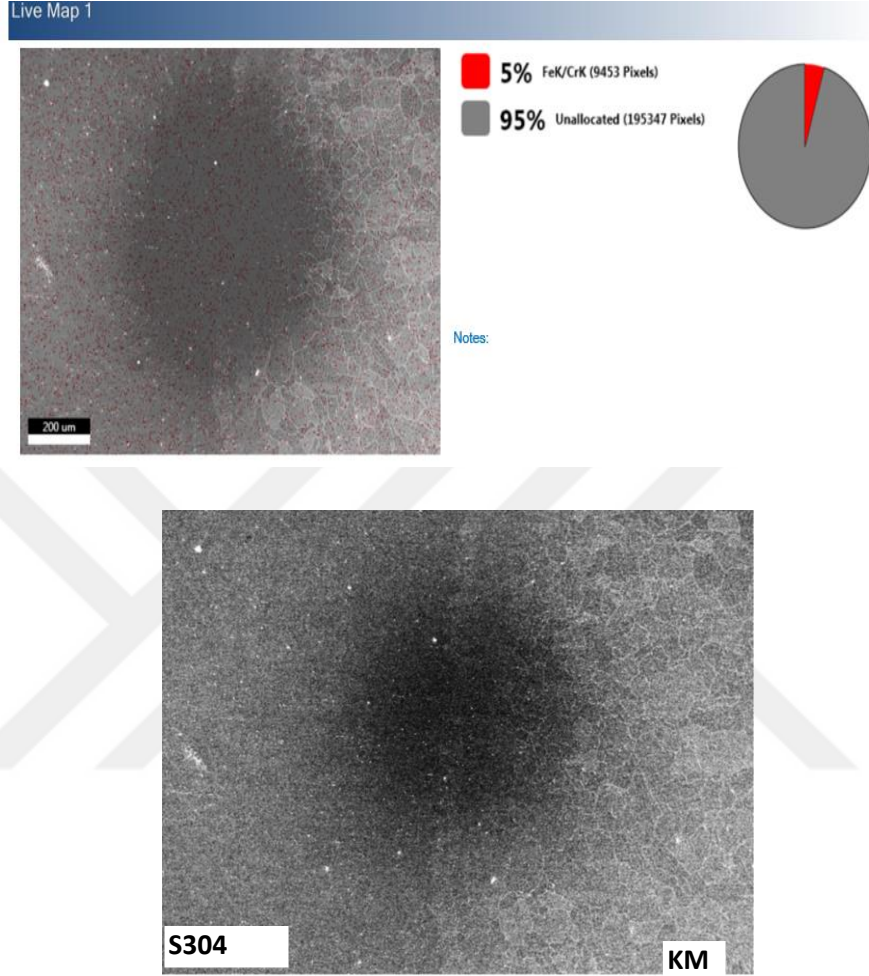
X5CrNi18-10 (S304) malzemesi tarafı kaynak metali (KM) malzemesinden alınan EDS analizine göre Ni miktarı %4 -6 oranında azalmıştır. Ni kaynak metalinden X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesine doğru difüze olmuştur. Östenit yapıcı olan Ni elementi X10CrMoVNb9-1 (P91) – KM ara yüzeyine kadar mikroyapıda östenitik yapıyı korumuştur.

X5CrNi18-10 (S304) malzemesi – KM metali ara yüzeyinden alınan EDS analizinin sonuçlarına göre Ni ve Cr miktarı ana metalin kimyasal kompozisyonundaki oranına daha yakındır. KM'den Ni ve Cr oranını artıracak bir difüzyon olmamıştır.

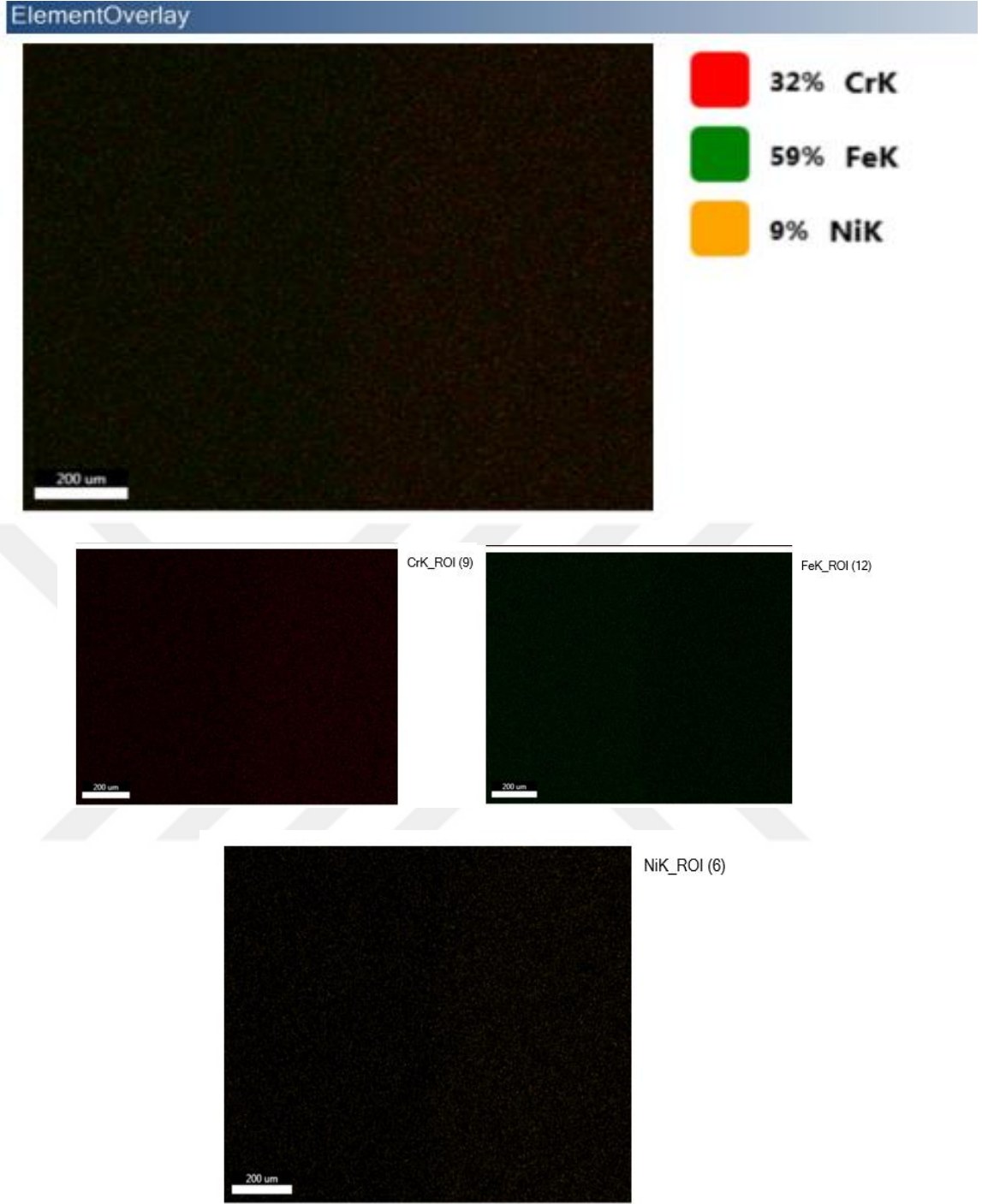


### 3.3.4 CMT Kaynağı sonrası 4. Malzeme çiftinin EDS elementel haritalanması

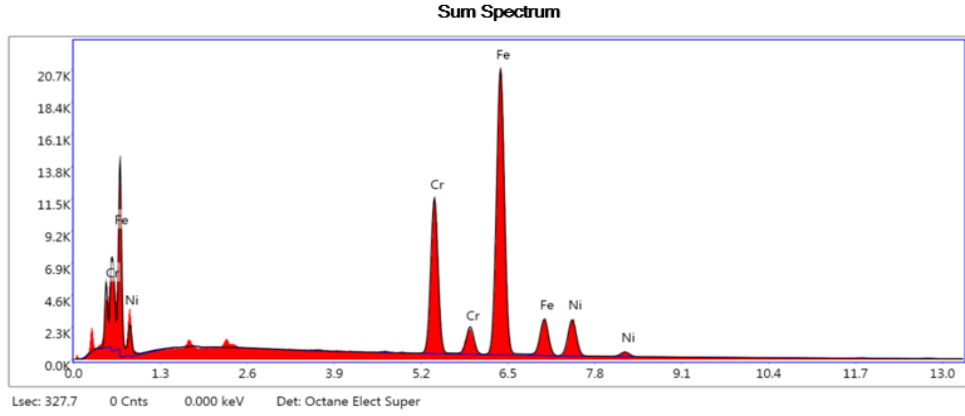
a) 4. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) – KM'nin elementel haritalaması sonuçları:



**Şekil 3.33:** 4. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) – KM'nin elementel haritalamasını gösteren SEM.



**Şekil 3.34:** 4. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) ana metali ile KM'nin elementel haritalanması.

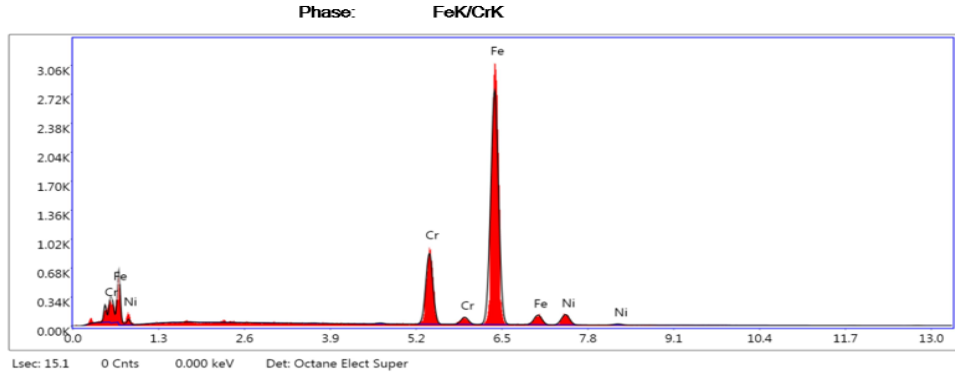


**Şekil 3.35:** 4. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) ile KM'nin toplam EDS grafiği.

**Çizelge 3.17** 4. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) ile KM'nin toplam EDS.

**eZAF Smart Quant Results**

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Error %	Kratio	Z	A	F
CrK	23.32	24.77	447.70	2.09	0.2491	1.0004	0.9916	1.0765
FeK	64.72	63.99	892.20	2.02	0.6314	0.9977	0.9641	1.0142
NiK	11.95	11.24	122.00	3.45	0.1112	1.0109	0.9156	1.0054



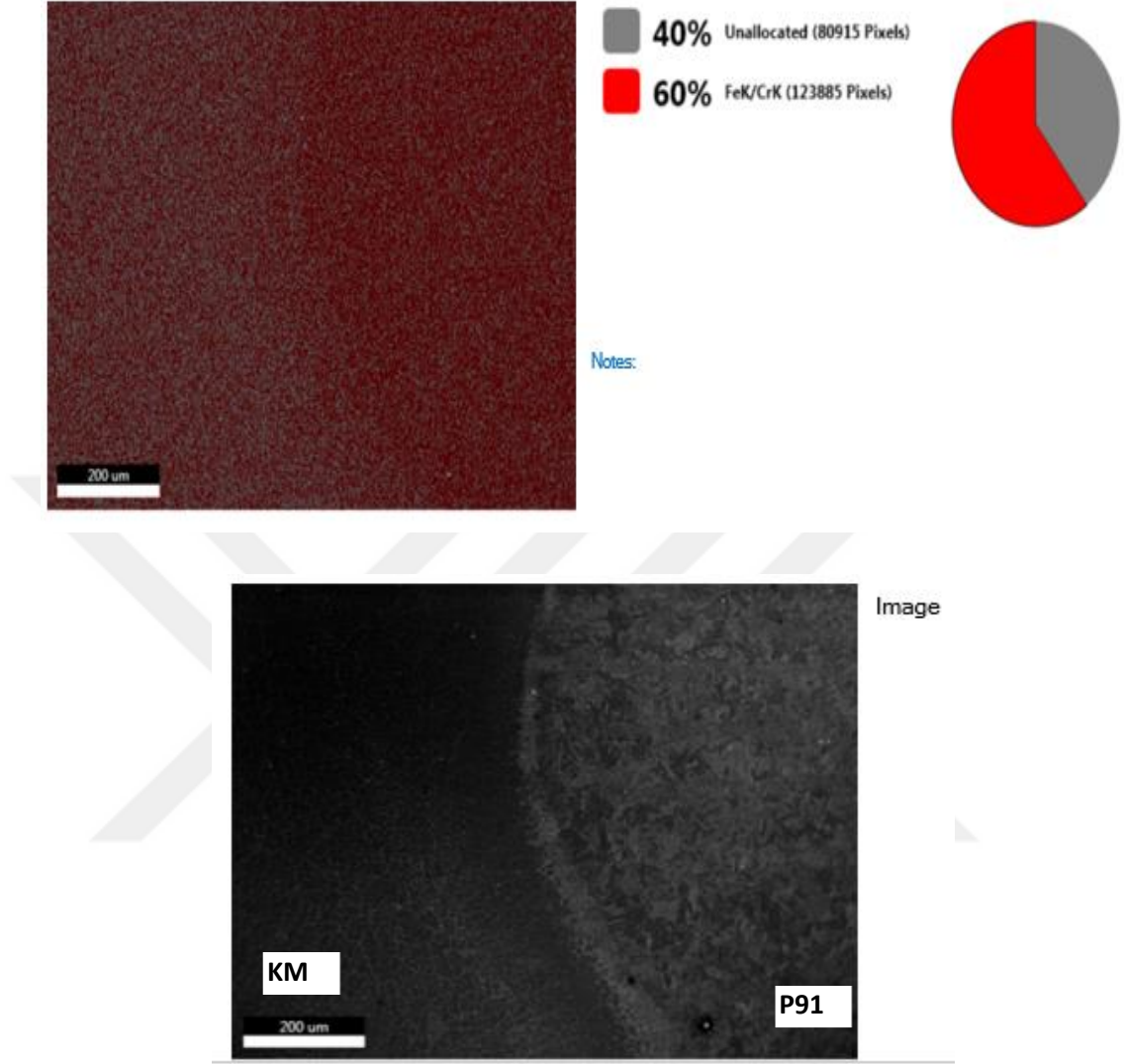
**Şekil 3.36:** 4. Malzeme Çiftinin X5CrNi18-10 (S304) ile KM'nin ağırlıklı Fe ve Cr elementlerini gösteren EDS grafiği.

**Çizelge 3.18** 4. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) ile KM'nin ağırlıklı Fe ve Cr elementlerini gösteren EDS.

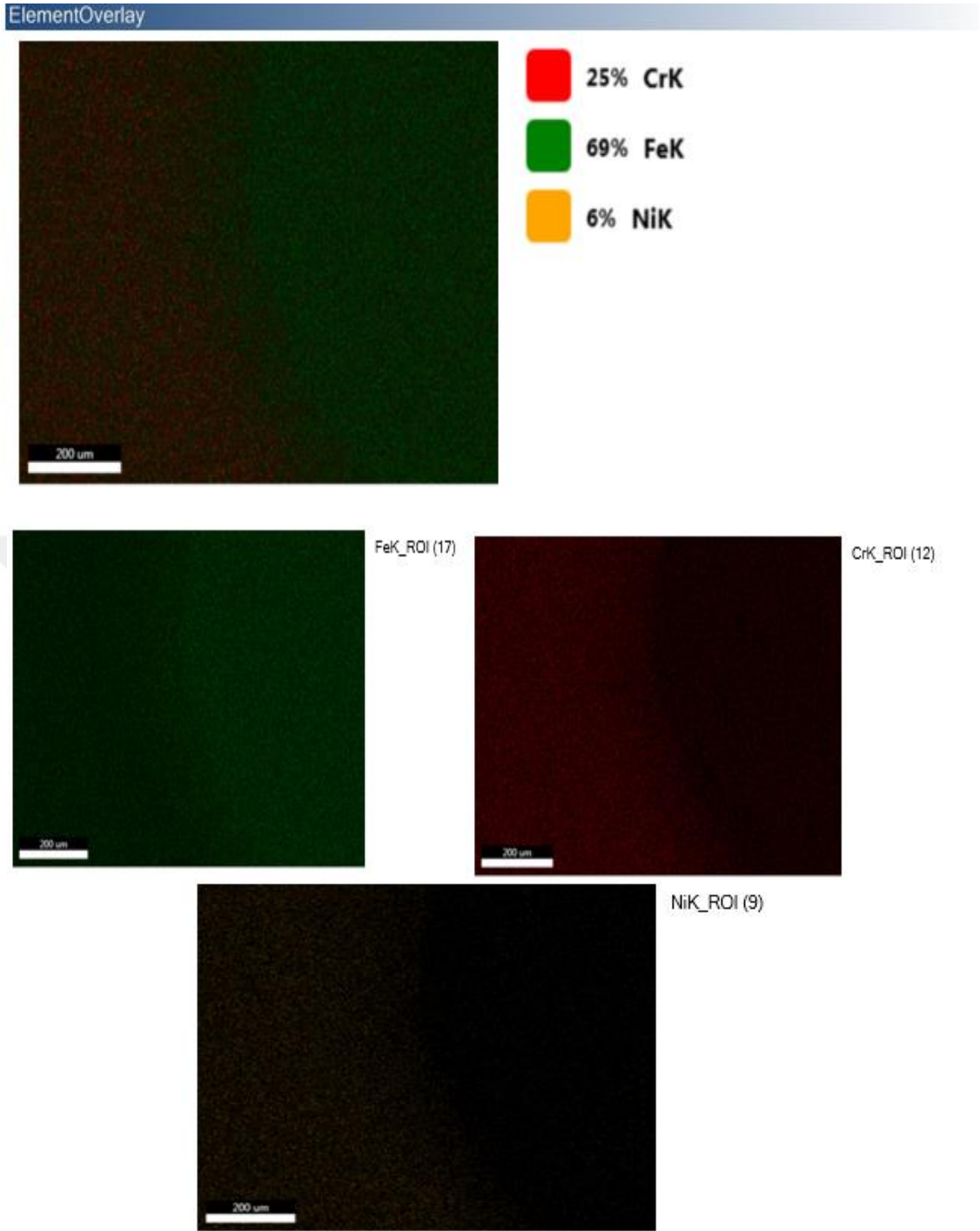
**eZAF Smart Quant Results**

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Error %	Kratio	Z	A	F
CrK	15.64	16.65	714.10	3.26	0.1700	1.0016	0.9917	1.0941
FeK	79.20	78.49	2564.70	2.25	0.7768	0.9988	0.9759	1.0062
NiK	5.16	4.86	122.20	9.26	0.0477	1.0121	0.9081	1.0054

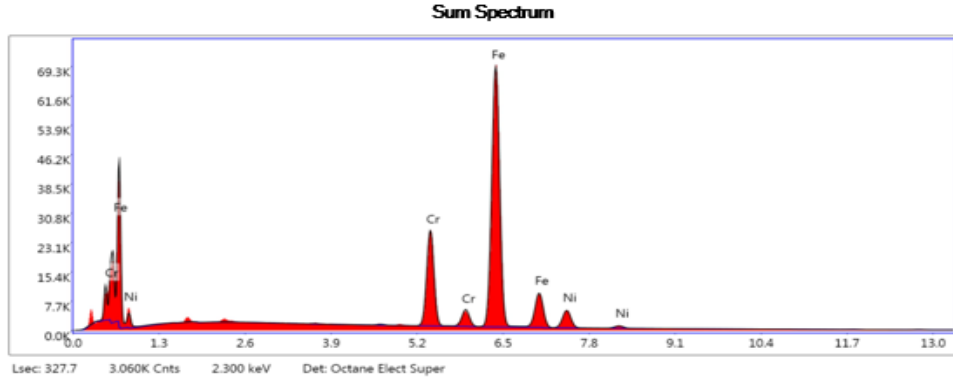
b) 4. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91)–KM'nin elementel haritalaması sonuçları:



Şekil 3.37: 4. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) – KM'nin elementel haritalamasını gösteren SEM.



**Şekil 3.38:** 4. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) ana metali ile KM'nin elementel haritalanması.

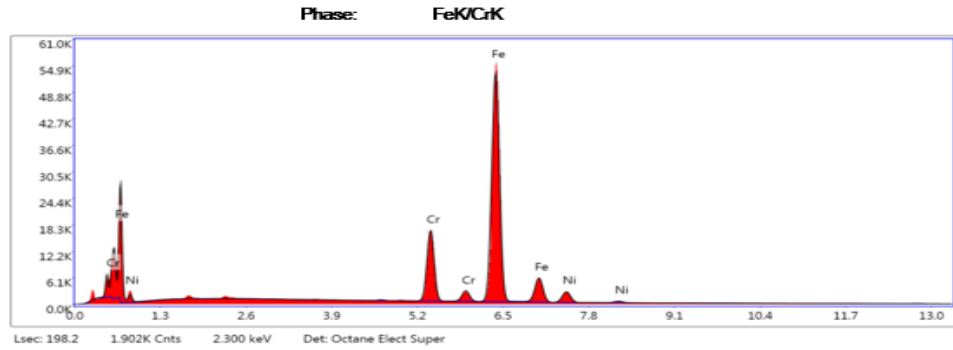


**Şekil 3.39:** 4. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) ile KM'nin toplam EDS grafiği.

**Çizelge 3.19** 4. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) ile KM'nin toplam EDS.

**eZAF Smart Quant Results**

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Error %	Kratio	Z	A	F
CrK	17.94	19.09	1005.00	2.05	0.1933	1.0012	0.9887	1.0882
FeK	74.56	73.85	2963.80	1.89	0.7231	0.9985	0.9627	1.0089
NiK	7.50	7.06	214.30	3.57	0.0672	1.0117	0.8816	1.0054



**Şekil 3.40:** 4. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) ile KM'nin ağırlıklı Fe ve Cr elementlerini gösteren EDS grafiği

**Çizelge 3.20** 4. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) ile KM'nin ağırlıklı Fe ve Cr elementlerini gösteren EDS

**eZAF Smart Quant Results**

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Error %	Kratio	Z	A	F
CrK	15.78	16.80	1067.90	2.14	0.1709	1.0015	0.9887	1.0937
FeK	78.68	77.98	3767.50	1.85	0.7651	0.9988	0.9672	1.0066
NiK	5.54	5.22	189.80	3.89	0.0496	1.0120	0.8788	1.0054

Östenitik paslanmaz çelik olan X5CrNi18-10 (S304) ana metali, ferritik çelik olan X10CrMoVNb9-1 (P91) ana metali ve Östenitik paslanmaz çelik olan Kaynak metali (KM) X8CrNi25-21(310) kimyasal kompozisyonu;

Kaynak metali (KM) X8CrNi25-21(310)

Ni, % 19-22 Cr, % 24-26 C, % 0-0.1 Si, %0-1.5 Mn, % 0-2 S, % 0-0.015 P, 0-0.045 % N, % 0-0.11

Ana metal X5CrNi18-10 (S304)

Ni, % 8-10.5 Cr, % 18-20-20 C, % 0-0.08 Si, %0-0.03 Mn, % 0-2 S, % 0-0.015 P, 0-0.045 % N, % 0-0.1

Ana metal X10CrMoVNb9-1 (P91)

Mo, % 0.85-1.05 Cr, % 8-9.5 C, % 0.08-0.12 Si, %0.2-0.5 Mn, % 0.3-0.6 S, % 0-0.01 P, % 0-0.02 N, % 0.03-0.07 V, % 0.18-1.05 Nb, % 0.06-0.1 Al, Ni % 0-0.04

*c) 4. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) – KM'i tarafı elementel haritalanmasının değerlendirilmesi:*

4. Malzeme çiftinin kaynak işlemi sonrasında mikroyapıda oluşabilecek fazların ve elementleri değerlendire bilmek için SEM görüntüsü alınmıştır. Oluşabilecek fazla belirtilmiştir. SEM görüntülerinden (EDS) analizi yapılmıştır. SEM görüntüsü üzerinde EDS elementel haritalanmasında malzeme içi her bir elemente ait dağılım renk değişkenliği ile gösterilmiştir. Elementel haritalamada renk kodlarına göre Fe, Cr ve Ni konsantrasyonlarının yoğunluğu vurgulanmıştır. Malzemelerin element yüzdesi standartlarla sabitlenmiş olmasına rağmen mikroyapısı içinde bulunan C, Mn, N, P ve Si yüzdeleri çok düşük olduğundan dolayı (EDS) grafiklerinde cihaz algılama kapasitesinin dışında kalmıştır.

Şekil 3.33'te elementel analiz haritası incelendiğinde; matris yapı içerisinde bulunan ana alaşım elementleri diyebileceğimiz Cr, Ni ve Fe gibi elementlerin dağılımı gösterilmiştir. Burada Cr elementinin konsantrasyonu kaynak metalinden ana metale doğru daha yoğun olduğu görünmektedir. Şekil 3.20'de SEM görüntüsünde görüldüğü gibi krom artışın krom karbür oluşumu olduğu söylenebilir. Ni elementinin ana matris üzerinde homojen dağıldığı ve Fe elementinin ana metaldeki yoğunluğu daha fazla olduğu söylenebilir. Şekil 3.36'te gösterilen EDS grafiği, ana

matris üzerinde yoğun olarak bulunan Fe/Cr elementlerinin EDS grafiğidir. Burada Fe/Cr elementlerinin yanı sıra Ni elementinin de olduğu görülmektedir.

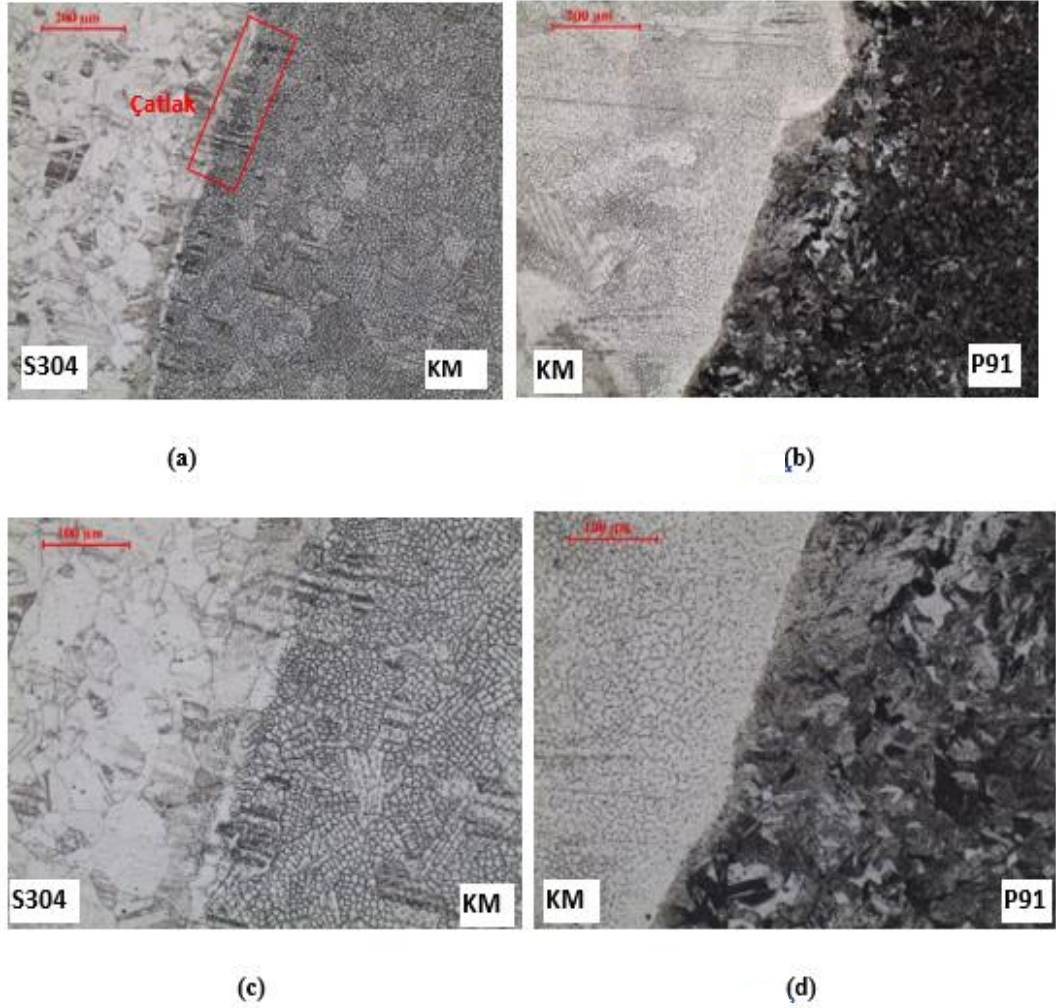
*d) 4. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) – KM'i tarafı elementel haritalanmasının değerlendirilmesi:*

4. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) – KM'i tarafı elementel haritalanması, X10CrMoVNb9-1 (P91) – KM'i tarafı SEM görüntüsü üzerinde EDS elementel haritalanmasında malzeme içi her bir elemente ait dağılım renk değişkenliği ile gösterilmiştir. Elementel haritalamada renk kodlarına göre Fe, Cr ve Ni konsantrasyonlarının yoğunluğu görülmektedir. Malzemelerin element yüzdesi standartlarla sabitlenmiş olmasına rağmen X5CrNi18-10 (S304) – KM'i tarafında olduğu gibi micro yapısı içinde bulunan C, Mn, N, P ve Si yüzdeleri gözükmemektedir. Bunun sebebi cihaz algılama kapasitesinin konsantrasyonu düşük olan elementleri algılayamamış olmasıdır. C, Mo, Mn, N, P, V, Nb, Al, Ni ve Si elementleri konsantrasyonu düşük olduğundan dolayı (EDS) grafiklerinin dışında kalmıştır.

Şekil 3.38'da elementel analiz haritası incelendiğinde Cr, Ni ve Fe elementinin dağılımı matris yapı içerisinde gösterilmiştir. Ana metal sürünme dayanımlı ferritik çeliktir. Ana matris ağırlıklı olarak Fe elementinden oluşmaktadır. Mikroyapıdaki Cr elementinin konsantrasyonu kaynak metalinde daha yüksektir. Şekil 3.20'de SEM görüntüsünde görüldüğü gibi krom artışın tane sınırlarındaki krom karbür oluşumu olduğu söylenebilir. Ni elementinin konsantrasyonu kaynak metalinde homojen olarak dağılmıştır. Ni elementi ana metalde yok denecek kadar az olduğu görülmektedir. Ni elementi X10CrMoVNb9-1 (P91) – KM ara yüzeyinde Şekil 3.26'da gösterilen EDS grafiğinde görüldüğü gibi %3,88 dir. Ni elementinin azalması östenitik paslanmaz çelikten, martenzitik mikroyapıya doğru bir geçiş olacaktır. Ni elementinin azalması, ferritik yapının artmasına ve martenzitik mikroyapı oluşumuna neden olacaktır. Şekil 3.19'de SEM görüntüsünde ara yüzeydeki martenzitik yapı görülmektedir.



### 3.3.5 CMT Kaynağı sonrası 2. Malzeme çiftinin optik mikroskop görüntülerinin değerlendirilmesi



**Şekil 3.41:** 2. Malzeme çiftinin CMT Kaynağı Sonrası Optik Görüntüsü

CMT kaynağı öncesi ön ısıtma ve CMT kaynağı sonrası gerilim giderme ısıtma işlemleri uygulanmamıştır.

(a) ve (c)' de X5CrNi18-10 (S304) malzemesinin kaynak bölgesi, kaynak – ana metal ara yüzeyi ve ana metal (ITAB) bölgesi görünmektedir.

Ana metal (ITAB); östenitik paslanmaz çelik mikroyapısı görünmektedir. Ana metalinin mikroyapısında ikizlenen taneler, tane sınırlarında karbürler, koyu siyah çizgi olarak gözüken bölgelerde martenzitik yapı ve kaynak metali ara yüzeyine yaklaştıkça östenitik yapı içerisinde  $\delta$ -ferritik yapı görünmektedir.

Kaynak – Ana metal ara yüzeyi; Şekil 3.41’de (a) ve (c)’de görüldüğü gibi mikro çatlaklar birleşerek büyümüştür. Ara yüzede alınan (EDS) değerine göre östenit + ferrit yapı görünmektedir.

Kaynak metali; ince taneli östenitikyapı halinde yönlenmişlerdir. Tane içerisinde birincil karbürler ve  $\delta$ -ferritik yapı görünmektedir. İnce tane sınırlarında karbürler (krom karbür) yer almıştır.

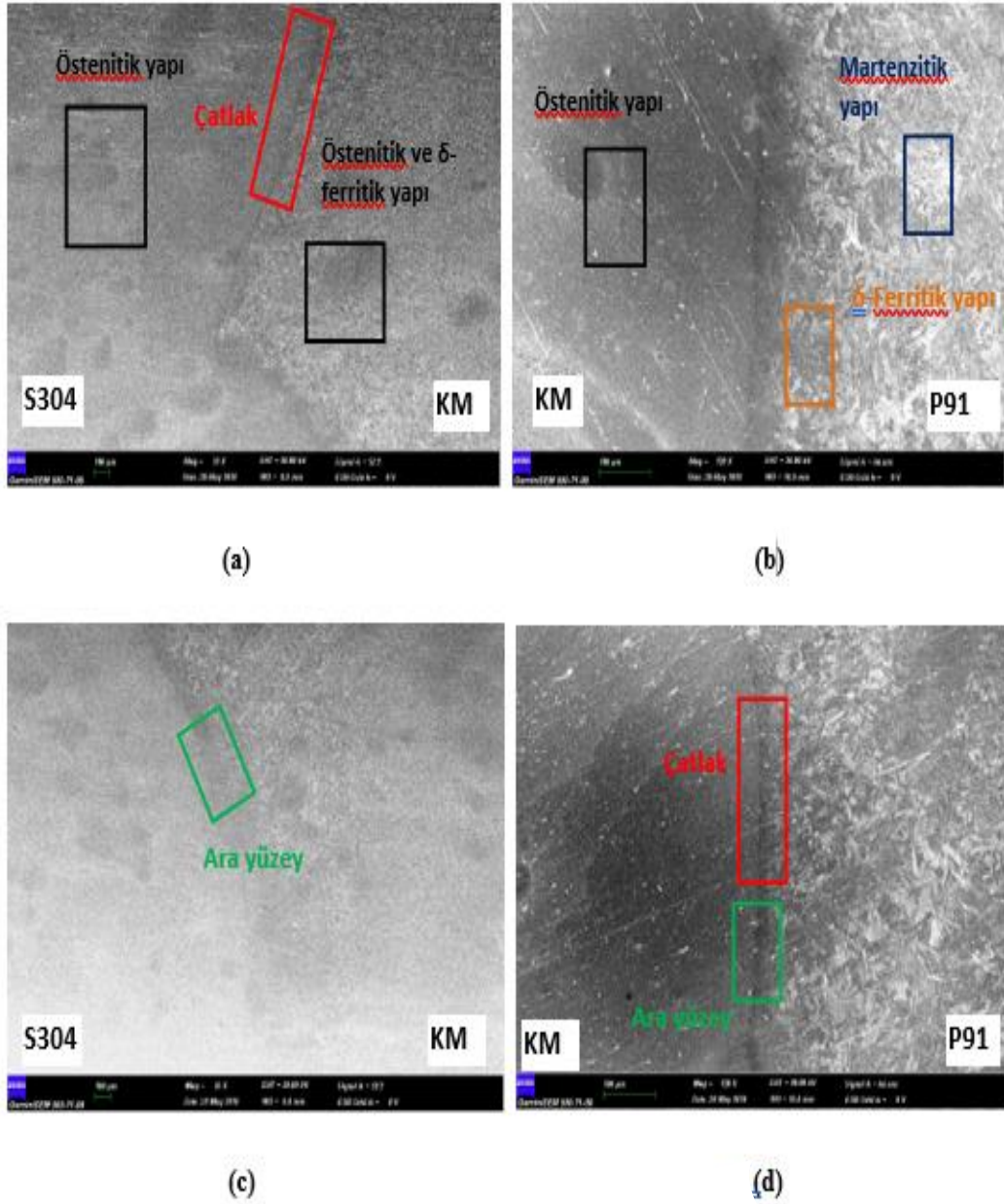
ve (d)’ de X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesinin kaynak bölgesi, kaynak – ana metal ara yüzeyi ve ITAB bölgesi görünmektedir.

Ana metal; X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesi ön ısıtma olmadan kaynağı yapıldığında malzemede çatlama ihtimali yüksektir. X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesi sürünme dayanımlı ferritik çelik olduğundan yüksek ısı girdisi ile yapılan kaynak işlemlerinde hızlı martenzit dönüşüm gerçekleşir. Şekil 3.41 (b) ve (d)’de ana metal ITAB’de çatlak görünmemektedir. İnce martenzitik yapı ile ferritik yapı görünmektedir.

Kaynak metali (KM); homojen yönlenmiş ince taneli östenitikyapı gözlemlenmektedir. Östenitikyapı içerisinde birincil karbürler ve  $\delta$ -ferritik yapı oluşmuştur. Tane sınırlarında tane büyümesini sınırlayan karbürler Şekil 3.43 (b) ve (d)’ de SEM görüntülerinden daha net görünmektedir. CMT kaynağı ısı girdisinin düşük olduğundan dolayı oluşan martenzitin miktarını azaltıyor. Kaynak metali mikroyapısında mikro çatlak gibi olumsuzlukları azaltmıştır.

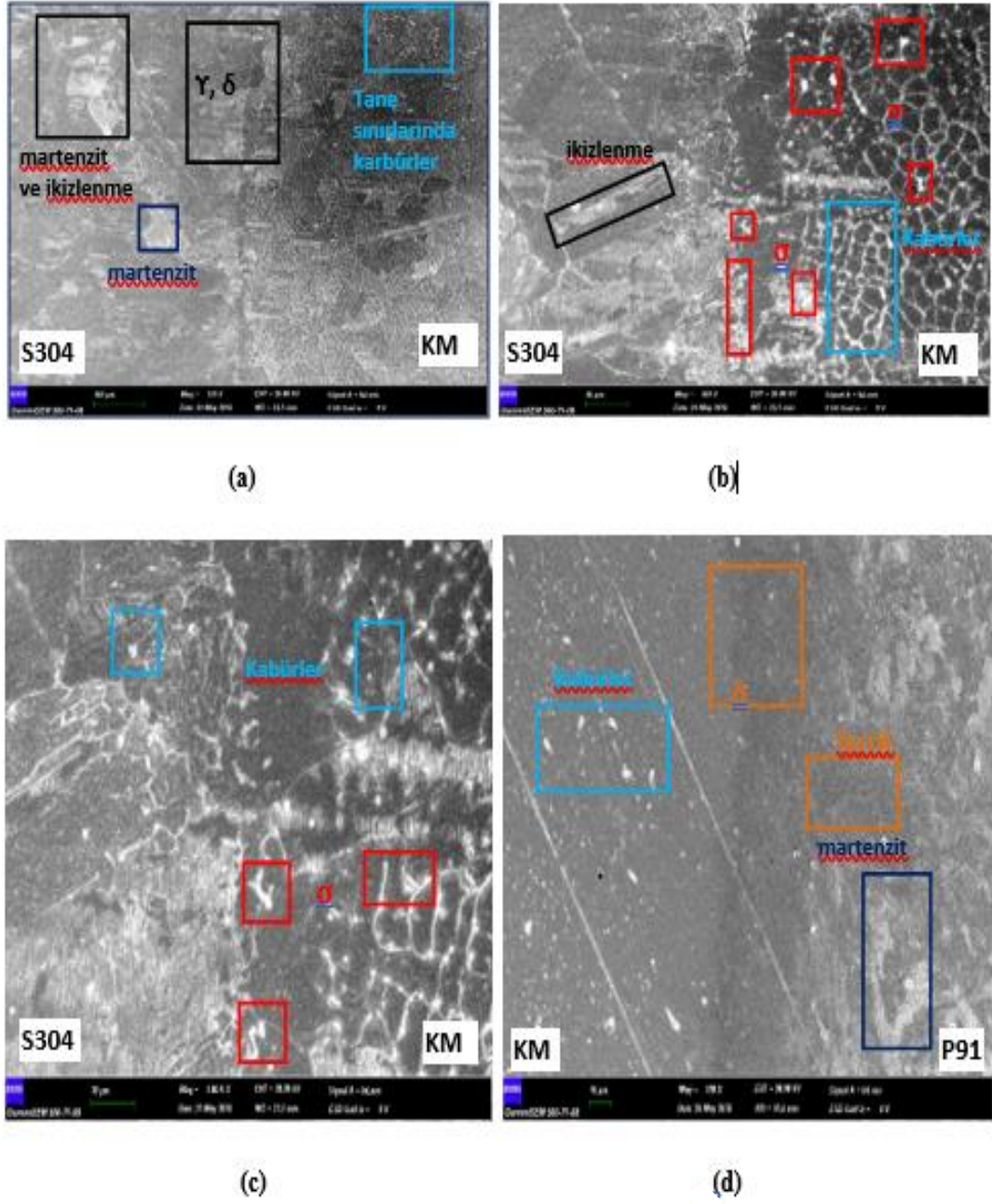
Kaynak – ana metal ara yüzeyi; kaynak metalinin düşük ısı girdisi ile soğumanın hızlı olması ara yüzeyde ince taneli östenit ile birlikte iğnemsiz martenzitik yapı görünmektedir. Kaynak öncesi malzemede ön-ısıtma olmadığından dolayı kaynak – ana metal ara yüzeyinde Şekil 3.42 (b) ve (d)’ de SEM görüntüsünde ara yüzey boyunca mikro çatlak görünmektedir. CMT kaynağının ısı girdisi düşük olmasına rağmen yapıdaki hızlı martenzit dönüşümleri mikro çatlaklar oluşturmuştur. Şekil 3.48’de EDS analizinden ara yüzeyin kimyasal kompozisyonu görünmektedir. Buradan ara yüzeyin martenzitik mikro yapı olduğu anlaşılmaktadır.

### 3.3.6. CMT Kaynağı sonrası 2. Malzeme çiftinin taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntülerinin değerlendirilmesi



**Şekil 3.42:** 2. Malzeme çiftinin CMT kaynağı sonrası SEM görüntüsü.

(a) ve (c)'de X5CrNi18-10 (S304) malzemesinin kaynak bölgesi, kaynak – ana metal ara yüzeyi ve ITAB bölgesi görünmektedir. (b) ve (d)'de X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesinin kaynak bölgesi, kaynak – ana metal ara yüzeyi ve ITAB bölgesi görünmektedir.



**Şekil 3.43:** 2. Malzeme çiftinin CMT kaynağı sonrası sem görüntüsü.

(a), (b) ve (c)'de X5CrNi18-10 (S304) malzemesinin kaynak bölgesi, kaynak – ana metal ara yüzeyi ve ITAB bölgesi görünmektedir. (d)'de X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesinin kaynak bölgesi, kaynak – ana metal ara yüzeyi ve ITAB bölgesi görünmektedir.

(a), (b) ve (c)'de X5CrNi18-10 (S304) ana metalde(ITAB), kaynak – ana metal ara yüzeyinde ve kaynak metalinde tane sınırlarında karbürler yoğun olarak gözlenmektedir. Sert ve kırılğan bir faz olan Sigma( $\sigma$ ) fazı, tane içinde ve sınırlarına

yakın bölgede olduğu görünmektedir. İğnemsiz martenzitik yapı kaynak metalinde ve ana metalde yoğun olarak görünmektedir. Östenitik yapı içerisinde ikizleşmeler görünmektedir.

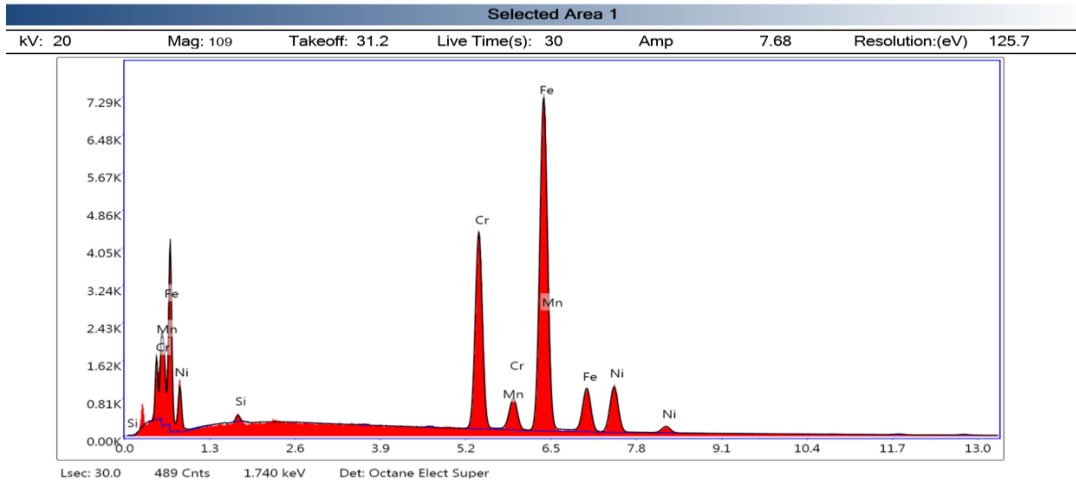
Mikroyapıdaki Sigma ( $\sigma$ ) fazı, östenitik yapının içerisinde bulunan ferritden, kaynak metalinde Mo, Nb ve Si gibi sigma fazı oluşumunu teşvik edici elementlerden dolayı görünmektedir.

$\delta$ -ferrit, kaynak metali ve ana metaller Cr, Mo ve Nb yönünden zengin olduğundan dolayı mikroyapıda gözüktür. Bu faz kaynak işleminde katılaşma sonrasında östenit taneleri arasına yerleşir. Şekil 3.43 (d)'de X10CrMoVNb9-1 (P91) ana metalde (ITAB), kaynak – ana metal ara yüzeyinde ve kaynak metalinde karbürler, martenzitik yapı ve  $\delta$ -ferritik yapı görünmektedir. X10CrMoVNb9-1 (P91) ana metal (ITAB) mikroyapısında V, Nb elementinin olması karbür yapmayı artırmıştır.

### 3.3.7 CMT Kaynağı sonrası 2. Malzeme çiftinin (EDS) analizlerinin değerlendirilmesi



Şekil 3.44: 2. Malzeme çifti X10CrMoVNb9-1 (P91) malzeme tarafı kaynak metalinin EDS analizini gösteren SEM.

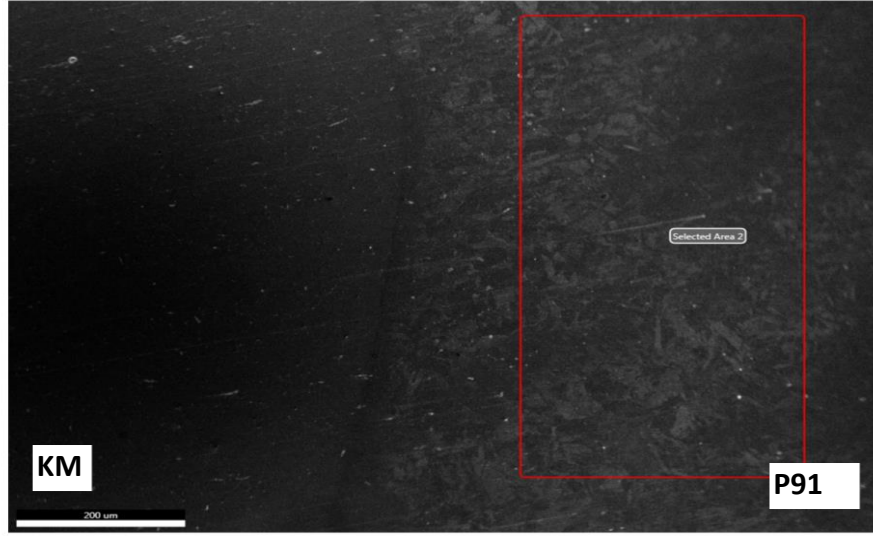


Şekil 3.45: 2. Malzeme çifti X10CrMoVNb9-1 (P91) malzeme tarafı kaynak metalinin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS grafiği

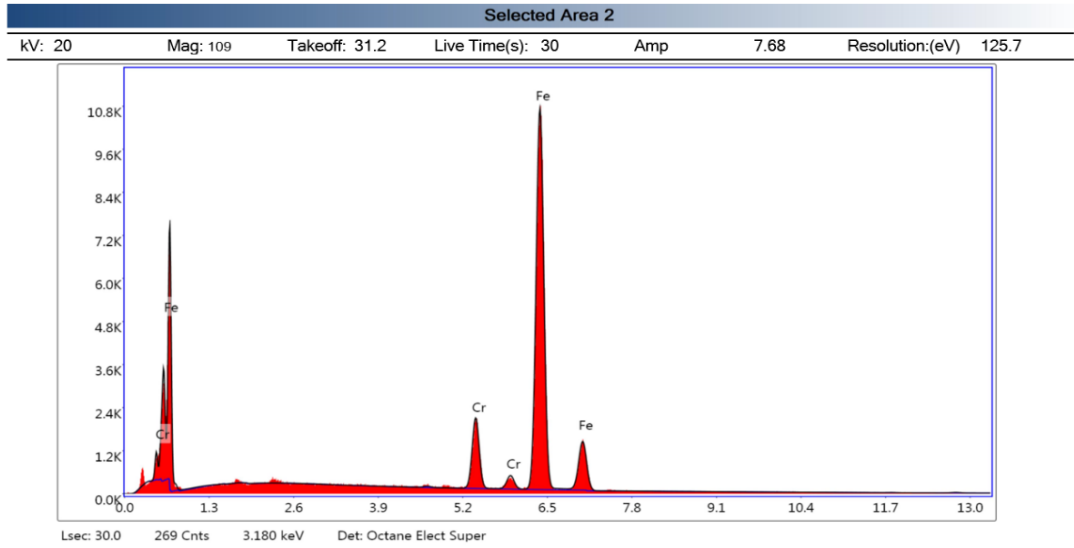
Çizelge 3.21 2. Malzeme çifti X10CrMoVNb9-1 (P91) malzeme tarafı kaynak metalinin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS

#### eZAF Smart Quant Results

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.
SiK	0.41	0.81	40.65
CrK	24.12	25.5	1874.8
MnK	1.01	1.01	67.37
FeK	61.99	61.01	3437.71
NiK	12.46	11.67	505.29



**Şekil 3.46:** 2. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesinin EDS analizini gösteren SEM.

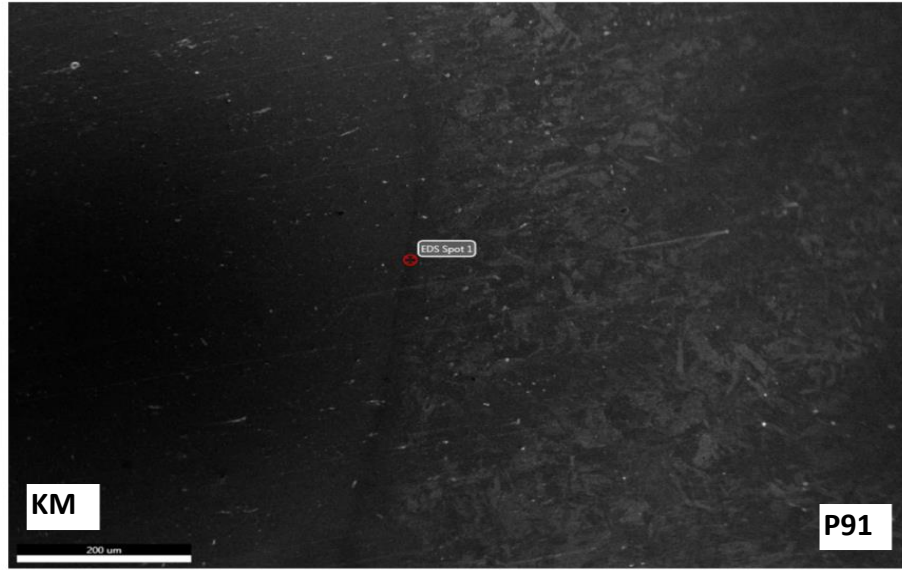


**Şekil 3.47:** 2. Malzeme çifti ün X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesinin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS grafiği

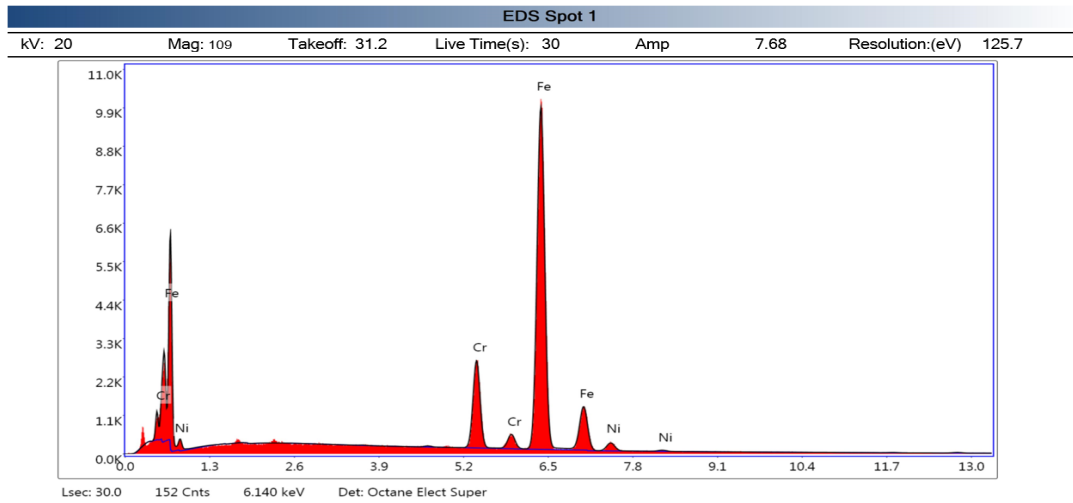
**Çizelge 3.22** 2. Malzeme çifti ün X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesinin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS

#### eZAF Smart Quant Results

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.
CrK	10.68	11.38	862.67
FeK	89.32	88.62	5059.94



**Şekil 3.48:** 2. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) – KM'nin ara yüzeyinin eds analizini gösteren SEM.



**Şekil 3.49:** 2. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) – KM'nin ara yüzeyinin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS grafiği.

**Çizelge 3.23** 2. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) – km'nin ara yüzeyinin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS

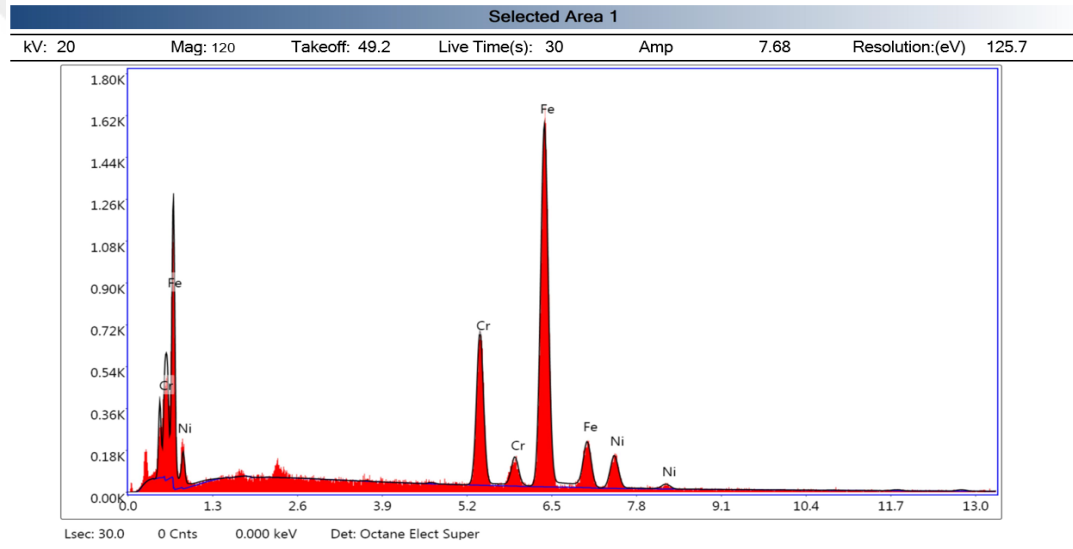
**eZAF Smart Quant Results**

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.
CrK	13.81	14.7	1104.24
FeK	83.27	82.54	4693.69
NiK	2.92	2.76	117.26





**Şekil 3.50:** 2. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) malzemesinin EDS analizini gösteren SEM.



**Şekil 3.51:** 2. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) malzemesinin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS grafiği

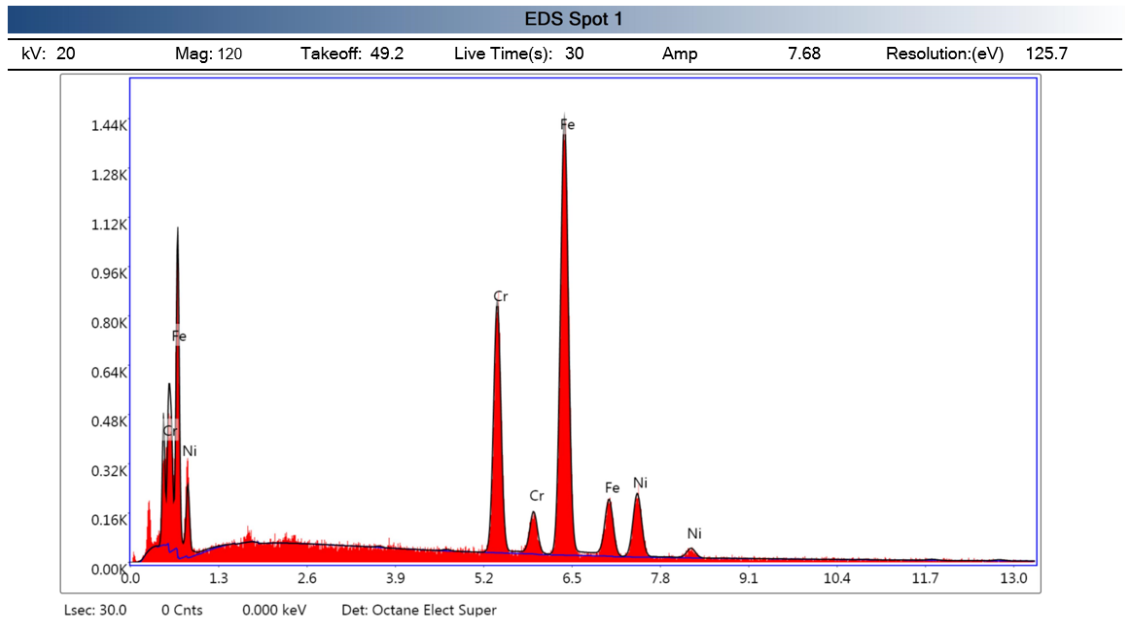
**Çizelge 3.24** 2. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) malzemesinin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS

#### eZAF Smart Quant Results

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.
CrK	19.83	21.08	301.99
FeK	70.9	70.19	772.88
NiK	9.28	8.73	74.73



**Şekil 3.52:** 2. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) – KM'nin ara yüzeyinin EDS analizini gösteren SEM.

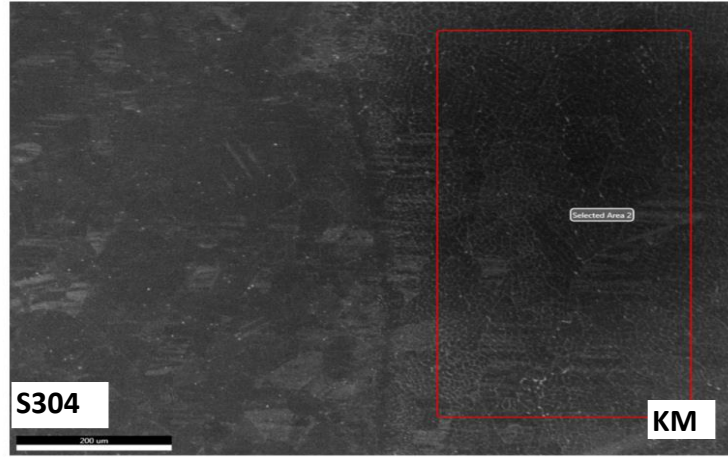


**Şekil 3.53:** 2. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) – KM'nin ara yüzeyinin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS grafiği.

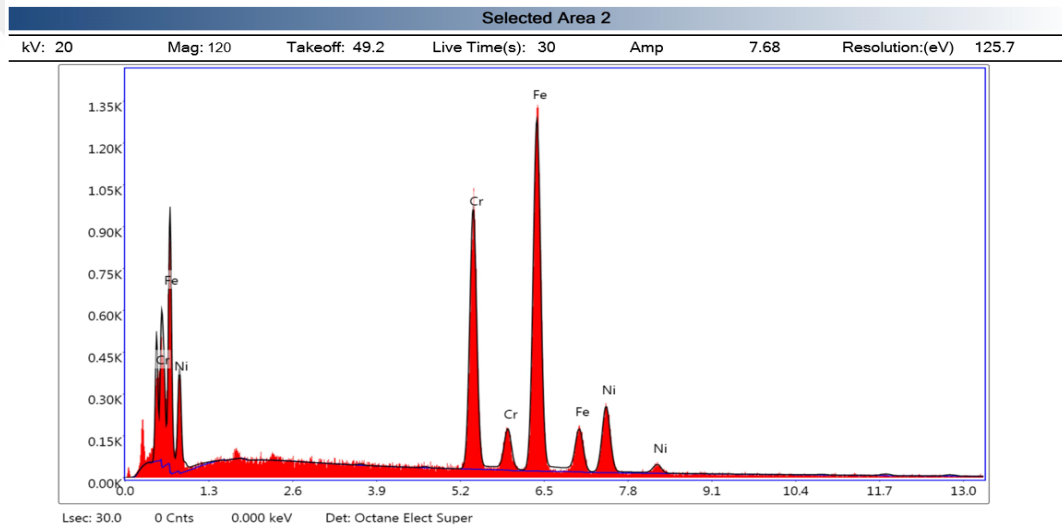
**Çizelge 3.25** 2. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) – KM'nin ara yüzeyinin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS

### eZAF Smart Quant Results

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.
CrK	24.09	25.58	366.59
FeK	62.75	62.04	687.88
NiK	13.16	12.38	107.28



**Şekil 3.54:** 2. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) malzeme tarafı kaynak metalinin EDS analizini gösteren SEM.



**Şekil 3.55:** 2. Malzeme çifti X5CrNi18-10 (S304) malzeme tarafı kaynak metalinin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS grafiği

**Çizelge 3.26** 2. Malzeme çifti X5CrNi18-10 (S304) malzeme tarafı kaynak metalinin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS

**eZAF Smart Quant Results**

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.
CrK	28.01	29.69	428.91
FeK	56.69	55.95	627.35
NiK	15.3	14.36	126.6

2. Malzeme çiftinin soğuk metal transfer kaynağı ile kaynatıldıktan sonra 2. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesi, X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesi

tarafı kaynak metali (KM), X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesi- kaynak metali (KM) ara yüzeyi, X5CrNi18-10 (S304) malzemesi, X5CrNi18-10 (S304) malzemesi tarafı kaynak metali (KM) ve X5CrNi18-10 (S304) malzeme- kaynak metali (KM) ara yüzeyinden (EDS) analizi yapılmıştır.

Kaynak metalinin ısı tesiri altında (ITAB) kalan X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesinden alınan (EDS) grafiğinin sonuçlarına göre Cr elementinin kimyasal kompozisyonundaki yüzdeleri arttığı görülür. Bu elementler kaynak havuzundan ana metale doğru difüze olmuştur. Ana metalin (ITAB) bölgesinde artan bu elementler  $Cr_{es}$  ve  $Cr_{es}$  eşdeğerliklerine artıracak malzemede sert ve kırılğan yapı olan martenzit oluşumunu artırmıştır. Aynı zamanda Şekil 3.43'te görüldüğü gibi  $\delta$ -ferrit ve karbür oluşumunu artırmış olabilir.

X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesi tarafı kaynak metali (KM) malzemesinden alınan (EDS) analizine göre Ni, Mn, Si elementlerini kimyasal kompozisyonundaki yüzdelerin azaldığı görülür. Mikroyapı ara yüzeye doğru ferritik olduğundan dolayı Ni oranı azalmaktadır.

X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesi – KM metali ara yüzeyinden alınan EDS analizinin sonuçlarına göre  $Cr_{es}$  ve  $Ni_{es}$  değerlikleri hesaplanmıştır.  $Cr_{es}$ : 13.81 ve  $Ni_{es}$ : 2.92 olarak bulunmuştur.  $Cr_{es}$  ve  $Ni_{es}$  göre Schaeffler diyagramından faydalanılarak, ara yüzeyin martenzitik mikroyapı olduğu söylenebilir.

X5CrNi18-10 (S304) malzemesinin ısı tesiri altında kalan (ITAB) bölgesinden alınan (EDS) grafiğinin sonuçlarına göre Cr ve Ni miktarı ana metaldeki yüzdelerini korumuştur. Mikroyapı östenitik mikroyapı olarak yapısını korumuştur.

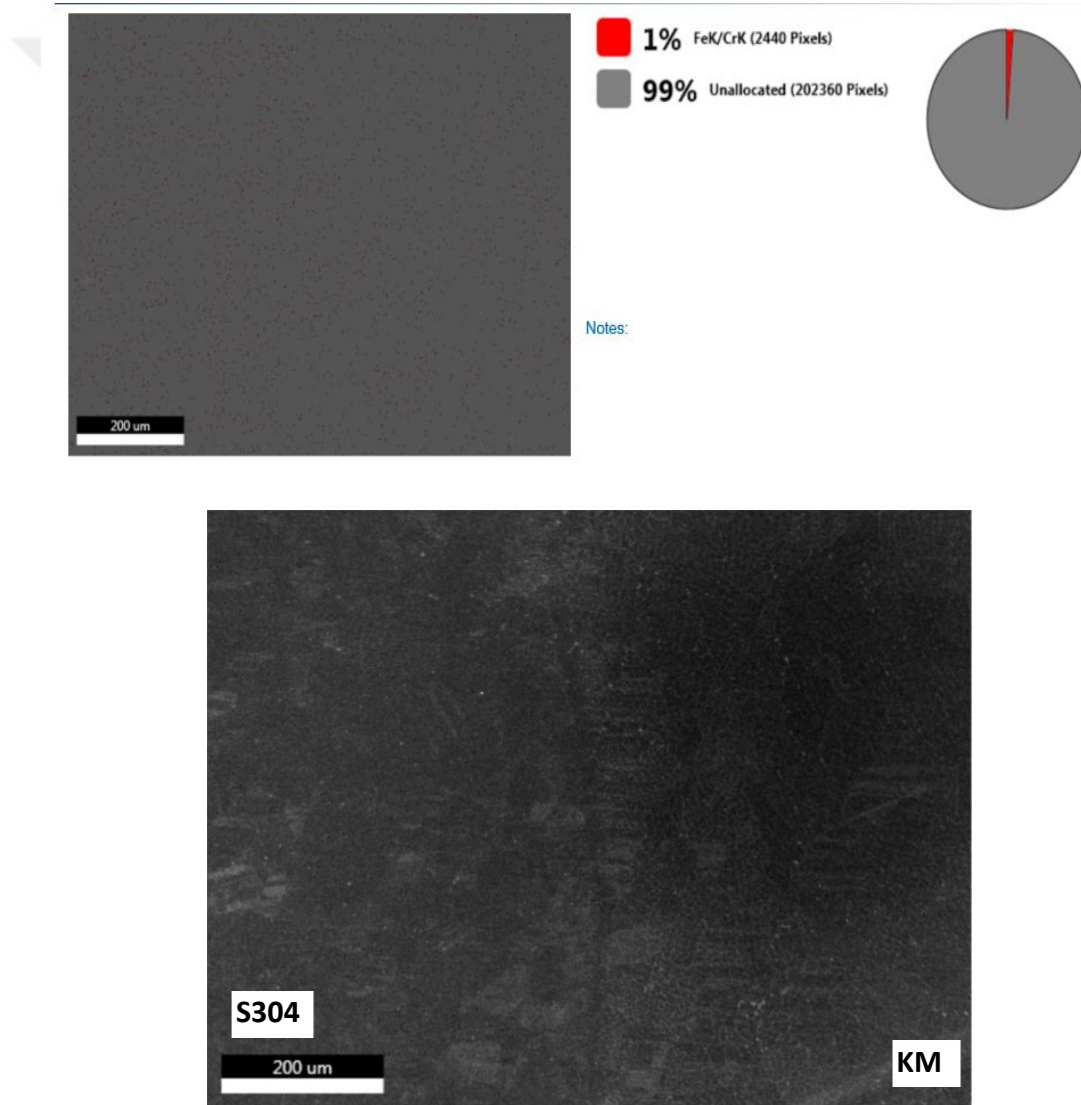
X5CrNi18-10 (S304) malzemesi tarafı kaynak metali (KM) malzemesinden alınan (EDS) analizine göre Ni miktarı %4- 6 oranında azalmıştır. Cr miktarı %1,5 – 2 oranında artmıştır. Ferritik yapıcı krom elementi Şekil 3.43 (b) ve (c)'de görüldüğü gibi  $\sigma$  fazı, karbürler ve  $\delta$ - ferrit oluşumunu artırmıştır.

X5CrNi18-10 (S304) malzemesi – KM metali ara yüzeyinden alınan (EDS) analizinin sonuçlarına göre Ni ve Cr miktarı ana metalin kimyasal kompozisyonundaki

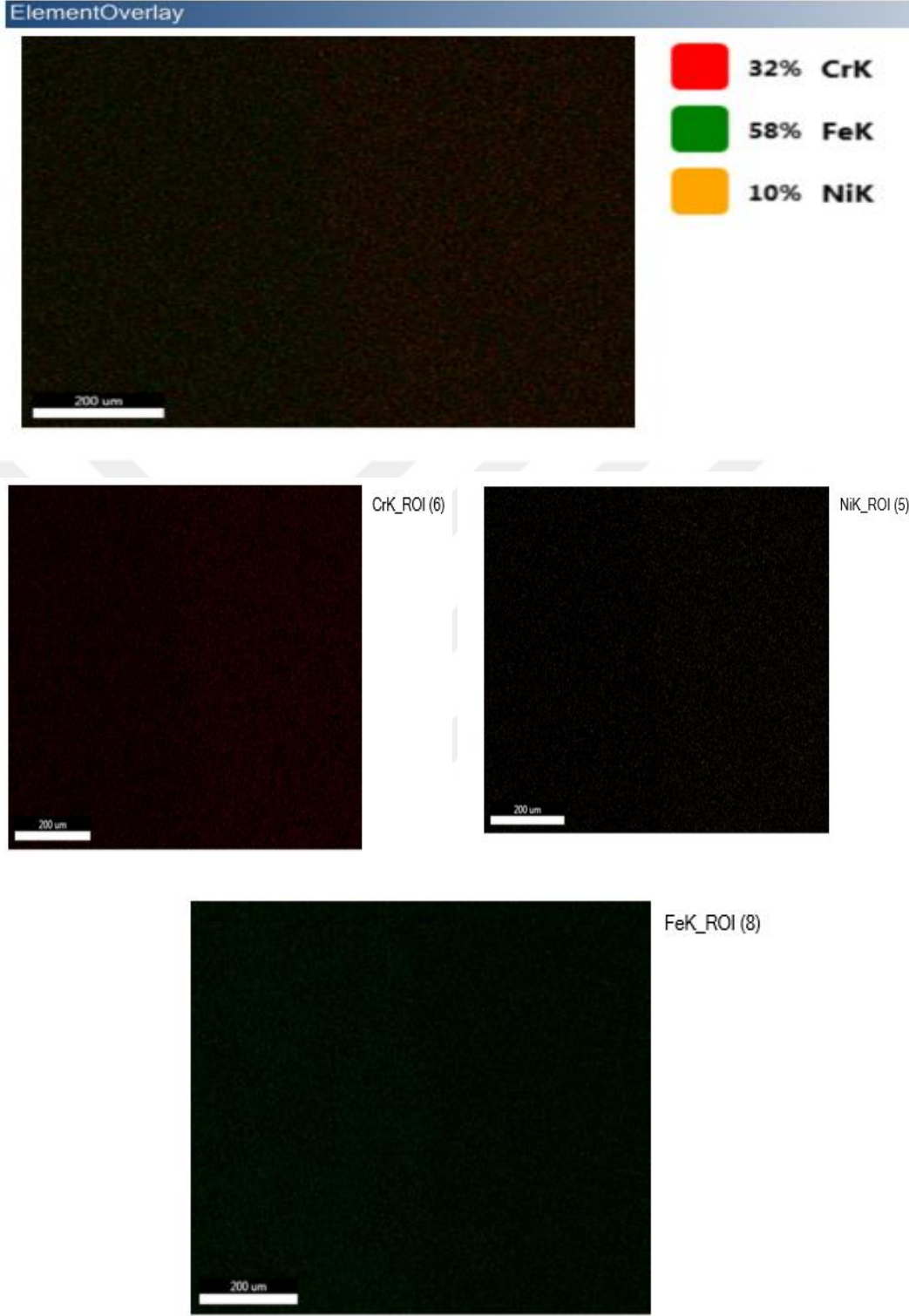
oranına daha yakındır. KM'den Ni ve Cr oranını artıracak bir difüzyon olmamıştır. X5CrNi18-10 (S304) malzemesi – KM metali ara yüzeyinden alınan (EDS) analizinin sonuçlarına göre  $Cr_{eş}$  ve  $Ni_{eş}$  değerlikleri hesaplanmıştır.  $Cr_{eş}$ : 24.29 ve  $Ni_{eş}$  : 13.16 olarak bulunmuştur.  $Cr_{eş}$  ve  $Ni_{eş}$  göre schaeffler diyagramından faydalanılarak, mikroyapının östenit + ferrit olduğu söylenebilir. Schaeffler diyagramında bu yapı duplex mikroyapı olarak geçmektedir.

### 3.3.8 CMT Kaynağı sonrası 2. Malzeme çiftinin elementel haritalaması

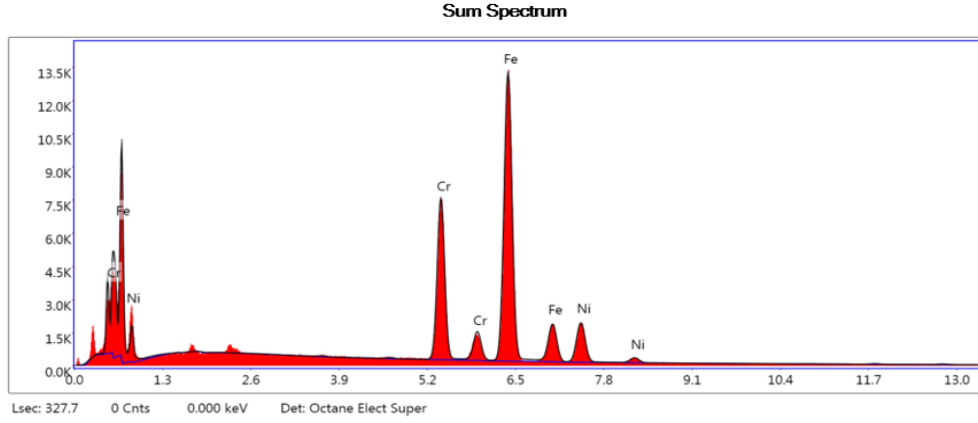
a) 2. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) – KM'nin elementel haritalamasının sonuçları:



**Şekil 3.56:** 2. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) – KM'nin elementel haritalamasını gösteren SEM.



Şekil 3.57: 2. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) ana metali ile KM'nin elementel haritalanması.



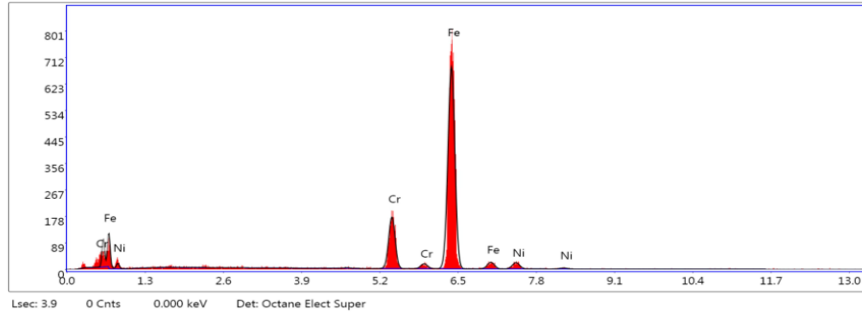
**Şekil 3.58:** 2. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) ile KM'nin toplam EDS grafiği

**Çizelge 3.27** 2. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) ile KM'nin Toplam EDS

**eZAF Smart Quant Results**

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Error %	Kratio	Z	A	F
CrK	23.70	25.17	298.60	2.18	0.2530	1.0003	0.9921	1.0757
FeK	63.70	62.98	577.60	2.09	0.6230	0.9976	0.9659	1.0150
NiK	12.60	11.85	84.90	3.54	0.1180	1.0108	0.9216	1.0053

**Phase: FeK/CrK**



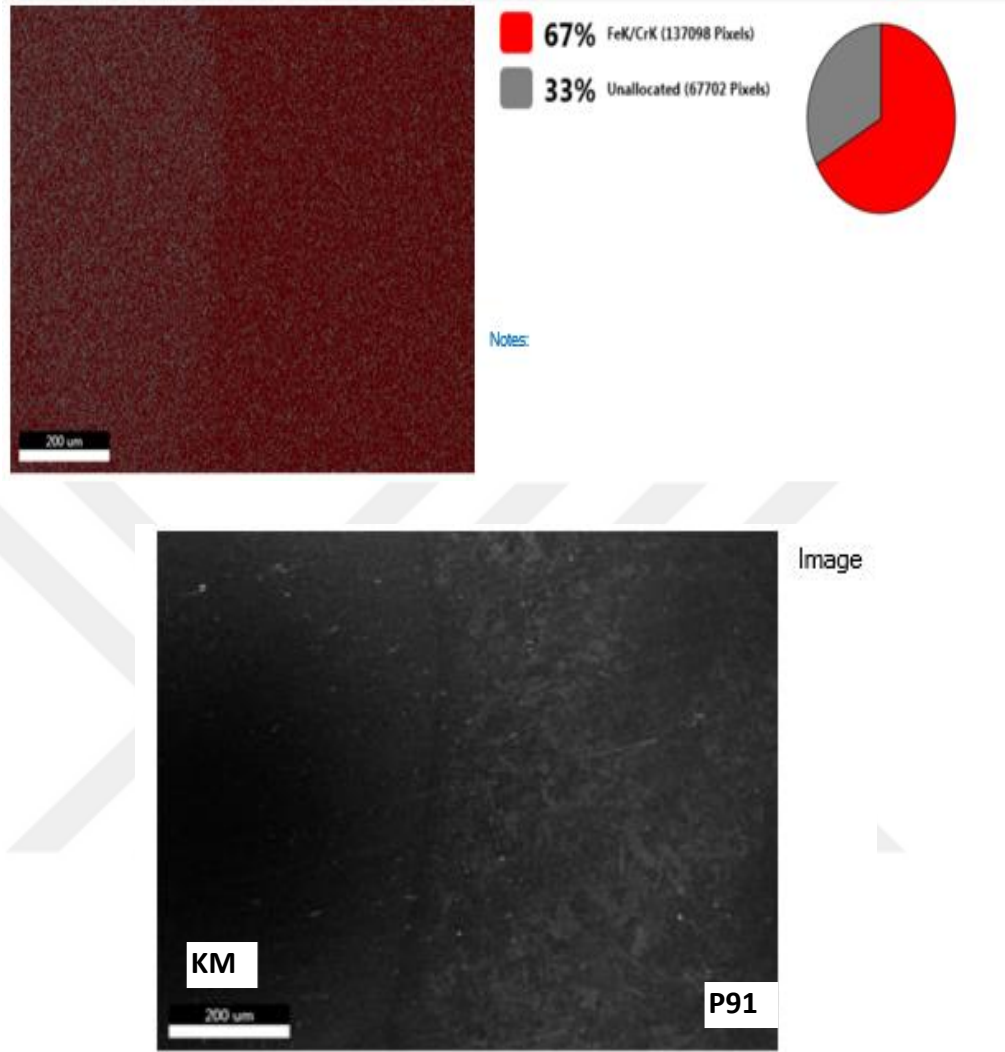
**Şekil 3.59:** 2. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) ile KM'nin ağırlıklı Fe ve Cr elementlerini gösteren EDS grafiği

**Çizelge 3.28** 2. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) ile KM'nin ağırlıklı Fe ve Cr elementlerini gösteren EDS

**eZAF Smart Quant Results**

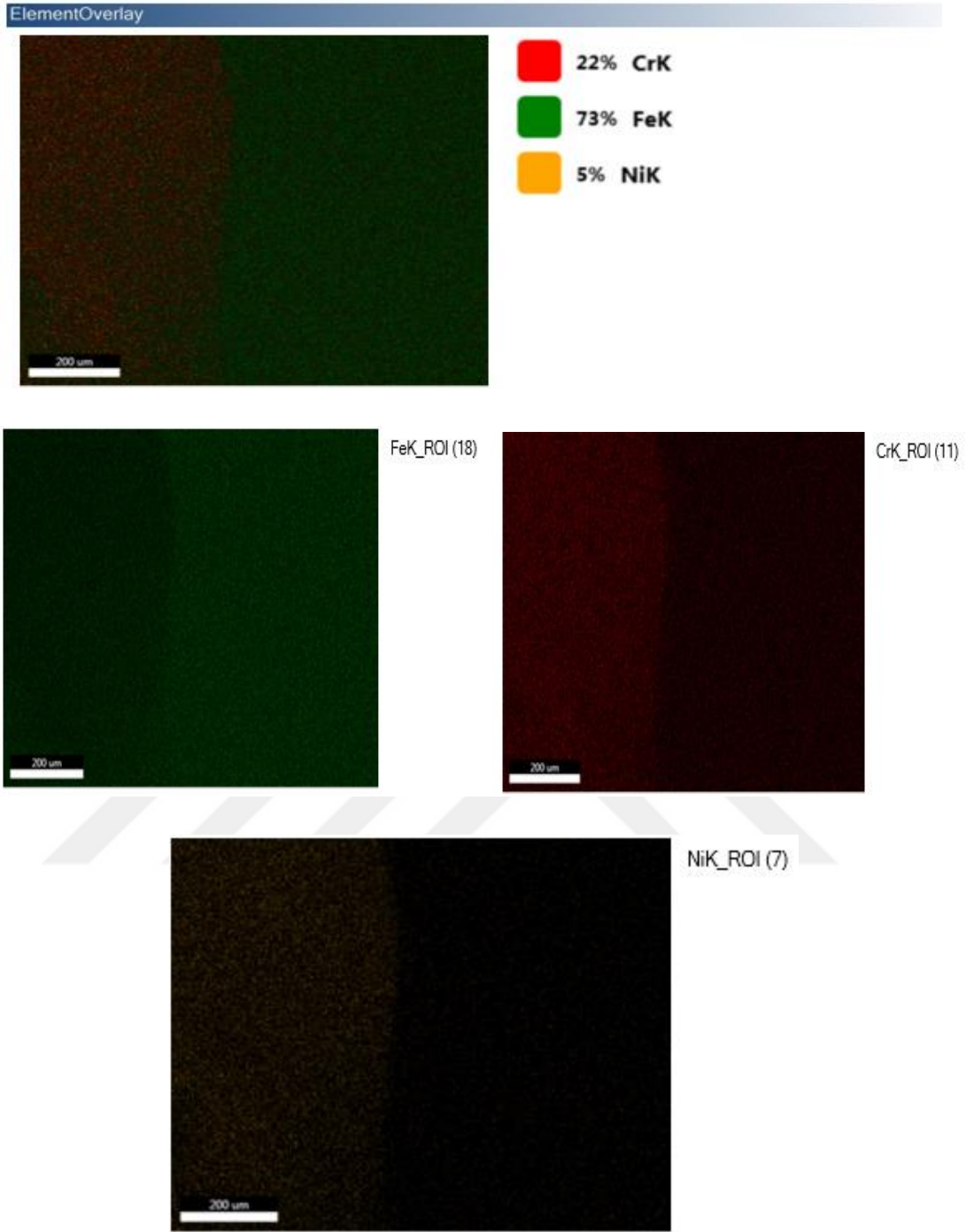
Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Error %	Kratio	Z	A	F
CrK	13.74	14.63	573.60	4.91	0.1501	1.0018	0.9922	1.0993
FeK	82.40	81.72	2434.30	2.82	0.8108	0.9991	0.9802	1.0047
NiK	3.86	3.64	83.50	18.10	0.0358	1.0123	0.9125	1.0054

b) 2. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) – KM'nin elementel haritalamasının sonuçları:

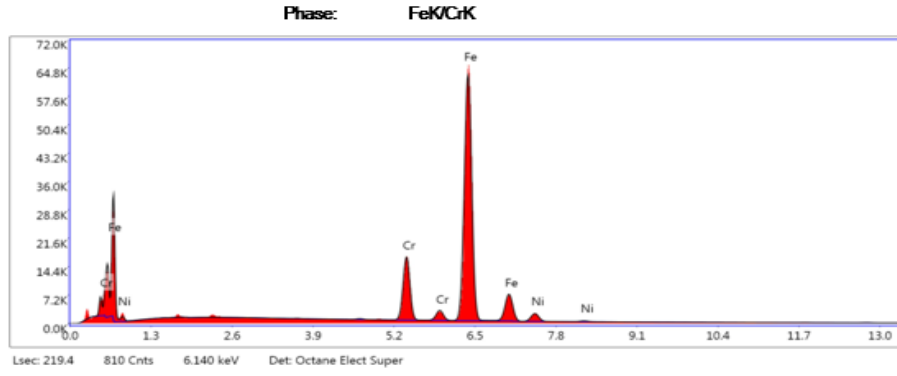


**Şekil 3.60:** 2. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) – KM'nin elementel haritalamasını gösteren SEM.





**Şekil 3.61** 2. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) ana metali ile KM'nin elementel haritalanması.

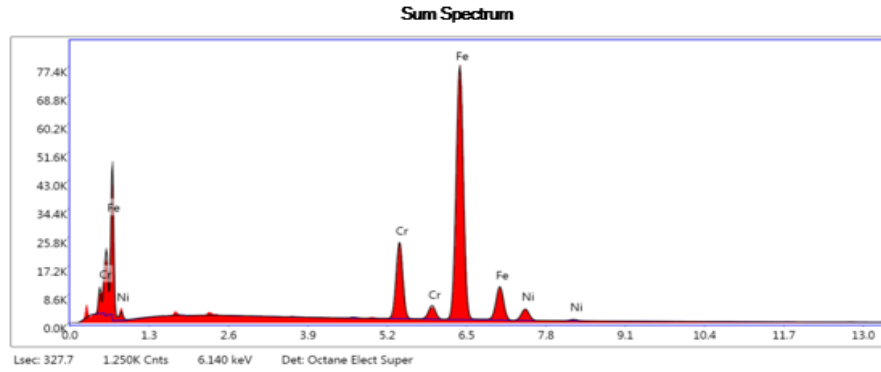


Şekil 3.62: 2. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) ile KM'nin toplam EDS grafiği.

Çizelge 3.29 2. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) ile KM'nin toplam EDS.

**eZAF Smart Quant Results**

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Error %	Kratio	Z	A	F
CrK	13.74	14.63	950.70	2.17	0.1495	1.0018	0.9887	1.0992
FeK	82.27	81.60	4020.00	1.78	0.8023	0.9991	0.9714	1.0048
NiK	3.99	3.76	138.80	4.40	0.0356	1.0123	0.8766	1.0054



Şekil 3.63: 2. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) ile KM'nin ağırlıklı Fe ve Cr elementlerini gösteren EDS grafiği.

Çizelge 3.30 2. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) ile KM'nin ağırlıklı Fe ve Cr elementlerini gösteren EDS

**eZAF Smart Quant Results**

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Error %	Kratio	Z	A	F
CrK	15.60	16.60	920.90	2.09	0.1690	1.0016	0.9887	1.0942
FeK	79.05	78.35	3302.10	1.82	0.7689	0.9988	0.9676	1.0064
NiK	5.35	5.04	159.80	3.95	0.0478	1.0121	0.8785	1.0054

Östenitik paslanmaz çelik olan X5CrNi18-10 (S304) ana metali, ferritik çelik olan X10CrMoVNb9-1 (P91) ana metali ve Östenitik paslanmaz çelik olan Kaynak metali (KM) X8CrNi25-21(310) kimyasal kompozisyonu;

Kaynak metali (KM) X8CrNi25-21(310)

Ni, % 19-22 Cr, % 24-26 C, % 0-0.1 Si, % 0-1.5 Mn, % 0-2 S, % 0-0.015 P, 0-0.045 % N, % 0-0.11

Ana metal X5CrNi18-10 (S304)

Ni, % 8-10.5 Cr, % 18-20 C, % 0-0.08 Si, % 0-0.03 Mn, % 0-2 S, % 0-0.015 P, 0-0.045 % N, % 0-0.1

Ana metal X10CrMoVNb9-1 (P91)

Mo, % 0.85-1.05 Cr, % 8-9.5 C, % 0.08-0.12 Si, % 0.2-0.5 Mn, % 0.3-0.6 S, % 0-0.01

P, % 0-0.02 N, % 0.03-0.07 V, % 0.18-1.05 Nb, % 0.06-0.1 Al, Ni % 0-0.04

*c) 2. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) – KM'i taraflı elementel haritalanmasının değerlendirilmesi:*

2. Malzeme çiftinin kaynak işlemi sonrasında mikroyapıda oluşabilecek fazların ve elementleri değerlendire bilmek için SEM görüntüsü alınmıştır. Oluşabilecek fazla belirtilmiştir. SEM görüntülerinden (EDS) analizi yapılmıştır. SEM görüntüsü üzerinde EDS elementel haritalanmasında malzeme içi her bir elemente ait dağılım renk değişkenliği ile gösterilmiştir. Kaynak metali ve ana metal mikroyapısı içinde bulunan C, Mn, N, P ve Si konsantrasyonu çok düşüktür. Fe, Cr ve Ni konsantrasyonu yüksektir. Düşük olan konsantrasyonlar, (EDS) grafiklerinde cihaz algılama kapasitesinin dışında kalmıştır.

Şekil 3.57'de elementel analiz haritası incelendiğinde matris yapı içerisinde bulunan Cr elementinin konsantrasyonu kaynak metalinde homojen ve yoğun olarak dağılmıştır. Standartlara göre ana metalde (X5CrNi18-10 (S304) bulunan Cr oranı, KM(X8CrNi25-21(310) da bulunan Cr oranına göre daha azdır. Elementel haritalanmada görüldüğü gibi ana metalde Cr elementi kaynak metalinden daha azdır. Cr elementi standart kompozisyonunun üzerine çıkmıştır. Şekil 3.54'te gösterilen EDS analizindeki Cr elementi standart kompozisyonunun üzerine

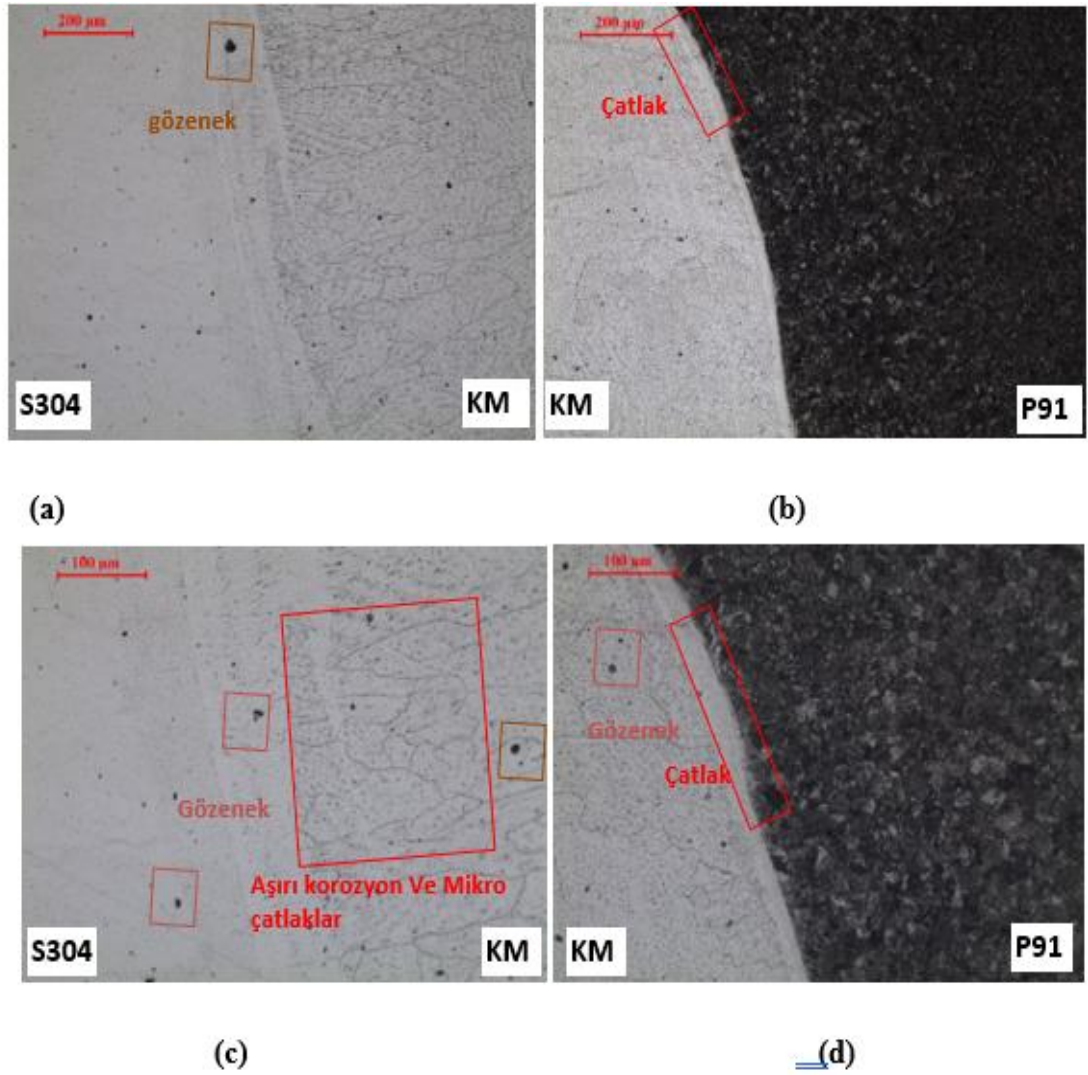
çıkıştır. Şekil 3.43'te SEM görüntüsünde görüldüğü gibi krom artışı, tane sınırlarında krom karbür oluşumunu ve tane birleşimlerinde Sigma fazı oluşumunu sağlamıştır. Ni elementinin elementel haritalanmada görüldüğü gibi ana matris üzerinde homojen dağıldığı görünmektedir. Fe elementinin ana metaldeki yoğunluğu daha fazla olduğu söylenebilir.

*d) 2. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) – KM'i tarafı elementel haritalanmasının değerlendirilmesi:*

2. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) – KM'i tarafı elementel haritalanması, X10CrMoVNb9-1 (P91) – KM'i tarafı SEM görüntüsü üzerinde EDS elementel haritalanmasında malzeme içi her bir elemente ait dağılım renk değişkenliği ile gösterilmiştir. Elementel haritalamada renk kodlarına göre Fe, Cr ve Ni konsantrasyonlarının yoğunluğu görünmektedir. C, Mn, N, P, Al, Nb, V, S ve Si yüzdeleri görünmemektedir. Bunun sebebi cihaz algılama kapasitesinin konsantrasyonu düşük olan elementleri algılayamamış olmasıdır.

Şekil 2.92'de elementel analiz haritası incelendiğinde Cr elementi Kaynak metalinde yoğun olarak gözlenmektedir. Kaynak metali ana metal ara yüzeyi (geçiş bölgesinde), Cr elementinin yoğun konsantrasyonundan Fe elementinin yoğun konsantrasyonuna geçişi görünmektedir. Ni elementinin dağılımı matris yapı içerisinde gösterilmiştir. Ni elementi kaynak metalinde ve ara yüzeyde homojen olarak dağılmıştır. Ni konsantrasyonu kaynak metalinden ara yüzey (geçiş bölgesi)'ne doğru azalmış ana metalde ise hiç görünmemektedir. Kaynak metali-ana metal ara yüzeyleri (geçiş bölgesi)'nin mikroyapısını alınan optik mikroskop ve SEM görüntülerini, EDS ve elementel haritalanma ile alınan değerler desteklemiştir.

### 3.3.9 MIG Kaynağı sonrası 3. Malzeme çiftinin optik mikroskop görüntülerinin değerlendirilmesi



**Şekil 3.64:** 3. Malzeme çiftinin MIG kaynağı sonrası optik görüntüsü.

MIG kaynağı öncesi ön ısıtma ve MIG kaynağı sonrası gerilim giderme ısıl işlemleri uygulanmamıştır.

(a) ve (c)' de X5CrNi18-10 (S304) malzemesinin kaynak bölgesi, kaynak – ana metal ara yüzeyi ve ITAB bölgesi görünmektedir.

Ana metal(ITAB); östenitik mikroyapısı görünmektedir. Mikroyapıda koyu siyah renkte noktalar halinde görünenler kaynak esnasında kaynak havuzunda oluşan gözeneklerdir. Ana metal (ITAB) bölgesinde ince taneli bir yapı gözlemlenmektedir.

ana metal – kaynak metali ara yüzeyine yaklaştıkça tane içerisinde olan  $\delta$ -ferritler görünmektedir.

Kaynak – Ana metal Ara yüzeyi; Ara yüzede alınan (EDS) değerine göre Schaeffler diyagramından faydalanılarak mikroyapı östenit + Ferrit yapı söylenebilir. (EDS) analizi Şekil 3.76'den alınan kromyüzdesi, bu ara yüzeyde arttığı söylenebilir.

Kaynak metali; İnce taneli östenitikyapı içerisinde aşırı bir korozyon olduğu ve kromların bu alanlara yöneldiği söylenebilir. Yönelen karbürler (krom karbür) oluşturacaktır. Şekil 3.64 (c)'de tane sınırlarıyla birleşen mikro çatlaklar görünmektedir. Çatlaklar tane sınırları boyunca birleşmiştir. Çizelge 3.3' de 3. Malzeme çifti'e ait çekme mukavemeti ve Çizelge 3.6'da 3. Malzeme çiftine ait çentik darbe testi sonuçları görünmektedir. Kaynak metalinde oluşan çatlakların bu değerleri düşürdüğünü görülebilmıştır. MIG yöntemiyle birleştirilen 3. Malzeme çifti, ön ısıtma yapılmadığından ve MIG kaynak yönteminin ısı girdisinin yüksek olmasından çatlaklar oluşmuştur. MIG yöntemi, CMT kaynak yöntemi ile aynı gazı ve gaz debisi kullanılmasına rağmen hem kaynak metalinde hemde anametalde oluşan oksitlenme MIG kaynak yönteminin atmosferik ortamdan kaynak havuzunu korumada CMT'ye göre yeterli olmadığını göstermiştir.

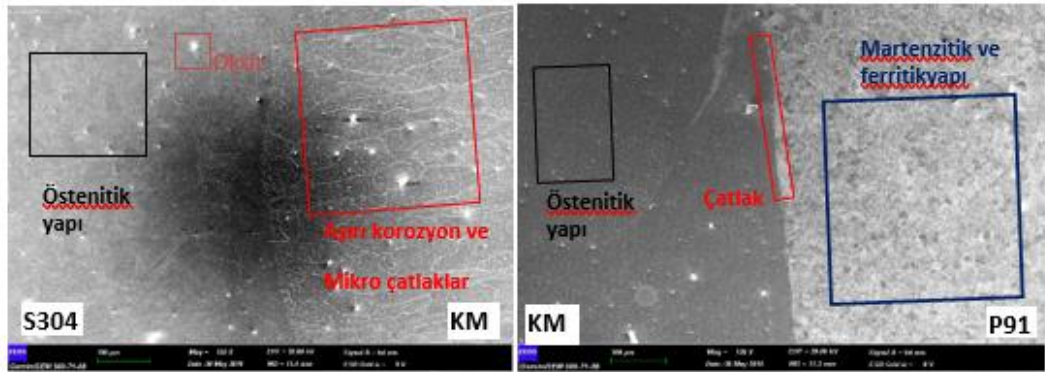
(a) ve (d)'de X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesinin kaynak bölgesi, kaynak –ana metal ara yüzeyi ve ITAB bölgesi görünmektedir.

Ana metal; X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesi ön ısıtma olmadan kaynağı yapılmıştır. X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesi sürünme dayanımlı ferritik çelik olduğundan yüksek ısı girdisi ile yapılan kaynak işlemlerinde hızlı martenzit dönüşüm gerçekleşir. 3. Malzeme çiftinin MIG kaynağının optik mikroskop görüntüsü Şekil 3.41 (b) ve (d)' de ana metal IT AB'de çatlak görünmemektedir. Mikroyapı martenzitik yapı ile ferritik yapıdadır.

Kaynak metali (KM); homojen yönlenmiş ince taneli östenitikyapı görünmektedir. Östenitikyapı ve  $\delta$ -ferritik yapı görünmektedir. kaynak metalinin X5CrNi18-10 (S304) malzemesi tarafı kaynak metalinde olduğu gibi mikroyapıda aşırı korozyona uğramış tane sınırları, tane sınırlarında mikro çatlaklar ve tanelerde MIG kaynağından doğan gözenekler görünmektedir.

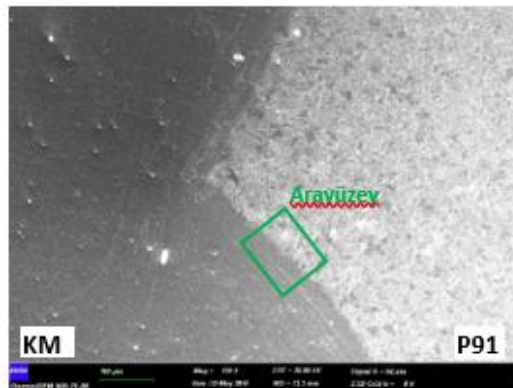
Kaynak – ana metal ara yüzeyi; MIG kaynağı, ısı girdisi yüksek olan kaynak proseslerindedir. X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesi sürünme dayanımlı çelik olduğundan dolayı MIG kaynağı ile yapılan bir kaynakta hızlı ve aşırı ısınacak ve çabuk soğuyacaktır. Malzemenin mikroyapısı hızlı ve aşırı ısınmaya ve soğumaya cevap veremeyecektir. [3.1]’e göre hesaplanan  $C_{eş}$  göre malzemeyi mikroyapıyı hasara uğratmadan ön ısı yapılmasını gerektirmiştir. Bu nedenle ön ısıtma yapılmadan yapılan malzeme 3. Malzeme çifti MIG kaynağı optik mikroskop görüntüsü Şekil 3.64 (b) ve (d)’de Kaynak – ana metal ara yüzeyinde çatlak oluşumu görünmektedir. Şekil 3.71’de (EDS) analizinden ara yüzeyin kimyasal kompozisyonu görünmektedir. Schaeffler diyagramından faydalanılarak mikroyapı martenzitik ve ferritik yapısı olduğu söylenebilir.

### 3.3.10 MIG Kaynağı konrası 3. Malzeme çiftinin SEM görüntülerinin değerlendirilmesi

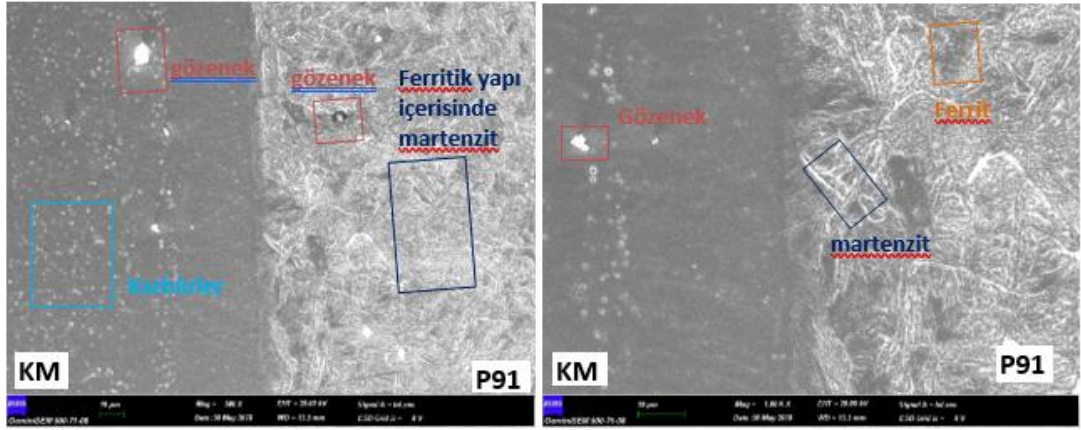


(a)

(b)

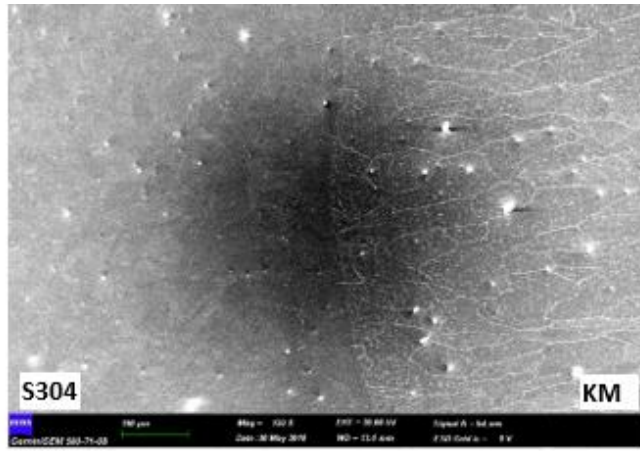


(c)

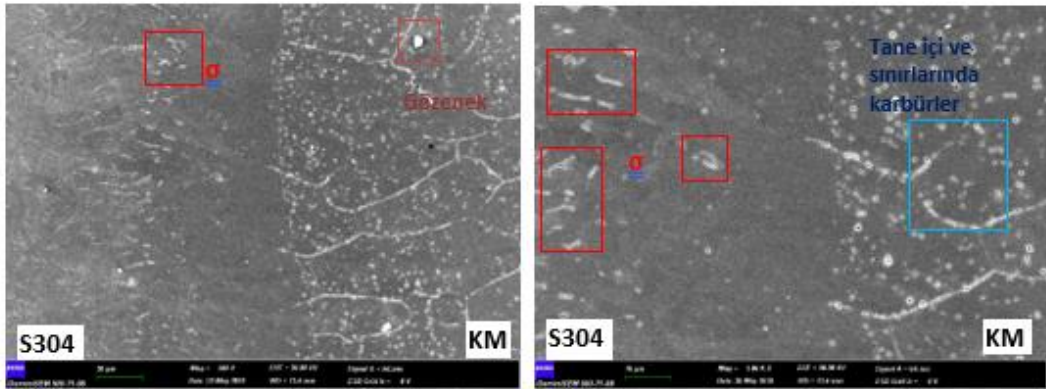


(d)

(e)



(f)



(g)

(h)

**Şekil 3.65:** 3. Malzeme çiftinin MIG kaynağı sonrası SEM görüntüsü.

(a), (f), (g) ve (h)'de X5CrNi18-10 (S304) malzemesinin kaynak bölgesi, kaynak – ana metal ara yüzeyi ve ITAB bölgesi görünmektedir. (b), (c), (d) ve (e)'de

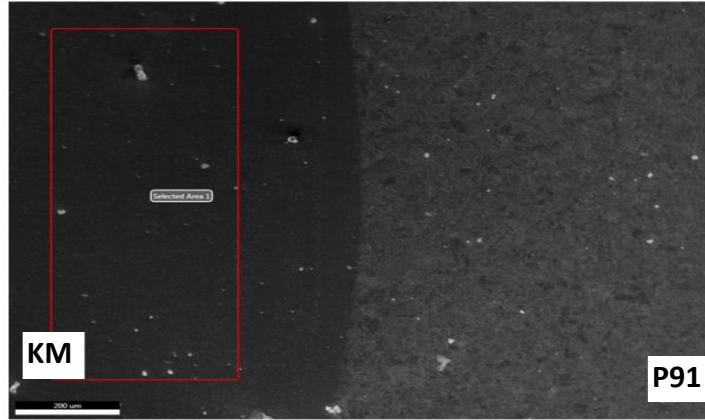


X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesinin kaynak bölgesi, kaynak – ana metal ara yüzeyi ve ITAB bölgesi görünmektedir.

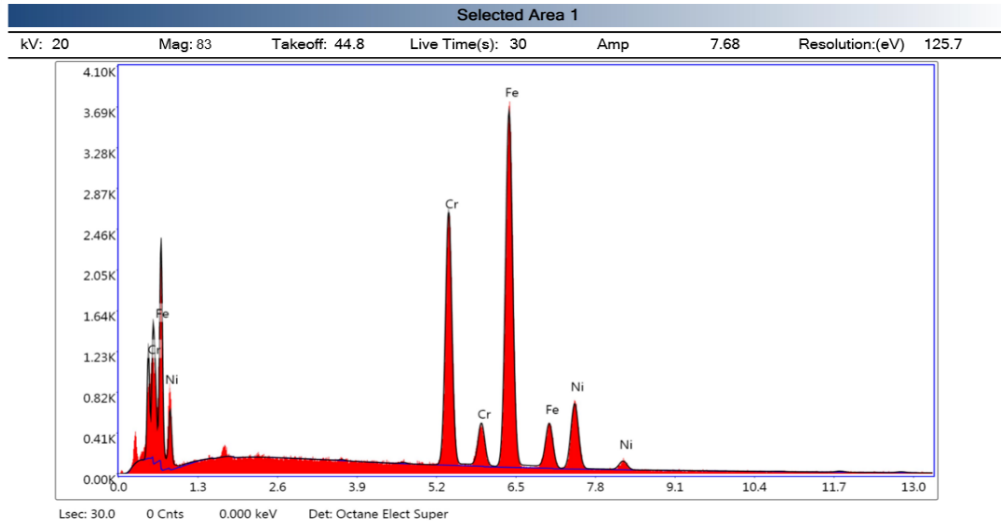
(a), (f), (g) ve (h)'da östenitik mikroyapıdır. X5CrNi18-10 (S304) ana metalde (ITAB), kaynak – ana metal ara yüzeyinde ve kaynak metalinde tane sınırlarında ve tane içerisinde karbürler yoğun olarak gözlenmektedir. MIG kaynak yönteminin ısı girdisinin yüksek olması sert ve kırılğan bir faz olan Sigma( $\sigma$ ) fazının oluşumuna yol açmıştır. Sigma fazı( $\sigma$ ) tane sınırlarının kesiştiği yerde X5CrNi18-10 (S304) ana metal (ITAB) tarafında yoğun olarak gözlenmektedir. Mikroyapıda östenitik yapı içerisine dağılmış gözenekler görünmekte ve tane sınırlarında mikro çatlaklıklar mevcuttur. Oluşan mikro çatlaklar tane sınırları boyunca keskin ve sert biçimde yönelmiştir. Kaynak metalinde  $\delta$ -ferrit oluşumu az olduğu görünmektedir.  $\delta$ -ferrit'in az olma sebebi kromların karbon tarafından tane içinde ve sınırlarında tutulması  $\delta$ -ferrit'i azalmıştır.

(b), (c), (e) ve (f)'de X10CrMoVNb9-1 (P91) ana metal sürünme dayanımlı ferritik çelikdir. Ana metal (ITAB) mikroyapısında ferritik yapının yanı sıra martenzitik yapı yoğun olarak görünmektedir. Kaynak metali – ana metal ara yüzeyinde sert ve keskin çizgi olarak görünen mikro çatlak oluşumu mevcuttur. Mikroyapıda oksitli ve karbürlü yapı da gözlemlenmektedir. X5CrNi18-10 (S304) ana metal (ITAB) tarafına oranla X10CrMoVNb9-1 (P91) ana metalinde sigma ( $\sigma$ ) fazı görünmemektedir. S304 tarafı kaynak metali mikro çatlaklıkları sigma fazından oluşma ihtimali yüksek iken P91 malzeme tarafında ara yüzeyde oluşan çatlak, martenzitten oluşma ihtimali yüksektir.

### 3.3.11. MIG Kaynağı sonrası 3. Malzeme çiftinin EDS analizi değerlendirilmesi



Şekil 3.66: 3. Malzeme çifti X10CrMoVNb9-1 (P91) malzeme tarafı kaynak metalinin EDS analizini gösteren SEM.

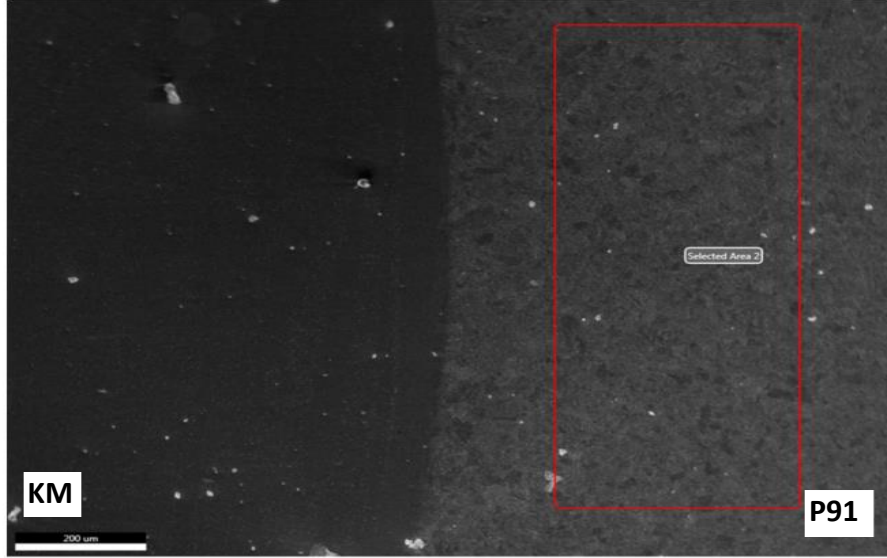


Şekil 3.67: 3. Malzeme çifti X10CrMoVNb9-1 (P91) malzeme tarafı kaynak metalinin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS grafiği

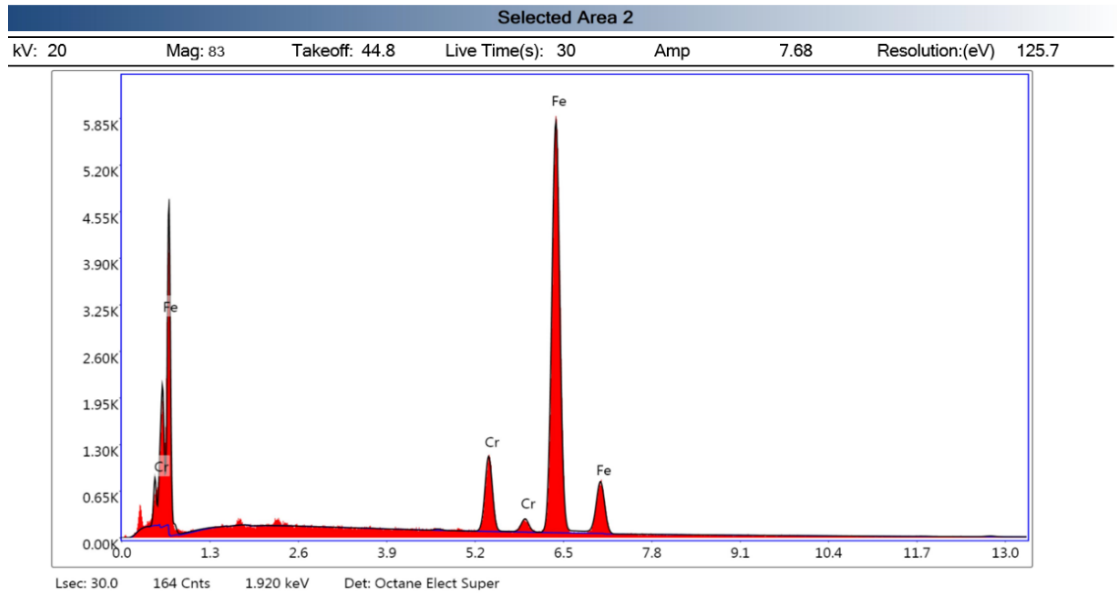
Çizelge 3.31 3. Malzeme çifti X10CrMoVNb9-1 (P91) malzeme tarafı kaynak metalinin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS

#### eZAF Smart Quant Results

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.
CrK	27.3	28.96	1141.11
FeK	57.46	56.74	1732.42
NiK	15.23	14.31	342.27



**Şekil 3.68:** 3. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesi EDS analizini gösteren SEM.

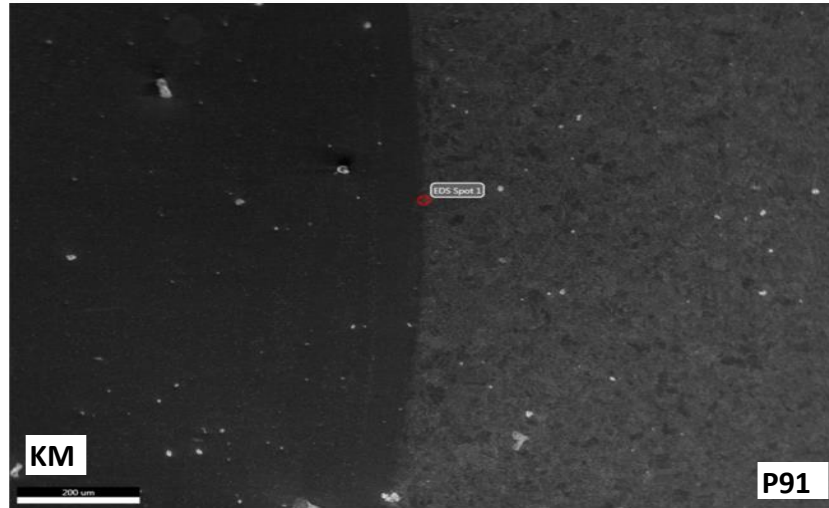


**Şekil 3.69:** 3. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesi elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS grafiği

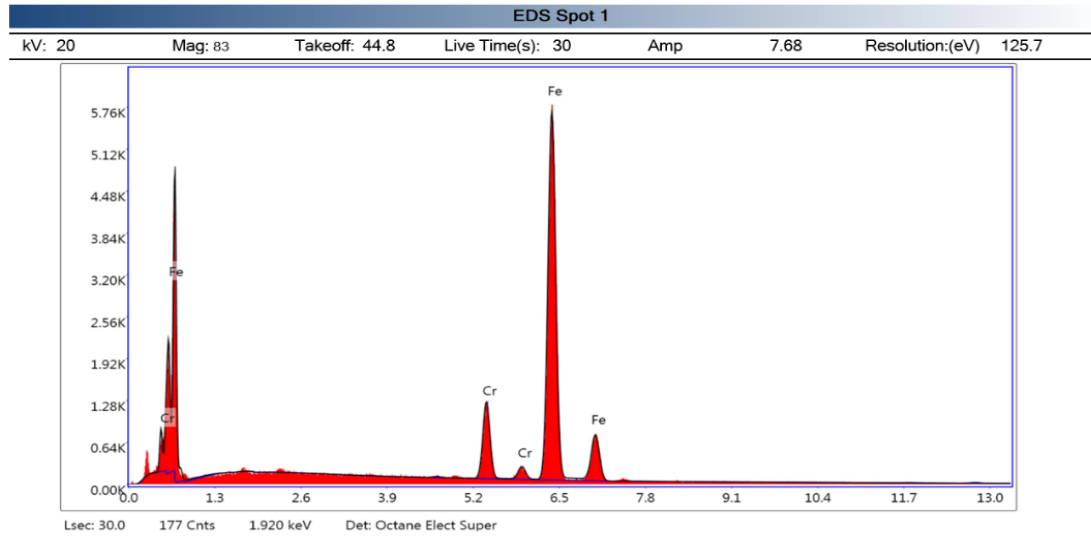
**Çizelge 3.32** 3. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesi elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS

**eZAF Smart Quant Results**

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.
CrK	10.56	11.26	464.08
FeK	89.44	88.74	2754.49



**Şekil 3.70:** 3. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesi-KM ara yüzeyi EDS analizini gösteren SEM.

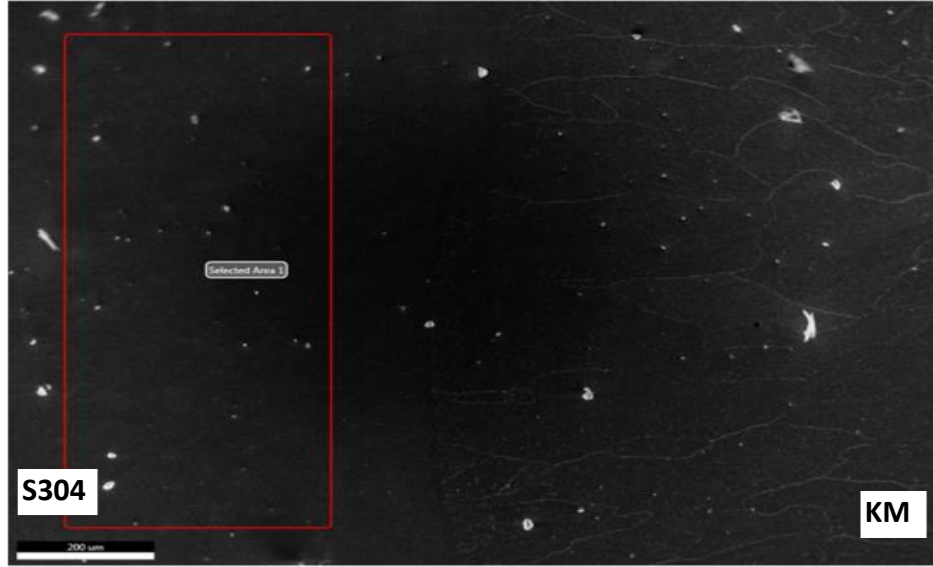


**Şekil 3.71:** 3. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesi-KM Ara yüzeyi elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS grafiği.

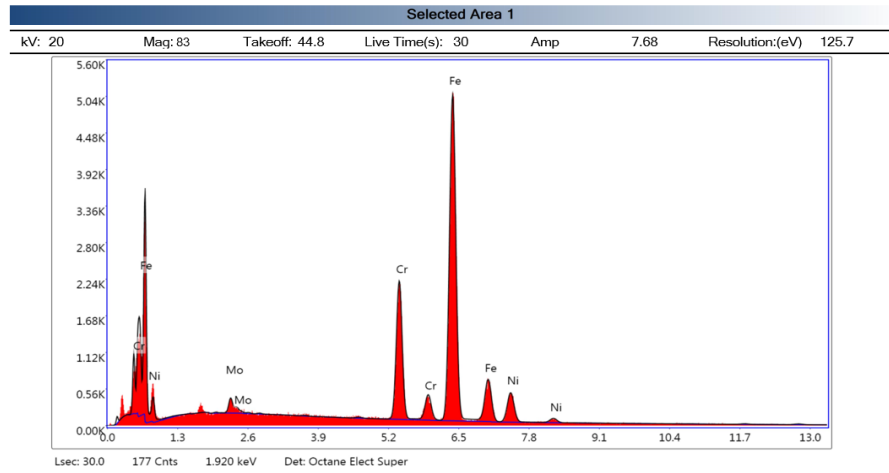
**Çizelge 3.33** 3. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesi-KM Ara yüzeyi elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS.

### eZAF Smart Quant Results

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.
CrK	11.87	12.64	519.49
FeK	88.13	87.36	2706.8



Şekil 3.72: 3. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) malzemesinin EDS analizini gösteren SEM.

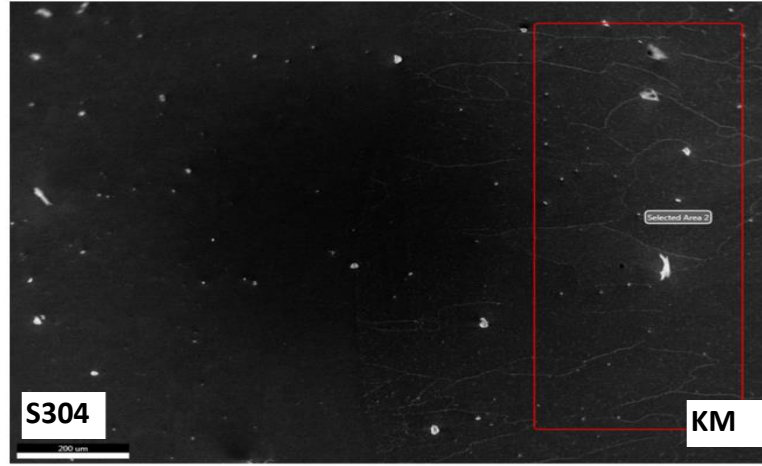


Şekil 3.73: 3. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) malzemesinin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS grafiği.

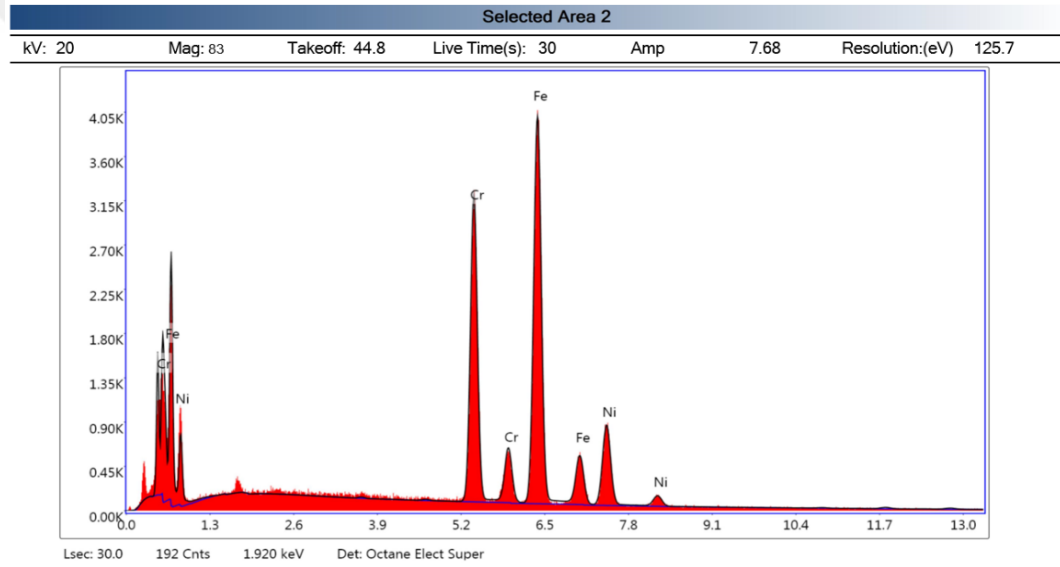
Çizelge 3.34 3. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) malzemesinin Elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS.

### eZAF Smart Quant Results

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.
MoL	1.66	0.96	68.49
CrK	19.58	20.96	943.98
FeK	69.61	69.4	2406.74
NiK	9.16	8.68	233.57



**Şekil 3.74:** 3. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) malzemesi tarafı KM'nin EDS analizini gösteren SEM.



**Şekil 3.75:** 3. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) malzemesi tarafı KM'nin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS grafiği.

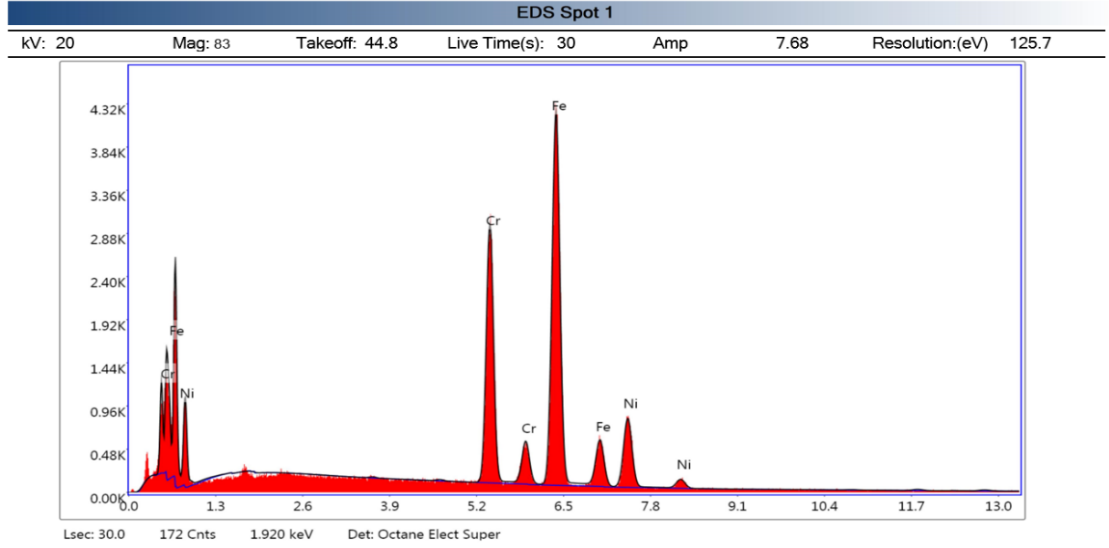
**Çizelge 3.35** 3. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) malzemesi tarafı KM'nin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS.

#### eZAF Smart Quant Results

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.
CrK	28.93	30.66	1403.53
FeK	54.7	53.97	1916.95
NiK	16.37	15.36	428.55



**Şekil 3.76:** 3. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) malzemesi-KM ara yüzeyinin eds analizini gösteren SEM.



**Şekil 3.77:** 3. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) malzemesi-KM ara yüzeyinin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS grafiği.

**Çizelge 3.36** 3. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) malzemesi-KM ara yüzeyinin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS.

### eZAF Smart Quant Results

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.
CrK	26.71	28.34	1287.05
FeK	57.86	57.16	2012.11
NiK	15.43	14.5	399.52

3. Malzeme çiftinin MIG Kaynak yöntemiyle kaynak öncesi ön ısı ve kaynak sonrası gerilim giderme ısı işlemleri uygulanmadan kaynak edildikten sonra 3. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesi, X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesi tarafı kaynak metali (KM), X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesi- kaynak metali (KM) ara yüzeyi, X5CrNi18-10 (S304) malzemesi, X5CrNi18-10 (S304) malzemesi tarafı kaynak metali (KM) ve X5CrNi18-10 (S304) malzeme- kaynak metali (KM) ara yüzeyinden (EDS) analizi yapılmıştır.

X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesi (ITAB) alanı; bu bölgeden alınan (EDS) grafiğinin sonuçlarına göre Cr elementinin kimyasal kompozisyonundaki yüzdesi %0,5 – 1.5 aralığında artışı görülür. Kaynak metali kompozisyonunda bulunan Cr elementi %24-26 aralığında olduğundan dolayı Cr elementinin kaynak havuzundan kaynak metaline difüzyonu olduğu görülmüştür. Bu elementler kaynak havuzundan ana metale doğru difüze olmuştur. Bu elementin artışı ana metal – kaynak metali ara yüzeyindeki mikroyapıyı etkileyecek  $C_{eş}$  ve  $Cr_{eş}$  eşdeğerliklerini artıracaktır.

X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesi tarafı kaynak metali (KM); bu alandan Alınan (EDS) analizine göre Ni elementlerini kimyasal kompozisyonundaki yüzdesi %5-7 oranında azaldığı görülür. Cr oranında bir değişiklik görünmemektedir. Ni elementi östenit yapıcı bir elementtir. Cr elementi ferrit yapıcı bir elementtir. X10CrMoVNb9-1 (P91) sürünmeye dayanıklı ferritik bir çelik dir. X10CrMoVNb9-1 (P91) tarafı ana metale yaklaştıkça mikroyapı ara yüzeye doğru ferritin oranı artmaktadır. Şekil 3.66' de (EDS) sonuçları görünmektedir.

X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesi – KM metali ara yüzeyi; bu bölgeden alınan (EDS) analizinin sonuçlarına göre  $Cr_{eş}$  eşdeğerliği %0,5 – 2,5 oranında artmıştır. Ni elementi bu ara yüzeyde bulunamamıştır. Tane sınırlarına yakın kısımlarda karbürlerin artış nedeni Cr yüzdesinin bu ara yüzeye difüzyon olarak söylenebilir. Şekil 3.66'de gösterilen (EDS) Ni oranını bulunamamasının sonucu olarak ara yüzeyde çatlak oluşumuna sebep olmuş olabilir.

X5CrNi18-10 (S304) malzemesinin ısı tesiri altında kalan (ITAB) bölgesi; bu bölgeden alınan (EDS) grafiğinin sonuçlarına göre Cr ve Ni miktarı ana metaldeki yüzdelerini korumuştur. Mo elementi miktarı artmıştır. Mikroyapı Şekil 3.64'te gösterilen optik mikroskopta östenitik paslanmaz çelik olarak yapısını korumuştur.

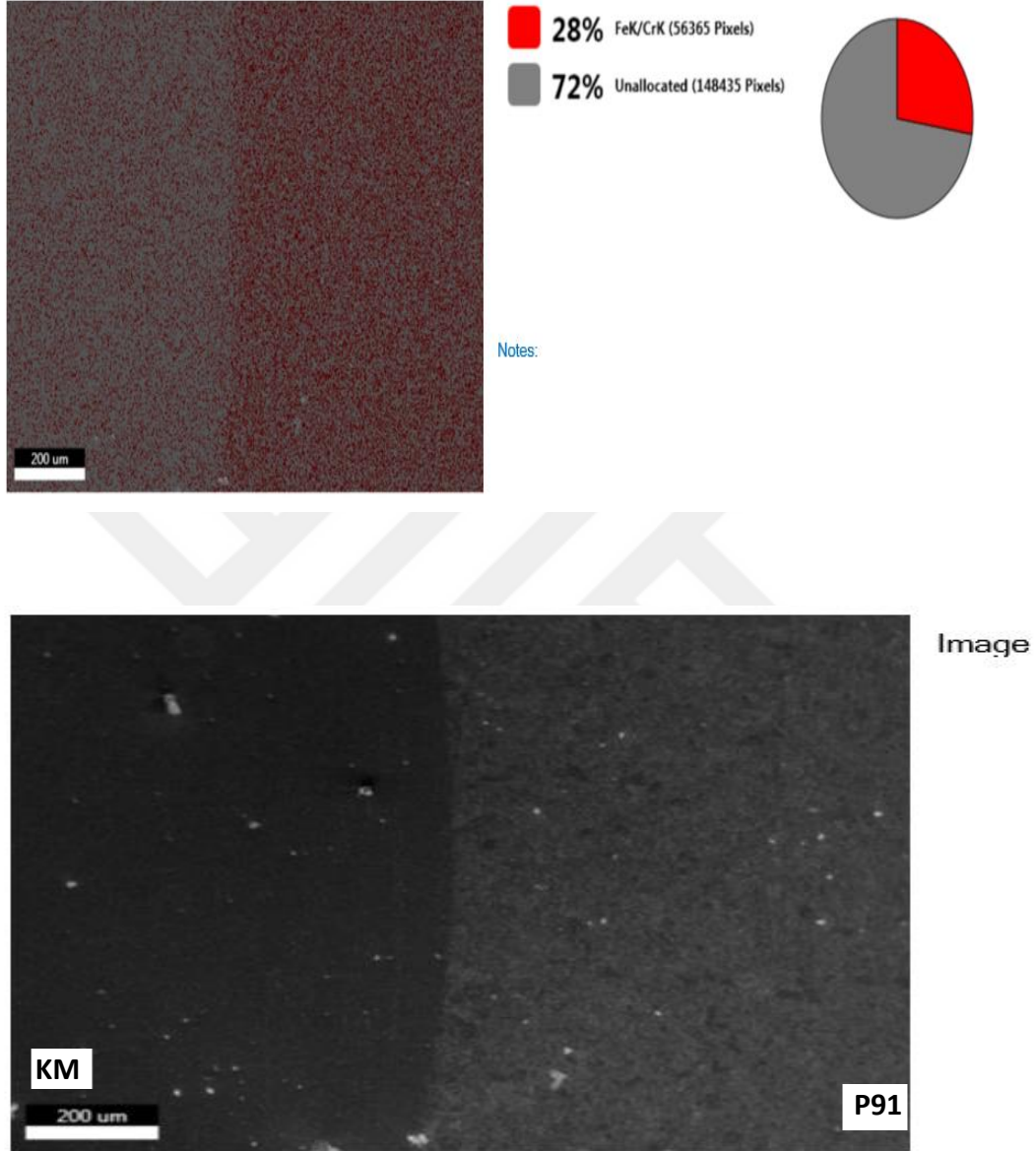


X5CrNi18-10 (S304) malzemesi tarafı kaynak metali (KM) malzemesinden Alınan (EDS) analizine göre Ni miktarı %3- 5 oranında azalmıştır. Cr miktarı %2 – 3 oranında artmıştır. Şekil 3.65'te SEM görüntüsünde görüldüğü gibi mikroyapı östenitik paslanmaz çelik yapısını korumuş ve ferritik yapıcı krom elementi  $\sigma$  fazı ve karbür oluşumunu artırmıştır.

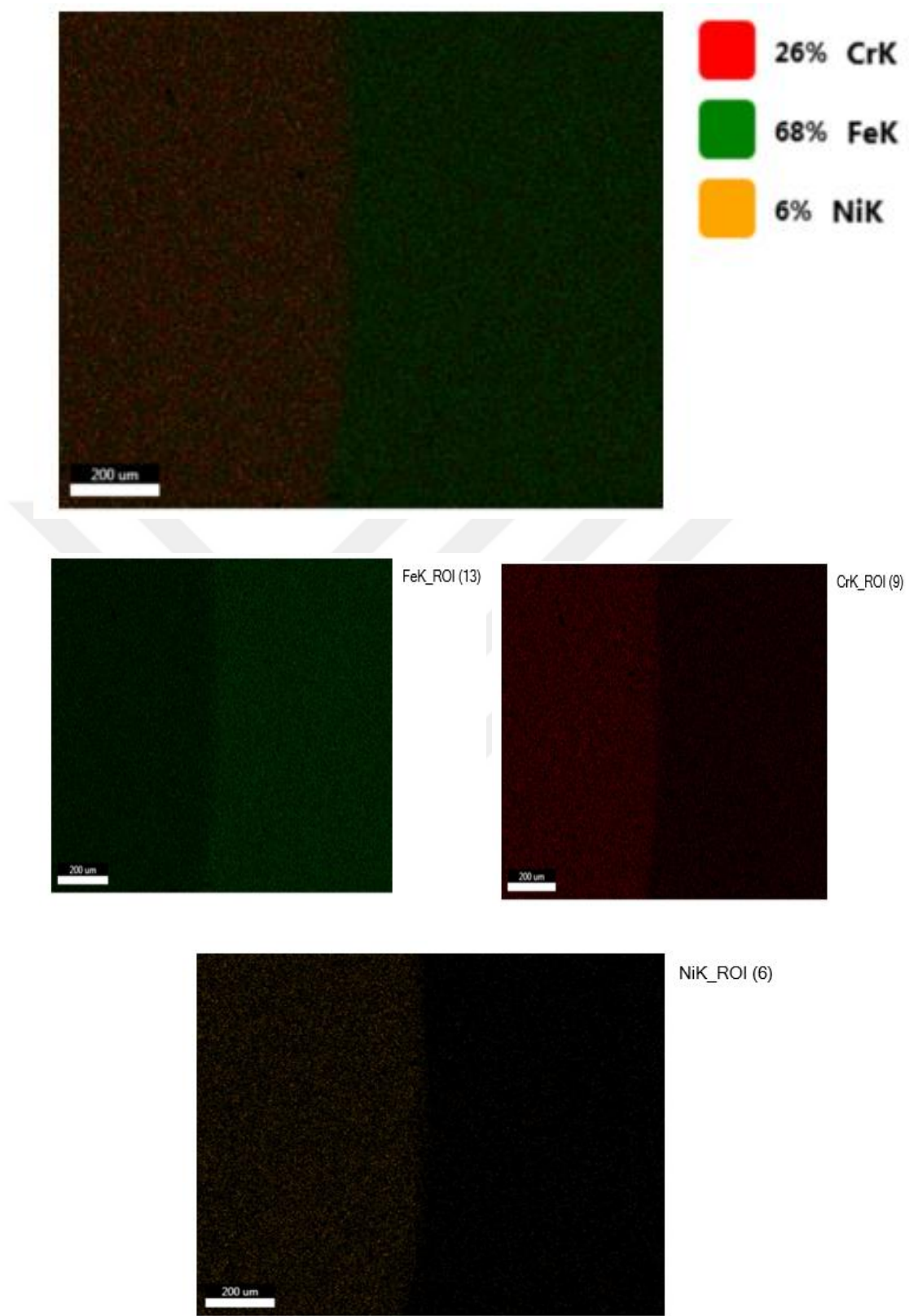
X5CrNi18-10 (S304) malzemesi – KM metali ara yüzeyinden alınan (EDS) analizinin sonuçlarına göre Ni miktarı ana metalin kimyasal kompozisyondaki oranına göre %4- 5,5 oranında artmış, kaynak metalindeki oranına göre %4- 6 oranında azalmıştır. Difüze olan Ni elementi aynı oranda azalıp artmıştır. (EDS) sonuçlarına göre Cr oranı %6- 7 oranında artmıştır. Cr elementi ferritik yapıcı bir element olduğu için mikroyapıda östenitik fazın yanı sıra ferritik fazda gözlemlenebilir. X5CrNi18-10 (S304) malzemesi – KM metali ara yüzeyinden alınan (EDS) analizinin sonuçlarına göre  $Cr_{eş}$  ve  $Ni_{eş}$  değerlikleri hesaplanmıştır.  $Cr_{eş}$ : 26.71 ve  $Ni_{eş}$ : 15,43 olarak bulunmuştur.  $Cr_{eş}$  ve  $Ni_{eş}$  göre schaeffler diyagramından faydalanılarak, mikroyapının östenit + ferrit olduğu söylenebilir.

### 3.3.12 MIG Kaynağı sonrası 3. Malzeme çiftinin elementel haritalaması

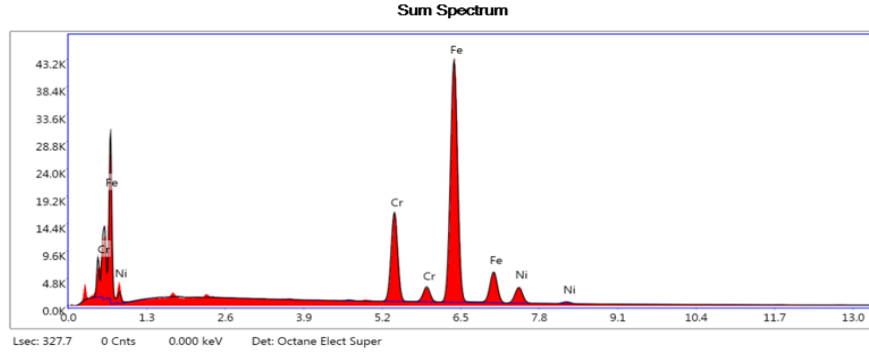
a) 3. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) – KM'nin elementel haritalamasının sonuçları:



**Şekil 3.78:** 3. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) – KM'nin elementel haritalamasını gösteren SEM.



Şekil 3.79: 3. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) – KM'nin elementel haritalaması.

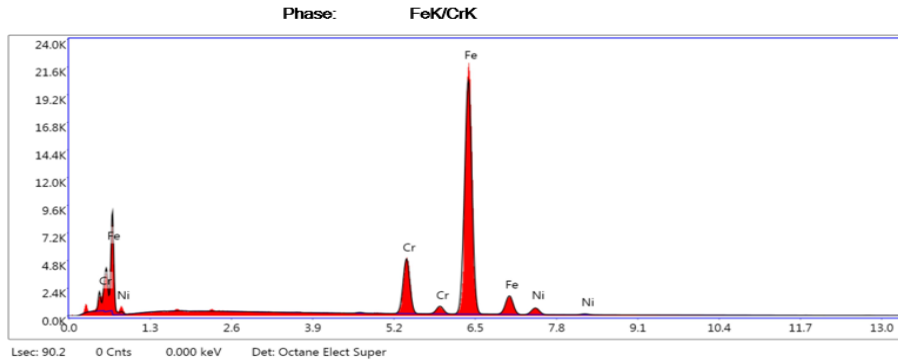


**Şekil 3.80:** 3. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) ile KM'nin toplam EDS grafiği.

**Çizelge 3.37** 3. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) ile KM'nin toplam EDS

**eZAF Smart Quant Results**

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Error %	Kratio	Z	A	F
CrK	18.09	19.24	622.90	2.10	0.1955	1.0013	0.9917	1.0880
FeK	74.78	74.04	1833.80	1.83	0.7320	0.9985	0.9721	1.0085
NiK	7.13	6.71	128.40	3.66	0.0660	1.0117	0.9103	1.0054



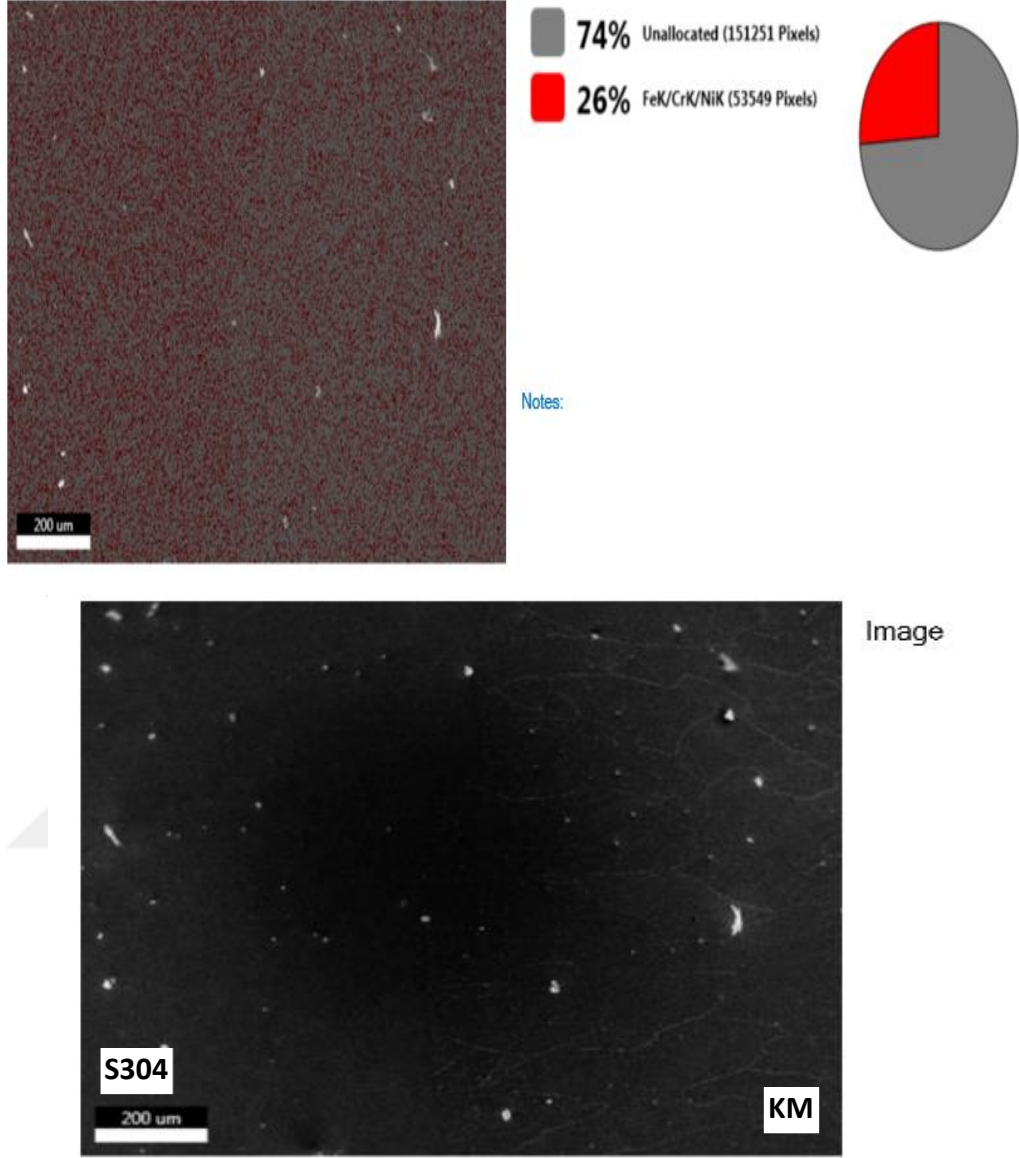
**Şekil 3.81:** 3. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) ile KM'nin ağırlıklı Fe ve Cr elementlerini gösteren EDS grafiği.

**Çizelge 3.38** 3. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) ile KM'nin ağırlıklı Fe ve Cr elementlerini gösteren EDS

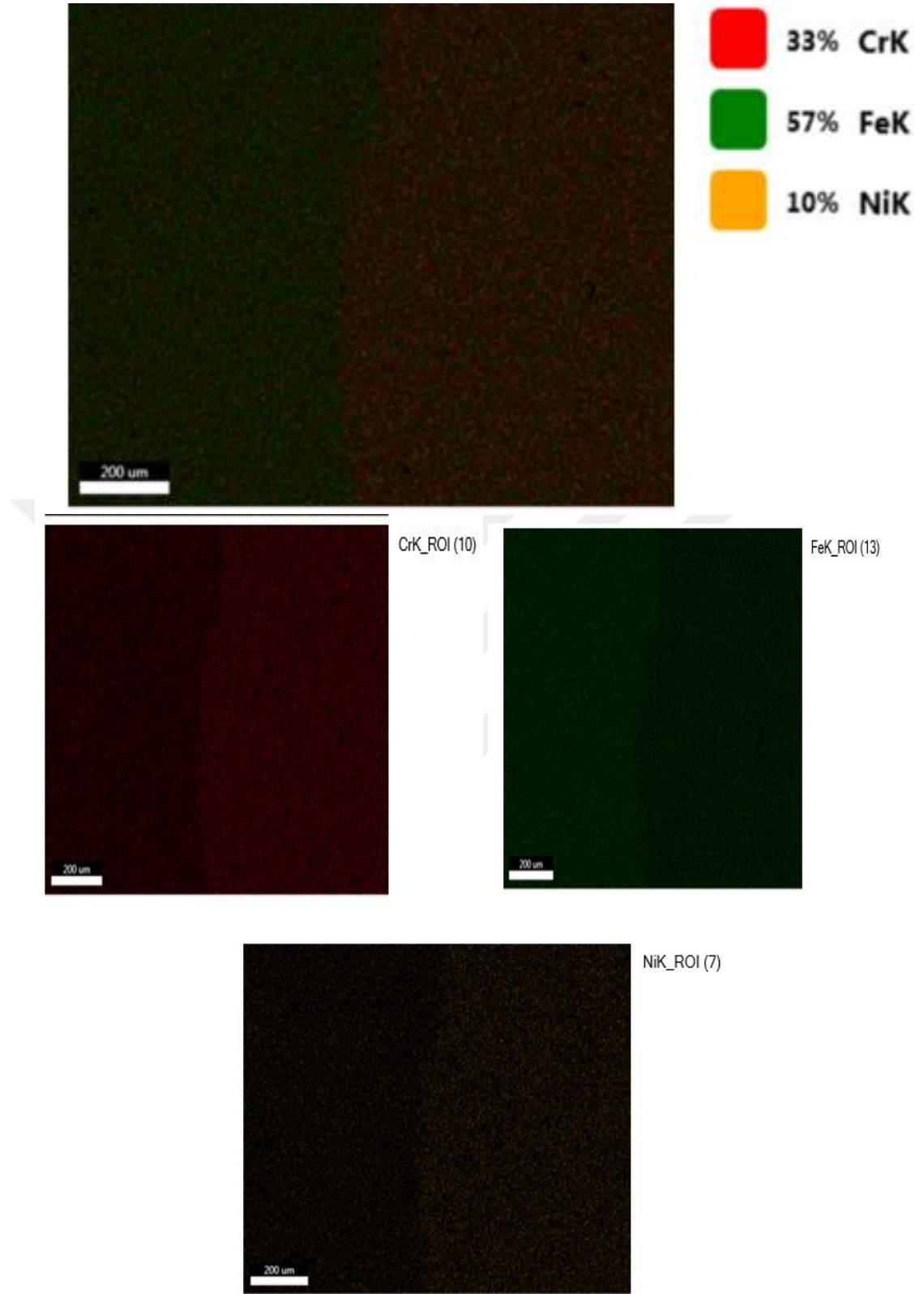
**eZAF Smart Quant Results**

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Error %	Kratio	Z	A	F
CrK	12.80	13.64	687.50	2.42	0.1401	1.0019	0.9916	1.1019
FeK	83.69	83.05	3175.70	1.78	0.8232	0.9991	0.9802	1.0043
NiK	3.51	3.31	96.90	5.18	0.0324	1.0124	0.9062	1.0054

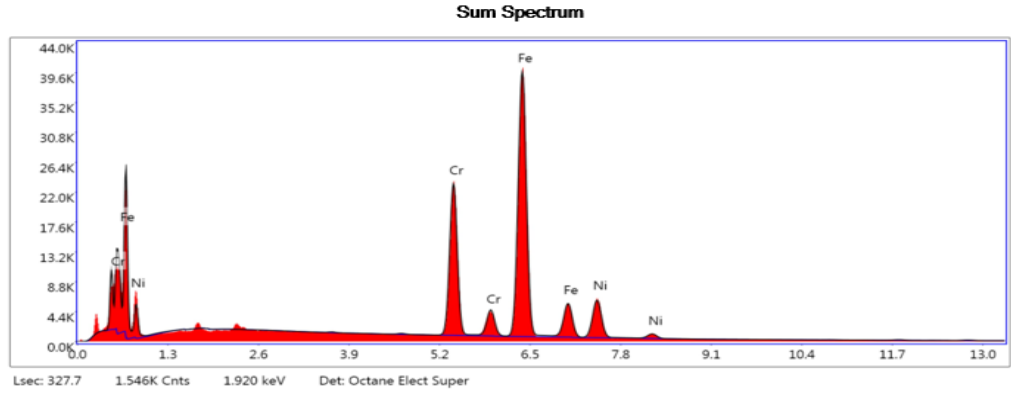
b) 3. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) – KM'nin elementel haritalamasının sonuçları:



Şekil 3.82: 3. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) – KM'nin elementel haritalamasını gösteren SEM.



**Şekil 3.83:** 3. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) – KM'nin elementel haritalaması.

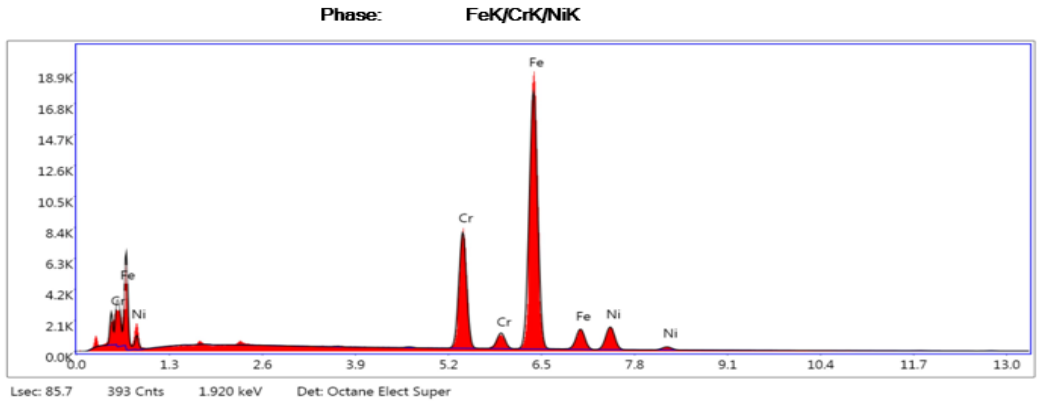


**Şekil 3.84:** 2. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) ile KM'nin toplam EDS grafiği

**Çizelge 3.39** 2. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) ile KM'nin toplam EDS

**eZAF Smart Quant Results**

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Error %	Kratio	Z	A	F
CrK	23.97	25.45	904.90	1.98	0.2556	1.0003	0.9916	1.0751
FeK	63.04	62.33	1711.80	1.98	0.6150	0.9975	0.9631	1.0154
NiK	12.99	12.22	261.60	3.08	0.1210	1.0108	0.9167	1.0053



**Şekil 3.85:** 2. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) ile KM'nin ağırlıklı Fe ve Cr elementlerini gösteren EDS grafiği.

**Çizelge 3.40** 2. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) ile KM'nin ağırlıklı Fe ve Cr elementlerini gösteren EDS

**eZAF Smart Quant Results**

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Error %	Kratio	Z	A	F
CrK	20.84	22.14	1194.90	2.15	0.2238	1.0009	0.9917	1.0819
FeK	70.14	69.38	2874.50	1.96	0.6850	0.9982	0.9679	1.0108
NiK	9.01	8.48	272.50	3.64	0.0836	1.0114	0.9125	1.0054

Östenitik paslanmaz çelik olan X5CrNi18-10 (S304) ana metali, ferritik çelik olan X10CrMoVNb9-1 (P91) ana metali ve Östenitik paslanmaz çelik olan kaynak metali (KM) X8CrNi25-21(310) kimyasal kompozisyonu;

Kaynak metali (KM) X8CrNi25-21(310)

Ni, % 19-22 Cr, % 24-26 C, % 0-0.1 Si, %0-1.5 Mn, % 0-2 S, % 0-0.015 P, 0-0.045 % N, % 0-0.11

Ana metal X5CrNi18-10 (S304)

Ni, % 8-10.5 Cr, % 18-20-20 C, % 0-0.08 Si, %0-0.03 Mn, % 0-2 S, % 0-0.015 P, 0-0.045 % N, % 0-0.1

Ana metal X10CrMoVNb9-1 (P91)

Mo, % 0.85-1.05 Cr, % 8-9.5 C, % 0.08-0.12 Si, %0.2-0.5 Mn, % 0.3-0.6 S, % 0-0.01 P, % 0-0.02 N, % 0.03-0.07 V, % 0.18-1.05 Nb, % 0.06-0.1 Al, Ni % 0-0.04

*c) 3. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) – KM'i taraflı elementel haritalanmasının değerlendirilmesi:*

3. Malzeme çiftinin kaynak işlemi sonrasında X5CrNi18-10 (S304) – KM'i tarafından alınan SEM görüntüsünden elde edilen EDS elementel haritası oluşturulmuştur. Kaynak metali ve ana metal mikroyapısı içinde bulunan C, Mn, N, P ve Si elementlerinin konsantrasyonu çok düşük olduğundan dolayı 4. Malzeme çifti, 2. Malzeme çifti de olduğu gibi EDS analizinde algılanamamışlardır. Fe, Cr ve Ni elementlerinin konsantrasyonları farklı renk kodlarında elementel haritalanması yapılmıştır.

Şekil 3.83'te elementel analiz haritası incelendiğinde (X5CrNi18-10 (S304) ana metalinin matris yapısı içerisinde bulunan Cr elementinin konsantrasyonu kaynak metalinde bulunan Cr elementinin konsantrasyonundan daha azdır. Kaynak metalinin Şekil 3.65 (d) ve (h)'da SEM görüntüsünde kaynak metalinin tane sınırların oluşan karbürler görünmektedir. Cr elementinin kaynak metalinde standart oranlarının üzerine çıkması tane sınırlarında krom karbür oluşumunu göstermektedir. Ni elementi Standart kimyasal kompozisyonlarına göre kaynak metalinde ana metaldeki kompozisyondan daha fazladır. Şekil 3.83'te görüldüğü gibi kaynak metalinde daha yoğun ana metalde daha az yoğunluktadır. Kaynak metalinden ana metale doğru



yoğunluğu azalmaktadır. Ni ve Cr oranları mikroyapının östenitik olması için yeterlidir. Kaynak metali- ana metal ara yüzeyinde Şekil 3.76'da (EDS) sonuçlarına göre Ni konsantrasyonunun ara yüzeyde düşmesi, Cr konsantrasyonunu artışına neden olmuştur. Ferritik yapıcı bir element olan Cr yapıda östenitlerin yanı sıra ferritik fazlarında bulunmasını sağlayacaktır. Fe elementi ana matris yapıyı oluşturan birincil element olarak ana metaldeki oranı kaynak metalindeki orandan daha fazladır.

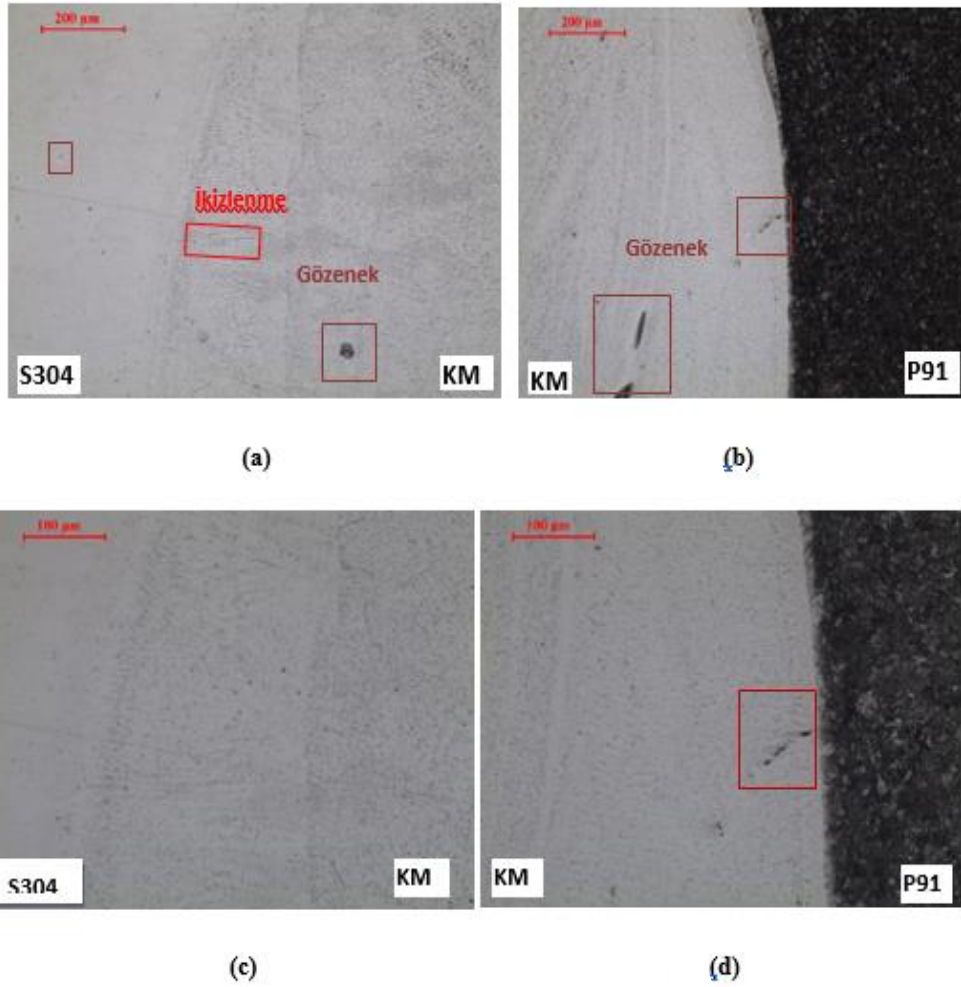
*d) 3. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) – KM'i taraflı elementel haritalanmasının değerlendirilmesi:*

3. Malzeme çiftinin kaynak işlemi sonrasında X10CrMoVNb9-1 (P91) – KM'i tarafından alınan SEM görüntüsünden elde edilen EDS elementel haritası elde oluşturulmuştur. Kaynak metali ve ana metal mikroyapısı içinde bulunan C, Mn, N, P, Al, Nb, V, S ve Si yüzdeleri elementlerinin konsantrasyonu çok düşük olduğundan dolayı 4. Malzeme çifti, 2. Malzeme çifti de olduğu gibi EDS analizinde algılanamamışlardır. Fe, Cr ve Ni elementlerinin konsantrasyonları farklı renk kodlarında elementel haritalanması yapılmıştır.

Sürünme dayanımlı ferritik çelik olan X10CrMoVNb9-1 (P91) Cr kompozisyonu Şekil 3.69'da (EDS) analizinde görüldüğü gibi standart kompozisyonun üzerine çıkmıştır. Şekil 3.65 (d) ve (h)'da SEM görüntüsünde görüldüğü gibi mikroyapıda martenzitik fazların yanı sıra tane içlerinde ve sınırlarında kromkarbürler oluşmuştur. Cr konsantrasyonu standartlarda olduğu gibi elementel haritalanmasında da kaynak metalinde ana metale göre daha fazla olduğu görünmektedir. Ni elementinin dağılımı matris yapı içerisinde gösterilmiştir. X10CrMoVNb9-1 (P91) ana metalin Ni elementi konsantrasyonu çok çok düşük oranlardadır. Ni elementi Şekil 3.79'da elementel haritalamada görüldüğü gibi kaynak metalinde daha da fazladır. Şekil 3.67'deki (EDS) grafiğinden Ni oranının X10CrMoVNb9-1 (P91) ana metali tarafında azaldığı görünmektedir. Kaynak metali östenitik paslanmaz çelik olması, ana metal ferritik çelik olması, X10CrMoVNb9-1 (P91) ana metali – KM ara yüzeyinden alınan grafik Şekil 3.76'te EDS analizine göre martenzitik paslanmaz çelik kompozisyonunu oranındadır. Elementel haritalamada kaynak metalinden ara yüzeye doğru Cr ve Ni kompozisyonları azaldığı görünmektedir. Şekil 3.65 (c)'de SEM görüntüsünde görüldüğü gibi ara yüzeyin mikroyapısında martenzitik yapı

mevcuttur. Fe konsantrasyonu ana metal de ferritik mikroyapıyı oluşturan ana elementtir. Elementel haritalanmada görüldüğü gibi ana metaldeki Fe oranı kaynak metali Fe oranından daha fazladır.

### 3.3.13 MIG Kaynağı sonrası 1. malzeme çiftinin optik mikroskop görüntülerinin değerlendirilmesi



**Şekil 3.86:** 1. Malzeme çiftinin MIG kaynağı sonrası optik mikroskop görüntüsü.

1. Malzeme çiftinin MIG kaynağı öncesi ön ısıtma ve MIG kaynağı sonrası gerilim giderme ısıl işlemleri uygulanmıştır. Uygulanan ön ısıtma ve gerilim giderme değerleri çizelge 2.13'te gösterilen kaynak yöntemi spesifikasyonundan uygulanmıştır. Gerilim giderme ısıl işlemi Şekil 2.15'te görünmektedir.

(a) ve (c)' de X5CrNi18-10 (S304) malzemesinin kaynak bölgesi, kaynak – ana metal ara yüzeyi ve ITAB bölgesi görünmektedir.

Ana metal(ITAB); ana metal mikroyapısında görünen kaba siyah noktalar, kaynak esnasında kaynak havuzunda oluşan gözeneklerdir. Ana metal ısı tesiri altında kalan bölge ince taneli östenitik mikroyapıda olduğu görünmektedir. Şekil 3.89’da ana metalden alınan EDS analizine göre sonuçlanan element yüzdelerinden hesaplanan Cr ve Ni eşdeğerlikleri, Schaeffler diyagramını kullanarak yapının östenitik olduğunu kanıtlamaktadır. Ana metalde herhangi bir mikro çatlak oluşumuna rastlanılmamaktadır. Ana metal (ITAB) bölgesinde ince taneli bir yapı gözlemlenmektedir. ana metal – kaynak metalini ara yüzeyine yaklaştıkça tane içerisinde olan  $\delta$ -ferritler görünmektedir.

Kaynak – Ana metal Ara yüzeyi; ara yüzeyin östenitik mikroyapısında ara yüzeyden kaynak metaline doğru ikizlenmelerin olduğu görünmektedir. Ara yüzeyin tane içinde ve sınırlarında ince siyah noktalar halinde görünen yapı, kaynak metalinden dolayı artan Cr konsantrasyonu ile oluşan krom karbürler olduğu söylenebilir. Ara yüzeden alınan (EDS) değerine göre Schaeffler diyagramından faydalanılarak mikroyapı östenit + Ferrit yapıda olduğu söylenebilir.

Kaynak metalini; Kaynak metalini mikroyapısı ince taneli östenitik yapı olarak görünmektedir. kaynak metalini-ana metal ara yüzeyinde görülen ince siyah noktaların yoğunluğu, kaynak metalinde dahada arttığı görünmektedir. Krom karbürlerin yoğunluğu tane sınırlarında ve tane içerisinde artmıştır.

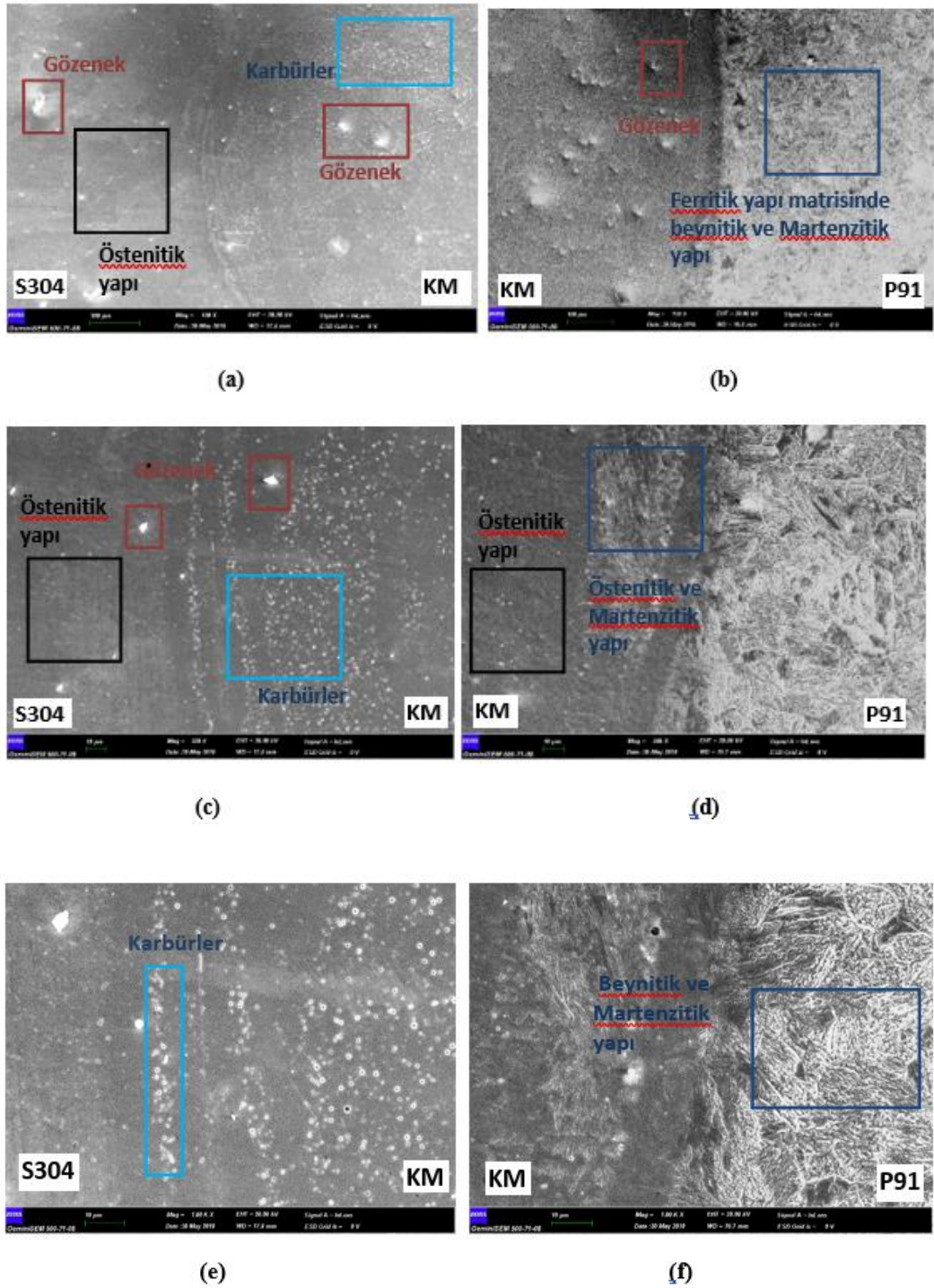
(b) ve (d)’de 3. Malzeme çiftinin MIG kaynağı sonrası X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesinin kaynak bölgesi, kaynak – ana metal ara yüzeyi ve ITAB bölgesi görünmektedir.

Ana metal; X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesi çizelge 2.13’te gösterilen kaynak yöntemi spesifikasyonundan yararlanılarak ön ısıtma işlemi yapılmıştır. X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesi sürünme dayanımlı ferritik çelik olduğundan yüksek ısı girdisi ile yapılan kaynak işlemlerinde hızlı martenzit dönüşüm gerçekleşir. Martenzit oluşumundan ortaya çıkacak problemleri önlemek için kaynak öncesi ana metale uygulanacak minimum sıcaklık olan ön ısıtma uygulanmıştır. 1. Malzeme çiftinin MIG kaynağı sonrası ana metalde, kaynak metalinde ve ara yüzeyde mikro çatlak oluşumuna rastlanılmamıştır. Mikroyapının ferritik ve martenzitik olduğu görünmektedir.

Kaynak metali (KM); 1. Malzeme çiftinin kaynak metalinin mikroyapısı ince taneli olarak yönlenmiş östenitik yapı görünmektedir. Mikroyapıda iri siyah noktalar halinde gözüken bölgeler, gözenek oluşumudur. Kaynak metalinin X5CrNi18-10 (S304) malzemesi tarafı kaynak metalinde görülen ince siyah noktaların yoğunluğu, X10CrMoVNb9-1 (P91) tarafı kaynak metalinde azalmıştır. Bunun sebebi Cr oranının, X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesi birleşimi ara yüzeyine doğru azalmış olmasından dolayıdır. Şekil 3.95'te kaynak metali (EDS) analizinde Cr oranı %27,38 iken Şekil 3.97'de kaynak metali ana metal ara yüzeyi (EDS) analizinde Cr oranının %14,86 olduğu görünmektedir.

Kaynak – ana metal ara yüzeyi; 1. Malzeme çiftinin kaynak metali – ana metal geçiş bölgesi olan ara yüzeyde herhangi bir mikro çatlaklara rastlanılmamıştır. Ara yüzeyin mikroyapısında da görüldüğü gibi ara yüzeye uygulanan (EDS) analizine göre Şekil 3.97'de hesaplanan Cr ve Ni eşdeğerlikleri ile Schaeffler diyagramından faydalanılarak mikroyapının martenzitik ve ferritik yapısı olduğu söylenebilir.

### 3.3.14 MIG Kaynağı sonrası 1. Malzeme çiftinin taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntülerinin değerlendirilmesi



Şekil 3.87: 1. Malzeme çiftinin MIG Kaynağı Sonrası SEM Görüntüsü.

(a), (c) ve (e)'de X5CrNi18-10 (S304) malzemesinin kaynak bölgesi, kaynak – ana metal ara yüzeyi ve ITAB bölgesi görünmektedir. (b), (d) ve (f)'de X10CrMoVNb9-

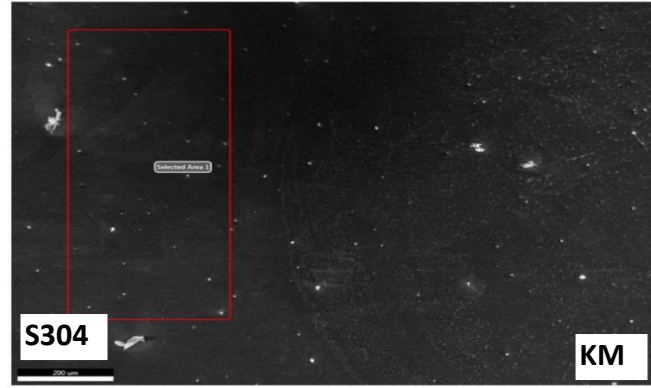
1 (P91) malzemesinin kaynak bölgesi, kaynak – ana metal ara yüzeyi ve ITAB bölgesi görünmektedir.

Şekil 3.87’de 1. Malzeme çiftinin MIG kaynağı sonrası SEM görüntüsüne göre ana metalde, ana metal – kaynak metal ara yüzeyinde ve kaynak metalinde çatlak oluşumu görünmemektedir. 1. Malzeme çiftinin SEM görüntüsü Şekil 3.86 (a) ve (c)’de görünen 1. Malzeme çiftinin optik mikroskop görüntüsünü desteklemektedir.

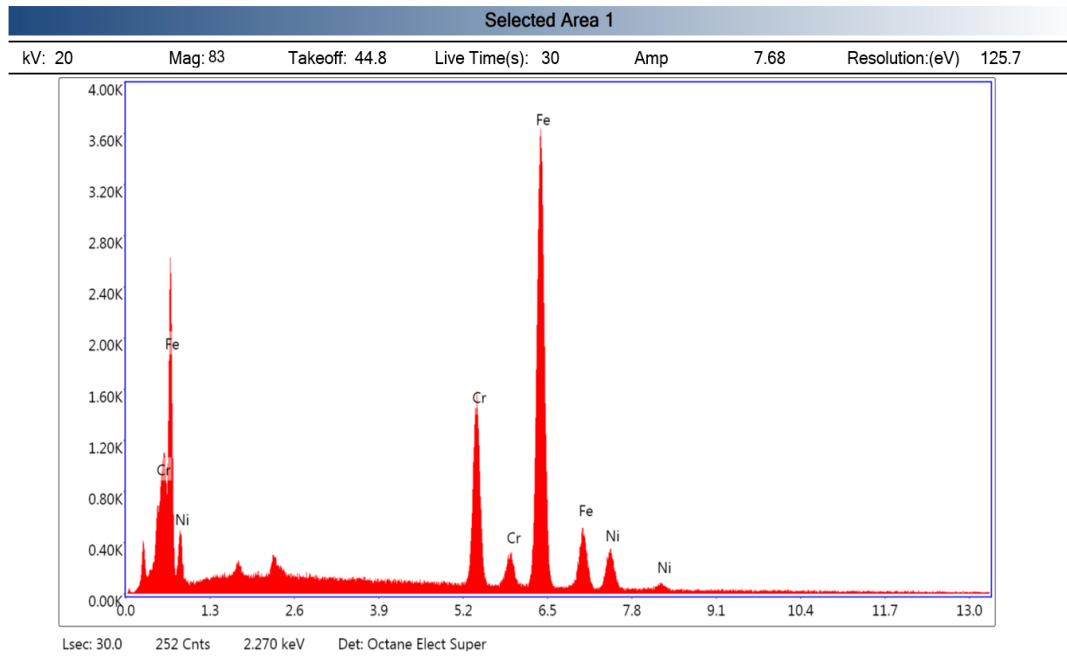
(a), (c) ve (e)’de östenitik mikroyapıdır. X5CrNi18-10 (S304) ana metal tarafı kaynak metalinin ve kaynak – ana metal ara yüzeyinin tane sınırlarında ve tane içerisinde karbürler yoğun olarak gözlenmektedir. MIG kaynağı sonrası yapılan gerilim giderme ısıl işlemi yapıldığından dolayı sert ve kırılgan bir faz olan Sigma( $\sigma$ ) fazının oluşumunu önlemiş olabilir. Bu yüzden mikroyapıda Sigma fazı( $\sigma$ ) görünmemektedir. Mikroyapıda östenitik yapı içerisine dağılmış gözenekler mevcuttur. Mikroyapıda oluşan karbürler,  $\delta$ -ferrit oluşumunu azaltmıştır.

(b), (d) ve (f)’de X10CrMoVNb9-1 (P91) ana metal sürünme dayanımlı ferritik çeliktir. Ana metal (ITAB) mikroyapısında ferritik matriste  $\delta$ -ferrit, beynitik ve martenzitik yapı oluşumu yoğun olarak mevcuttur. Mikroyapının kaynak metal tarafında gözenek oluşumu ve karbür oluşumu gözlemlenmektedir. Mikroyapıda kaynak metalinden ara yüzeye yaklaştıkça östenitik yapı içerisinde martenzit oluşumu görünmektedir. Şekil 2.15’te gerilim giderme ısıl işlem grafiği verilmiştir. Ana metal mikroyapısında martenzitlerin bir kısmının bu ısıl işlem ile beynitik yapıya dönüştüğü görünmektedir.

### 3.3.15 MIG Kaynağı sonrası 1. Malzeme çiftinin EDS analizi değerlendirilmesi



Şekil 3.88: 1. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) malzemesinin EDS analizini gösteren SEM.

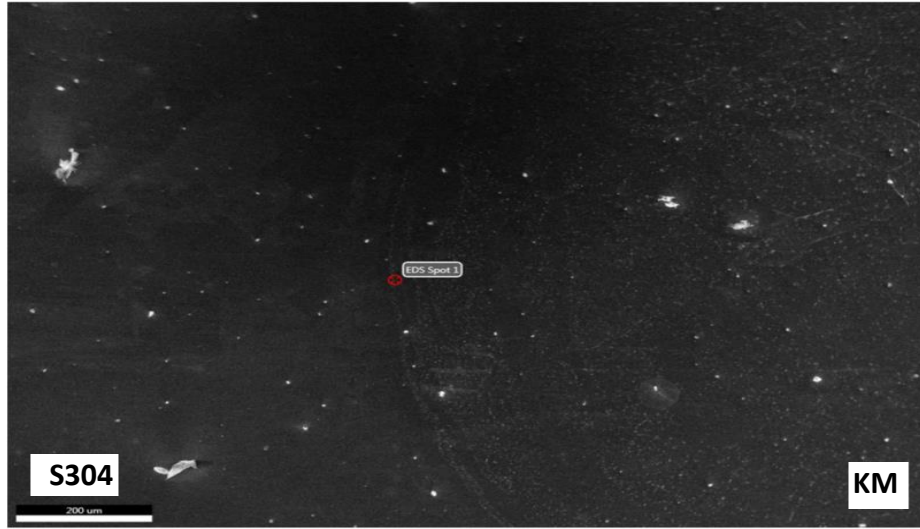


Şekil 3.89: 1. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) malzemesinin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS grafiği.

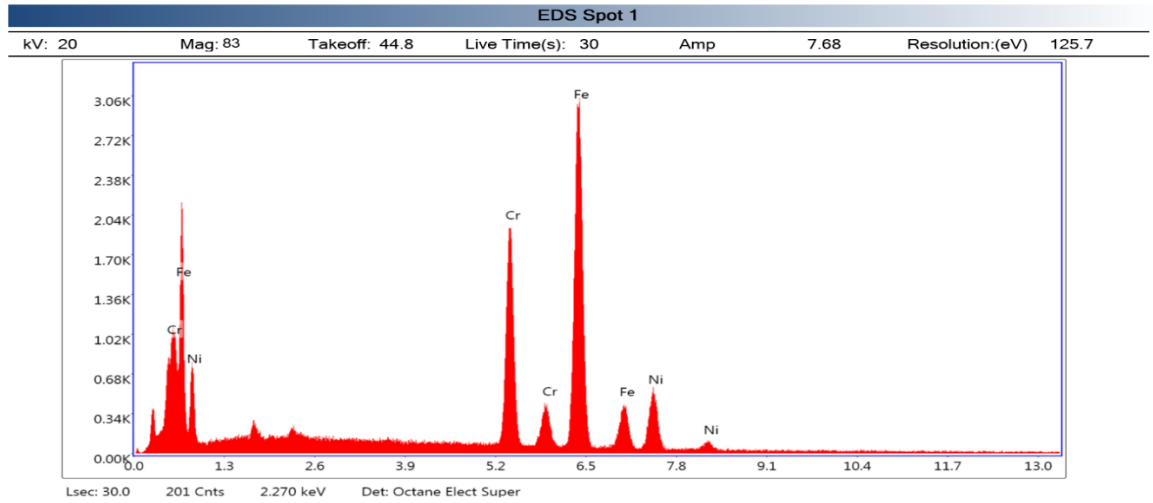
Çizelge 3.41 1. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) malzemesinin Elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS

#### eZAF Smart Quant Results

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.
CrK	19.79	21.04	660.1
FeK	71.26	70.53	1698.6
NiK	8.95	8.43	157.2



**Şekil 3.90:** 1. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) malzemesi KM ara yüzeyinin eds analizini gösteren SEM.



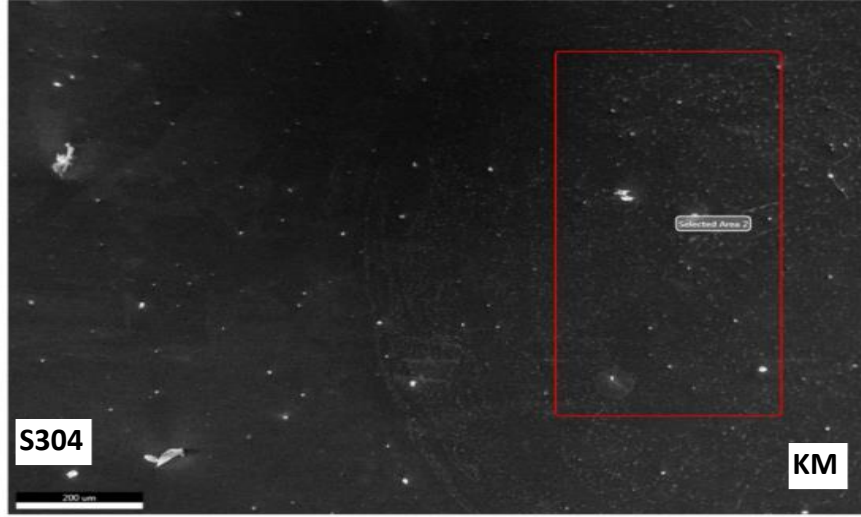
**Şekil 3.91:** 1. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) malzemesi KM ara yüzeyinin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS grafiği.

**Çizelge 3.42** 1. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) malzemesi KM ara yüzeyinin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS

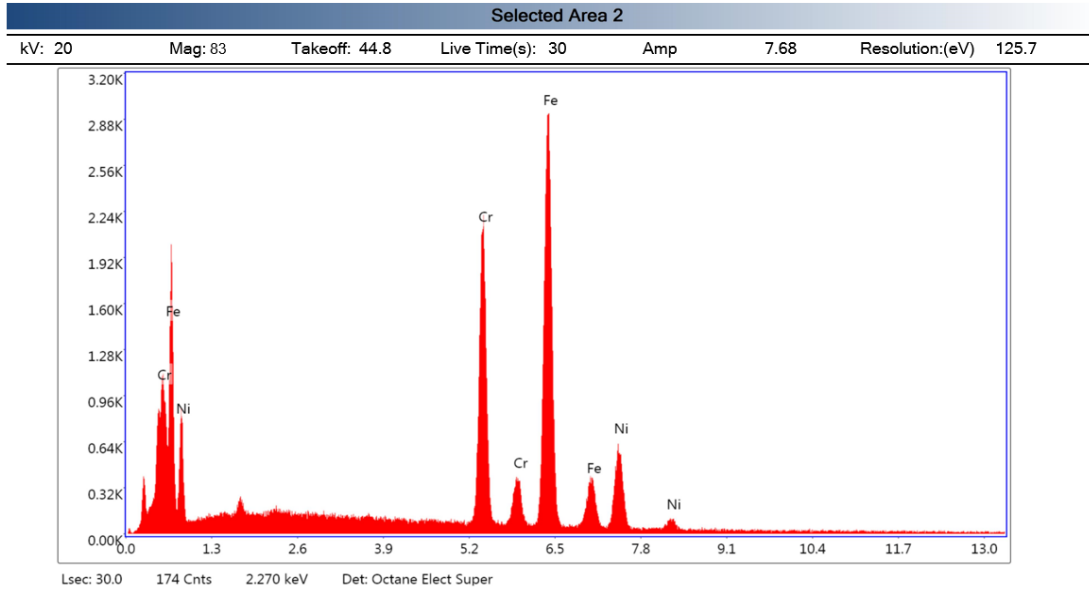
### eZAF Smart Quant Results

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.
CrK	25.54	27.11	855.74
FeK	60.21	59.5	1453.4
NiK	14.25	13.39	255.56





**Şekil 3.92:** 1. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) malzemesi tarafı kaynak metalinin EDS analizini gösteren SEM.

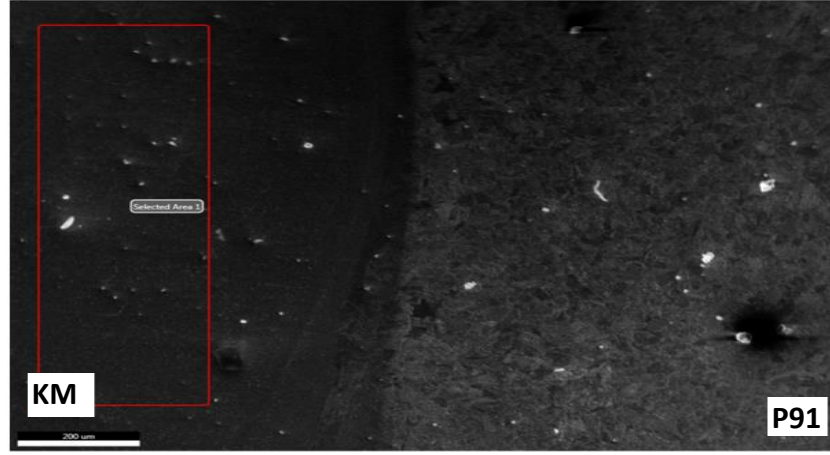


**Şekil 3.93:** 1. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) malzemesi tarafı kaynak metalinin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS grafiği.

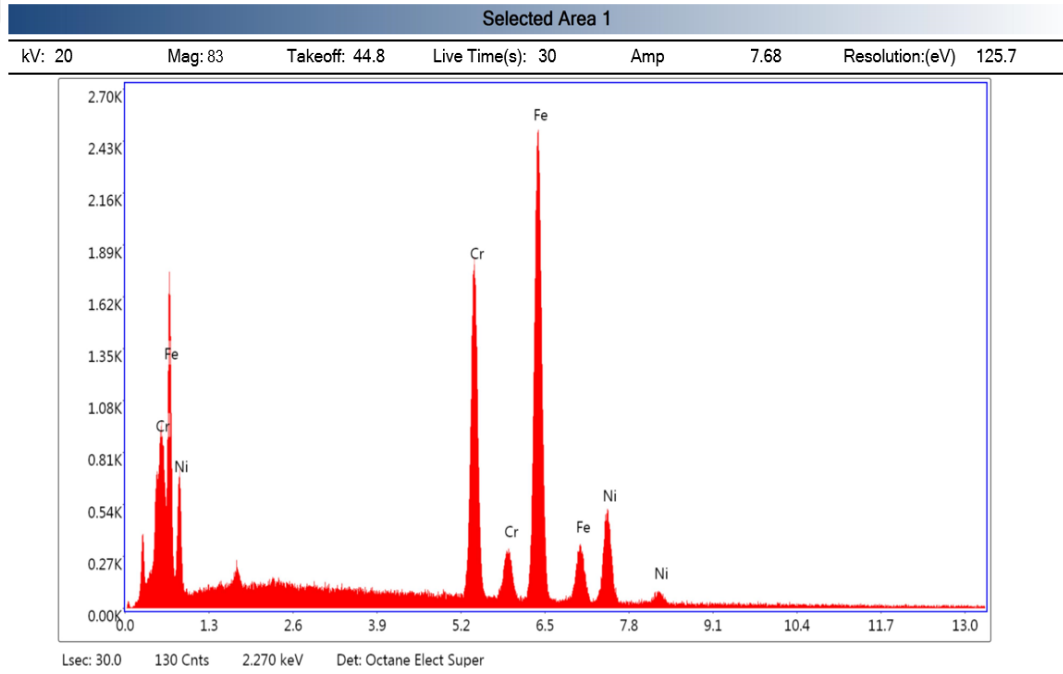
**Çizelge 3.43** 1. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) malzemesi tarafı kaynak metalinin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS

#### eZAF Smart Quant Results

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.
CrK	27.27	28.93	930.21
FeK	56.97	56.27	1402.99
NiK	15.76	14.81	289.24



**Şekil 3.94:** 1. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesi tarafı EDS analizini gösteren SEM.

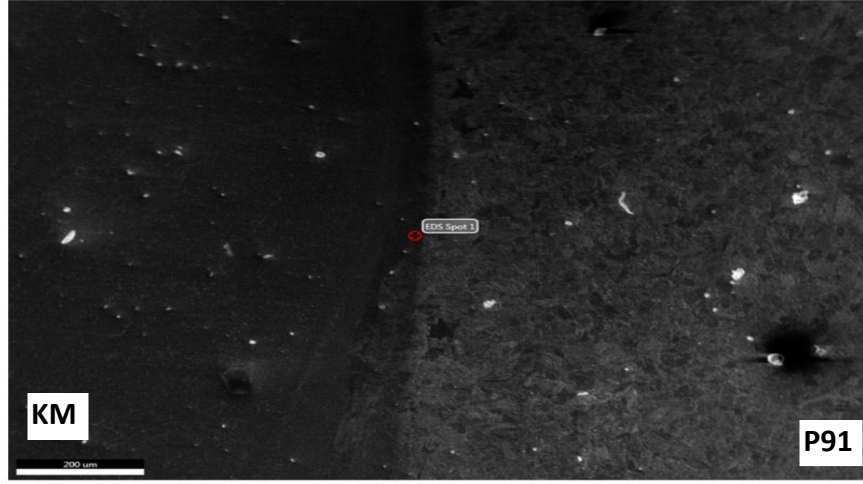


**Şekil 3.95:** 1. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesi tarafı elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS grafiği.

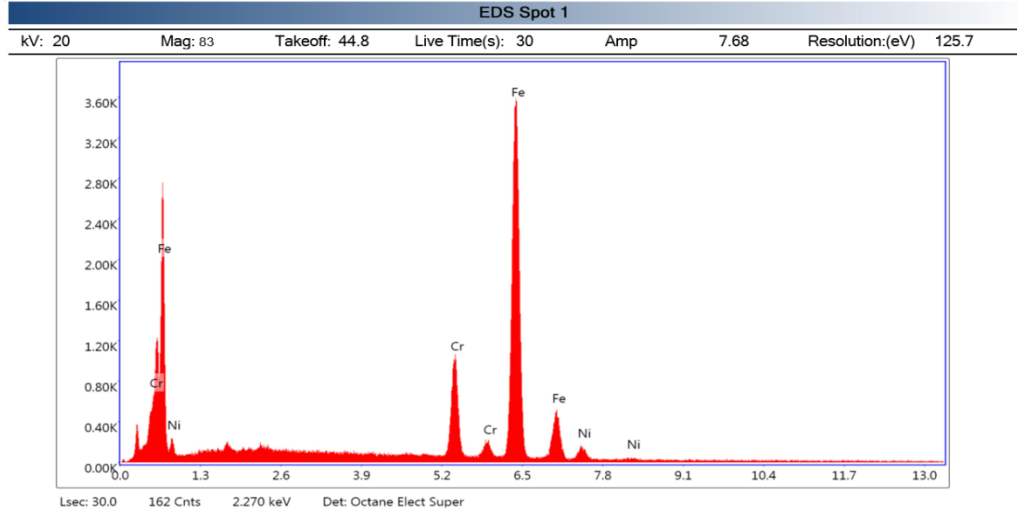
**Çizelge 3.44** 1. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesi tarafı elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS grafiği.

### eZAF Smart Quant Results

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.
CrK	27.38	29.04	779.85
FeK	56.77	56.06	1167.44
NiK	15.85	14.89	243.02



**Şekil 3.96:** 1. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) Malzemesi-KM'nin ara yüzünün EDS analizini gösteren SEM.

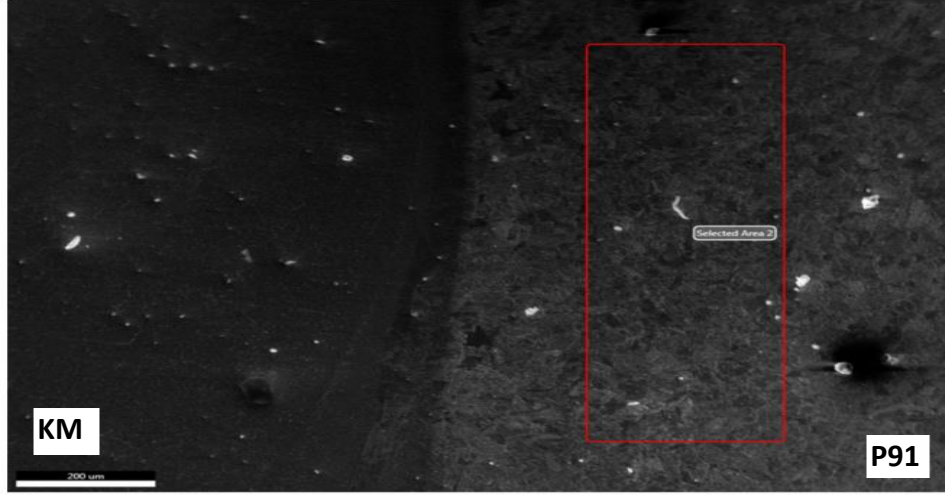


**Şekil 3.97:**1. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesi-Km'nin ara yüzünün elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS grafiği.

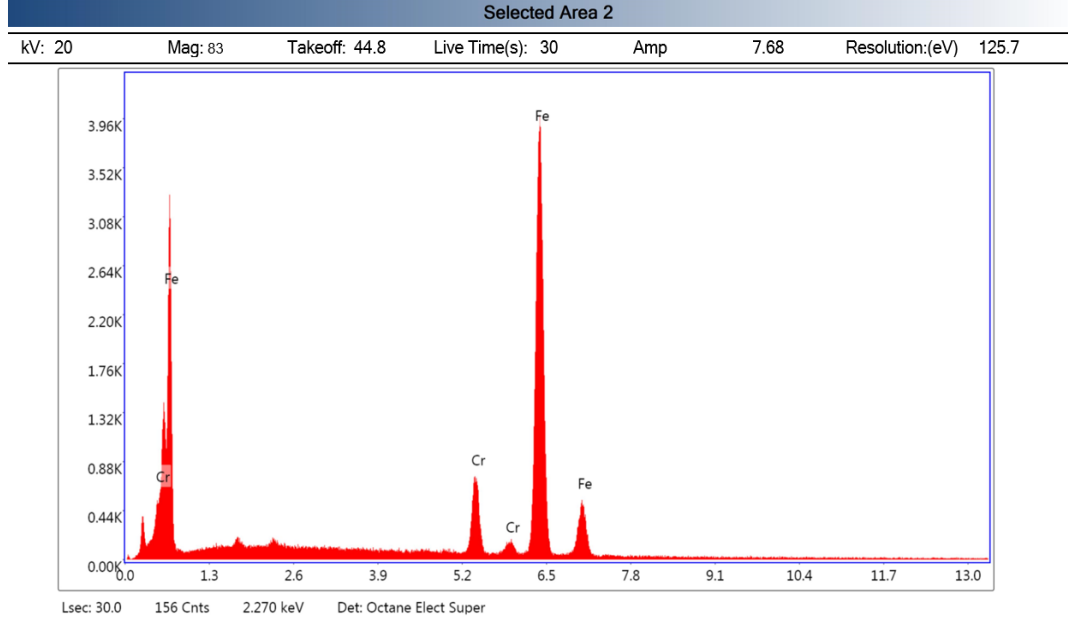
**Çizelge 3.45** 1. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesi-Km'nin ara yüzünün elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS

#### eZAF Smart Quant Results

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.
CrK	14.86	15.82	439.56
FeK	81.17	80.44	1699.22
NiK	3.97	3.74	60.72



**Şekil 3.98:** 1. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesin EDS analizini gösteren SEM.



**Şekil 3.99:** 1. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS grafiği.

**Çizelge 3.46** 1. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesin elementlerini ve miktarlarını gösteren EDS

### eZAF Smart Quant Results

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.
CrK	10.77	11.48	316.65
FeK	89.23	88.52	1839.14

1. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesi, X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesi tarafı kaynak metali (KM), X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesi- kaynak metali (KM) ara yüzeyi, X5CrNi18-10 (S304) malzemesi, X5CrNi18-10 (S304) malzemesi tarafı kaynak metali (KM) ve X5CrNi18-10 (S304) malzeme- kaynak metali (KM) ara yüzeyinden (EDS) analizi yapılmıştır.

X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesi (ITAB) alanı; bu bölgeden alınan (EDS) grafiğinin sonuçlarına göre Cr elementinin kimyasal kompozisyonundaki yüzdesi %1 – 2 aralığında artışı görülür. Cr elementinin kaynak havuzundan ana metaline difüzyonu olduğu görülmüştür. Bu elementin artışı ana metal – kaynak metali ara yüzeyindeki mikroyapıyı etkileyecek  $C_{eş}$  ve  $Cr_{eş}$  eşdeğerliklerini artıracaktır.

X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesi tarafı kaynak metali (KM); bu alandan alınan (EDS) analizine göre Ni elementlerini kimyasal kompozisyonundaki yüzdesi %3-6 oranında azaldığı görülür. Cr yüzdesi %0,5 – 2 bir değişiklik görünmemektedir. Çizelge 2.60' da (EDS) sonuçları görünmektedir.

X10CrMoVNb9-1 (P91) malzemesi – KM metali ara yüzeyi; bu bölgeden alınan (EDS) analizinin sonuçlarına göre Cr %14,86 oranındadır. Ni, %3,97 oranındadır.  $Cr_{eş}$  ve  $Ni_{eş}$  eşdeğerlikleri sırasıyla 14,86 ve 3,97 olarak hesaplanır.  $Cr_{eş}$  ve  $Ni_{eş}$  göre schaeffler diyagramından faydalanılarak, mikroyapının martenzitik yapı ile ferritik yapının olduğu söylenebilir. Şekil 3.87 (f)'de SEM resminde de ferritik matrisle martenzitik matris bir arada olduğu görünmektedir. Ara yüzeyden ana metal ITAB bölgesine gidildikçe ferritik çelik mikroyapısındaki martenzitin bir kısmı gerilim giderme ısıl işlemi ile beynitik yapıya dönüştüğünü anlaşılmaktadır.

X5CrNi18-10 (S304) malzemesinin ısı tesiri altında kalan (ITAB) bölgesi; Bu bölgeden alınan (EDS) grafiğinin sonuçlarına göre Cr ve Ni miktarı ana metaldeki yüzdelerini korumuştur. Mikroyapı Şekil 3.86 (a) ve (c)'deki yapısında olduğu gibi östenitik paslanmaz çelik olarak yapısını korumuştur.

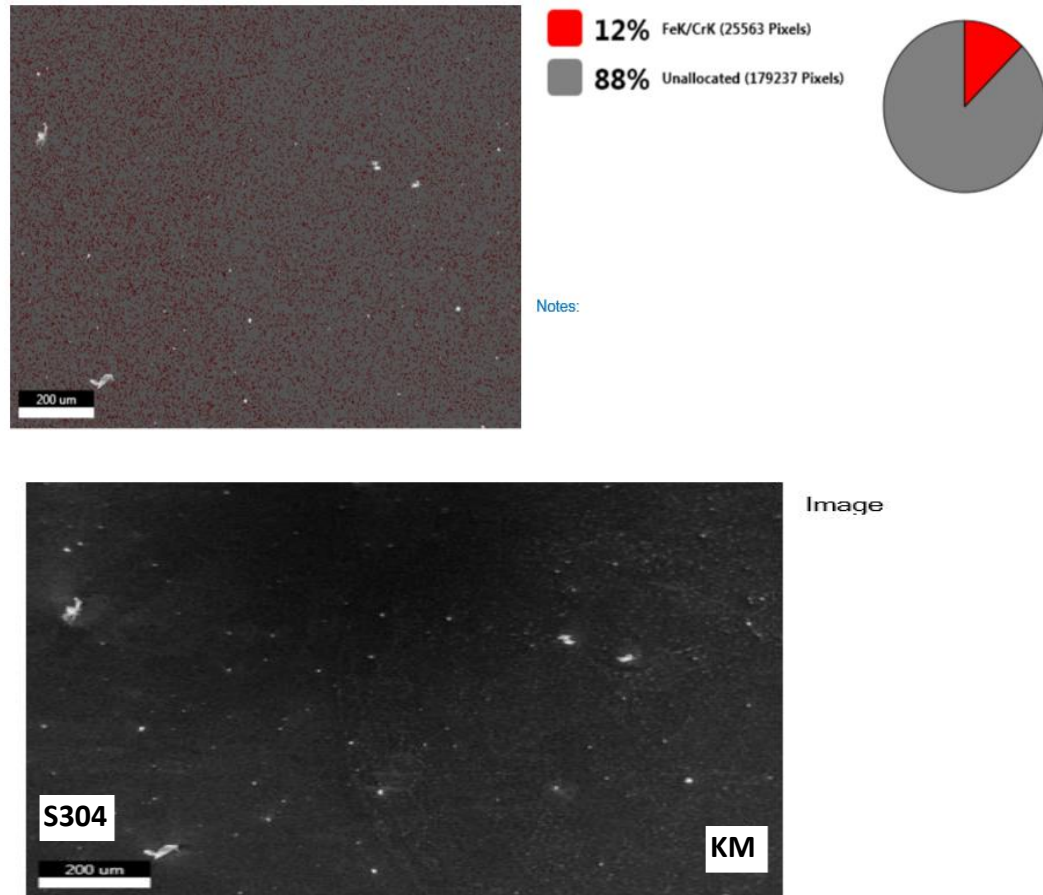
X5CrNi18-10 (S304) malzemesi tarafı kaynak metali (KM) malzemesinden Alınan (EDS) analizine göre Ni miktarı %3- 5 oranında azalmıştır. Cr miktarı %1 – 2 oranında artmıştır. Mikroyapı östenitik olarak korumuştur.

X5CrNi18-10 (S304) malzemesi – KM metali ara yüzeyinden alınan (EDS) analizinin sonuçlarına göre Ni miktarı ana metalin kimyasal kompozisyonundaki

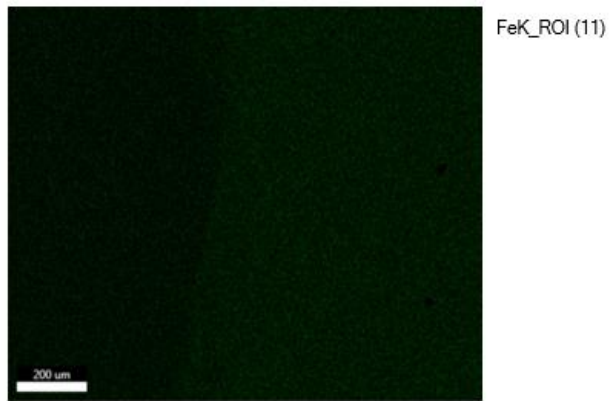
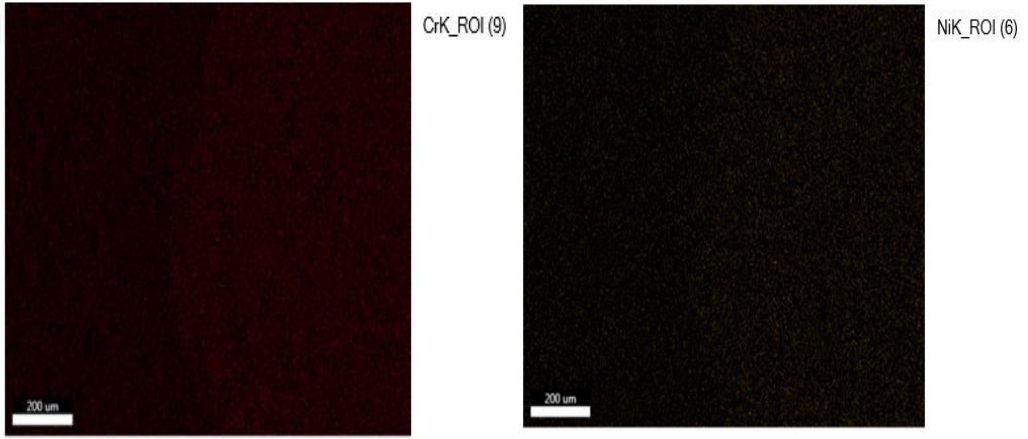
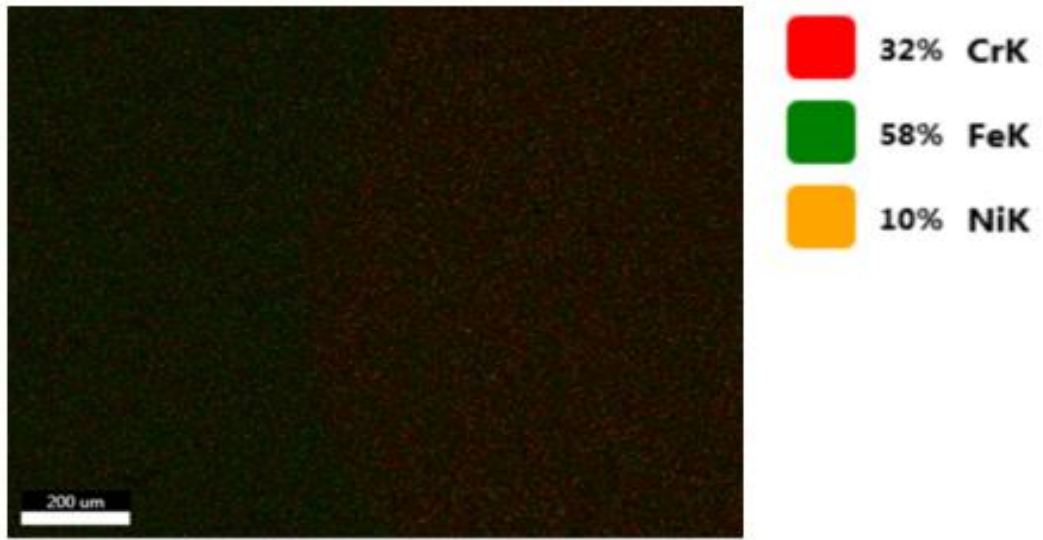
oranına göre %4- 6 oranında artmış, kaynak metalindeki oranına göre %8- 12 oranında azalmıştır. Cr oranı (EDS) sonuçlarında ana metalin kimyasal kompozisyondaki oranına göre %6- 8 oranında artmış, kaynak metalindeki oranına göre %8- 12 oranında azalmıştır. X5CrNi18-10 (S304) malzemesi – KM metali ara yüzeyinden alınan (EDS) analizinin sonuçlarına göre  $Cr_{eş}$  ve  $Ni_{eş}$  değerlikleri hesaplanmıştır.  $Cr_{eş}$ : 25.54 ve  $Ni_{eş}$ : 14,25 olarak bulunmuştur.  $Cr_{eş}$  ve  $Ni_{eş}$  göre schaeffler diyagramından faydalanılarak, mikroyapının östenit + Ferrit olduğu söylenebilir.

### 3.3.16 CMT Kaynağı sonrası 1. Malzeme çiftinin elementel haritalanması

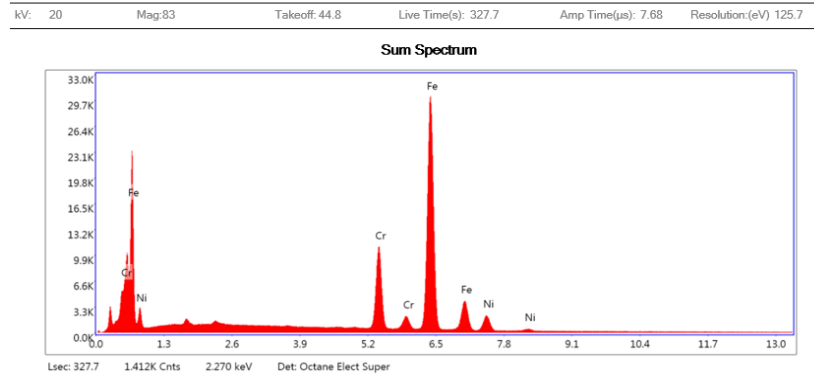
a) 1. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) – KM'nin elementel haritalanmasının sonuçları:



Şekil 3.100: 1. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) – KM'nin elementel haritalanmasını gösteren SEM.



**Şekil 3.101:** 1. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) – KM'nin elementel haritalamasını gösteren SEM.



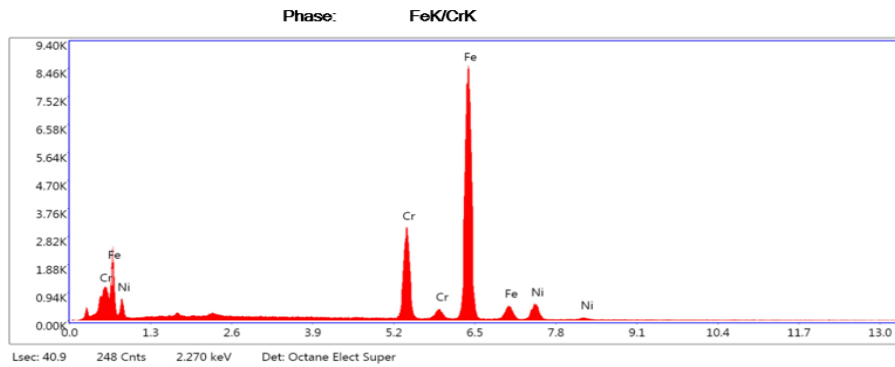
**Şekil 3.102:** 1. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) ile KM'nin toplam EDS grafiği.

**Çizelge 3.47** 1. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) ile KM'nin toplam EDS

**eZAF Smart Quant Results**

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Error %	Kratio	Z	A	F
CrK	17.55	18.67	423.70	2.15	0.1898	1.0013	0.9916	1.0892
FeK	75.39	74.68	1296.30	1.85	0.7386	0.9985	0.9729	1.0084
NiK	7.06	6.65	89.10	3.90	0.0654	1.0118	0.9102	1.0054

kV: 20 Mag:83 Takeoff: 44.8 Live Time(s): 40.9 Amp Time(µs): 7.68 Resolution:(eV) 125.7



**Şekil 3.103:** 1. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) ile KM'nin ağırlıklı Fe ve Cr elementlerini gösteren EDS grafiği.

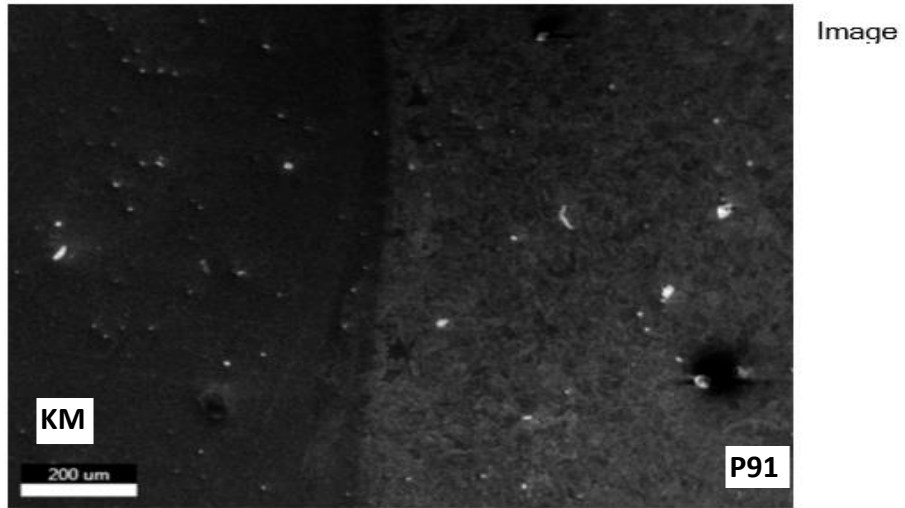
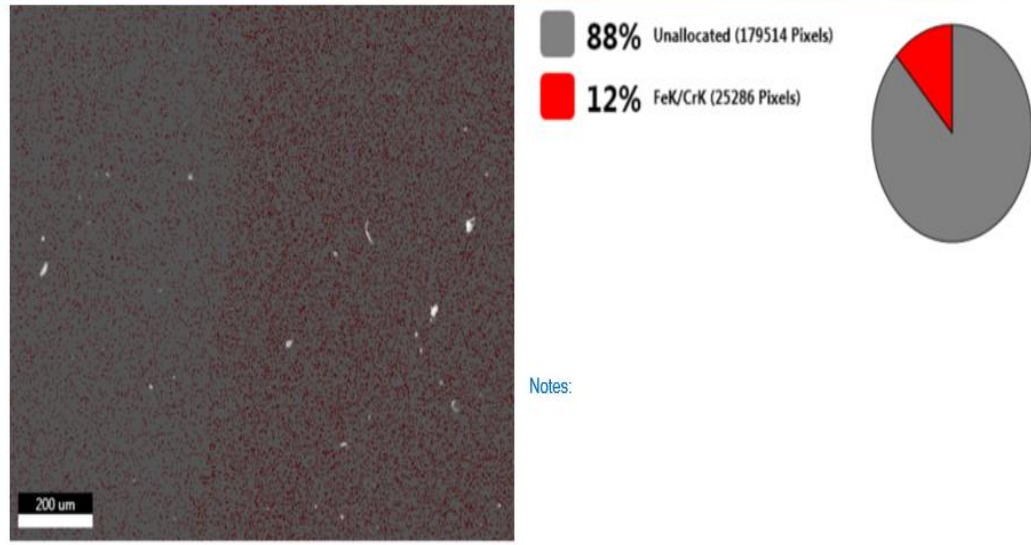
**Çizelge 3.48** 1. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) ile KM'nin ağırlıklı Fe ve Cr elementlerini gösteren EDS.

**eZAF Smart Quant Results**

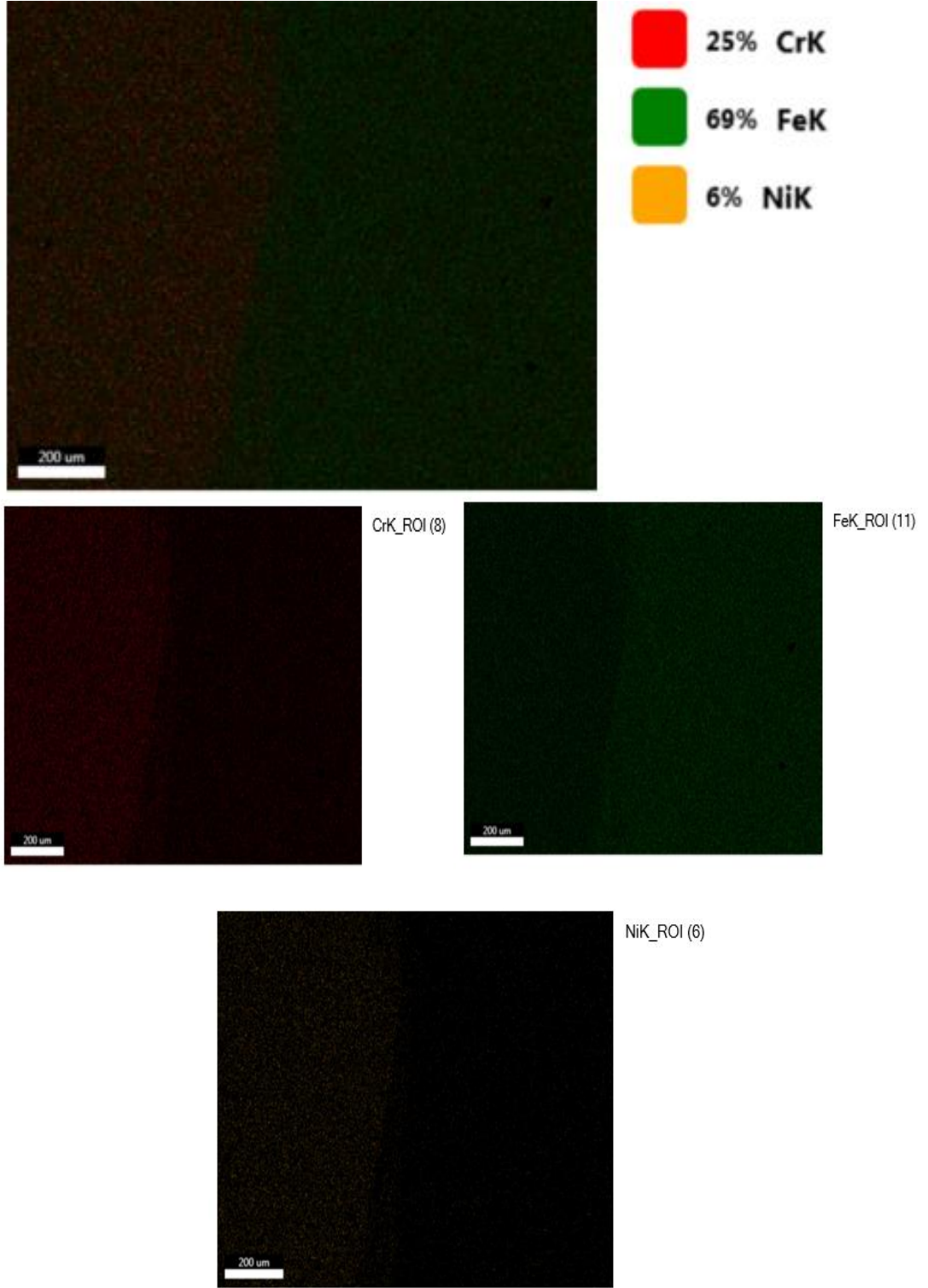
Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Error %	Kratio	Z	A	F
CrK	18.40	19.56	934.00	2.48	0.1986	1.0012	0.9917	1.0873
FeK	74.39	73.64	2690.50	2.03	0.7279	0.9985	0.9717	1.0086
NiK	7.21	6.79	191.70	4.67	0.0668	1.0117	0.9104	1.0054



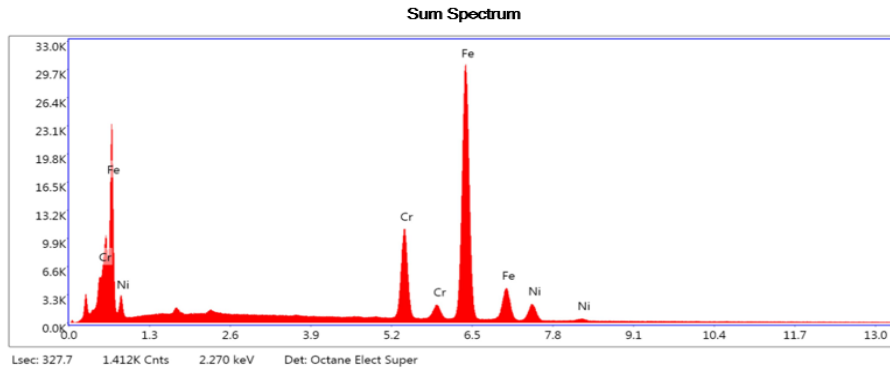
b) 1. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) – KM'nin elementel haritalamasının sonuçları:



**Şekil 3.104:** 1. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) – KM'nin elementel haritalamasını gösteren SEM.



**Şekil 3.105:** 1. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) – KM'nin elementel haritalamasını gösteren SEM.

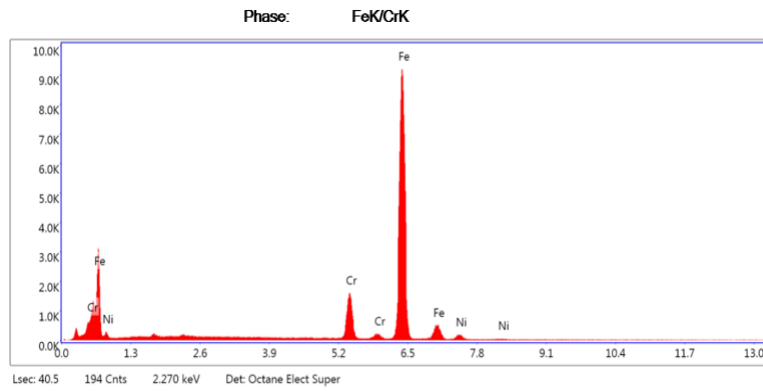


**Şekil 3.106:** 1. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) ile KM'nin toplam EDS grafiği.

**Çizelge 3.49** 1. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) ile KM'nin toplam EDS

**eZAF Smart Quant Results**

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Error %	Kratio	Z	A	F
CrK	17.55	18.67	423.70	2.15	0.1898	1.0013	0.9916	1.0892
FeK	75.39	74.68	1296.30	1.85	0.7386	0.9985	0.9729	1.0084
NiK	7.06	6.65	89.10	3.90	0.0654	1.0118	0.9102	1.0054



**Şekil 3.107:** 1. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) ile KM'nin ağırlıklı Fe ve Cr elementlerini gösteren EDS grafiği.

**Çizelge 3.50** 1. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) ile KM'nin ağırlıklı Fe ve Cr elementlerini gösteren EDS.

**eZAF Smart Quant Results**

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Error %	Kratio	Z	A	F
CrK	10.17	10.85	484.30	3.02	0.1121	1.0021	0.9915	1.1100
FeK	87.42	86.86	2927.90	1.86	0.8624	0.9994	0.9843	1.0030
NiK	2.42	2.28	58.70	8.68	0.0223	1.0127	0.9048	1.0053

Östenitik paslanmaz çelik olan X5CrNi18-10 (S304) ana metali, ferritik çelik olan X10CrMoVNb9-1 (P91) ana metali ve Östenitik paslanmaz çelik olan Kaynak metali (KM) X8CrNi25-21(310) kimyasal kompozisyonu;

Kaynak metali (KM) X8CrNi25-21(310)

Ni, % 19-22 Cr, % 24-26 C, % 0-0.1 Si, %0-1.5 Mn, % 0-2 S, % 0-0.015 P, 0-0.045 % N, % 0-0.11

Ana metal X5CrNi18-10 (S304)

Ni, % 8-10.5 Cr, % 18-20-20 C, % 0-0.08 Si, %0-0.03 Mn, % 0-2 S, % 0-0.015 P, 0-0.045 % N, % 0-0.1

Ana metal X10CrMoVNb9-1 (P91)

Mo, %0,85-1.05 Cr, %8-9.5 C, %0.08-0.12 Si, %0.2-0.5 Mn, % 0.3-0.6 S, % 0-0.01 P, % 0-0.02 N, % 0.03-0.07 V, % 0.18-1.05 Nb, % 0.06-0.1 Al, Ni % 0-0.04

*c) 1. Malzeme çiftinin X5CrNi18-10 (S304) – KM'i taraflı elementel haritalanmasının değerlendirilmesi:*

1. Malzeme çiftinin kaynak işlemi sonrasında X5CrNi18-10 (S304) – KM'i tarafından alınan SEM görüntüsünden elde edilen EDS elementel haritası oluşturulmuştur. Kaynak metali ve ana metal mikroyapısı içinde bulunan C, Mn, N, P ve Si elementlerinin konsantrasyonu çok düşük olduğundan dolayı 4. Malzeme çifti, 2. Malzeme çifti ve 3. Malzeme çifti de olduğu gibi EDS analizinde algılanamamışlardır. Fe, Cr ve Ni elementlerinin konsantrasyonları farklı renk kodlarında elementel haritalanması yapılmıştır.

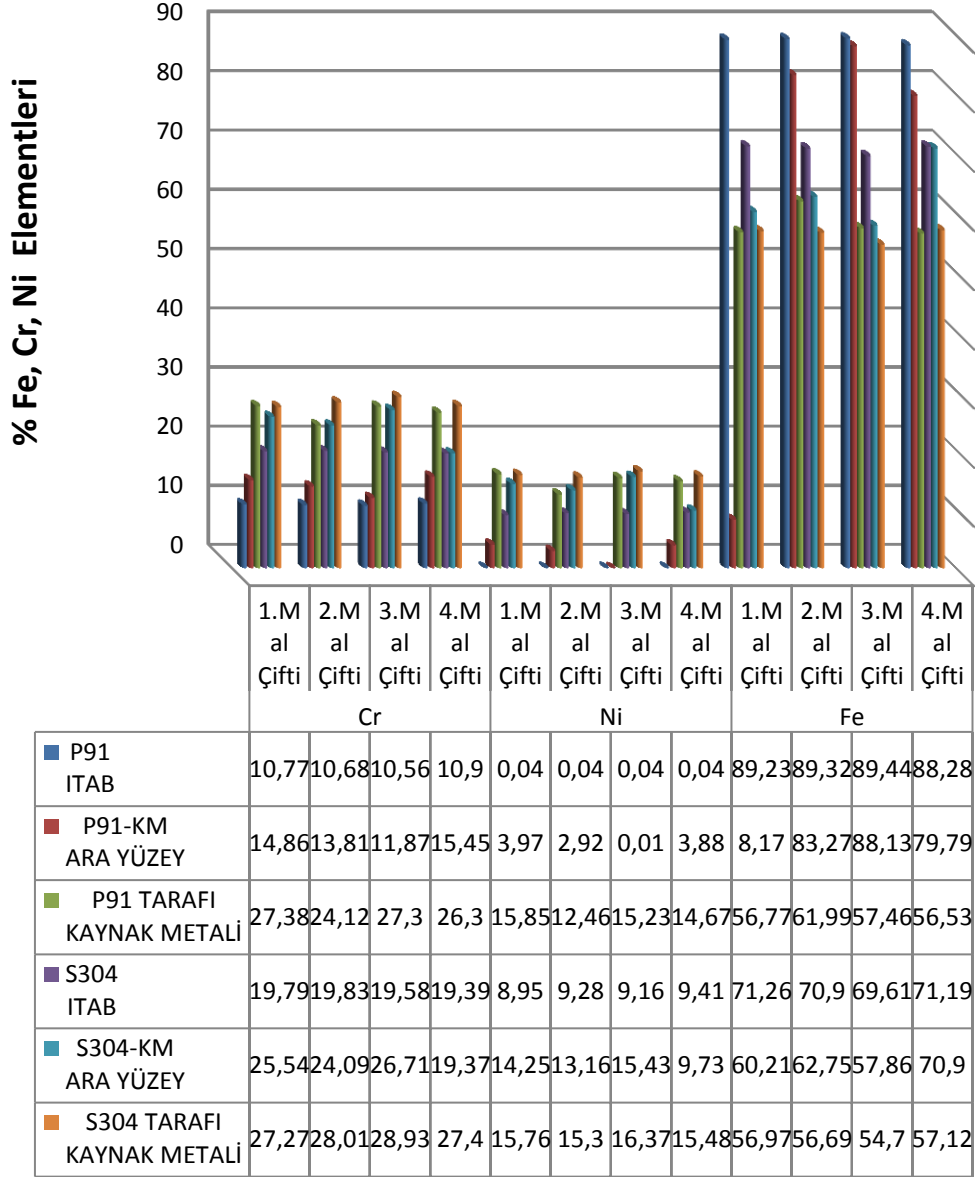
Şekil 3.101'de elementel analiz haritası incelendiğinde kaynak metalinde bulunan Cr elementinin konsantrasyonu ana metalinin matris yapısı içerisinde bulunan Cr elementinin konsantrasyonundan daha fazladır. Kaynak metalindeki tane sınırlarında ve tane içinde oluşan karbürler Şekil 3.87'de gösterilen SEM görüntüsünde görüldüğü gibi krom oranı standart oranlarının üzerine çıkması artışını desteklemektedir. Ni elementi; Şekil 3.101'de görüldüğü gibi kaynak metalinde daha yoğun ana metalde daha az yoğunluktadır. Şekil 3.93'te (EDS) sonuçlarına göre Ni ve Cr oranları mikroyapının östenitik olması için yeterlidir. Kaynak metali- anametal ara yüzeyinin elementel haritalanması, Şekil 3.91'de (EDS) sonuçlarından

hesaplanan  $Cr_{eş}$  ve  $Ni_{eş}$  eşdeğerliklerine göre mikroyapının östenitik taneleri yanında ferritik tane yapısının olacağını desteklemektedir. Fe elementi ana matris yapıyı oluşturan birincil element olarak ana metaldeki oranı kaynak metalindeki orandan daha fazladır.

*d) 1. Malzeme çiftinin X10CrMoVNb9-1 (P91) – KM’i taraflı elementel haritalanmasının değerlendirilmesi:*

1. Malzeme çiftinin kaynak işlemi sonrasında X10CrMoVNb9-1 (P91) – KM’i tarafından alınan SEM görüntüsünden elde edilen EDS elementel haritası elde oluşturulmuştur. Kaynak metali ve ana metal mikroyapısı içinde bulunan C, Mn, N, P, Al, Nb, V, S ve Si yüzdeleri elementlerinin konsantrasyonu çok düşük olduğundan dolayı 4. Malzeme çifti, 2. Malzeme çifti ve 3. Malzeme çifti’de olduğu gibi EDS analizinde algılanamamışlardır. Fe, Cr ve Ni elementlerinin konsantrasyonları farklı renk kodlarında elementel haritalanması yapılmıştır. Sürünme dayanımlı ferritik çelik olan X10CrMoVNb9-1 (P91) Cr kompozisyonu Şekil 3.99’da (EDS) elementel haritalamada görüldüğü gibi kaynak metalinde ana metale oranla daha fazla olduğu görülmektedir. Böylece Cr’un elementel haritalanması kaynak metalinde ve ana metalde standart oranını ve alınan (EDS) oranını desteklediği görülmektedir. Ni elementinin dağılımı matris yapı içerisinde gösterilmiştir. X10CrMoVNb9-1 (P91) ana metalin Ni elementi konsantrasyonu çok düşük oranda olduğu görülmektedir. Ni elementi Şekil 3.101’de elementel haritalamada görüldüğü gibi kaynak metalinde daha fazladır. Şekil 3.97’de (EDS) grafiğinden Ni oranının X10CrMoVNb9-1 (P91) ana metali tarafında azaldığı görülmektedir. Ni elementinin elementel haritalanması, (EDS) analizindeki Ni oranı ve standart malzemedeki Ni oranını desteklediği görülmektedir. X10CrMoVNb9-1 (P91) ana metali – KM ara yüzeyinden alınan Şekil 3.97’deki EDS analizine göre  $Cr_{eş}$  ve  $Ni_{eş}$  eşdeğerliklerine göre martenzitik paslanmaz çelik olduğu söylenebilir. Şekil 3.87 SEM görüntüsünde ve Şekil 3.86 optik mikroskop görüntüsünde görüldüğü gibi ara yüzeyin mikroyapısında östenitik yapı ile beraber martenzitik yapı mevcuttur. Fe’in Elementel haritalanması, Fe konsantrasyonunun ana metal ve kaynak metalinde matris mikroyapıyı oluşturduğunu desteklemektedir.

**1.Malzeme çifti, 2. Malzeme çifti, 3. Malzeme çifti ve 4. Malzeme çifti (EDS) Test Bölgesi ve Element Kompozisyonlarının Karşılaştırılması**



**Şekil.3.108:** 1. Malzeme çifti, 2. Malzeme çifti, 3. Malzeme çifti ve 4. Malzeme çiftinin test bölgesine göre (EDS) testlerinin karşılaştırılması.

#### 4.SONUÇLAR

Bu deneysel çalışmada; X5CrNi18-10 (S304) - X10CrMoVNB9-1 (P91) Malzeme çifti, X8CrNi25-21(310) kaynak dolgu metali kullanılarak 1. Malzeme çifti, 2. Malzeme çifti, 3. Malzeme çifti ve 4. Malzeme çifti olarak, ön ısıtma ve gerilim giderme ısıl işlemleri uygulanarak ve uygulanmaksızın MIG ve CMT kaynak yöntemleri ile kaynak edilmiştir. Ön ısıtma ve gerilim giderme ısıl işlemlerinin MIG ve CMT kaynak proseslerindeki etkileri incelenmiştir. Kaynaklı malzeme çiftlerinde değişen kaynak prosesi ve ısıl işlem durumunun mekanik ve mikroyapıya olan etkileri karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

1. Kaynak ile birleştirilen malzeme çiftlerine ait mikro yapılar incelendiğinde ön ısıtma ve gerilim giderme ısıl işlemleri uygulanmaksızın MIG ve CMT ile kaynak edilen malzeme çiftlerinde mikro çatlaklar oluşmuştur.
2. Kaynaklı malzeme çiftlerinin çekme testi grafiği incelendiğinde ısıl işlemlerle CMT'nin Isıl işlemlerle MIG'den, Isıl işlemlerle CMT'nin ısıl işlemlerle MIG'den, ısıl işlemlerle CMT'nin ısıl işlemlerle CMT'den ve ısıl işlemlerle MIG'in ısıl işlemlerle MIG'den daha iyi değerler verdiği görülmüştür.
3. Kaynaklı malzeme çiftlerinin mikrosertlik mesafe analizi grafiği incelendiğinde AISI S304 malzemesi ITAB bölgesi ve kaynak metali bölgesinde MIG ve CMT kaynak prosesinin ve değişen ısıl işlem durumunun mikro sertlik değerlerinde benzer eğrilere sahip olduğu, Kaynak metalinden P91 malzemesi ITAB bölgesine doğru mikro sertlik değerinin, ısıl işlemlerle malzeme çiftlerinde daha yüksek olduğu, en yüksek değerlerin ısıl işlemlerle CMT prosesine nazaran MIG prosesinde olduğu ve en düşük sertlik değerlerinin ısıl işlemlerle CMT prosesinde olduğu saptanmıştır.
4. Uygulanan ısıl işlemlerin ve değişen kaynak proseslerinin çentik darbe testine etkisi benzer eğrilere devam ettiği görülmüştür.
5. Optik mikroskop görüntülerinden uygulanan gerilim giderme ısıl işlemlerinin mikro yapıdaki tanelerin boyutunu küçülttüğü ve ısıl işlemlerle CMT prosesinin mikro taneleri, ısıl işlemlerle MIG prosesindeki tanelerden daha ince olduğunu saptanmıştır.

6. MIG kaynak prosesi ile birleştirilen malzeme çiftlerinin kaynak metalinin ve ana metal – kaynak metali geçiş ara yüzelelerinin mikro yapısında ana matris ile iri martenzitik fazlar, sigma fazı ve karbürlerin oluştuğu tespit edilmiştir.
7. CMT kaynak prosesi ile birleştirilen malzeme çiftlerinin kaynak metalinin ve ana metal – kaynak metali geçiş ara yüzelelerinin mikro yapısında ana matris ile karbürler, ince martenzitik ve beynitik fazlar olduğu tespit edilmiştir.





## 5. KAYNAKLAR

- [1] ASME Standart 31.1. (2001). V:1, p:1-5
- [2] Anık, S. (1991). Kaynak Tekniği El Kitabı, Yöntemler ve Donanımlar Gedik Eğitim Vakfı Kaynak Teknolojisi Eğitim Araştırma ve Muayene Enstitüsü, Vol. 6, p: 10-13.
- [3] Muzafferoğlu, H.F., Vural M. (2008). Darbeli akımla MIG/MAG Kaynağında Darbe Parametrelerinin Dikiş Geometrisine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [4] Eryürek, İ.B. (2003). Gazaltı Kaynağı, İ.T.Ü. Makina Fakültesi Makina Malzemesi ve İmalat Teknolojisi, Vol. 2, p: 6.
- [5] Url-1 <<http://www.fronius.com> >, alındığı tarih: 30.06.2017.
- [6] Url-2 <[http:// www.Fronius International GmbH Froniusplatz 1 4600](http://www.Fronius International GmbH Froniusplatz 1 4600) >, alındığı tarih: 20.05.2018.
- [7] Url-3 <[http:// www.Prospekt CMT International](http://www.Prospekt CMT International)>, alındığı tarih: 10.07.2018.
- [8] Callister, W.D., Rethwisch, D.G. (1990). (Fig. 9.24 adapted from binary alloy phase diagrams, 2nd ed voll, ASM international, Materials Park, OH).
- [9] Tahir, O. (2012). AISI 304 VE 430 Kaliteli paslanmaz çeliklerin mikroyapılarına, mekanik özelliklerine ve korozyon davranışlarına soğuk deformasyonun etkileri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [10] Odabaş, C. (2002). Paslanmaz Çelikler, *As Kaynak Yayınları*, 1.Baskı, İstanbul, p:13.
- [11] Aran, A., Temel, M.A. (2003). Paslanmaz Çelik Yası Mamuller, *Sarıtaş Çelik Sanayi ve Ticaret A.Ş., İstanbul*, p: 165.
- [12] ASM International. (2005). Corrosion, Materials joins, *ASM Handbook*, Vol. 13A., p: 123-146.
- [13] ASM International. (1999). Stainless Steels, *ASM Specialty Handbook*, Vol.3, p:146-159.
- [14] Url-4 < <https://www.imoa.info/molybdenum-uses/molybdenum-grade-alloy-steels-irons/high-temperature-steel.php> >, alındığı tarih: 10.03.2018.
- [15] Arivazhagan, B., Sundaresan, S., Kamaraj, M. (2009). A Study on Influence of Shielding Gas Composition on Toughness of Flux-cored Arc Weld of Modified 9Cr-Mo (AISI P91) Steel, *Journal of Materials Processing Technology*, Hindistan, 5245-525
- [16] Harbor, D. (2011). *Material Data Sheet AISI P91/T91*, ThyssenKrupp, Berlin, Almanya.

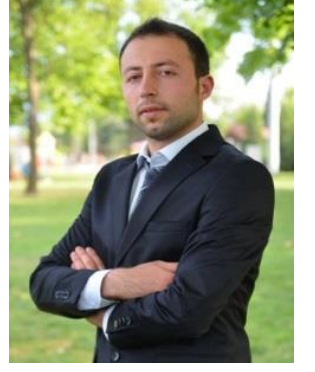
- [17] **Kırbaş, C. (2014).** AISI P11 VE AISI P91 Kaliteli dikişsiz boru çeliklerin mekanik özelliklerine gerilme giderme tavlama sıcaklığının etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi*.
- [18] **Özden, N. (1985).** Kaynağın Isıl İşlemi, *Nurettin Uycan Cilt ve Basım Sanayii A.Ş. Aliğa*, p: 86-155.
- [19] **Lim, J.K., Chung, S.H. (1990).** Stress Effect on Post-Weld Heat Treatment Embrittlement, *American Society for Testing and Materials, Philadelphia*, p: 229-255.
- [20] **Berse, L., Baloğlu, A., W. İrmer. (2001).** *Welding martensitic creep resistant steels Supplement to the AWS welding journal.*
- [21] **Url-5** <[http:// www.Welding \"Grade 91\" alloy steel, September 2002, Sperko engineering serevices](http://www.Welding \)>, alındığı tarih: 20.01.2018.
- [22] **Ennis, P.J., Czyska-Filemonowicz, A. (2003).** Recent Advances in Creep Resistant Steels for Power Plant Applications, in India, Vol. 28, N: 3 & 4, p: 709–730.
- [23] **Hongtao Zhang, J.F., ve ark. (2009).** The CMT short-circuiting metal transfer process and its use in thin aluminium sheets welding, *Material & Design*, Vol: 30, N: 5, p:1850-1852
- [24] **Ahmad R ve ark. (2011),** Effect of a post-weld heat treatment on the mechanical and microstructure properties of AA6061 joints welded by the gas metal arc welding cold metal transfer method, *Material & Design*, Vol: 32, N: 10, p:5120-5126.
- [25] **Pickin C.G. ve ark. (2011).** Characterisation of the cold metal transfer (CMT) process and its application for low dilution cladding, *Journal of Materials Processing Technology*, V: 211, No: 3 , p:496-502
- [26] **Lin J. ve ark. (2013),** Shear strength of CMT brazed lap joints between aluminum and zinc-coated steel, *Journal of Materials Processing Technology*, V: 213, No: 8 , p: 1303-1310.
- [27] **Cao R.ve ark. (2013),** Cold metal transfer joining aluminum alloys-to-galvanized mild steel, *Journal of Materials Processing Technology*, V: 213, No: 10 , p: 1753-1763.
- [28] **Ola O.T. ve ark. (2014),** A study of cold metal transfer clads in nickel-base INCONEL 718 superalloy, *Material & Design*, V: 57, p:51-59.

- [29] **Cao R. ve ark.** (2014), Cold metal transfer spot plug welding of AA6061-T6-to-galvanized steel for automotive applications, *Journal of Alloys and Compounds*, V: 585, p:622-632.
- [30] **Cao R. ve ark.** (2014). Cold metal transfer welding–brazing of pure titanium TA2 to magnesium alloy AZ31B, *Journal of Alloys and Compounds*, V: 605, p:12-20.
- [31] **Shu F.Y ve ark.** (2014), FEM modeling of softened base metal in narrow-gap joint by CMT+P MIX welding, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, V: 24, Issue 6, p: 1830-1835.
- [32] **Taban E. ve ark.** (2014), Mechanical and microstructural properties of robotic Cold Metal Transfer (CMT) welded 5083-H111 and 6082-T651 aluminum alloys, *Material & Design*, V: 54, p:207-211.
- [33] **Cheolhee Kim K.M. ve ark.** (2015), Joining Al 5052 alloy to aluminized steel sheet using cold metal transfer process, *Material & Design*, V: 81, p: 95-103.
- [34] **Zhijiang Wang Z. ve ark.** (2016), The arc characteristics of cold metal transfer welding with AZ31 magnesium alloy wire, *Journal of Manufacturing Processes*, V: 24, No:1, p 298-306.
- [35] **Kadoi K. ve ark.** (2016), Crack repair welding by CMT brazing using low melting point filler wire for long-term used steam turbine cases of Cr-Mo-V cast steels, *Materials Science and Engineering: A*, V: 666, p: 11-18
- [36] **Zhou C. ve ark.** (2017), On the Analysis of Metal Droplets During Cold Metal Transfer, *Procedia Manufacturing*, V: 10, p: 694-707
- [37] **BingLi Y. ve ark.** (2017), Cold metal transfer spot welding of 1 mm thick AA6061-T6, *Journal of Manufacturing Processes*, V: 28, No:1, p: 209-219.
- [38] **Liu Y.B. ve ark.** (2017), Microstructural characterization and mechanical properties of Al/Ti joint welded by CMT method—Assisted hybrid magnetic field, *Materials & Design*, V: 116, p:316-324.
- [39] **Chen M. ve ark.** (2017), Current waveform effects on CMT welding of mild steel, *Journal of Materials Processing Technology*, V: 243, p: 395-404.

- [40] **González J. ve ark.** (2017), Additive manufacturing with GMAW welding and CMT technology, *Procedia Manufacturing*, V:13, p: 840-847.
- [41] **Prakash S. ve ark.** (2018), Effect of heat treatment on microstructure and mechanical properties of CMT welded Aluminium alloy 2024, *Materials Today: Proceedings*, V: 5, No: 3, p:26997-27003.
- [42] **Garg A. ve ark.** (2018), Model reference adaptive controller for enhancing depth of penetration and bead width during Cold Metal Transfer joining process, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, V: 53, p:122-134
- [43] **Shen J. ve ark.** (2018), Effects of ultrasonic peening treatment on surface quality of CMT-welds of Al alloys, *Journal of Materials Processing Technology*, V: 254, p:193-200.
- [44] **Yang S. ve ark.** (2018), Microstructure and mechanical properties of robot cold metal transfer Al<sub>5.5</sub>Zn<sub>2.5</sub>Mg<sub>2.2</sub>Cu aluminium alloy joints, *Journal of Materials Processing Technology*, V: 255, p: 507-515
- [45] **Lei Y. ve ark.** (2018), Location-related thermal history, microstructure, and mechanical properties of arc additively manufactured 2Cr13 steel using cold metal transfer welding, *Materials Science and Engineering: A*, V: 715, p: 144-153
- [46] **Selvi S. ve ark.** (2018), Cold metal transfer (CMT) technology - An overview, *Defence Technology*, V: 14, p: 28-44.
- [47] **Shen J. ve ark.** (2018), Effect of TIG current on microstructural and mechanical properties of 6061-T6 aluminium alloy joints by TIG-CMT hybrid welding, *Journal of Materials Processing Technology*, V: 255, p: 161-174.
- [48] **Arivarasu M. ve ark.** (2018), Characterization of AA7075 Weldment using CMT Process, *Materials Today: Proceedings*, V: 5, p: 24024-24032.
- [49] **Singh J. ve ark.** (2019), Dissimilar MIG-CMT weld-brazing of aluminium to steel, *Journal of Alloys and Compounds*, V: 783, p:753-764.
- [50] **Chen S. ve ark.** (2019), Butt welding-brazing of steel to aluminum by hybrid laser-CMT, *Journal of Materials Processing Technology*, V: 272, p: 163-169.

- [51] **Wang L. ve ark.** (2019), Effect of pulse frequency on arc behavior and droplet transfer of 2198 Al–Li alloy by ultrahigh-frequency pulse AC CMT welding, *Journal of Materials Research and Technology*, In press, corrected proof, Available online 20 July 2019.
- [52] **Panigrahi S.K. ve ark.**, (2019), Cold metal transfer welding of aluminium alloy AA 2219 to austenitic stainless steel AISI 321, *Journal of Materials Processing Technology*, V: 266, p: 155-164.
- [53] **Arora K.S. ve ark.** (2019), Role of bead shape and dispersed intermetallic phases in determining the strength of CMT brazed DP780 lap joints, *Journal of Manufacturing Processes*, V: 44, p: 207-215
- [54] **Bakshi R. ve ark.** (2019), Comparison of microstructure, dilution and wear behavior of Stellite 21 hardfacing on H13 steel using cold metal transfer and plasma transferred arc welding processes, *Surface and Coatings Technology*, V: 375, p: 383-394.
- [55] **Komaç, E.** (2014). ASKAYNAK, *Tektik Eğitim El Kitabı*, p:8.
- [56] **Oguz, B.** (1975). OERLIKON Yayını, *Ark Kaynağı El Kitabı*, p:4
- [57] **Anık, S.** (1991). Kaynak Tekniği El Kitabı, *Yöntemler ve Donanımlar Gedik Eğitim Vakfı Kaynak Teknolojisi Eğitim Araştırma ve Muayene Enstitüsü*, Vol. 3, p: 38-40.
- [58] **Tülbentçi, K.** (1990). MIG-MAG eriyen elektrot ile gaz altı kaynağı, *Gedik Eğitim Vakfı Kaynak Teknolojisi Eğitim Araştırma ve Muayene Enstitüsü*, Vol. 7, p: 81.
- [59] **Bagçe ve Newell, JR.** (2010). Welding and Postweld Heat Treatment of P91 Steels. *Welding Journal*, p: 33-36.
- [60] **Url-6** < [https:// www.btscelik.com](https://www.btscelik.com) >, alındığı tarih: 10.03.2018.

## ÖZGEÇMİŞ



### **Kişisel bilgiler**

Adı Soyadı	Hamza SEVEN
Doğum Yeri ve Tarihi	Sivas, 05.06.1989
Medeni Hali	Evli
Yabancı Dil	İngilizce
E-posta Adresi	hamza.seven.tc@gmail.com

### **Eğitim ve Akademik Durumu**

Lise	Sivas Endüstri Meslek Lisesi Motor Bölümü (2003-2006)
Ön Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi Sivas Meslek Yüksek Okulu Makine Bölümü (2006-2008)
Lisans	Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü (2010-2013)
Yüksek Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği (2015-.....)

### **İş Tecrübesi**

Okul İnşaat	Kalite Kontrol Mühendisi, 2013-2015
Samsung C&T	Kaynak Kalite Kontrol Mühendisi, 2016-2017
HT-Metal	Kaynak Koordinatörü 2017-2019
RC-Endüstri	Kaynak Koordinatörü 2019- .....

### **Sahip Olduğu Belgeler**

Sertifika	Uluslararası Kaynak Mühendisliği ODTÜ (2015)
-----------	----------------------------------------------