

**T.C.
NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ALÜMİNYUM 6082 ALAŞIMINA Tİ-B ALAŞIMLAMA VE FERROBOR
TAKVİYESİNİN MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLER ÜZERİNDEKİ
ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Tezi Hazırlayan
Damla Zeynep KATILMIŞ**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Cemal ÇARBOĞA**

**Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Eylül 2021
NEVŞEHİR**

**T.C.
NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ALÜMİNYUM 6082 ALAŞIMINA Tİ-B ALAŞIMLAMA VE FERROBOR
TAKVİYESİNİN MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLER ÜZERİNDEKİ
ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Tezi Hazırlayan
Damla Zeynep KATILMIŞ**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Cemal ÇARBOĞA**

**Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Eylül 2021
NEVŞEHİR**

TEŞEKKÜR

Araştırma konumun seçiminde ve araştırmalarım süresince; çalışmamın gerçekleştirilmesinde, değerli bilgilerini benimle paylaşan, ne zaman danışsam büyük bir sabırla ve ilgiyle bana faydalı olabilmek için elinden gelenden fazlasını sunan, her sorun yaşadığımda yanına çekinmeden gidebildiğim, samimiyetini ve güleryüzünü benden esirgemeyen kıymetli hocam, danışmanım, Doç. Dr. Cemal ÇARBOĞA'ya teşekkürü bir borç biliyor ve şükranlarımı sunuyorum.

A-BAP-20F13 nolu projeme katkılarından dolayı Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca bana yardımcı olan, görüş ve desteklerini sunan Arş. Gör. Dr. Serkan DAL ve Yüksek Mühendis Yusuf KARACA'ya teşekkür ederim.

Çalışmam süresince maddi manevi hiçbir desteğini benden esirgemeyen ve her zaman yanımda olan, yaşamımda eşsiz bir yere sahip olan eşim Ahmet KATILMIŞ'a sevgilerimi ve teşekkürlerimi sunarım.

Beni bu günlere sevgi ve saygı kelimelerinin manalarını bilecek şekilde yetiştirerek getiren ve hiçbir zaman benden desteğini esirgemeyen bu hayattaki en büyük şansım olan aileme sonsuz teşekkürler...

**ALÜMİNYUM 6082 ALAŞIMINA Tİ-B ALAŞIMLAMA VE FERROBOR
TAKVİYESİNİN MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLER ÜZERİNDEKİ
ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI
(Yüksek Lisans Tezi)**

Damla Zeynep KATILMIŞ

**NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Eylül, 2021

ÖZET

Alüminyum döküm endüstrisi gereksinimler doğrultusunda günden güne büyümektedir. Alüminyum metali, hafif bir metal alaşımı olmasının yanı sıra, kolay dökülebilir olmaları, yüksek mukavemet ve korozyona karşı dirençli olması, özgül ağırlık ve ısıl genleşmelerinin düşük, ısıl iletkenliklerinin yüksek olması nedenleri ile teknolojik bir öneme sahiptirler. Fakat kaba taneli yapısı ve nispeten düşük mekanik özellikleri sebebiyle kullanımı kısıtlanmaktadır.

Bu çalışmada 6082 alüminyum alaşımına farklı oranlarda Al-Ti-B alaşımı, farklı oranlarda 25 µ'luk ferrobör tozu ve Al-Ti-B+Ferrobör ilave edilerek üç tür malzeme elde edilmiştir. Deney yapımındaki amaç oluşturulan malzemenin mekanik özelliklerinin geliştirilebilirliğinin incelenmesidir.

Elde edilen malzemelerin, yapılan optik incelemelerinde belirgin farklılıklar görülemediği. Vickers sertlik yöntemi kullanılarak mikrosertlikleri ölçülmüş ve katkı maddesi ilavesi arttıkça mikrosertliklerinde 6082 alüminyum alaşımına göre mikrosertliklerinin arttığı gözlenmiştir. XRD analizlerinde ise bör, titanyum, alüminyum, AlB_{12} ve TiB_2 görülmektedir. SEM EDS analizlerinde ise noktasal analizler ve Mapping çalışmaları yapılmış ve börün genellikle homojen dağılım sergilerken titanyumun yer yer belirli bölgelerde yoğunlaştığı gözlenmiştir. Elde edilen sonuçlar literatür ile karşılaştırılarak tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Alüminyum, Bor, Titanyum, Kompozit, Alaşımlama
Tez Danışmanı: Doç. Dr. Cemal ÇARBOĞA
Sayfa Adedi:101

**INVESTIGATION OF THE EFFECT OF TI-B ALLOYING AND FERROBOR
REINFORCMENT ON ALUMINUM 6082 ALLOY ON MICROSTRUCTURAL
AND MECHANICAL PROPERTIES**

(M. Sc. Thesis)

Damla Zeynep KATILMIŞ

**NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

September, 2021

ABSTRACT

The aluminum casting industry is growing day by day in line with the requirements. In addition to being a light metal alloy, aluminum metal has a technological importance due to its easy castability, high strength and resistance to corrosion, low specific gravity and thermal expansion, and high thermal conductivity. However, its use is restricted due to its coarse-grained structure and relatively low mechanical properties.

In this study, three types of materials were obtained by adding Al-Ti-B alloy in different proportions, 25 µ ferroborate powder and Al-Ti-B+Ferrobor in different proportions to 6082 aluminum alloy. The purpose of the experiment is to examine the improveability of the mechanical properties of the created material.

No significant differences were observed in the optical examinations of the obtained materials. Microhardness was measured using the Vickers hardness method and it was observed that the microhardness of the 6082 aluminum alloy increased as the additive addition increased. XRD analyzes show boron, titanium, aluminum, AlB_{12} and TiB_2 . In SEM EDS analyzes, point analyzes and Mapping studies were performed and it was observed that while boron generally exhibited a homogeneous distribution, titanium concentrated in certain regions from place to place. The obtained results were discussed by comparing with the literature.

Keywords: Aluminum, Boron, Titanium, Composite, Alloying

Thesis Supervisor: Assoc. Dr. Cemal ÇARBOGA

Page Number:101

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
ÖZET.....	ii
İÇİNDEKİLER	iv
TABLolar LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	vii
RESİMLER LİSTESİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	x
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
ALÜMİNYUM	3
2.1. Alüminyumun Kullanım Alanları	4
2.2. Alüminyum Üretimi	6
2.3 Alüminyum Alaşımaları.....	8
2.4 Alüminyum Alaşımalarının Sınıflandırılması.....	9
2.4.1 Dövme Alüminyum Alaşımalarının Sınıflandırılması.....	10
2.4.2 Döküm Alüminyum Alaşımalarının Sınıflandırılması	10
2.5 Alüminyumun Mekanik Özellikleri	11
2.6 Alüminyumun Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	12
BÖLÜM 3	13
BOR VE TİTANYUM METALLERİ	13
3.1. Borun Tarihçesi.....	13
3.2. Bor Genel Bilgiler	14
3.2.1. Açık Ocak Yöntemi	14
3.2.2. Kapalı Ocak Yöntemi.....	14
3.2.3. Çözelti Madenciliği Yöntemi	15
3.2.4. Boraks Üretimi	17
3.2.5. Borun Sektörel Kullanım Alanları	18
3.3. Titanyum Genel Bilgiler	20
3.3.1. Titanyumun Tarihçesi ve Önemi.....	20
3.3.2. Titanyum Metalinin Özellikleri	21
BÖLÜM 4	27
ALÜMİNYUM VE BOR (Al-B) SİSTEMİ.....	27

BÖLÜM 5	31
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	31
5.1. Kullanılan Malzemeler.....	32
5.2 Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Cihazlar	34
5.7. X-Işını Kırınımı Analizi (XRD).....	41
BÖLÜM 6	43
DENEY SONUÇLARI ve TARTIŞMA	43
6.1 Optik Mikroskop Analizi ve Tartışma	43
6.2 Mikrosertlik Deney Sonuçları ve Tartışma	49
6.3 XDR Analiz Sonuçları ve Tartışma	50
BÖLÜM 7	83
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	83
KAYNAKÇA	84

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1.	Elemental alüminyumun özellikleri.	4
Tablo 2.2.	Alüminyumun kullanım alanları.	5
Tablo 2.3.	Alüminyumun önemli mekanik özellikleri	11
Tablo 2.4.	Alüminyumun önemli fiziksel ve kimyasal özellikleri.	12
Tablo 3.1.	Elemental bor özellikleri.	13
Tablo 3.2.	Ticari öneme sahip başlıca bor mineralleri.	16
Tablo 3.3.	Dünya bor tüketiminin sektörel dağılımı.	18
Tablo 3.4.	Bazı özel bor kimyasalları için kullanım alanları.	19
Tablo 3.5.	Elemental titanyum özellikleri	21
Tablo 3.6.	Titanyumun diğer metallerle karşılaştırmalı bazı özellikleri.	22
Tablo 3.7.	Titanyum alaşım elementleri ve titanyum yapısına etkileri.	24
Tablo 3.8.	Titanyum alaşımlarının genel özellikleri.	26
Tablo 5.1.	Deneysel çalışmalarda kullanılan 6082 alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi.	32
Tablo 5.2.	Deneylerde kullanılan Al-Ti-B malzemesi.	33
Tablo 5.3.	Deneysel çalışmalarda kullanılan ferrobör malzemesinin kimyasal bileşimi.	34
Tablo 5.4.	Elde edilen farklı borlu alüminyum malzemelerin kimyasal bileşimi.	37
Tablo 6.1.	Döküm deney numunelerine ait mikrosertlik testi sonuçları.	49

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil 2.1.	Bayar prosesi ile alümina üretimi.	7
Şekil 2.2.	Alüminyumun eldesi	8
Şekil 2.3.	Ana alüminyum alaşımları.	9
Şekil 3.1.	Bor tüketiminin nihai kullanım alanlarına göre dağılımı	19
Şekil 3.2.	Ti-Sn, Ti-Al, Ti-Mo ve Ti-Mn için faz diyagramları	23
Şekil 3.3.	Titanyum alaşımlarının özelliklerine mikro yapının ve alaşım elementlerinin etkisi.	25
Şekil 4.1.	Al-B faz diyagramı.	27
Şekil 4.2.	Al-B faz diyagramı (peritektik sıcaklık bölgesi)	29
Şekil 4.3.	Taramalı elektron mikroskopik ikincil elektron görüntüsünde AlB_2 'nin kristal şekli.	30
Şekil 4.4.	AlB_2 görünümünün kristal yapısı (perspektif)	30
Şekil 5.1.	Deneysel çalışma sistematığı.	31
Şekil 6.1.	4,5 ve 6 nolu numunelere ait kısmi XRD analizleri.	50
Şekil 6.2.	Numunelere ait XRD analizleri.	51

RESİMLER LİSTESİ

Resim 5.1.	Deneyleerde kullanılan alüminyum malzeme.	32
Resim 5.2.	Deneyleerde kullanılan Al-Ti-B malzemesinin döküm öncesi hali	33
Resim 5.3.	Deneyleerde kullanılan 25µ boyutlarındaki ferrobor tozu	34
Resim 5.4.	Deneyleerde kullanılan malzemelerin ergitildiği potalar	35
Resim 5.5.	Ergitme işleminde kullanılan kül fırın ve potanın fırın içerisindeki görünümü	35
Resim 5.6.	Deneme çalışmalarında kullanılmak üzere hazırlanan kokil kalıp.	36
Resim 5.7.	Döküm sonrası soğumaya bırakılan kokil kalıp	36
Resim 5.8.	Döküm kalıbından çıkan deney numunesi ve kesilmiş numune	38
Resim 5.9.	Optik mikroskop sistemi	39
Resim 5.10.	SEM analiz cihazı.	40
Resim 5.11.	Mikrosertlik deney cihazı	41
Resim 5.12.	X-Işını kırınımı (XRD) cihazı.	42
Resim 6.1.	1 nolu 6082 alüminyum alaşımı içeren numune mikro yapısı.	43
Resim 6.2.	2 nolu Al+Ferrobor içeren numune mikro yapısı.	44
Resim 6.3.	3 nolu Al+Ferrobor içeren numune mikro yapısı.	45
Resim 6.4.	4 nolu Al+Al-Ti-B içeren numune mikro yapısı.	46
Resim 6.5.	5 nolu Al+Al-Ti-B içeren numune mikro yapısı.	47
Resim 6.6.	6 nolu Al+Al-Ti-B+Ferrobor içeren numune mikro yapısı.	48
Resim 6.7.	1 nolu 6082 alüminyum alaşımı içeren numunenin SEM görüntüsü ve noktasal analizleri	55
Resim 6.8.	1 nolu 6082 alüminyum alaşımı içeren numunenin Mapping analizi. . .	56
Resim 6.9.	2 nolu Al+Ferrobor alaşımı içeren numunenin SEM görüntüsü ve noktasal analizleri	60

Resim 6.10.	2 nolu Al+Ferrobor alaşımı içeren numunenin Mapping analizi.	61
Resim 6.11.	3 nolu 6082 Al+Ferrobor içeren numunenin SEM görüntüsü ve noktasal analizleri	65
Resim 6.12.	3 nolu 6082 Al+Ferrobor içeren numunenin Mapping analizi.	66
Resim 6.13.	4 nolu Al+Al-Ti-B içeren numunenin SEM görüntüsü ve noktasal analizleri	70
Resim 6.14.	4 nolu Al+Al-Ti-B içeren numunenin Mapping analizi.	71
Resim 6.15.	5 nolu Al+Al-Ti-B içeren numunenin SEM görüntüsü ve noktasal analizleri	75
Resim 6.16.	5 nolu Al+Al-Ti-B içeren numunenin Mapping analizi.	76
Resim 6.17.	6 nolu Al+Al-Ti-B+Ferrobor içeren numunenin SEM görüntüsü ve noktasal analizleri	80
Resim 6.18.	6 nolu Al+Al-Ti-B+Ferrobor içeren numunenin Mapping analizi.	81

SİMGELER VE KISALTMALAR

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
SEM	Scanning Electron Microscope
XDR	X ışını kırınımı
HMK	Hacim Merkezli Kübik
YMK	Yüzey Merkezli Kübik
EDS	Energy Dispersive Spectrometry
M.Ö	Milattan Önce
kg	Kilogram
cm	Santimetre
yy	Yüzyıl
gr	gram

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
B	Bor
Ti	Titanyum
Cu	Bakır
Si	Silisyum
Fe	Demir
Mn	Mangan
Mg	Magnezyum
Zn	Çinko
Cr	Krom
J	Joule
M	Metre
K	Kelvin
HCl	Hidroklorik asit
Ω	ohm

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Günümüzde otomobil, kamyon, gıda ve içecek ambalajları, bina inşaatları, elektrik iletimi, ulaştırma altyapılarının geliştirilmesi, savunma ve havacılık ekipmanları, üretim, makine üretimi ve dayanıklı tüketim ürünlerinin üretimi konularında hafif metal alaşımlarının önemi giderek artmaktadır [1]. Hafif metal alaşımlardan biri olan alüminyum ve alaşımları kolay dökülebilir olmaları, yüksek mukavemet ve korozyona karşı dirençli olması, özgül ağırlık ve ısıl genleşmelerinin düşük, ısıl iletkenliklerinin yüksek olması ve uygun mekanik özellikler göstermeleri nedenleriyle teknolojik bir öneme sahiptirler [2]. Bu öneme rağmen, kaba taneli yapısı ve nispeten düşük mekanik özellikleri sebebiyle kullanımını kısıtlanmaktadır.

Alüminyum, titanyum ve bor alaşımları üzerine yapılan literatür incelemesi yapıldığında;

Çağlar ve Kurnaz (2003), sıkıştırma döküm yöntemiyle üretilen Ti-B ilaveli ZA-12 alaşımının özelliklerini incelemiştir. Ti-B oranı arttıkça tane boyutunun küçüldüğü, malzemenin mukavemetinin ve sertliğinin arttığı tespit edilmiştir.

Çolak ve Kayıkcı (2009), alüminyum alaşımlarında tane inceltme mekanizmaları, tane inceltmede titanyum ve bor elementlerinin etkisi ve tane inceltmenin besleme üzerine etkisini incelemiştir. Titanyum ve borun birlikte katılması neticesinde oluşan TiB_2 bileşiğinin iyi bir çekirdekleyici olduğu ve TiB_2 partiküllerinin sıvı alüminyum içerisinde neredeyse hiç çözülmeyecek düşük oranlarında dahi mükemmel tane inceltme sağladığı görülmüştür. Elde edilen tane inceltme sayesinde dökülebilirliği artmaktadır.

Yılmaz (2012), saf titanyum malzemesinin yüzeyinde titanyum-alüminyum intermetalığı oluşturmuştur. Numunelerin yüzeyleri kaplama sayısı arttıkça daha az pürüzlülük sergilediğini görmüşlerdir. Yüzeyden alınan sertlik değerlerinde parametrelere bağlı olarak büyük oranda bir farklılık görülmemiştir. Kaplamanın yapışma karakterini incelemek amacıyla yapılan Rockwell C testi kaplamanın yeterli yapışma sergilediğini göstermiştir.

Demirok (2019), yaptığı çalışmada Al ve Al-Cu sıvı matrisler içerisinde TiB_2 partiküllerinin sentezlenmesini hedeflemiştir. Savurma tekniği ile fonksiyonel derecelendirilmiş kompozitlerin üretimi ve özelliklerini incelemiştir. 10kg yük altında 5mm çapında bilye kullanılarak yapılan Brinell sertlik testi sonucunda kalıp dış cidarından içeriye doğru sertlik değerleri TiB_2/Al kompozit 110 için sırasıyla ortalama 56,5 HB'den 19 HB'ye şeklinde değiştiği, $TiB_2/Al-Cu$ için ise 115,3 HB'den 70 HB'ye kadar değiştiğini görmüşlerdir. 180 grid zımparada 1 N ve 2 N yükler altında 75 m aşınma mesafesinde yapılan abresiv aşınma deneyleri sonuçlarında TiB_2/Al ve $TiB_2/Al-Cu$ kompozitlerinde artan yük ile birlikte kalıp dış cidarından içeriye doğru ağırlık kaybı miktarlarının arttığı görülmüştür.

Öztürk (2019), çalışmasında 3 farklı miktarda Sr, Al_5Ti_1B ve Al_3B modifiyeli A356 alaşımının sertlik ve korozyon özelliklerini incelemiştir. Kokil kalıp döküm numuneleri, kum kalıp döküm numunelerine göre, soğuma hızından dolayı daha ince mikro yapıya sahip olduğunu görmüştür. Tane inceltme işleminin AlB ile yapıldığı numunelerde yapının diğer döküm numunelerine oranla daha küresel ve homojen olduğu görülmüştür.

Elmusa(2020), çalışmasında titanyum diborür takviyeli alümina kompoziti, $Al-Ti-B_2O_3$ başlangıç tozlarıyla mekanokimyasal yöntemi ile sentezlemiştir. Genelde SEM analizi ile yapılan mikro yapı karakterizasyonu dikkate alındığında; mekanokimyasal sentez süresinin artmasıyla partikül morfolojisinin değiştiği ve takviye faz ile matris fazın birbirine karışarak homojen bir yapıya dönüştüğü görülmüştür.

Bu çalışmada 6082 alüminyum alaşımına, farklı oranlarda ve farklı formlarda (toz, metal) bor ve titanyum ilave edilerek kompozit numuneler oluşturulmuştur ve bu işlemle performans iyileştirilmesi hedeflenmiştir. 6082 alüminyum alaşımı ve elde edilen numunelerin SEM analizleri, XDR testi, sertlik testi yapılmış olup mekanik özellikleri karşılaştırılarak tartışılmıştır.

BÖLÜM 2

ALÜMİNYUM

Hafif bir metal olan alüminyumun atom numarası 13, yoğunluğu $2,70 \text{ gr/cm}^3$ 'tür. Alüminyum doğada saf halde bulunmamaktadır, silikat ve oksit bileşikler halindedir. Yer kabuğunun yaklaşık %8'ini oluşturur. Bileşikler halinde var olan alüminyum diğer metallere nazaran daha fazla bulunur. Buna rağmen metal olarak 19. yüzyılın ilk yarısında üretilmiştir. Bunun sebebi ise doğada alüminyumun oksit şeklinde bulunması ve bu bileşiğin indirgenebilmesi için yüksek enerji gerektirmesidir. Bunu sağlayabilecek teknolojik yöntemler ise ilk kez 19. yüzyılda uygulanabilmiştir [3].

Alüminyum mühendislik açısından son derece faydalı bir malzemedir. Diğer metallerle kıyaslandığında birçok üstün özelliği bulunmaktadır. Bu özellikler;

- Hafif olması,
- Dövülebilirliği,
- Yumuşaklığı,
- Kolay şekillendirilebilirliği,
- Çekilebilir,
- Geri dönüştürülebilir,
- Korozyona karşı yüksek dirençli,
- Yüksek ısı ve elektrik iletkenliği,
- Isı ve ışığı yansıtabilmesi,
- Uzun ömürlü olması,
- Renkli (boyanabilir) olması,
- Teknolojik olması,
- Yaygın bir ürün olması,
- Alaşımlandığında yeterli dayanım değerlerine ulaşmasıdır [4].

Alüminyumun bazı karakteristik özellikleri Tablo 2.1.'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Elemental alüminyumun özellikleri

Sembol	Al
Atom numarası	13
Atom Ağırlığı (gr)	26,98
Yoğunluk (g/cm ³)	2,7
Ergime Noktası (°C)	660,3
Kaynama Noktası (°C)	2470

2.1. Alüminyumun Kullanım Alanları

Çevreye verilen zararın ve enerji tüketiminin en aza indirilmek istenmesi sebebiyle alüminyumun kullanım alanları hızla artmaktadır. Neredeyse %100 oranında geri dönüşümü yapılabildiğinden, ulaşım sektöründe ve yiyecek-içecek paketlemede tercih edilme oranı yükselmektedir.

Yüksek elektrik iletkenliğinin olması nedeniyle, elektrik iletim hatlarında kullanılan malzemelerde kullanılmaya başlanmıştır. Isı ve ışık yansıtıcılığının iyi olması nedeniyle, aydınlatma aksamalarında da kullanılmaktadır. Elektrik mühendisliği uygulamalarında, alüminyum kablolu uzun yıllardır temel bir unsur olsa da, gittikçe daha fazla sayıda üretici çeşitli uygulamalar için alüminyuma yöneliyor.

Alüminyum, mikro parçacıklar haline getirildiğinde büyük bir ısı açığa çıkarak yanması sebebiyle, roketlerde yakıt olarak kullanılabilir. Alüminyum, mikro parçacıklar haline getirildiğinde büyük bir ısı açığa çıkarak yanması sebebiyle, roketlerde yakıt olarak kullanılabilir.

Alaşımlandırılması durumunda alüminyumun mukavemeti demire yaklaştığından ve aynı zamanda hafif olduğundan otomotiv endüstrisinde kullanılmaktadır.

Hafif olması, yüksek korozyon direnci ve geri dönüştürülebilirliği gibi özellikleri nedeniyle de inşaat sektöründe de kullanılmaktadır [5].

1000 serisi alaşımları; UV ışığına, nem ve kokuya karşı iyi korozyon direnci ve bariyer özellikleri nedeni ile gıda ambalajları ve folyo ürünlerinde kullanılır.

Alüminyum, binalarda çok çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. Pencere ve önceden şekillendirilmiş sac kaplamalar, kapılar, mağazalar ve prestijli binalar için cepheler, mimari donatılar ve çatı kaplama ürünleri bunlar arasında bulunmaktadır.

Makine mühendisliği söz konusu olduğunda ise, alüminyum alaşımların kullanım alanları çok geniştir. Tasarıma elverişli bir ürün olduğundan robotik uygulamalar, şişirme kalıbı, enjeksiyon kalıbı ve daha birçok kalıp uygulamasında kolaylıkla kullanılabilir [6].

Alüminyumun kullanım alanlarının yüzdelik oranları Tablo 2.2.'de verilmiştir.

Tablo 2.2. Alüminyumun Kullanım Alanları [7]

Sektör	Oranı(%)
İnşaat	25
Ulaşım	24
Ambalaj	15
Elektrik/Elektronik	10
Genel Mühendislik	9
Mobilya/Ofis Eşyaları	6
Demir Çelik/Metalurji	3
Kimya ve Tarım Ürünleri	1
Diğer	7

2.2. Alüminyum Üretimi

120 yıldan fazla zamandır alüminyumun ticari olarak üretimi vardır. Alüminyum metalürjisinin tarihi gelişimi kronojik sıraya göre şöyledir;

1807: Sir Humphery Davy alüminanın metal alüminyum ihtiva ettiğine inanmaktadır. Yaptığı denemelerde ne kadar başarısız olsa da elektroliz yöntemi ile metal alüminyumu izole etmeye çalışmıştır.

1821: M.P.Berthier, Güney Fransa'da alüminyum ihtiva eden bir mineral keşfetti. Keşfedilen minerale buluşun yapıldığı yerin adından dolayı Bauxite (Boksit) adı verildi.

1825: Christain Qrsted potasyum amalgam kullanarak alüminyumu kimyasal indirgeme yöntemi ile çok küçük miktarda üretmeyi başardı.

1827: Friendrich Wöhler, Berlin'de çok az miktarda alüminyum üretimini laboratuvarında başarmıştır.

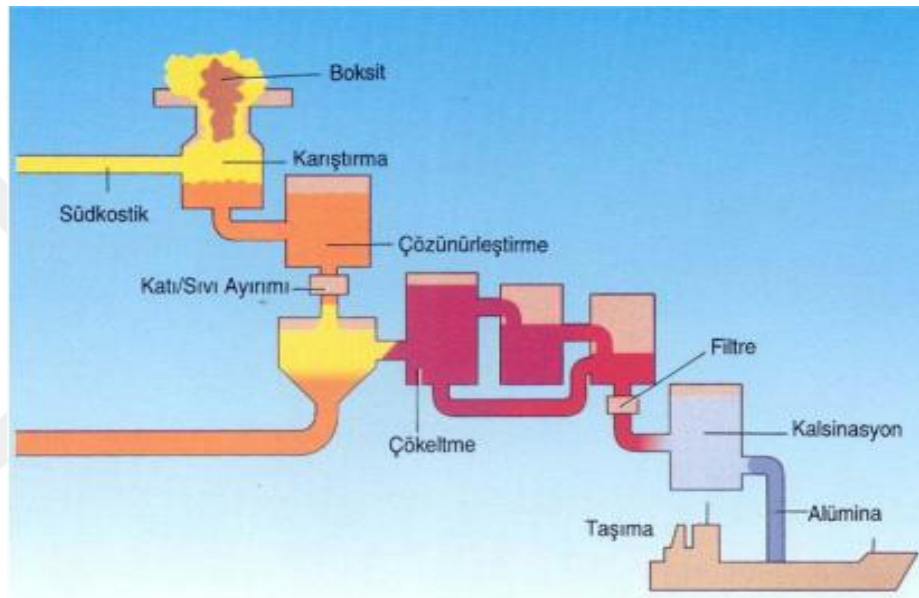
1845: Wöhler çok küçük boyutlarda alüminyum topları üretti.

1886: Paul T. Heroult Nisan'da Paris'te ve Charles M. Hall Temmuz'da ABD'de, birbirinden habersiz bir şekilde, elektroliz yolu ile yüksek saflıktaki alüminadan alüminyum üretimi için patent başvurusunda bulunmuşlardır. Bu yöntem alüminyum üretiminde halen kullanılmaktadır.

1887/88: K. J. Bayer, boksitten, alümina Al_2O_3 ayrıştırma prosesini geliştirmiştir. Heroult, Neuhausen'de ilk elektroliz fabrikasını alüminyum üretimi için kurdu.

1892: K. J. Bayer'in, boksitten alümina eldesini sağlayan Bayer prosesinin temel prensibi olan boksitin sodyum hidroksit çözeltisi ilavesi ile yüksek basınç ve sıcaklık altında çözünürleştiğinin ilk patentini almıştır. Elde edilen gelişme ile endüstriyel çaptaki alüminyumun üretimi çok kolaylaşmıştır. Bu genç metal, yıllar içerisinde dünyada demir çelikten sonra en çok kullanılan ikinci metal olmuştur[8].

Boksit cevheri üretimi genelde açık ocak işletme tekniğiyle yapılmaktadır. Alümina üretiminden işlenen boksitlerin min. %40 Al_2O_3 , max. %15 SiO_2 içermesi gerekmektedir. Silis modülü olarak rapor edilen bu oranın (Al_2O_3/SiO_2) işlem öncesi en az 6-7 civarında olması istenmektedir. Birincil alüminyum üretiminde sarf edilen boksitlerin minerolojik ve kimyasal bileşenlerine bağlı, üretim rakamları ise yaklaşık 4-5 ton boksitten 2 ton alümina elde edilirken, 2 ton alüminadan da 1 ton alüminyum elde edilmektedir [9].

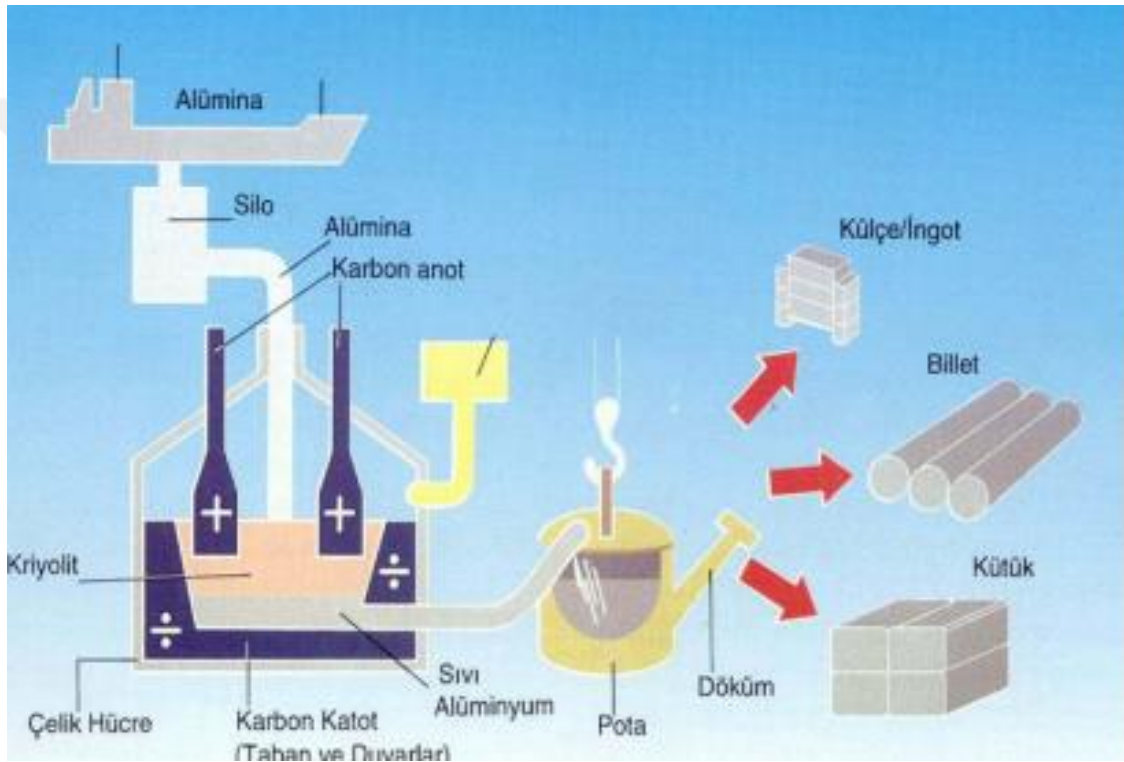


Şekil 2.1. Bayer prosesi ile alümina üretimi[8]

İki aşamada gerçekleşen birincil alüminyum eldesinde, birinci aşamada Bayer metodu ile boksitten alümina üretilir. İkinci aşamada ise, elektroliz yöntemi ile alüminadan alüminyum üretilir [10]. Bayer prosesi ile alümina üretimi Şekil 2.1.'de gösterilmektedir.

Alümina tesisleri, genellikle boksit cevherlerinin yanına kurulur ve madenden çıkarılan boksit cevheri, NaOH(Südkostik) eriyiği ile işleme alınarak alüminyum hidroksit elde edilmiştir. Alüminyum hidroksit eldesi sonucunda çözünmeyen kalıntılar (kırmızı çamur) ayrılır. Alümina yani alüminyum oksit alüminyum hidroksitin kalsinasyonu ile elde edilir. Alümina üretiminde ortaya çıkan kırmızı çamur, portland çimentosu ve plastik sektöründe pigment olarak tekrar kullanılmaktadır [8].

Bu aşamadan sonra ise alümina alüminyuma dönüştürülür. Beyaz toz görünümünde olan alümina, alüminyumu metalik halde indirgemek amacıyla elektroliz yapılacağı hücrelere alınır. Buradaki amaç; hidrojenin bulunmadığı bir ortamda karbon esaslı hazne katod ve yine karbon esaslı anod arasında düşük voltaj ve yüksek akım elektrik arki oluşturularak Al_2O_3 'dan Al metali elde edilmesidir. Elektroliz işlemi için 4-5 volt gerilimde doğru akım uygulanır. İşlemin tamamlanması için dipte biriken alüminyumun alınır [8].



Şekil 2.2. Alüminyumun eldesi [8]

2.3 Alüminyum Alaşımları

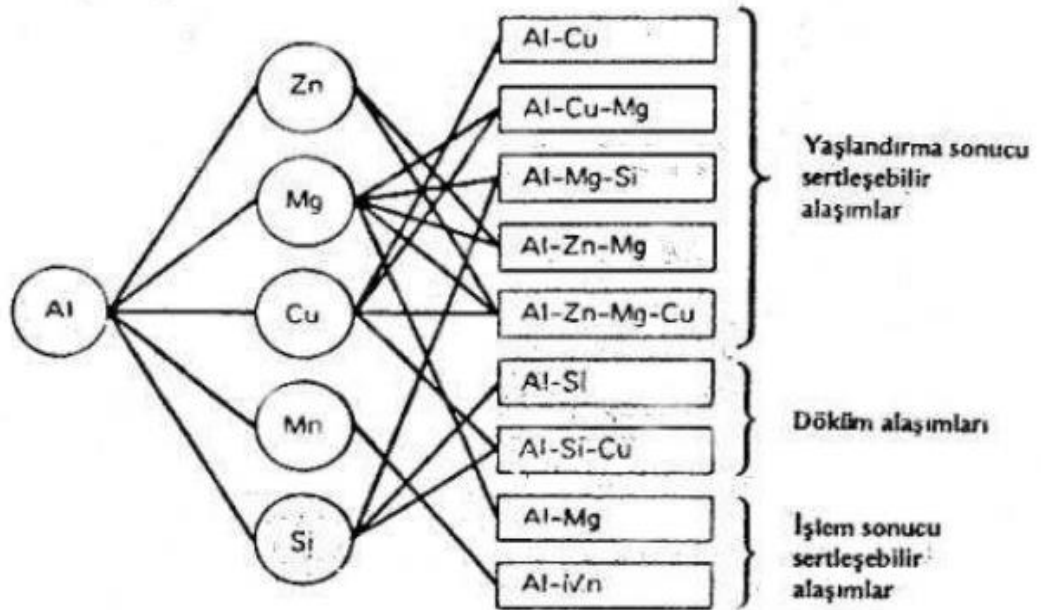
Hafif alaşımlar olarak bilinen alüminyum alaşımları Cu, Zn, Si, Mg, Fe, Mn, Ti, Ni vb. ilaveleriyle oluşturularak dökümleri gerçekleştirilir. Çekme, haddeleme ve dövme ile şekillendirilerek üretimi yapılır. Alüminyum alaşımları başlıca; elektrik , gıda, kimya, ulaşım, inşaat gibi farklı endüstriyel alanlarda kullanılmaktadır. Korozyon ve mekanik özelliklerinin yüksek olması, hafif olmasından dolayı kullanım alanlarının geniş olması üretim taleplerinin artmasını sağlamıştır [11].

Alaşımlama işlemi ile metalde oluşan değişimler aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Oda sıcaklığı direnci, sürtünme ve yorulma dayanımı ve sertleşebilirlik gibi mekanik özellikler,
- İşlenebilirlik, dökülebilirlik ve kaynaklanabilirlik gibi proses özellikleri,
- Tokluk, sertlik, sıcaklığa, soğuğa, aşınmaya ve korozyona direnci gibi servis özellikleri,
- Yoğunluk, elastik modülü, manyetik ve elektriksel özellikleri gibi fiziksel özellikleri[11].

2.4 Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması

Döküm ve dövme alaşımları olarak iki gruba ayrılan alüminyum alaşımlarından dövme alaşımları, plastik şekillendirilebilirlikleri döküm alaşımlarına göre daha iyidir [11].



Şekil 2.3. Ana alüminyum alaşımları (Murphy, 1935)

2.4.1 Dövme Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması

1XXX, 3XXX, 4XXX ve 5XXX serileri ısıtılma işlemi uygulanmayan alaşımlardan olup sadece şekil değiştirerek sertleşebilme özelliğine sahiptir. 2XXX, 6XXX, 7XXX, 8XXX serileri ise ısıtılma işlemi ile sertleşebilme kabiliyetine sahiptir [11].

2.4.2 Döküm Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması

Döküm alaşımlarını sınıflandırmak için üç basamaklı ve bir de ondalık basamağa sahip bir sistem kullanılır. Örneğin; 340.1 gibi. Bu sistematik sadece döküm alaşımlarda kullanılır [11].

Yapılan sınıflandırma aşağıdaki gibidir:

1XX.X serisi: %99 veya daha fazla Al(Alüminyum) içeren döküm alaşımlarıdır.

2XX.X serisi: Asıl alaşım elementi Cu (Bakır) olan döküm alaşımlarıdır.

3XX.X serisi: Asıl alaşım elementi Si (Silisyum) ve Cu (Bakır) ve/veya Mg (Magnezyum) olan döküm alaşımlarıdır.

4XX.X serisi: Asıl alaşım elementi Si (Silisyum) olan döküm alaşımlarıdır.

5XX.X serisi: Asıl alaşım elementi Mg (Magnezyum) olan döküm alaşımlarıdır.

6XX.X serisi: Kullanılmayan seridir.

7XX.X serisi: Asıl alaşım elementi Zn (Çinko) olan döküm alaşımlarıdır.

8XX.X serisi: Asıl alaşım elementi Sn (Kalay) olan döküm alaşımlarıdır.

9XX.X serisi: Diğer elementler [11].

Üç basamaklı sayıyla sınıflandırılması yapılmış alaşımın ilk rakamından yapıdaki ana alaşım elementi belirlenebilir. Fazla sayıda alaşım çeşidi mevcut olduğundan bu alaşım serilerini sınıflandırmak için alaşım kodlarına A,B gibi harfler ilave edilmektedir. Örnek olarak 355 alaşımının A355, B355 ya da F355 olmak üzere çok sayıda çeşitleri bulunmaktadır. Bunlar arasında ilavesi yapılmış elementler açısından farklılıklar bulunmaktadır [12]. Bu alaşımlar, üç basamaklı sayıların sonuna da ondalık bir basamak eklenebilir. Örneğin; 355.2 alaşımı gibi.

XXX.0: Döküm parçası.

XXX.1: Dökümlerde kullanılacak ingot.

XXX.2: Dökümlerde kullanılacak ve nispeten kompozisyon aralığı dar olan ingot [11]. Sınıflandırmanın sonunda bulunan ondalık basamaktaki 0 rakamı döküm parçalarını, 1 ve 2 ise döküm prosesleri için ergitilecek ingot alaşımlarını işaret etmekte olup XXX.1 şeklinde gösterilen alaşımların hurdadan üretilmiş alüminyum ingotlarını, XXX.2 şeklinde gösterilen alaşımlarında birincil alüminyumdan üretilen ingotlar olduğunu belirtir. Sınıflandırılmış alaşımın sonunda örneğin; XXX.1 varsa döküm parçası değil, döküm parçasını elde etmek için ergitilecek ingotun türünü işaret eder [11].

Alüminyum alaşımlarına ilave edilen elementler major, minör, mikro yapı değiştirici ve empürite olarak sınıflandırılmaktadır, ancak bazı alaşımlardaki empürite elementleri başka bir alaşımda major element olabilmektedir [13].

Major elementler Si (Silisyum), Mg (Magnezyum) ve Cu (Bakır);

Minor elementler Sn (Kalay) ve Ni (Nikel);

Mikro yapı değiştirici elementler B (Bor), Ti (Titanyum), Cr (Krom), Mn (Mangan), Be (Berilyum), P (Fosfor) ve Sr (Stronsiyum);

Empürite elementleri Zn (Çinko), Cr (Krom) ve Fe (Demir)' dir [13].

2.5 Alüminyumun Mekanik Özellikleri

Alüminyuma ait bazı önemli mekanik özellikler Tablo 2.3.'de verilmiştir.

Tablo 2.3. Alüminyumun önemli mekanik özellikleri [14]

Mekanik Özellikler	Alüminyum
Gerilmede elastikiyet modül, (kg/cm ²)x10 ³	703
Çekme dayanımı(kg/cm ²)	914
Akma dayanımı (kg/cm ²)	356
Uzama (5 cm de), (%)	40
Alan küçülmesi (%)	38
Sertlik	23 HBN
Büzülme dayanımı (100 saatte %1 uzama) (kg/cm ²)705°C	200

2.6 Alüminyumun Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Alüminyuma ait bazı önemli fiziksel ve kimyasal özellikler Tablo 2.4.'de verilmiştir.

Tablo 2.4. Alüminyumun önemli fiziksel ve kimyasal özellikleri [15]

Fiziksel ve Kimyasal Özellikler	Alüminyum
Atom numarası	13
Element serisi	Metaller
Grup, periyot, blok	3A,3,p
Görünüş	Gümüşümsü
Atom ağırlığı	26,9815386(8) g/mol
Elektron dizilimi	[Ne] 3s ² 3p ¹
Enerji seviyesi başına elektronlar	2,8,3
Genel faz hali	Katı
Yoğunluk (katı)	2,70 g/cm ³
Sıvı haldeki yoğunluğu	2,375 g/cm ³
Ergime sıcaklığı	660,32°C
Kaynama noktası	2519 °C
Ergime ısısı	10,71 kJ/mol
Buharlaşma ısısı	294,0 kJ/mol
Isı kapasitesi	24,2 (25°C) J/(mol·K)
Kafes yapısı	Yüzey merkezli kübik
Yükseltgenme seviyeleri	(3+) (amfoter oksit)
Elektronegatifliği	1,61 Pauling ölçeği
İyonlaşma enerjisi	577,5 kJ/mol
Atom yarıçapı	125 pm
Atom yarıçapı(hes)	118 pm
Kovalent yarıçapı	118 pm
Elektriksel öz direnci	26,50 Ω·m (20 °C'de)
Isıl iletkenlik	237 W/(m·K)
Isıl genleşme	23,1 µm/(m·K) (25 °C'de)
Ses alüminyumda yayılma hızı	5000 m/s (20 °C'de)

BÖLÜM 3

BOR VE TİTANYUM METALLERİ

3.1. Borun Tarihçesi

Bor mineralleri içerisinde eski zamanlarda ticari yapılan ilk madde boraktır. M.Ö. 2000 yıllarında Babilliler, altının işlenmesi için boraksı uzak doğudan almışlardır. Eski Mısır ve Roma döneminde, sert borosilikat camının hazırlanmasında yine boraks kullanışlardır. M.S. 300 yıllarında Boraks kaplamaları biliniyordu. Arap kimyacısı Jabin İbn Haiyan, kendi notlarında baurach kelimesini boraks için kullanmıştır. O dönemlerde söz konusu madde Tibet'ten gelmiştir. Marco Polo 13.yy'da gerçek boraks örneklerini Moğalistan'dan Avrupa'ya getirmiş, bu maddeye Sanskrit (eski Hindu) dilinde, "tincans" denilmesi sebebiyle "tincal" (tinkal) denilmiştir. Flux (katkı) olarak bilinen bu madde 1556 yılında G. Agricola, Dere Metallica'yı yayınladığında, Avrupa'da boraks olarak yaygın bir şekilde kullanılıyordu.

1702 yılında tinkal için gerçek kimyasal araştırmalar başlamış. G. Hamberg borik asiti elde edebilmek için boraksı demir sülfatla karıştırmıştır. 1935 yılı itibariyle çeliklerde de bor kullanılmaya başlanmıştır. 1941'de Jominy Testinin bulunuşuyla da bor maddesinin çeliklerde kullanımı yaygınlaşmıştır [16].

Borun bazı karakteristik özellikleri Tablo 3.1.'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Elemental bor özellikleri

Sembol	B
Atom numarası	5
Atom Ağırlığı (gr)	10,81
Yoğunluk (g/cm ³)	2,34
Ergime Noktası (°C)	2076
Kaynama Noktası (°C)	3927

3.2. Bor Genel Bilgiler

Doğada B_{10} ve B_{11} olarak isimlendirilen iki ayrı kararlı izotopu bulunan bor elementinde izotopların doğada bulunma oranları sırasıyla %19,1-20,3 ve %79,7-80,9'dir. Çok yüksek termal nötron tutma özelliği gösteren B_{10} izotopu, bu özelliği sayesinde nükleer malzemeler ve nükleer santrallerinde kullanılabilir [17].

Birbirinden bağımsız şekilde Sir Humphry Davy isimli İngiliz kimyacı ve Fransız kimyacı Baron Louis Thenard ile Gay-Lussac tarafından elementel bor ilk kez 1808 yılında bulunmuştur [18].

Bor, metal ile ametal arası yarı iletken özelliklere sahip, atom numarası 5, atom kütlesi 10,8 ve periyodik tabloda B simgesiyle gösterilen, yoğunluğu $2,84 \text{ g/cm}^3$ ve ergime noktası 2200°C olan bir elementtir. Bor mineralleri, sularla çözelti olarak yada doğada diğer mineral ve kayalarla birlikte bulunmaktadır [18].

Minerallerin buldukları derinliğe, yere ve fiziksel özelliklere göre üç çeşit çıkarma yöntemi kullanılmaktadır.

3.2.1. Açık Ocak Yöntemi

Dünyada kullanımı en fazla tercih edilen yöntemlerden birisi açık ocak yöntemidir. Tabakanın fiziksel özelliklerine göre cevherin üzerindeki örtü tabakası delme-patlatma ile gevşetilir. Daha sonra örtü tabakası cevherin üzerinden alınarak cevher çıkarılır. Yerküreye yakın tabakalarda oluşan bor mineralleri bu yöntem ile çıkarılır. Ekskavatör ve loderler bu işlemler sırasında kullanılır. Açık ocak yöntemiyle üretim yapmakta olan bulunan ülkeler arasında Amerika, Türkiye, Şili, Arjantin, Rusya ve Çin bulunmaktadır [18].

3.2.2. Kapalı Ocak Yöntemi

Açık ocak yöntemiyle çıkarılması maliyetli ve zor olan cevherlerin çıkarılması için yeraltı madenciliği olarak da bilinen bu yöntem kullanılır. Cevherin üzerinde bulunan örtü tabakası sert ve kalın bir yapıya sahip olduğunda üst kısımdan kırılarak alınması zahmetli ve zor olmaktadır. Bu nedenle örtü tabakasına tünel açılarak (delinerek) alınır.

Ülkemizde bulunan Biga yatakları bu türdendir. Amerika (Billie Madeni, Death Valley) ve Çin (Lioning)'de yukarıda bahsedilen bu yöntemi kullanmaktadır [18].

3.2.3. Çözelti Madenciliği Yöntemi

Sularda bulunan bor minerallerinin çıkarılmasında diğer bir yöntem ise çözelti madenciliği yöntemidir. Su yatağına %5 oranında HCl ekleyip 8-9 saat beklenir. Sonrasında çözelti yüzeye pompalanır. Kireç eklenir ve %43 bor oksit içeriğine sahip kolemanit üretilir[18].

Cevher zenginleştirme ise bu yöntemlerle çıkarılan cevherlerin değerli kesimlerini, niceliklerini, taş, toprak ve işe yaramayan başka özelliklerden ayırıp artırmaya denir.

Çok çeşitli bileşik yapma kapasitesine sahip olan bor elementinin, sanayinin vazgeçilmez hammaddelerinden bir tanesi olmasının nedeni, nötronları sönümlene özelliğine sahip olmasıdır.

Bor 3A grubunda bulunan tek ametal olması nedeniyle metallerin ve ametallerin arasında özelliklere sahiptir. Bor küçük bir atomdur ve bu onu özel bir element haline getirmektedir. Kovalent bağ oluşturur ve bunun sebebi ise elektronların çok sıkı tutmasıdır. Bu sebeple gruptaki diğer atomların yaptığı gibi bileşiklerinde +3 iyon halinde bulunmaz. Bileşiklerinde ise +3 değerlikli olduğu kabul edilmektedir [17,18].

Bor mineralleri doğal bileşiklerdir. Yapılarında bor oksit (B_2O_3) farklı oranlarda barındırılmaktadırlar. Doğada 230 civarında bor minerali bulunur. Başlıca ticari bir öneme sahip olanlar; szaybelit, kolemanit, üleksit, kernit, pandermite, tinkal, borasit ve hidroborasit'tir. Tablo 3.2.'de bu minerallerin B_2O_3 içerikleri ve kimyasal formülleri verilmektedir[17].

Tablo 3.2. Ticari Öneme Sahip Başlıca Bor Mineralleri [19]

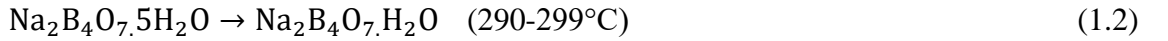
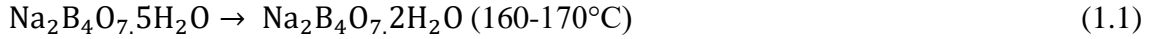
Mineral	Formülü
Kermit	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Tinkalkonit	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
Tinkal	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
Probertit	$\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
Üleksit	$\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$
Kolemanit	$\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
Meyerhofferit	$\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
İnyoit	$\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 13\text{H}_2\text{O}$
Pandermit	$\text{Ca}_4\text{B}_{10}\text{O}_{19} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
İnderit	$\text{Mg}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 15\text{H}_2\text{O}$
Hidroborasit	$\text{CaMgB}_6\text{O}_{11} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Borasit	$\text{Mg}_3\text{B}_7\text{O}_{13}\text{Cl}$
Aşarit	$\text{Mg}_2\text{B}_2\text{O}_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Datolit	$\text{Ca}_2\text{B}_2\text{Si}_2\text{O}_9 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Sassolit(Doğal borik asit)	H_2BO_3
Boraks (Tinkal)	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$

Türkiye’de kalsiyum bazlı kolemanit, sodyum bazlı tinkal ve sodyum+kalsiyum bazlı üleksit yaygın olarak bulunan bor mineralleridir. Bu mineraller zenginleştirilmek amacıyla önce fiziksel işlem uygulanır ve (konsantre bor) sonrasında çeşitli bor kimyasallarında dönüştürülmek için rafine edilir. Ancak ifade kolaylığı için ‘‘Bor’’ bu ürünlerin tamamı olarak adlandırılmaktadır [17].

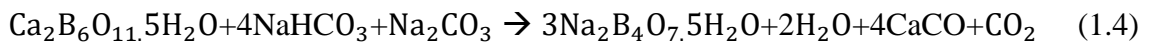
Genellikle renksiz ve saydam şekilde doğada bulunur. Bazı maddelerin etkisiyle gri, pembe ve sarımsı renklerde de bulunabilmektedir. Suyunu kaybederek tinkalkonite dönüşebilir. Ülkemizde Eskişehir-Kırka yataklarında üretilmektedir [20].

3.2.4. Boraks Üretimi

Boraks, bor cevherinden kristallendirme yöntemiyle elde edilmektedir. Genel olarak tabiatta boraks Tinkalkonit ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) ve Tinkal ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) şeklinde bulunmaktadır. Tinkal cevheri Eskişehir'e bağlı Kırka ilçesindeki sahalarda üretilmektedir. Boraks üretimi Türkiye'de Tinkalden yapılmaktadır. Su ile birlikte yaklaşık olarak 10 mm boyutundaki konsantre tinkal reaktöre beslenir ve çözme işlemi yaklaşık 100°C 'de sağlanmaktadır. Tinkaldeki kil uygun çöktürücü kullanılarak (koloidal halde olduğundan) çöktürülerek çözeltiden ayrılır. Bu çökeleğe slam denilmektedir. Boraks çözeltisi de katalizöre verilmek üzere filtrepiresten geçirilir. Boraks 40°C 'de kristallendirilir ve bir santrifüje verilerek %5 oranında nem bulunduracak şekilde alınır. Sonrasında 60°C 'de kurutularak depolanır. En önemli boraksler ise; susuz boraks ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$), boraks pentahidrat ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) ve sodyum tetraborat dekahidrat ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)'tir. Boraks tinkal minerali olarak adlandırılmaktadır. 50°C 'de boraks dekahidrat ısıtıldığı zaman boraks pentahidrat elde edilmektedir. $160\text{-}170^\circ\text{C}$ 'de boraks pentahidrat ısıtıldığı zaman boraks dihidrat, $290\text{-}299^\circ\text{C}$ 'de boraks mono hidhidraya ve $400\text{-}450^\circ\text{C}$ 'de susuz boraksa dönüşür [21].



Kolemanitten de ayrıca boraks elde edilebilmektedir. %50 daha fazla sodyum karbonat ve sodyum bikarbonatla öğütülmüş cevher (20 gr) reaksiyona sokulur. Manyetik karıştırıcıyla yaklaşık olarak 30 saat 368°K civarında karıştırılarak reaksiyon gerçekleştirilir. Meydana gelen kalsiyum karbonat çamuru karışım sıcak olarak süzülüp ayrılır. Buharlaştırılarak süzüntü 100 mL hacme indirilir. Kendi halinde bir gece bırakılır ve sonrasında süzülerek oluşan boraks kristalleri çözeltiden ayrılmaktadır [21].



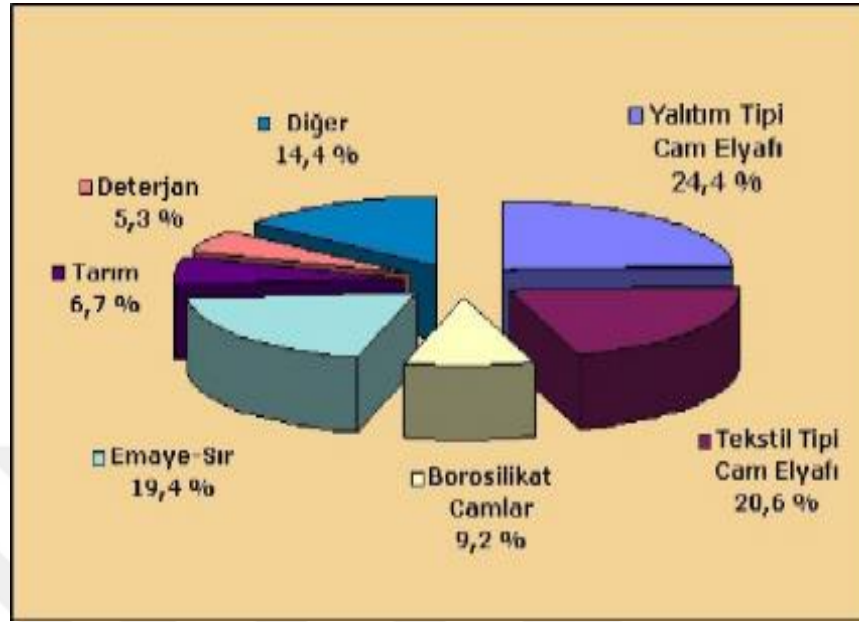
3.2.5. Borun Sektörel Kullanım Alanları

Bor konsantre olarak veya bor kimyasalları olarak kullanım alanı olan sektörlerde tüketilmektedir. Bor ürünleri; tarım, cam sanayi, nanoteknolojiler, metalurji, askeri araçlar, sağlık, ahşap koruma, yakıtlar ve polimerik malzemeler, seramik, elektronik-iletişim sektörü, uzay-hava araçları, otomotiv ve enerji sektörü, kimya ve deterjan sektörü, nükleer uygulamalar, inşaat vb. pek çok alanda kullanılmaktadır. Son zamanlarda bor kaya gazı sektöründe de kullanım alanına sahip olmaya başlamıştır. Kapanma riskini azaltan etkisiyle çatlakların basınç düşmelerinde hidrolik çatlatma sıvısında kullanılmaktadır. Tüketimi henüz az olmasına rağmen büyüme gösteren bir sektör potansiyeline sahiptir [18].

Tablo 3.3. Dünyadaki bor tüketiminin sektörel dağılımı[22]

Kullanım Alanı	Dağılım	
	Miktar (Bin Ton B_2O_3)	%Pay
Yalıtım Tipi Cam Elyafı	440	24,4
Tekstil Tipi Cam Elyafı	370	20,6
Borosilikat Camlar	165	9,2
Emaye-Sır	350	19,4
Tarım	120	6,7
Deterjan	95	5,3
Diğer Alanlar	260	14,4
TOPLAM	2800	100

Borun genel kullanım alanlarının Şekil 3.1.'de % dağılım oranları görülmektedir.



Şekil 3.1. Bor tüketiminin nihai kullanım alanlarına göre dağılımı [22]

Tablo 3.4. Bazı özel bor kimyasalları için kullanım alanları[23]

Ürün	Kullanım Alanları
Amorf Bor	Askeri Piroteknik
Kristalin Bor	Nükleer Silahlar ve Nükleer Güç Reaktörlerinde Muhafaza
Bor Halidleri (Tuzları)	İlaç Sanayi, Katalistler, Elektronik Parçalar, Bor Flamentleri ve Fiber Optikler
Özel Sodyum Boratlar	Fotoğrafçılık Kimyasalları, Yapıştırıcılar, Tekstil ‘‘Son İşlem’’ Bileşikleri, Deterjan ve Temizlik Malzemeleri, Yangın Geciktiricileri, Gübreler ve Zirai Araçlar
Fluoborik Asit	Kaplama Solüsyonları, Fluoborat Tuzlar, Sodyum Bor Hidrürler
Trimetil Borat	Sodyum Bor Hidrürler
Sodyum Bor Hidrürler(Sodyum Borohidrat)	Özel Kimyasalları Saflaştırma, Kağıt Hamurunu Beyazlatma, Metal Yüzeylerinin Temizlenmesi
Bor Esterleri	Polimerizasyon Reaksiyonları İçin Katalist, Polimer Stabilizatörleri, Yangın Geciktiricileri

3.3. Titanyum Genel Bilgiler

3.3.1. Titanyumun Tarihçesi ve Önemi

İngiliz mineral bilimcisi olan William Gregor, 1791 yılında, Madagaskar'daki Manakara bölgesi yakınlarındaki Karakum adı verilen yerde çalışmalarını sırasında özünü belirleyemediği bir metal olan titanyumu bulmuştur. Bu metale "Menakirit" ismi Manakara şehrinin isminden esinlenerek vermiştir. 1795'de Alman kimyacı Martin Heinrich Klaproth yaptığı çalışmaya istinaden bulduğu bu metalin yeni bir metal olduğunu ispat etmiş ve metale Yunan mitolojisinde toprağın ilk oğullarının isimleri olan "Titans"dan esinlenerek "Titanyum" adını vermiştir [24].

Oksijen ve azota yüksek afinitesi olan titanyumun saf olarak elde edilmesini zorlaştırmıştır. Bu sorun Dr. Wilhelm Kroll'nun 1938-1940 yıllarında geliştirdiği bir süreçle çözülmüştür. Bu proses "Kroll" işlemi olarak adlandırılmaktadır ve titanyum tetra klorürün ($TiCl_4$), koruyucu atmosferde magnezyum ile indirgenmesi temeline dayanmaktadır. Yapılan bu yöntem sonucunda süngerimsi yapıda bir titanyum elde edildiği için bu metal "titanyum süngeri" ya da "titanyum metali" olarak adlandırılmaktadır [25].

Dr. Kroll çalışmalarında ABD Maden Bürosu'ndan destek alması sonucunda titanyumun özellikleri keşfedilmiştir. Bulunan özellikler sayesinde ticari kurumların ilgisini çekmesi başarılmıştır. II.Dünya Savaşı'nın ardından titanyum metaline ait endüstri oluşmaya başlamıştır. Düşük yoğunluğu, doğada fazla bulunması ve korozyon direnci nedenleri ile titanyum bu derece ilgi görmektedir [25].

O dönemde titanyumun ABD Silahlı Kuvvetlerinin ilgisini çekmesinin nedeni metalin ticari olarak uygulanabilir olması ve özellikle yüksek sıcaklıklarda sahip olduğu mukavemeti sayesinde askeri donanımlarda nikel ve kobalt içeren alaşımlara seçenek olarak titanyum alaşımlarının araştırma ve geliştirme çalışmaları başlamıştır [25].

Titanyumun 1952'de uçuşunu yapmış olan DC-7 tip uçağında motor parçası olarak kullanımı ilk uygulamaya yönelik üretimdir. Zamanla titanyum alaşımları; kompresörün disk üretimlerinde, uçakların iskeletinde ve jet motorlarının kanatlarında

kullanılmıştır. Yapılan uygulamalar neticesinde titanyum sanayisinde 1952-1957 yılları arasında yükselme göstermiştir [25].

1979'da, elde edilen titanyum metalinin %37'si askeri uçaklarda, %35'i ticari uçaklarda, %28'i korozyona dair uygulamalarda kullanılmıştır. Yüksek özgül dayanımı olan titanyum alaşımları, Boeing 747, A300 Airbus, Lockheed L-1011 ve Douglas DC-10 gibi uçakların motorlarındaki bazı parçalarda kullanılmak amacıyla üretilmiştir [25].

1995'lerde ABD'deki titanyuma ait kullanımın %65'i uzay çalışma ve uygulamasında, kalan %35'i ise kimyasal endüstri, enerji santralleri, ordu donatım, denizcilik ve tıp çalışmalarında kullanılmıştır. 1995 yılından itibaren uzay sanayine ait buluşların artışıyla titanyumun öneminin de arttığı görülmektedir [24].

3.3.2. Titanyum Metalinin Özellikleri

Periyodik cetvelde 4. periyod 4. grupta bulunan ve bir geçiş elementi olan titanyumun atom ağırlığı 47,9 gram ve atom numarası 22'dir. Titanyuma ait bazı karakteristik özellikler Tablo 3.5.'de verilmiştir [25].

Tablo 3.5. Elemental titanyum özellikleri [25]

Sembol	Ti
Atom numarası	22
Atom Ağırlığı (gr)	47,9
Yoğunluk (g/cm ³)	4,51
Ergime Noktası (°C)	1812
Kaynama Noktası (°C)	3130

Oldukça yüksek mukavemete sahip olan titanyum, Tablo 3.6.'da sık kullanılan diğer metallerle temel özelliklerinin karşılaştırılmasıyla verilmiştir.

Tablo 3.6. Titanyum metalinin diğer metallerle karşılaştırmalı bazı özellikleri [25]

Özellikler	Ti	Fe	Ni	Al
Ergime Noktası (°C)	1670	1538	1455	660
Kristal Yapı	HMK	YMK	YMK	YMK
Elastiklik Modülü	115	215	200	72
Yoğunluk (g/cm ³)	4,5	7,9	8,9	2,7
Korozyona Direnç	Çok yüksek	Düşük	Orta	Yüksek
Oksijenle Reaktiflik	Çok yüksek	Düşük	Orta	Yüksek
Fiyat	Çok yüksek	Düşük	Yüksek	Orta

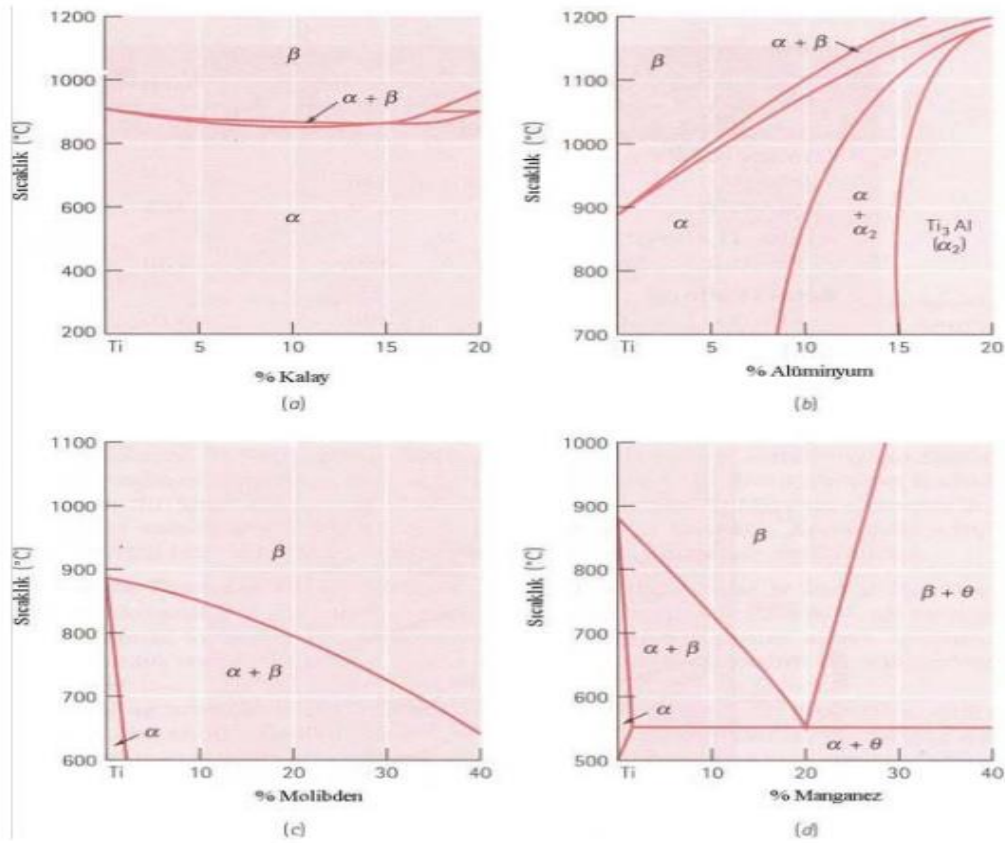
Titanyum metali ve titanyum alaşımları çeliklerle kıyaslandığında özgül mukavemet değerlerinin daha yüksek olduğu bilinmektedir. Titanyum metalinin yoğunluğu çeliğin %55'i kadar iken, alüminyum metalinden %60 daha yoğundur. Titanyumun dayanımını arttırmak için Al ve V gibi alaşım elementi ilave edilebilmektedir [25].

Titanyum metali ve titanyum alaşımlarının fiyatları yüksek olmasına karşın hafif olmaları, yüksek özgül mukavemetleri (mukavemet/yoğunluk), kuvvetli korozyon direnci ve yüksek sıcaklık değerlerinde gösterdiği iyi verim sebepleriyle bazı önemli çalışmalarda parçaların üretiminde arz edilen malzemelerdir [26].

Titanyum alaşımlarının korozyon direncinin iyi olması metal yüzeyinde kararlı ve sürekli koruyucu oksit filmlerinin metal oluşmasındandır. Korucuyucu TiO_2 filmi elektrokimyasal pasif bir film olduğundan titanyum alaşımının matrisine saldırıda negatif iyonları yavaşlatarak metalde korozyona karşı çok iyi direnç sağlar. 535°C'nin üstündeki sıcaklıklardaki oksit film koruyucu filmi parçalanır. Titanyum olabildiğince

reaktifdir ve oksijene karşı fazlasıyla yüksek afiniteye sahiptir. Zarar gören koruyucu filmin tekrar yenilenmemesi durumu, yani titanyumun korozyona uğraması oksijenin olmadığı susuz koşullarda gerçekleşebilir. Titanyum alaşımlarında oluşan koruyucu yüzey oksit tabakaların kalınlığı ve kompozisyonu çevresel etkilere bağlıdır. Sulu ortamlardaki en bilinen oksiti TiO_2 'dir, ancak TiO_2 , Ti_2O_3 ve TiO içeren diğer titanyum oksitlerinin karışımları da oluşabilir. Dahası alaşım elementlerinin de titanyumun korozyon dayanımına tesiri vardır. Titanyum Mo, Nb, Zr, Ta ve Pd vb. elementlerle alaşımlandırılarak korozyon karşısında daha dirençli olabilir [27].

Titanyum allotropik bir yapıya sahiptir. Düşük sıcaklıklarda hekzagonal sıkı paket (HSP) kristal yapısındaki alfa (α) faz yapısına sahipken, $882^\circ C$ 'nin üzerindeki sıcaklıklarda hacim merkezli kübik (HMK) kristal yapısı olan β fazına sahiptir. Kalay (Sn), alüminyum (Al), zirkonyum (Zr), molibden (Mo) ve mangan (Mn) gibi alaşım elementleri katı çözeltili sertleşmesi sağlar ve allotropik sıcaklığını değiştirir (Şekil 3.2.). Sn ve Zr dönüşüm sıcaklığına etki etmeden katı çözeltili sertleştirmesini sağlar [27].



Şekil 3.2. Ti-Sn, Ti-Al, Ti-Mo ve Ti-Mn için faz diyagramları [27]

Alaşım elementlerinin titanyumun mikro yapısında meydana getirdiği farklı fazlar Tablo 3.7.'de gösterilmiştir. Al ve Sn gibi metaller, oksijen (O), hidrojen (H) ametaller α fazı düzenleyici elementleri olarak α 'nın β 'ya dönüşümündeki sıcaklığı artırır. B faz düzenleyicileri vanadyum (V), niyobyum (Nb), tantal (Ta), molibden (Mo) dönüşüm sıcaklığını azaltır ve β 'nın oda sıcaklığında kararlı olmasına sebep olur. Mn, Fe ve Cr ötektik reaksiyona neden olur, bu sayede α - β dönüşümün olduğu sıcaklık dönüşümünün olduğu sıcaklık azalır ve oda sıcaklığında iki fazlı yapı meydana gelir. Faz sabitleyici olarak Al, oda sıcaklığından 550°C'ye kadar geniş bir aralıkta faal olarak kullanılabilmesi ve düşük yoğunluğuyla dikkat çeker. Oksijen ise, ticari saflıkta titanyum malzemelerde mukavemet ve imalat kolaylığı özelliklerinin oluşmasında kullanılmaktadır [27].

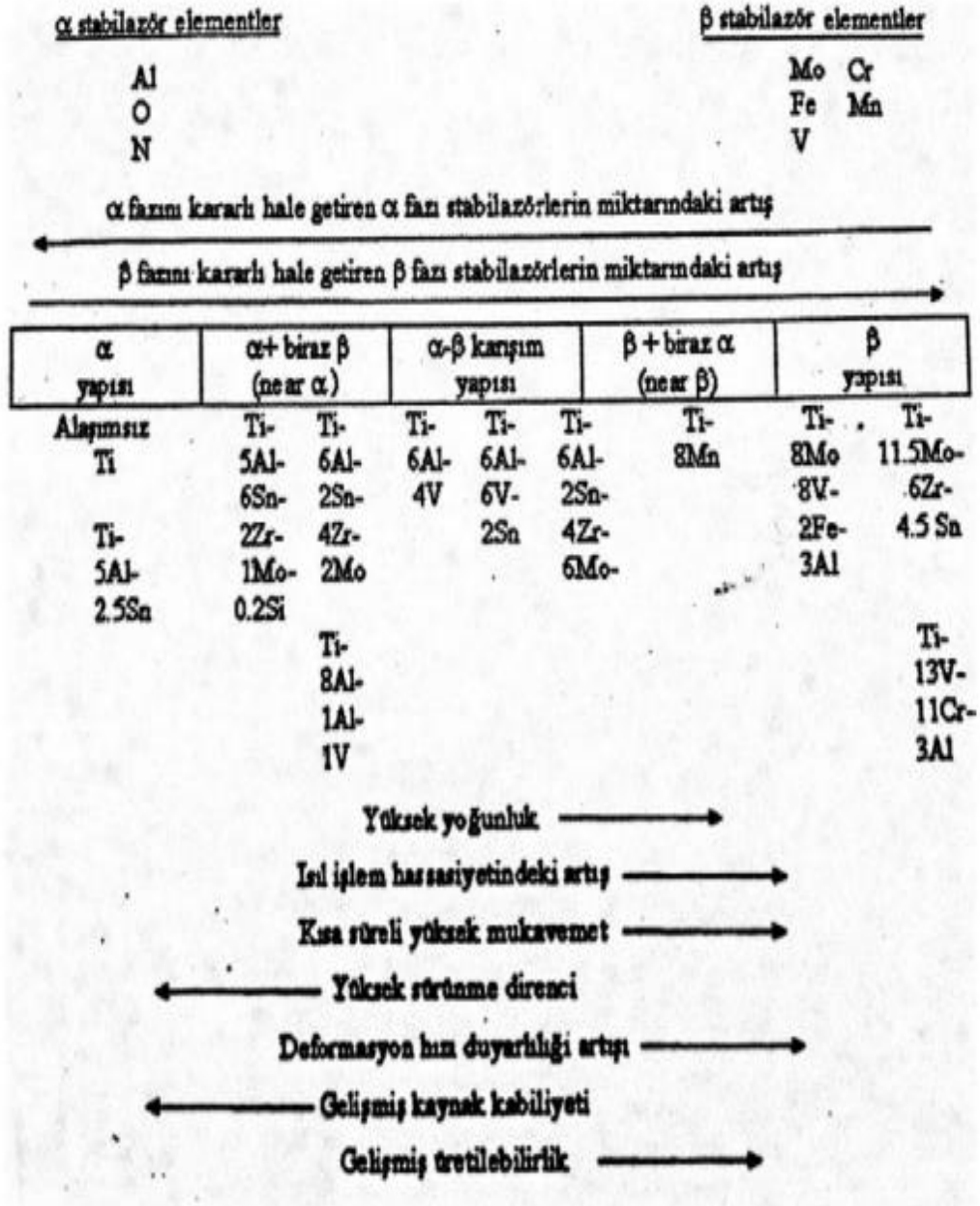
Tablo 3.7. Titanyum alaşım elementleri ve titanyumun yapısına etkileri [27]

Alaşım Elementi	Oranı (%)	Yapıdaki Etkisi
Alüminyum	2-7	α – dengeleyici
Kalay	2-6	α – dengeleyici
Vanadyum	2-20	β – dengeleyici
Molibden	2-20	β – dengeleyici
Krom	2-12	β – dengeleyici
Bakır	2-6	β – dengeleyici
Zirkonyum	2-8	Nötr
Silisyum	0,2-1	Sürünme dayanımını artırır

Titanyum metali kendi kendini yenileme özelliğine sahip olan ince ve kararlı TiO_2 tabakası korozyon çalışmalarında kendini ispat etmiştir. Fakat titanyum ve alaşımlarının sahip olduğu zayıf abrasif direnç, titreşimli aşınma davranışı ve yüksek sürtünme katsayısı gibi kötü tribolojik özellikler titanyumun uygulama alanlarını daraltmaktadır. Uygulama ve kullanım alanları önemsenerek bahsedilen bu olumsuz özellikler yüzey işlemleri ve kaplamalarla arz edilen seviyelere ulaştırılabilmektedir [27].

Titanyum alaşımları ihtiva ettikleri alaşım elementlerinin tesiriyle oluşan mikro yapılarına göre, α alaşımları, $\alpha+\beta$ alaşımları ve β alaşımları olmak üzere 3 farklı gruba

ayrılmaktadır. α ışınlarının mikro yapısına α faz oluştururken, β alaşımlarının mikro yapısında büyük oranda β fazı bulunmaktadır. A+ β alaşımlarında ise oda sıcaklığında hem α hem de β fazını bulunmaktadır. Yapısında β fazından daha fazla α faz bulunduran alaşımlara α yalın alaşımlar denilmektedir. Titanyum alaşımlarının özelliklerine mikro yapının ve alaşım elementlerinin etkisi Şekil 3.3.'de özetlenmiştir [26].



Şekil 3.3. Titanyum alaşımlarının özelliklerine mikro yapının ve alaşım elementlerinin etkisi [26]

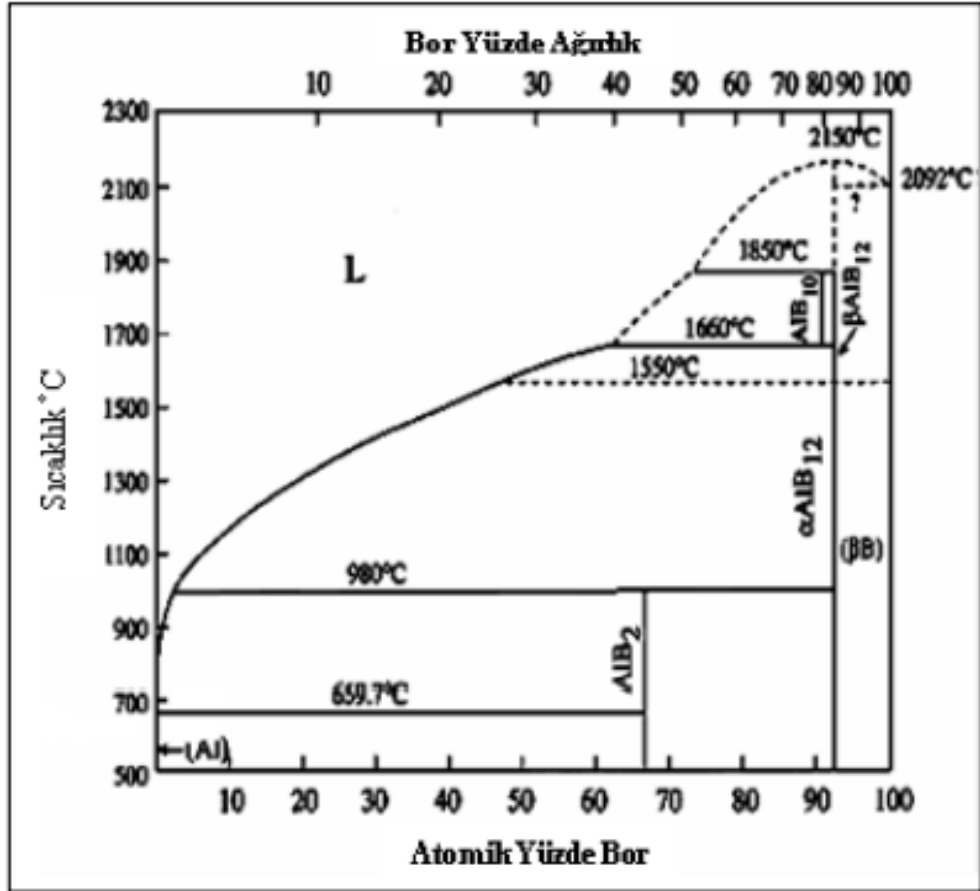
Tablo 3.8. Titanyum alaşımlarının genel özellikleri (Leyens ve Peters,2003)

ÖZELLİK	α	$\alpha+\beta$	β
Yoğunluk	+	+	-
Mukavemet	-	+	++
Süneklik	-/+	+	+/-
Kırılma Tokluğu	+	-/+	+/-
Sürünme Dayanımı	+	+/-	-
Korozyon Davranışı	++	+	+/-
Oksidasyon Davranışı	++	+/-	-
Kaynaklanabilirlik	+	+/-	-
Soğuk Şekillendirilebilirlik	--	-	-/+

BÖLÜM 4

ALÜMİNYUM VE BOR (Al-B) SİSTEMİ

Alüminyum bor bileşiklerinin ilk çalışmaları 1850'lerde bildirilmiştir. O zamandan beri, birçok farklı araştırmacı Al-B sistemi için çeşitli faz diyagramları önermiştir. İlk faz diyagramları 1920 yıllarında sunulan ve basit ötektik diyagramlardır. Duschanek ve Rogl Al-B faz diyagramının son versiyonunu yayınlamışlardır. Yüksek boridlerin ve alüminyum karbonboridlerin bileşimi ve yapısı hakkında çalışmalar da dahil olmak üzere Al-B sistemiyle ilgili geniş bir referans listesi sağlanmışlardır. Diferansiyel termal analiz (DTA) kullanarak Duschanek ve Rogl, $Al(s) + AlB_{12} \rightarrow AlB_2$ peritektik dönüşüm sıcaklığının $1030 \pm 5^\circ C$ olduğunu bulmuştur [28]. Şekil 4.1.'de Al-B faz diyagramı verilmiştir.



Şekil 4.1. Al-B faz diyagramı [29]

Peritektik sıcaklıkta sıvı alüminyum içinde %55 oranında çözüldüğünü bildirmişlerdir. Ayrıca alüminyum açısından zengin sıvılar (<%0.3 B) ve ötektik noktada rapor edilmiştir. Peritektik sıcaklığın önceki çalışmalarda 950 °C kadar düşük ve 1500°C kadar yüksek olduğu belirtilmiş, birçok çalışmada ise 950-1500°C arasında değerler belirtilmiştir [30].

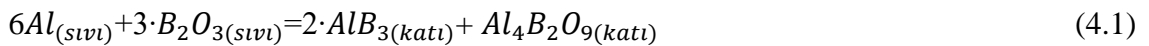
Geçmişte, Al-B peritektik dönüşüm sıcaklığının 956±5 °C olduğunu göstermektedir. Alüminyum çözücünün varlığında peritektik dönüşümün iki kademe ilerlediği görülmektedir. İlk olarak, AlB_2 (düşük veya yüksek en boy oranı) erimiş alüminyum tarafından çözülür. Daha sonra, uzun bir inkübasyon süresinden sonra, AlB_{12} büyümeye başlar ve $Al(s)+AlB_{12} \rightarrow AlB_2$ peritektik dönüşümünü tamamlar [29].

En yüksek boy oranlı AlB_2 'nin peritektik sıcaklığa yakın hızla oluşması, takviye olarak en boy oranlı AlB_2 'ye sahip MMK'ler için düşük maliyetli bir yol olarak önerilir [29].

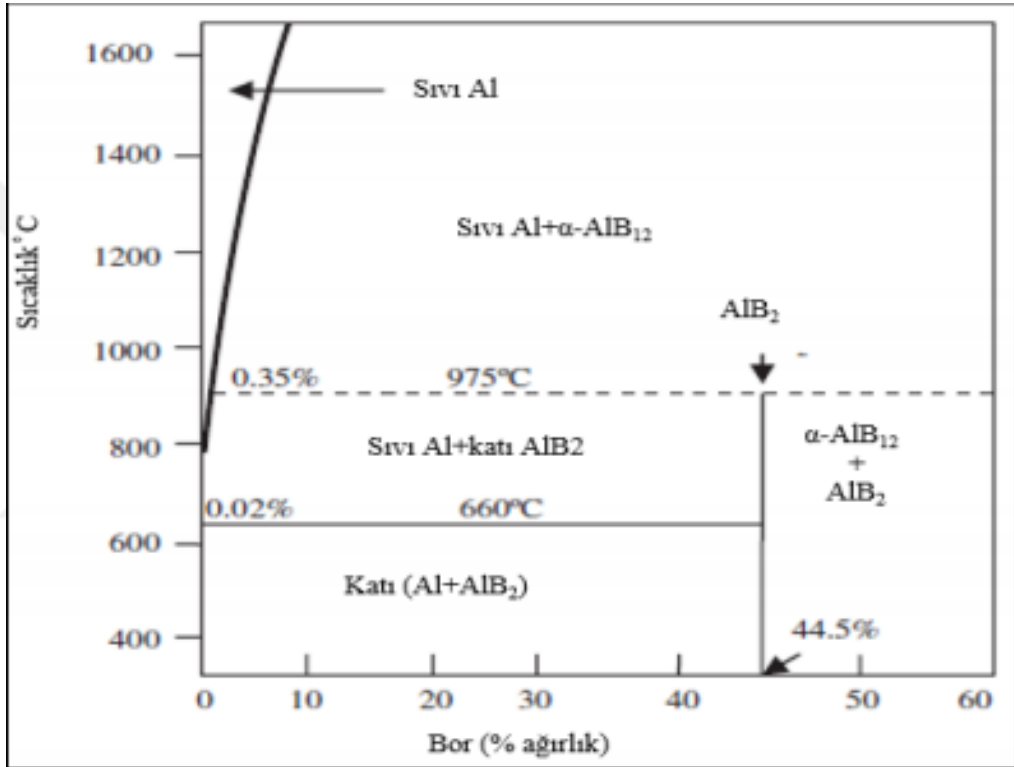
Al-B alaşımları, titanyum, vanadyum, krom ve zirkonyum elementleri gibi geçiş metal safsızlıklarını temizlemek için elektriksel iletken sınıf alüminyum üretiminde ticari olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Alüminyum dökümlerde tane inceltici ajan olarak kullanımında da büyük önem taşımaktadır [28].

Borun oksitinden alüminotermik indirgenmesinin öncüleri Wöhler ve Saint-Claire Deville'dir. Hall ve Economy bor oksitten borun alüminotermik indirgenmesi yoluyla Al/AlB_2 kompozitinin üretilmesini ve kontrollü soğutma ile metalik çözeltide AlB_2 parçacıklarının çökelttilmesini önermiştir [28].

Alüminyum ve bor oksit 660°C'nin üzerinde reaksiyona girmektedir. Bor ve Al_2O_3 bileşenleri sırasıyla Al ve B_2O_3 çözücülerindedir. AlB_2 'nin kristalizasyonu, bor yüksek sıcaklık çözeltisinde doymuş hale geldiğinde başlamaktadır. Denklem 4.1 sıcaklığın bir fonksiyonu olarak aşağıdaki gibidir [28].

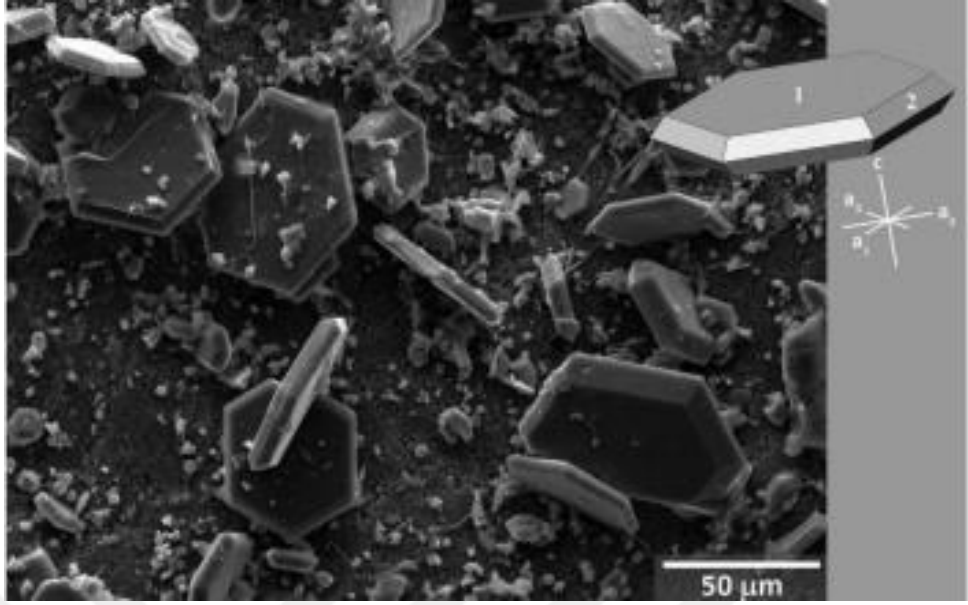


Şekil 4.2.'de gösterilen Al-B sistemi, 975°C'de peritektik bir reaksiyonu temsil eder. 975°C'nin üzerinde sıvı Al-B'den oluşan ilk faz olan AlB_{12} borür, bu sıcaklık altında AlB_2 borid fazına dönüşür. AlB_2 fazı, oda sıcaklığında stabil faz olmasına rağmen, şekli soğutma hızına oldukça bağlıdır. Bir Al-B alaşımı sıvı durumunda soğutulursa, AlB_{12} kristallerine, likidus hattının hemen altındaki faz bölgesinde çekirdeklendirilmektedir. AlB_{12} kristallerinin kübik şeklinde büyüdüğü bildirilmektedir [30].

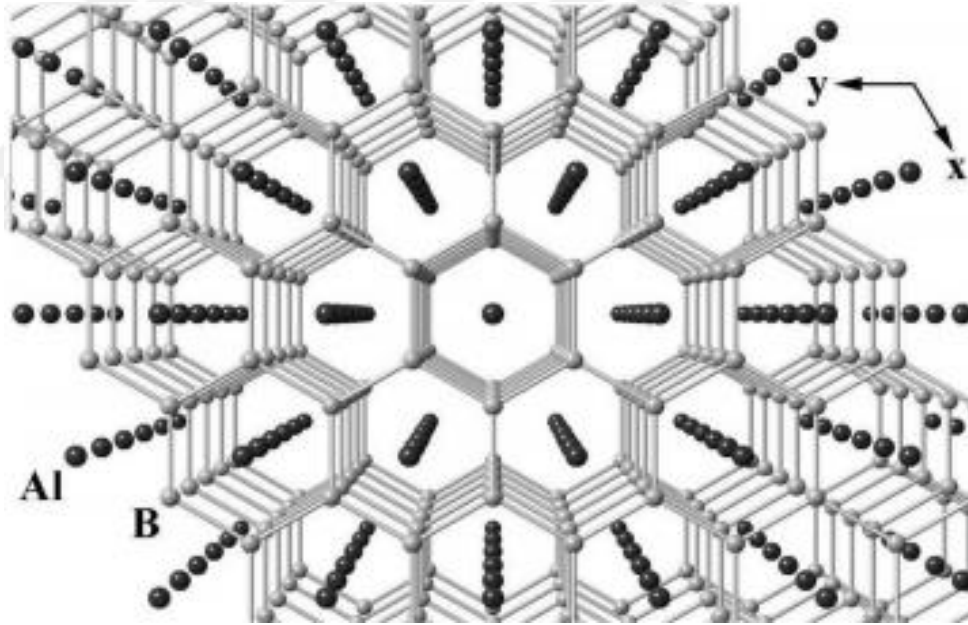


Şekil 4.2. Al-B faz diyagramı (peritektik sıcaklık bölgesi) [30]

Peritektik sıcaklığın altında AlB_{12} kristalleri kübik şekilli AlB_2 fazına dönüşmektedir. Aynı alaşım daha yüksek soğutma hızı, çekirdeklenme ve AlB_{12} büyümesi ile soğutulursa peritektik reaksiyondan kaçınılabılır. Bu, doğrudan sıvıdan oluşan AlB_{12} kristallerine yol açar. AlB_2 parçacıkları bazal düzlemlerinde altıgen pul şeklindedirler. Bu sebeple, Al-B sıvısının soğutma hızına bağlı olarak nihai alüminyum matrisinde iki tip borid kristali üretilebilmektedir [30]. Şekil 4.3. ve Şekil 4.4.'de AlB_2 yapısının kristal şekli ve yapısı verilmiştir.



Şekil 4.3. Taramalı elektron mikroskopik ikincil elektron görüntüsünde AlB_2 'nin kristal şekli [28]



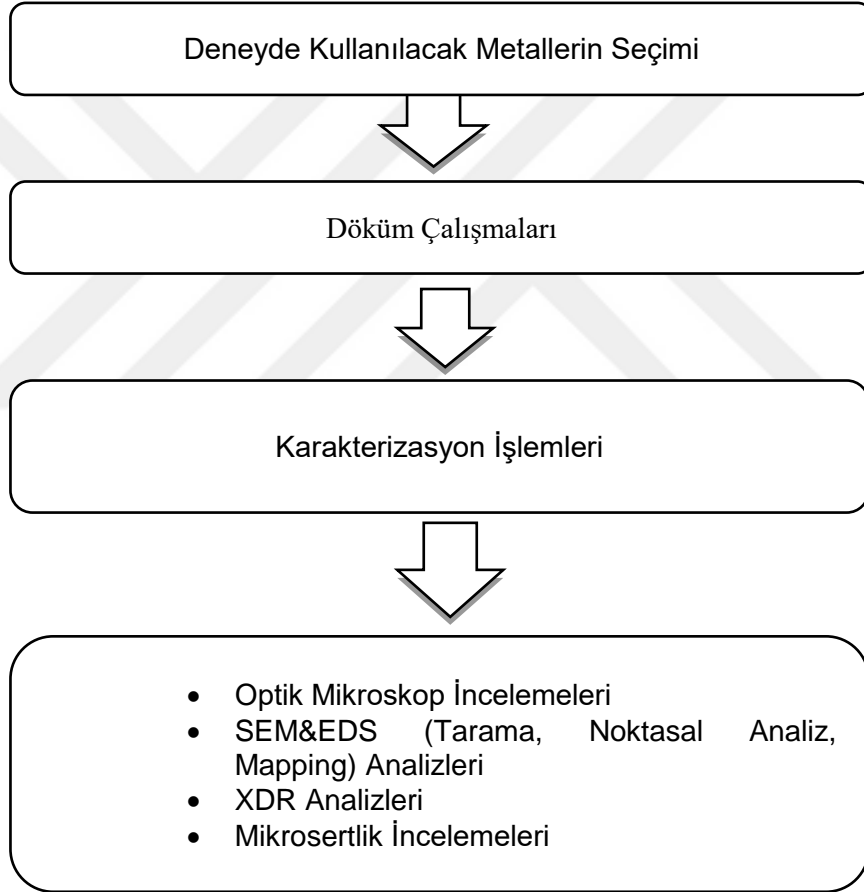
Şekil 4.4. AlB_2 görünümünün kristal yapısı (perspektif) [28]

BÖLÜM 5

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu bölümde tez kapsamında yapılan deneysel çalışmalar kapsamında 6082 alüminyum alaşımına farklı oranlarda Al-Ti-B ve ferrobor ilaveleri ile dökümler gerçekleştirilmiştir.

Tez süresince yapılmış olan çalışma ve analizlerin sıralama sistematığı Şekil 5.1.'de verilmiştir.



Şekil 5.1. Deneysel çalışma sistematığı

5.1. Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada ticari 6082 alüminyum alaşımına farklı oranlarda; Al-Ti-B alaşımı, mikro boyutta titanyum tozu ve yine mikro boyutta bor tozları ilave edilmiştir. Alüminyum malzeme olarak 10x10x2950 mm boyutlarında üretilmiş 6082 T6 (Çözeltiye alma işlemi ve suni yaşlandırma işlemleri yapılmış) lama profil kullanılmıştır. 6082 alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi Tablo 5.1.'de verilmektedir.

Tablo 5.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan 6082 alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi

Alaşım Tipi	Alaşım Elementleri (% ağı.)								
	Al	Cu	Si	Fe	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti
6082	97.44	0.0480	0.849	0.262	0.4190	0.7210	0.0490	0.0520	0.1600

Kullanım alanları bakımından *6XXX serisi ısıtma işlemi ile sertleştirilebilen alüminyum alaşımları, alaşım elementleri magnezyum ve silisyumdur. Şekillendirilme yeteneği yüksek olan bu alaşımlar genellikle ekstrüzyon ile üretilen parçaların imalatında sıklıkla kullanılmaktadır. Deneyde kullanılan 6082 alüminyum alaşımının döküm öncesi hali Resim 5.1.'de verilmektedir.



Resim 5.1. Deneylerde kullanılan alüminyum malzeme

Katkı malzemesi olarak kullanılan Al-Ti-B malzeme kimyasal bileşimi ise Tablo 5.2.'de verilmiştir.

Tablo 5.2. Deneysel çalışmalarda kullanılan Al-Ti-B malzemesinin kimyasal bileşimi

Palet Numarası	Alaşım Elementleri (% ağı.)					
	Al	Ti	B	Si	Fe	V
D414651E	94,1	4,8	0,9	0,09	0,10	0,01
D414652E	94,1	4,8	0,9	0,09	0,10	0,01
D414691E	94,02	4,9	0,9	0,09	0,08	0,01
D414692E	94,02	4,9	0,9	0,09	0,08	0,01
D414693E	94,02	4,9	0,9	0,09	0,08	0,01
D414694E	94,02	4,9	0,9	0,09	0,08	0,01

Kimyasal bileşimi verilen Al-Ti-B katkı bileşiğinin döküme ilave öncesi hali Resim 5.2.'de verilmektedir.



Resim 5.2. Deneysel çalışmalarda kullanılan Al-Ti-B katkı malzemesinin döküm öncesi hali

Katkı malzemesi olarak kullanılan 25 μ boyutlarındaki Ferrobor tozunun Resim 5.3.'de ve kimyasal bileşenleri Tablo 5.3.'de verilmektedir. Döküm sonrası farklı bor oranları içeren alüminyum malzemelerin kimyasal bileşimi Tablo 5.4.'de verilmektedir.

Tablo 5.3. Deneysel çalışmalarda kullanılan ferrobor malzemesinin kimyasal bileşimi

Kimyasal	%B	%C	% Si	%S	%Al
Analiz	18	1 max	0,2 max	0,01 max	0,5 max



Resim 5.3. Deneysel çalışmalarda kullanılan 25 μ boyutlarındaki ferrobor tozu

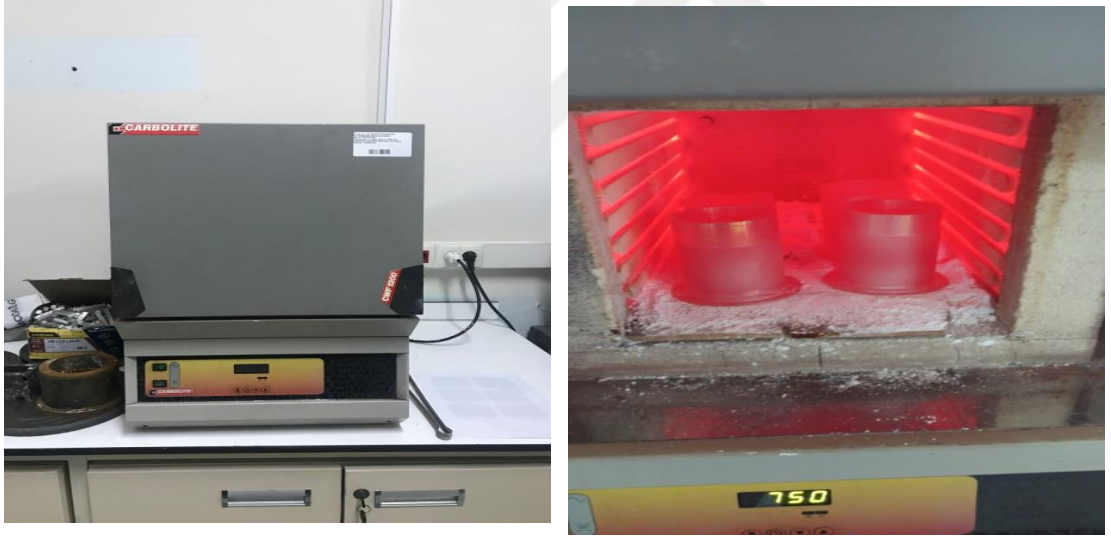
5.2 Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Cihazlar

Uzun çubuklar şeklinde tedarik edilen 6082 alüminyum alaşımı ve Al-Ti-B katkı malzemesi testere yardımı ile döküme elverişli ölçülerde küçültülerek döküme uygun boyutlara getirilmiştir. Farklı ölçülerde kesilerek hassas terazide miktarların eşit olması sağlanmıştır. İstenilen boyut ve ağırlığa getirilen 6082 alüminyum alaşımı ve Al-Ti-B malzemeleri hizmet alımı yoluyla Resim 5.4.'de gösterilen döküme uygun kaplara konularak Resim 5.5.'de gösterilen laboratuvar tipi kül fırınında ergitilmiştir.



Resim 5.4. Deneyde kullanılan malzemelerin ergitildiği potalar

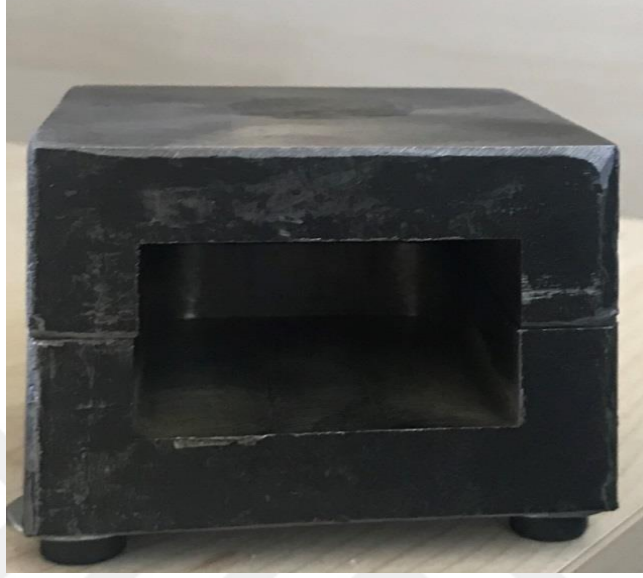
Ergitme için özel pota hazırlanmış ve bu potalara eşit oranlarda malzeme sarj edilmeye çalışılarak ilave parametreleri oluşturulmaya çalışılmıştır. Bekleme süreleri azami uymaya çalışılarak sürenin hepsinde eşit olmasına çalışılmıştır.



Resim 5.5. Ergitme işleminde kullanılmış olan kül fırın ve potanın fırın içerisindeki görünümü

Ergitme işlemi sıcaklık parametresi sabit tutulmuş ve bu sıcaklık 750 °C olarak belirlenmiştir. Ayrıca döküm işlemi için, CTA 45 çeliğinden Resim 5.6.'da verilen kokil kalıp imal edilmiş ve bu kokil kalıpta deneme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Kokil kalıpta deneme çalışmaları yapılırken kalıp önceden ısıtılmış ve hazırlanan karışım ilave edilmiştir. Ergiyik hale gelen malzemeler önceden hazırlanmış karıştırıcı ile belirli aralıklarla mekanik olarak karıştırma işlemi uygulanmıştır. Karıştırma işleminin amacı

homojen bir dağılım sağlamaktır. Tamamlanan bu işlem sonrasında elde edilen numuneler daha sonra incelenmek üzere havada soğumaya bırakılmıştır.



Resim 5.6. Deneme çalışmalarında kullanılmak üzere hazırlanan kokil kalıp



Resim 5.7. Döküm sonrası soğumaya bırakılan kokil kalıp

5.3. Deneysel Çalışma için Numune Hazırlıkları

Hizmet alımı yoluyla dökülen katkılı alüminyum numuneler havada soğuduktan sonra kalıptan çıkarılır ve karakterizasyon çalışmaları için (mikro yapı, SEM ve XRD incelemeleri için) uygun boyutta kesilmiştir. Hazır hale gelen numune sırasıyla 120, 320, 480, 600 ve 1200 gridlik zımpara kademesine kadar zımparalanarak 1 mikron elmas pasta kullanmak suretiyle parlatma işlemine tabi tutulmuştur. Yüzeyi pürüzsüz hale getirilen numunelerin işlem yapılan yüzeyindeki mikro yapıları görebilmek için kimyasal dağlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Kimyasal dağlama işlemi için Keller ayracı (95 ml saf su, 2.5 ml HNO_3 , 1.5 ml HCl, 1.0 ml HF) kullanılmıştır. Dağlama sonrası numuneler inceleme aşamasına getirilmiştir.

Deneyden elde edilen numunelerin kimyasal bileşenlerinin belirlenmesi için spektrometre ile ölçümler yapılmış olup Tablo 5.4.'de verilen tablo elde edilmiştir.

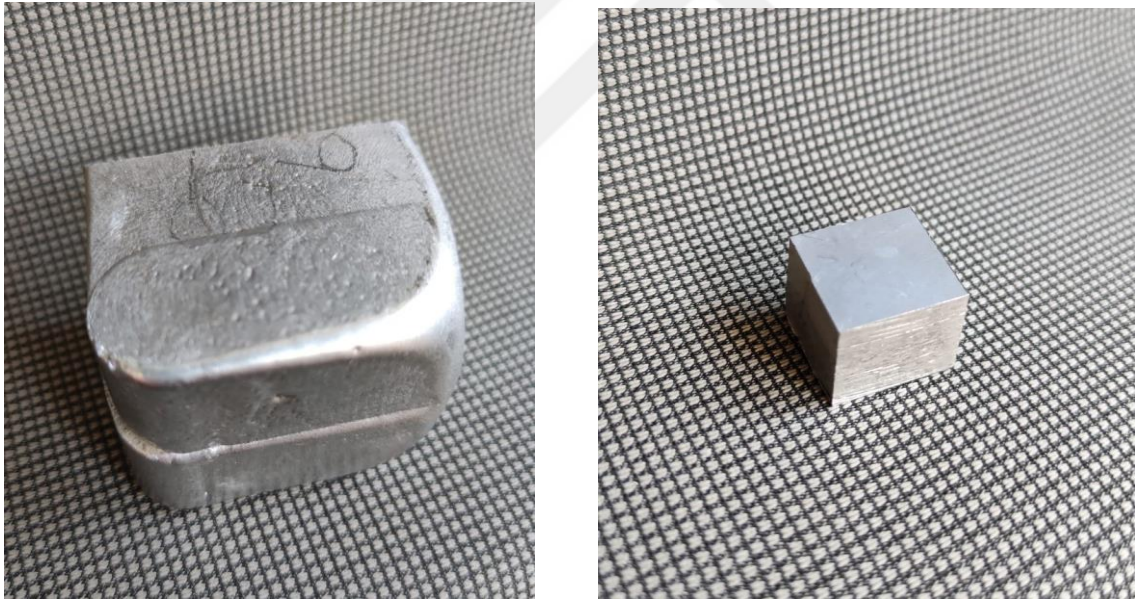
Tablo 5.4. Elde edilen farklı borlu alüminyum malzemelerin kimyasal bileşimi

Mlz No	Malzeme İçeriği	Fe	Si	Mn	Mg	Cr	Al	Ti	B
1	6082 Al alaşımı	0.38	0.85	0.43	0.73	0.07	97.38	0.018	0.0009
2	Al+Ferobor	0.67	0.85	0.44	0.72	0.06	97.11	0.015	0.0390
3	Al+Ferrobör	1.80	0.91	0.42	0.76	0.02	95.92	0.014	>0.078
4	Al+Al-Ti-B	0.23	0.73	0.34	0.61	0.04	97.20	>0.66	>0.078
5	Al+Al-Ti-B	0.21	0.62	0.28	0.48	0.03	97.53	>0.66	>0.078
6	Al+ Al-Ti-B+Ferrobör	0.59	0.88	0.44	0.71	0.04	97.20	0.017	0.0368

Birçok dökümden oluşan çalışmamızda eşit miktarlardan elde edilen numunelerden seçilen bir tanesi testlere tabii tutulmuştur. Elde edilen numunelerin hazırlanış şekilleri aşağıdaki gibi gerçekleştirilmiştir.

- 1 numaralı numune 6082 alüminyum alaşımına hiçbir katkı ilave edilmeden üretim gerçekleştirilmiştir.
- 2 ve 3 numaralı numuneler 6082 alüminyum alaşımına ferrobör ilave edilerek üretim gerçekleştirilmiştir.
- 4 ve 5 numaralı numuneler 6082 alüminyum alaşımına Al-Ti-B ilave edilerek üretim gerçekleştirilmiştir.
- 6 numaralı numune de ise 6082 alüminyum alaşımına ferrobör ve Al-Ti-B ilave edilerek üretim gerçekleştirilmiştir.

Yapılan işlemler sonucunda elde edilen numunelerden bazıları Resim 5.8.'de gösterilmiştir.



Resim 5.8. Döküm kalıbından çıkan deney numunesi ve kesilmiş numune

5.4. Optik İncelemeler

Metalografik işlemlerden sonra dağlanan numuneler, mikro yapı analizleri için Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Mikroskopi Laboratuvarı'nda 2,5X-10X-20X-50X-100X büyüklükte objektifleri bulunan bilgisayar bağlantılı Clemex tipi dijital kamera monte edilmiş Nikon Eclipse MA 100 tipi ışık

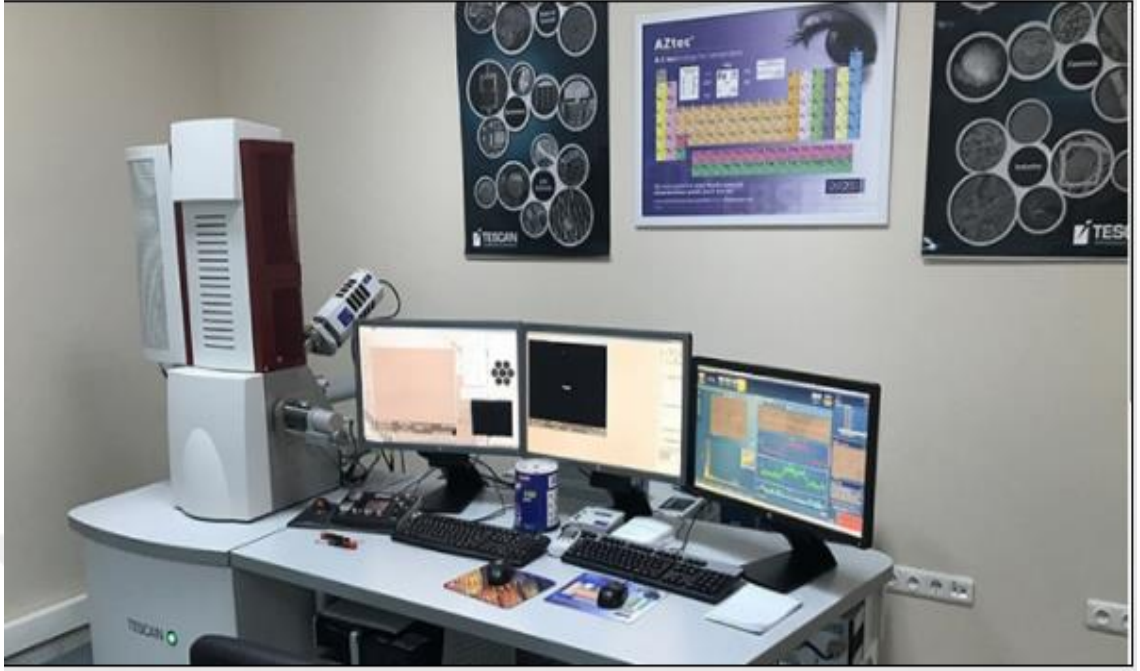
mikroskobundan meydana gelen cihaz ile çekim işlemi gerçekleştirilmiştir. Numunelerin çekimleri, 50X büyütme ile yapılmıştır. Kullanılan optik mikroskobun sistemi Resim 5.9.'da gösterilmektedir.



Resim 5.9. Optik mikroskop sistemi

5.5. SEM Mikroyapı ve Analizleri

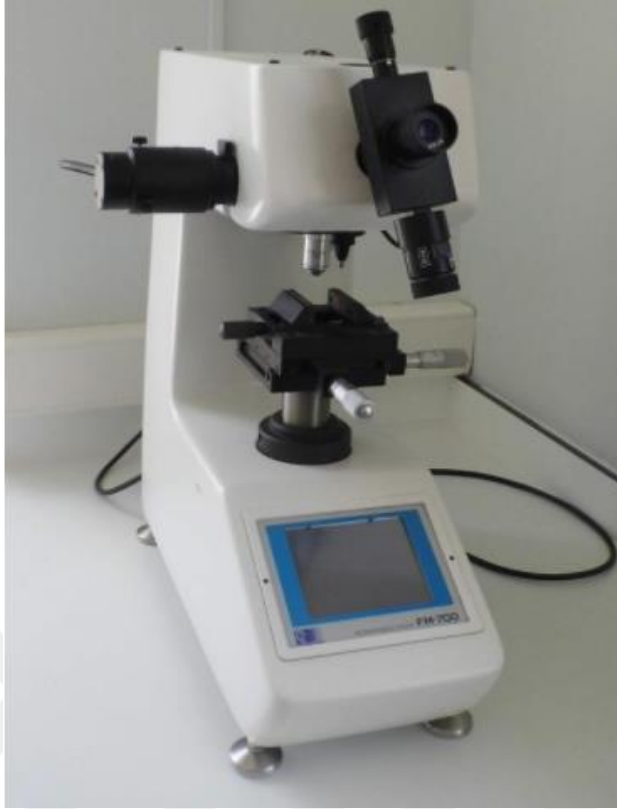
6082 alüminyum alaşımı ve diğer katkı maddeleri ile elde edilen numunelerin her birine EDS analizleri yapılmıştır. Ayrıca noktasal ve Mapping taramaları gerçekleştirilerek numunelerdeki katkı maddelerinin dağılımları ve durumları gözlenmiştir. SEM EDS analiz çalışmaları için Bartın Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarındaki Tescan/MAIA3 XMU marka Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) cihazı kullanılmıştır. Resim 5.10.'da cihaza ait görüntü verilmiştir. Görüntü alma işlemi yapılmadan önce, zımparalama, parlatma ve dağlama gibi işlemleri gerçekleştirilmiş olan numuneler, elementel bileşimlerini karakterize etmek amacıyla SEM-EDS tekniği kullanılarak, elektron demeti tarafından bombardımana uğrayan numuneler analiz edilmektedir. Elementel karakterize için, noktasal analiz ve elementel dağılım haritası (Mapping) analizleri gerçekleştirilmiştir.



Resim 5.10. SEM analiz cihazı

5.6. Sertlik Testleri

6082 alüminyum alaşımı ve diğer katkı maddeleri ile elde edilen numunelerin her birine 50 gram yük vererek 3 farklı noktadan ayrı ayrı ölçüm alınarak ortalaması alınmıştır. Sertlik olarak Vickers sertlik ölçümü ile ölçümler yapılmıştır. Sertlik testleri için Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Mikroskopi Laboratuvarında bulunan FM-700 cihazı kullanılmıştır. Resim 5.11.'de sertlik cihazına ait görüntü verilmektedir.



Resim 5.11. Mikrosertlik deney cihazı

5.7. X-Işını Kırınımı Analizi (XRD)

X-Işını kırınımı (XRD), kristal fazların her birinin kendilerine ait atomik dizilimlerine bağlı olarak, X-Işınlarını karakteristik bir düzen ortamında kırmaları temeline dayanmaktadır. Her bir kristalin fazı için kırınım profilleri o kristale aittir. X-RD analizinde, analiz sırasında numuneyi tahrip etmez ve çok az miktardaki numunelerin dahi analizlerinin yapılmasını sağlar. Numunelere ait elementel tayini, Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Bilim Teknoloji Uygulama ve Araştırma Laboratuvarı (BTUAM)'da bulunan RIGAKU-MINIFLEX 600 marka masaüstü X-Işını Difraksiyon (X-RD) cihazı kullanılmıştır. Cihaza ait görüntü Resim 5.12.'de gösterilmiştir.



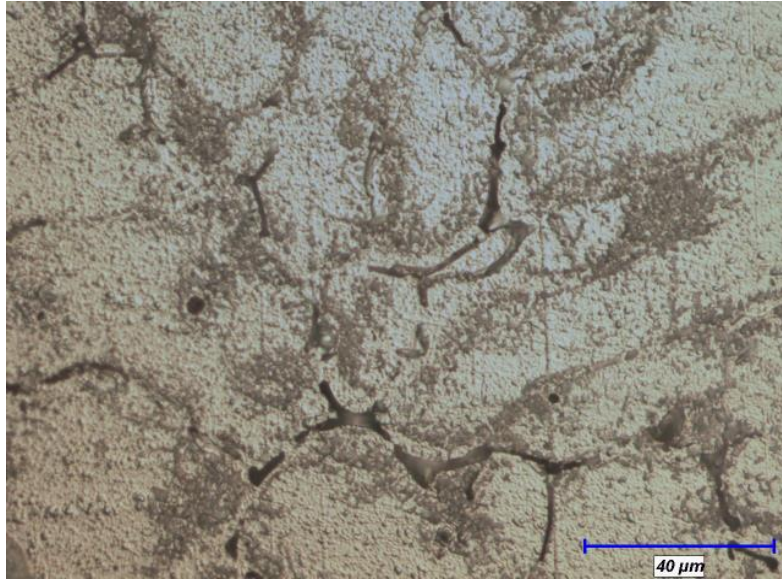
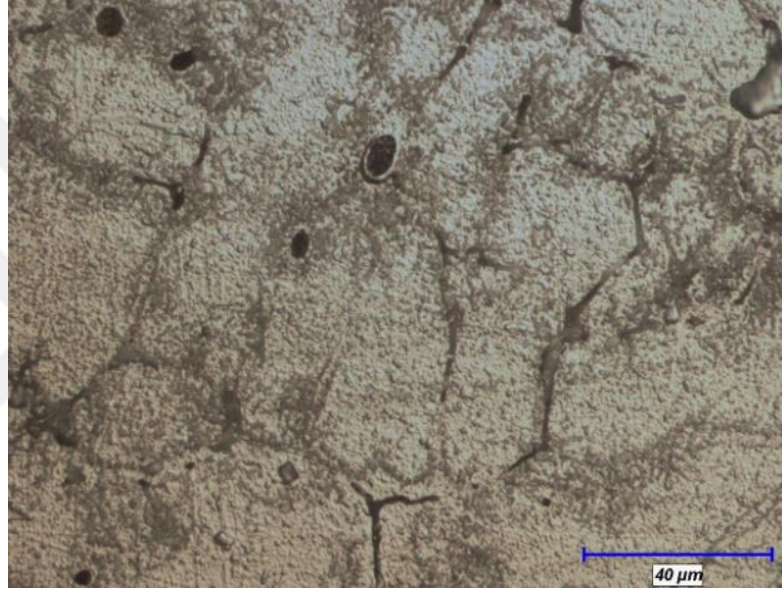
Resim 5.12. X-Işını kırınımı (XRD) cihazı

BÖLÜM 6

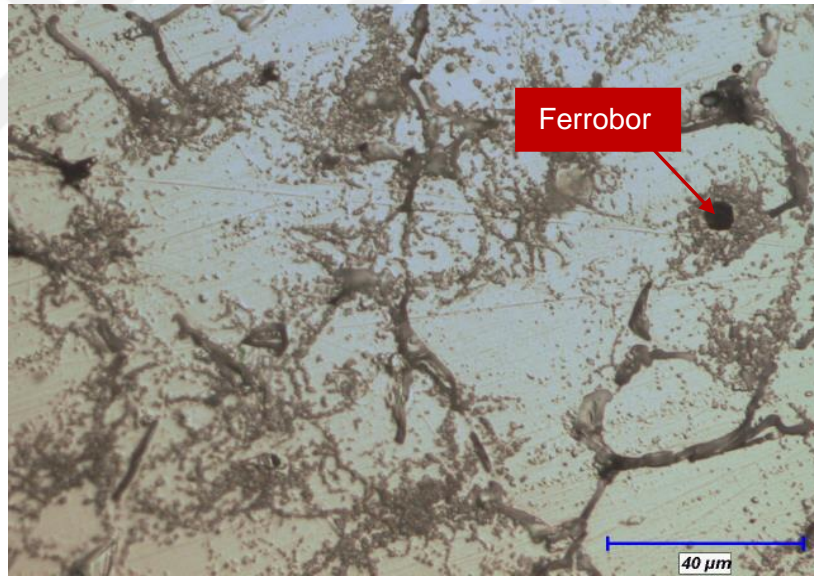
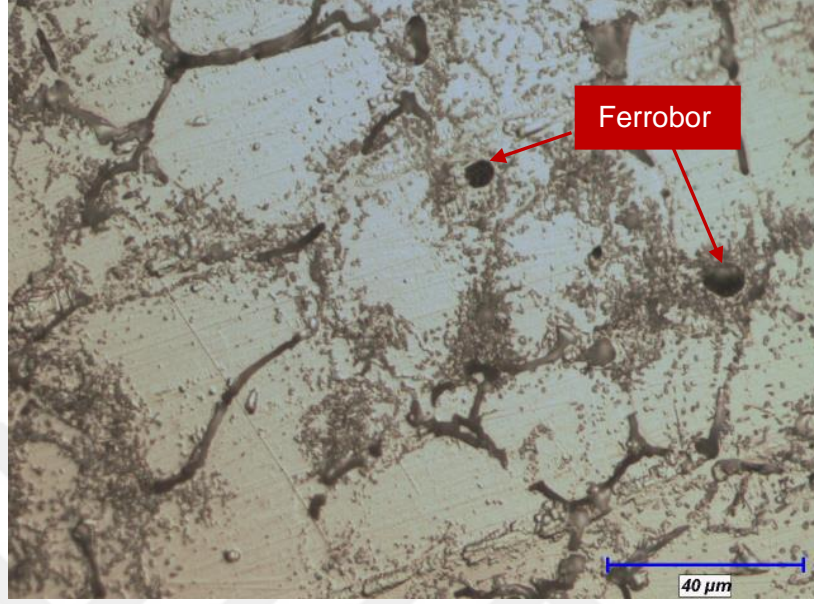
DENEY SONUÇLARI ve TARTIŞMA

6.1 Optik Mikroskop Analizi ve Tartışma

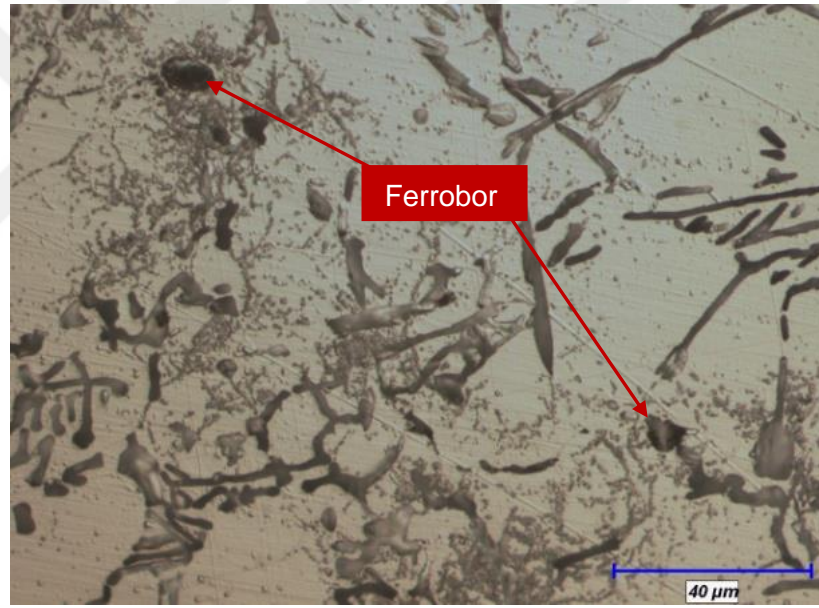
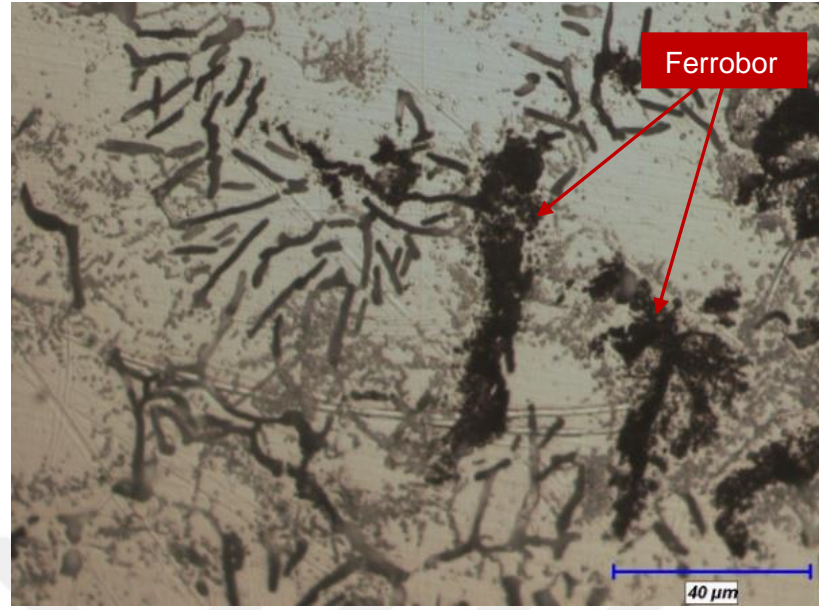
Optik incelemeler sonucunda aşağıda verilen mikro yapılar ortaya çıkmıştır. Resim 6.1.'de verilen 1 nolu 6082 alüminyum alaşımı mikro yapısını incelediğimizde diğer katkılı mikro yapılara göre belirgin olmayacak şekilde küçük farklılıklar görülmüştür.



Resim 6.1. 1 nolu 6082 alüminyum alaşımı içeren numune mikro yapısı

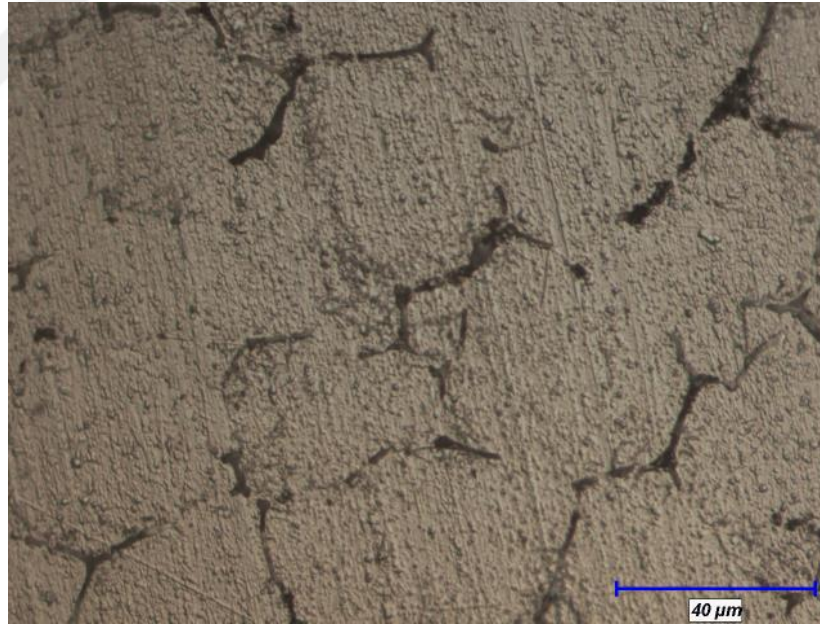
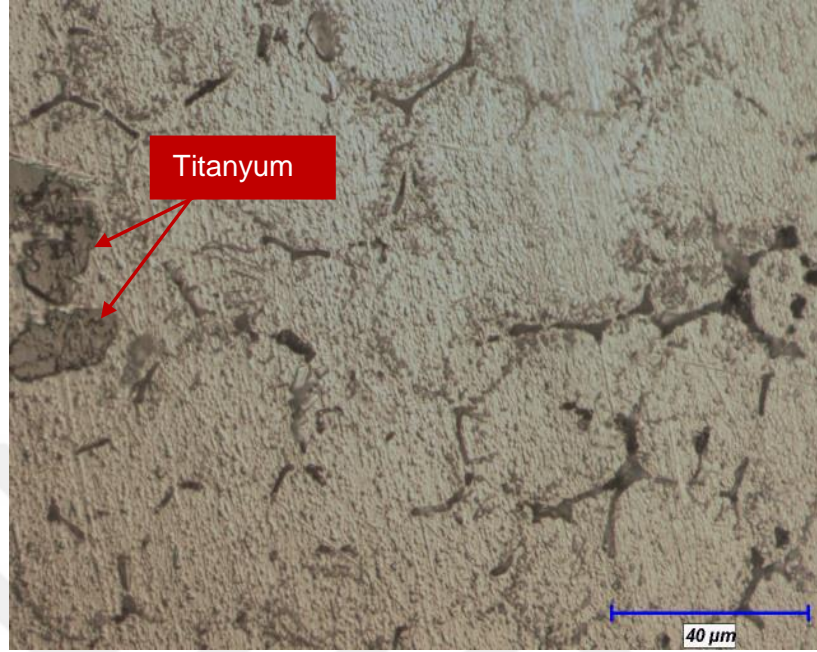


Resim 6.2. 2 nolu Al+Ferrobore içeren numune mikro yapısı

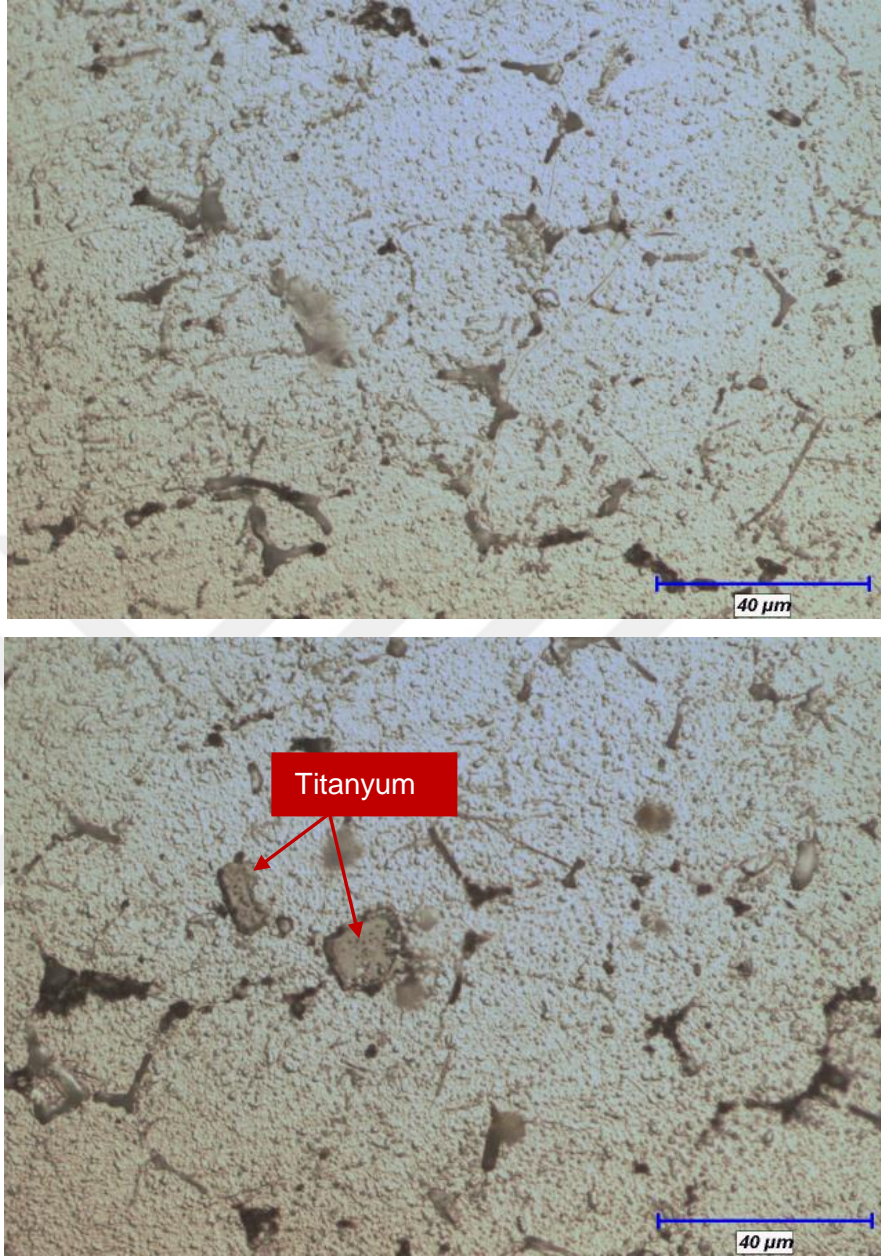


Resim 6.3. 3 nolu Al+Ferrobör içeren numune mikro yapısı

Resim 6.2. de 2 nolu ve Resim 6.3. de 3 nolu mikro yapıları verilen numunelere 25 µ boyutunda katkı maddesi olarak sadece % 18'lik ferrobör tozu ilave edilmiştir. 2 nolu numunede 200 gr alüminyuma 15 gr ferrobör ilave edilmiştir. 3 nolu numunede ise 161,1 gr alüminyuma 15 gr ferrobör ilavesi yapılmıştır. Resim 6.3.'de 3 nolu numunenin mikro yapısında daha fazla çatalsı ince yapılar ve öbkleşmiş ferrobörler görülmektedir. Ayrıca Tablo 6.1.'de de artan bor oranı ile birlikte mikrosertlikte de artış gözlenmiştir.

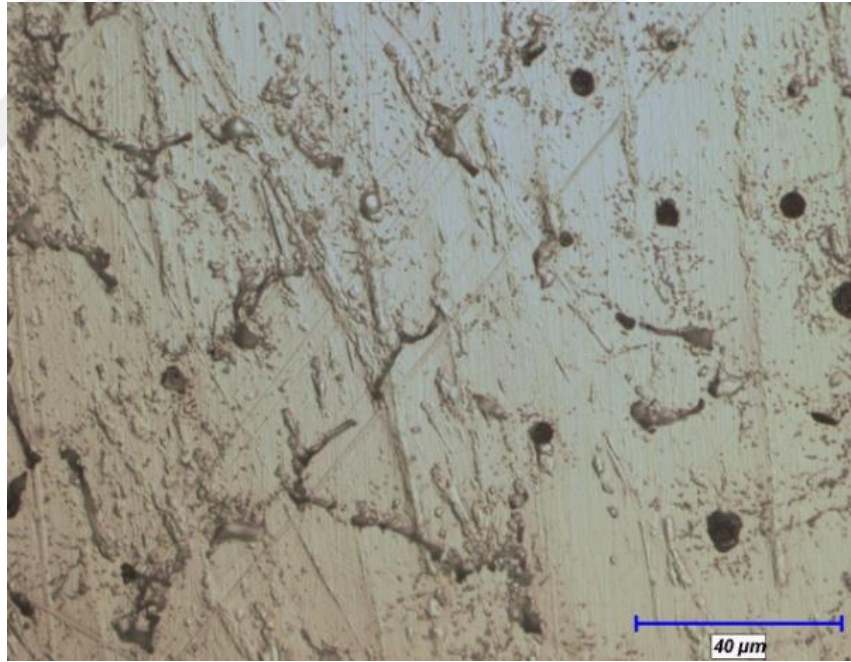
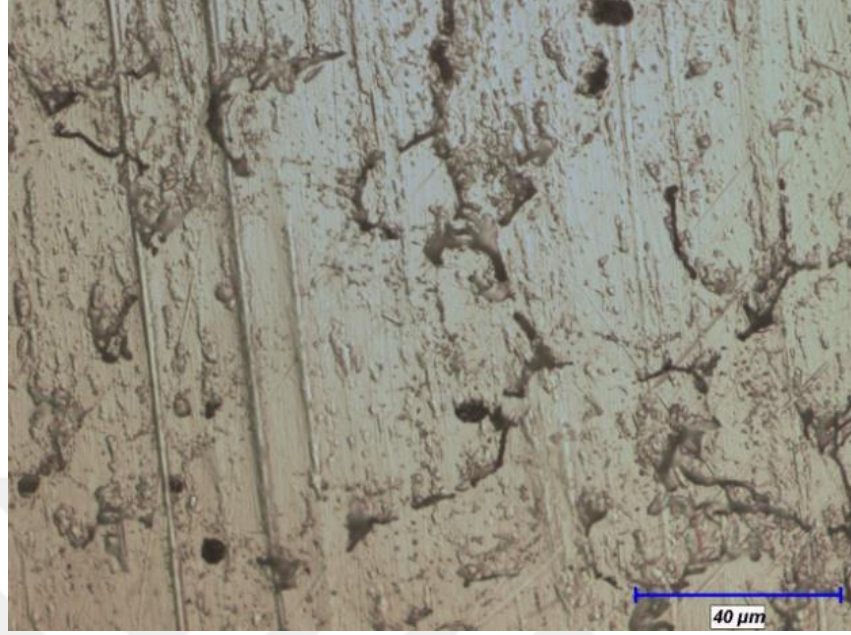


Resim 6.4. 4 nolu Al+Al-Ti-B içeren numune mikro yapısı



Resim 6.5. 5 nolu Al+Al-Ti-B içeren numune mikro yapısı

Resim 6.4.'de 4 nolu ve Resim 6.5.'de 5 nolu mikro yapıları verilen numunelere 6082 alüminyum alaşımına katkı maddesi olarak sadece Al-Ti-B ilave edilmiştir. 4 nolu numunede 160 gr alüminyuma 28.9 gr Al-Ti-B ilave edilmiştir. 5 nolu numunede ise 120 gr alüminyuma 50 gr Al-Ti-B ilavesi yapılmıştır. Dolayısıyla 5 nolu numunede daha fazla Al-Ti-B içeriği olduğundan dolayı daha fazla bor bulunmaktadır. Mikro yapılarında belirgin bir fark görülmemektedir. Ayrıca Tablo 6.1.'de de artan Al-Ti-B oranı ile birlikte mikrosertlikte de artış gözlenmiştir.



Resim 6.6. 6 nolu Al+ Al-Ti-B+Ferrobor içeren numune mikro yapısı

Resim 6.6.'da 6 nolu mikro yapıları verilen numunelere 6082 alüminyum alaşımına katkı maddesi olarak ferrobor ve Al-Ti-B ilave edilmiştir. Mikro yapılarında belirgin bir fark görülmemektedir. Tablo 6.1.'de verilen tabloda 6082 alüminyum alaşımına göre mikrosertlikte artış görülmüştür.

Zeynep Sueda BASAR yaptığı çalışmada A356 alüminyum alaşımına titanyum, zirkonyum ve bor ilavesi ile alaşımın termal iletkenliklerini ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Çalışmada mikroyapılar incelendiğinde, görüntülerden bütün alaşımlarda faz oranlarında ciddi bir değişim olmadığını görmüştür. Buradan sonuçla yapılan katkılama işleminde çözeltinin faz içerisinde yer aldığı sonucuna varmıştır [32].

6.2 Mikrosertlik Deney Sonuçları ve Tartışma

Mikrosertlik deney sonuçlarına bakıldığında 6082 alüminyum alaşımının mikrosertlik değeri katkı maddelerinin ilave edilmiş 6082 alüminyum alaşımına göre daha düşük olduğu Tablo 6.1.'de görülmektedir. Ayrıca 2 ve 3 nolu numunelerde ferrobör ilavesi arttığı zaman mikrosertlik de artış olduğu gözlenmektedir. 4 ve 5 nolu numunelerde de aynı durum Al-Ti-B ilave artışıyla mikrosertliğin arttığı görülmektedir.

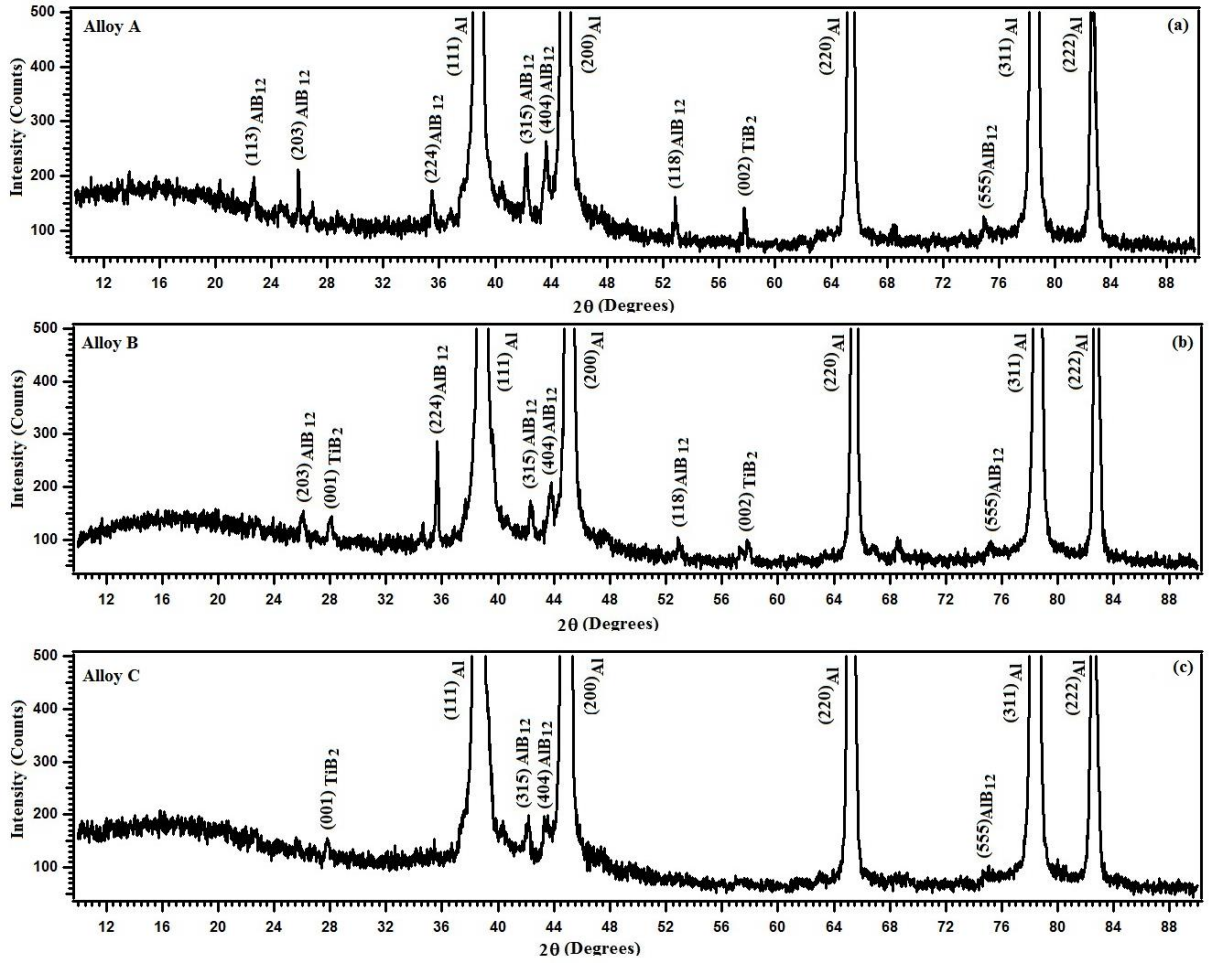
Tablo 6.1. Döküm deney numunelerine ait mikrosertlik testi sonuçları

Numune	İçeriği	1.Ölçüm	2.Ölçüm	3.Ölçüm	Mikrosertlik Değeri (Vickers)
1	6082 Al Alaşımı	90.4	87.3	87.3	88.3
2	Al+Ferrobör	107.0	107.6	1117	108.8
3	Al+Ferrobör	105.5	120.1	116.8	114.1
4	Al+Al-Ti-B	105.7	102.8	111.1	107.7
5	Al+Al-Ti-B	108.3	117.7	116.1	114.0
6	Al+ Al-Ti-B+Ferrobör	114.3	110.0	114.0	112.8

Fatih BAYPINAR yaptığı çalışmada alüminyum döküm alaşımlarına Al5Ti1B ile tane inceltme işlemi uygulamıştır. İçerisinde %0,15 ve 0,2 kalıntı titanyum Etial 177 kalite döküm alaşımı ile farklı döküm, kalıp sıcaklıkları ve kalıp açma sürelerinde yapılan

dökümlerde %0,2 kalıntı ihtiva eden numunelerin sertlik mukavemetleri %0,15 kalıntı titanyum içeren numunelere göre iyileşmiştir [2].

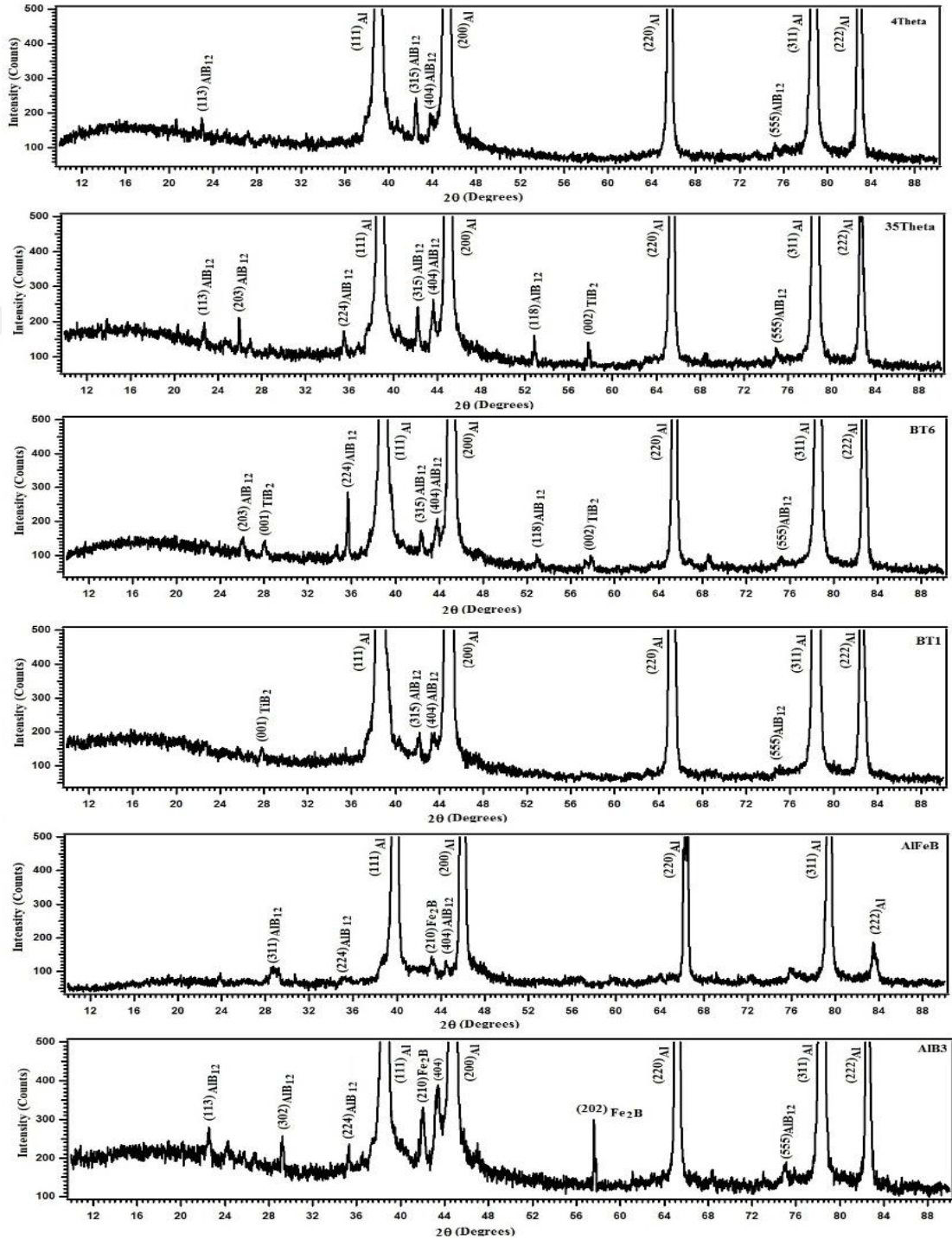
6.3 XDR Analiz Sonuçları ve Tartışma



Şekil 6.1. 4, 5 ve 6 nolu numunelere ait kısmi XRD analizleri

Fcc Al'nin kafes sabiti Alaşım A (4 nolu numune), Alaşım B (5 nolu numune) ve Alaşım C (6 nolu numune) için sırasıyla 4.020Å , 4.006Å ve 4.028Å 'dir. Dörtgen $\alpha\text{-AlB}_{12}$ 'nin kafes sabiti Alaşım A (4 nolu numune), Alaşım B (5 nolu numune) ve Alaşım C (6 nolu numune) için sırasıyla $a=10.101\text{Å}$ ve $c=14.402\text{Å}$, $a=10.107\text{Å}$ ve $c=14.365\text{Å}$ ve $a=10.544\text{Å}$ ve $c=14.225\text{Å}$ 'dir. Dörtgen $\alpha\text{-AlB}_{12}$ için c/a oranları Alaşım A (4 nolu numune), Alaşım B (5 nolu numune) ve Alaşım C (5 nolu numune) için sırasıyla 1.425, 1.421 ve 1.349'dur. Altgen TiB_2 'nin kafes sabiti Alaşım A (4 nolu numune),

Alaşım B (5 nolu numune) ve Alaşım C (6 nolu numune) için sırasıyla $c=3.1888 \text{ \AA}$, $a=3.025 \text{ \AA}$ ve $c=3.182 \text{ \AA}$ ve $c=3.199 \text{ \AA}$ 'dir. Yeterli $\alpha\text{-TiB}_2$ X-RD tepe noktası olmadığı için X kafes parametreleri hesaplanamadı.



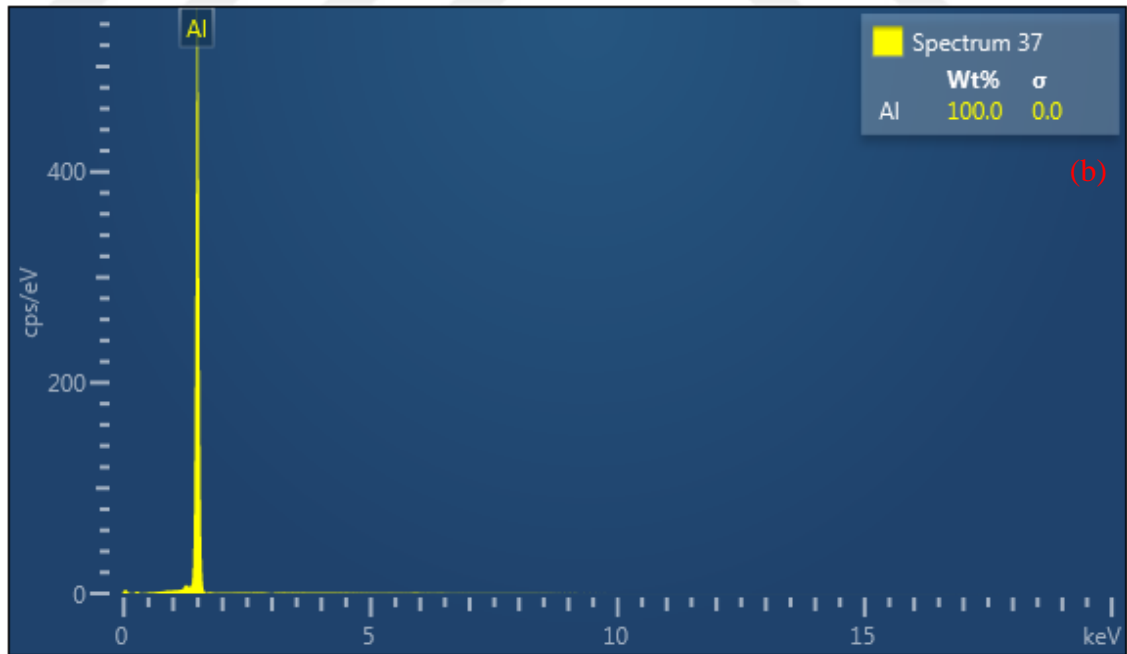
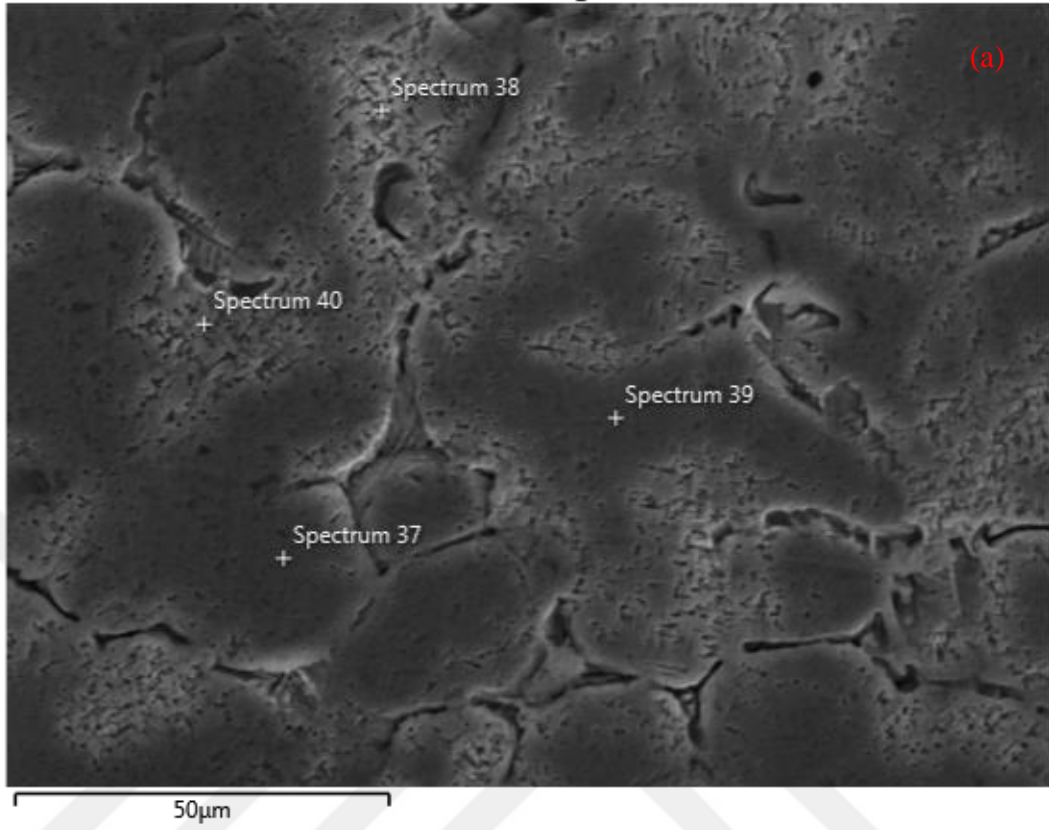
şekil 6.2. Numunelere ait XRD analizleri

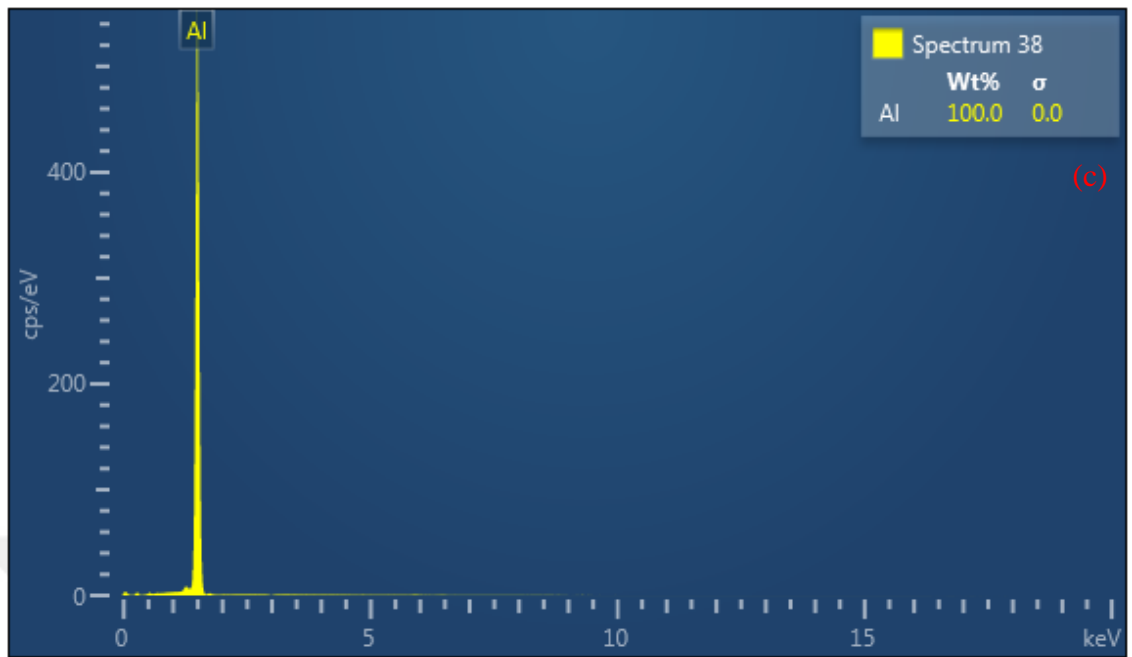
Tian-shun Dong ve arkadaşlarının yaptığı ‘‘Submikrokristal Al-Ti-B Ana Alaşımının Hazırlanması ve Bunun AZ91D'nin Mikro Yapısı ve Özellikleri Üzerindeki Etkisi’’ adlı çalışmasında Al-Ti-B'nin esas olarak iki tür ikinci fazı, yani TiB_2 ve $TiAl_3$ 'ü içerdığını görmüşlerdir. Al-Ti-B ana alaşımında $TiAl_3$ boyutunun azalması, kırınım tepe yüksekliğinin azalmasına neden olmuştur. Ancak TiB_2 'nin değişimi, büyüklüğü yerine esas olarak dağılım derecesinde somutlaşır; bu nedenle, TiB_2 'nin tepe yüksekliğindeki hafif düşüş, bakır kalıp enjeksiyonlu döküm işlemi sırasında yeniden eritme sırasında TiB_2 'nin hafif birikmesinden kaynaklanabileceği düşünölmüştür.

6.4. SEM Analizleri ve Tartışma

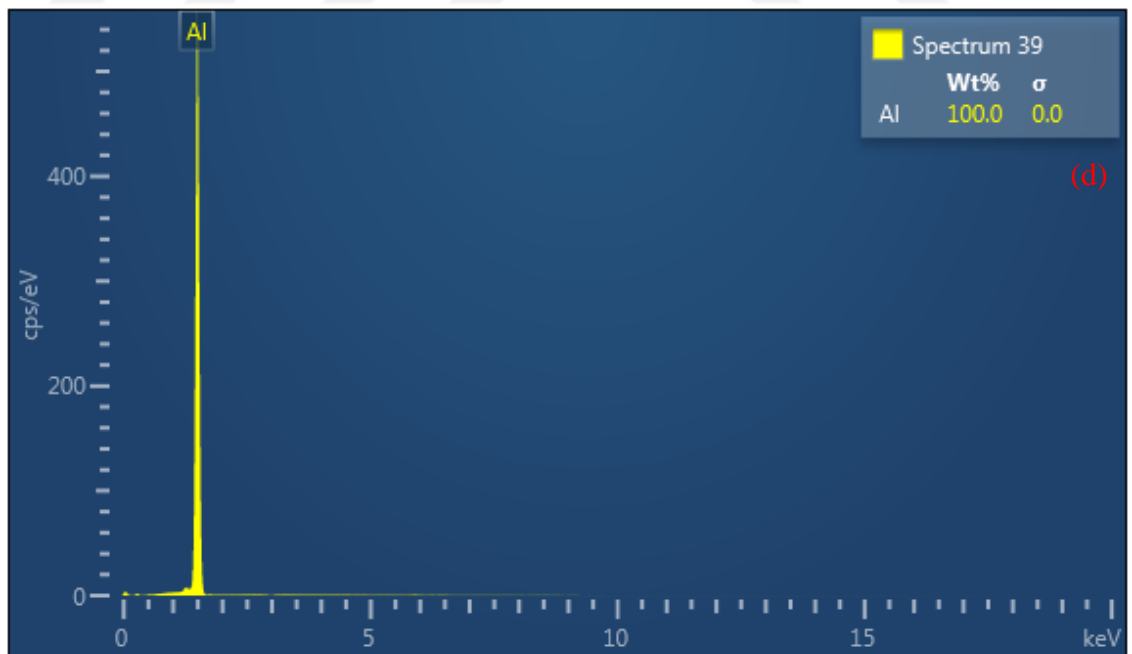
SEM EDS incelemeleri sonucunda aşağıda belirtilen görüntüler ortaya çıkmıştır. Resim 6.7.'de verilen 1 nolu 6082 alüminyum alaşımı görüntüleri incelediğimizde diğer katkıli mikro yapılara göre belirgin bir farklılık görölmemektedir. Fakat diğer katkı maddeleri ilavesi ile çok azda olsa farklılıklar görölmektedir. Katkı ilave edilen alüminyumun görüntüleri 6082 alüminyum alaşımına göre daha yoğun tane sınırları içermektedir. Resim 6.7. (b), (c), (d) ve (e) de verilen noktasal analizlerde alüminyum bariz bir şekilde görölmektedir. Resim 6.8.'de alüminyumun homojen bir şekilde dağıldığı Mapping analizi ile gösterilmiştir.

Electron Image 14

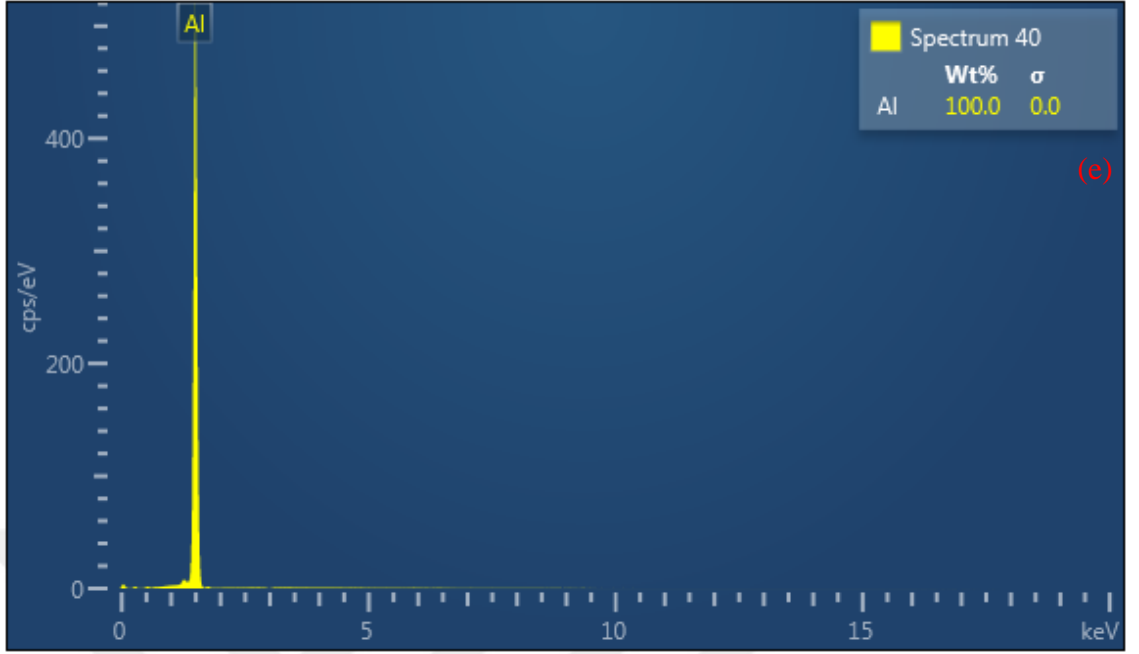




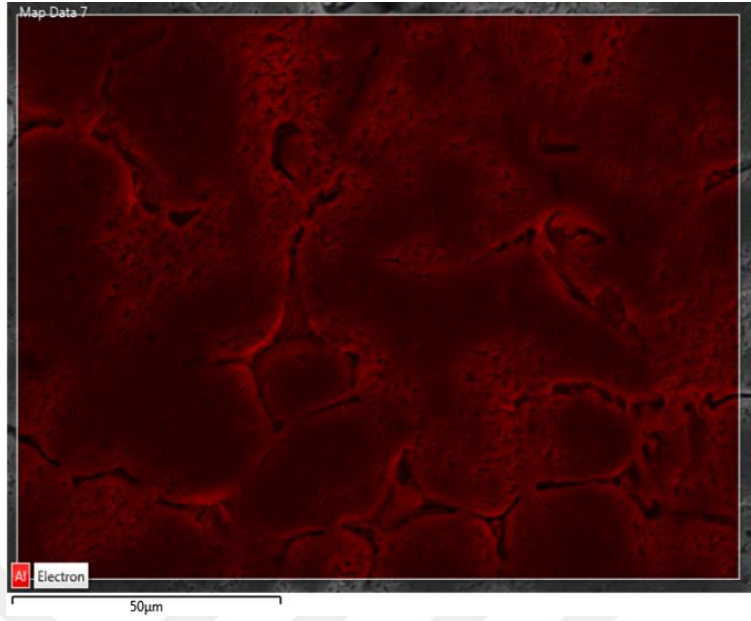
(c)



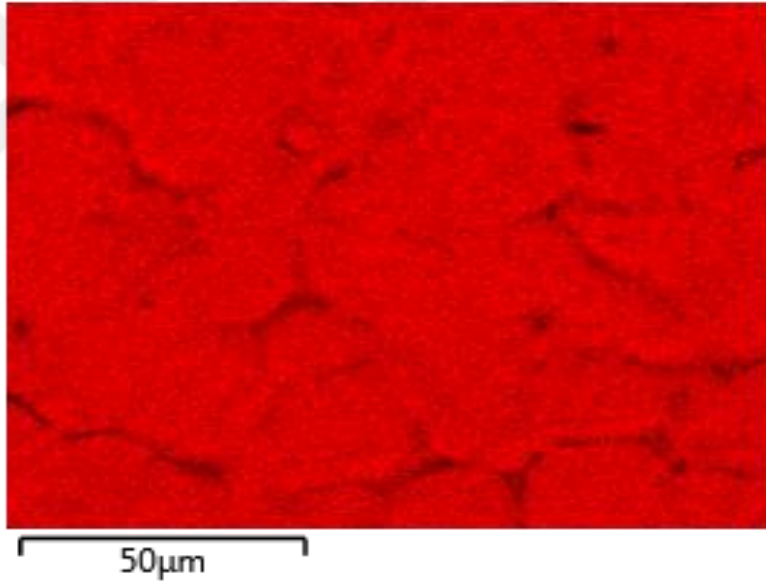
(d)



Resim 6.7. 1 nolu 6082 alüminyum alaşımı içeren numunenin SEM görüntüsü ve noktasal analizleri

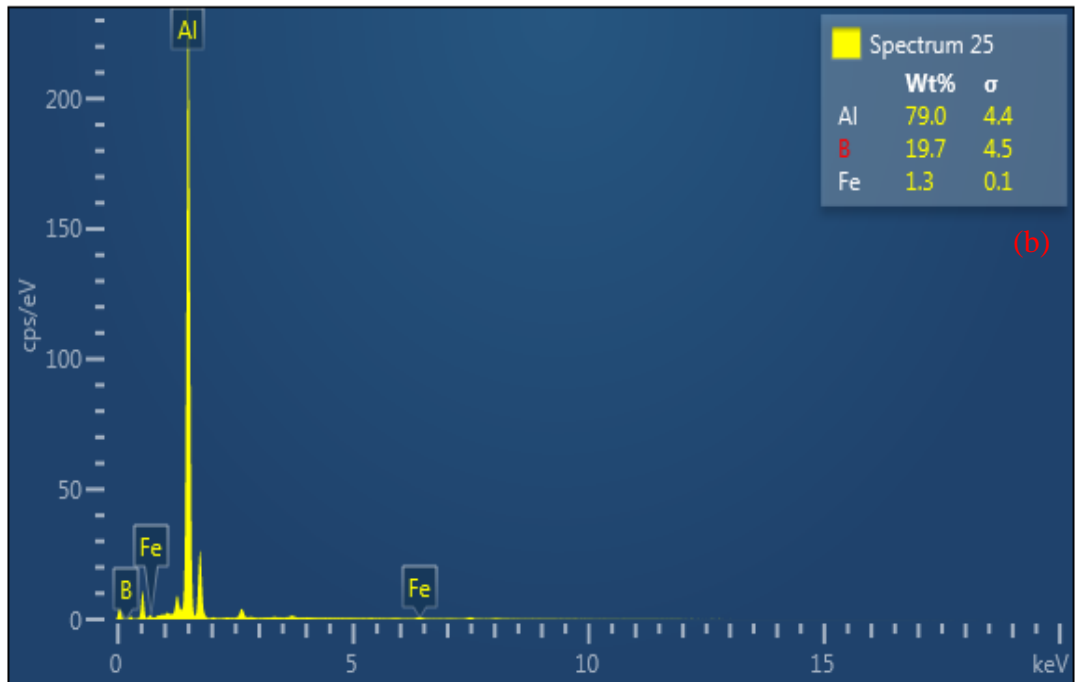
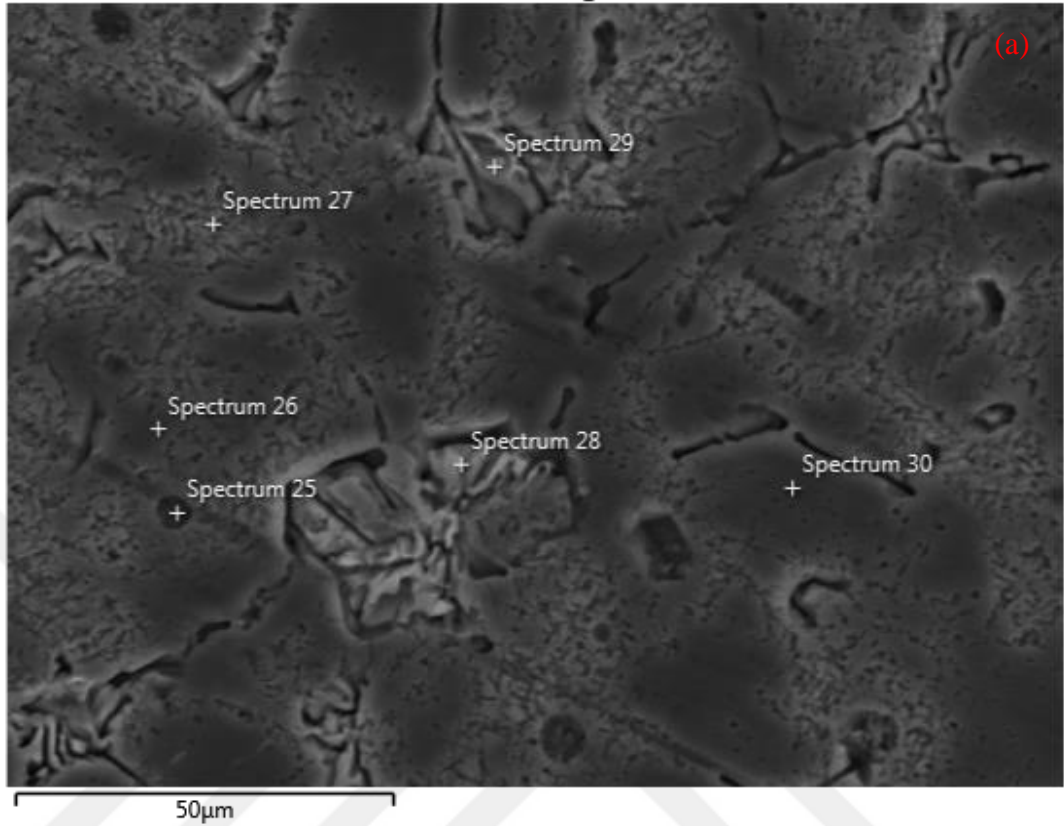


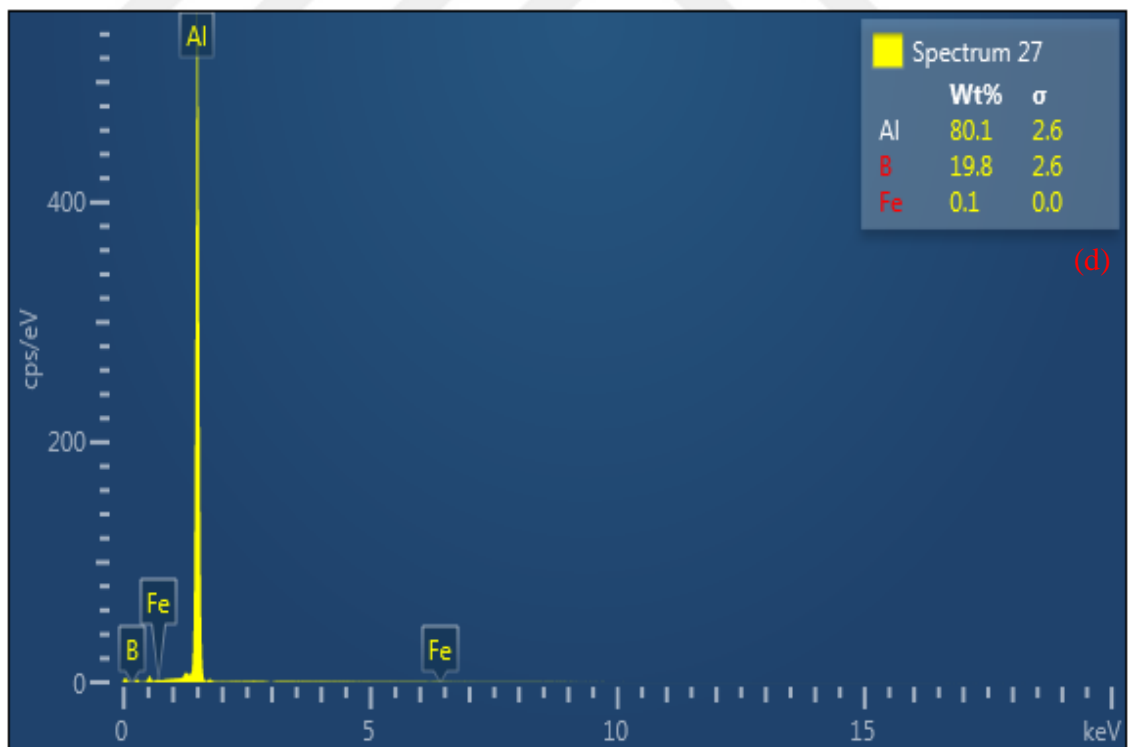
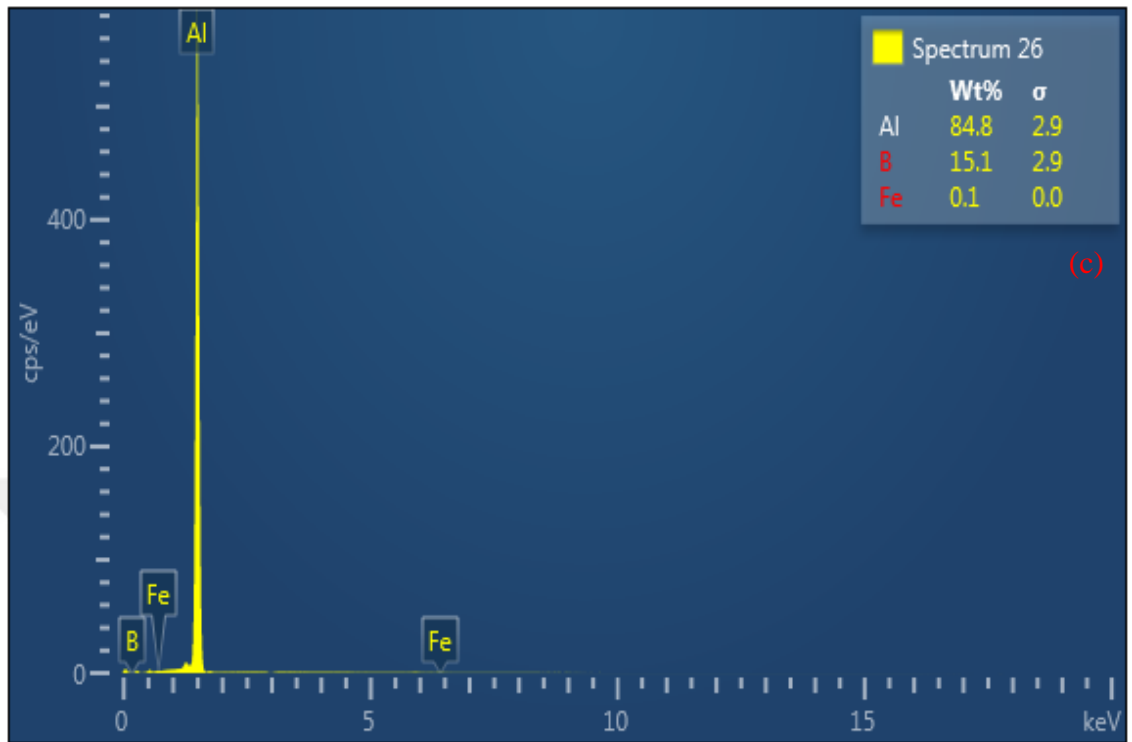
Al Kα1

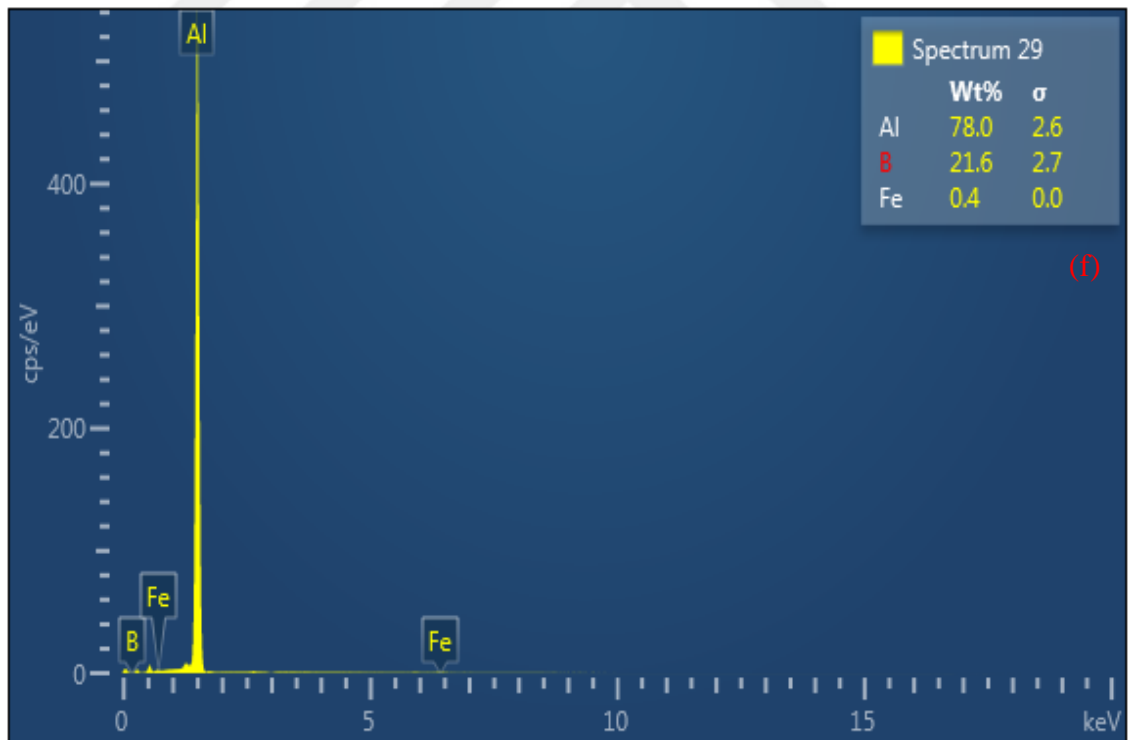
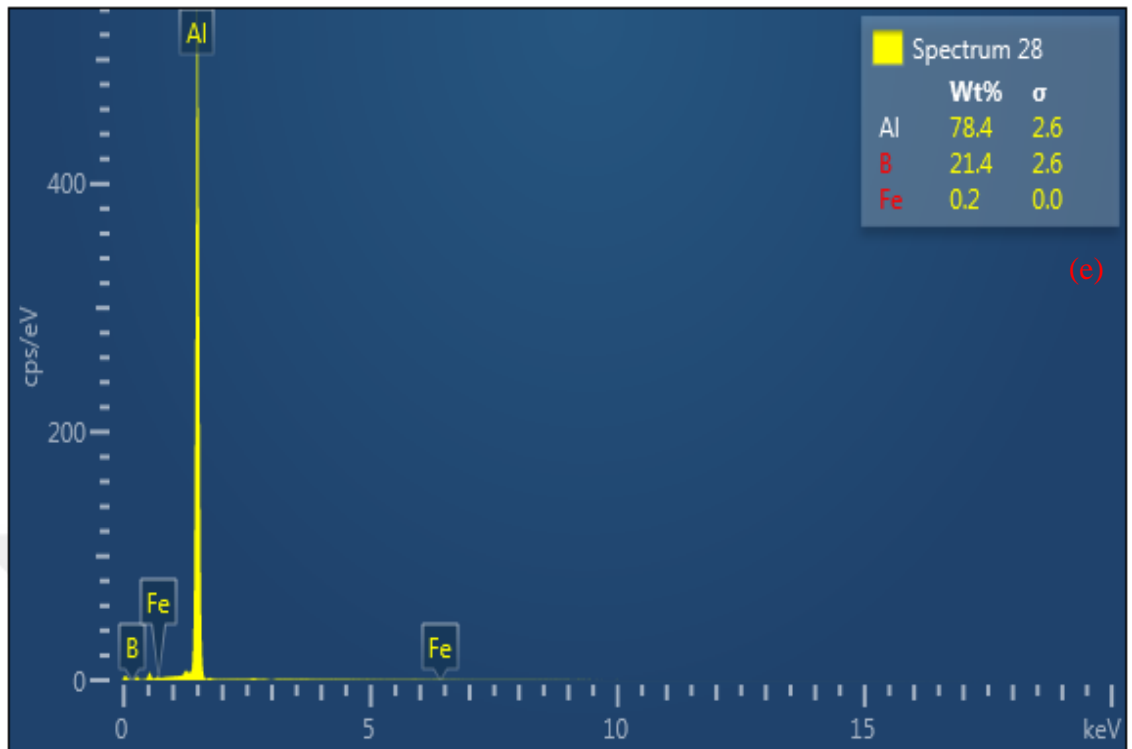


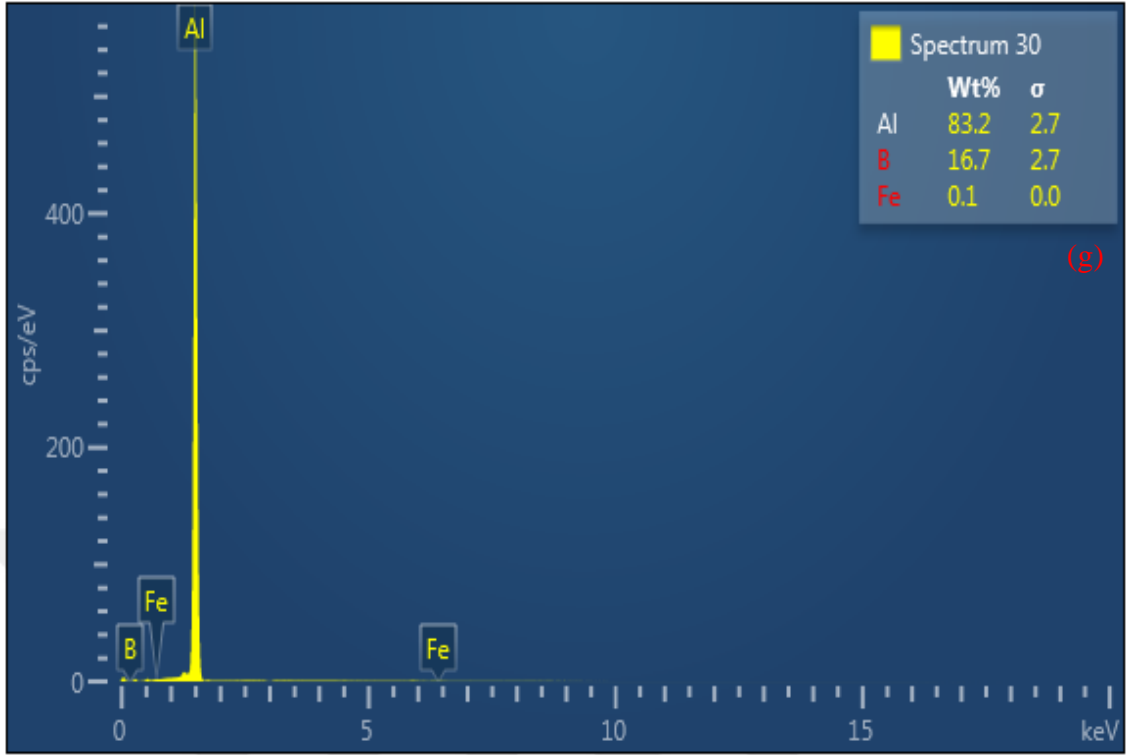
Resim 6.8. 1 nolu 6082 alüminyum alaşımı içeren numunenin Mapping analizi

Electron Image 10



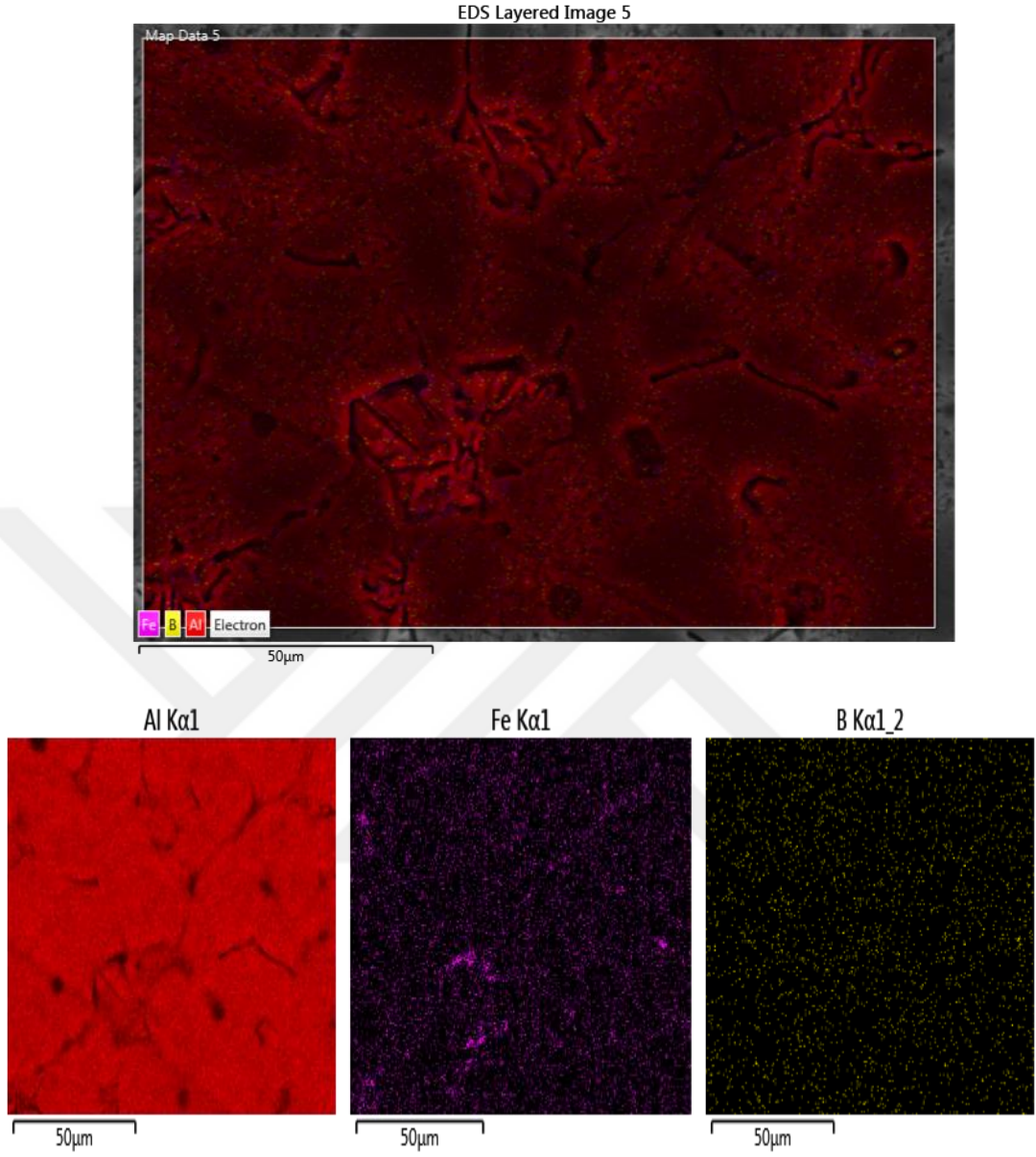






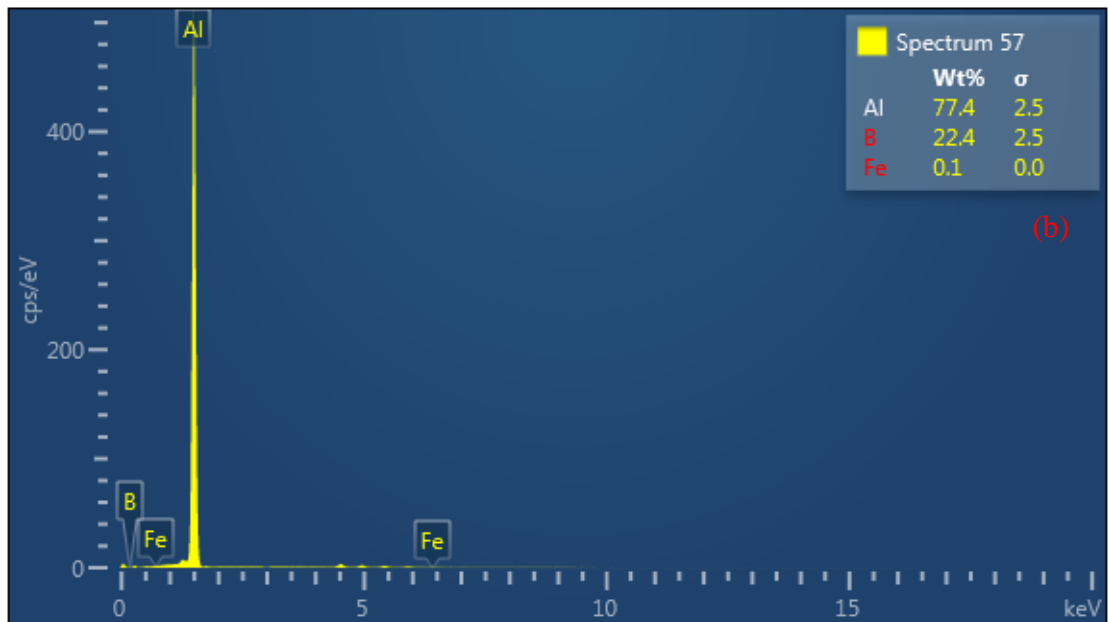
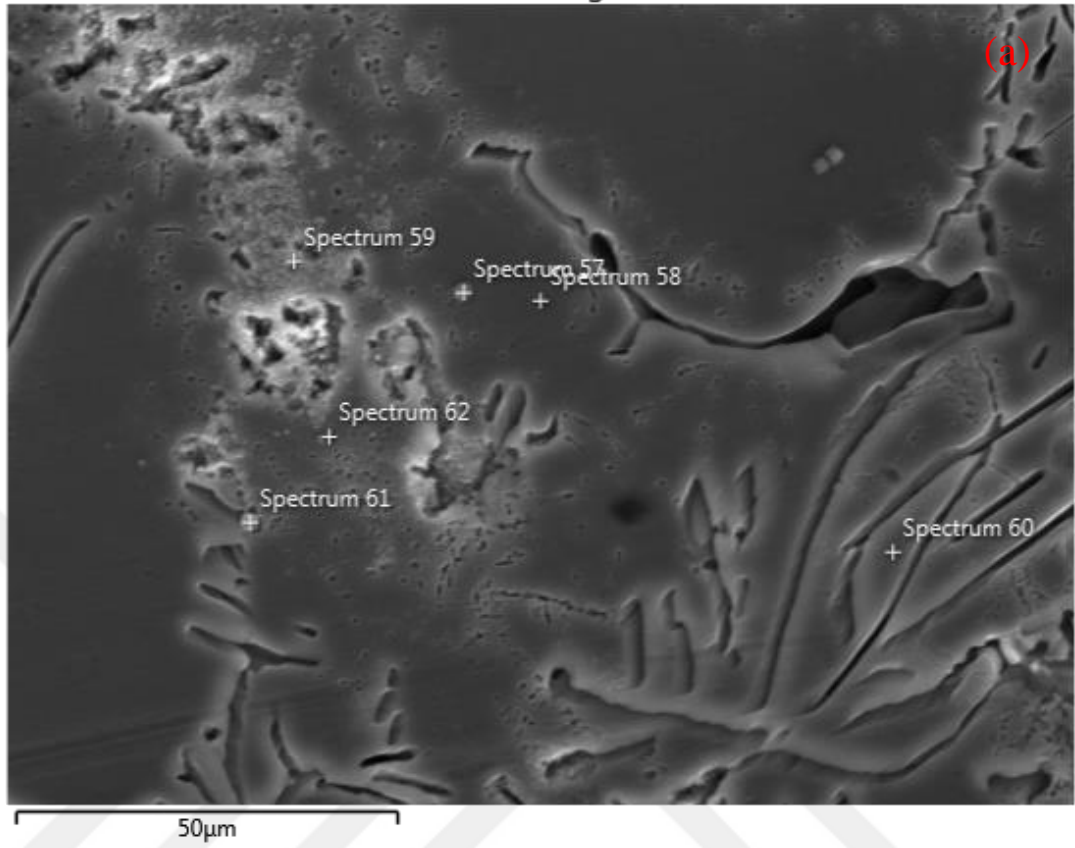
Resim 6.9. 2 nolu Al+Ferrobor içeren numunenin SEM görüntüsü ve noktasal analizleri

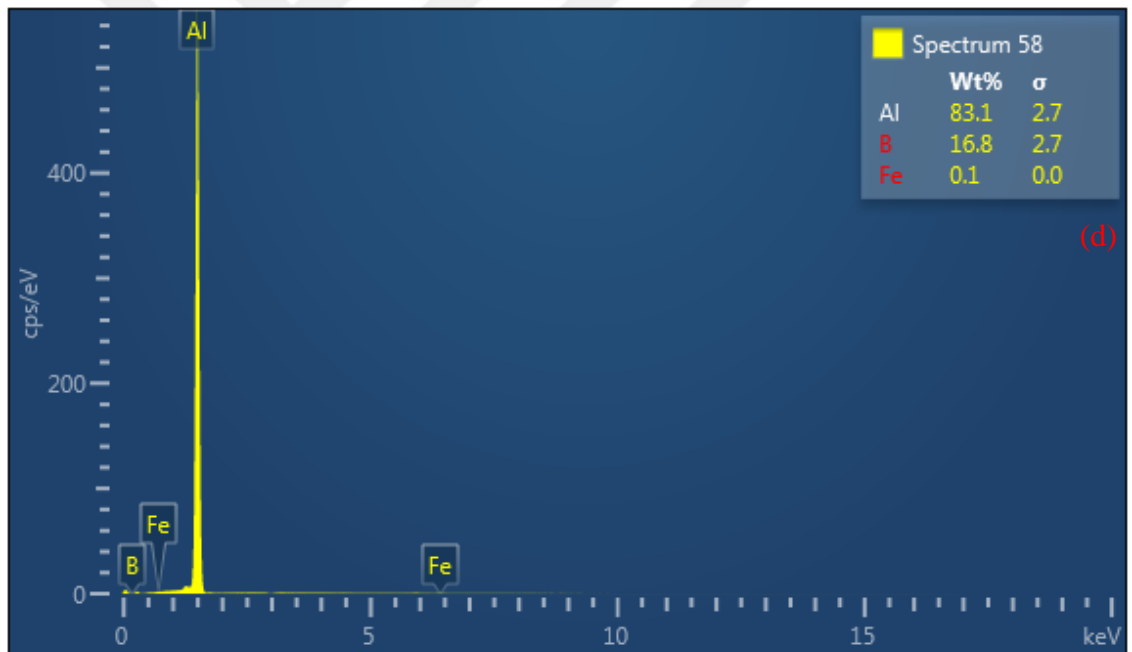
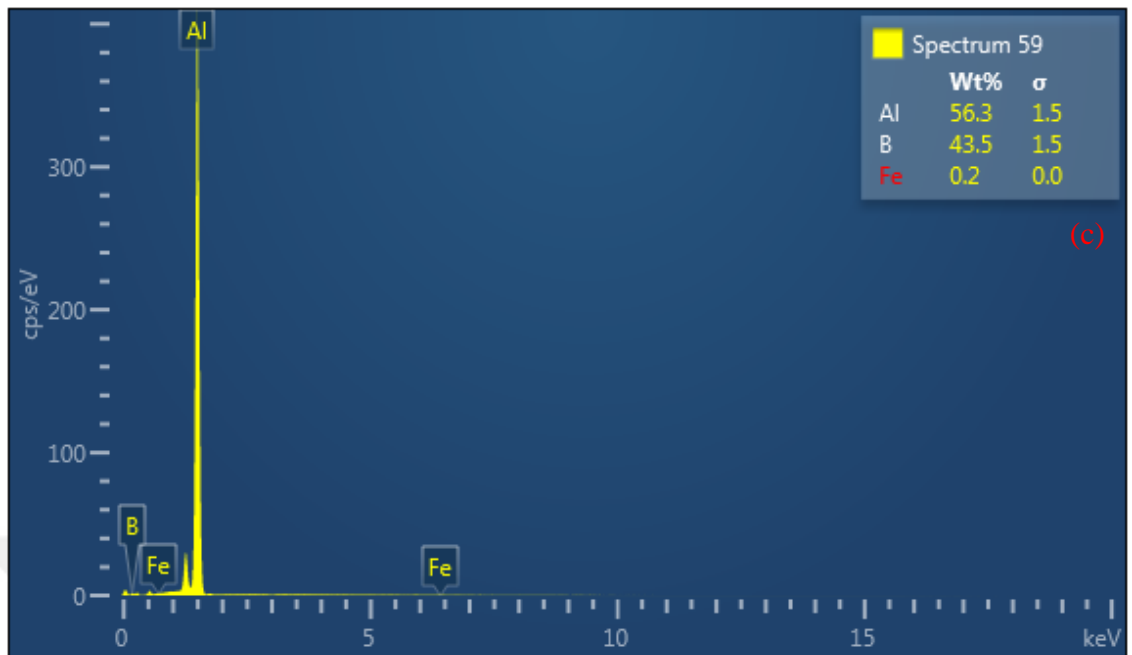
Resim 6.9.'da verilen 2 nolu numuneye ait analizler incelendiğinde (b) ve (f) görselinde alüminyum ve demir net bir şekilde görülmüş olup bor oranı cihaz hassasiyetinden dolayı net ölçülemediğinden kırmızı renkle gösterilmektedir, (c), (d), (e) ve (g) görsellerinde alüminyum net bir şekilde görülmüş olup bor ve demir oranı cihaz hassasiyetinden dolayı net ölçülemediğinden kırmızı renkle gösterilmektedir.

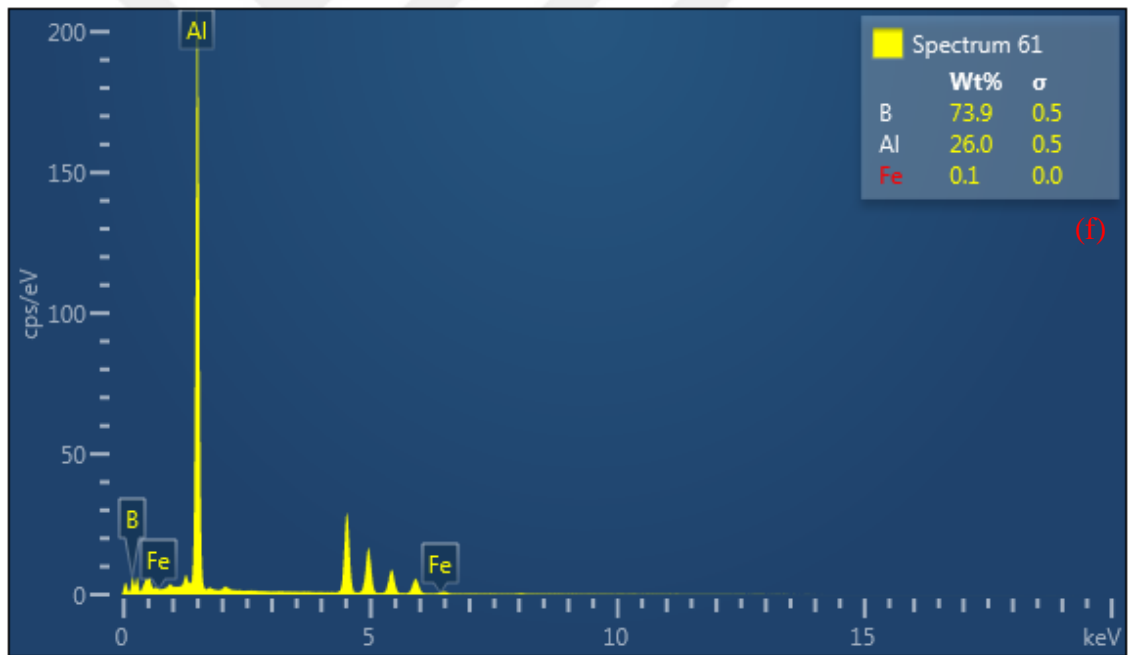
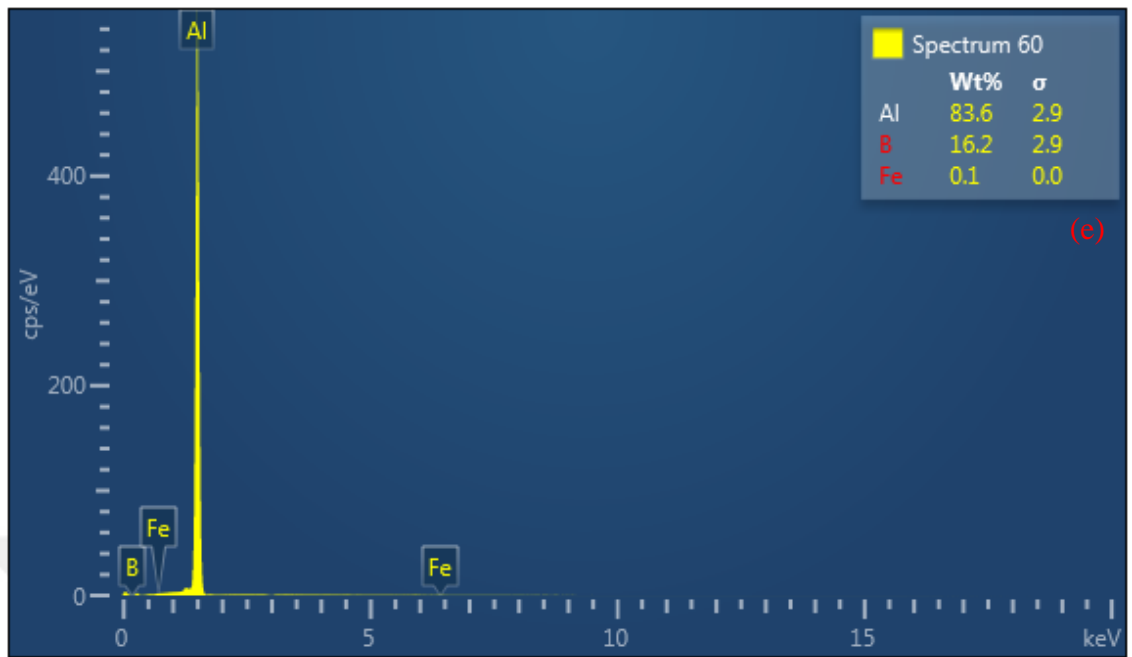


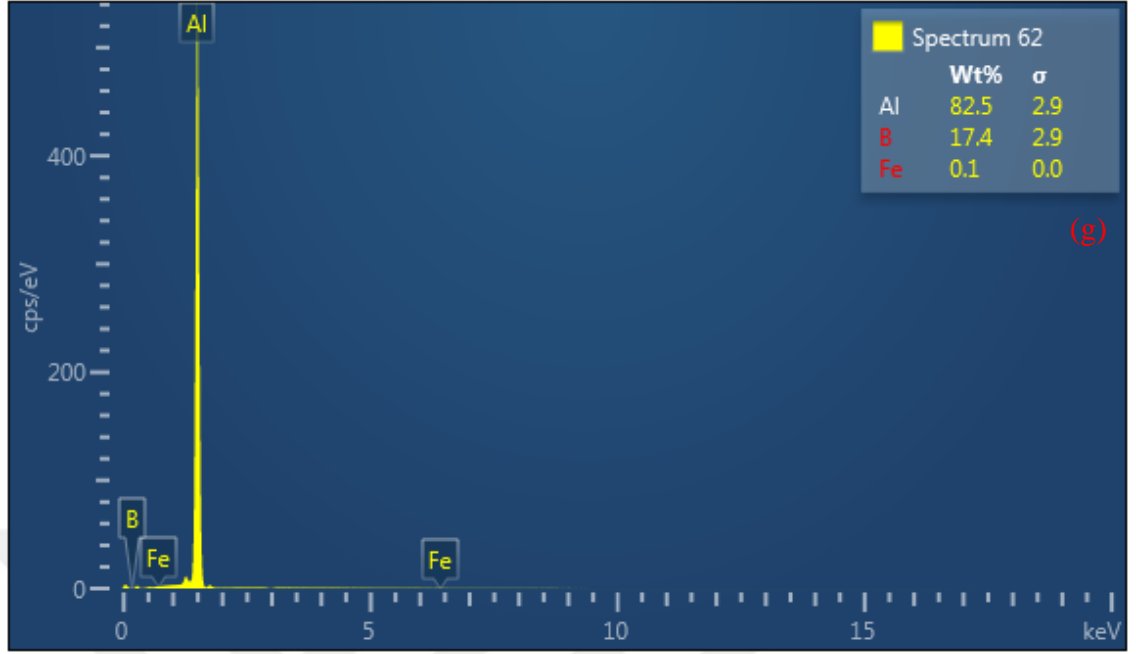
Resim 6.10. 2 nolu Al+Ferrobor içeren numunenin Mapping analizi

Electron Image 22



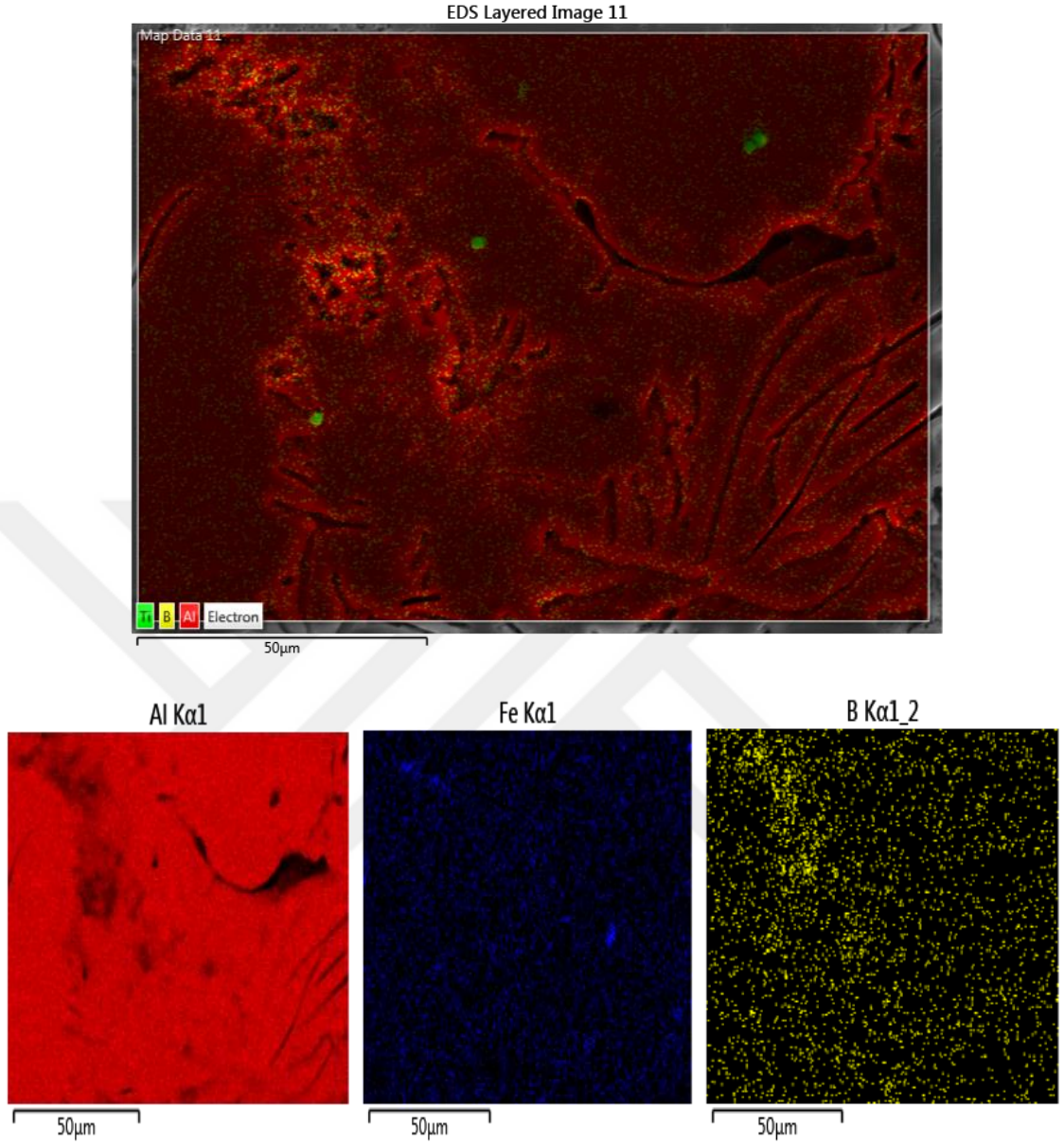






Resim 6.11. 3 nolu Al+Ferrobör içeren numunenin SEM görüntüsü ve noktasal analizleri

Resim 6.11.'de verilen 3 nolu numuneye ait analizler incelendiğinde (b), (d), (e) ve (g) görsellerinde alüminyum net bir şekilde görülmüş olup demir ve bor oranları cihaz hassasiyetinden dolayı net ölçülemediğinden kırmızı renkle gösterilmektedir. Analizin (c) ve (f) görsellerinde alüminyum ve bor net bir şekilde görülmüş olup demir oranı cihaz hassasiyetinden dolayı net ölçülemediğinden kırmızı renkle gösterilmektedir.

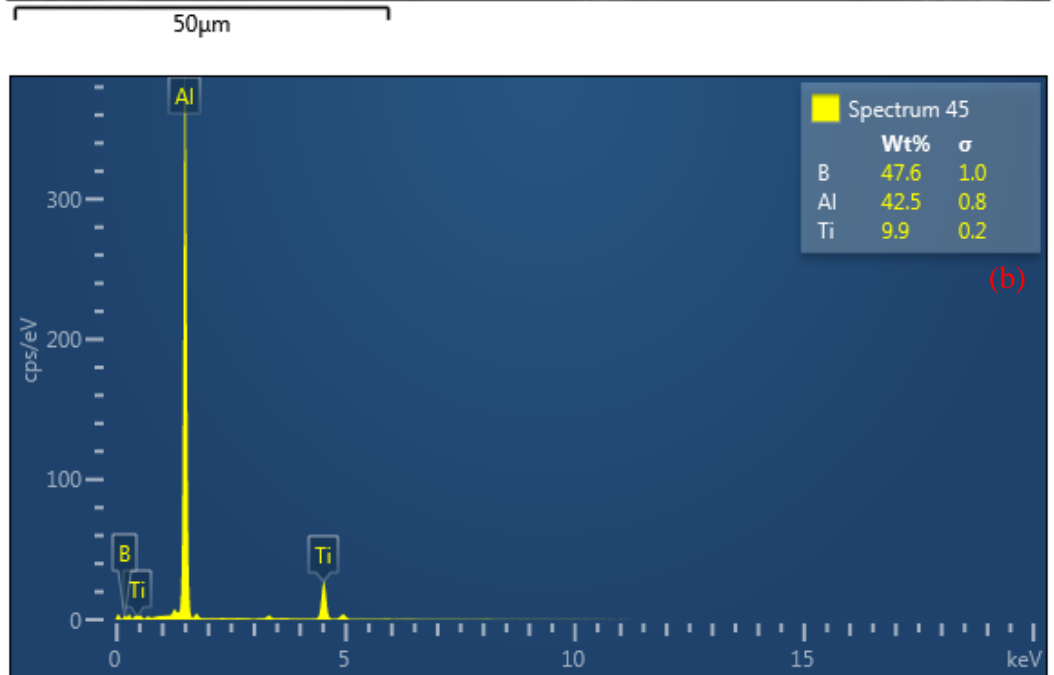
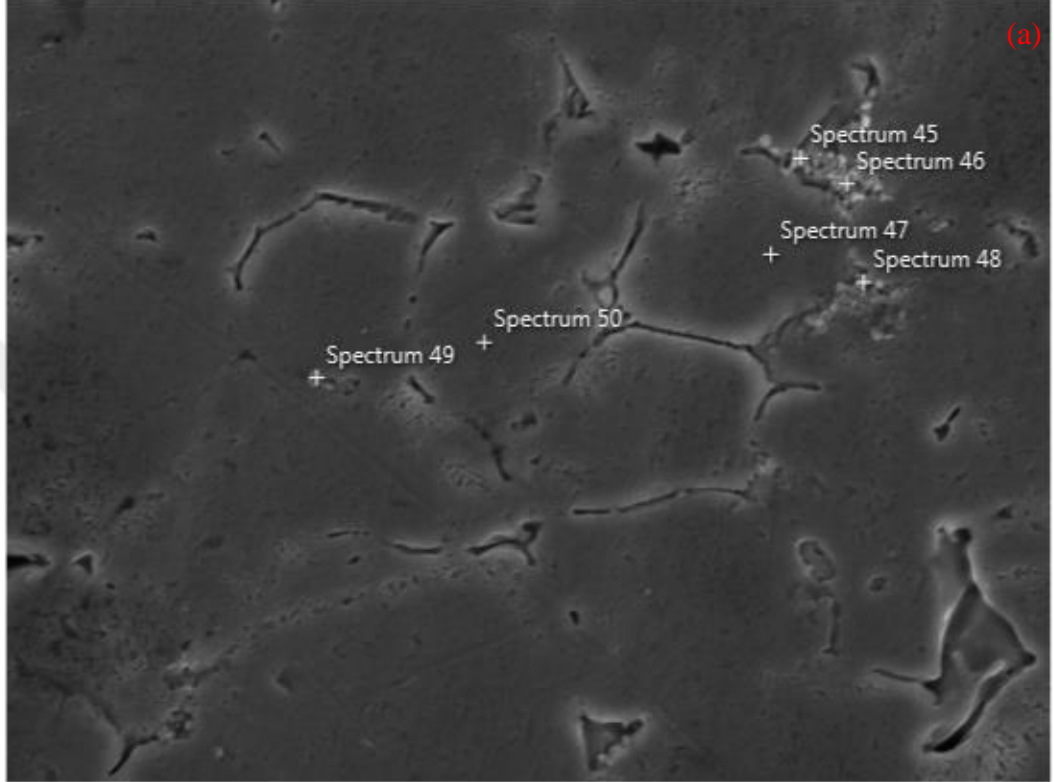


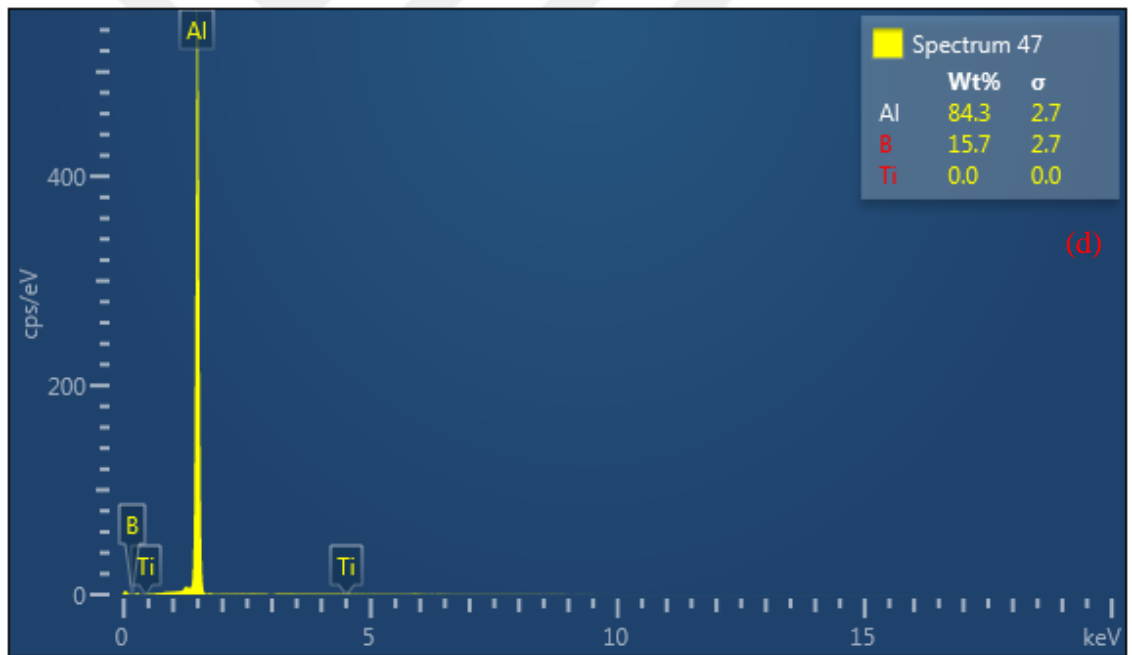
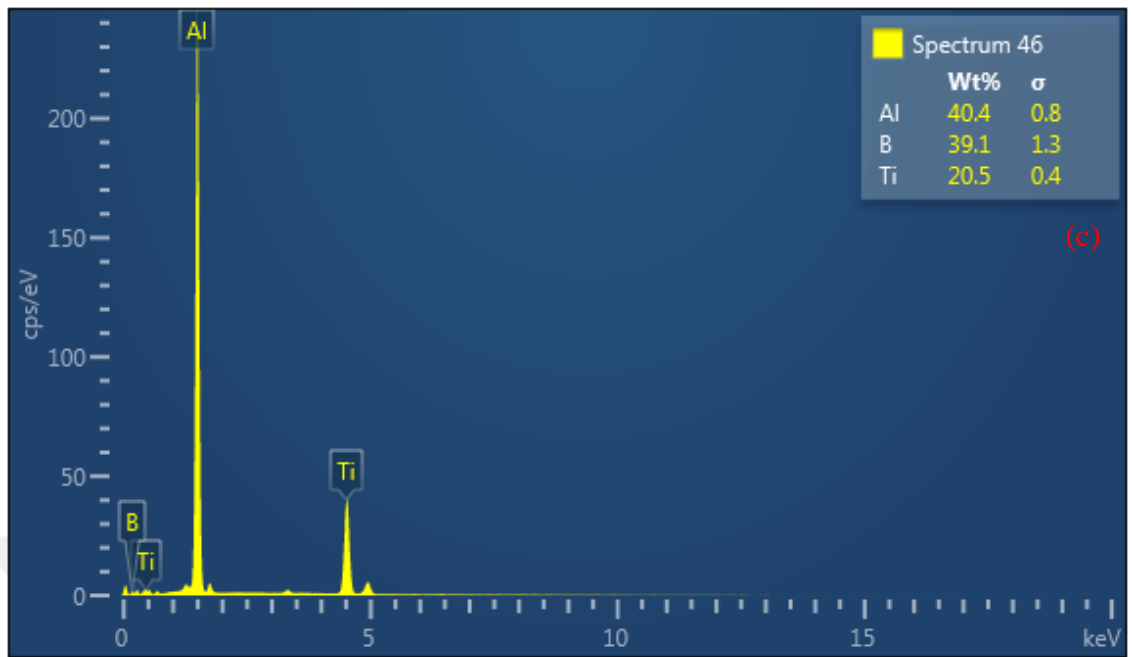
Resim 6.12. 3 nolu Al+Ferrobor içeren numunenin Mapping analizi

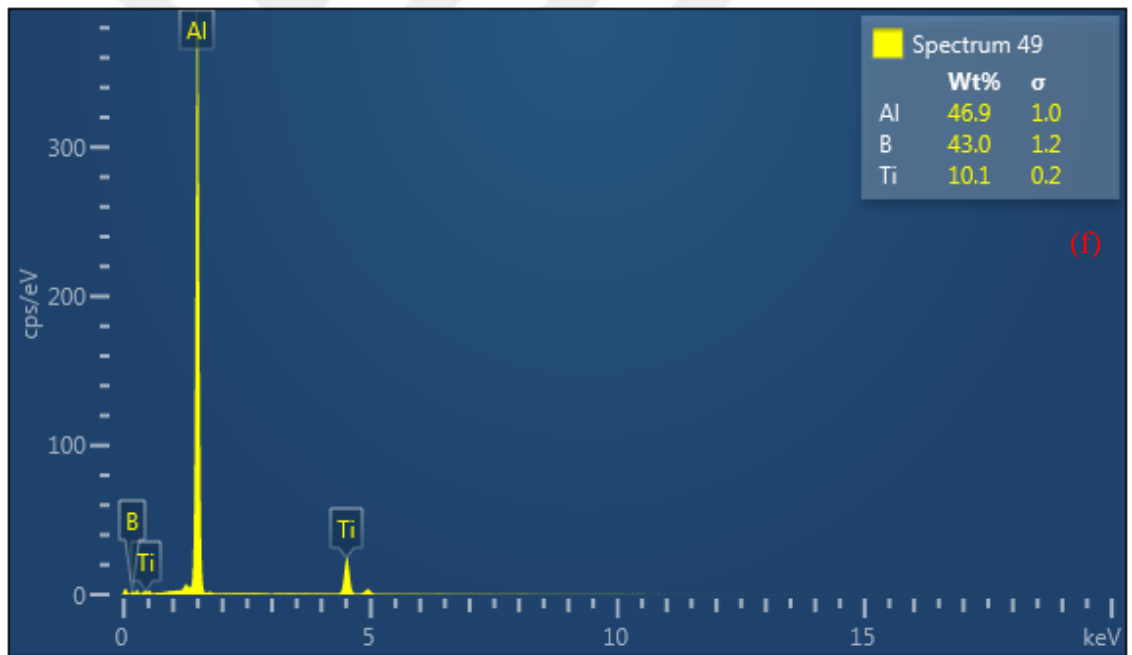
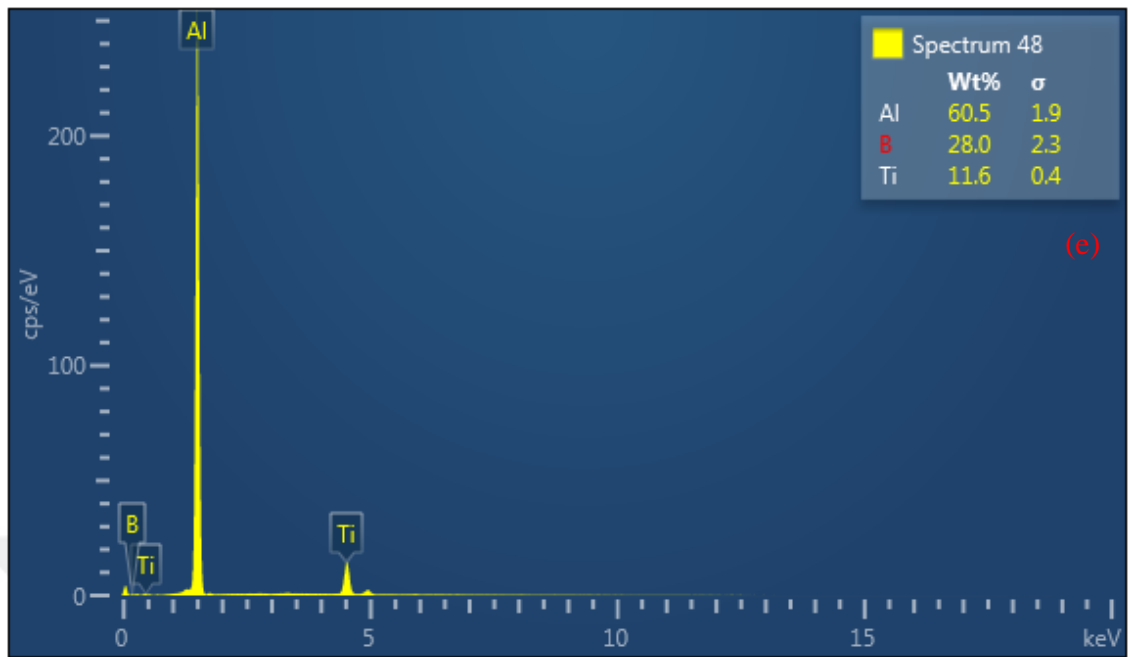
Resim 6.9.'da 2 nolu ve Resim 6.11.'de 3 nolu SEM görüntüleri verilen numunelere farklı oranlarda ferrobor ilave edilmiş ve elde edilen noktasal analiz sonuçlarında ferrobor ilave oranı arttıkça paralel olarak ortalama noktasal analiz değerleri de artmıştır. 2 nolu numunede noktasal analiz bor değeri Wt% 19,15 ve Fe oranı Wt% 0.4 iken ilave bor oranını artması ile noktasal ortalama analiz değerleride Wt% 23.50 ve Fe oranı Wt% 2.3 olarak artış göstermiştir.

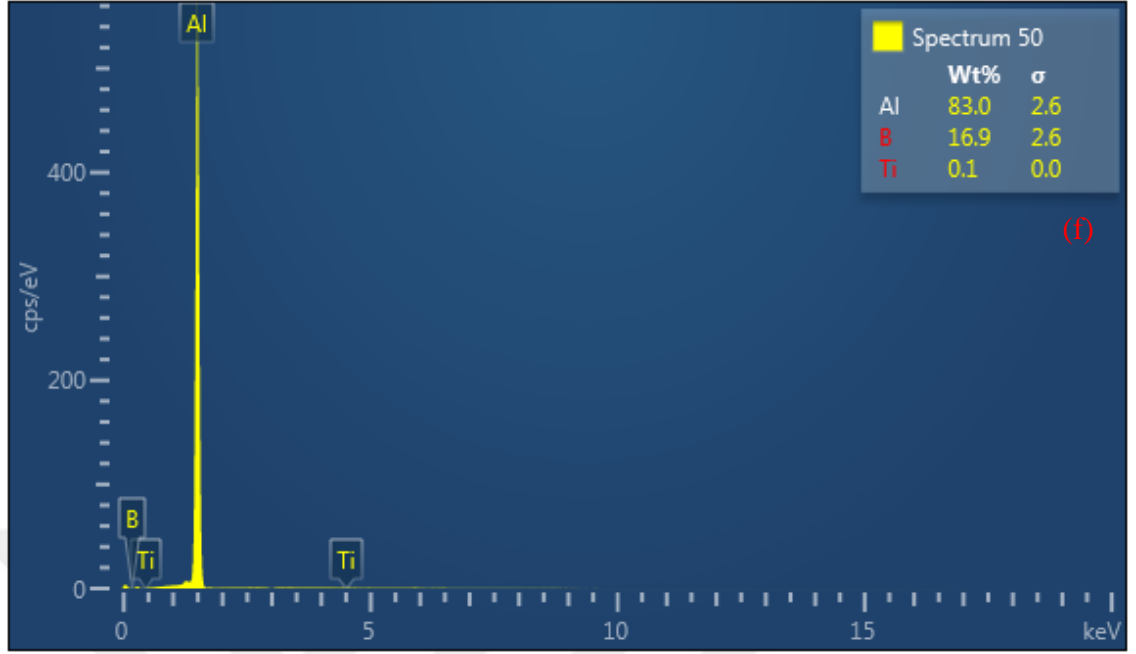
Resim 6.10.'da 2 nolu numunede alüminyum, demir ve borun homojen bir şekilde dağıldığı Mapping analizi ile gösterilmiştir. Resim 6.12.'de 3 nolu numunede ise titanyumun yer yer öbikleştiği fakat borun homojen şekilde dağıldığı gösterilmiştir.

Electron Image 18



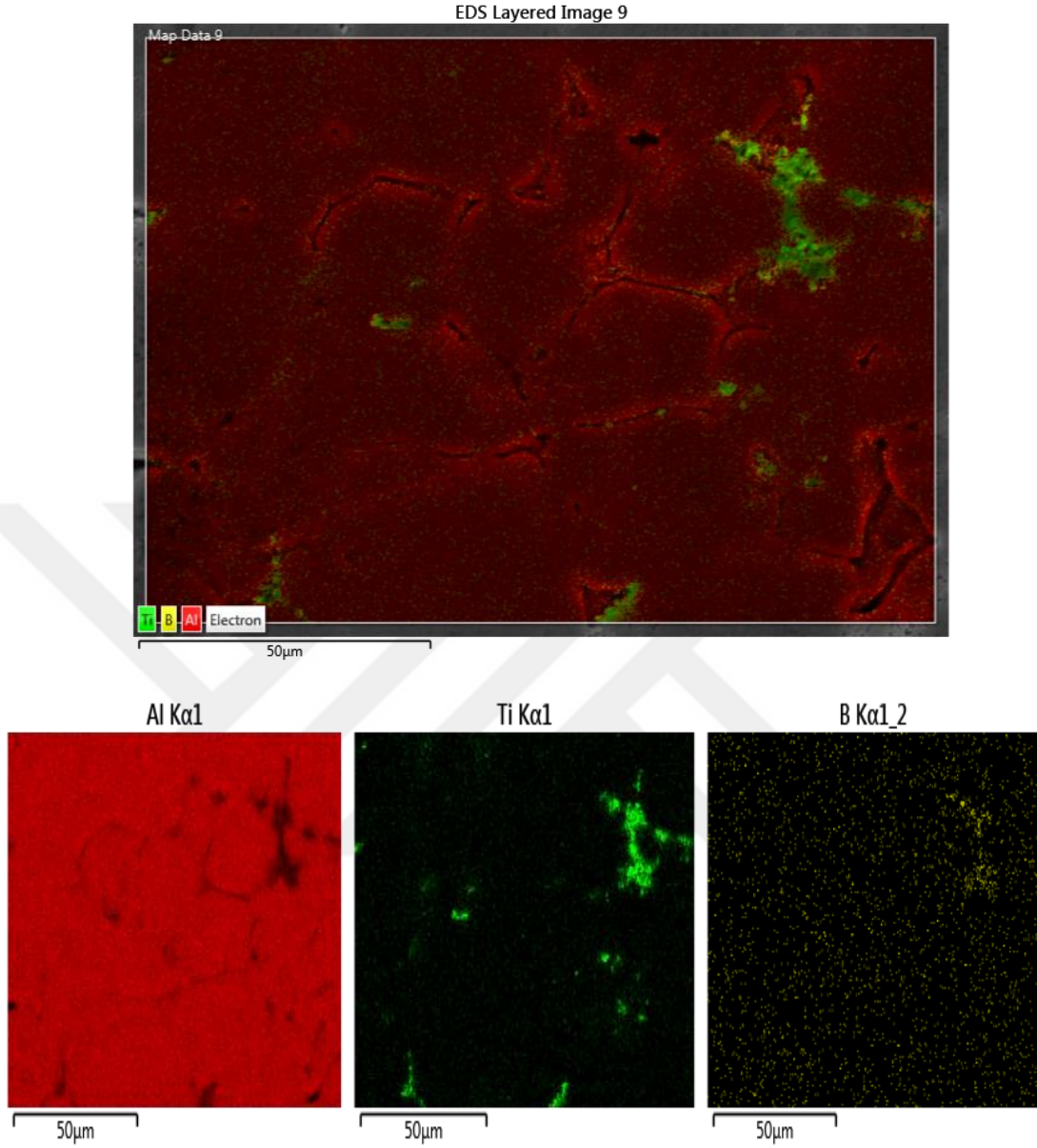






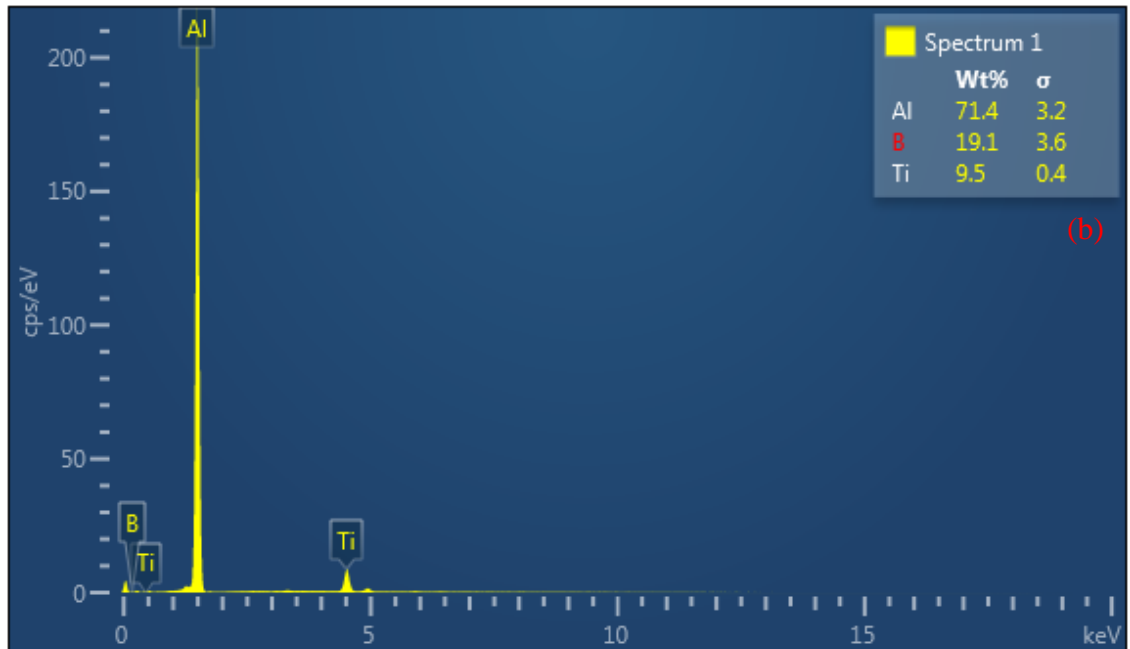
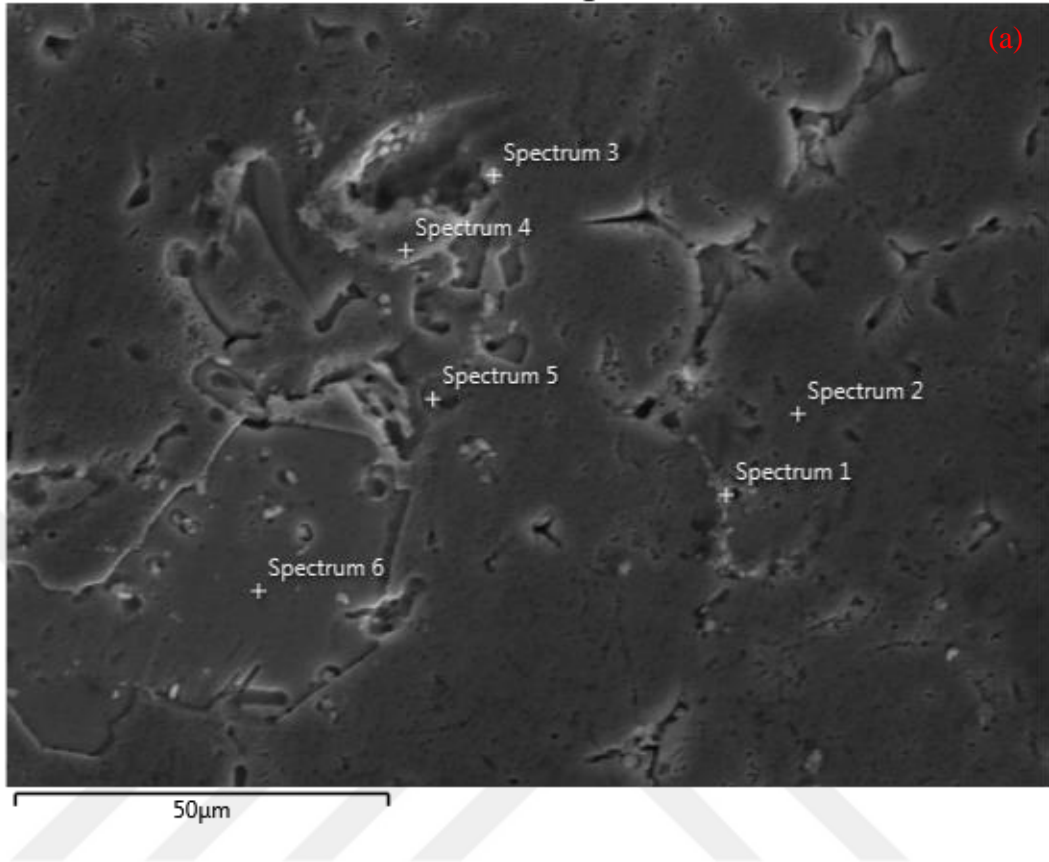
Resim 6.13. 4 nolu Al+Al-Ti-B içeren numunenin SEM görüntüsü ve noktasal analizleri

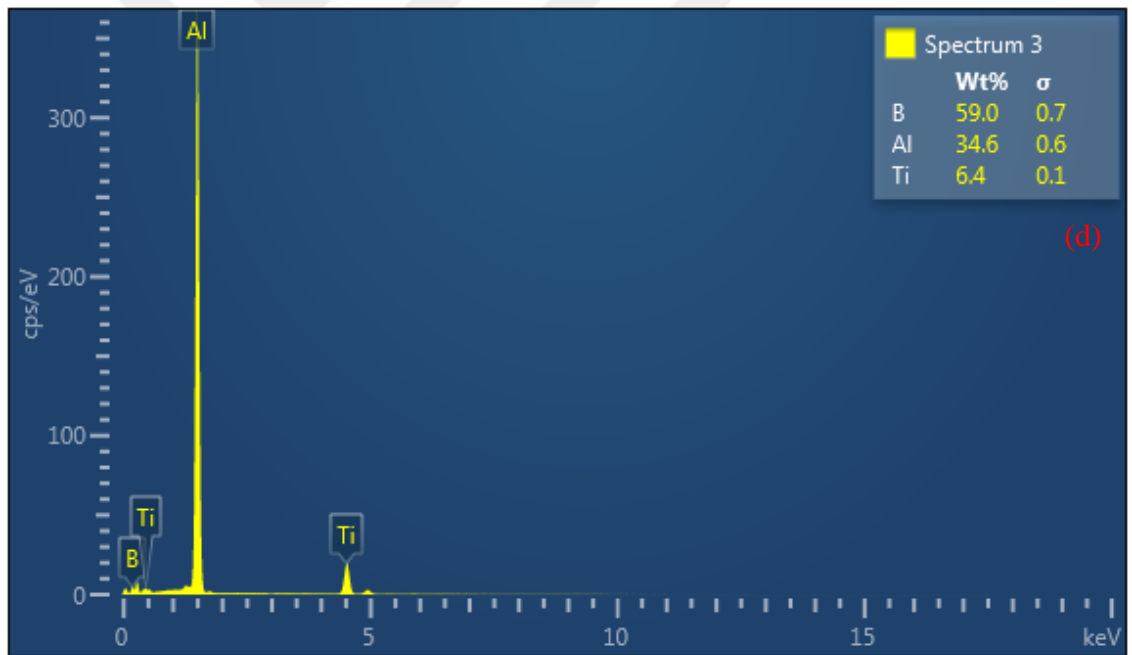
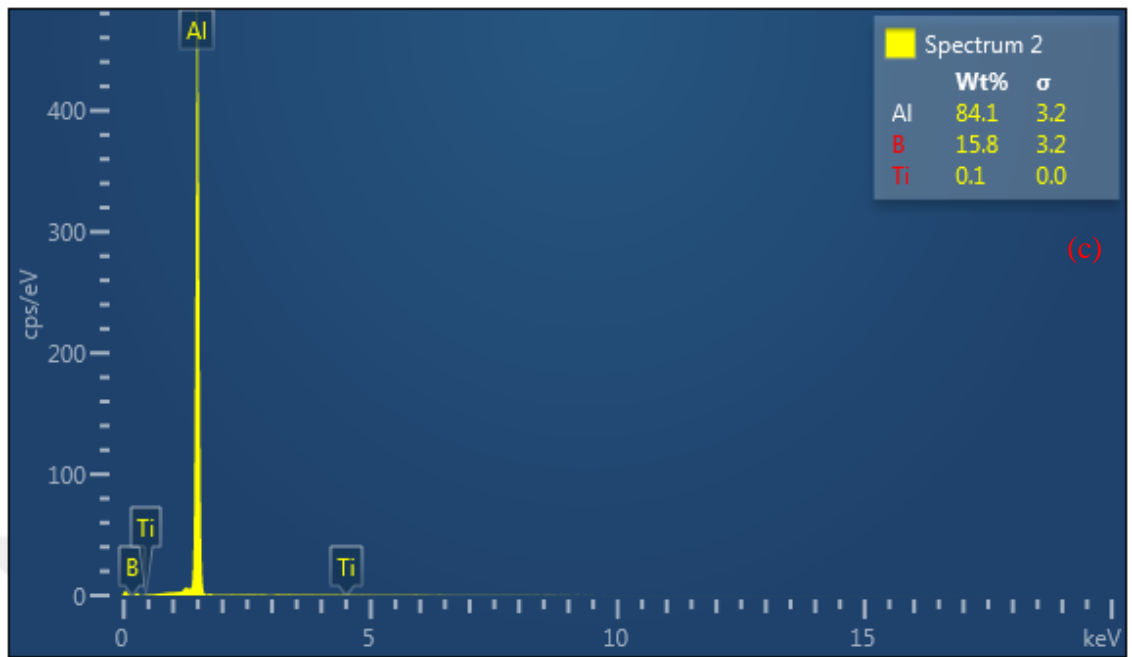
Resim 6.13.'de verilen 4 nolu numuneye ait analizler incelendiğinde (b), (c) ve (f) görsellerinde alüminyum, titanyum ve bor net bir şekilde görülmüştür. Analizin (d), (g) görsellerinde alüminyum net bir şekilde görülmüş olup bor ve titanyum oranı cihaz hassasiyetinden dolayı net ölçülememiş olduğundan kırmızı renkle gösterilmektedir. Analizin (e) görselinde alüminyum ve titanyum net bir şekilde ölçülmüş olup bor oranı cihaz hassasiyetinden dolayı net ölçülememiş olduğundan kırmızı renkle gösterilmektedir.

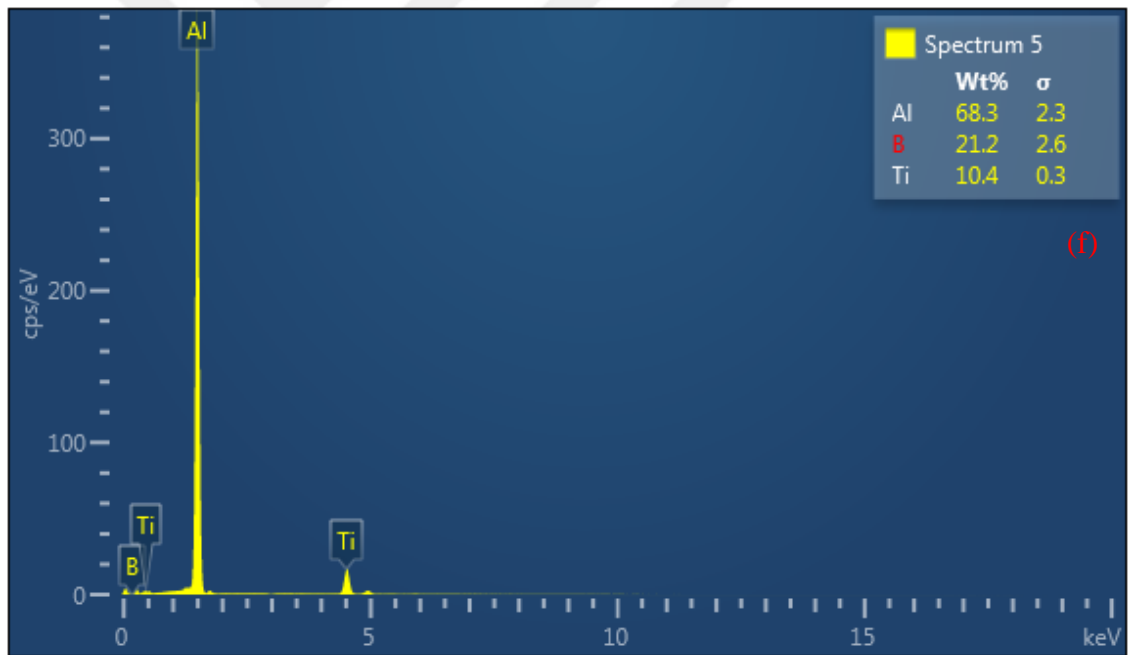
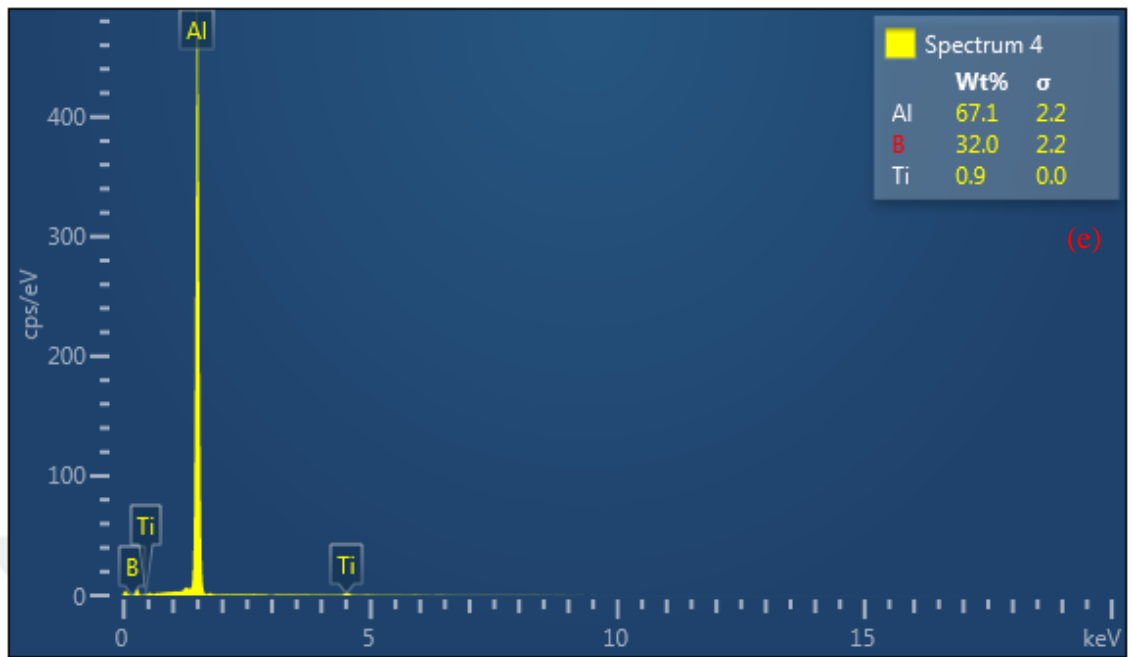


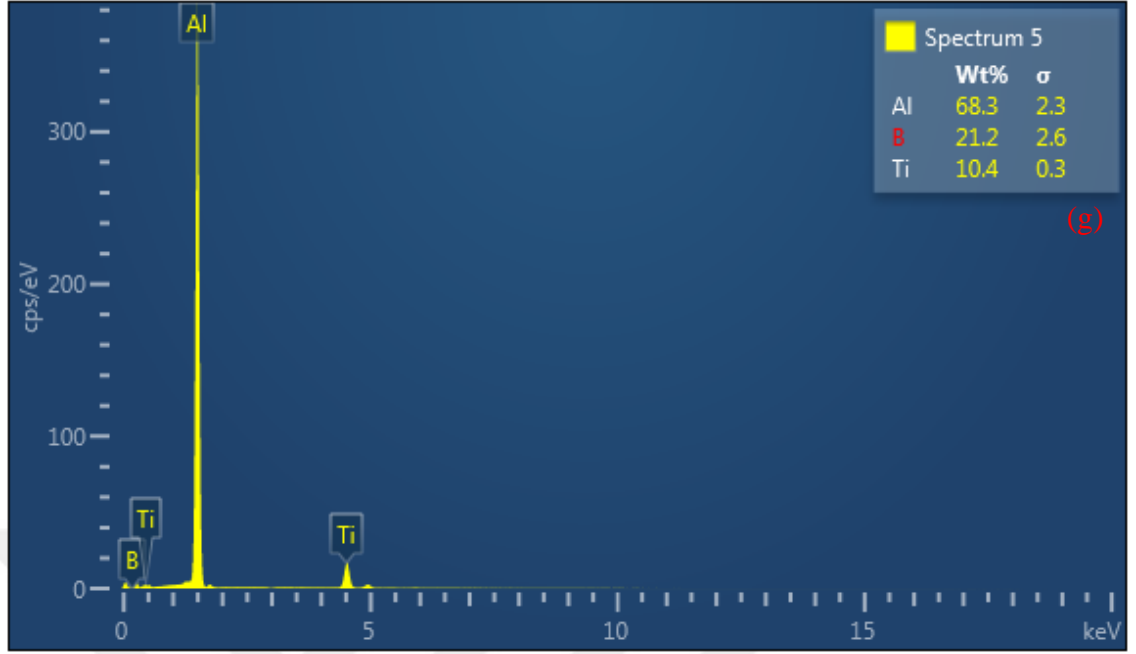
Resim 6.14. 4 nolu Al+Al-Ti-B içeren numunenin Mapping analizi

Electron Image 2



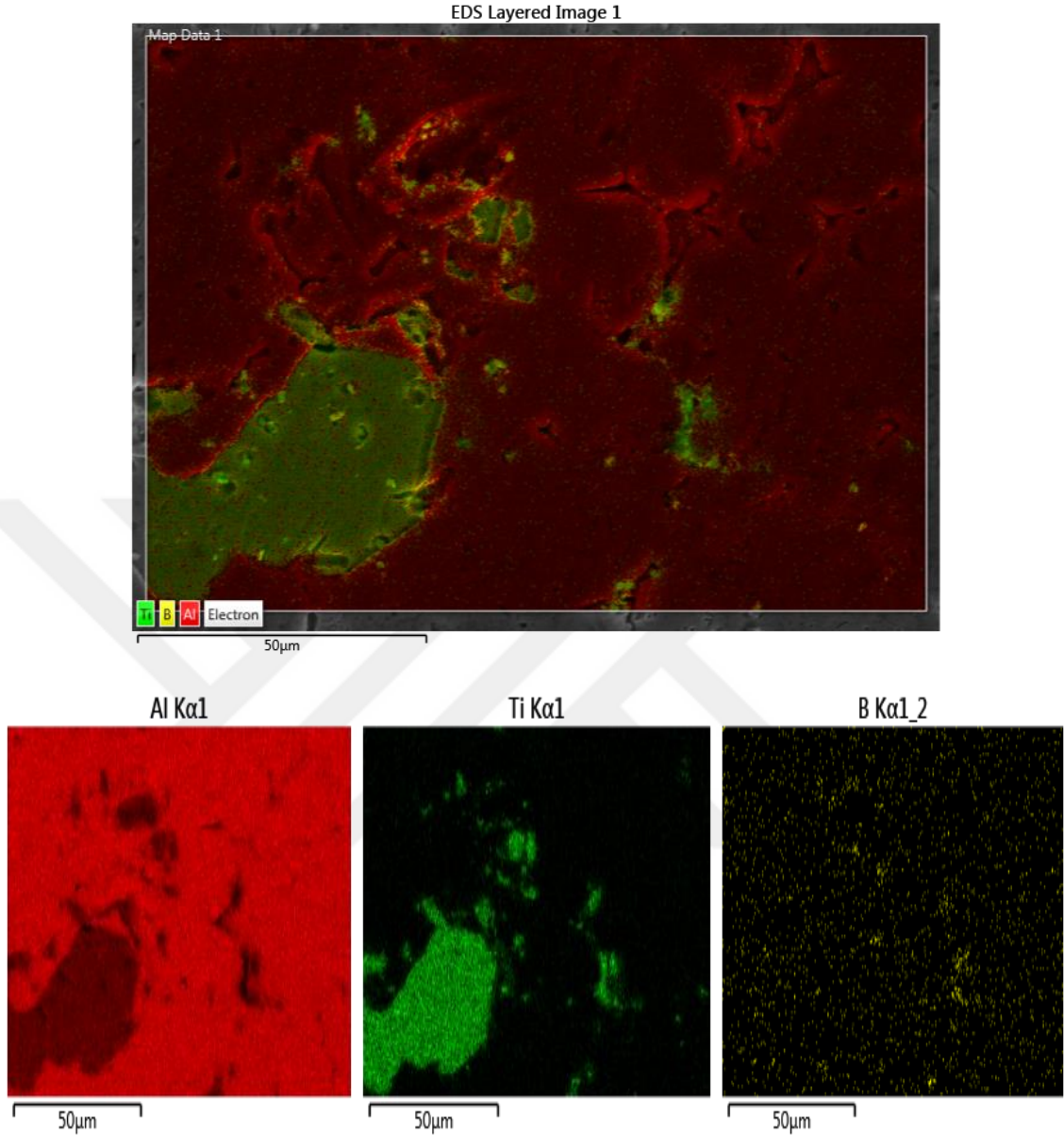






Resim 6.15. 5 nolu Al+Al-Ti-B içeren numunenin SEM görüntüsü ve noktasal analizleri

Resim 6.15.'de verilen 5 nolu numuneye ait analizler incelendiğinde (b), (e), (f) ve (g) görsellerinde alüminyum, titanyum net bir şekilde görülmüş olup bor oranı cihaz hassasiyetinden dolayı net ölçülemediğinden kırmızı renkle gösterilmektedir. Analizin (c) görselinde alüminyum net bir şekilde görülmüş olup bor ve titanyum oranı cihaz hassasiyetinden dolayı net ölçülemediğinden kırmızı renkle gösterilmektedir. Analizin (d) görselinde alüminyum, bor ve titanyum net bir şekilde ölçülmüştür.

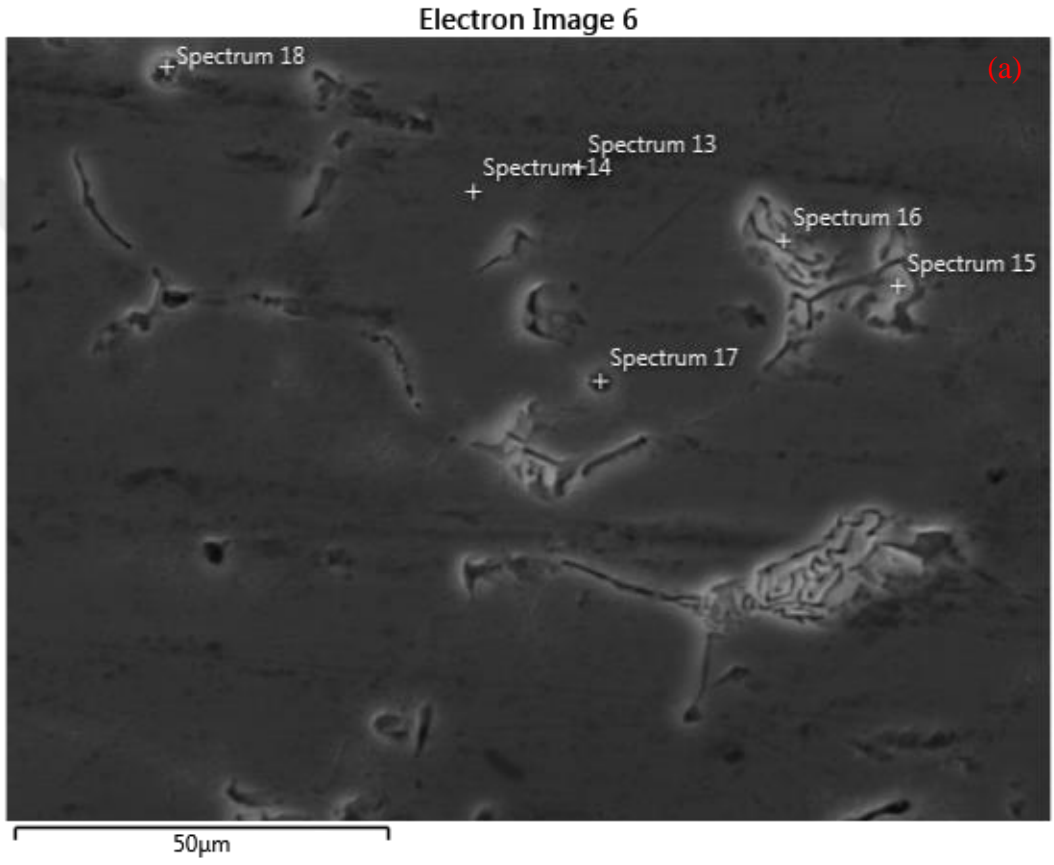


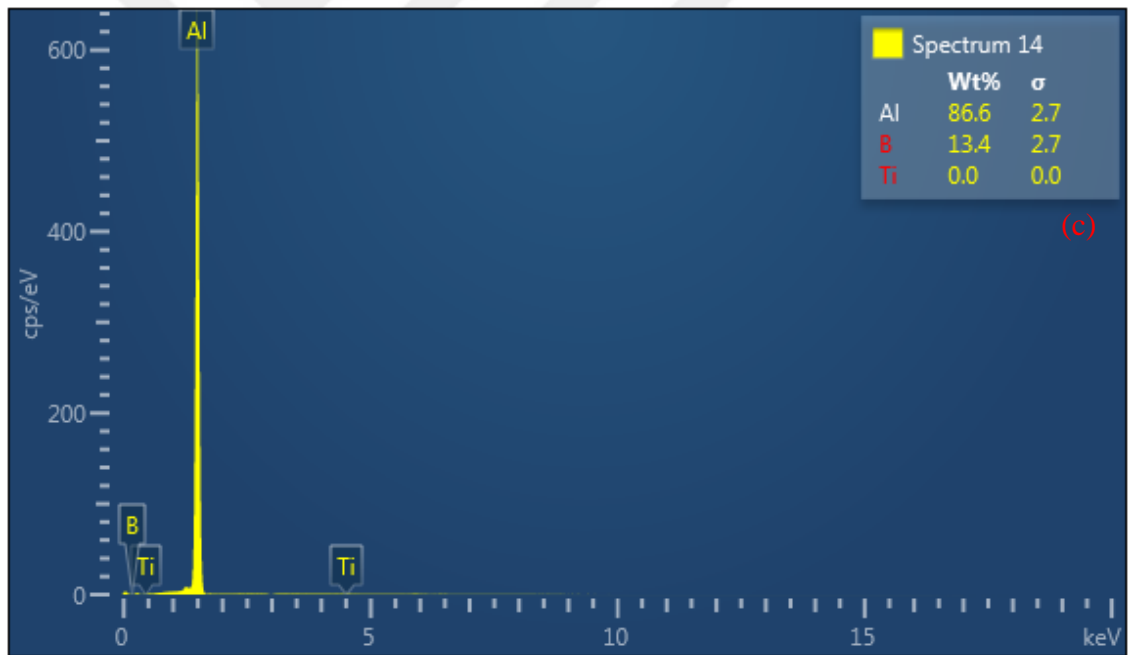
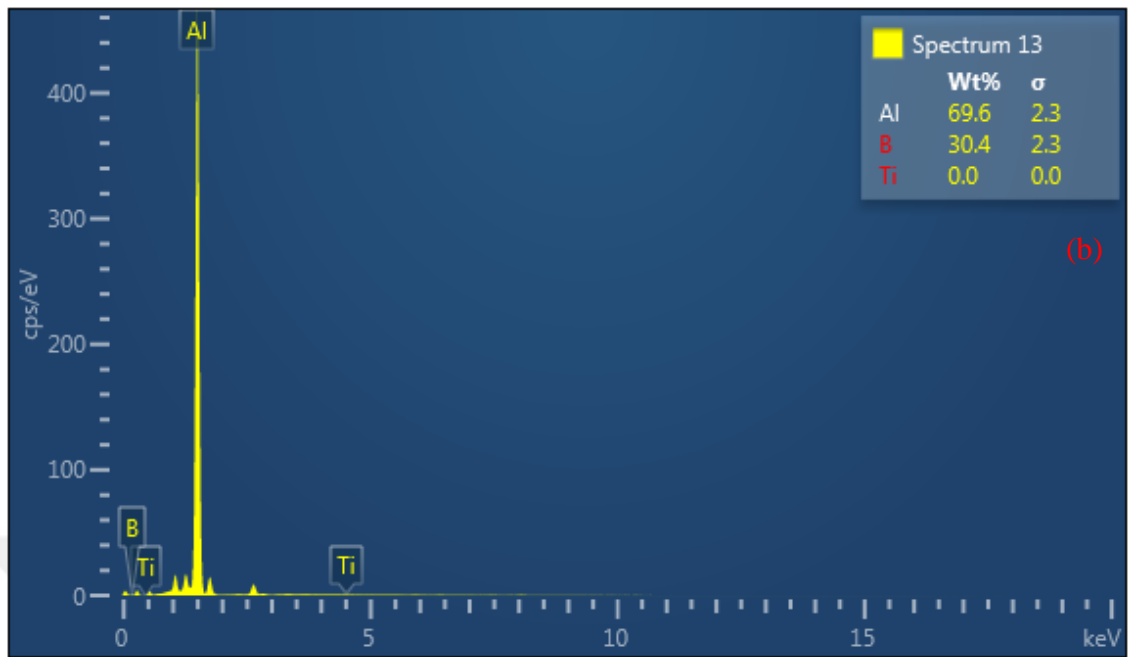
Resim 6.16. 5 nolu Al+Al-Ti-B içeren numunenin Mapping analizi

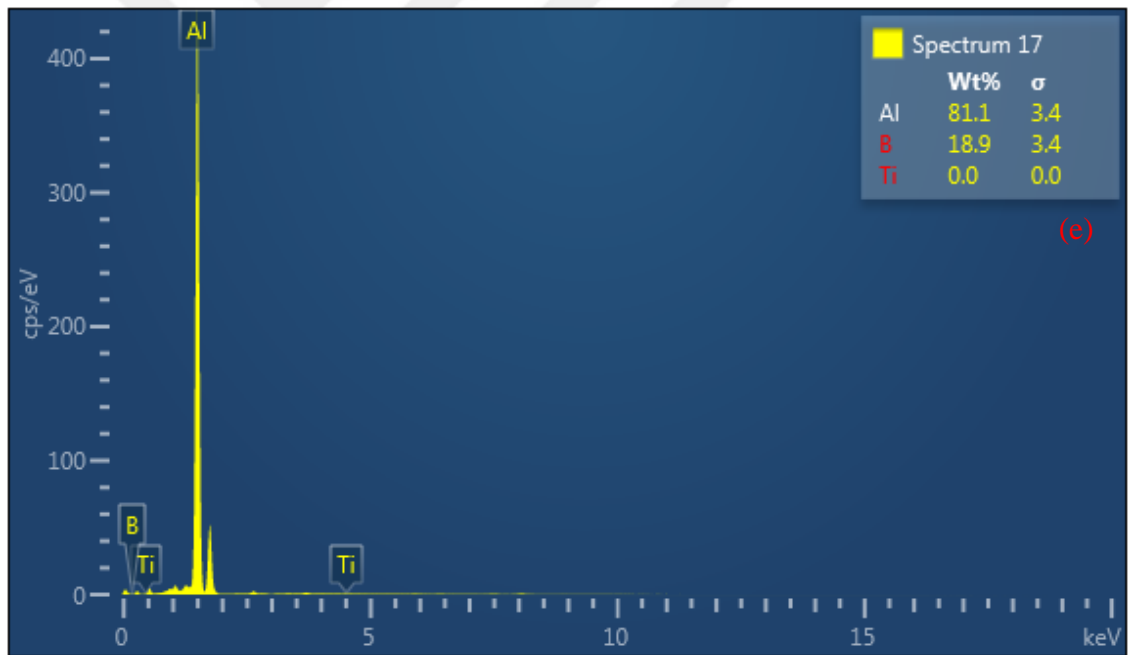
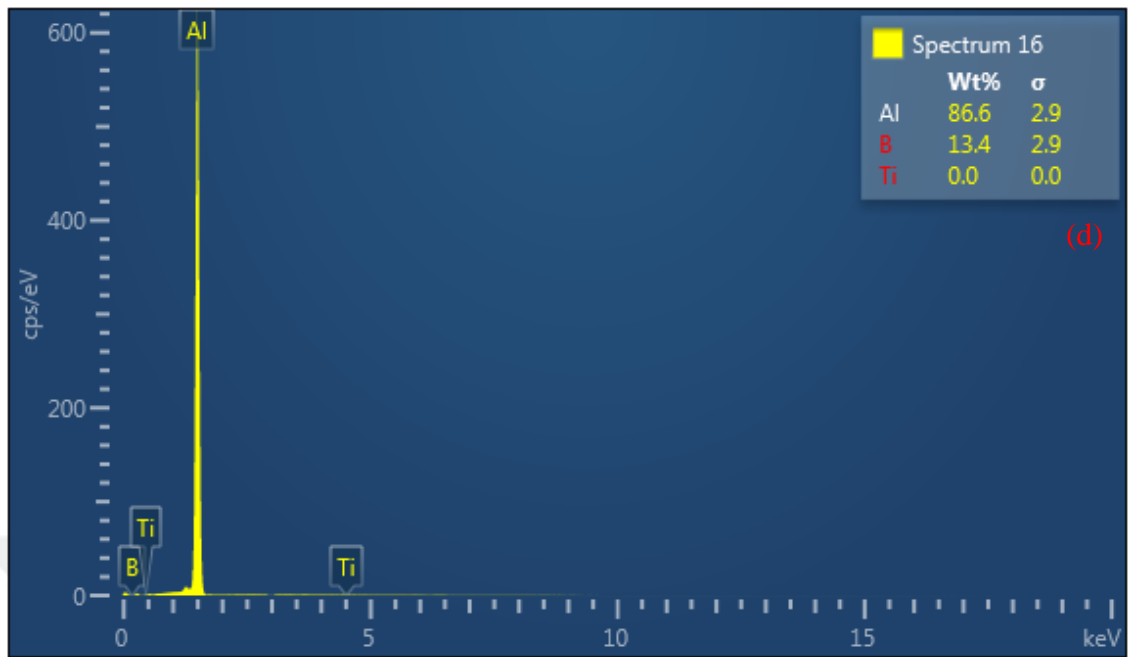
Resim 6.13.'de 4 nolu ve Resim 6.15.'de 5 nolu SEM görüntüleri verilen numunelere farklı oranlarda Al-Ti-B ilave edilmiş ve elde edilen noktasal analiz sonuçlarında Al-Ti-B ilave oranı arttıkça paralel olarak ortalama noktasal analiz değerleride arttığı düşünülmektedir. Resim 6.15.'de 5 nolu SEM görüntüleri verilen numunelerde noktasal analiz ölçümlerinde B değerindeki ölçümler hassas yapılamamıştır. Bu durum kırmızı ile gösterilmiştir. 4 nolu numunede noktasal analiz bor değeri Wt% 31,72 ve Ti oranı Wt% 8.7 iken ilave bor ve titanyum oranını artması ile noktasal ortalama analiz

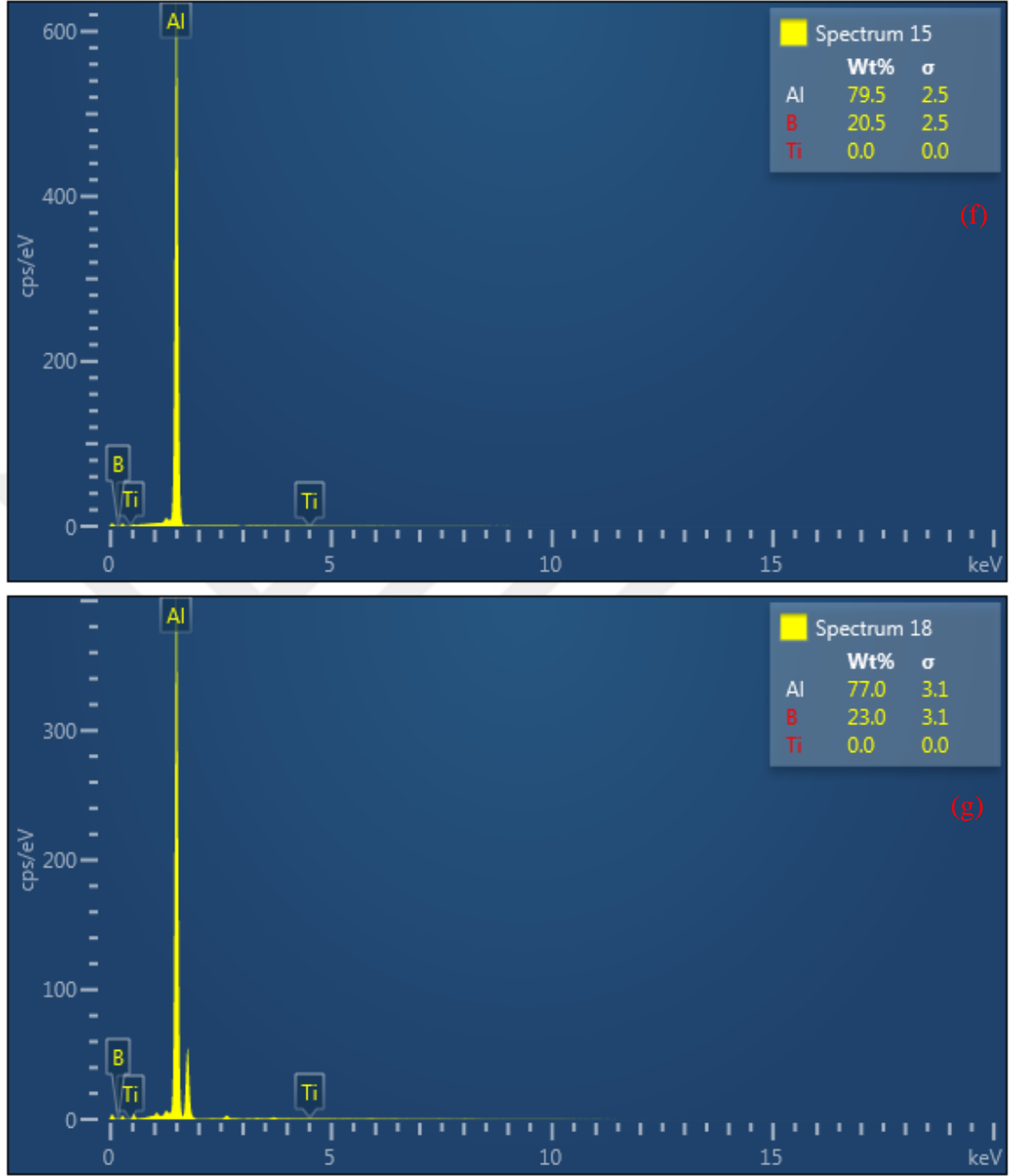
değerleride Wt% 27.27 ve Ti oranı Wt% 9,8 olarak artış göstermiştir. Bor değerindeki düşüş hassas yapılamadığı için düşük çıktığı düşünülmektedir.

Resim 6.14.'de 4 nolu numunede ve Resim 6.16.'da verilen 5 nolu numunede borun homojen bir şekilde dağıldığı fakat titanyumun yer yer öbikleştiği Mapping analizi ile gösterilmiştir.



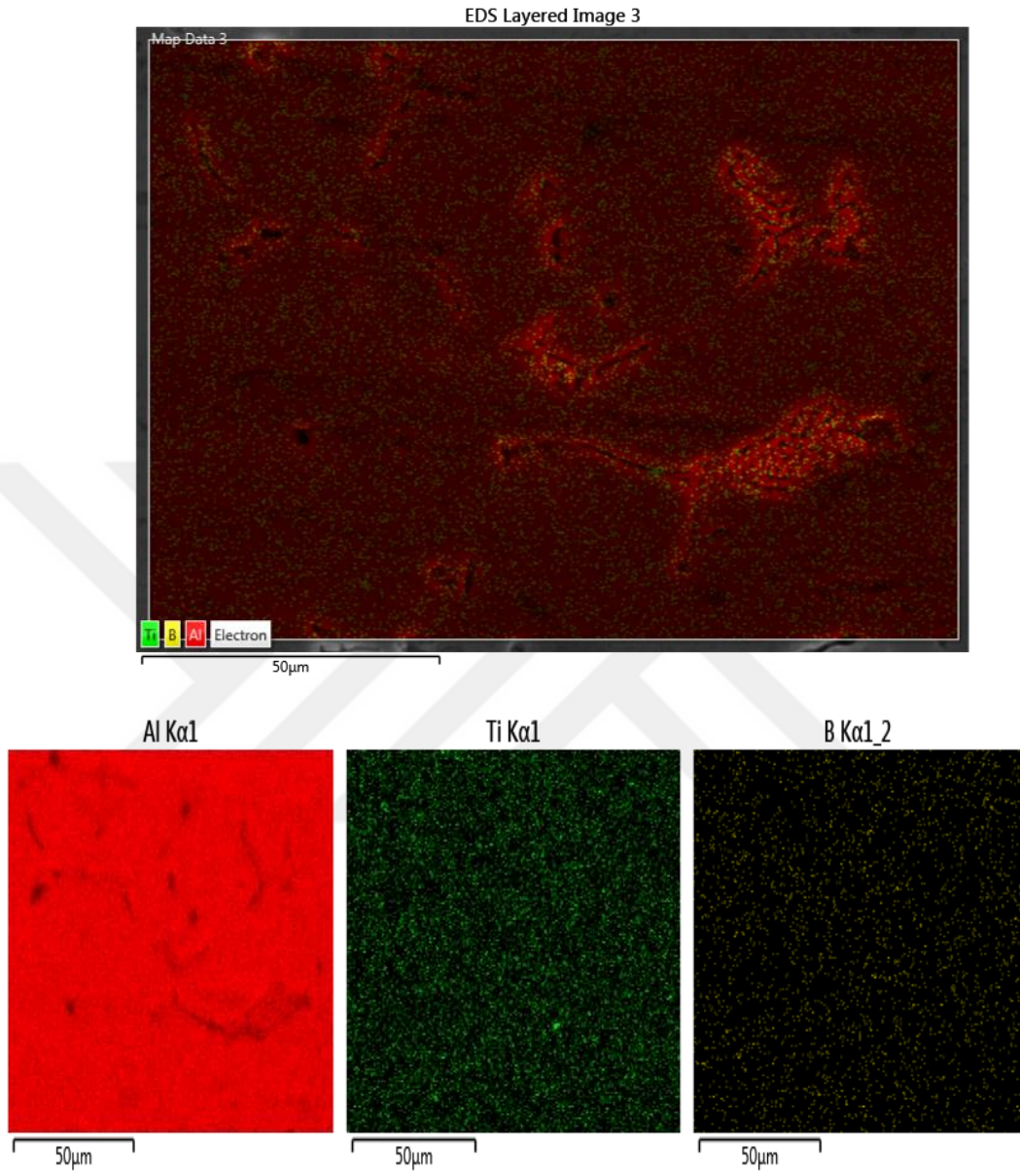






Resim 6.17. 6 nolu Al+Al-Ti-B+Ferrobor içeren numunenin SEM görüntüsü ve noktasal analizleri

Resim 6.17.'de verilen 6 nolu numuneye ait analizler incelendiğinde (b), (c), (d), (e), (f) ve (g) görsellerinde alüminyum net bir şekilde görülmüş olup, titanyum ve bor oranları cihaz hassasiyetinden dolayı net ölçülememiş olduğundan kırmızı renkle gösterilmektedir.



Resim 6.18. 6 nolu Al+Al-Ti-B+Ferrobor içeren numunenin Mapping analizleri

Resim 6.16.'da 6 nolu SEM görüntüleri verilen numunelere 6082 alüminyum alaşımına katkı maddesi olarak ferrobor ve Al-Ti-B ilave edilmiştir. 6 nolu numunede noktasal analiz bor değeri Wt% 19,93 ve Ti oranı Wt% 0,0 olarak elde edilmiştir.

Resim 6.18.'de 6 nolu numunede titanyum ve borun homojen bir şekilde dağıldığı Mapping analizi ile gösterilmiştir.

Benan Elmusa yaptığı çalışmada alüminyum, bor oksit ve titanyum oksit toz karışımlarından mekanokimyasal yöntem ile oda sıcaklığında nanokristalin Al_2O_3 - TiB_2 kompozit sentezi ile karakterizasyon analizleri yapmıştır. Genel olarak SEM ile yaptığı mikroyapı karakterizasyonunda mekanokimyasal sentez süresinin artmasıyla partikül morfolojisinin değiştiğini, takviye faz ile matris fazın birbirine karışarak homojen yapıya dönüştüğü görmüştür [32].

Yapılan bu çalışmalarda;

1. aşama olarak 6082 alüminyum alaşımına Al-Ti-B'lu malzemeden farklı oranlarda bor ilave edilerek alaşımlama işlemi yapılarak mukavemet artışına gidilmiştir.
2. aşama olarak 6082 alüminyum alaşımına 25μ boyutlarında farklı oranlarda ferrobör ilavesi yapılarak mekanik olarak karıştırılmaya çalışılmış ve ince partiküllü kompozit malzeme elde edilerek mukavemet artırılma yoluna gidilmiştir.
3. aşama olarak 6082 alüminyum alaşımına hem Al-Ti-B ilave ederek alaşımlama ve hem de 25μ boyutlarında ferrobör ilave edilerek iki tür mukavemetlenme sağlanmaya çalışılmıştır.

BÖLÜM 7

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

1. Mikroyapı incelemelerinde 6082 alüminyum alaşımı mikro yapısının diğer katkı mikroyapılara göre belirgin bir fark görülmemektedir. Fakat diğer katkı maddeleri ilavesi ile çok azda tane sınırlarında yoğun ince tabakalar görülmektedir.
2. Mikrosertlik değerlerine bakıldığında 6082 alüminyum alaşımı mikrosertlik değeri katkı maddelerinin ilave edilmiş alüminyuma göre daha düşük olduğu görülmektedir. Ayrıca ferrobör ilavesi arttığı zaman mikrosertlikte de artış olduğu ve Al-Ti-B ilave artışıyla mikrosertliğin arttığı görülmektedir.
3. XRD sonuçlarında Al, Ti, B'un yanısıra AlB_{12} ve TiB_2 bileşikleride görülmektedir.
4. SEM noktasal analiz sonuçlarında Al-Ti-B ilave oranı artıkça paralel olarak ortalama noktasal analiz değerleride arttığı ve ferrobör oranı artıkça da bor oranlarındaki artış gözlenmiştir.

Öneriler:

Elde edilen bu 6082 alüminyum alaşımı, farklı oranlarda Al-Ti-B'lu alüminyum, farklı oranlarda ferrobörlü alüminyum ve Al-Ti-B+Ferrobör'lu alüminyum numuneleri ısıtma işlemleriyle mukavemetinin ciddi değerlerde artacağı öngörülmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] ESER, U. “Alüminyum Silisyum Alaşımlarında Bor Elementi ile Tane İnceltme”, 2019
- [2] BAYPINAR, F. “Alüminyum Döküm Alaşımlarına Al₅Ti₁B ile Tane İnceltme İşlemi Uygulaması”, 2005
- [3] Weissbach, W. Malzeme Bilimi ve Muayenesi, Birsen Yayınevi, İstanbul, 1984
- [4] T.M.Odası, “Alüminyum Raporu” syf.113-159, 2002
- [5] http://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi137/d137_1445.pdf.
- [6] <https://aluminumburada.com/blog?p=al%C3%BCminyum-ala%C5%9F%C4%B1mlar%C4%B1-nerelerde-kullan%C4%B1l%C4%B1r>
- [7] BAŞER, T.A. “Alüminyum Alaşımları ve Otomotiv Endüstrisinde Kullanımı”, Mühendis ve Makine, 2012
- [8] Özçelik, G., (2004). Enjeksiyon Kalıp Tasarımı ve Mukavemet Hesapları, (YL Tezi).
- [9] <http://www.etialuminyum.com>
- [10] Kocaeli Üniversitesi Metalürji Mühendisliği Bölümü, (2007). Al-Si-döküm alaşımları, Proje I.
- [11] Öztürk, İ., “Stronsiyum, Titanyum ve Bor İlavesiyle A356 Alüminyum Alaşımının Mekanik ve Korozyon Özelliklerinin Geliştirilmesi”, İstanbul Üniversitesi, 2019
- [12] Askeland D. R., 1998. Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri, Çeviren: Mehmet Erdoğan, Nobel Yayınevi, Ankara, cilt 1, s. 238-245.
- [13] Eser, U. A., “Alüminyum Silisyum Alaşımlarında Bor ile Tane İnceltme”, Yıldız Teknik Üniversitesi, 2019.
- [14] Al_Saadi, H.I.A., ve Tunay, R.F.“Suni Yaşlandırma İşleminin Alüminyum Alaşımının Sertliği Üzerine Etkisi”, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 5/3, 525–532, 2017
- [15] Yapıcı,C. “AlTi₅B₁ Master Alaşımının Alüminyum Basınçlı Döküm Yönteminde Tane İnceltici Olarak Kullanımının İncelenmesi” İstanbul Teknik Üniversitesi (Yüksek Lisans Tezi),2012
- [16] Yılmaz, S. S., “Demir esaslı T/M parçaların yüzey sertleştirme işlemlerinin fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi”, Doktora Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1-151, 2004

- [17] Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, Bor Sektör Raporu 2013, <https://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FSekt%C3%B6r%20Raporu%2FBOR%20SEKT%C3%96R%20RAPORU%202013%20docx.pdf>
- [18] Demir C., “Bor Minerallerinin Enerji Kaynağı Olarak Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2006
- [19] Eti Maden İşletmesi, Ticari Öneme Sahip Bor Mineralleri, Eti Maden İnternet Sitesi <http://www.etimaden.gov.tr/bor-mineralleri>
- [20] Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu, Kimya Sanayii Hammaddeleri, Cilt I (Bor Tuzları-Trona-Kaya Tuzu-Sodyum Sülfat-Stronsiyum) Çalışma Grubu Raporu, Ankara, 2001 (ISBN 975-19-2822-2)
- [21] Yiğit H., Alkılıç S., Bor ve Bor Ürünlerinin Üretim ve Reaksiyonları On dokuz Mayıs Üniversitesi, <https://docplayer.biz.tr/9597001-Bor-ve-bor-urunlerinin-uretim-ve-reaksiyonlari.html>
- [22] Eti Maden İşleri, “2008 Bor raporu”, Eti Maden İşl. Gen. Müd. Yayınları, Ankara (2008).
- [23] Ölmez E., “Paslanmaz Çelik Üretiminde Al-Ti-B Alaşımının Mekanik Özelliklere ve Mikroyapıya Etkisinin Araştırılması”, Karabük Üniversitesi, 2014
- [24] Yılmaz M.S., “Saf Titanyum Malzeme Yüzeyinde Titanum Alüminyum İntermetalik Tabakasının Oluşturulması”, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2012
- [25] Lamet, J.H.A. Properties and Selection. ASM Metals Handbook. 9.Edition. Sf: 2550-2887.
- [26] Atar, E., “Titanyum ve Titanyum Alaşımaları”, Matalurji ve Malzeme, Eylül-Ekim, Sf:116-119, 2005
- [27] Yılmaz, H., “Titanyum ve Titanyum Alaşımalarının Yüzey Özelliklerinin Plazma (İyon) Nitrüleme ile Geliştirilmesi”, 2008
- [28] Yılmaz, A. “Susuz Boraks Maddesinin Basınçsız Döküm ile Üretilen Alüminyum Malzemesinin Reolojik ve Mekanik Özelliklerine Etkisinin Deneysel Tasarım Yöntemi ile Eniyilmesi”, Kocaeli Üniversitesi, 2020
- [29] Hall A., Economy J., “The $Al_{(L)}+AlB_{(12)} \rightarrow AlB_{(2)}$ Peritectic Transformation and Its Role in the Formation of High Aspect Ratio AlB₂ Flakes, Journal of Phase Equilibria”, 2000

[30]] Savaş Ö., Kayıkçı R., “Production and wear properties of metal matrix composites reinforced with boride particles” , Materials and Design, 2013

[31] Altek Matal San. Ve Tic. A.Ş. internet sitesi, Teknik Bilgiler https://www.altekmetal.com/wp-content/uploads/2019/08/aluminyum_alasimlarinin_siniflandirilmesi.pdf

[32] Basar, Z.S., “titanyum, Zirkonyum ve Bor Katkılı A356 Alaşımının Termal İletkenliklerinin ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, Yıldız Teknik Üniversitesi, 2020

[33] Elmusa, B., “Alüminyum, Bor Oksit ve Titanyum Oksit Toz Karışımlarından Mekanokimyasal Yöntem ile Oda Sıcaklığında Nanokristalin $Al_2O_3-TiB_2$ Kompozit Sentezi ve Karakterizasyonu”, Dumlupınar Üniversitesi, 2020