

**PASLANMAZ ÇELİK, BAKIR KAPLI ÇELİK VE ALÜMİNYUM  
SAPLAMALARIN Fe-Al ESASLI İNTERMETAL KLERE SAPLAMA  
KAYNAĞI YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Serhat GÜLEÇ**

**DANIŞMAN**

**Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÇAKMAKKAYA**

**METALURJİ ANABİLİM DALI**

**HAZİRAN, 2013**

Bu tez çalışması 11.Fen.Bil.35 numaralı proje ile BAP tarafından desteklenmiştir.

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**PASLANMAZ ÇELİK, BAKIR KAPLI ÇELİK VE ALÜMİNYUM**  
**SAPLAMALARIN Fe-AI ESASLI İNTERMETAL KLERE**  
**SAPLAMA KAYNAĞI YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ**

**Serhat GÜLEÇ**

**DANIŞMAN**

**Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÇAKMAKKAYA**  
**METALURJİ ANABİLİM DALI**

**HAZİRAN, 2013**

## TEZ ONAY SAYFASI

Serhat Güleç tarafından hazırlanan “**PASLANMAZ ÇELİK, BAKIR KAPLI ÇELİK VE ALÜMİNYUM SAPLAMALARIN Fe-AI ESASLI İNTERMETAL KLERE SAPLAMA KAYNAĞI YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ**” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 26 / 06 / 2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oylarıyla Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Metal Etilimi Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÇAKMAKKAYA

Ünvanı, Adı Soyadı mza

**Başkan** : Doç. Dr. İsmail TALA

**Üye** : Yrd.Doç. Dr. Mustafa Serhat BAŞPINAR

**Üye** : Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÇAKMAKKAYA

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun

...../...../..... tarih ve

..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....  
Prof. Dr. Mevlüt DOĞAN

Enstitü Müdürü

**ÖZET**  
Yüksek Lisans Tezi

PASLANMAZ ÇELİK, BAKIR KAPLI ÇELİK VE ALÜMİNYUM  
SAPLAMALARIN Fe-Al ESASLI İNTERMETALİKLERE SAPLAMA KAYNAĞI İLE  
YÖNTEMİLE BİRLİKTE ÜRETİLMESİ

Serhat GÜLEÇ  
Afyon Kocatepe Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Metal Eriktimi Anabilim Dalı

**Danışman:** Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÇAKMAKKAYA

Fe-Al intermetalik malzemeler, seramikler ve metallerin sahip oldukları karakteristik özelliklere sahip olan önemli bir malzeme sınıfıdır. Yüksek sıcaklık dayanımı ve oksidasyon dirençleri intermetalik malzemeleri yüksek sıcaklıkların söz konusu olduğu dizaynlar için en iyi aday malzemeler haline getirmiştir, fakat üretimlerinin zorluğu ve kaynak kabiliyetlerinin kötü oluştundan dolayı Fe-Al intermetalik malzemelerin mühendislik malzemeleri olarak kullanımını sınırlı kalmaktadır.

Bu çalışmada, Fe<sub>26</sub>Al, Fe<sub>30</sub>Al, Fe<sub>33</sub>Al ve Fe<sub>50</sub>Al intermetalikleri ark ergitme yöntemi kullanılarak üretilmiş ve üretilen intermetalik malzemeler saplama kaynağı ile farklı kaynak gerilimleri kullanılarak paslanmaz çelik, alüminyum ve bakır kaplı çelik saplamalarla birleştirilmiştir.

Üretilen Fe-Al intermetaliklerin mikrosertlik ve XRD analizleri yapılmış ve numunelerin saplama kaynak kabiliyet belirlenerek kaynak bölgelerinin mikro yapıları incelenmiştir. Bununla birlikte kaynaklı birleştirmelerin mekanik testleri yapılarak en yüksek mukavemetin 170 V kaynak geriliminde Fe<sub>30</sub>Al intermetalik malzeme ile paslanmaz çelik saplama kaynağında hesaplanmıştır.

**2013, xii+ 61 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Fe-Al intermetalik malzemeler, Ark ergitme, Saplama kaynağı

**ABSTRACT**  
M.Sc Thesis

**JOINING OF STAINLESS STEEL, COPPER COATED STEEL, ALUMINIUM STUD  
TO Fe-Al BASED INTERMETALLICS BY USING STUD WELDING METHOD**

Serhat GÜLEÇ

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Metal Education

**Supervisor:** Assoc. Prof. Dr. Mehmet ÇAKMAKKAYA

Fe-Al intermetallics materials are unique class of materials having characteristics of both metals and ceramics. The high temperature strength and their superior oxidation resistance make intermetallic materials excellent candidates for the use in high temperature component design, however, the use of intermetallics as an engineering materials are still limited because of difficult production and bad weldability of these materials.

In this study, Fe<sub>26</sub>Al, Fe<sub>30</sub>Al, Fe<sub>33</sub>Al and Fe<sub>50</sub>Al intermetallics were produced by arc melting method and these intermetallics were joined to stainless steel, aluminium and copper coated steel stud by using stud welding technique with different stud welding voltage.

XRD and microhardness of Fe-Al intermetallics have been analysed and stud welding weldability of samples were indicated examining microstructure of welding zone. Also, mechanical testing of welding was performed and it is found that better welding quality materials are between the Fe<sub>26</sub>Al and stainless steel studs with 170V welding voltage.

**2013, xii + 61 pages**

**Key Words:** Fe-Al intermetallic materials, Arc melting, stud welding

## TE EKKÜR

Bu ara tırmanın konusu, deneysel çalı maların yönlendirilmesi, sonuçların de erlendirilmesi ve yazımı a amasında yapımı oldu u büyük katkılarından dolayı tez danı manım Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÇAKMAKKAYA'ya, ara tırma ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen Ara . Gör. Muhammet KARABA 'a, her konuda öneri ve ele tirileriyle yardımlarını gördü üm hocalarıma ve arkada larıma te ekkür ederim.

Bu ara tırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme te ekkür ederim.

Serhat GÜLEÇ

AFYONKARAH SAR, 2013

## Ç İNDEK İLER D İZ İN

Sayfa

ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
TE EK KÜR .....	iii
Ç İNDEK İLER D İZ İN .....	iv
S İMGELER ve KISALTMALAR D İZ İN .....	vi
EK İLLER D İZ İN .....	viii
Ç İZELGELER D İZ İN .....	xii
1. G İR .....	1
2. L İTERATÜR B İLG İLER .....	3
2.1 Fe-Al İNTERMETAL İK MALZEMELER	
2.1.1 FeAl metallerarası bile İ i .....	6
2.1.2 Fe <sub>3</sub> Al metallerarası bile İ i .....	8
2.2 İNTERMETAL İK MALZEMELER İN ÜRET İM TEKN İKLER .....	10
2.2.1 Vakum İndüksiyon Ergitme Tekni İ .....	10
2.2.2 Vakum Ark Tekni İ ile Yeniden Ergitme .....	12
2.2.3 Elektroslag Rafinasyon.....	12
2.2.4 Plazma Ark Ergitme Tekni İ .....	13
2.2.5 Sprey Döküm Tekni İ .....	14
2.2.6 Yönlendirilmi Katıla tırma Tekni İ .....	15
2.2.7 Yanma Sentezi.....	16
2.2.8 HERS Yöntemi.....	17
2.3 SAPLAMA KAYNAK TEKN İ .....	18
2.3.1. Saplama Kayna İ Çe İtleri .....	19
2.3.1.1 Kondansatör Bo İltmalı Saplama Kayna İ .....	19
2.3.1.2 Çekmeli Ark Cihazları İle Saplama Kayna İ .....	19
2.3.2 Saplama Kayna İnda Süreç Yeterlili İ .....	20
2.3.3 Saplama kayna İnda kaynak banyosunu koruma yöntemleri .....	21
2.3.3.1 Seramik Halkalı Saplama Kayna İ.....	21
2.3.3.2 Koruyucu Gaz Altında Saplama Kayna İ .....	21
2.3.3.3 Korumasız Saplama Kayna İ .....	22
2.3.4 Saplama kayna İnın avantajları.....	22
3. MATERYAL ve METOT .....	23

3.1 Fe-Al intermetalik ala ımların üretimi .....	23
3.2 Fe-Al saplama kaynak numunelerinin hazırlanması .....	23
3.3 X ı nları difraksiyonu ile faz analizi ve Mikrosertlik ölçümleri .....	24
3.4 Saplama Kaynaklarının yapılması .....	24
3.5 Saplama kaynaklarının mikro yapısal incelemesi .....	25
3.6 Saplama kaynak dayanımlarının ölçümü.....	26
4. BULGULAR .....	27
4.1 Fe-Al ntermetaliklerin Üretimi ve Karakterizasyonu.....	27
4.1.1 X ı nları difraksiyonu ile faz analizi ve mikrosertlik ölçümleri.....	27
4.2 Saplama Kaynaklarının Yapılması ve Karakterizasyonu .....	28
4.2.1 Saplama kaynaklarının yapılması .....	28
4.2.2 Saplama kaynaklarının mikroyapı analizi .....	29
4.2.2.1 Fe26Al .....	29
4.2.1.2 Fe30Al .....	33
4.2.1.3 Fe33Al .....	36
4.2.1.4 Fe50Al .....	39
4.2.3 Saplama kaynaklarının dayanımı ve kaynak geçi bölgelerinin elemental çizgi analizi.....	41
4.2.3.1 Saplama kaynaklarının kopartma deneyi.....	41
4.2.3.2 Kaynak geçi bölgelerinin elemental analizi.....	42
5. TARTI MA ve SONUÇ .....	58
6. KAYNAKLAR.....	59
ÖZGEÇM .....	61

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

	Alfa
	Beta
	Gama
Fe	Demir
Al	Alüminyum
Ti	Titanyum
Ni	Nikel
Co	Kobalt
Bi	Bizmut
Sb	Antimon
Ag	Gümü
Cd	Kadmiyum
Zn	Çinko
Si	Silisyum
Ge	Germanyum
Cr	Krom
Mn	Mangan
Pt	Platinyum
Hf	Hafniyum
Zr	Zirkonyum
B	Bor
V	Tungsten
Mo	Molibden
H	Hidrojen
Tc	Kritik düzenleme sıcaklığı
HF	Hidroflorik Asit
mm	milimetre
µm	Mikrometre
ms	milisaniye

GPa	Gigapascal
M	Metre
K	Kelvin

### **Kısaltmalar**

AKÜ	Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi
E	Young Modülü
ESR	Elektroslag Rafinasyonu
HV	Sertlik(Vickers)
HMK	Hacim Merkezli Kübik
HSP	Hekzagonal Sıkı Paket
ITAB	Isı Tesiri Altındaki Bölge
/M	ngot Metalurjisi
RPE	Plastik Deformasyon Oranı
SHS	Kendi Kendine lerleyen Yüksek Sıcaklık Sentezi
TEF	Teknik E itim Fakültesi
T/M	Toz Metalurjisi
XRD	X I nları Difraksiyonu
V	Volt
VIM	Vakum ndüksiyon Ergitme i lemi
VAR	Vakum Ark Ergitme lemi
YMK	Yüzey Merkezli Kübik
%at.	Atomik Yüzde
%a .	A ırlık Yüzde

## EKLER D Z N

### Sayfa

<b>ekil 1.1</b> Atomların düzenli (a) ve düzensiz (b) da ılımları.....	1
<b>ekil 2.1</b> Al-Fe ikili faz diyagramı.....	3
<b>ekil 2.2</b> Alüminyum katkısının etkisi, Fe <sub>3</sub> Al ala ımında çatlak büyüme hızına kristal yapı ve sıcaklı ın etkisi.....	5
<b>ekil 2.3</b> FeAl'ın kübik kristal yapısı.....	6
<b>ekil 2.4</b> Demir alüminatlar ile konvensiyonel Fe esaslı ala ımların korozyon davranı ları.(800°C, sülfirik asit ortamında). ....	7
<b>ekil 2.5</b> Fe <sub>3</sub> Al ala ımının kristal (D0 <sub>3</sub> ) yapısı( ) ve ( ) Fe, ( ) altkafesi. ....	9
<b>ekil 2.6</b> Dü ük basınçlı döküm i leminin a amaları.....	11
<b>ekil 2.7</b> Kapalı olmayan bir indüksiyon ergitme ve döküm i leminin ematik gösterimi. ....	12
<b>ekil 2.8</b> Plazma ergitme tekni inin ematik gösterimi.....	13
<b>ekil 2.9</b> Sprey döküm tekni inin ematik gösterimi. ....	14
<b>ekil 2.10</b> E eksenli yapının tersine yönlendirilerek katıla tırılan Ni <sub>3</sub> Al da mukavemet. ....	15
<b>ekil 2.11</b> Yönlendirilmeden katıla tırılan Ni <sub>3</sub> Al'da katıla ma hızı üzerinde gözenek oranının ba ımlılı ı. ....	16
<b>ekil 2.12</b> Sadece katı reaktanlar içeren klasik yanma sentezi i leminin ematik gösterimi. ....	17
<b>ekil 2.13</b> Saplama kayna ı i lem sırası. ....	18
<b>ekil 2.14</b> Tipik bir saplama kayna ı kesiti: A: Saplamanın ısı tesiri altında olmayan bölgesi, B: Saplamanın ısı tesiri altında olan kısmı, C: Kaynak metal, D: Taban plakanın ısı tesiri altında kalan bölgesi, E: Esas metalin ITAB dı ında kalan bölgesi... 19	

<b>ekil 2.15</b> Saplama kayna ı görsel denetimlerden geçirilirken örnek alınacak birle tirme .....	20
<b>ekil 3.1</b> Ark ergitme ile üretilen Fe50Al ala ımı.....	23
<b>ekil 3.2</b> Saplama kayna ı için hazırlanmı numune.....	24
<b>ekil 3.3</b> Al saplama ile kaynaklanmı numune. ....	25
<b>ekil 3.4</b> Kaynakların mukavemet ölçümlerinde kullanılan dijital torkmetre. ....	26
<b>ekil 4.1</b> Üretilen ala ımları XRD analiz sonuçları. ....	27
<b>ekil 4.2</b> Fe26Al ala ımı için bakır kaplı saplama ile yapılan kaynaklara ait taramalı elektron mikroskobu görüntüleri, a)100V,b)130V, c) 150V, d)170V, e)200V kaynak gerilimlerinde. ....	30
<b>ekil 4.3</b> Fe26Al ala ımı için paslanmaz çelik saplama ile yapılan kaynaklara ait taramalı elektron mikroskobu görüntüleri, a)100V,b)130V, c) 150V, d)170V , e)200V kaynak gerilimlerinde. ....	31
<b>ekil 4.4</b> Fe26Al ala ımı için Alüminyum saplama ile yapılan kaynaklara ait taramalı elektron mikroskobu görüntüleri, a)100V,b)130V, c) 150V, d)170V, e)200V kaynak gerilimlerinde. ....	32
<b>ekil 4.5</b> Fe30Al ala ımı için Alüminyum saplama ile yapılan kaynaklara ait optik mikroskop görüntüleri, a)100V,b)130V, c) 200V kaynak gerilimlerinde.....	33
<b>ekil 4.6</b> Fe30Al ala ımı için paslanmaz çelik saplama ile yapılan kaynaklara ait optik mikroskop görüntüleri, a)100V,b)130V, c) 150V, d)170V , e)200V kaynak gerilimlerinde. ....	34
<b>ekil 4.7</b> Fe30Al ala ımı için bakır kaplı saplama ile yapılan kaynaklara ait taramalı elektron mikroskobu görüntüleri, a)100V,b)130V, c) 150V, d)170V, e)200V kaynak gerilimlerinde. ....	35
<b>ekil 4.8</b> Fe33Al ala ımı için alüminyum saplama ile yapılan kaynaklara ait optik mikroskop görüntüleri, a)130V,b)150V, c) 170V, d)200V, kaynak gerilimlerinde.....	36

<b>ekil 4.9</b> Fe33Al ala ımı için bakır kaplı saplama ile yapılan kaynaklara ait optik mikroskop görüntüleri, a)100V, b)130V,c)150V, d) 170V, e)200V, kaynak gerilimlerinde. ....	37
<b>ekil 4.10</b> Fe33Al ala ımı için paslanmaz çelik saplama ile yapılan kaynaklara taramalı elektron mikroskobu görüntüleri, a)100V, b)130V,c)150V, d) 170V, e)200V, kaynak gerilimlerinde.....	38
<b>ekil 4.11</b> Fe50Al ala ımı için alüminyum saplama ile yapılan kaynaklara ait taramalı elektron mikroskobu görüntüleri, a)100V, b) 150V, c)200V, kaynak gerilimlerinde....	39
<b>ekil 4.12</b> Fe50Al ala ımı için paslanmaz çelik saplama ile yapılan kaynaklara taramalı elektron mikroskobu görüntüleri, a)150V, b) 170V, c)200V, kaynak gerilimlerinde....	40
<b>ekil 4.13</b> Fe50Al ala ımı için bakır kaplı saplama ile yapılan kaynaklara ait taramalı elektron mikroskobu görüntüsü, 200V kaynak geriliminde. ....	40
<b>ekil 4.14</b> Fe26Al ala ımının 100V kaynak geriliminde alüminyum saplama ile yapılan kayna ın geçi bölgesi analizi. ....	43
<b>ekil 4.15</b> Fe26Al ala ımının 130V kaynak geriliminde alüminyum saplama ile yapılan kayna ın geçi bölgesi analizi. ....	44
<b>ekil 4.16</b> Fe26Al ala ımının 150V kaynak geriliminde alüminyum saplama ile yapılan kayna ın geçi bölgesi analizi. ....	45
<b>ekil 4.17</b> Fe26Al ala ımının 170V kaynak geriliminde alüminyum saplama ile yapılan kayna ın geçi bölgesi analizi. ....	46
<b>ekil 4.18</b> Fe26Al ala ımının 200V kaynak geriliminde alüminyum saplama ile yapılan kayna ın geçi bölgesi analizi. ....	47
<b>ekil 4.19</b> Fe26Al ala ımının 100V kaynak geriliminde paslanmaz çelik saplama ile yapılan kayna ın geçi bölgesi analizi. ....	48
<b>ekil 4.20</b> Fe26Al ala ımının 130V kaynak geriliminde paslanmaz çelik saplama ile yapılan kayna ın geçi bölgesi analizi. ....	49

<b>ekil 4.21</b> Fe26Al ala ımının 150V kaynak geriliminde paslanmaz elik saplama ile yapılan kayna ın geçi bölgesi analizi. ....	50
<b>ekil 4.22</b> Fe26Al ala ımının 170V kaynak geriliminde paslanmaz elik saplama ile yapılan kayna ın geçi bölgesi analizi. ....	51
<b>ekil 4.23</b> Fe26Al ala ımının 200V kaynak geriliminde paslanmaz elik saplama ile yapılan kayna ın geçi bölgesi analizi. ....	52
<b>ekil 4.24</b> Fe26Al ala ımının 100V kaynak geriliminde bakır kaplanmış elik saplama ile yapılan kayna ın geçi bölgesi analizi. ....	53
<b>ekil 4.25</b> Fe26Al ala ımının 130V kaynak geriliminde bakır kaplanmış elik saplama ile yapılan kayna ın geçi bölgesi analizi. ....	54
<b>ekil 4.26</b> Fe26Al ala ımının 150V kaynak geriliminde bakır kaplanmış elik saplama ile yapılan kayna ın geçi bölgesi analizi. ....	55
<b>ekil 4.27</b> Fe26Al ala ımının 170V kaynak geriliminde bakır kaplanmış elik saplama ile yapılan kayna ın geçi bölgesi analizi. ....	56
<b>ekil 4.28</b> Fe26Al ala ımının 200V kaynak geriliminde bakır kaplanmış elik saplama ile yapılan kayna ın geçi bölgesi analizi. ....	57

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

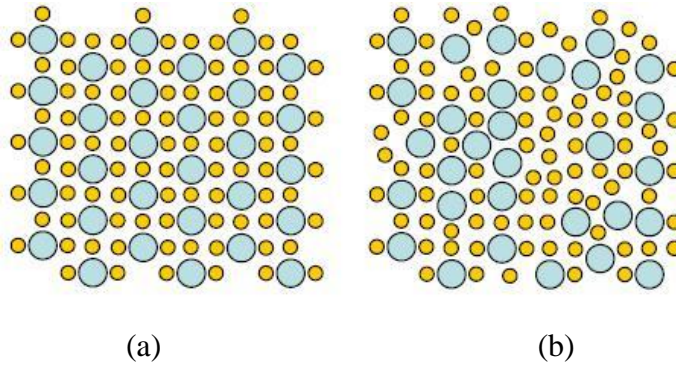
<b>Çizelge 2.1.</b> FeAl bileşimine alaşım elementi ilavesinin etkisi.....	8
<b>Çizelge 2.2.</b> Bazı intermetalik alaşımlar için işleme teknikleri. (Sen and Stefanescu 1989).....	10
<b>Çizelge 2.3.</b> Seçilen alaşımların bileşimleri(Sen and Stefanescu 1989). ....	10
<b>Çizelge 4.1.</b> Üretilmiş intermetaliklerin Sertlikleri.....	28
<b>Çizelge 4.2.</b> Alaşımların saplama kaynak kabiliyetleri. ....	28
<b>Çizelge 4.3.</b> Fe26Al Saplama türüne ve volta bağlı kopma gerilimi tablosu.....	42



## 1. G R

Katı çözeltilerle güçlendirilmi metalik bile ikler veya ikinci bir fazla takviye edilmi katı çözeltiler arasında önemli bir yere sahip olan metaller arası bile iklere intermetalik malzemeler denir. Bu bile ikler genellikle dar kompozisyon aralıklarında, basit oranlar çerçevesinde iki veya daha fazla metalin bile ik olu turacak ekilde kimyasal olarak birle mesi ile olu urlar(Karaba ,2009).

ntermetalik malzemeler seramik malzemeler ve metalik malzemelerin sahip oldu u özellikleri gösteren e siz bir malzeme sınıfıdır. Bu ala ımlar geleneksel metalik ala ımlardan farklı olarak uzun mesafe düzenli kristal yapısına sahiptir. Seramik malzemelerin sahip oldu u üstün özellikler genellikle sahip oldu u çok kuvvetli kovalent ve iyonik ba yapısından kaynaklanmaktadır, oysaki metallerin sahip oldu u deformasyon özellikleri sahip oldu u metalik ba yapısıyla ilgili de ildir. ntermetalik malzemeler bünyesinde birle en ala ım elementlerine ba lı olarak hem kovalent hem de iyonik ba içerebilirler. Bu karma ıklı ba yapısı sayesinde ntermetalik malzemelere seramik ve metaller arasında mekanik özellikler sahiptir(Karaba 2009).



**ekil 1.1** Atomların düzenli (a) ve düzensiz (b) da ılımları.

Yüksek sıcaklık artlarında kullanılacak malzemelerin iyi oksitlenme ve sürünme dirençlerine, dü ük yo unluk gibi özelliklere sahip olmaları istenir. Bunun nedeni servis artlarında gerekli olan mekanik özellikleri temin sa lamak için tasarlanmı kimyasal yapının korunması, yüksek sıcaklıklarda atomik difüzyon nedeniyle deformasyonun önlenmesi ve enerji tasarrufunun sa lanmasıdır. Bu özelliklerin mükemmel bir kombinasyonuna sahip intermetalik malzemeler, yüksek sıcaklık uygulamaları ve kaplama i lemleri için umut vaat eden malzemeler olmasına kar ın gevrek ve kırılğan

oldukları için tala lı veya tala sız i lenebilmeleri oldukça zordur(Karaba ,2009).

Son yıllarda intermetalik malzemeler ile ilgili yapılan çalı malarda, ntermetalik malzemelerin ala ımlama ve üretim i lemleri kontrol altında tutularak mikro yapıları, kristal kafes yapıları, tane yapıları ve kompozisyonları incelenerek gevreklik ve kırılabilirlik problemleri çözülmeye çalı ılmaktadır. ntermetalik bile iklerin üretimi için çe itli üretim yöntemleri denenmi tir. Bu yöntemler su ekilde sıralanabilir; Ergitme ve döküm, ala ım tozlarının kullanıldı ı toz metalürjisi, saf orijinal malzemeli reaktif sinterleme ve yanma sentezi bunların ba lıcalarıdır. Ergitme yönteminde genellikle indüksiyon ocakları ve vakum ark ergitme fırınları kullanılmaktadır. Bu iki yöntemde de elektrik enerjisi kullanılarak elde edilen ısı enerjisiyle ergitme yapılmaktadır. Yanma sentezi (Combustion Synthesis), yanma reaksiyonlarının ate leme artlarına ba lı olarak iki farklı ekilde gerçekte ir. Bunlardan birincisi yüksek sıcaklıklarda kendili inden olu an reaksiyonla sentezleme (self propagating high temperature synthesis, SHS) yöntemidir. Bu yöntemde reaksiyon numunenin bir ucundan ate lenir ve olu an ekzotermik reaksiyon sonucu aç ı a çıkan yanma dalgası, tüm numune boyunca ilerleyerek preslenmi toz kar ımını yeni bir ürüne dönü türür. Di er yöntem ise ısı patlama veya hacimsel yanma yöntemi (Thermal Explosion) olarak tanımlanmaktadır. Bu yöntemde numune açık veya inert gaz atmosfer kontrollü fırın içerisinde reaksiyon sıcaklı ına kadar ısıtılmakta ve yanma dalgası numunenin hacmi içerisinde olu maktadır. Bu i lemde maksimum sıcaklı a alüminyumun ergime sıcaklı ının hemen üzerinde ula ılmaktadır. Bu yöntem ile intermetalik, kompozit, seramik ve fonksiyonel de i kenli malzemeler üretilmektedir(Karaba , 2009).

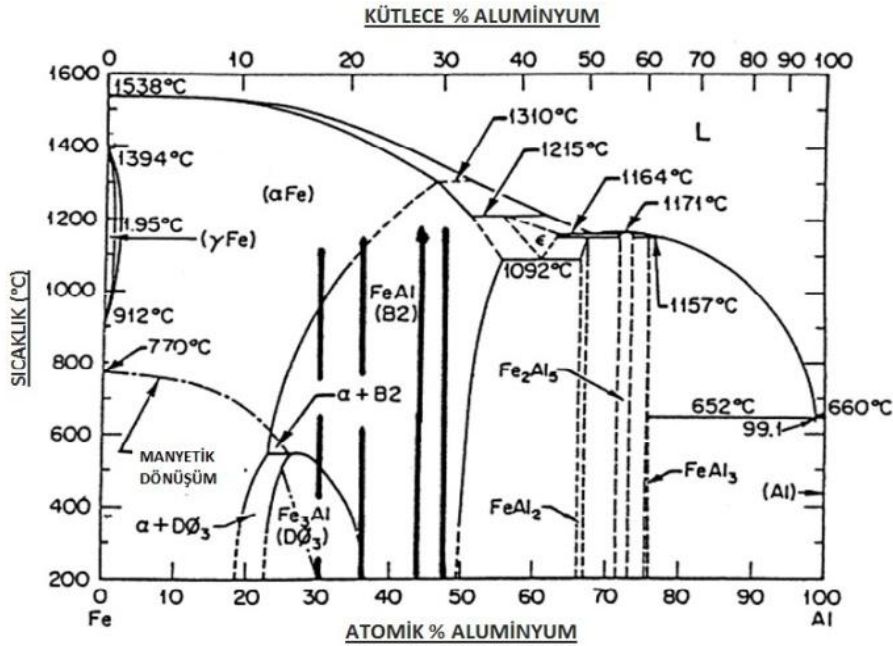
Bu çalı mada Fe-Al intermetalik sisteminde kütlece %26, %30, %33,%50 Al içeren Fe-Al intermetalik malzemeleri ark ergitme yöntemi ile üretilmi , üretilen Fe-Al intermetalik malzemeler farklı kaynak gerilimleri kullanılarak bakır kaplı çelik, paslanmaz çelik ve alüminyum saplamalara salpama kaynak tekni i kullanılarak birle tirilmi tir. Üretilen Fe-Al intermetaliklerin söz konusu saplamalara kaynak kabiliyeti incelenmi , kaynak bölgelerinin mikro yapısal ve elemental analizleri yapılmı , en ba arılı kaynak serisine saplama kopartma testleri yapılarak kaynak dayanımları belirlenmi tir.

## 2. L TERATÜR B LG LER

### 2.1 Fe-Al NTERMETAL K MALZEMELER

Fe-Al ala ım sistemi yüksek dayanım, dü ük yo unluk, oldukça iyi oksitlenme direnci ve dü ük maliyet gibi özelliklerinden dolayı potansiyel olarak u anda kullanılmakta olan paslanmaz çelikler ve demir esaslı süper ala ımların yerine kullanılması mümkün malzemeler arasında görülmektedir. Bu ala ımların ba lıca potansiyel uygulama alanları otomotiv ve havacılık endüstrisidir. Ayrıca biyomedikal uygulamalarda di er bir potansiyel uygulama alanıdır.

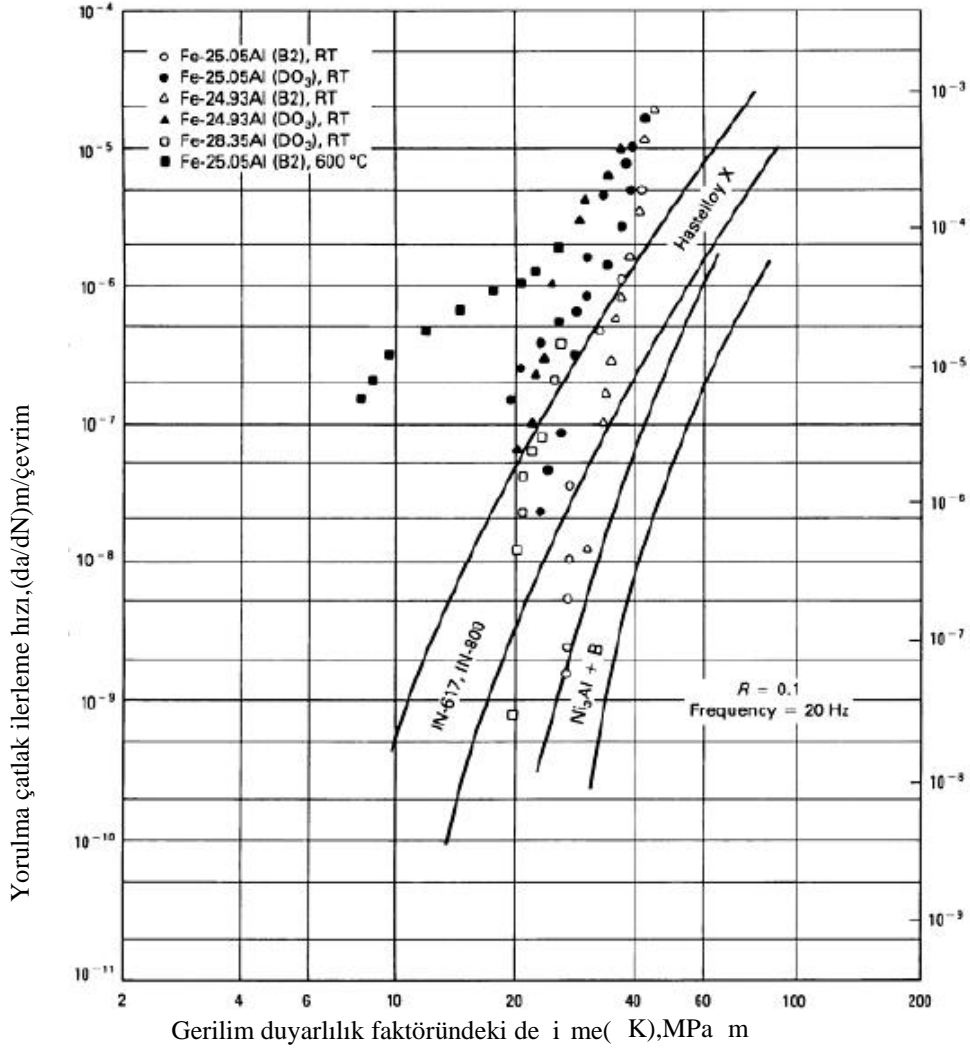
Fe-Al ikili faz diyagramı dikkatle incelendi inde  $Fe_3Al$ ,  $FeAl$ ,  $FeAl_2$ ,  $Fe_2Al_5$  ve  $FeAl_3$  gibi intermetalik bile iklerin mevcut oldu u görülür. Bu intermetalik bile iklerden, Fe-Al faz diyagramının demirce zengin kısmında bulunan, B2 yapısı ile  $FeAl$  ve  $D0_3$  yapısı ile  $Fe_3Al$ , Fe-Al sisteminin en kararlı yapıları olup; fiziksel, ısıl, elektrik ve mekanik yönden çekici özelliklere sahiptir. Fe-Al ala ımları %25-50 oranlarındaki Al bile iminde hacim merkezli kübik kristal yapıya sahiptir.  $Fe_3Al$  540 °C'ye kadar olan sıcaklıklarda düzenli  $D0_3$  yapısında, 540-760°C arasında ise B2 kafes yapısına sahiptir. 760 °C sıcaklı ı üzerinde ise  $Fe_3Al$  ala ımını düzensiz bir yapıya sahiptir(Karaba ,2009).



ekil 2.1 Al-Fe ikili faz diyagramı (Massalski TB).

Fe-Al alaşımları; yüksek ergime noktasına, yüksek mukavemete, Fe esaslı malzemelere göre düşük yoğunluğa, nispeten düşük malzeme maliyetine, yüksek sertliğe, mükemmel korozyon ve oksidasyon direncine, yüksek elastik modüle ve ticari metalik alaşımlardan farklı olarak yüksek elektrik direncine sahiptirler. Bununla birlikte, bu alaşımların bazı dezavantajları; zor elde edilmeleri, oda sıcaklığında düşük sünekliğe ve kırılma tokluğuuna sahip olmaları, 500-600 °C civarındaki sıcaklıklarda mukavemetinin düşmesi, rutubete maruz bırakıldığında orta ve oda sıcaklığında lokal gevreklenme hassasiyeti, atmosferik su buharı ve metaller arasında, hidrojenle kimyasal reaksiyon sonucu gevreklenme meydana gelmesidir(Karaba 2009).

Fe-Al alaşımlarının kullanımını sınırlandıran en önemli faktör gevrek karakterleridir. Fe alüminatların gevrekliğin muhtemel nedenlerini; zayıf tane sınırı, lokal gevreklenme ve bölük sertleşmesi olmaktadır. Havadaki mevcut nemin sebep olduğu lokal gevreklenme Fe<sub>3</sub>Al ve FeAl'un düşük gerilme sünekliğinin ana nedenidir. Fe<sub>3</sub>Al alaşımlarının gevrek karakterinin nedeni lokal gevreklik iken, % 38 üzerinde alüminyum seviyesine sahip FeAl bileşimindeki gevrekliğin nedeni tane sınırlarının zayıflığı ve bölük sertleşmesidir. Fe-Al alaşımları için taneler arası kırılma baskını olduğunda oda sıcaklığındaki düşük gerilme süneklikleri tane büyüklüklerine bağlı olmakta ve küçük taneli malzemeler daha iyi süneklik özelliklerine sahip bulunmaktadır. Bu açıdan lokal kırılma, havadaki nem ile Al atomlarının reaksiyonunu ve hidrojenin açığa çıkmasını kapsayan bir kimyasal reaksiyon ile izah edilmektedir. Hidrojen atomunun çatlak uçlarına girmesi Fe-Al alaşımlarında hidrojenin neden olduğu gevrekliğe yol açmaktadır. Bununla birlikte, lokal gevreklik Fe-Al alaşımlarındaki zayıf gevreklik ve düşük sünekliğin tek sebebi değildir. Artan Al konsantrasyonu tane sınırı zayıflığına neden olmakta ve gerilme sünekliğini sınırlamaktadır. Ayrıca, Fe-Al alaşımlarındaki ısıl bölükler, kayma düzlemleri boyunca klivaj kırılmasını arttırmaktadır. Ancak bu tip malzemelerin mekanik özellikleri, alaşımlama ve mikroyapı kontrolü ile geliştirilebilmektedir(Karaba 2009).



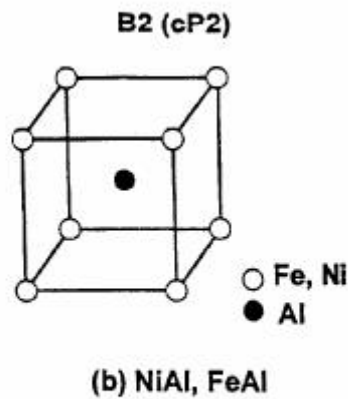
**ekil 2.2** Alüminyum katkısının etkisi, Fe<sub>3</sub>Al ala ımında çatlak büyüme hızına kristal yapı ve sıcaklı ın etkisi (Liu *et al.* 1990).

Ayrıca, bu ala ımlarda sürünme dayanımı, kararlı ikinci faz partiküllerine ve var olan ince disperse olmu partiküllere ba lıdır ve 500-600°C sıcaklık aralı ında sürünme dayanımının, çözelti veya karbür eklemesiyle geli ti i bilinmektedir. Fe alüminatların, ticari anlamda yaygın kullanımı için, dü ük maliyet avantajının yanında, güvenilir malzeme üretim tekniklerine ihtiyaç vardır. Fe alüminatlar; mekanik ala ımlama, geleneksel ergitme ve dökme teknikleri, geleneksel haddeleme veya toz metalurjisi yöntemleri ile üretilebilmektedir. Döküm i lemi sırasında Fe alüminatlar, kolayca hidrojeni absorbe ederek hidrojen gaz bo lukları olu turabilmektedir. E er demir alüminat nemli havada ergitilecekse He ve Ar gibi koruyucu gaz atmosferi gereklidir. Fe-Al ala ımlarına sıcak i lem veya ekstrüzyon ile de şekil verilmektedir. Bu

ala ımların üretimindeki bir di er yöntem ise basınçlı sinterleme metodu olup bu metot az miktarda malzeme ve teçhizat kullanımına, ikincil deformasyon i leme gerek duyulmamasına, son ekle yakın malzeme üretimine ve üründe mikroyapı kontrolüne imkan vermektedir. Fe<sub>3</sub>Al ve FeAl esaslı intermetalikler oksijen ve havada ısıtıldı ında yüzeye tamamen yapı an ve sürekli bir koruyucu Alümina tabakası olu turmak için yeterli derecede yüksek Al konsantrasyonuna sahiptir. Buna karsın birçok ticari ala ım a ırlıkça % 2'den daha az Al içerir ve aynı eilde oksidasyon direnci için yüksek konsantrasyonda a ırlıkça % 18 Cr içerir. Krom içeren ala ımlar hava ve oksijene maruz kaldı ında Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> şeklinde olu ur ve oksidasyon direnci 950°C'deki Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CrO<sub>3</sub> dönü ümüyle sınırlıdır. Fe alüminatların yüzeyinde koruyucu alümina tabakası olu ması nedeniyle oksidasyon atmosferinde mükemmel korozyon direnci sergilemeleri, bu ala ımları küçük enerji dönü üm sistemleri, gaz filtreleri, korozyon direncini arttırmada kaplama malzemesi ve ara yüzey tabakasında ba layıcı eleman olarak kullanım için aday malzemeler haline getirmi tir. Ayrıca bu ala ımlar, nikel ve krom gibi stratejik elementler ilave edilen daha pahalı yüksek sıcaklık yapı malzemeleri için dü ük maliyetli alternatif potansiyel malzemelerdir ve bu ala ımlar yüksek elektriksel dirence sahip olduklarından, direnç gösteren ısıtıcı eleman olarak kullanılabilcek ideal yapılardır(Karaba 2009).

### 2.1.1 FeAl metallerarası bile i i

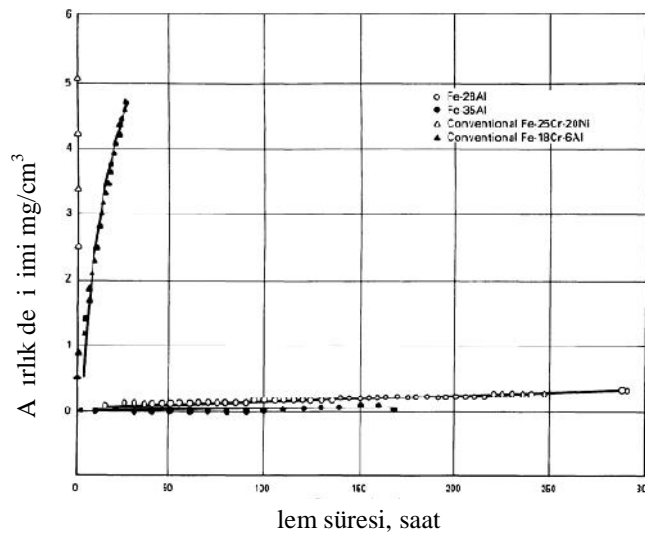
FeAl, hacim merkezli kübik (HMK) yapının bir türevi olan B2 yapısına sahiptir. B2 yapısı en basit yapı olup, yapı bile enlerinin formülü AB seklindedir. A atomları birim kafes yapının hacim merkezine, B atomları ise birim kafesin kö elerine yerle mektedir.



**ekil 2.3** FeAl'ın kübik kristal yapısı (Liu *et al.* 1990).

FeAl, yaklaşık Fe-36Al'den, 400°C civarındaki sıcaklıklardaki Stokiyometrik bileşimlere kadar, geniş bileşim aralığında kararlıdır. Fe<sub>3</sub>Al alaşımları ile mukayese edildiğinde, FeAl daha iyi oksidasyon ve korozyon direncine ve nispeten düşük yoğunluğa sahiptir. FeAl, çelik ve ticari Fe bazlı alaşımlarla karşılaştırıldığında mükemmel oksidasyon direnci, yüksek sıcaklıklarda iyi mukavemet ve düşük yoğunluğa sahiptir. Lave olarak, birçok ticari metalik ısı elemanı ile karşılaştırıldığında ise daha yüksek elektriksel öz direnç sergiler. Bu özellikleri ile FeAl alaşımları, yüksek sıcaklık yapı malzemeleri, gaz filtreleri, bulaşıcı ve ısıtıcı elemanlar olarak düşünülen bileşikler haline gelmiştir (Karaba 2009).

Tek kristalli FeAl, düşük sıcaklık derecelerindeki basmada, düşük süneklik gösterir. Pratik olarak çok kristalli FeAl'in stoikiyometrik bileşimindeki çekme sünekliği, basma sünekliği kadar düşüktür ve süneklik azalan Al ile ve stoikiyometrik sapmanın artışıyla artar. Fe-Al alaşımlarının havada gevrek olduğu bilinmektedir. Gevrek karakterleri, Fe zengin olduğunda sadece % 2-3 oranında uzama ve stoikiyometrik kompozisyona yakın alaşımlarda bütün B2 faz kararlılığına doğru devam eder. FeAl'un havada kırılma eğilimi stoikiyometrinin duyarlılığına bağlıdır. Gevreklik, FeAl'un çatlaklarındaki hidrojen çözülmesine bağlıdır ve artan deformasyon oranıyla azalmaktadır. Yapıdaki boşluklar sertliği, akma mukavemetini artırır ve sünekliği azaltır. Etkiler azaltıldığında, FeAl kuru oksijende, % 18'e kadar kopma uzaması ile tamamen sünek olabilir (Karaba 2009).



**ekil 2.4** Demir alüminatlar ile konvensiyonel Fe esaslı alaşımların korozyon davranışları. (800°C, sülfirik asit ortamında) (Liu *et al.* 1990).

FeAl, iyi kaynak özellikleri, yüksek korozyon ve yüksek alaım direnciyle tanımlanmaktadır. FeAl bileiminin deformasyon ve kırılma davranışları, tasarım ve üretim amaçlarında belirli fiziksel metalürji prensipleriyle geliştirilmektedir. Söz konusu temel prensipler;

- Al seviyesinin kontrol altında tutulması (< % 38Al)
- Tane büyüklüğünün inceltilmesi
- Koruyucu yüzey kaplamasının oluşturulması
- 400 C'nin altında yavaş soğuma ile ısıl boşlukların en aza indirilmesi
- Faydalı elementlerin alaıma ilave edilmesi olarak sıralanabilir.

**Çizelge 2.1'de FeAl intermetalik bileime ilave edilen bazı alaım elementleri ve alaım elementlerinin geliştirdiği özellikler verilmiştir (Işık 2007).**

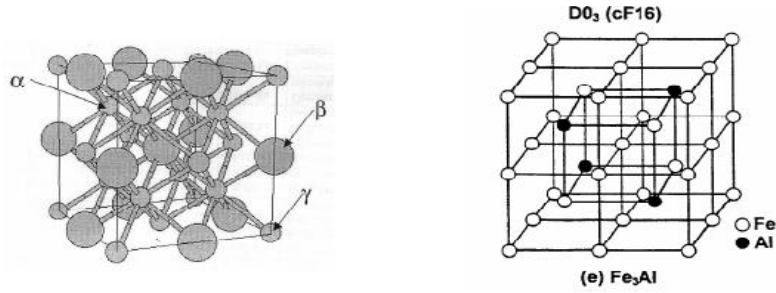
**Çizelge 2.1.** FeAl bileimine alaım elementi ilavesinin etkisi

Alaım elementi	Özellikler
Bor	Tane sınırlarını kuvvetlendirir.
Karbon	Kaynaklanabilirliği iyileştirir ve karbürlerin oluşmasını sağlar
Zr Boratlar/karbürler	Tane büyüklüğünün rafinesi ve lifli tane yapısının muhafazası
Mo	Sürünme direncinin ve mukavemetin artırılması

### 2.1.2 Fe<sub>3</sub>Al metallerarası bileimi

Fe<sub>3</sub>Al, D<sub>03</sub> yapısı ile Fe-Al alaımlarının en kararlı yapılarından biridir. D<sub>03</sub> fazı, alaım elementleri gibi geçi metallerine ve birkaç Fe alt kafesine sahiptir. Kübik alt kafeste tamamen ( ) ve ikinci alt kafeste yarı ( ) dizilimi halde Fe atomları bulunmaktadır. Al, ( ) alt kafesinde bulunur. ( ) Alt kafesindeki Fe atomları ve alt kafesindeki Al atomları, oktahedral düzlemdeki en yakın komşuları gibi sadece 8 Fe atomuna sahip oldu u halde, ( ) alt kafesindeki Fe atomları, tetrahedral düzlemde 4 Al ve 4 Fe atomuyla çevrilidir. Fe<sub>3</sub>Al, katı durumdaki zincirleme reaksiyonlarla soğuma sırasında oluşmaktadır, daha sonra HMK düzensiz katı çözültüye dönüşmektedir. Bu çözültü 800 °C'nin üzerinde kararlıdır. İlk FeAl fazı B2 yapısıyla oluşur, bu faz 550-800 °C arasında sabittir. Daha sonra D<sub>03</sub> yapısıyla da Fe<sub>3</sub>Al'a dönüşür. Bu reaksiyon zincirinin kritik derecesi, ergime derecesinden çok daha düşüktür. Bu da NiAl gibi alüminatlarla karşılaştırıldığında atomlar arasında daha güçsüz bağları içerir. Fe<sub>3</sub>Al ve HMK

FeAl katı çözeltisi arasında bir denge vardır. Demiri zengin bölgede iki fazlı bir denge vardır. Alüminyum zengin bölgede ise  $D0_3$  yapılı  $Fe_3Al$ 'dan B2 yapılı FeAl'a iki yönlü bir geçi vardır. Zincirin  $550^{\circ}C$  civarında olan kritik noktası üçüncü bir element eklenmesiyle daha yüksek sıcaklıklara dönü türülebilir. Bu elementler Cr, Mo, Mn,Ti ve Si olabilir. Dü ük olu um entalpisinden dolayı kolaylıkla ısıl bo luklar olu maktadır. öyle ki dü ük olu um entalpi si, yayınma entalpisinden dahi daha dü üktür. Bunun sonucu olarak,  $Ni_3Al$  ve saf metallere göre bo luk konsantrasyonunda yüksek bir denge söz konusudur ve difüzyon enerjisi Al ile de i mektedir. Yüksek manyetik geçirgenlik özelli i  $Fe_3Al$ 'u manyetik bir malzeme olarak kullanı lı hale getirmektedir. Ayrıca  $Fe_3Al$ , petrokimya endüstrisinde ve geleneksel güç ünitelerinde veya kömür dönü üm fabrikalarında yüksek sıcaklık uygulamaları için umut vaat eden malzemedir. Ancak sınırlı oda sıcaklı ı sünekl i, dönü üm reaksiyon sıcaklı ının üzerinde azalan mukavemet, dü ük kırılma toklu u, zayıf i lenebilirlik ve dü ük lokal gevreklik direnci sergilemesine ra men, bu özelliklerde kontrollü üretim ve kompozisyon bile imi ile tatmin edici geli meler elde edilmektedir(Karaba 2009).



**ekil 2.5**  $Fe_3Al$  ala ımının kristal ( $D0_3$ ) yapısı( ) ve ( ) Fe, ( ) altkafesi (Liu *et al.* 1990).

## 2.2 NTERMETALİK MALZEMELERİN ÜRETİM TEKNİKLERİ

Günümüze kadar incelenen birçok intermetalik alaşım sistemi Al gibi oksidasyona yatkın veya Ti gibi çok reaktif elementler içermektedir. Bu da intermetalik alaşımların ergitme ve döküm tekniklerine ait önemli sorunları beraberinde getirmektedir. Bu alaşımların üretiminde kullanılacak ergitme ve döküm teknikleri Subhayu Sen ve ark. tarafından incelenmiştir. Bu teknikler kısaca: Vakumda İndüksiyon Ergitme, Vakumda Arkla Yeniden Ergitme, Elektroslag Rafinasyonu, Plazma Ark Ergitmesi, Spray Döküm ve Yönlendirilmiş Katılaşma olarak özetlenebilir(Karabaş 2009). Ticari açıdan önemli bazı intermetalik alaşımlar için kullanılan bazı ergitme işlemi teknikleri çizelge 2.2’de verilmiştir.

**Çizelge 2.2.** Bazı intermetalik alaşımlar için işleme teknikleri. (Sen and Stefanescu 1989).

Alaşım	Ergitme işlemi	Döküm işlemi	Açıklamalar
IC-50(Al-Ni)	VIM ve havada indüksiyon	Direkt levha ve çubuk dökümü	Levhalar boşluksuz ince taneli yüzeyden merkeze dendritik kolonsal yapıya sahiptir.
IC-218(Al-Ni)	ESR	ngotlar	Porozite olmayan üniform tane boyutu
IC-72(Al-Ni)	VIM	DS	Aspect oranı ve porozite seviyesi dönüşüm hızına bağlı olan kolonsal taneler
Ti-33,5Al	PSC	ngotlar, tabletler	400-800 ppm arasında oksijen kapan kolonsal yapı
		Turbocharger diskler	A.%0,3 oksijen kapması
VIM-vakum indüksiyon ergitme,ESR-Elektroslag rafinasyon,PSC-plazma skull döküm,DS yönlendirilmiş katılaşma			

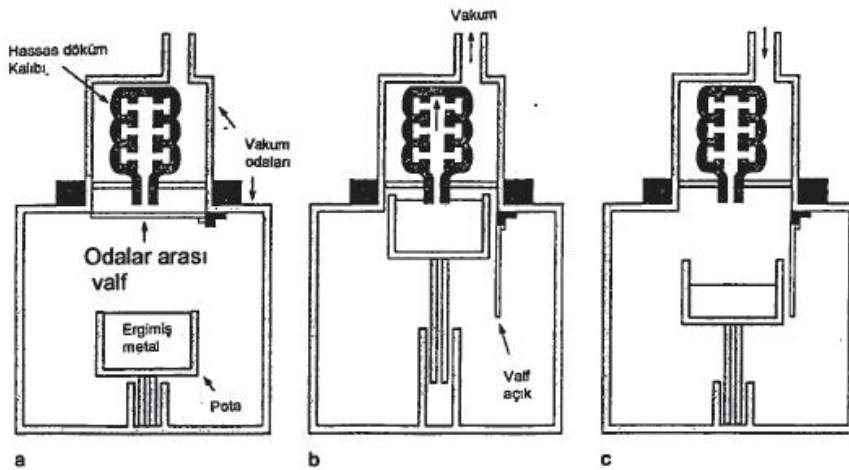
**Çizelge 2.3.**Seçilen alaşımların bileşimleri(Sen and Stefanescu 1989).

Alaşım	Bileşim(%a )											
	Al	Ni	Ti	Cr	Zr	B	Hf	C	N	O	Si	Mn
IC-50	11,3	88,0	-	-	0,1	0,02	-	-	-	-	-	-
IC-218	8,5	82,8	-	7,8	1,7	0,02	-	-	-	-	-	-
IC-72	11,7	84,3	-	-	-	0,5	3,5	-	-	-	-	-
Ti-33,5Al	33,5	-	66,4	-	-	-	-	-	-	0,04	0,01	0,02

### 2.2.1 Vakum İndüksiyon Ergitme Tekniği

Vakum indüksiyon ergitme tekniği özellikle N<sub>2</sub> ve O<sub>2</sub> den arındırılmış bir ergitme

ortamı istenen durumlar için tasarlanmış bir tekniktir. Bu teknikte süper alaşımların ergitilmesinde oldukça başarılı sonuçlar alınmıştır ve bu işlem intermetalik malzemelerin ergitilmesi için uygun hale getirilmiştir. Vakum indüksiyon eritiminin en büyük avantajı istenmeyen uçucu bazı elementlerin yüzeye taşınmasına yardımcı eden sürekli karıştırma işlemi olmasıdır. Bu sayede istenenden daha iyi saflık değerlerine sahip alaşımlar elde edilebilir. Fakat vakum indüksiyon eritme tekniği ile elde edilen alaşımların mikroyapı özellikleri daha sonraki sıcak ve soğuk işlemler için uygun değildir. Standart bir VIM prosesinde metal genellikle saf statik bir ingot dökümdür. Katılaşma mikroyapısı içinde mikro ve makro segregasyonlarla birlikte alaşım içerisinde bulunan düzensiz dağınıklar daha sonra bir eritme işlemi uygulanarak düzeltilir. Diğer taraftan metaller arasında bileşiklerin vakum indüksiyon eritme işlemi başarıyla uygulanmaktadır. Ni-Al intermetaliklerinde havada indüksiyon eritme işleminde Al için %95 Cr, Zr ve B gibi diğer alaşım elementleri için %100 başarıyla uygulanmıştır. Al için eritme işleminde %5'lik bir kayıp söz konusudur. Bu teknik genellikle eritme sırasında süneklik ve kırılma özelliklerini aşırı derecede etkileyecek derecede malzeme içerisinde kalan oksitlerin söz konusu olduğu durumlarda kullanılan bir tekniktir (Karaba 2009).



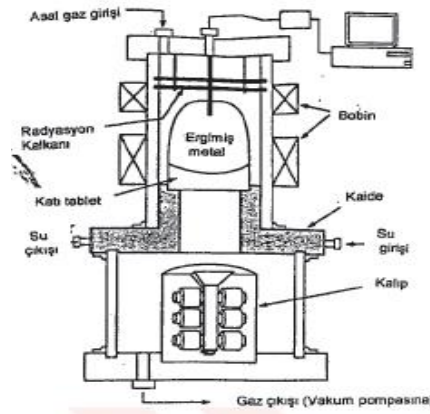
**ekil 2.6** Düşük basınçlı döküm işleminin aşamaları (Sen and Stefanescu 1989).

TiAl türbin diskleri vakum ark eritme tekniğiyle üretilen parçalara örnek olarak gösterilebilir. Bu disklerin üretiminde aynı şekilde VIM ve alçak basınçlı döküm teknikleri kullanılır. Bu işlem 3 temel aşamadan oluşur. İlk önce söz konusu alaşımlar vakum ortamında eritilir ve argon ile doldurulmuş kapalı bir sistemde muhafaza edilir.

Kalıba ba lanmı olan bir snorkel eriyik metal havuzu içine daldırılır ve kalıp içine metal dolması vakum etkisi meydana getirilir. Son olarak kalıp içerisindeki metal katıla tıktan sonra vakum deliklerinde kalan ergimi metalin potaya geri akması için vakum bo altılır. Vakum indüksiyon ergitme tekni inde ergitme için kullanılan potaların özellikleri çok önemlidir. Ni-Al intermetalik ala ımlar için Zr veya Alümina potalar kullanılır. Bu potaların termal ok dirençleri yüksek sıcaklıkta ergitme istenen bazı ala ımların ergitilmesini engeller. Titanyum esaslı intermetaliklerin ergitilmesinde ise Titanyumun yüksek reaktivitesinden dolayı bazı problemlerle karşılaşılır (Karaba 2009).

## 2.2.2 Vakum Ark Tekni i ile Yeniden Ergitme

Vakum ark tekni i ile yeniden ergitme (VAR) i lemi metaller arası bile iklerin ingot metalurjisinde ilgi uyandıran bir i lemdir. Bu i lemde VIM'den alınan ingotlar elektrot olarak kullanılır. lem bir pota ile elektrot arasında ark olu turularak ba latılır. Katılma mikroyapısı üzerinde daha geni kontrol imkanı sa lar. Ayrıca ergitme hızı ve so utma hızı elektrot ile pota arasındaki ark uzunlu u ayarlanarak de i tirilebilir. Bu teknik titanyum esaslı ala ımların ergitilmesi için en uygun tekniklerden biridir. So utmalı bir pota kullanılarak titanyum ile pota arasında meydana gelen reaksiyonlar en aza indirilebilir.



**ekil 2.7** Kapalı olmayan bir indüksiyon ergitme ve döküm i lemininematik gösterimi (Çelikyürek 2000).

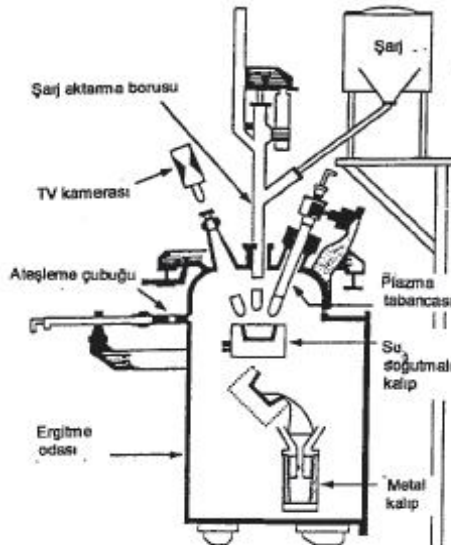
## 2.2.3 Elektroslag Rafinasyon

Elektroslag yöntemi ile rafinasyon (ESR) yıllar önce VIM ingotlarının katılma

mikroyapısını optimum seviyelere ula tırmak için meydana getirilen bir tekniktir. Önceleri bu teknik so uk veya sıcak i lemlerden önce ingotlar üretmek için kullanılmı tır. VAR tekni inden farklı olarak ESR'de tekrar ergitme vakum ortamında bir pota ile elektrot arasında ark olu turma prensibine göre uygulanmaz. Bunun yerine VIM i leminden alınan ingotlar elektrot i levi görür ve su ile so utulan bir kalıp içerisinde çok ısıtılmı bir cüruf ile tekrar ergitilir. Eriyi i kimyasal olarak temizleme ve oksidasyonu giderme gibi önemli i levleri olan cüruf ala ımın tabiata ba lı olarak bazik, asidik veya nötr karakterde olabilir. Ni-Al intermetalik ala ımlar için nötr veya hafif bazik karakterdeki cüruflar en iyi sonuçları verir(Karaba 2009).

Bu tekni in en önemli özelli i a a ıdan yukarı do ru yönlenmi katıla ma mikroyapılar elde edilebilmesidir. ESR ingotlarında mikroyapıdaki homojenlik, segregasyonlar ve çe itli porozitelerin olu maması daha sonraki i lemler için önemli avantajlar sa lar.

#### 2.2.4 Plazma Ark Ergitme Tekni i



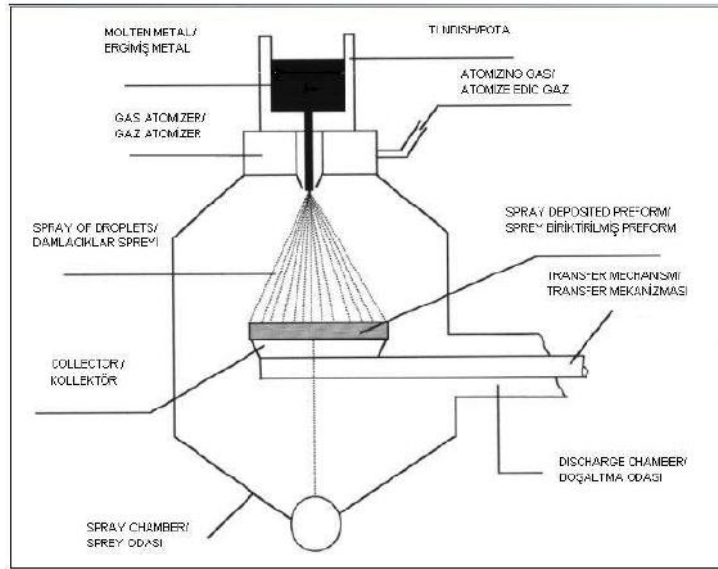
**ekil 2.8** Plazma ergitme tekni ininematik gösterimi(Çelikyürek 2000).

Plazma ark ergitme tekni i temel olarak elektrik akımının geçi iyle uygun bir gazın iyonizasyonu prensibine dayanan bir i lemdir. ki elektrot arasında bir elektrik akımı olu turulmasıyla iyonize olan gaz form de i tirerek plazma olu turur. Bu plazma tarafından üretilen çok yüksek de erdeki ısı enerjisi süper ala ımlar gibi ergitilmesi için yüksek enerji gerektiren malzemeler için ba arılı sonuçlar verir. Plazma ark ergitme

teknini henüz intermetalik alaımların ergitilmesi ve yeniden ergitilmesi için geniş bir kullanım alanına sahip değildir. Fakat Ti-Al alaımlarının plazma arkı ile ergitilmesi su soğutmalı bakır bir pota ve üç adet plazma elektrotu kullanılarak uygulanmaktadır. Bu işlem teknik olarak görülmektedir(Karaba 2009).

## 2.2.5 Sprey Döküm Tekni

Hızlı katılaşma yoluyla direkt olarak eriyikten alaım ve kompozit malzemelerin üretildiği prosese spreysel verim, spreysel döküm veya spreysel biriktirme yöntemi denir. Bu yöntemde eriyik metalin atomizasyonu ile üretilen damlacıkların püskürtülerek bir kolektör (toplayıcı) üzerinde toplanması sağlanır. Kolektör üzerinde katılaşarak üretilen bu depozite daha sonra ekstrüzyon, dövme veya haddelme ile şekillendirilebilir. Spreysel biriktirme yönteminin iki önemli avantajı vardır. Bunlardan birincisi eriyikten direkt olarak tek bir operasyonla net şekillendirilmiş ürün elde etme imkânıdır. Bu yöntem ingot metalurjisi (IM) ve toz metalurjisi (T/M) yöntemlerinde uygulanan birçok işlem basamağını azaltarak önemli ölçüde ekonomik kazanç sağlar (Salamcı 2004).



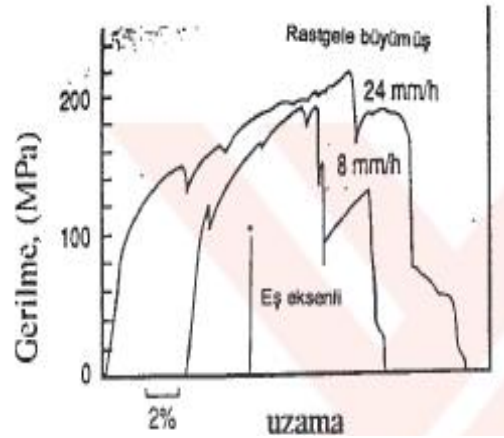
ekil 2.9 Sprey döküm tekni ninematik gösterimi(Salamcı 2004).

Spreysel döküm tekni  $Ni_3Al$  bileşiminin elde edilmesi için kullanılmaktadır. Cr, B ve Zr elementleri ilave edilerek ergitilen  $Ni_3Al$  ilk ingotu azotla atomize edilmiş ve dönen bir altlık üzerinde biriktirilmiş tir. Bu tekni nin en büyük avantajı segregasyon olmayan ince

taneli ve homojen bir yapı elde edilmesine imkan vermesidir. Sprey döküm tekni inin bir di er avantajı ise metal damlacıklarının kısa uçu süresi sayesinde metaller arası bile iklere kırılmalı nı arttıran oksijen ve hidrojen gibi elementlerin dökülen ala ımlarla reaksiyona girmesini engellemesidir.

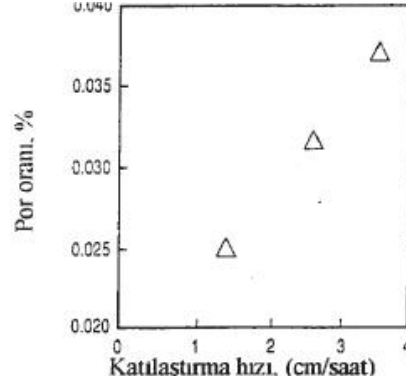
## 2.2.6 Yönlendirilmi Katıla tırma Tekni i

Düzenli yapıya sahip intermetaliklerin ço unda oda sıcaklı ında süneklik de erlerinin dü ük olması tane sınırlarının zayıf olması ile açıklanmı tır. Fakat bu malzemelere belirli oranlarda bor ilave edilerek süneklik özelliklerinde ciddi bir artı la birlikte mukavemet özelliklerinin de arttı ı gözlenmi tir. Yapılan ilk çalı malarda bor ilave edilmeden sütunsal yapıdaki içyapıların süneklik özelliklerinde kayda de er artı lar gözlenmi tir. Çekme özelliklerinde elde edilen artı ekil 2.10'da gösterilmektedir. Benzer geli meler Fe-40Al intermetalik ala ımında da gözlenmi tir.



**ekil 2.10** E aksenli yapının tersine yönlendirilerek katıla tırılan Ni<sub>3</sub>Al da mukavemet (Sen and Stefanescu 1989).

Elde edilen sütunsal yapının kazandırdı ı di er avantaj ise yüksek sıcaklık sürünme özelliklerini önemli derecede iyile tirmesidir. Çünkü ergime noktasından yüksek sıcaklıklarda tane sınırları sürünme direncinde önemli etkiye sahiptir. Yönlendirilmi Ni<sub>3</sub>Al ala ımında yapıdaki porozitelerin hacim fraksiyonu yönlendirilmeden elde edilmi olan e aksenli ala ımdan daha hasas ekilde kontrol edilebilir. Söz konusu olan bu durum ekil 2.11' de katıla ma hızına ba lı olarak gösterilmi tir.



**ekil 2.11** Yönlendirilmeden katıla tırılan  $Ni_3Al$ 'da katıla ma hızı üzerinde gözenek oranının ba ımlılı ı (Sen and Stefanescu 1989).

Her ne kadar yönlendirilerek katıla tırılan intermetalik ala ımlar e eksenli bir yapı ile kar ıla tırıldı ında daha üstün mekanik özelliklere sahip olsa da katıla tırma parametreleri çok dikkatli bir eilde seçilmelidir. Örne in, stoykiometrik  $Ni_3Al$  12 mm/sn 'den daha yava katıla tırılırsa 24 mm/h hızla katıla ır ve tek  $Ni_3Al$  fazına kar ılıklı  $NiAl$  fazı meydana gelir. Ayrıca B ve Hf eklenmi  $Ni_3Al$  ala ımının yönlü katıla masının zor oldu u ve peritektik reaksiyon gözlemlendi i tespit edilmiştir.

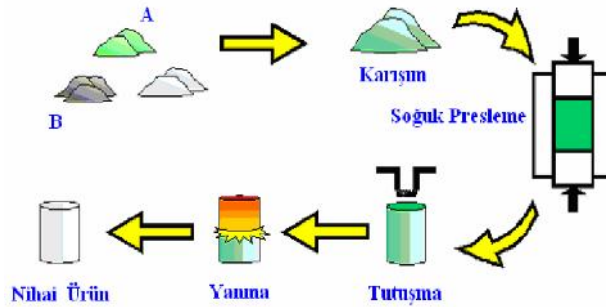
## 2.2.7 Yanma Sentezi

Yanma sentezi (Combustion Synthesis) veya kendi kendine ilerleyen yüksek sıcaklık sentezi (Self Propagation High Temperature Synthesis), teknolojik olarak istenen tüm özellikleri birle tiren tek yöntem olması nedeniyle son 20 yıldır oldukça ilgi çekmektedir. Bu yöntem, aslında kolay üretilemeyen veya geleneksel olarak üretimlerinde uzun süreli yüksek sıcaklık i lemleri gerektiren bazı inorganik malzemelerin hızlı sentezlenmesine imkân tanımaktadır. Bu yeni sentezleme yakla ımı, sentezleme reaksiyonuyla büyük ısı çıkışı sayesinde çok yüksek hızda, kendi kendine ilerleyerek süren i lemlerden meydana gelmektedir (Ergin 2007 ).

ekil 2.12' de görüldü ü gibi Saf tozlardan olu an reaktanlar, genellikle sırasıyla kuru ortamda uygun stoykiometride kar ıtılıp, so uk presleme ile silindirik tabletler halinde ekillendirilmektedir. Bu tabletler daha sonra kontrollü atmosfer ortamına yerle tirilerek elektriksel ısıtıcı bobini, lazer ısıtıcı veya elektrik akımı bo altımı ile tutulmaktadır. Yanma sisteminin termokimyasal ve termofiziksel özellikleri uygun ise ön yüksek

sıcaklık reaksiyonu ( $1500 < T < 3500$  °C) baslar. Bu reaksiyon sistemi, tek fazlı reaktanlar içermektedir ve bu yaklaşımda nitrürler, hidrürler ve oksitlerin sentezlenmesine izin vermektedir. Bu yöntem, sıklıkla boyutsal hassasiyet sayesinde seramik, kompozit, intermetalik ve fonksiyonel kademeli malzemelerin gözetimine imkân tanımaktadır (Ergin 2007).

Yüksek reaksiyon hızı ve düşük enerji ihtiyacının yanında, bu teknik, deneysel cihazların basitliği, özellikle reaksiyon kabına ihtiyacın olmaması gibi geleneksel metotlardan farklı avantajlara sahiptir. Kanıtlanmış diğer bir avantajı ise, elde edilen çok yüksek sıcaklıklar sayesinde kararsız empüritelerin uzaklaştırılmasıyla yüksek saflıkta ürün elde edilebileceğidir. Reaksiyon ürünleri genellikle gözeneklidir ama yoğunlaştırma, reaksiyon bittikten hemen sonra veya aynı anda olan mekanik yüklemelerle kolaylıkla elde edilebilmektedir. Kararlı reaksiyonların oluşumu ve ilerlemesindeki tüm faktörler detaylı olarak analiz edildiğinde bu tekniğin herhangi bir malzeme türüne uygulanabilmesi için malzeme bünyesinde ekzotermik reaksiyonların olması gerekmektedir (Ergin 2007).



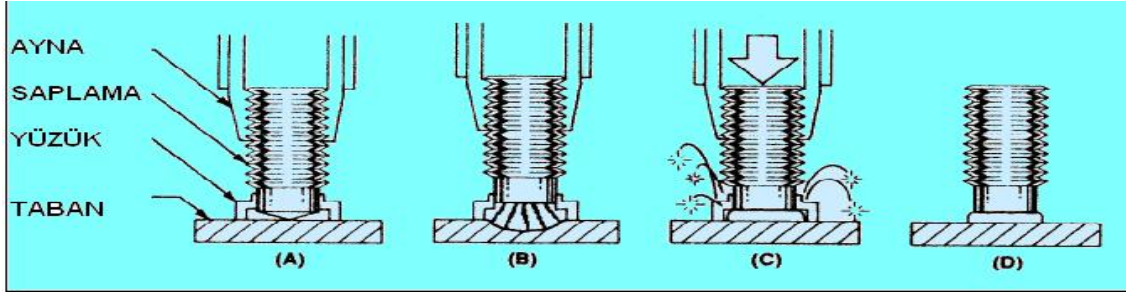
**ekil 2.12** Sadece katı reaktanlar içeren klasik yanma sentezi yöntemininematik gösterimi.

### 2.2.8 HERS Yöntemi

Sıcak ekstrüzyon ile sentezleme (HERS) yönteminde ekstrüzyon sıcaklığı yaklaşık olarak TiAl'nin ergime sıcaklığının 1/3'ü kadardır. Bu yöntem kullanılarak üretilen TiAl intermetalik malzemelerin tane boyutunun 10–25 mikron arasında olduğu gözlemlenmiştir. Sıcak ekstrüzyon süresince başlatılan reaksiyon NiAl ve TiAl sistemlerinde birçok ortak ara ürün tarafından bildirilmiştir. Bu yöntem tamamen çok iyi olmamasına rağmen gözeneklilik ihmal edilirse hızlı bir intermetalik oluşturma yöntemidir (Işık 2007).

### 2.3 SAPLAMA KAYNAK TEKN

Elektrik Ark ile saplama kayna ı, herhangi bir di er ark kaynak i leminde bulunan, elektrik, mekanik ve metalürjik ilkelerle aynıdır (Chambers 1988). ekil 2.13’de saplama kayna ı yaparken uyulması gereken operasyon sırası görölmektedir. Saplama kayna ının mekanik testleri kaynaklı birle menin kaynak kalitesi çekme test ve e me yöntemleri uygulanabilmektedir.



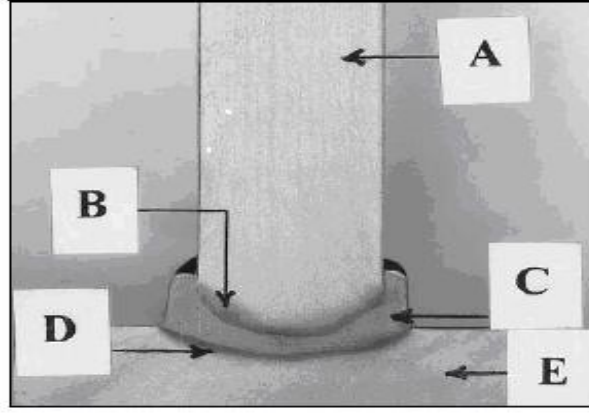
ekil 2.13 Saplama kayna ı i lem sırası (Chambers 1988 ).

A. Tabancanın ucuna saplama ve gerekli durumlarda seramik halka yerle tirilir ve saplama ucu taban plakaya dik konumlandırılır.

B. Teti ine basılarak akım saplama elektrotun unundan kontrolü bir biçimde yatay plaka ile i parçası üzerinde ergimeye neden olur. Bu esnada tabanca ucunda selenoid olu turan akım, silahın geri itilmesini sa lar. Bunu engellemek için hafif bir itme kuvveti uygulanır. Bu i lemler de ark olu umu gerilim ayarına ba lı olarak tam kontrolü olarak gerçekte ir.

C. Ark süresi, frekansın de i me hızı ve kaynak akım döngüsünün sonunda kapanır. Akım tamamladı ında saplama bir yay vasıtasıyla erimi havuza do ru batması sa lanır.

D. Kaynak i lemi tamamlandıktan sonra tabancadan saplama ayrılır ve seramik halka kırılarak kaldırılır. Yapılan birle tirme saplama kaynak kalitesi standartlarına uyularak incelenir.



**ekil 2.14** Tipik bir saplama kayna ı kesiti: A: Saplamanın ısı tesiri altında olmayan bölgesi, B: Saplamanın ısı tesiri altında olan kısmı, C: Kaynak metali, D: Taban plakanın ısı tesiri altında kalan bölgesi, E: Esas metalin ITAB d ı ında kalan bölgesi(Chambers 1988).

### 2.3.1 Saplama Kayna ı Çe itleri

#### 2.3.1.1 Kondansatör Bo altmalı Saplama Kayna ı

Kondansatör bo altmalı cihazlar, bir kondansatörde depolanmış enerjinin çok kısa süre içerisinde boşaltılması sırasında akım değişiminin teorik olarak sonsuz değerde olacağına dayanır. Bu işlem için ucu özel olarak biçimlendirilmiş saplamalar kullanılır. Saplamanın ucu kondansatörün boşalma akımını taşıyamayacak kesitte silindirik bir çıkıntıdan oluşur. Ucu, kaynaklanacağı levhaya dokununca, ya da yay kuvveti ile basılı tutulurken tetiğe basıldığında, kondansatördeki enerjiyi boşaltan bir akım geçer; bu akım, ucun tümü ile buharlaştıran iyonlaşmaya neden olur. Birbirine hızla yaklaşmakta olan iki yüzey arasında oluşan bu iyonize ortam sonuçta iki yüzeyin eriyip kaynaklanmasını sağlayan arkı başlatır. Bu yöntem de ark ve dolayısıyla kaynak süresi çok kısadır. (birkaç mili saniye); bu nedenle çok ince sacların bile ark yüzlerinde deformasyon ve kararma olmaksızın kaynak işlemi tamamlanır.

#### 2.3.1.2 Çekmeli Ark Cihazları ile Saplama Kayna ı

Çekmeli ark yönteminde, saplama kaynak yapılacak yüzeye temas halindeyken yaklaşık 10 Amper'lik bir başlatma akımı uygulanır; saplama yukarı doğru çekilir. Akım bir ark oluşturarak devam eder, bu noktada tam güç uygulanarak saplama ve karşı yüzeyin erimesi sağlanır, saplama erimi metal havuzuna daldırılır. Bu yöntemde kaynak akımı, kondansatör boşaltma yöntemine göre daha düşüktür. Kaynak süresi ile çok daha

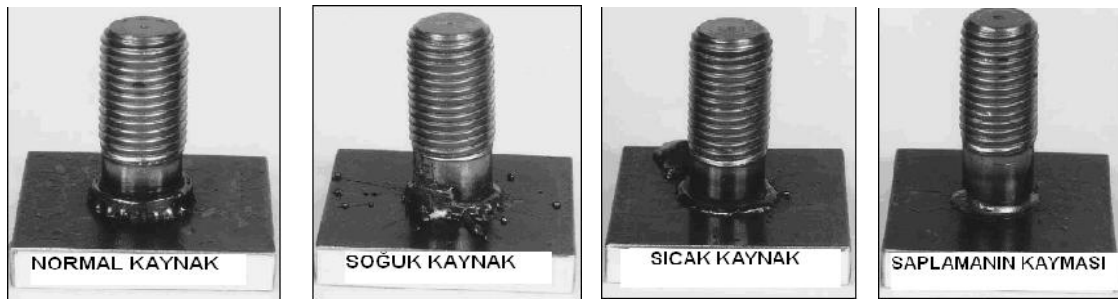
uzundur (0,01- 0,70 sn). Bu nedenle, erimi metalin oksitlenmesini engellemek için önlem alınması gerekmektedir.

Kaynak süresini 0,01–0,10 s'lik aralıkta tutmak için özel olarak geliştirilmiş kontrollü bir güç kaynağı (örn; AS 2008 K ) ve çok düşük atalet momentine sahip bir kaynak tabancası (örn; AS 2902 ) gereklidir; bu zaman aralığında yapılan kaynaklar “ kısa çevrim kaynağı ” (short-cycle) olarak adlandırılır. Kısa çevrim kaynağında, süre yeterince kısa olduğu için seramik halka ya da koruyucu gaz kullanımına gerek yoktur.

Çekmeli Ark Saplama Kaynağı, i lenecek parçanın üzerine genellikle silindirik ekinde olmak üzere metal parçaların kaynaklanması için kullanılır. Bu amaçla bir DC güç kaynağı, bir saplama kaynak makinesi ve tabancası gereklidir. Kullanılan kaynak havuzu koruması, kaynak zaman aralığına bağlı olarak uygun şekilde bir "seramik halka ile saplama kaynağı" veya "koruyucu gazla saplama kaynağı" veya koruyucu gazla veya koruyucu gazsız "kısa çevrim saplama kaynağı" olabilir.

### 2.3.2 Saplama Kaynağında Süreç Yeterliliği

Görsel denetim kaynak bölgesi fla çevre bütünlüğüne ve kaynak bölgesi dolgu yüksekliği çapına bakılarak uygunluğu doğrulanır. Saplama kaynağıyla yapılan birleştirimlerde oluşan hatalar, normal kaynak görünüşleri ekil 2.15 'de karşılaştırmaya referans alınabilir. Birleştirim için onaylanmış taban plakası malzemeleri düz pozisyonda kaynaklandığında test edilmelidir. Bu testler hem görsel hem de fiziksel muayeneden oluşur (Chambers 1988).



**ekil 2.15** Saplama kaynağı görsel denetimlerden geçirilirken örnek alınacak birleştirim görüntüleri (Chambers 1988).

### **2.3.3 Saplama kayna ında kaynak banyosunu koruma yöntemleri**

Büyük kaynak banyolarında (örneğin 10-25 mm çapındaki saplamalarda) arkın yoğunlaşması ve iken kısmın biçimlendirilmesi için bir seramik halka gereklidir. Daha küçük kaynak banyolarında (örneğin 3-8 mm çapında) ve kısa kaynak sürelerinde seramik halkaya ihtiyaç yoktur. Kaynak kalitesinin iyileştirilmesinin ve gözenek oluşumu tehlikesini azaltmak için koruyucu gazlardan yararlanılabilir. Kaynak banyosunu korunması bakımında saplama kayna ı üçe ayrılır.

- 1) Seramik halkalı saplama kayna ı
- 2) Koruyucu gaz altında saplama kayna ı
- 3) Korumasız saplama kayna ı

#### **2.3.3.1 Seramik Halkalı Saplama Kayna ı**

Seramik halka, kaynak yeri etrafında bir yanma odası oluşturur ve kaynakçıyı arkın ve sıçramalardan korur. Halka arkı belirli bir bölgede yoğunlaştırır. Isının uzaklaşmasını önler ve soğuma hızını düşürür. Saplamanın kaynak banyosuna daldırılması sırasında yanlara itilen eriyik, saplama etrafında, biçimini seramik halkanın belirlediği bir yarıma oluşturur. Bu sayede zor pozisyonlarda dahi kaynak yapmak mümkün olur. Seramik halka genellikle bir kez kullanılır ve eriyiğin katılmasından sonra uzaklaştırılır.

#### **2.3.3.2 Koruyucu Gaz Altında Saplama Kayna ı**

Bu yöntemde kaynak bölgesindeki havadan verilen bir koruyucu gaz yardımı ile uzaklaştırılır. Bu sayede gözenek oluşumu büyük oranda azaltılır. Çeliklerde % 82 Ar + %18 CO<sub>2</sub> gaz karışımı (DIN 32536-H 21) kullanılır. Alüminyum da saf argon (Ar 99,99 DIN 32536-1) kullanılır.

Koruyucu gaz kullanılması arkı, saplamanın ve malzemenin erime davranışlarını ve yüzey gerilimlerini ve dolayısıyla yarımanın ve dikiğin biçimini etkiler. Esas olarak yatay (w) kaynak pozisyonu tercih edilmelidir. Kaynak yarımasının daha iyi biçimlenmesi ve arkın daha küçük bir bölgede yoğunlaşması istenirse, ilave olarak bir seramik halka kullanılır. Koruyucu gaz altında kaynak için ek bir tertibat ve gaz

kumandaları gereklidir. Koruyucu gaz kaynağı kısmen seri üretimlerde ve otomatik imalathanelerde kullanılır ve buralarda imalatın basitletirilmesini ve masrafların azalmasını sağlayabilir.

### **2.3.3.3 Korumasız Saplama Kaynağı**

Korumasız saplama kaynağı ancak küçük çaplar (<10 mm) ve kısa kaynak süreleri (100 ms) için uygulanabilir. Dezavantajları, kaynak bölgesinin oksitlenmesi, kuvvetli gözenek oluşumu ve düzgün olmayan yapıdır. Küçük saplama çaplarını (<6 mm) ve ince saclarda kısa kaynak süreleri (10 ms) kullanılarak iyi sonuçlar alınabilir.

### **2.3.4 Saplama kaynağının avantajları**

Saplama kaynak tekniğinin kullanımı şu gibi avantajları beraberinde getirir;

- 1) Kondansatörlerin hemen dolması sonucu, ikinci bir kaynak işlemi için bekleme süresi yoktur. Bu da seri üretime imkan sağlar.
- 2) Kaynak işlemi esnasında enerji yayılmadığından ve kaynak işlemi çok kısa sürede tamamlandığından kaynak bölgesi çevresinde aşırı ısınma olamamakta böylelikle malzemelerin özelliğinde bozulma meydana gelmemektedir.
- 3) Zaman, enerji ve mali gücü tasarrufu sağlar.
- 4) Son derece sağlam ve temiz kaynak yapma imkânı verir.
- 5) Sadece tabanca ucundaki pim tutucunun değiştirilmesi suretiyle M1-M22 çapları arasındaki pim saplama ve vidaları istenilen tür ve kalınlıktaki metal yüzeylerine kaynak yapma imkânı verir.
- 6) Kalın bir saplamanın çok ince bir metal plakaya, çok temiz bir netice ile kaynak yapılması mümkündür.
- 7) Bu sistem ile lehimlenmeden, delik ve diğaçmadan, perçin yapmadan, klasik kaynaklara ihtiyaç duymada, saniyeden çok kısa bir sürede pim, vida, saplama, izolasyon çivisi vb. kaynaklama imkanına sahiptir.
- 8) Kaynak yapılan parçalara sadece bir taraftan erime kolaylığı sağlar.
- 9) İş için eğitimli personelin çalışması kolaydır ve kısa sürede öğrenilebilirlik sağlar.

### 3. MATERYAL ve METOT

#### 3.1 Fe-Al intermetalik ala ımların üretimi

Fe-Al intermetalik sistemine ait faz diyagramı göz önüne alınarak belirlenen ala ım bile imleri için kütlece %26, 30, 33, 50 Al içeren Fe-Al ala ımları %99,9 saflıkta pelet (Alfa Aesar) ekindeki Fe ve Al elementlerinin ark ergitme yöntemi ile bakır pota kullanılarak, argon atmosferinde toplam kütleleri 40 gr olacak ekinde ve 8mm çapında ve 150 mm uzunlu unda silindir çubuklar üretilmiştir. ekin 3.1 de üretilen intermetaliklere örnek olarak Fe50Al ala ımı görülmektedir.



ekin 3.1 Ark ergitme ile üretilen Fe50Al ala ımı.

#### 3.2 Fe-Al saplama kaynak numunelerinin hazırlanması

Üretilen intermetaliklere döküm sonrası içyapı gerilimlerinin giderilmesi ve kırılmalı ın azaltılması amacıyla tüp fırın ve argon atmosferinde 850 °C sıcaklı ında 60 dak. Normalizasyon i lemi uygulanmıştır. Böylelikle malzemenin içyapı gerginli i giderildi ve kırılmalı ı azaltılmış oldu.

Numunelerin kesilme esnasında sıcaklıktan etkilenip mikro yapılarındaki homojenli in bozulmaması ve daha düzgün kesme yüzeyi elde etmek için numuneler tel erozyon tezgâhında 3 mm. e it ölçülerde kesilip saplama kayna ı yapılmak üzere hazırlandı. Elde edilen demir esaslı intermetalikler ve kayna ı yapılacak saptamaların bir örne i ekin 3.2 'de görülmektedir.



**ekil 3.2** Saplama kayna ı için hazırlanmı numune.

Demir esaslı intermetaliklerin saplama kayna ı yapılmadan önce zımparayla yüzey temizli i yapıldı. Her bir intermetalik farklı voltaj de erlerinde kaynak yapılabilmesi için hazırlandı.

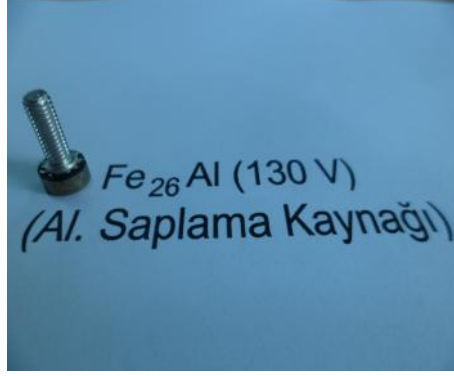
### **3.3 X ı mları difraksiyonu ile faz analizi ve Mikrosertlik ölçümleri**

Üretilen Fe-Al ala ımlarının ihtiva ettikleri fazları belirlemek amacıyla AKÜ, Teknolojik Uygulama ve Ara tırma Merkezi Bünyesinde Cu hedef kullanılarak parlatılmı ve da lanmı numunelere XRD analizleri yapılmı tır. Bu analizler sırasında çe itli ara tırmacıardan elde edilen XRD grafikleri bu çalı mada elde edilen XRD grafikleri ile e le tirilerek fazların türü tespit edilmi tır.

Isıl i lem görmü ve kesilmi numunelerden Shimadzu Hv 2000 mikrosertlik ölçüm cihazı ile Fe<sub>26</sub>Al, Fe<sub>30</sub>Al, Fe<sub>33</sub>Al, Fe<sub>50</sub>Al ala ımlarından 10sn uygulama süresi ve 500gr yük parametreleri ile sertlik ölçümler yapılmı tır.

### **3.4 Saplama Kaynaklarının yapılması**

Hazırlanan numunelerin saplama kayna ı için paslanmaz çelik, alüminyum ve bakır kaplı çelik saplamalar seçilmi tır. Birle tirme i lemi için saplama kaynak parametresi olarak 100, 130, 150, 170, 200 volt kaynak gerilimleri seçilmi ve Fe-Al ala ımları ile saplamaların kayna ı yapılmı tır. Ba arılı bir ekilde gerçekleştirilen saplama kayna ı ekil 3.3'de görülmektedir.



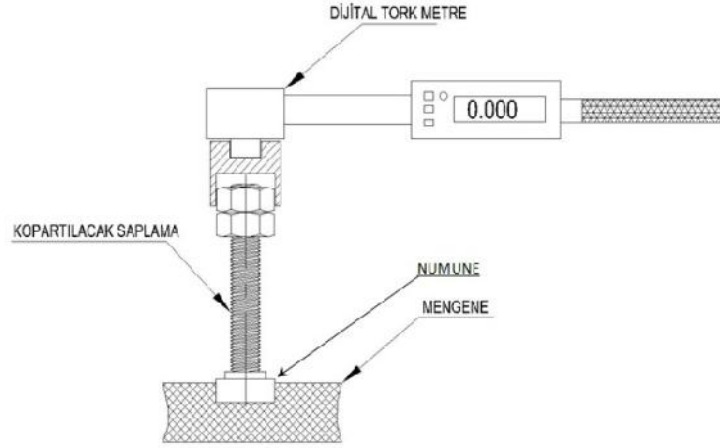
**ekil 3.3** Al saplama ile kaynaklanmış numune.

### **3.5 Saplama kaynaklarının mikro yapısal incelemesi**

Parlatma ve da lama i leminden sonra numuneler A.K.Ü, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisli i bölümü bünyesinde bulunan, Olympus marka BX60 Model otomatik foto raf sistemli metal optik mikroskobu ile 50X'de incelenerek kaynaklı bölgelerden mikroyapı foto rafları çekilmiştir. Taramalı elektron mikroskobu görüntülerini elde etmede ise A.K.Ü, Teknolojik Uygulama ve Ara tırma Merkezi bünyesinde bulunan LEO 1430 VP model taramalı elektron mikroskobu kullanılmıştır. Birle tirilmiş numuneler bakalite alınmış ve sırasıyla 100-240-600-1200 numara zımparalar ile a ndırılmış ve 3 mikronluk elmas pasta kullanılarak yüzeyler parlatılmıştır. Hazırlanan numuneler da lanması amacıyla paslanmaz çelik saplama ile yapılan birle tirmeler için vilella: 1gr pikrik asit, 5ml HCl ,100ml Etenol çözeltisi kullanılmıştır. Alüminyum ve bakır kaplı çelik saplamlar için ise glycerogia:30ml gliserol 30ml HCl, 10ml HNO<sub>3</sub> çözeltisi hazırlanmış ve numuneler da lanmıştır. Taramalı elektron mikroskobu ile incelenen numunelerin yüzeyi ise altın kaplanmışdır.

### 3.6 Saplama Kaynak Dayanımlarının Ölçümü

Kaynaklı birle tirmelerin mukavemet de erinin ölçülmesinde 4N kapasiteye sahip ekil 5.4'de gösterilen dijital torkmetre kullanılarak ölçülmü tür. Ölçümler yapılırken torkmetre hızı el ile ayarlanmı tır.



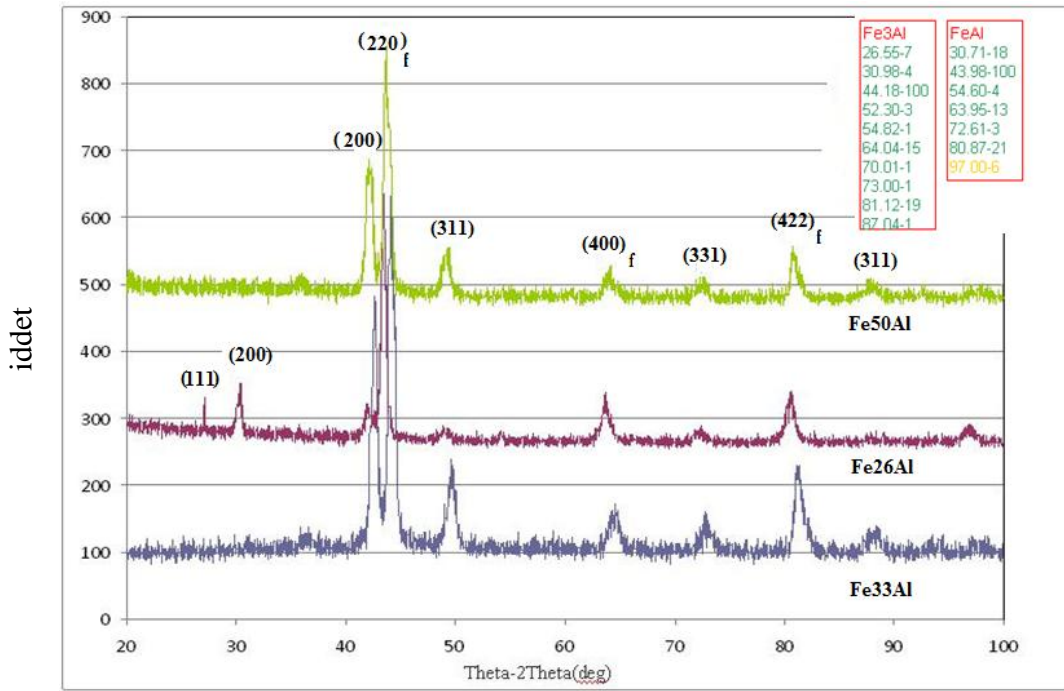
**ekil 5.4:**Saplama kaynakların mukavemet ölçümlerinde kullanılan dijital torkmetre.

## 4. BULGULAR

### 4.1 Fe-Al intermetaliklerin Üretimi ve Karakterizasyonu

#### 4.1.1 X ışınları difraksiyonu ile faz analizi ve mikrosertlik ölçümleri

Ark ergitme yöntemi ile üretilen farklı bileşimdeki Fe-Al intermetaliklerin içerdiği fazları belirlemek için XRD analizi yapılmıştır. Elde edilen XRD kırınımları aşağıda görülmektedir.



ekil 4.1 Üretilen alaşımları XRD analiz sonuçları.

XRD pikleri aşağıda ekil 4.1’de verilen tipik XRD deseninde gösterilmiştir. Burada f ana pikleri temsil etmektedir ve diğer pikler ise alaşımda görülen süperlatis pikleridir. Kırınım deseninde verilen kutucuklarda sadece DO<sub>3</sub> (Fe<sub>3</sub>Al) ve B2 (FeAl) alaşımlarında görülen pik pozisyonları verilmiştir. Pik düzlemleri bilinmeyen durumlarda hesaplanabilirken genellikle XRD kırınım veri tabanından piklere karşılık gelen değerler bulunabilir.

Yapılan mikrosertlik ölçümlerinde Fe<sub>26</sub>Al alaşımı için 307 Hv, Fe<sub>30</sub>Al alaşımı için 283 Hv, Fe<sub>33</sub>Al alaşımı için 268 Hv, Fe<sub>50</sub>Al alaşımı için ise 369 Hv değerleri bulunmuştur. Ölçümlerden anlaşıldığı üzere en yüksek sertlik değerleri Al ilavesi en fazla olan Fe<sub>50</sub>Al alaşımında ölçülmüştür. Fe-Al sisteminde oluşan intermetalik miktarının artması sertlik

de erini arttıracaktır ve Al ilavesinin artması intermetalik faz miktarının artmasına sebep olmaktadır.

**Çizelge 4.1.** Üretilmiş intermetaliklerin Sertlikleri.

Numune Adı	Fe26Al	Fe30Al	Fe33Al	Fe50Al
Mikrosertlik (Hv)	307	283	268	369

## 4.2 Saplama Kaynaklarının Yapılması ve Karakterizasyonu

### 4.2.1 Saplama kaynaklarının yapılması

Ark ergitme ile üretilen döküm alaşımlardan tel erozyon ile çıkarılan Fe-Al numuneler ile bakır, paslanmaz çelik ve alüminyum saplamalar 5 farklı kaynak gerilimi kullanılarak birleştirilmiştir. Birleştirilen numunelerin kaynak kabiliyeti aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

**Çizelge 4.2.** Alaşımların saplama kaynak kabiliyetleri.

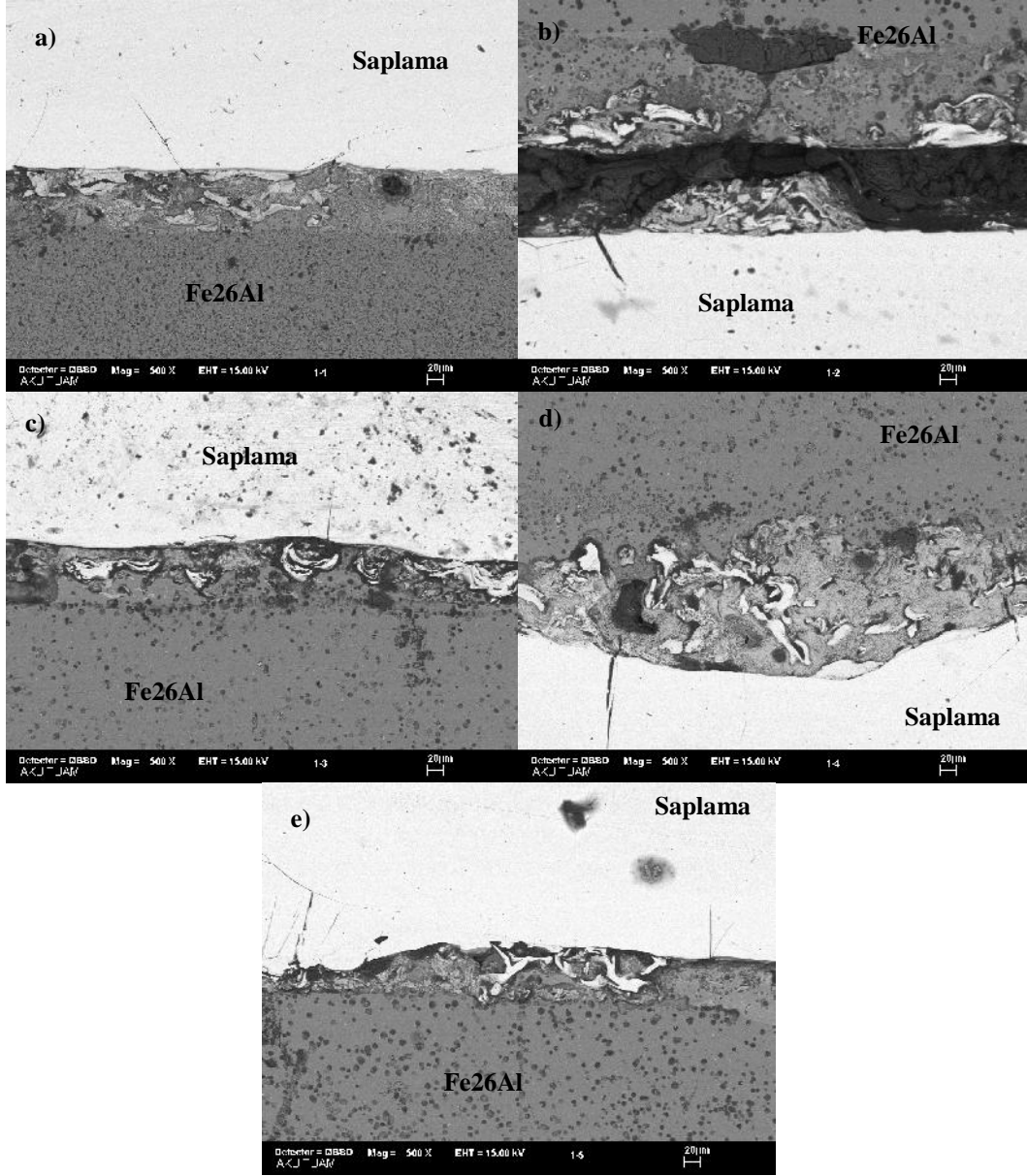
	YAPILDI		100 V	130 V	150 V	170 V	200 V
	√	X					
Fe <sub>26</sub> Al	ALÜMİNYUM SAPLAMA	√	√	√	√	√	√
	BAKIR KAPLI SAPLAMA	√	√	√	√	√	√
	PASLANMAZ SAPLAMA	√	√	√	√	√	√
Fe <sub>30</sub> Al	ALÜMİNYUM SAPLAMA	√	√	X	X	√	√
	BAKIR KAPLI SAPLAMA	√	√	√	√	√	√
	PASLANMAZ SAPLAMA	√	√	√	√	√	√
Fe <sub>33</sub> Al	ALÜMİNYUM SAPLAMA	X	√	√	√	√	√
	BAKIR KAPLI SAPLAMA	√	√	√	√	√	√
	PASLANMAZ SAPLAMA	√	√	√	√	√	√
Fe <sub>50</sub> Al	ALÜMİNYUM SAPLAMA	√	X	√	X	√	√
	BAKIR KAPLI SAPLAMA	X	X	X	√	√	√
	PASLANMAZ SAPLAMA	X	X	√	√	√	√

Fe26Al ala ımı için tüm kaynak gerilimlerinde yapılan kaynaklar üç tip saplama içinde nüfuziyet sa lanımı ve ba arılı ekilde yapılmı tır. Fakat Fe30Al ala ımında alüminyum saplama için 150 V ve 170 V gerilimlerde yapılan kaynaklarda nüfuziyet sa lanamamı ve ba arısız olmu tur. Fe33Al ala ımı için 100 V gerilimde alüminyum saplama kayna ı dı ında yapılan tüm kaynaklarda nüfuziyet sa lanarak ba arılı olmu tur. Fe50Al ala ımı için ise alüminyum soplamada 130V ve 170 V gerilimlerinde, bakır saplama için 100V, 130V, 150V gerilimlerinde, paslanmaz çelik soplamalar için ise 100V ve 130V geriliminde yapılan kaynaklarda da nüfuziyet sa lanamamı tır.

## **4.2.2 Saplama kaynaklarının mikroyapı analizi**

### **4.2.2.1 Fe26Al**

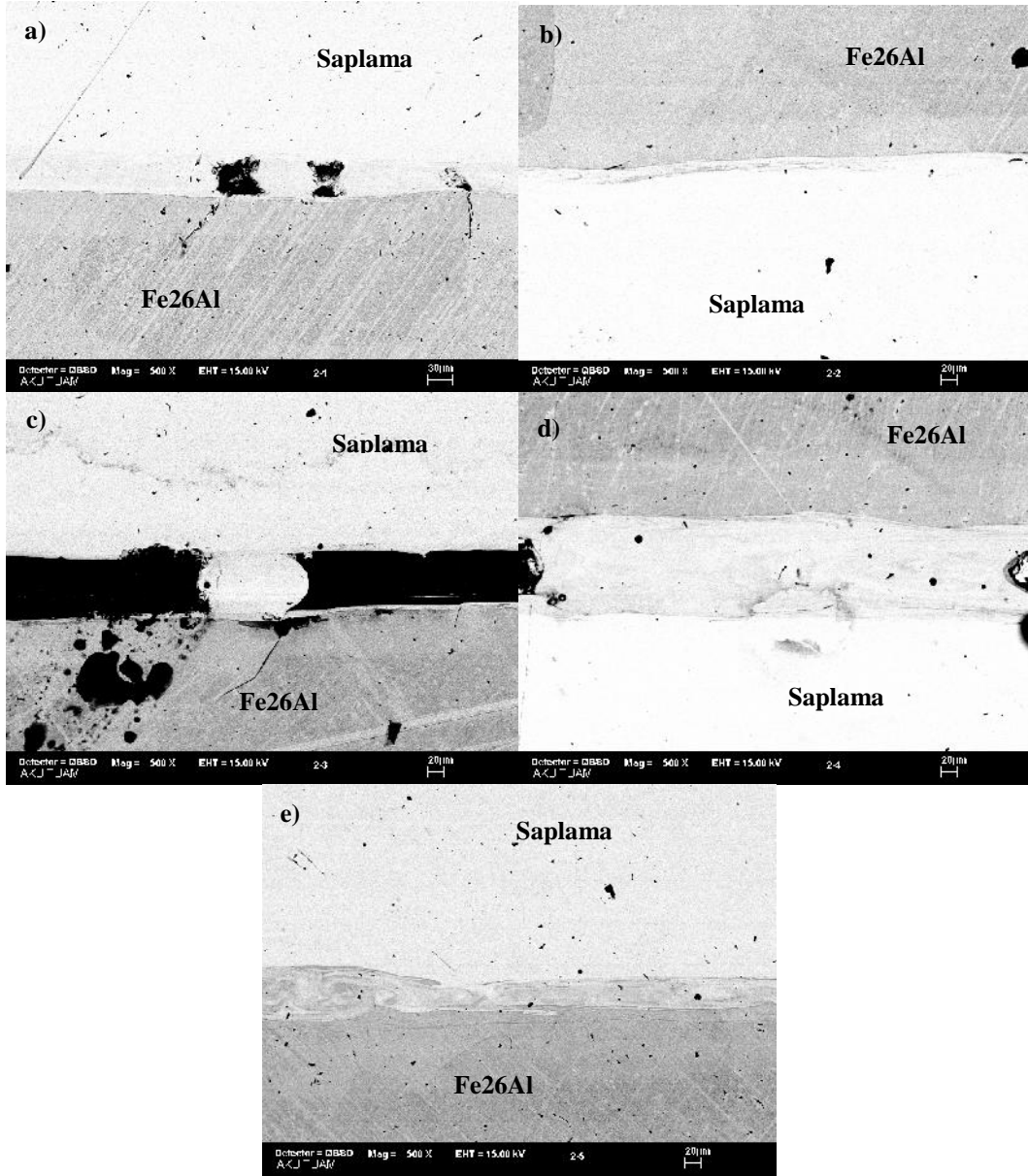
Ba arılı ekilde yapılan saplama kaynaklarının kaynak bölgelerinin incelenmesi için hazırlanan numuneler optik mikroskopta ve taramalı elektron mikroskobunda incelenmi tir. Fe26Al ala ımının farklı soplamalar ve farklı kaynak gerilimleri için ba arılı ekilde gerçekte tirilen saplama kaynak bölgelerinin taramalı elektron mikroskobu resimleri a a ıda görölmektedir.



**ekil 4.2** Fe26Al ala ımı için bakır kaplı çelik saplama ile yapılan kaynaklara ait taramalı elektron mikroskobu görüntüleri, a)100V,b)130V, c) 150V, d)170V, e)200V kaynak gerilimlerinde.

Bakır saplama kullanılarak çe itli kaynak gerilimlerinde yapılan kaynakların kaynak bölgelerine ait taramalı elektron mikroskobu görüntüleri incelendi inde tüm gerilimlerde yapılan kaynakların hepsinin bo luksuz bir yapıda oldu u görülmektedir. Fakat ısı tesiri altında kalan bölgelere bakıldı ında kaynak geriliminin artması ile geçi bölgesindeki çatlak miktarının arttı ı görülmektedir. 150V,170V ve 200V kaynak gerilimlerinde yapılan kaynaklara ait taramalı elektron mikroskobu görüntülerinde ise

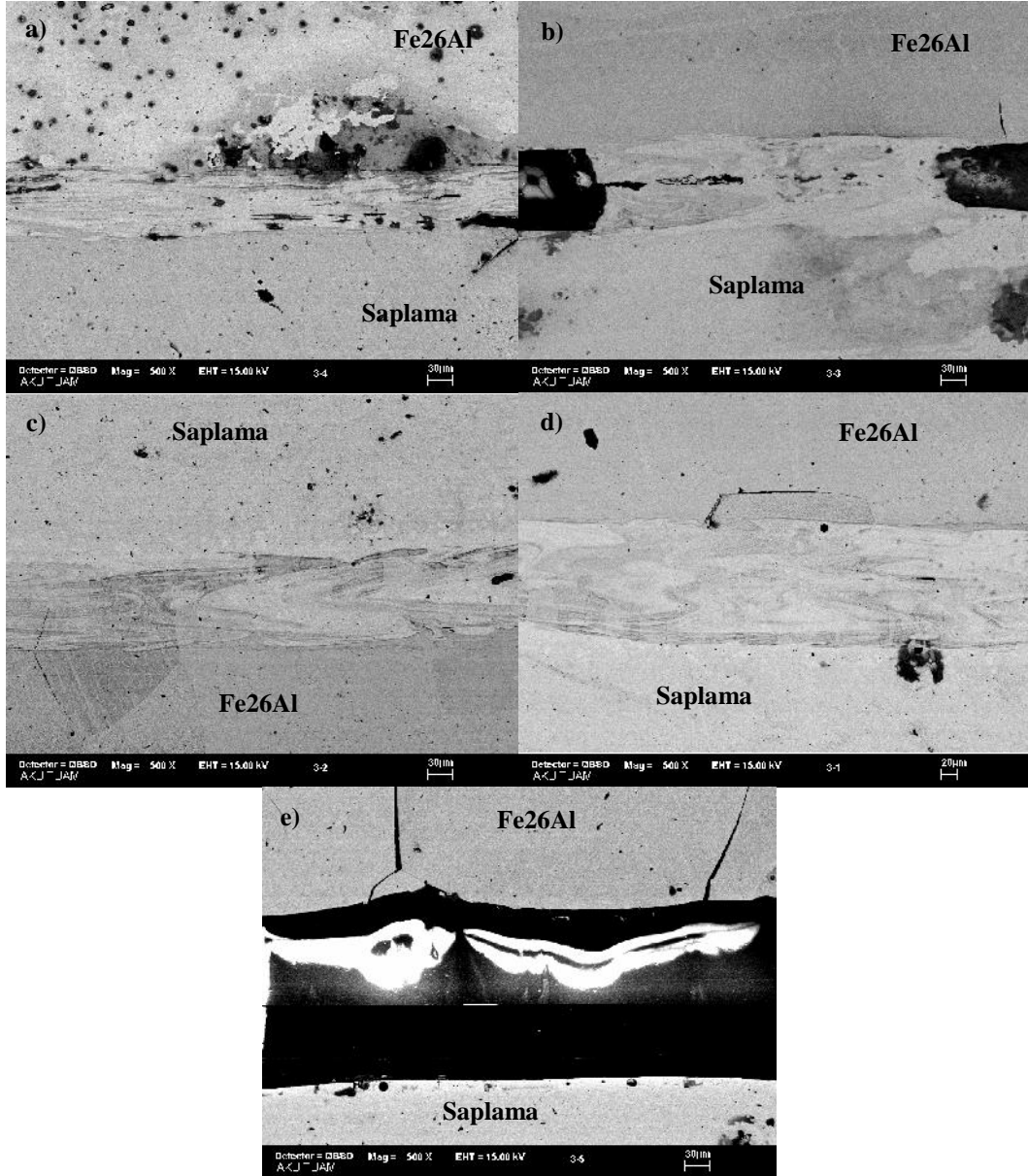
intermetalik kısımda parçalar koşt u ve ısı tesiri ile saplama kısmına do ru düzensiz bir ekilde penetre oldu u görülmektedir. Ayrıca ara yüzeylerde azda olsa bo luk ve porozitelerin varlı ı gözlemlenmektedir.



**ekil 4.3** Fe26Al ala mı için paslanmaz çelik saplama ile yapılan kaynaklara ait taramalı elektron mikroskobu görüntüleri, a)100V,b)130V, c) 150V, d)170V, e)200V kaynak gerilimlerinde.

Fe26Al ala mı için paslanmaz çelik saplama ile yapılan kaynaklar ekil 4,3'te görülmektedir. Elde edilen taramalı elektron mikroskobu resimleri incelendi inde

paslanmaz saplama ile yapılan kaynakların daha düzenli bir ara yüzeylere ve ısı tesiri altında kalan bölgelere sahip oldu u görülmektedir. Fe26Al ala ımı ve saplama arasında kalan difüzyon bölgeleri belirgin bir ekilde görülmektedir. 170 V kaynak gerilimine ait resimde kesiti en kalın nüfuziyet bölgesi görülmektedir. Kaynak geçi bölgelerinde bakır kaplı saplamalarda görülen çatlakların varlı ı görülmemektedir ve ayrıca nüfuziyet bölgesi çok daha düzenli ekilde da ılmı tır.



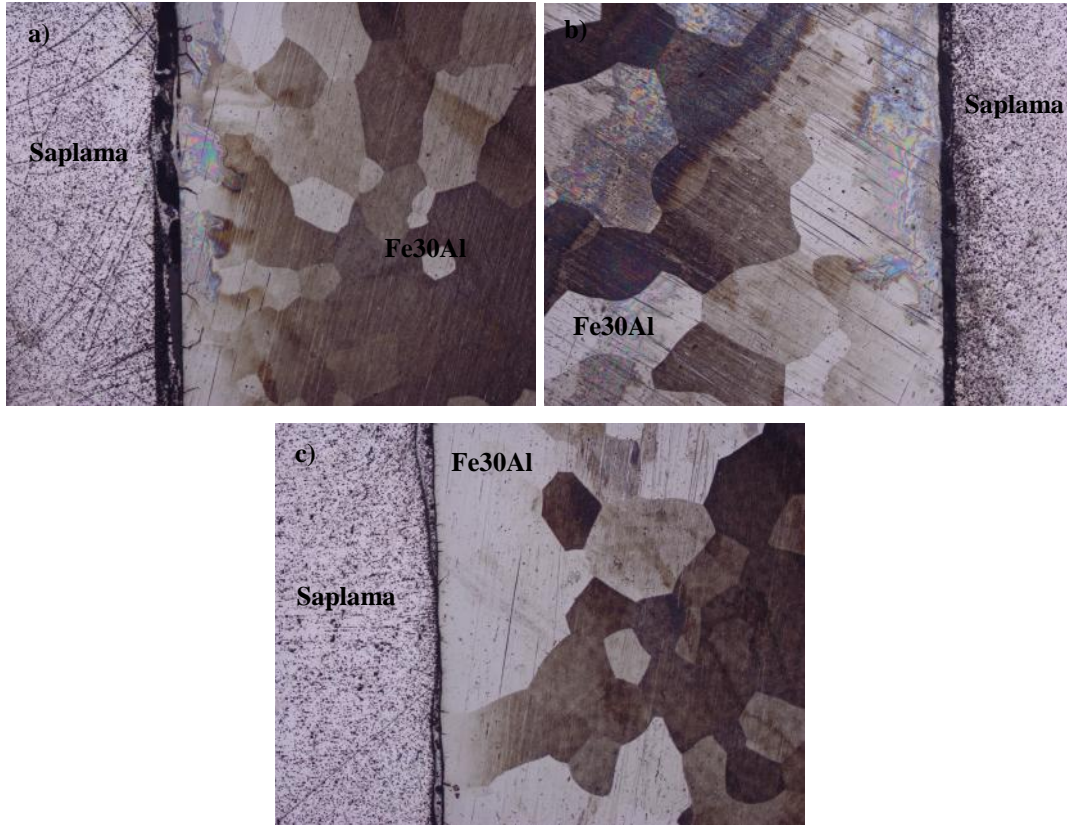
**ekil 4.4** Fe26Al ala ımı için Alüminyum saplama ile yapılan kaynaklara ait taramalı elektron mikroskobu görüntüleri, a)100V,b)130V, c) 150V, d)170V, e)200V kaynak gerilimlerinde.

Al saplama kullanılarak yapılan kaynaklara ait resimler ekil 4,4'te görülmektedir. Elde

edilen resimler incelendi inde 150 V ve 170 V kaynak gerilimlerinde uygulanan kaynakların en düzenli geçi bölgesine sahip oldu u görülmektedir. Yapıda bo luk porozite gibi kaynaklı birle tirmeleri olumsuz etkileyecek etmenler yoktur. 100V ve 130V kaynak gerilimlerinde yapılan kaynaklarda ise porozite, bo luk, çatlak gibi kaynak bölgesinde istenmeyen etmenlerin varlı ı söz konusudur. 200V kaynak geriliminde yapılan kaynakta ise kaynak gerilimi ve çevresel faktörlerin etkisi ile çatlaklı ve bo luklu bir kaynak bölgesi ortaya çıktı ı görülmektedir.

#### 4.2.1.2 Fe30Al

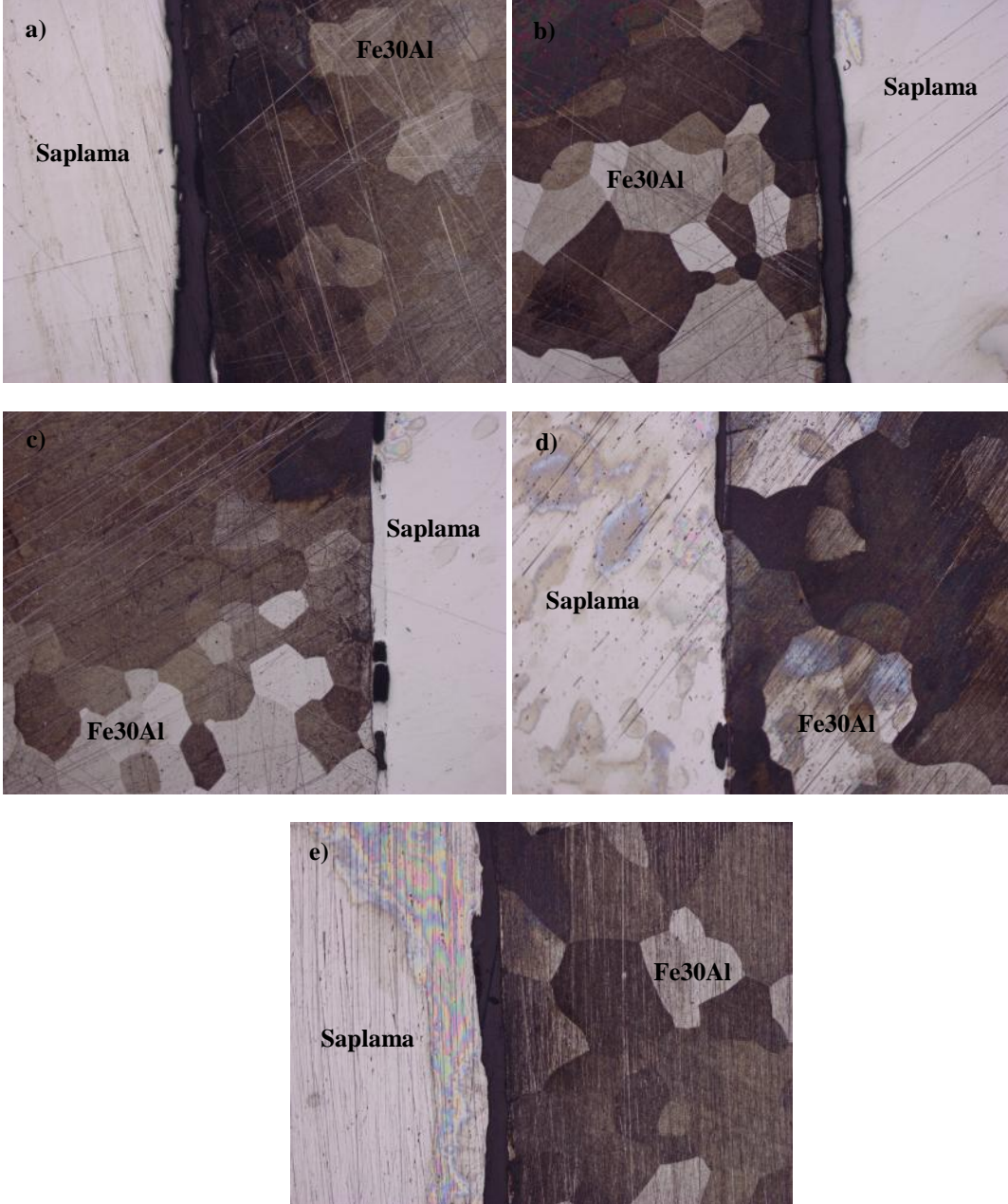
Fe30Al ala ımı için alüminyum saplamalar ile yapılan saplama kaynaklarına ait optik mikroskop ile elde edilen mikroyapı görüntüleri a a ıda görülmektedir.



**ekil 4.5** Fe30Al ala ımı için Alüminyum saplama ile yapılan kaynaklara ait optik mikroskop görüntüleri(50X büyütme), a)100V, b)130V, c) 200V kaynak gerilimlerinde.

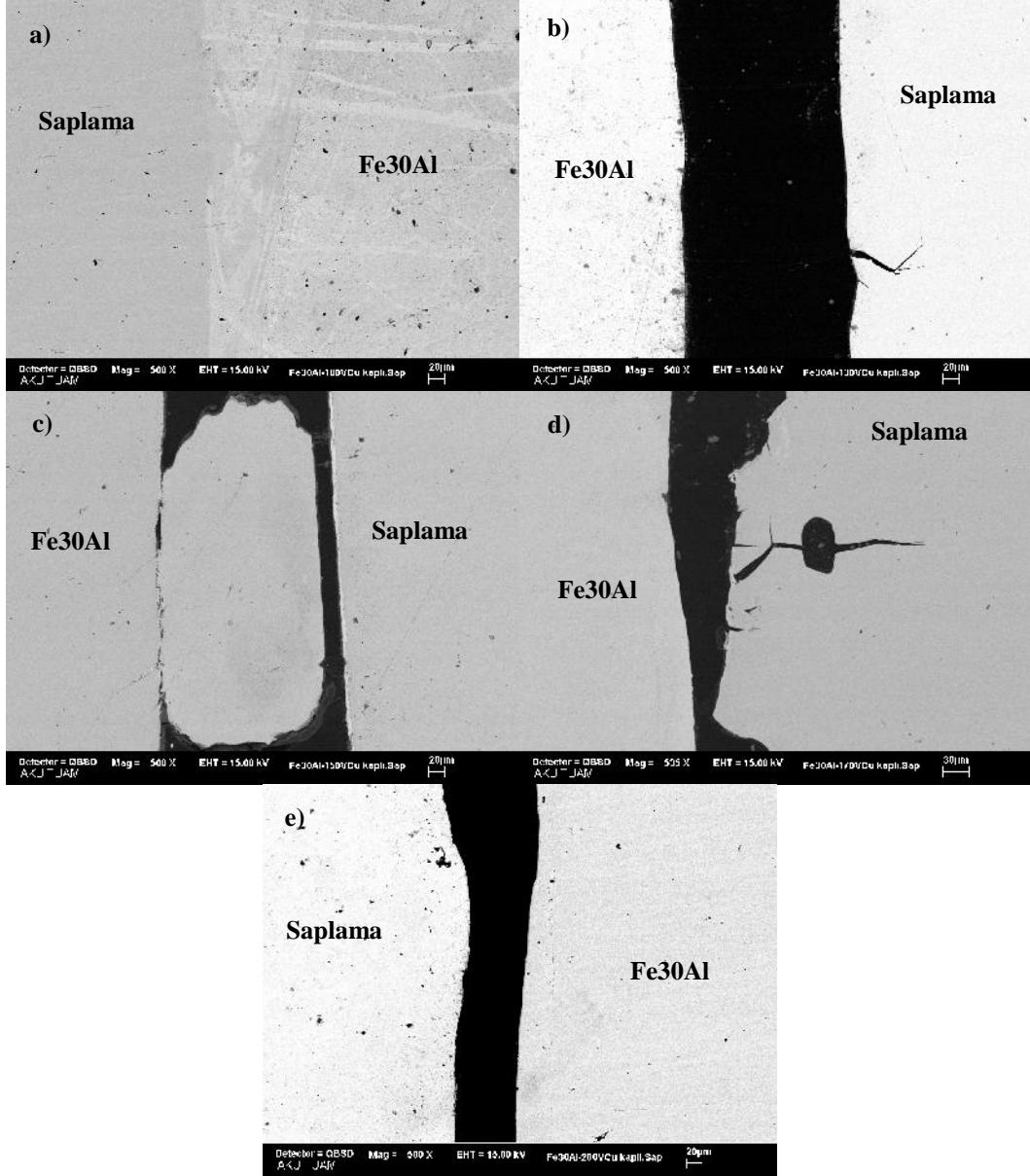
ekil 4.5' te kaynak geçi bölgeleri incelendi inde kaynak geriliminin artması ile siyah ile gözükten bo luk ve porozite gibi etmenlerin kaynak bölgesinde azaldı ı görülmektedir. 200V kaynak geriliminde yapılan saplama kayna ından elde edilen

resimde ısı etkisi ile olu mu nüfuziyet bölgesinin di er kaynak gerilimlerine yapılan kaynaklara göre daha düzenli da ıldı ı gözlemlenmektedir. Ayrıca 100V kaynak geriliminde ısı ve basınç etkisi ile intermetalik kısımdan parçalar koparak saplama kısmına do ru penetre olmu fakat saplama içerisinde nüfuziyeti ba arılı olmamı tır. Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ala ımı için paslanmaz çelik saplamalar ile yapılan saplama kaynaklarına ait mikroyapı görüntüleri a a ıda görülmektedir.



**ekil 4.6** Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ala ımı için paslanmaz çelik saplama ile yapılan kaynaklara ait optik mikroskop görüntüleri(50X büyütme), a)100V, b)130V, c) 150V, d)170V , e)200V kaynak gerilimlerinde.

Fe30Al ala mı için bakır kaplı çelik saplamalar ile yapılan saplama kaynaklarına ait taramalı elektron mikroskobu görüntüleri a a da görülmektedir.



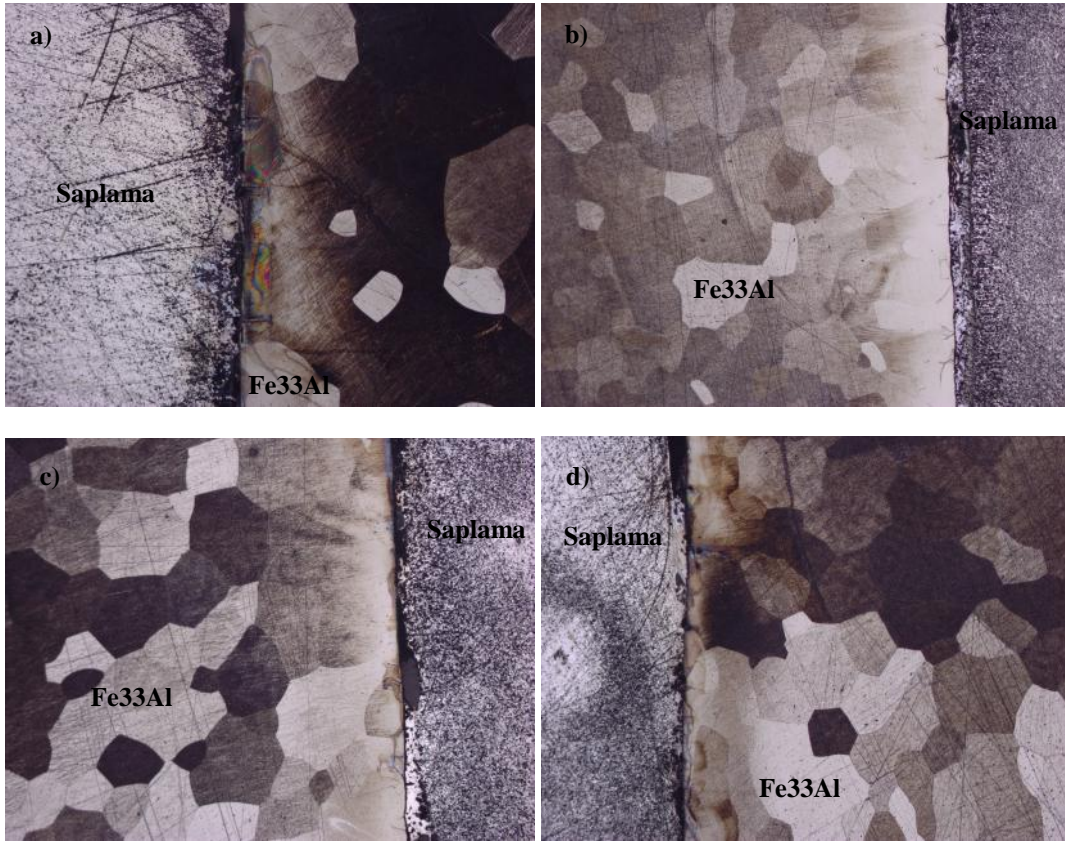
**ekil 4.7** Fe30Al ala mı için bakır kaplı çelik saplama ile yapılan kaynaklara ait taramalı elektron mikroskobu görüntüleri, a)100V, b)130V, c) 150V, d)170V, e)200V kaynak gerilimlerinde.

ekil 4,7'de elde edilen taramalı elektron mikroskobu görüntüleri incelendi inde en düzenli geçi bölgesine 100V kaynak geriliminde yapılan saplama kayna nda elde edildi i görülmektedir. Di er kaynak gerilimlerinde yapılan kaynaklar incelendi inde

ısı ve basıncın etkisi ile a ırı bo luklu ve çatlaklı yapıların oluştu u gözlemlenmektedir. Isı etkisi ile saplama ve intermetalik yüzeylerinde de i meler meydana gelmi fakat penetrasyon ve nüfuziyet için gerekli enerji ve süre sa lanmadı ı için düzenli bir kaynak geçi bölgeleri oluşmamı tır.

#### 4.2.1.3 Fe33Al

A a ıda Fe33Al ala ımına ait çe itli kaynak gerilimlerinde alüminyum saplama ile yapılan kaynaklara ait optik mikroskop resimleri görülmektedir.

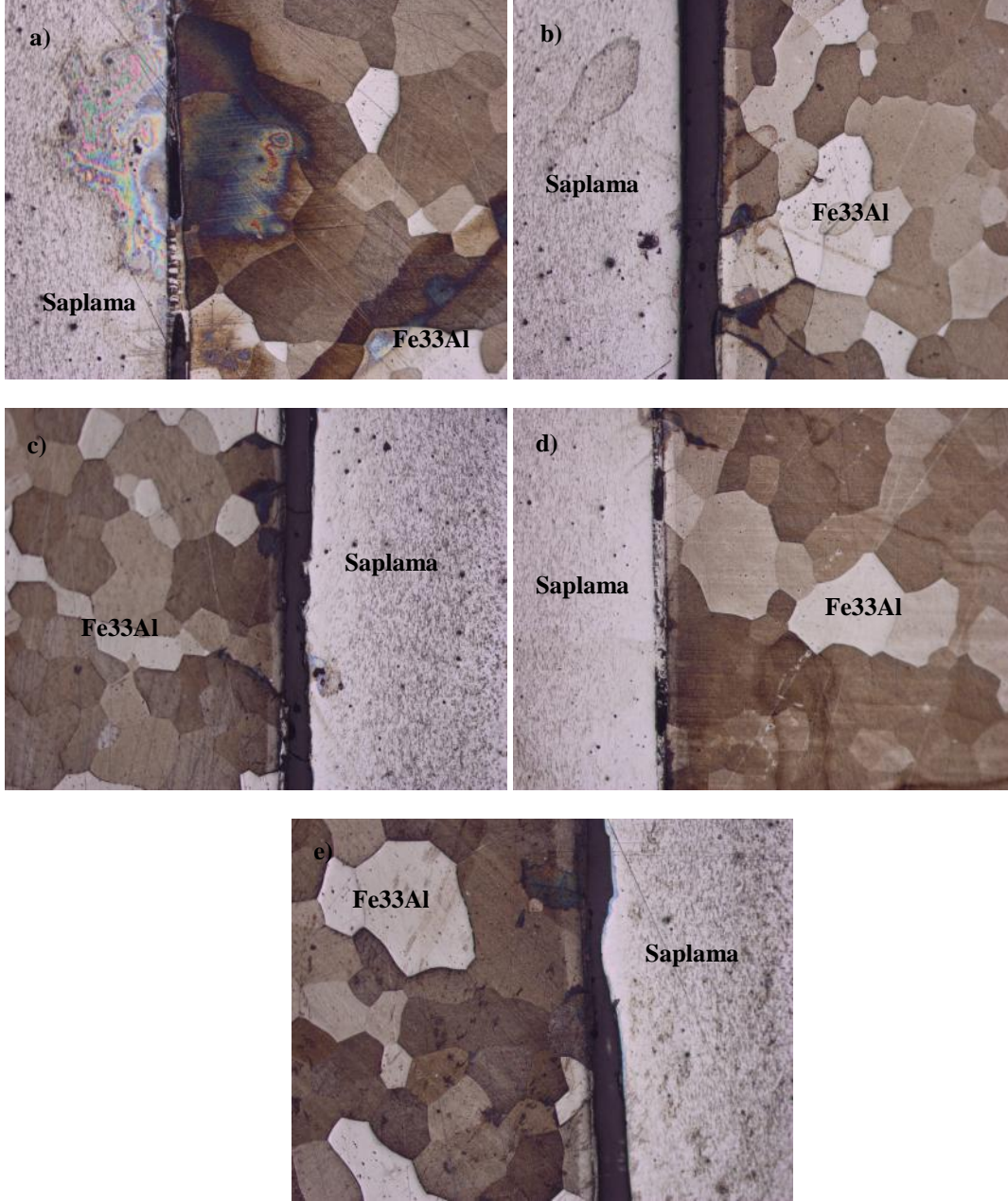


**ekil 4.8** Fe33Al ala ımı için alüminyum saplama ile yapılan kaynaklara ait optik mikroskop görüntüleri(50X büyütme), a)130V,b)150V, c) 170V, d)200V, kaynak gerilimlerinde.

ekil 4.8' de elde edilen optik mikroskop görüntüleri incelendi inde 150V kaynak gerilimde yapılan saplama kayna ının en düzenli geçi bölgesine sahip oldu u görülmektedir. Fakat yapıda az da olsa bo luklar ve çatlaklar oldu u net bir ekilde görülebilir. Di er kaynak gerilimlerinde yapılan saplama kaynakları incelendi inde ise ısı ve basınç etkisi ile malzeme yüzeylerinde de i imler meydana geldi i fakat düzenli bir kaynak bölgesinin elde edilmesi için gerekli nüfuziyet ve penetrasyonun meydana

gelmedi i gör÷lmektedir.

A a ıda Fe33Al ala ımının farklı kaynak gerilimlerinde bakır kaplı saplama ile yapılan kaynaklarından elde edilen kaynak bölgelerine ait optik mikroskop resimleri verilmi tir.

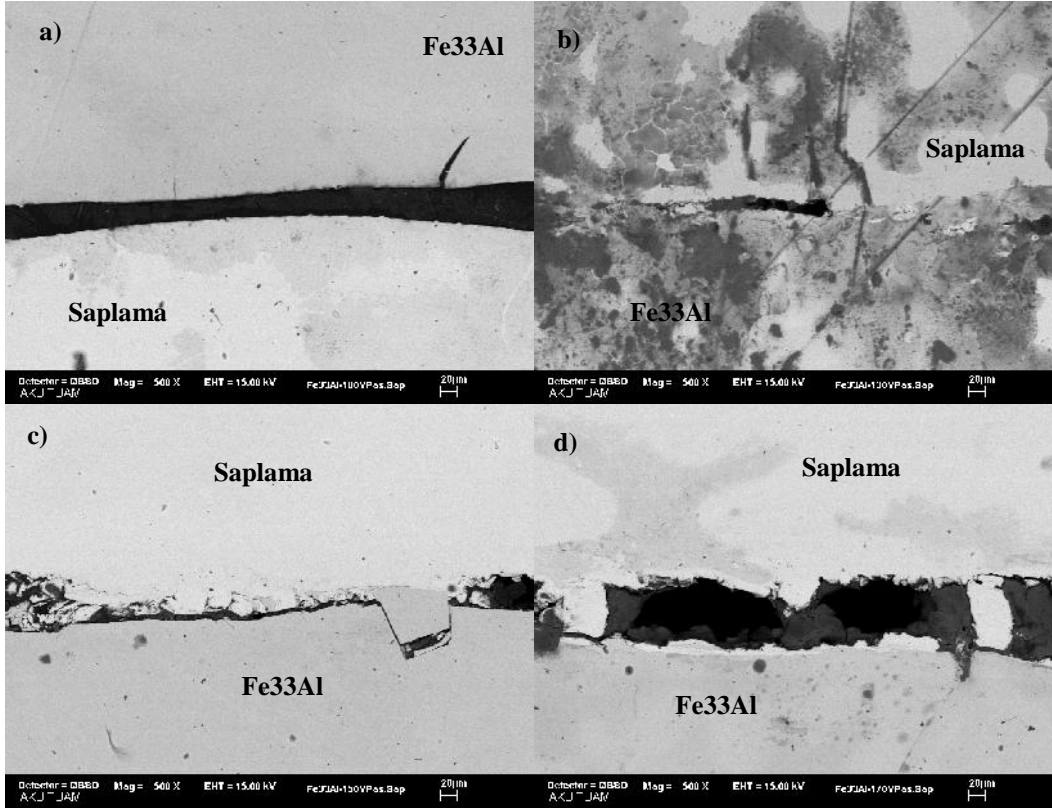


**ekil 4.9** Fe33Al ala ımı için bakır kaplı çelik saplama ile yapılan kaynaklara ait optik mikroskop görüntüleri(50X büyütme), a)100V, b)130V,c)150V, d) 170V, e)200V, kaynak gerilimlerinde.

Elde edilen optik mikroskop resimler incelendi inde en düzenli kaynak geçi bölgesinin 170V kaynak geriliminde elde edildi i gör÷lmektedir. Saplama ile intermetalik arasında

net bir ekilde bir geçi bölgesi meydana gelmi tir. Fakat di er kaynak gerilimlerinde elde edilen kaynak geçi bölgeleri incelendi inde net bir geçi bölgesi yoktur ve iki malzeme arasında bo luklu bir kaynak geçi bölgeleri meydana gelmi tir.

A a ıda Fe33Al ala ımının paslanmaz çelik saplama ile yapılan saplama kaynaklarından elde edilen taramalı elektron mikroskobu görüntüleri görülmektedir



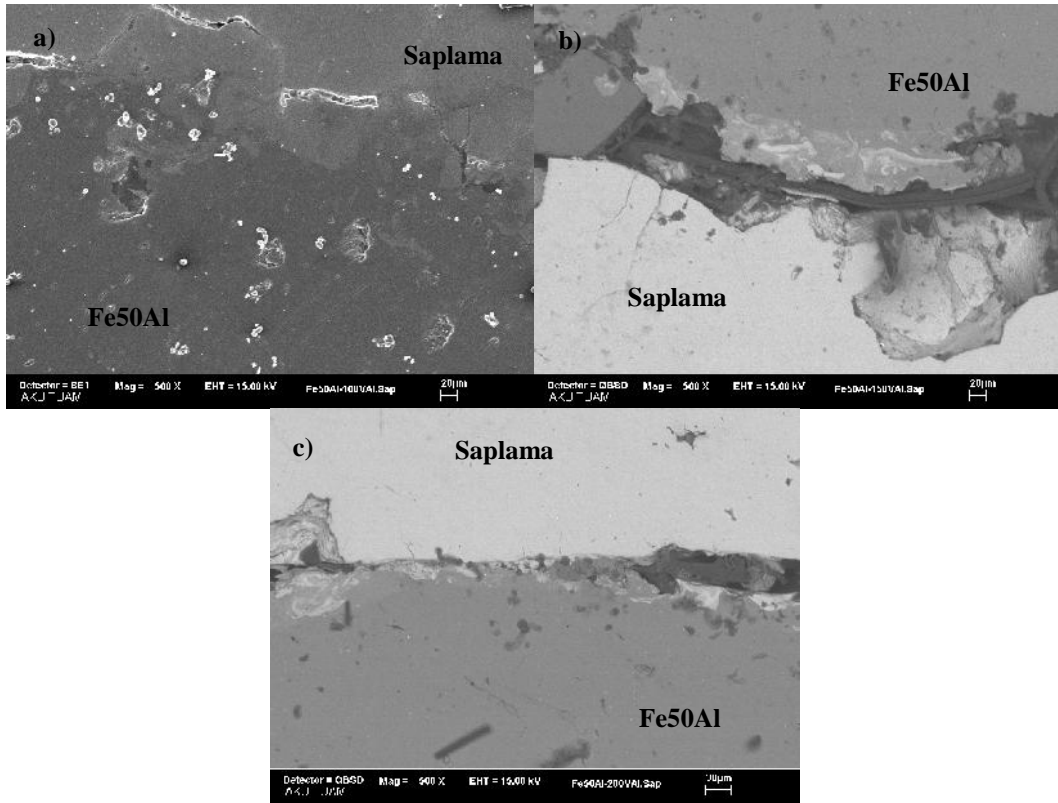
**ekil 4.10** Fe33Al ala ımı için paslanmaz çelik saplama ile yapılan kaynaklara taramalı elektron mikroskobu görüntüleri, a)100V, b)130V,c)150V, d) 170V, e)200V, kaynak gerilimlerinde.

ekil 4.10'da Fe33Al ala ımı ve paslanmaz çelik saplama ile yapılan kaynaklar ait taramalı elektron mikroskobu görüntüleri incelendi inde 130V ve 150V kaynak gerilimlerinde elde edilen geçi bölgelerinin di er kaynak gerilimlerinde elde edilen geçi bölgelerine göre daha çatlaksız ve bo luksuz oldu u görülmektedir. 150V kaynak geriliminde elde edilen geçi bölgesine bakıldı ında ısı ve basıncın etkisi ile malzeme yüzeylerindeki bazı bölgelerde istenen kaynaklanmanın sa landı ı fakat bazı bölgelerde ise çatlak ve bo lukların meydana geldi i görülmektedir. 100V kaynak geriliminde ise geçi bölgesinde bo luk oldu u ve iki malzeme arasında herhangi bir temas alanının

bulunmadı ı görülmektedir. 170 V gerilimde elde edilen geçi bölgesinde ise ısı etkisi ile intermetalik ala ım yüzeyinden kopan parçaların saplamalara bazı bölgelerde tutundu u fakat di er bölgelerde bo lukların olu masına sebep oldu u görülmektedir.

#### 4.2.1.4 Fe50Al

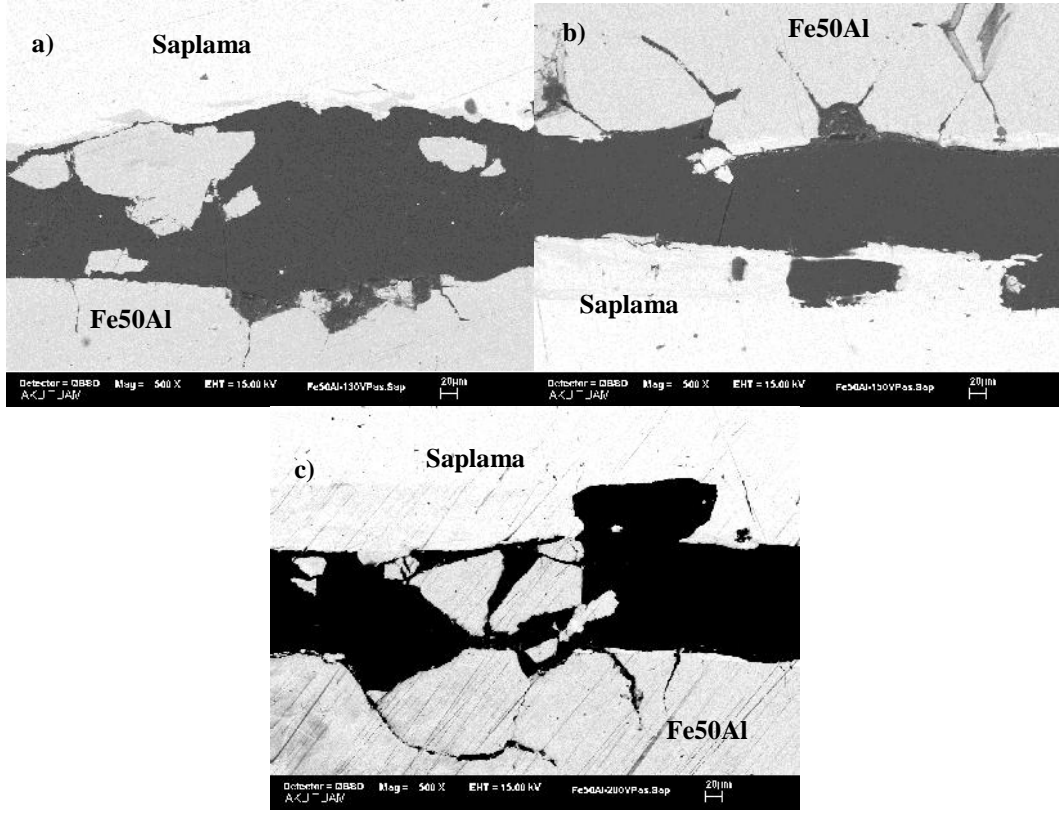
A a ıda Fe50Al ala ımının alüminyum saplama ile yapılan saplama kaynaklarından elde edilen taramalı elektron mikroskobu görüntüleri görülmektedir



**ekil 4.11** Fe50Al ala ımı için alüminyum saplama ile yapılan kaynaklara ait taramalı elektron mikroskobu görüntüleri, a)100V, b) 150V, c)200V, kaynak gerilimlerinde.

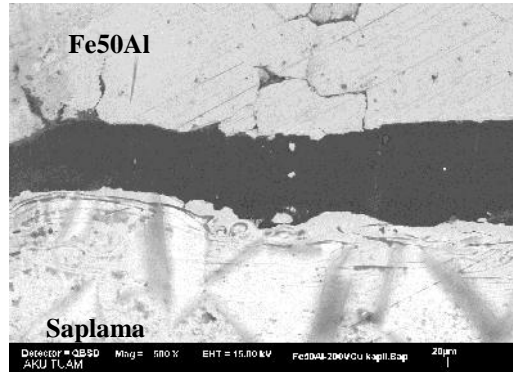
ekil 4.11’de görülen taramalı elektron mikroskobu görüntüleri dikkatlice incelendi inde en düzgün kaynak geçi bölgesinin 100V kaynak geriliminde elde edildi i görülmektedir. 150V ve 200V kaynak gerilimlerinde elde edilen kaynak geçi bölgelerinde porozite ve bo luk gibi etmenlerin varlı ı sözkonusudur. Ayrıca 130 ve 170V kaynak gerilimlerinde yapılan saplama kaynakları ba arısız olmu tur.

ekil 4.12’de ise Fe50Al ala ımına ait paslanmaz çelik saplama kullanılarak yapılan saplama kaynakları görülmektedir.



**ekil 4.12** Fe50Al ala ımı için paslanmaz çelik saplama ile yapılan kaynaklara taramalı elektron mikroskobu görüntüleri, a)150V, b) 170V, c)200V, kaynak gerilimlerinde.

Geçi bölgelerinde ait ekil 4.12' de elde edilen görüntüler ele alındı ında kaynak geriliminin etkisiye ortaya çıkan ısı enerjisi ve basıncın etkisi ile malzeme yüzeylerinden parçalar kopmu fakat tam nüfuziyet için yeterli ergimenin sa lanamadı ı görülmektedir. Kaynak geçi bölgelerinde çok derin ve geni çatlaklar göze çarpmaktadır.



**ekil 4.13** Fe50Al ala ımı için bakır kaplı çelik saplama ile yapılan kaynaklara ait taramalı elektron mikroskobu görüntüsü, 200V kaynak geriliminde.

ekil 4.13’de Fe50Al ala ımının bakır kaplı elik saplama ile yapılan saplama kayna ına ait taramalı elektron mikroskobu görüntüsü verilmi tir. Bakır kaplı saplama ile yapılan saplama kaynakları neticesinde 170V ve 200V kaynak gerilimlerinde yapılan kaynaklar ba arılı olmu tur. Fakat metalografik numune hazırlama a amaları sırasında 170V kaynak geriliminde elde edilen kaynak hasara u rayarak kopmu tur. 200V kaynak gerilimine ait görüntüden de anla ılaca ı üzere kaynak nfuziyetleri oldukça kötüdür. Kaynak geçi bölgesinde geni bo luklar olup, malzeme yüzeylerinde bozulmalar meydana gelmi fakat nüfuziyet için yeterli olmamı tir.

### **4.2.3 Saplama Kaynaklarının Dayanımı Ve Kaynak Geçi Bölgelerinin Elemental izgi Analizi**

#### **4.2.3.1 Saplama Kaynaklarının Kopartma Deneyi**

Ala ımların e itli saplama kaynakları ile yapılan birle tirmelerinden mikroyapı görüntüleri ı ı ında kaynaklı birle tirmeler için dijital torkmetre kullanılarak saplama kaynak dayanımları incelemeye tabii tutulmu tur.

Yapılan kopartma deneyleri sonucunda en yüksek kopma dayanımına paslanmaz elik saptamalar ile ula ılmı tur. Bunun sebebi paslanmaz elik içerisinde bulunan kaynaklanabilirli i yüksek olan element ve fazların di er saptamalara göre daha fazla miktarda bulunması olarak açıklanabilir. Ayrıca kaynak geriliminin yüksek olması ile kaynak için gerekli ısı girdisinin ve basıncın artması da mukavemet artmasına yardımcı olan parametrelerden birisidir.

En yüksek kopma dayanımı Fe30Al ala ımı ile paslanmaz elik saplama ile 170 V kaynak geriliminde yapılan birle tirmede llm tür. En dü k kopma dayanımı de eri ise Al saptamaya ait birle tirmelere aittir. 0.095 Mpa kopma de eri ile Fe50Al ala ımı ile alüminyum saplama arasında 100V kaynak geriliminde yapılan birle tirmede llm tür. Kaynak geriliminin artması ise genel kopma dayanımı de erlerinin artmasına sebep olmu tur. Fakat tam olarak kaynak geriliminin artması ile kopma dayanımının artaca ımı sonucuna varmak elde edilen de erler ile mümkün de ildir.

**Çizelge 4.3.** Saplama türüne ve volta ba lı kopma gerilmesi tablosu (MPa).

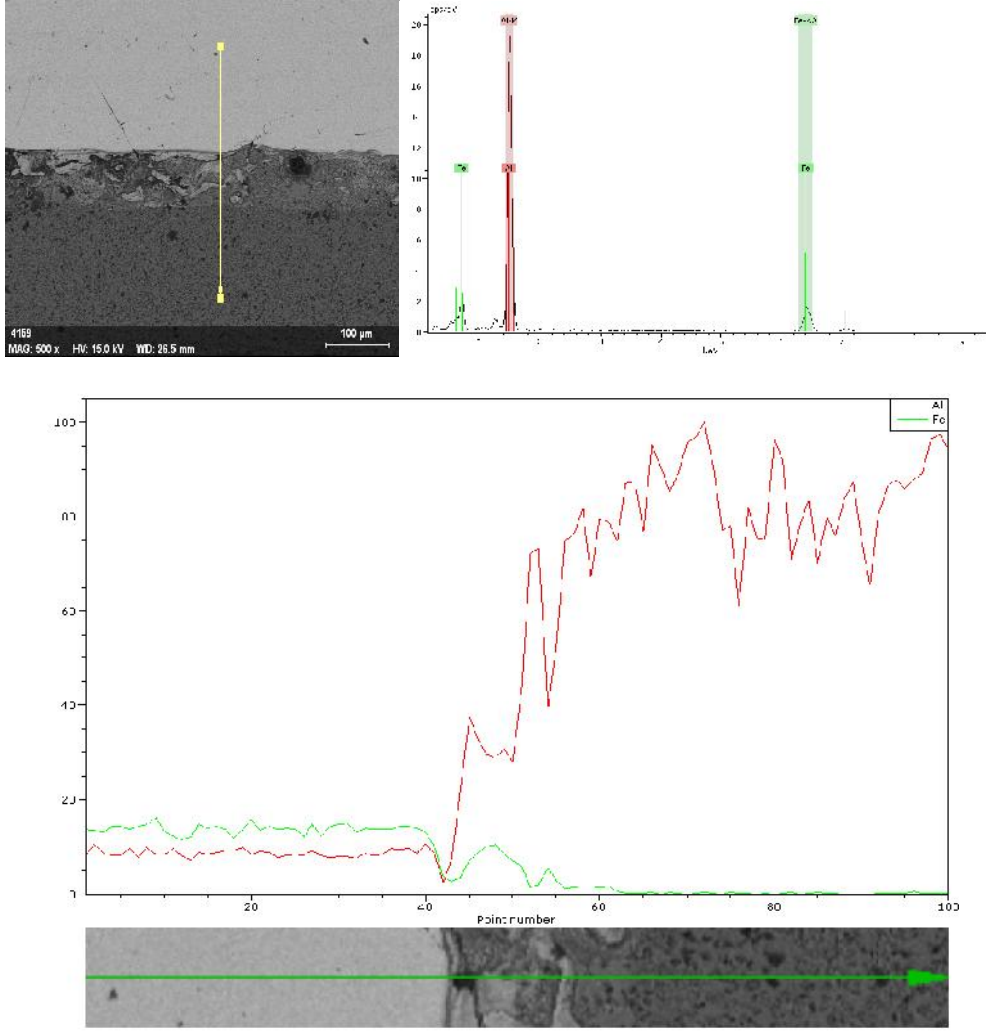
Kaynak Voltajı	100	130	150	170	200
<b>Paslanmaz Çelik Saplama</b>					
Fe26Al	0.0350	0.0380	0.0400	0.0410	0.0410
Fe30Al	0.0330	0.0378	0.0310	0.0450	0.0368
Fe33Al	0.0400	0.0410	0.0300	0.0350	0.0353
Fe50Al	X	X	0.0282	0.0320	0.0349
<b>Bakır Kaplı Çelik Saplama</b>					
Fe26Al	0.0148	0.0152	0.0153	0.0157	0.0160
Fe30Al	0.0146	0.0154	0.0158	0.0156	0.0155
Fe33Al	0.0143	0.0150	0.0153	0.0420	0.0145
Fe50Al	X	X	X	0.0132	0.0139
<b>Alüminyum Saplama</b>					
Fe26Al	0.0125	0.0130	0.0135	0.0139	0.0142
Fe30Al	0.0118	0.0120	X	X	0.0135
Fe33Al	X	0.0115	0.0138	0.0136	0.0105
Fe50Al	0.095	X	0.0115	X	0.0210

X : Ba arısız kaynaklı birle tirmeler.

#### **4.2.3.2 Kaynak geçi bölgelerinin elemental analizi**

Ba arılı ekilde gerçekte tirilen saplama kaynaklarından Fe26Al serisi için EDS çizgi analizi yapılmı tır ve saplama türü ve kaynak gerilimine göre kaynak geçi bölgesinde ve ısı tesiri altında kalan bölgelerde meydana gelen element miktarı de i imi gözlemlenmi tir.

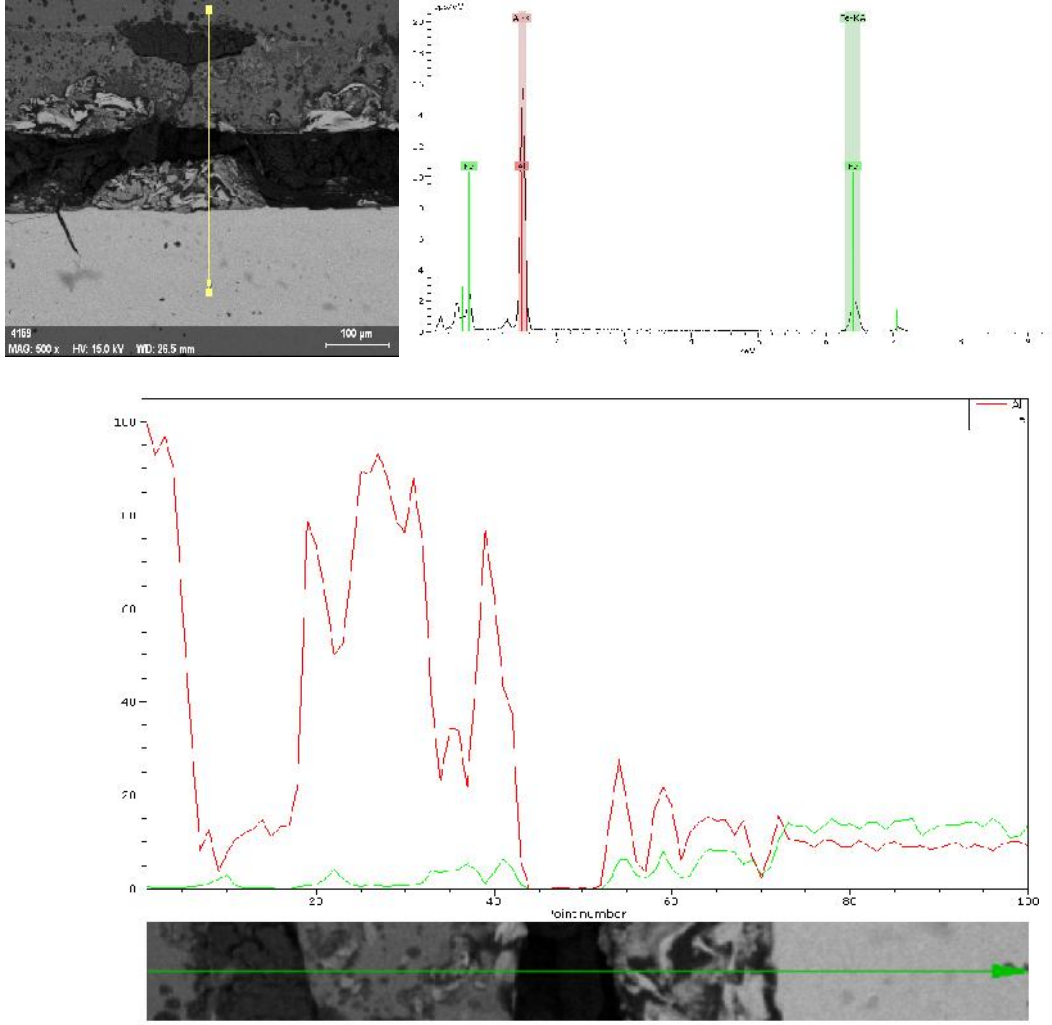
ekil 4.14'de Fe26Al ala ımının 100V kaynak geriliminde intermetalikten alüminyum saplama do ru yapılan kayna a ait EDS analizi görülmektedir.



**ekil 4.14** Fe<sub>26</sub>Al alaımının 100V kaynak geriliminde alüminyum saplama ile yapılan kayna ın geçi bölgesi analizi.

Geçi bölgesinin elemental analizi incelendi inde intermetalik kısımdan geçi bölgesine do ru gidildi inde malzeme arayüzeylerinde Fe ve Al miktarının dü tü ü, saplama kısmına geçildi inde ise Al miktarının artarken Fe miktarının azalma e ilimi gösterdi i görülmektedir. Kaynak geriliminin yetersiz olması veya kaynak sırasında saplama uygulanan basıncın yetersiz olması sonucu geçi yüzeyinde Fe ve Al konsantrasyonu dü me e ilimi göstermi tir.

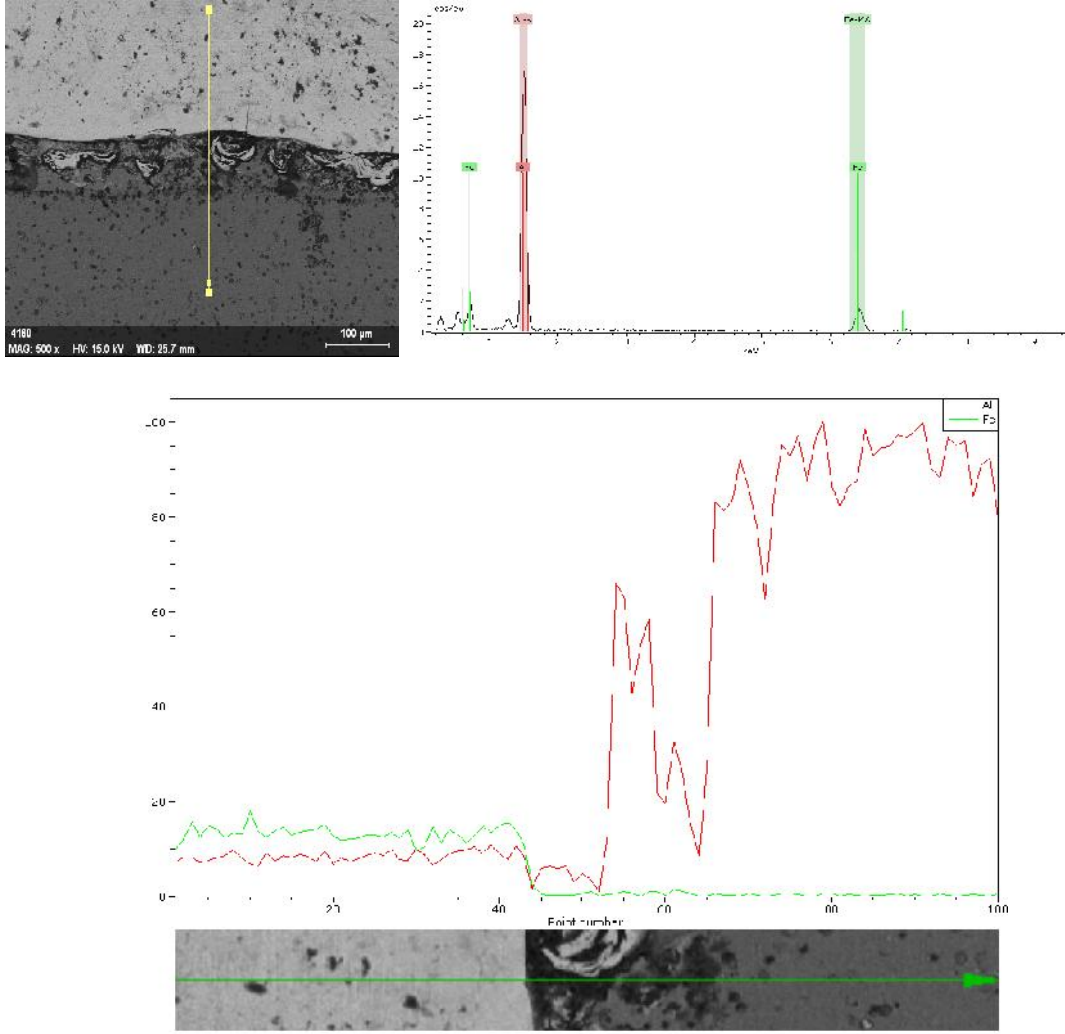
ekil 4.15’de Fe<sub>26</sub>Al alaımının 130V kaynak geriliminde alüminyum saplama dan Fe<sub>26</sub>Al intermetalik kısıma do ru yapılan çizgi analizi görülmektedir.



**ekil 4.15** Fe26Al alaımının 130V kaynak geriliminde alüminyum saplama ile yapılan kaynaın geçi bölgesi analizi.

Geçi bölgesinin çizgisel elemental analizi incelendi inde Al ait olan e rinin intermetali e do ru gidildikçe ani bir dü ü gösterdi i görülmekte ve Fe ve Al ait olan e riler oldukça azalmaktadır. Bunu sebebi geçi bölgesinde kaynak sırasında meydana gelmi olan bo luklar oldu u bilinmektedir. ntermetalik kısma geçildi inde ise e riler birbirine yakla arak daha dengeli bir pozisyon almaktadır.

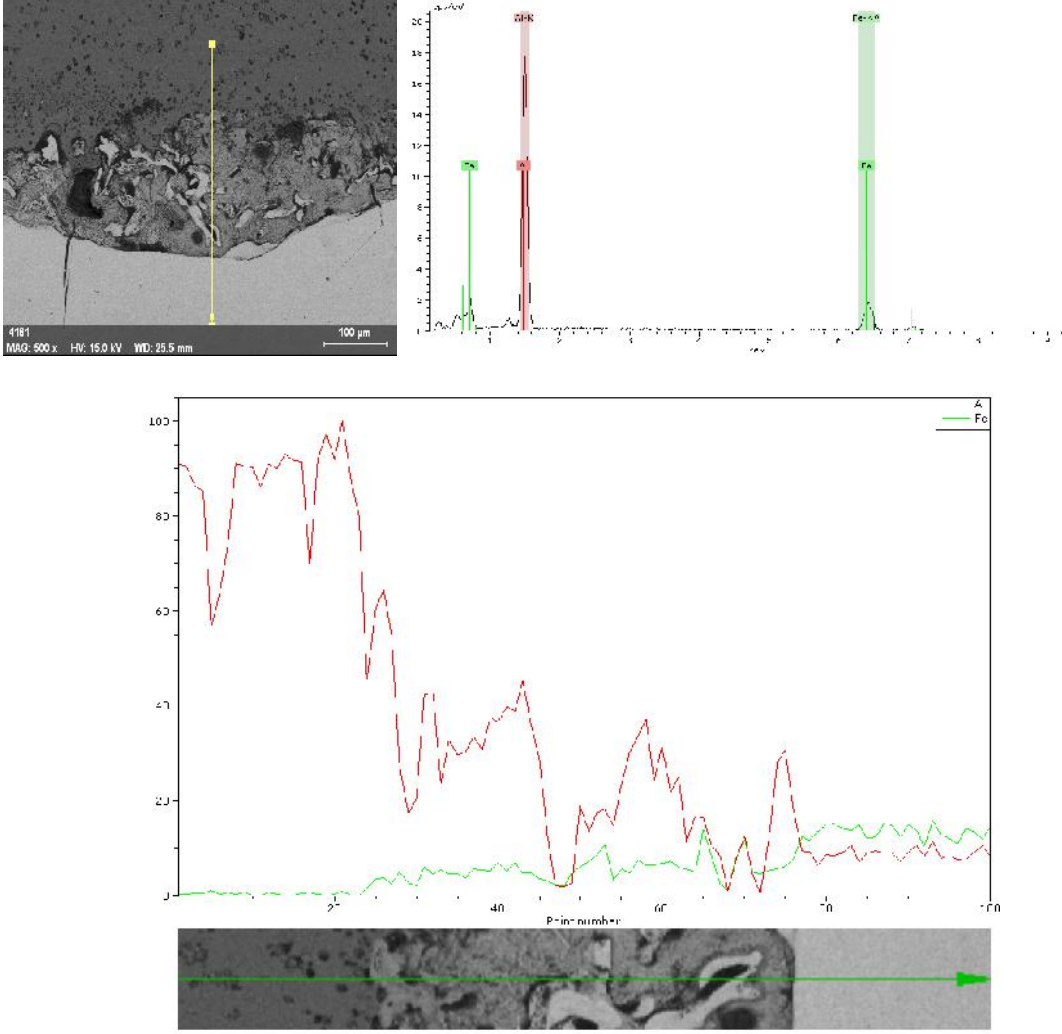
ekil 4.16’da Fe26Al alaımına ait alüminyum saplama ile 150V kaynak geriliminde yapılan kayna a ait geçi bölgesi analizi görülmektedir.



**ekil 4.16** Fe26Al alaımının 150V kaynak geriliminde alüminyum saplama ile yapılan kayna ın geçi bölgesi analizi.

ekil 4.16'da verilen çizgisel analiz incelendi inde intermetalikten saplamaya do ru gidildi inde, geçi bölgesinde Fe ve Al miktarında dü ü gözlemlendi i fakat Fe ve Al ait piklerin birbirine yakın oldu u görülmektedir. Bu durum az da olsa interetalik ve saplama arasında Fe ve Al geçi inin oldu unu göstermektedir. Saplama kısmına geçildi inde ise Al konsantrasyonu artı gösterirken Fe miktarı saplamanın bile imi gere ince dikkate de er bir dü ü göstermi tir.

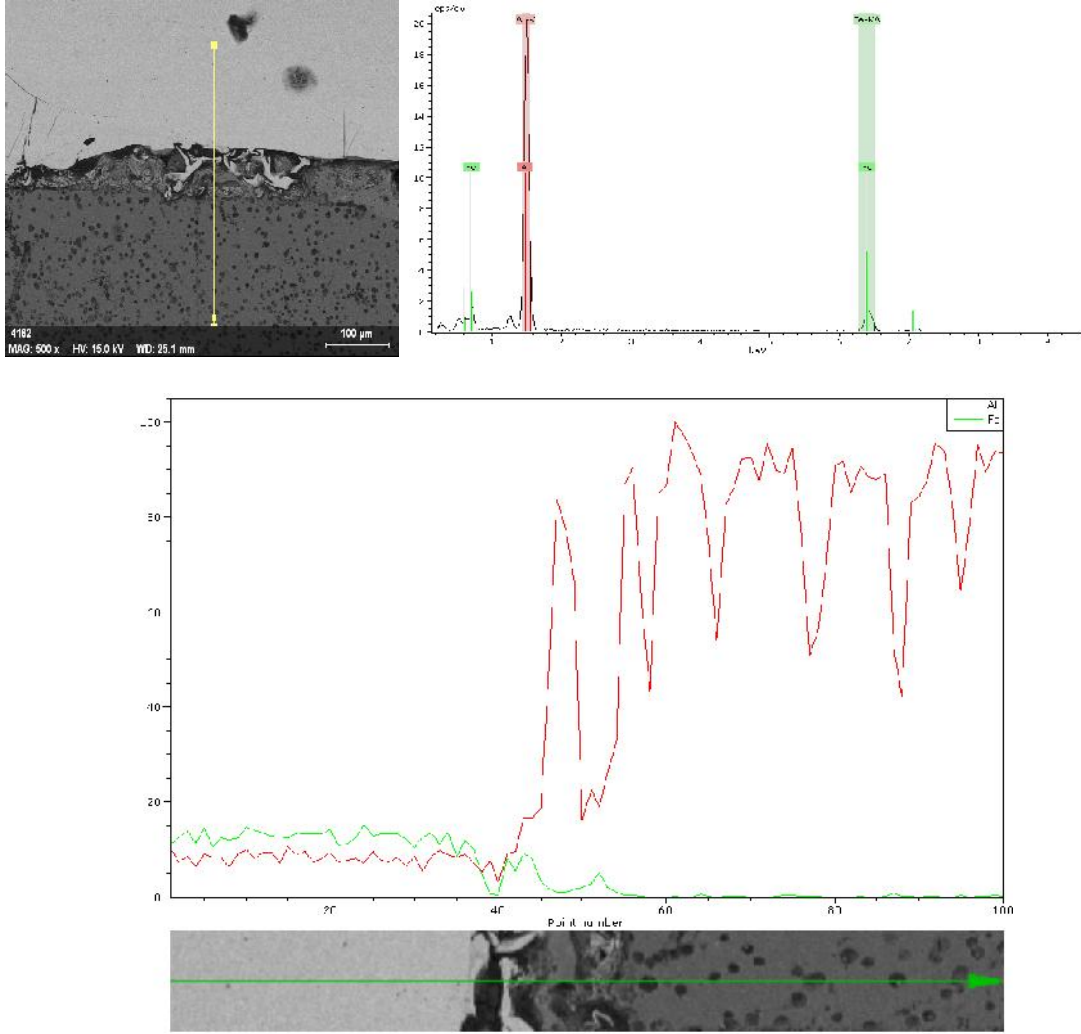
ekil 4.17'de Fe26Al alaımının 170 V kaynak geriliminde alüminyum saplama ile yapılan birle tirmeden saplamadan intermetali e do ru elde edilen kaynak bölgesinin analizi görülmektedir.



**ekil 4.17** Fe26Al alaımının 170V kaynak geriliminde alüminyum saplama ile yapılan kaynaın geçi bölgesi analizi.

Elde edilen çizgisel analiz incelendi inde kaynak geriliminin artmasının etkisi ile intermetalik ve saplama arasına Fe ve Al geçinin meydana geldi i görülmektedir. Geçi bölgesinde Fe ve Al a ait pikler geni bir alan boyunca birbirine yakın yerle mi tir. Bu 170V kaynak geriliminde yapılan kaynakta malzemeler arasında iyi bir nüfuziyet meydana geldi ini göstermektedir.

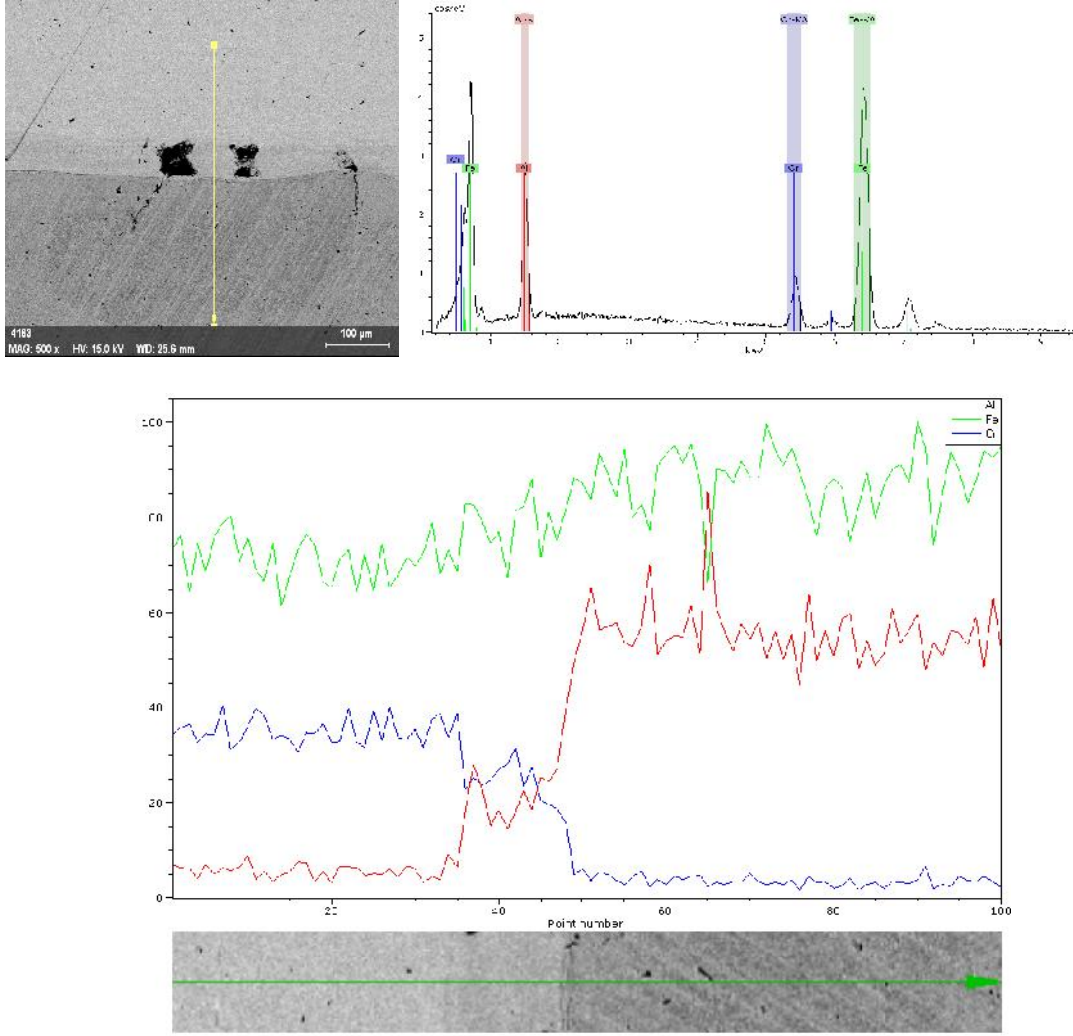
ekil 4.18'de Fe26Al alaımının 200V kaynak geriliminde alüminyum saplama ile yapılan birle tirmeden elde edilen geçi bölgesi analizi görülmektedir.



**ekil 4.18** Fe26Al ala ımının 200V kaynak geriliminde alüminyum saplama ile yapılan kayna ın geçi bölgesi analizi.

Elde edilen çizgi analizi incelendi inde intermetalik kısımda Fe ve Al ait pikler birbirine yakın Fe dengeli iken geçi bölgesinde çok az bir dü me e ilimi göstermi tir. Saplama kısmına geçildi inde ise Al ait pikler saplama yapısından dolayı artmaktadır. Geçi bölgesinde Fe ve Al pikleri az da olsa birbirine yakın seyretmi , iki malzeme yüzeyinden element geçi leri meydana gelmi tir. Geçi bölgesindeki piklerin de i imi bunu açık bir ekilde göstermektedir.

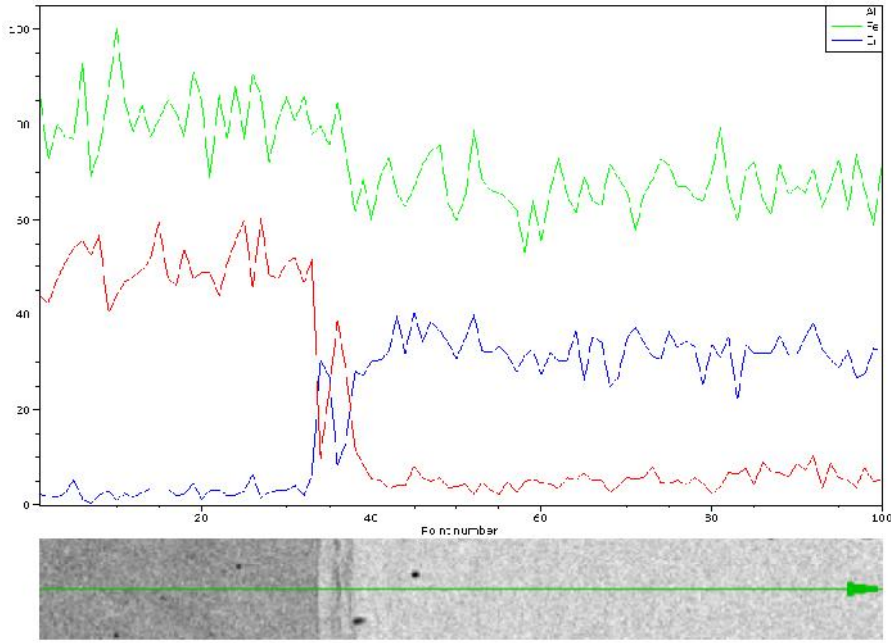
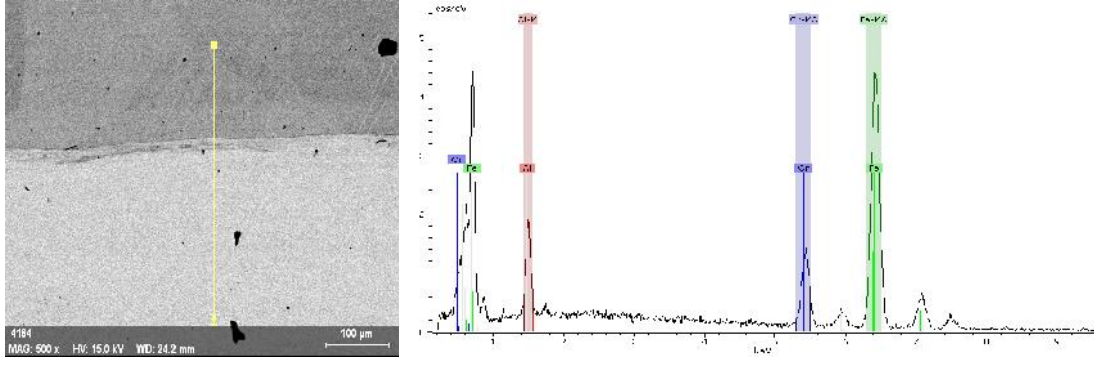
ekil 4.19'de Fe26Al ala ımının 100V kaynak geriliminde paslanmaz çelik saplama kullanılarak yapılan birle tirmeye ait kaynak bölgesi analizi görülmektedir.



**ekil 4.19** Fe26Al ala ımının 100V kaynak geriliminde paslanmaz elik saplama ile yapılan kayna ın geçi bölgesi analizi.

Paslanmaz elik saplamadan intermetalik malzemeye do ru yapılan çizgi analizi incelendi inde Fe pikleri a ırı sapma göstermezken Al ve Cr a ait piklerin daha fazla sapma gösterdi i görülmektedir. Geçi bölgesi dikkatli bir ekilde incelendi inde Al ve Cr a ait piklerin birbirine yakla tı ı yani Al ve Cr atomlarının hareketiyle bir difüzyon bölgesi olu turdu u anla ılmaktadır. Geçi bölgesindeki Fe miktarı ise istenen seviyede seyretmektedir.

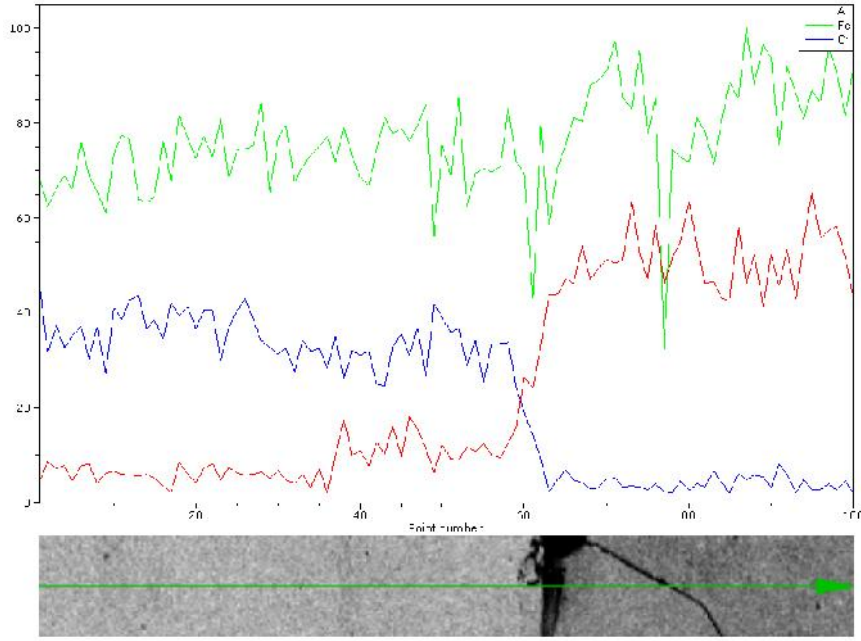
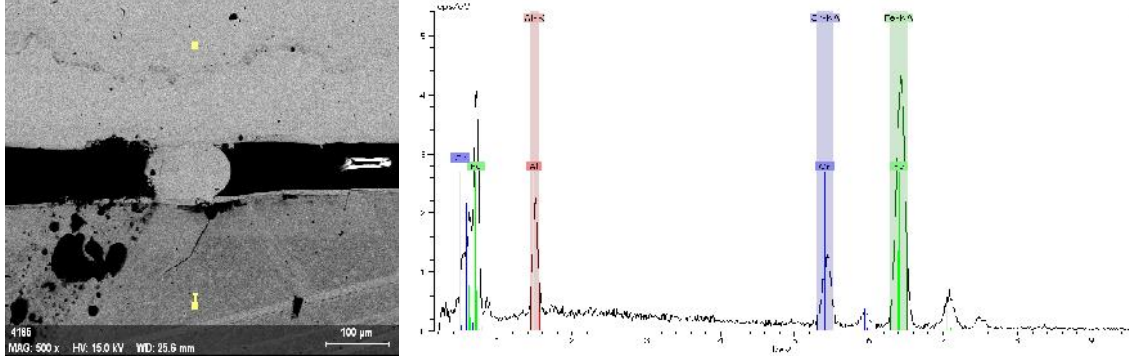
ekil 4.20' de Fe26Al ala ımının 130 V kaynak geriliminde paslanmaz elik saplama ile yapılan birle tirmeye ait kaynak geçi bölgesi analizi verilmi tir.



**ekil 4.20** Fe26Al ala mının 130V kaynak geriliminde paslanmaz çelik saplama ile yapılan kayna ın geçi bölgesi analizi.

Çizgi analizinde Al ,Fe ve Cr a ait pikler farklı renklerde görülmektedir. Fe26Al intermetali inden paslanmaz çelik saplamaya do ru geçi bölgesi incelendi inde Al ait kırmızı e riler azalırken ve kaynak gerilimi etkisiyle Cr atomları yer de i tirmi ve Al ve Cr a ait e riler birbirine yakla arak keserek nüfuziyet meydana gelmi bir bölgenin varlı mını göstermi tir.

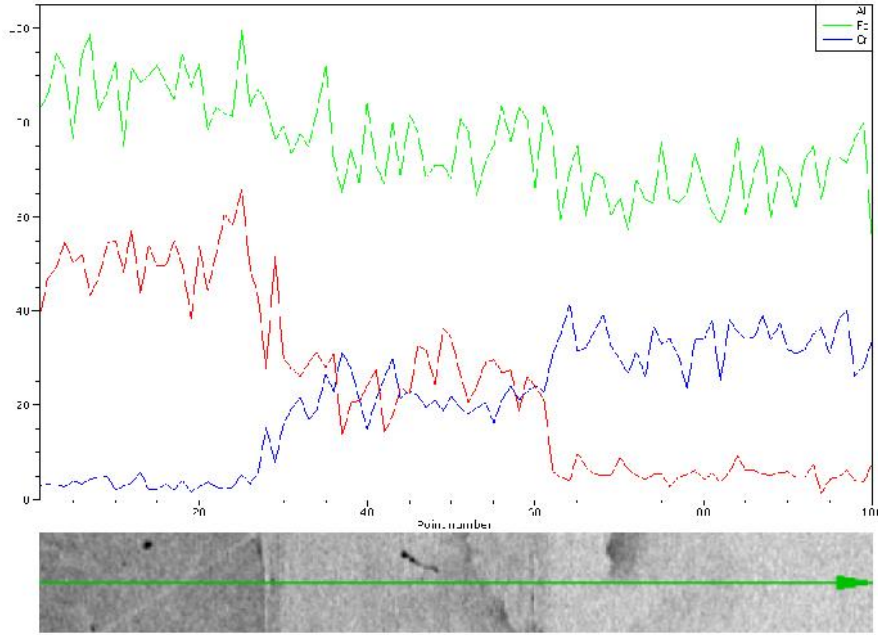
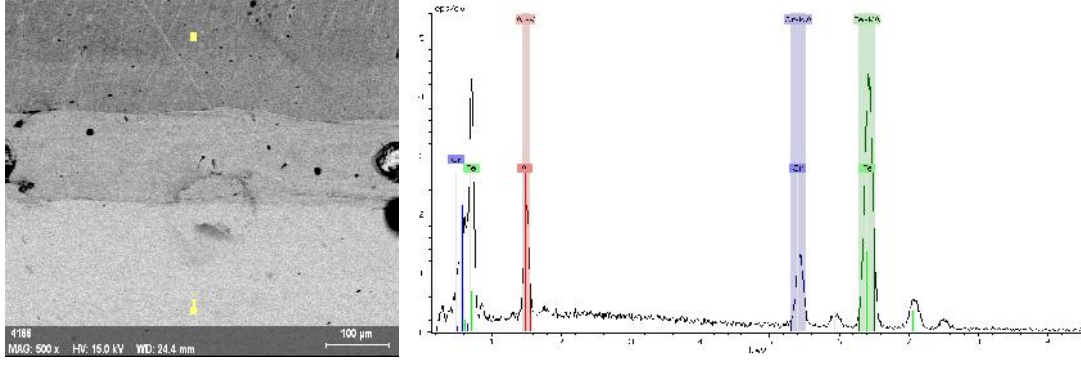
ekil 4.21’de 150V kaynak geriliminde birle tirilmi olan paslanmaz çelik ve Fe26Al ala mına ait kaynak bölgesi analizi görülmektedir.



**ekil 4.21** Fe26Al ala mının 150V kaynak geriliminde paslanmaz çelik saplama ile yapılan kayna ın geçi bölgesi analizi.

ekil 4.21' de verilen geçi bölgesi çizgi analizi dikkatlice incelendi inde mavi ile gösterirken Cr a ait olan pikler ve Al ait olan kırmızı pikler ani dü ü ve artı göstererek sadece bir noktada birbirine yakla mı ve kesi mi tir. Bu durum malzemeler nüfuziyet i leminin çok az seviyede gerçekleş mi oldu unu göstermektedir. Bunun kaynak süresinin veya basıncının yetersiz olmasından dolayı malzemeler arası temas yüzeyinin sınırlı kalması sonucu meydana geldi i tahmin edilmektedir.

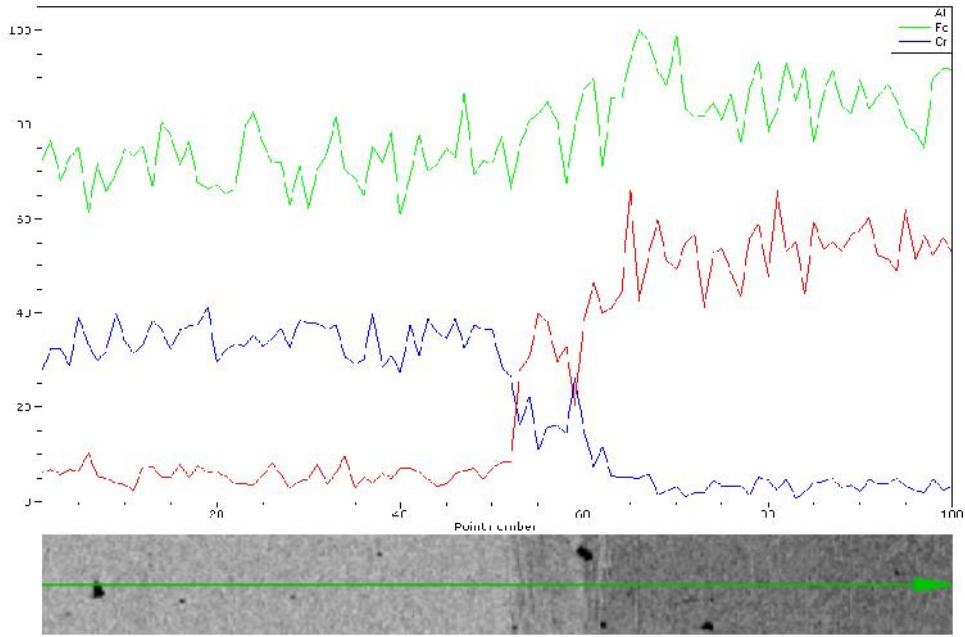
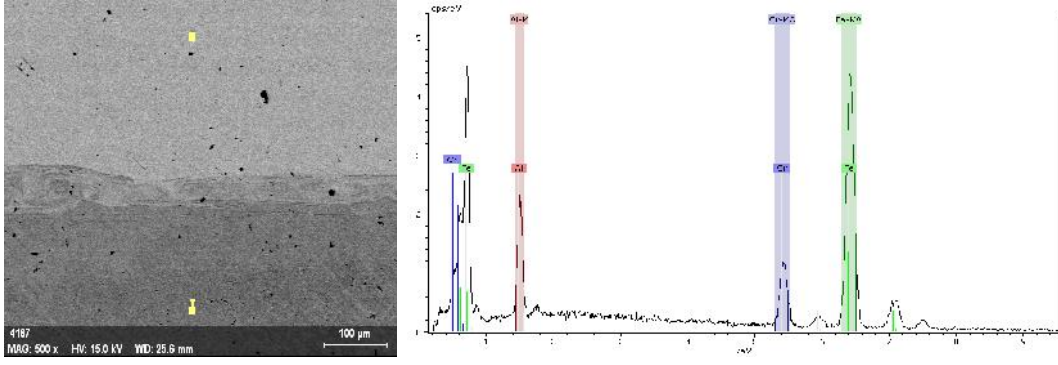
ekil 4.22' de Fe26Al ala mı ile paslanmaz çelik saplamanın 170V kaynak geriliminde elde edilen kaynak bölgesine ait analiz görülmektedir



**ekil 4.22** Fe26Al ala mının 170V kaynak geriliminde paslanmaz çelik saplama ile yapılan kayna ın geçi bölgesi analizi.

Yukarıda verilen intermetalikten saptlamaya do ru yapılan çizgi analizi incelendi inde Al ve Cr a ait olan e rilerin sapmalar göstererek geni bir alanda yakınla tıkları görülmektedir. Bu durum iki malzeme arasında geni alanda Al ve Cr alı veri inin gerçekle ti inin bir göstergesidir. Nüfuziyet meydana gelmi kaynak geçi bölgesi oldukça geni bir alana yayılmış tır. Ye il ile gösterilen Fe pikleri ise iki malzemenin yapısından dolayı azda olsa dü me göstermi fakat keskin sapmalar göstermemi tir.

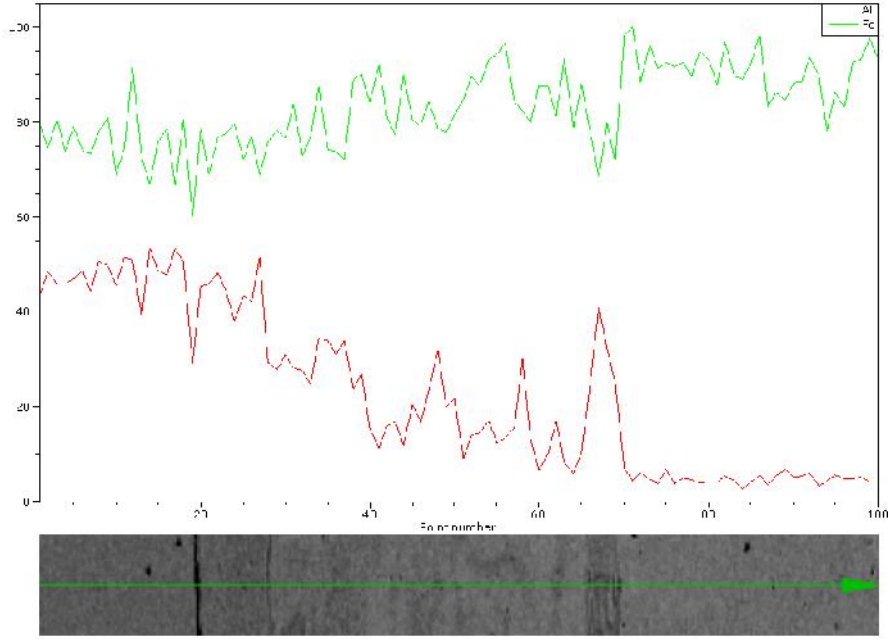
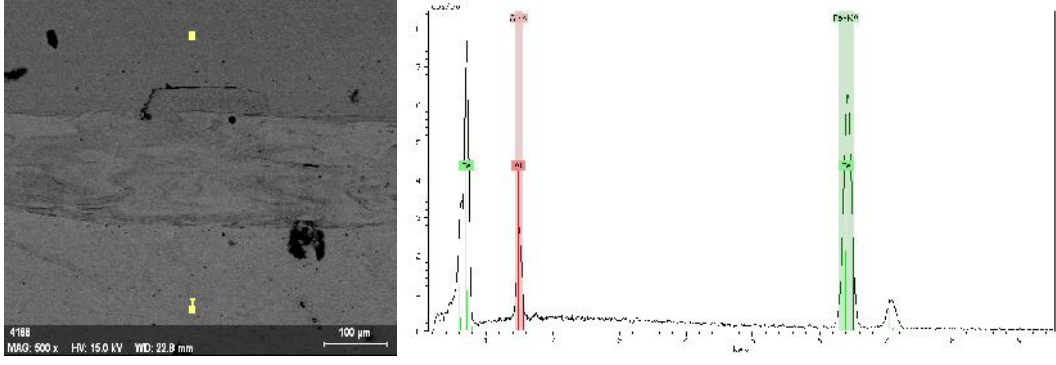
ekil 4.23'te ise Fe26Al ala mının paslanmaz çelik saplama ile 200V kaynak gerilimi sonucu elde edilen birle tirmeye ait analizler görülmektedir.



**ekil 4.23** Fe26Al ala mının 200V kaynak geriliminde paslanmaz çelik saplama ile yapılan kayna ın geçi bölgesi analizi.

Yukarıda saplamadan intermetali e do ru yapılan kaynak geçi bölgesine ait çizgi analizi incelendi inde ise Al ve Cr a ait piklerin iki noktada kesi me gösterdikleri ve dar bir alanda birbirlerine yakla ma e ilimi gösterdikleri anla ılmaktadır. Bu durum nüfuziyet meydana gelmi olan bölgenin kısıtlı bir alanda kaldı ını göstermektedir.

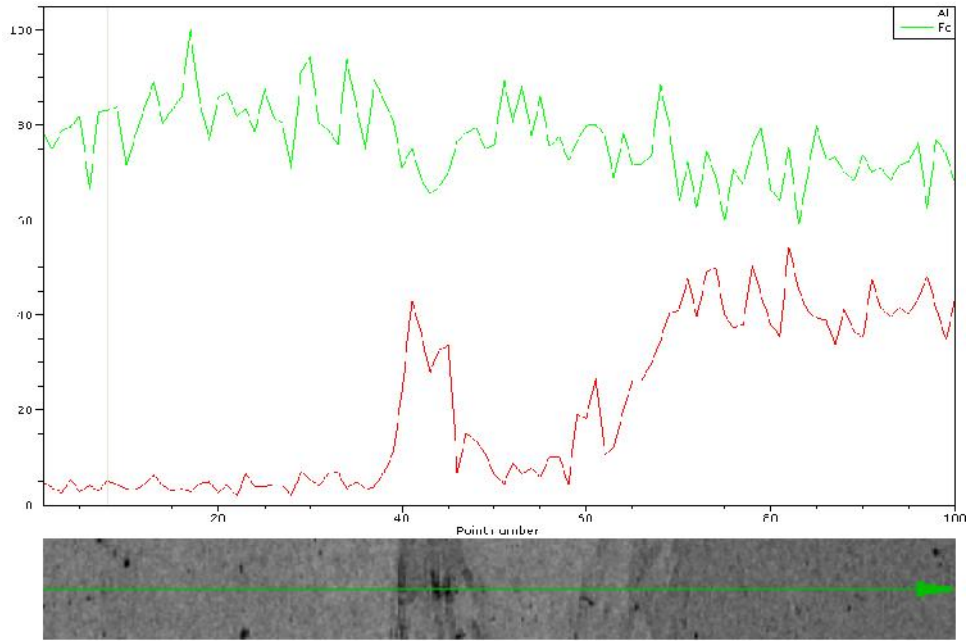
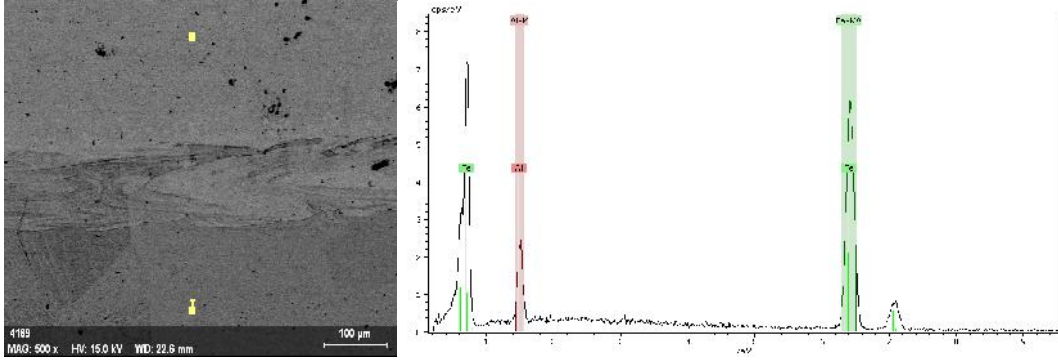
A a ıda ekil 4.24'te 100V kaynak geriliminde Fe26Al ve bakır kaplı çelik saplama çifti ile yapılan saplama kayna ının kaynak bölgesine ait analizler görülmektedir.



**ekil 4.24** Fe<sub>26</sub>Al alaımının 100V kaynak geriliminde bakır kaplı çelik saplama ile yapılan kayna ın geçi bölgesi analizi.

Yukarıda verilen çizgi analizi incelendi inde saplamadan intermetali e do ru gidildikçe ye il ile çizilen Fe pikleri daha dengeli seyrederken Al ait piklerde daha iddetli dalgalanmalar meydana gelerek dü ü meydana gelmi tir. Bu duruma kaynak sırasında malzeme içerisine giri yapan ısı enerjisi etkisiyle intermetalikten saplamaya do ru Al geçi i meydana gelmesidir. Saplamadan Fe<sub>26</sub>Al alaımına do ru Fe transferi ise daha sınırlı seviyede kalmı ve ye il çizgi ile gösterilen Fe piklerinde daha dengeli dalgalanmaların meydana gelmesine sebebiyet vermi tir.

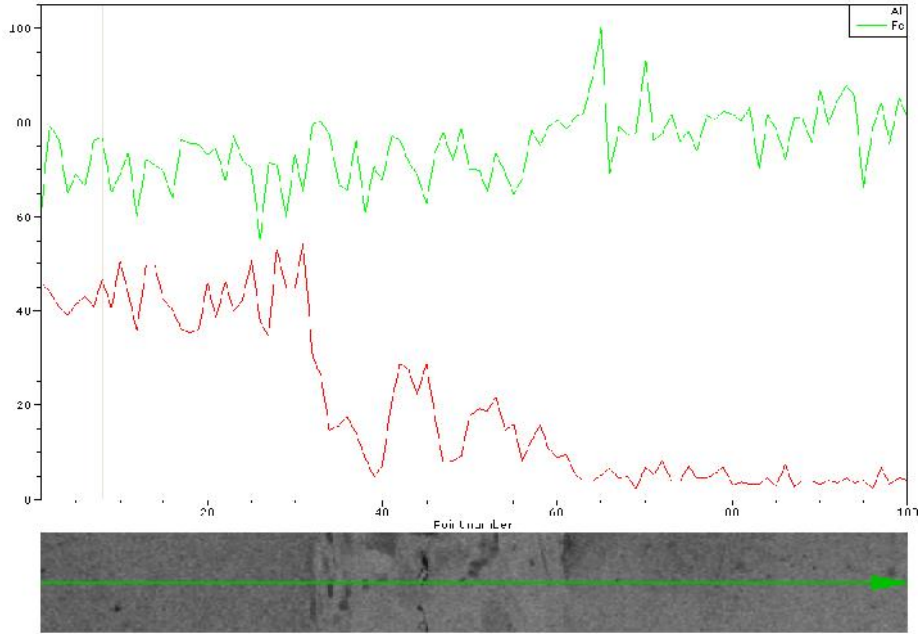
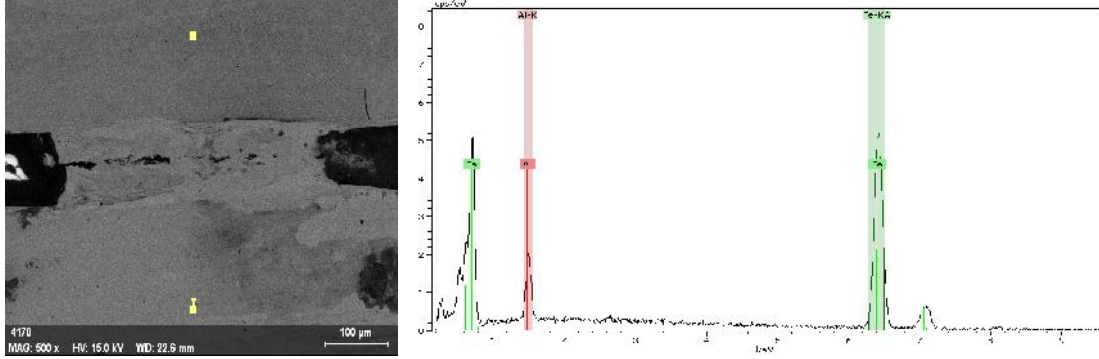
ekil 4.25'te 130V kaynak geriliminde yapılan Fe<sub>26</sub>Al bakır kaplı çelik saplama kayna ına ait elemental analize ait sonuçlar verilmi tir.



**ekil 4.25** Fe26Al ala ımının 130V kaynak geriliminde bakır kaplı elik saplama ile yapılan kayna ın geçi bölgesi analizi.

Elde edilen sonuçlar 1 1 ında geçi bölgesi dikkatlice incelendi inde kırmızı çizgi ile gösterilen Al piklerinin Fe26Al ala ımından saplamaya Al geçi i sebebiyle arttı ı görülmektedir. Daha sonra Al piklerinde bir d ü görülmektedir. Kaynak geçi bölgesinin bazı kısımlarında ısı tesiri ile intermetalik ve saplama yüzeyinden malzeme kopması meydana gelmi ve kopan malzeme kaynak sırasında basınc etkisi ile saplama ilerine do ru ilerlemi tir. Fe pikleri ise elik ve intermetalik malzemelerin do asından dolayı yine dengeli seviyede seyretmi tir.

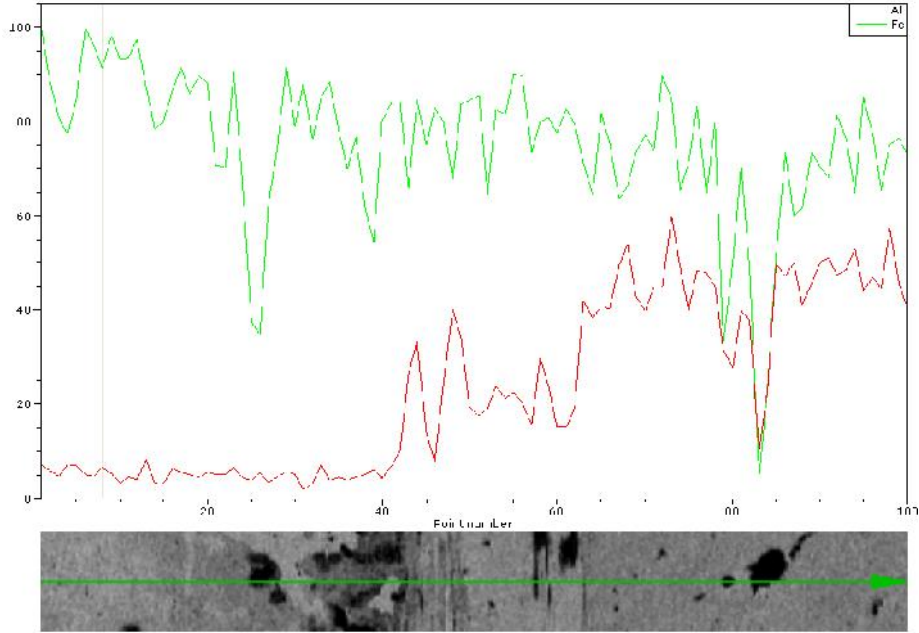
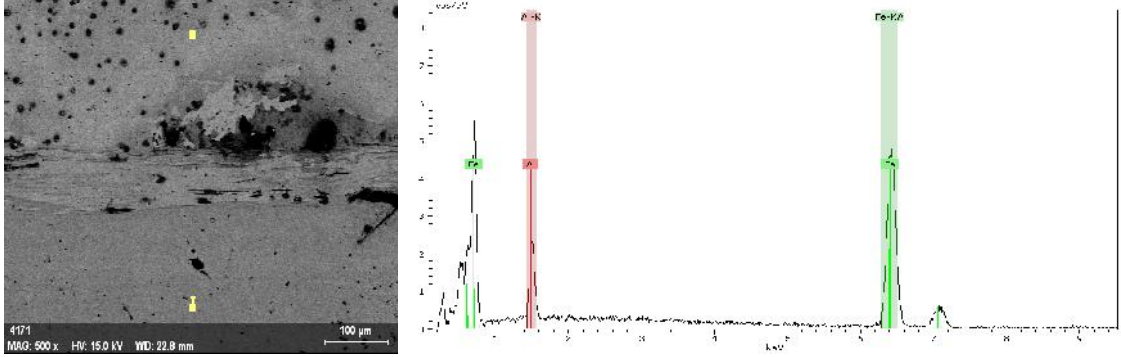
A a ıda 150V kaynak geriliminde yapılan Fe26Al bakır kaplı çelik saplama kayna ına ait elemental analiz sonuçlar görölmektedir.



**ekil 4.26** Fe26Al ala ımının 150V kaynak geriliminde bakır kaplı çelik saplama ile yapılan kayna ın geçi bölgesi analizi.

Fe26Al ala ımından saplama ya do ru yapılan çizgisel analiz incelendi inde kaynak birle me bölgesinde Al ait piklerin ani bir dü ü gösterdi i ve daha sonra bir artı e iliminde oldu u görölmektedir. Bu durum intermetalikten saplama ya do ru Al geçi inin bir göstergesidir. Geçi bölgesinde saplama ve intermetalik malzemeler arasında nüfuziyet meydana gelmi tir.

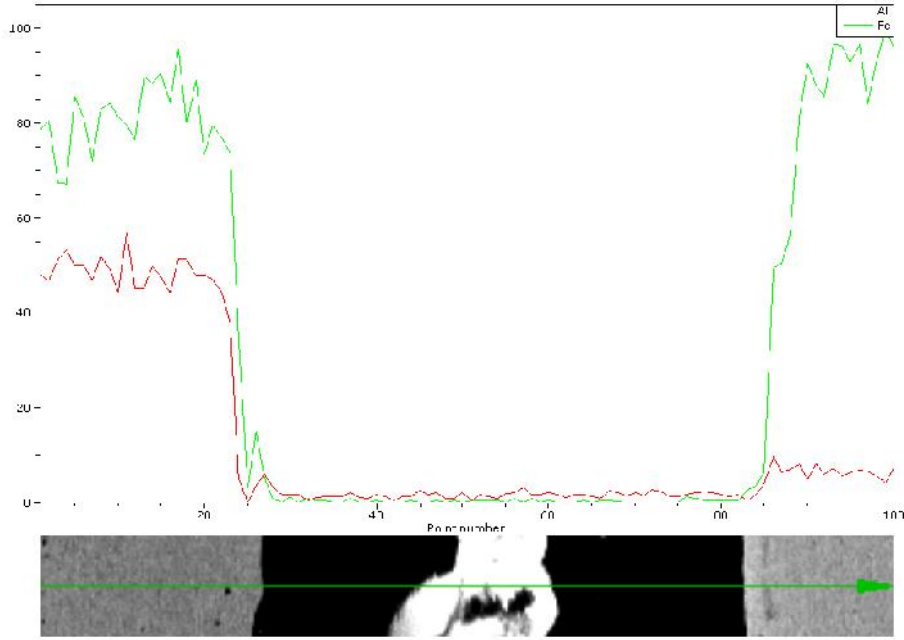
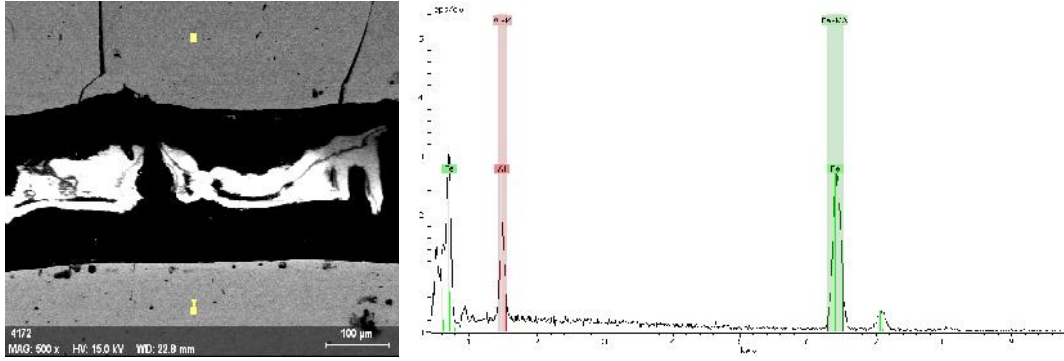
A a ıda Fe26Al ala ımının 170 V kaynak geriliminde bakır kaplı elik saplama ile birle tirilmesi sonucu elde edilen analiz sonuçları görülmektedir.



**ekil 4.27** Fe26Al ala ımının 170V kaynak geriliminde bakır kaplı elik saplama ile yapılan kayna ın geçi bölgesi analizi.

ekil 4.27’de verilen çizgisel analiz sonuçlarına göre saplamadan Fe26Al ala ımına do ru gidildikçe Al miktarının geçi bölgesinden ba layarak artı gösterdi i görülmektedir. Bunun sebebi Fe26Al ala ımından saplamaya do ru Fe26Al geçi i oldu u geçi bölgesine ait mikroyapı resimlerinden anla ılmaktadır. Mikroyapı resimlerinde kaynak geçi bölgesinde daha koyu görülen bölgeler Alminyumca zengin bölgeler oldu u anla ılmaktadır.

ekil 4.28'de Fe26Al bakır kaplı çelik saplama çiftinin 200V kaynak geriliminde saplama kaynak tekni i ile birleştirilmesi sonucu ortaya çıkan kaynak bölgesinin analizleri verilmiştir.



**ekil 4.28** Fe26Al ala mının 200V kaynak geriliminde bakır kaplı çelik saplama ile yapılan kayna ın geçi bölgesi analizi.

Kaynak bölgesinden elde edilen mikroyapı ve çizgi analizi incelendi inde kaynak geçi bölgesinde bo luklu bir yapının ortaya çıktığı görülmektedir. Çizgi analizinde Fe ve Al ait pikler ani olarak dü ü göstermiş ve kaynak bölgesi boyunca dengeli bir eklede devam etmiştir. Saplama kısmına ula ıldı ında ise Fe pikleri artmış Al pikleri dü ük seviyede kalmıştır.

## 5. TARTI MA ve SONUÇ

Ark ergitme yöntemiyle üretilen Fe<sub>26</sub>Al, Fe<sub>30</sub>Al, Fe<sub>33</sub>Al ve Fe<sub>50</sub>Al ala ımları farklı kaynak gerilimleri kullanılarak bakır kaplı çelik, alüminyum ve paslanmaz çelik saplamlar ile birle tirilerek, bu malzeme çiftlerinin kaynaklanabilirli i, kaynak geçi bölgelerinin mikroyapısı ve saplama kaynak mukavemetleri incelenmi tir.

Elde edilen sonuçlar ı ı ında üretilen Fe-Al ala ımlarından en iyi kaynak kabiliyetine sahip intermetalik in Fe<sub>26</sub>Al ala ımı oldu u sonucuna varılmı tir. Fe<sub>26</sub>Al ile yapılan tüm kaynaklar ba arılı olmu tur. Saplama türüne göre kaynak kabiliyeti incelendi inde ise Fe-Al intermetalik malzemeler ile en iyi kaynak kabiliyetine sahip saplamanın paslanmaz çelik saplama oldu u sonucuna varılmı tir. Fe<sub>50</sub>Al ala ımında dü ük kaynak gerilimleri hariç tüm Fe-Al intermetalik malzemeler için paslanmaz çelik saplama ile yapılan saplama kaynakları ba arılı olmu tur. Paslanmaz çelik saplama demir oranının yüksek olması ve di er ilave ala ım elementlerinin varlı ı Fe-Al intermetalik malzemeler ile kaynaklanabilirli ini olumlu yönde etkiledi i dü ünülmektedir. Üretilen farklı bile imdeki Fe-Al intermetalik malzemeler açısından kaynaklanabilirlik de erlendirildi inde ise intermetalik bile iminde Fe oranının artması veya Al oranının azalması Fe-Al intermetalik malzemelerin farklı saplamlar ile kaynaklanabilirli ini olumlu yönde etkilemi tir.

Elde edilen mikroyapı görüntüleri, kaynak geçi bölgesi çizgisel analizler ve saplama kopartma testleri sonuçları ı ı ında kaynak geriliminin artması kaynak bölgesinde düzenli bir yapı olu masına katkıda bulunarak kaynak nüfuziyetinin ve mukavemetinin artmasına sebep oldu u görülmü tür. En yüksek kaynak mukavemetine Fe<sub>26</sub>Al-paslanmaz çelik saplama çiftinin birle tirilmesi sonucu elde edilmi tir.

Bu çalı ma kapsamında kar ıla ılan zorluklar ve elde edilen sonuçlar ı ı ında Fe-Al intermetalik malzemelerin saplama kayna ında malzeme yüzeylerine etki eden basıncın ve kaynak süresinin kontrol edilebilmesi veya malzemeler arasında bir kaynak dolgu malzemesinin kullanımının ara tırılması bu malzemelerin kaynaklanabilirli i konusunda yapılan ara tırmalar konuya yeni açılımlar getirerek Fe-Al intermetaliklerinin mühendislik malzemesi olarak kullanımlarına katkı sa layacaktır.

## 6. KAYNAKLAR

- Chambers. Harry A.,(1988) Principles and Practices of Stud Welding , *pci journal*.
- Çelikyürek . (2000) Vakumda ergitme yolu ile bazı düzenli metallerarası bile iklerin üretimi Yüksek lisans tezi. Osmangazi Üniversitesi.
- Çelikyürek, ., Gürler, R. (2007) The Determination Of Vacuum Melting Conditions For Some Intermetallic Compounds, *D.Ü. Fen Bilimleri Dergisi* **14**, pp.107-112.
- Do an, M. (2011) Mikrodalga Isıtma ile Sinterlenmi Fe-Al Toz Karı ımlarının Saplama Kayna ı ile Birle tirilmesi, Yüksek lisans tez, Afyon Kocatepe Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü dergisi*
- Ergin , N. (2007) Fe-Al intermetalik malzemenin basınç destekli yanma sentezi ile üretimi ve özelliklerinin iyile tirilmesi, Yüksek lisans tezi. Sakarya Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü dergisi*, Sakarya,102.
- Karaba , M.(2009) Fe-Ti-Al ntermetalik Malzemelere Ni Ve Co lavesinin Etkisinin ncelenmesi,Yüksek lisans tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü dergisi*
- I ık , M.F. (2007) Ti-Al intermetalik malzemelerin üretimi ve karakterizasyonu. Yüksek lisans tezi. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi ,75 s.,Karabük.
- Liu C. T., Steigler J. O., Froes H. F.,1992 , Metals Handbook 10<sup>th</sup> Ed. Vol. 2 ,Ordered Intermetallics, USA ,2555-2614.

Oskan, Ö.(2008), Co-Fe-Ta-B esaslı iri hacimli metalik cam malzemelerin sentezlenmesi ve karakterizasyonu / Synthesis and characterization of Co-Fe-Ta-B based bulk metallic glass materials” Yüksek lisans tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi.

Salamcı, E. (2004) ,Sprey Casting, G.Ü. *Fen Bilimleri Dergisi*, **17(2)**, pp. 155-173.

Sen, S., Stefanescu, D. M, (1989) ,Melting And Casting Processes For High-Temperature Intermetallics , J.O.M, vol. **43**, pp. 30-34.

## ÖZGEÇM

Adı Soyadı : Serhat GÜLEÇ  
Do um Yeri ve Tarihi : Polatlı/ANKARA - 29.08.1983  
Yabancı Dili : İngilizce  
İletişim (Telefon/e-posta) : 0505 730 84 02/serhat\_metal\_06@hotmail.com

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Polatlı Endüstri Meslek Lisesi - 2001  
Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi,  
Metal Eğitimi Bölümü - 2007  
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,  
Metal Eğitimi Ana Bilim Dalı - 2013

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : Orta Doğu Rulman Sanayi(2011-....)