

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

ALÜMİNYUM 6082 ALAŞIMINA Tİ-B ALAŞIMLAMA VE  
BOR KARBÜR TAKVİYESİNİN MİKROYAPI VE  
MEKANİK ÖZELLİKLER ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN  
ARAŞTIRILMASI

Tezi Hazırlayan  
Rahime ŞEN CÜNERAY

Tez Danışmanı  
Prof. Dr. Cemal ÇARBOĞA

İkinci Danışman  
Dr. Öğr. Üyesi Serkan DAL

Metalurji - Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı  
Yüksek Lisans Tezi

ŞUBAT 2024  
NEVŞEHİR



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

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

**Tezi Hazırlayan  
Rahime ŞEN CÜNERAY**

**Tez Danışmanı  
Prof. Dr. Cemal ÇARBOĞA**

**İkinci Danışman  
Dr. Öğr. Üyesi Serkan DAL**

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

**MAYIS 2024**

Prof. Dr. Cemal ÇARBOĞA danışmanlığında Rahime ŞEN CÜNERAY tarafından hazırlanan " **Alüminyum 6082 Alaşımına Ti-B Alaşımlama ve Bor Karbür Takviyesinin Mikroyapı ve Mekanik Özellikler Üzerindeki Etkisinin Araştırılması**" başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji-Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

09/05/2024

## JÜRİ

Başkan : Prof. Dr. Murat ESKİL

Üye : Prof. Dr. Bülent KURT

Üye : Prof. Dr. Cemal ÇARBOĞA

## ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun.....tarih ve..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

.../.../2024

Prof. Dr. Cemal ÇARBOĞA  
Enstitü Müdürü

## TEZ BİLDİRİM SAYFASI

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada yer alan bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu ve bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Rahime ŞEN CÜNERAY



## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim ve tez çalışmam süresince tüm bilgilerimi benimle paylaşmaktan kaçınmayan, her türlü konuda desteğini benden esirgemeyen ve tezimde büyük emeği olan, aynı zamanda kişilik olarak da bana çok şey katan Sayın Hocam Prof. Dr. Cemal ÇARBOĞA hocam ve 2. Danışmanım Dr. Öğretim Üyesi Serkan DAL hocam'a

Akademik hayatımın her aşamasında bana güç veren, beni her zaman cesaretlendiren, desteklerini esirgemeyen ve bana inanan eşim Kutay CÜNERAY'a, küçük yaşına rağmen bana anlayışıyla fırsat veren oğlum Alp Tuna'ya teşekkürüm sonsuzdur. Maddi ve manevi olarak her zaman desteklerini hissettiren değerli babam Bayram ve annem Selime ŞEN'e teşekkür ederim.

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

**(Yüksek Lisans Tezi)**

**Rahime ŞEN CÜNERAY**

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

**Mayıs 2024**

**ÖZET**

Bu çalışmada, 6082 alüminyum alaşımına farklı oranlarda B<sub>4</sub>C tozu ve Al-Ti-B alaşımı ilave edilerek kompozit malzeme üretilmiştir. Matrisi Alüminyum olan 6082 Al, 6082 Al+Al-Ti-B, 2 farklı oranda 6082 Al+B<sub>4</sub>C, 2 farklı oranlarda 6082 Al+Al-Ti-B+B<sub>4</sub>C olmak üzere toplamda 6 farklı kompozit numuneler üretilmiştir. Elde edilen bu numunelere Spektro analiz, Optik inceleme, Mikro ve makro sertlik ve SEM analizleri yapılmıştır. Elde edilen spektro analizlerde başlıca Al, Ti, B, C elementler görülmüştür. Matris malzeme olan Alüminyum ile elde edilen diğer Al kompozitler makro ve mikro sertlik değerleri karşılaştırılmış ve elde edilen kompozit malzemelerde Alüminyuma göre sertlik değerlerinde belirgin artışlar gözlenmiştir. Yapılan Optik ve SEM incelemelerinde Al-Ti-B ve B<sub>4</sub>C partikülerinin Alüminyum içerisinde heterojen bir şekilde dağıldığı gözlenmiştir. Başarılı bir şekilde elde edilen kompozit malzemelerin deney sonuçları literatür ile tartışılarak değerlendirilmiştir.

***Anahtar kelimeler: Alüminyum, Al-Ti-B, B<sub>4</sub>C, kompozit***

**Tez Danışman: Prof. Dr. Cemal ÇARBOĞA**

**İkinci Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Serkan DAL**

**Sayfa Adeti: 94**

**ALUMINIUM 6082 MICROSTRUCTURAL AND MECHANICAL  
PROPERTIES OF TI-B ALLOYING AND BORON CARBIDE  
REINFORCEMENT INVESTIGATING THE EFFECT ON  
CHARACTERISTICS**

**(M. Sc. Thesis)**

**Rahime ŞEN CÜNERAY**

**NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ UNİVERSİTY GRADUATE SCHOOL OF  
NATURAL AND APPLIED SCIENCE**

**May 2024**

**ABSTRACT**

In this study, composite material was produced by adding different ratios of B<sub>4</sub>C powder and Al-Ti-B alloy to 6082 aluminum alloy. A total of 6 different composite samples were produced as 6082 Al with aluminum matrix, 6082 Al+Al-Ti-B, 6082 Al+B<sub>4</sub>C in 2 different ratios, 6082 Al+Al-Ti-B+B<sub>4</sub>C in 2 different ratios. Spectro analysis, optical examination, micro and macro hardness and SEM analysis were performed on these samples. In the spectro analysis obtained, mainly Al, Ti, B, C elements were observed. The macro and micro hardness values of the matrix material Aluminum and other Al composites obtained were compared and significant increases in hardness values were observed in the composite materials obtained compared to Aluminum. In the optical and SEM examinations, it was observed that Al-Ti-B and B<sub>4</sub>C particles were heterogeneously dispersed in aluminum. The experimental results of the successfully obtained composite materials are discussed and evaluated with the literature.

***Keywords: Aluminum, Al-Ti-B, B<sub>4</sub>C, composite***

**Thesis Supervisor: Prof. Dr. Cemal ÇARBOĞA**

**Co-Supervisor: Assist. Prof. Dr. Serkan DAL**

**Page Number: 94**



## İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL SAYFASI.....	i
TEZ BİLDİRİM SAYFASI .....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
İÇİNDEKİLER .....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ .....	xv
1.BÖLÜM .....	1
GİRİŞ .....	1
2.BÖLÜM .....	6
ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARI .....	6
2.1. Alüminyum Alaşım Elementleri ve Sınıflandırma .....	7
2.2. Alüminyum Alaşımalarının Üretim Yöntemleri.....	7
2.2.1. Döküm Alüminyum Alaşımları .....	7
2.2.2. Dövme Alüminyum Alaşımlar.....	8
3.BÖLÜM .....	12
BOR KARBÜR.....	12
3.1. Bor Karbürün Kristal Yapısı.....	13

3.2.	Bor Karbürün Fiziksel, Kimyasal, Mekanik ve Radyasyon Özellikleri .....	15
3.3.	Bor Karbürün Kullanım Alanları .....	16
4.	BÖLÜM .....	18
	TİTANYUM ve ALAŞIMLARI .....	18
5.	BÖLÜM .....	22
	ALÜMİNYUM TİTANYUM BOR (AL-Ti-B) .....	22
6.	BÖLÜM .....	25
	KOMPOZİT MALZEMELER VE ALÜMİNYUM MATRİSLİ KOMPOZİTLER .....	25
6.1.	Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması .....	26
6.1.1.	Polimer Matrisli Kompozitler .....	27
6.1.2.	Seramik Matrisli Kompozitler .....	28
6.1.3.	Metal Matrisli Kompozitler .....	28
6.2.	Alüminyum Matrisli Kompozitler .....	29
6.2.1.	Partikül takviyeli AMK'ler: .....	30
6.2.2.	Visker veya kısa fiber takviyeli AMK'ler .....	31
6.2.3.	Sürekli fiber takviyeli AMK'ler .....	32
6.2.4.	Monofilament takviyeli AMK'ler .....	32
6.3.	Al-B4C Kompozitleri .....	34
6.3.1.	B4C Arayüzeyi .....	34
7.	BÖLÜM .....	36
	DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	36

7.1.	Kullanılan Malzemeler.....	36
7.2.	Döküm Esnasında Kullanılan Cihazlar.....	39
7.3.	Deneysel Çalışma için Numune Hazırlıkları.....	42
7.4.	Optik İncelemeler.....	44
7.5.	Sertlik Testleri.....	45
7.5.1.	Vickers sertlik ölçümü.....	45
7.5.2.	Brinnell sertlik ölçümü.....	46
7.6.	SEM Mikroyapı ve Analizleri.....	47
8.BÖLÜM	.....	48
DENEY SONUÇLARI ve TARTIŞMA.....		48
8.1.	Optik Mikroskop Analiz Sonuçları ve Tartışma.....	48
8.2.	Sertlik Deney Sonuçları ve Tartışma.....	54
8.2.1.	Mikrosertlik Vicker Sertlik Deney Sonuçları ve Tartışma.....	54
8.2.2.	Brinell Sertlik Deneyi Sonuçları ve Tartışma.....	55
8.3.	SEM Analizleri Sonuçları ve Tartışma.....	56
9.BÖLÜM	.....	86
SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....		86
KAYNAKLAR.....		87
ÖZGEÇMİŞ.....		<b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b>

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Saf Alüminyum özellikleri .....	6
Tablo 2.2.	Döküm Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması.....	7
Tablo 5.1.	Uygulamalarda kullanılan tane incelticilerin kimyasal bileşimleri .....	23
Tablo 6.1.	AMK'lerin, takviyesiz Al alaşımlarına göre üstünlükleri ve eksiklikleri	29
Tablo 6.2.	AMK'lerin PMK'lere göre üstünlükleri ve eksiklikleri .....	30
Tablo 6.3.	AMK'lerin SMK'lere göre üstünlükleri ve eksiklikleri .....	30
Tablo 7.1.	Al 6082 Kimyasal Analizi .....	37
Tablo 7.2.	Katkı malzemesi olarak kullanılan Al-Ti-B malzeme kimyasal bileşimi	38
Tablo 7.3.	B <sub>4</sub> C kimyasal analizi .....	38
Tablo 8.1.	Vickers mikro sertlik testi ölçümleri .....	54
Tablo 8.2.	6 adet numuleye uygulanan Brinell sertlik test ölçümleri .....	55
Tablo 8.3.	1 nolu numunenin SEM İncelemesi sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafının element analiz sonuçları .....	57
Tablo 8.4.	1 nolu numune Al 6082 alaşımının mikroyapı fotoğrafının mapping analizi sonucu element analiz sonuçları .....	58
Tablo 8.5.	2 nolu numunenin SEM İncelemesi sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafının element analiz sonuçları(karbonsuz) .....	59
Tablo 8.6.	2 nolu numunenin SEM İncelemesi sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafının element analiz sonuçları(karbonlu) .....	59
Tablo 8.7.	2 nolu numunenin i bölgesi SEM İncelemesi sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafının element analiz sonuçları.....	61
Tablo 8.8.	2 nolu numunenin ii bölgesi SEM İncelemesi sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafının element analiz sonuçları.....	61
Tablo 8.9.	2 nolu numunenin iii bölgesi SEM İncelemesi sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafının element analiz sonuçları.....	61

Tablo 8.10.	2 nolu numunenin mikroyapı fotoğrafının mapping analizi sonucu element analiz sonuçları .....	62
Tablo 8.11.	3 nolu numunenin SEM İncelemesi sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafının element analiz sonuçları (karbonsuz).....	64
Tablo 8.12.	3 nolu numunenin SEM İncelemesi sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafının element analiz sonuçları (karbonlu).....	65
Tablo 8.13.	3 nolu numunenin SEM incelemesi sonucu elde edilen i bölgesinin mikroyapı fotoğrafının element analiz sonuçları.....	66
Tablo 8.14.	3 nolu numunenin mikroyapı fotoğrafının mapping analizi sonucu element analiz sonuçları .....	67
Tablo 8.15.	4 nolu numunenin i bölgesi SEM İncelemesi sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafının element analiz sonuçları.....	69
Tablo 8.16.	4 nolu numunenin ii bölgesi SEM İncelemesi sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafının element analiz sonuçları.....	69
Tablo 8.17.	4 nolu numunenin iii bölgesi SEM İncelemesi sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafının element analiz sonuçları.....	70
Tablo 8.18.	4 nolu numunenin mikroyapı fotoğrafının mapping analizi sonucu element analiz sonuçları .....	71
Tablo 8.19.	5 nolu numunenin SEM İncelemesi sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafının element analiz sonuçları (karbonsuz).....	73
Tablo 8.20.	5 nolu numunenin SEM İncelemesi sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafının element analiz sonuçları(karbonlu) .....	74
Tablo 8.21.	5 nolu numunenin i bölgesinin SEM İncelemesi sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafının element analiz sonuçları.....	75
Tablo 8.22.	5 nolu numunenin ii bölgesinin SEM İncelemesi sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafının element analiz sonuçları.....	75
Tablo 8.23.	5 nolu numunenin iii bölgesinin SEM İncelemesi sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafının element analiz sonuçları.....	76

Tablo 8.24.	5 nolu numunenin mikroyapı fotoğrafının mapping analizi sonucu element analiz sonuçları .....	77
Tablo 8.25.	6 nolu numunenin SEM İncelemesi sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafının element analiz sonuçları(karbonsuz) .....	79
Tablo 8.26.	6 nolu numunenin SEM incelemesi sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafının element analiz sonuçları(karbonlu) .....	80
Tablo 8.27.	6 nolu numunenin i bölgesinde SEM İncelemesi sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafının element analiz sonuçları.....	81
Tablo 8.28.	6 nolu numunenin ii bölgesinde SEM İncelemesi sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafının element analiz sonuçları.....	81
Tablo 8.29.	6 nolu numunenin mikroyapı fotoğrafının mapping analizi sonucu element analiz sonuçları .....	82

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 5.1. Tel ve tablet şeklinde tane incelticiler.....	23
Şekil 5.2. Ti-B bileşimine bağlı olarak tane boyutunun değişimi .....	24
Şekil 6.1. Kompozitlerin gruplandırılması .....	27
Şekil 6.2. Metal matrisli kompozitlerde tipik takviye geometrileri.....	28
Şekil 7.1. Al 6082 malzemesi.....	37
Şekil 7.2. Al-Ti-B malzemesi.....	38
Şekil 7.3. Bor karbür tozu.....	39
Şekil 7.4. Hassas Terazî.....	39
Şekil 7.5. Malzemelerin ergitildiği pota .....	40
Şekil 7.6. Deneylerde kullanılan Kül fırını .....	41
Şekil 7.7. Deneylerde kullanılan kokil kap .....	41
Şekil 7.8. Zımparalama ve Parlatma cihazı .....	42
Şekil 7.9. Döküm sonrası kokil kalıptan çıkan numune .....	43
Şekil 7.10. Spektro ölçüm cihazı .....	44
Şekil 7.11. Optik mikroskop cihazı .....	45
Şekil 7.12. Mikrosertlik deney cihazı.....	46
Şekil 7.13. Sertlik deney cihazı .....	46
Şekil 7.14. SEM Analiz Cihazı.....	47
Şekil 8.1. 1 Nolu numune optik fotoğrafı.....	48
Şekil 8.2. 2 nolu numunenin optik fotoğrafı .....	49
Şekil 8.3. 3 nolu numunenin optik fotoğrafı .....	50
Şekil 8.4. 4 nolu numunenin optik fotoğrafı .....	51
Şekil 8.5. 5 nolu numunenin optik fotoğrafı .....	52
Şekil 8.6. 6 nolu numunenin optik fotoğrafı .....	53

Şekil 8.7. Vickers mikro Sertlik Sonuçlarının Karşılaştırılması .....	54
Şekil 8.8. Brinell sertlik ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması .....	55
Şekil 8.9. 1 nolu numune Al 6082 alaşımının SEM incelemesi sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafı ve enerji ayırmalı kimyasal analiz grafiği.....	56
Şekil 8.10. 1 nolu numune Al 6082 alaşımının mikroyapı fotoğrafının mapping analizi sonucu enerji ayırmalı kimyasal analiz grafiği .....	57
Şekil 8.11. 1 nolu numune SEM ile yapılan element haritalama sonucu Al dağılımı....	58
Şekil 8.12. 2 nolu numune SEM incelemesi sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafı ...	59
Şekil 8.13. 2 nolu numunenin SEM incelemesi sonucu elde edilen a) mikroyapı fotoğrafı ve b) enerji ayırmalı kimyasal analiz grafiği.....	60
Şekil 8.14. 2 nolu numunenin Mapping sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafı ve enerji ayırmalı kimyasal analiz grafiği.....	62
Şekil 8.15. 2 nolu numunenin SEM ile yapılan element haritalama sonucu a) Bor, b) Karbon, c) Alüminyum, d) Mangan ve e) Demir dağılımı.....	63
Şekil 8.16. 3 nolu numunenin SEM incelemesi sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafı .....	64
Şekil 8.17. 3 nolu numunenin SEM incelemesi sonucu elde edilen a) mikroyapı fotoğrafı ve b) enerji ayırmalı kimyasal analiz grafiği.....	65
Şekil 8.18. 3 nolu numunenin Mapping sonucu elde edilen a) mikroyapı fotoğrafı ve b)enerji ayırmalı kimyasal analiz grafiği .....	66
Şekil 8.19. 3 nolu numunenin SEM ile yapılan element haritalama sonucu a) Bor, b) Karbon, c) Alüminyum ,d) Mangan ve e) Demir dağılımı.....	68
Şekil 8.20. 4 nolu numunenin SEM incelemesi sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafı ve enerji ayırmalı kimyasal analiz grafiği .....	69
Şekil 8.21. 4 nolu numunenin Mapping sonucu elde edilen a) mikroyapı fotoğrafı ve b) enerji ayırmalı kimyasal analiz grafiği.....	71
Şekil 8.22. 4 nolu numunenin SEM ile yapılan element haritalama sonucu a) Bor, b) Karbon, c) Alüminyum, d) Mangan ve e) Demir dağılım.....	72



Şekil 8.23. 5 nolu numunenin SEM incelemesi sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafı .....	73
Şekil 8.24. 5 nolu numunenin SEM incelemesi sonucu elde edilen a) mikroyapı fotoğrafı ve b) enerji ayırmalı kimyasal analiz grafiği.....	75
Şekil 8.25. 5 nolu numunenin Mapping sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafı ve enerji ayırmalı kimyasal analiz grafiği.....	76
Şekil 8.26. 5 nolu numunenin SEM ile yapılan element haritalama sonucu a) Bor, b) Karbon, c) Alüminyum ,d) Titanyum, e) Mangan ve f) Demir dağılımı .....	78
Şekil 8.27. 6 nolu numunenin SEM incelemesi sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafı .....	79
Şekil 8.28. 6 nolu numunenin SEM incelemesi sonucu elde edilen a) mikroyapı fotoğrafı ve b) enerji ayırmalı kimyasal analiz grafiği.....	80
Şekil 8.29. 6 nolu numunenin Mapping sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafı ve enerji ayırmalı kimyasal analiz grafiği.....	82
Şekil 8.30. 6 nolu numunenin SEM ile yapılan element haritalama sonucu a) Bor, b) Karbon, c) Alüminyum ,d) Titanyum, e) Mangan ve f) Demir dağılımı .....	84

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

<b>Al</b>	Alüminyum
<b>B<sub>4</sub>C</b>	Bor Karbür
<b>Ti</b>	Titanyum
<b>B</b>	Bor
<b>SEM</b>	Taramalı elektron mikroskopu
<b>gr</b>	Gram
<b>cm<sup>3</sup></b>	Santimetre küp
<b>mol</b>	Molekül
<b>W</b>	Watt
<b>K</b>	Kelvin
<b>C</b>	Celcius
<b>GPa</b>	Gigapascal
<b>HV</b>	Vickers
<b>MPa</b>	Megapaskal
<b>YMK</b>	Yüzey merkezli kübik
<b>cal</b>	Kalori
<b>Si</b>	Silisyum
<b>Cu</b>	Bakır
<b>Mg</b>	Magnezyum
<b>Mn</b>	Mangan
<b>Zn</b>	Çinko
<b>Sn</b>	Kalay
<b>Fe</b>	Demir
<b>Mg<sub>2</sub>S</b>	Magnezyum sülfid

<b>H<sub>2</sub>BO<sub>3</sub></b>	Borik asit
<b>HCl</b>	Hidroklorik asit
<b>µm</b>	Mikro metre
<b>nm</b>	Nano metre
<b>Å</b>	Ångström
<b>MMK</b>	Metal Matrisli Kompozitler
<b>PMK</b>	Polimer Matrisli Kompozitler
<b>AMK</b>	Alüminyum Matrisli Kompozitler
<b>SMK</b>	Seramik Matrisli Kompozitler

## 1.BÖLÜM

### GİRİŞ

Teknolojik gelişmelerin etkisiyle, hafif ve dayanıklı malzemelere olan talep her geçen gün artmaktadır. Bu tip malzemeler, farklı malzeme gruplarının üstün özelliklerinin bir araya getirilmesiyle kompozit malzeme adı verilen yeni bir malzeme türü olarak ortaya çıkartmaktadır. Kompozit malzemeler ana malzeme (matris) ve takviye elemanı olmak üzere iki ana bileşenden oluşurlar. Kompozit malzemelerde matrisler seramik, metal veya polimer bazlı malzemeler olmak üzere 3 grubu olarak sınıflandırılırlar. Metal bazlı kompozitlerde ana malzeme metal veya metal alaşımlarından oluşmaktadır. Takviye malzemesi olarak ise; titanyum karbür, titanyum nitrür, alümina, silisyum karbür, silisyum nitrür, bor karbür ve bor nitrür gibi seramik bazlı malzemeler kullanılmaktadır [1].

Metal matrisli kompozit malzemelerde en çok Alüminyum kullanılmaktadır. Ayrıca Alüminyum, demir dışı metaller arasında en yaygın olarak kullanılan metallerden biridir. Hafifliği, kolay şekillendirilebilirliği ve iyi ısı ve elektrik iletkenliği gibi üstün özellikleri ile otomotiv, imalat sanayi, uzay ve havacılık endüstrisi başta olmak üzere hemen hemen birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır [2]. Saf alüminyum, 26.98 gr/mol atom ağırlığına, oda sıcaklığında 2.7 gr/cm<sup>3</sup> teorik yoğunluğa, 237 W/(m°K) ısı iletkenliğe, 30 HV sertliğe ve 660 °C ergime sıcaklığına sahiptir [3].

Seramik bazlı malzemeler, Al matrisli malzemelere takviye elemanı olarak yaygın bir şekilde kullanılır. Seramik bazlı malzemeler içerisinde de öne çıkan malzemelerden biri şüphesiz bor karbür (B<sub>4</sub>C)'dür. Bor karbür; 2400 °C ergime sıcaklığına, 441 GPa elastisite modülüne, 2.52 gr/cm<sup>3</sup> teorik yoğunluğa ve 3800 HV sertlik değerlerine sahip olmakla birlikte elmas ve kübik bor nitrürden sonra bilinen en sert madde özelliklerine sahiptir. Bor karbürün sahip olduğu düşük yoğunluk, yüksek dayanım, yüksek ısı iletkenlik ve iyi sönümleme kapasitesi ve ayrıca nötron tutucu özelliği sayesinde;

nükleer, elektronik, haberleşme, uzay endüstri ve askeri sanayide yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [4].

Kompozit malzeme oluşumunda alüminyumun kolay elde edilebilir olması, düşük yoğunluklu olması gibi özellikleri göz önünde bulundurulduğunda matris malzeme olarak ön plana çıkmaktadır. Alüminyum ile uygun üretim şartları altında iyi bir kompozit oluşturması nedeniyle takviye elemanı olarak B<sub>4</sub>C tercih edilmektedir. Düşük yoğunluklu Alüminyum kompozit üretmek amacıyla, rijitliği yüksek ve sert B<sub>4</sub>C ile sünek alüminyum birleştirilir. Yapılan literatür çalışmalarında alüminyumun hafifliği, dayanıklılığı ve korozyon direnci gibi avantajları, B<sub>4</sub>C takviyesi ile daha da artırılabilmesinden kaynaklı olarak alüminyum ve B<sub>4</sub>C kompozitleri, II. Dünya Savaşı'ndan günümüze kadar popülerliğini sürdürmektedir [5-25]. Alüminyum ve B<sub>4</sub>C ile kompozit çalışması hakkındaki literatür incelendiğinde;

Zhang ve arkadaşları (2018); B<sub>4</sub>C hacimce %5, 15, 20 ve 25 B<sub>4</sub>C/Al matris takviye elemanı ve kullanılan kompozitlerinden oluşan lameller ve homojen kompozitler üretmek için vakumlu sıcak presleme sinterleme yöntemini kullanılmıştır. 680 °C sinterleme sıcaklığı, 30 MPa sinterleme basıncı ve 90 dakikalık ısı koruma süresi kullanılmıştır. Arayüzey reaksiyonunu araştırmak için, aynı sinterleme işlemini kullanarak Al levha ve B<sub>4</sub>C tozlarından oluşan bir levha hazırlanmıştır. X-ışını difraksiyonu (XRD) analizi, Al ve B<sub>4</sub>C arasında reaksiyonlar olduğunu göstermiştir. Bu reaksiyonlar, Al'in tepe noktalarının kaymasına ve artık gerilim ve gerinin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Isıtma sıcaklığının yükselmesiyle birlikte stres ve gerginlik artmıştır. Bu analizler, B<sub>4</sub>C/Al kompozitlerinin, mevcut deneyde rastgele homojen B<sub>4</sub>C/Al kompozitlerinden daha iyi mekanik özelliklere sahip olduğunu göstermiştir. Lameller kompozitler, 116,23 HV'lik optimal Vickers sertliğine, 780,45 MPa'lık bükülme mukavemetine ve 12,21·m<sup>1/2</sup>'lik kırılma dayanıklılığına sahip olduğu belirtilmiştir.

Çolak ve Kayıkcı (2009) yaptıkları çalışmada; Alüminyum alaşımlarında tane inceltme mekanizmaları, tane inceltmede titanyum ve bor elementlerinin etkisi ve tane inceltmenin besleme üzerine etkisini incelemişlerdir. Alüminyum alaşımlarında tane inceltme için titanyum ve borun birlikte kullanılmasının etkili olduğu, TiB<sub>2</sub>

partiküllerinin mükemmel tane inceltme sağladığı ve dökülebilirliği artırdığı görülmüştür.

Kocaefe ve arkadaşları (2014); B<sub>4</sub>C'nin erimiş Al ve Al-Ti alaşımları tarafından ıslanabilirliği, sessile-drap methodu kullanılarak incelenmiştir. Genel olarak sıcaklık ve zaman arttıkça temas açısı azalmıştır. %1,5 optimum oranda Ti ilavesi, B<sub>4</sub>C'nin Al tarafından ıslanabilirliğini arttırmaktadır. Saf Al ile temas halindeyken, B<sub>4</sub>C parçacıklarının etrafında Al<sub>3</sub>BC ve AlB<sub>2</sub> parçacıkları oluşmaktadır. Ancak Al'a Ti eklendiğinde, AlB<sub>2</sub> parçacıkları kaybolmuştur ve B<sub>4</sub>C yüzeyleri çevresinde TiB<sub>2</sub> parçacıklarından oluşan Ti açısından zengin bir katman oluşturduğu görülmüştür.

Zhang ve arkadaşları (2020); Al-B<sub>4</sub>C kompozitlerinin karıştırmalı döküm tekniği ile üretilmesinde, Ti içeriği ve karıştırma süresi iki önemli parametreleri olmuştur. Bu çalışmada, bu parametrelerin mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisi araştırılmıştır. Daha yüksek Ti seviyeleri, Al<sub>3</sub>Ti'nin daha yüksek hacim fraksiyonu ve parçacık boyutuna, daha yoğun TiB<sub>2</sub> arayüzüne ve B<sub>4</sub>C'nin daha düzgün uzaysal dağılımına yol açmıştır. Uzatılmış karıştırma süresi ise Al<sub>3</sub>Ti parçacıklarının bol miktarda kaba TiB<sub>2</sub> kristallerine ve parçacıkların genel olarak daha homojen dağılımına yol açmıştır. Sonuç olarak, çekme mukavemetleri eğimli bir yaprak şekli eğrisi göstermiştir. Bu gözlemler, Al<sub>3</sub>Ti parçacıklarının sinerjisi, parçacık dağılımının tekdüzeliği, kaba TiB<sub>2</sub> kristalleri ve Al-B<sub>4</sub>C arayüzü açısından yorumlanmıştır.

Dwivedi (2020) çalışmasında; Matris malzemesi olarak AA2014 ve takviye malzemesi olan B<sub>4</sub>C olarak alınmıştır. AA2014 matris malzemesi içerisinde bor karbürün düzgün dağılımı gözlenmiştir. Maksimum sertlik ve çekme mukavemeti %10 takviyeli bor karbür kompozit malzemede gözlenmiştir. Matris malzemesindeki bor karbür yüzdesinin artırılmasıyla tokluk, süneklik ve yoğunluk azaldığı tespit edilmiştir.

Mohankumar ve arkadaşları (2020); Karıştırma döküm ile üretilen Al359/B<sub>4</sub>C ve uçucu kül takviyeli kompozitlerin mekanik ve tribolojik özellikleri incelenmiştir. B<sub>4</sub>C içeriğinin artmasıyla aşınma direnci artarken, uçucu kül ilavesi aşınma oranını düşürmüştür. B<sub>4</sub>C ve uçucu kül partikülleri, Al alaşımından daha sert olduğu için sertliği artırmıştır. Bor karbür partikülleri, dislokasyon hareketini engelleyerek daha yüksek

sertlik ve çekme mukavemeti sağlamıştır. Uygulanan yüke bağlı olarak aşınma oluştu, aşınma, tabakalara ayrılma, oksidasyon ve plastik deformasyon gibi beş farklı aşınma mekanizması gözlemlenmiştir.

Sathiyaraj ve arkadaşları (2021); Karıştırarak döküm yöntemi ile üretilen %3,5, %7,0 ve %10,5 bor karbür ağırlığına sahip Al-B<sub>4</sub>C kompozitlerin mekanik özellikleri incelenmiştir. Bor karbür ağırlığının %7,0'ye kadar artması sertlik ve çekme mukavemetini artırırken, daha sonra azalma başlamıştır. Aynı zamanda, bor karbür ağırlığının artması ile yoğunluk azalırken, uzamanın arttığı tespit edildiği gözlemlenmiştir.

Katılmış (2021) çalışmasında; 6082 alüminyum alaşımına farklı oranlarda Al-Ti-B alaşımı, farklı oranlarda 25 µm'lik ferrobör tozu ve Al-Ti-B+Ferrobör ilave edilerek üç tür malzeme elde edilmiştir. Yapılan optik incelemelerde, malzemelerin mikro yapıları arasında belirgin bir farklılık görülmemiştir. Ancak, Vickers sertlik testleri, katkı maddesi ilavesi arttıkça, mikrosertliğin de arttığını göstermiştir. Ayrıca SEM-EDS analizleri sonucunda, borun genellikle homojen bir şekilde dağıldığını, ancak titanyumun yer yer belirli bölgelerde yoğunlaştığını göstermiştir. Bu, Al-Ti-B katkı maddesinin, alüminyum matris içinde sert ve kırılabilir bir faz oluşturmasına, ferrobör katkı maddesi ise; alüminyum matris içinde daha yumuşak ve sünek bir faz oluşturabileceği sonucuna varmıştır.

Yaman (2023) çalışmasında, Al/B<sub>4</sub>C katmanlı kompozit malzemelerin döküm yöntemi ile üretimi ve balistik performansı incelenmiştir. Matris malzemesi olarak, AA7075 alaşımı ve toz metalurjisi metoduyla karıştırılmalı döküm metodu bir araya getirilerek katmanlı kompozit üretilmiştir. Toz karışımı, ağırlıkça %50 B<sub>4</sub>C, %1 grafen, %1 K<sub>2</sub>TiF<sub>6</sub> flaks ve AA7075 tozlarından oluşmaktadır. Üç grup döküm yapılmıştır. Birinci grup AA7075 alaşımı, ikinci grup AA7075 alaşımına ağırlıkça %0,5 nano grafen ilaveli, üçüncü grup ise AA7075 alaşımına ağırlıkça %1 nano grafen ilaveli olarak üretilmiştir. Mikroyapı incelendiğinde, tüm numunelerde arayüzey bağları oluşmuştur. Sertlikler incelendiğinde, yüzeydeki bor karbür katmanının sertliği önemli ölçüde arttırdığı görülmüştür. Yoğunlukların karşılaştırılması sonucu, grafen ilavesinin yoğunluğu düşürdüğü görülmüştür. Balistik limit hızları incelendiğinde, en düşük balistik limit

hızının birinci grup numunede, en yüksek balistik limit hızının ise üçüncü grup numunede olduğu görülmüştür. Grafen ilavesiyle balistik limit hızının arttığı göstermiştir.

Bu tez çalışması kapsamında matris olarak kullanılan 6082 alüminyum alaşımına farklı oranlarda B<sub>4</sub>C tozu ve Al-Ti-B alaşımı ilave edilerek 5 farklı kompozit malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir. Kompozit malzemenin matrisi 6082 Al olarak ifade edilen saf alüminyum seçilmiştir. İlk olarak 6082 Al, ikinci olarak 6082 Al matrise iki farklı oranda B<sub>4</sub>C, üçüncü olarak 6082 Al matrise Al-Ti-B ilavesi, dördüncü olarak 6082 Al'ye Al-Ti-B oranları aynı fakat farklı oranlarda B<sub>4</sub>C takviye elemanı ilavesiyle toplamda matris ve 5 farklı oranlarda kompozit malzemeler elde edilmiştir. Elde edilen bu numunelere Spektro analiz, Optik inceleme, Mikro ve makro sertlik, XRD ve Sem analizleri yapılarak literatürdeki çalışmalarla arasındaki farklar incelenmiştir.

Bu tez çalışması 9 bölümden oluşmaktadır. Çalışmanın ilk bölümünde tez içeriğinde yer alan konularla ilgili gerçekleştirilen literatür çalışmaları yer almaktadır. 2. bölümünde Alüminyum ve alaşımları, 3. bölümde B<sub>4</sub>C, 4.bölümde titanyum ve alaşımları 5. bölümde Al-Ti-B 6. bölümde kompozit malzemeler hakkında bilgi yer almaktadır. 7. bölümde Deneysel çalışmalar anlatılmaktadır. 8. bölümde Deneysel sonuçlar ve Tartışma ve 9. bölümde sonuç ve öneriler kısmı yer almaktadır.



## 2.BÖLÜM

### ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARI

Alüminyum, periyodik tablonun 3. periyodunun 13. grubunda yer alan atom numarası 13 olan, Al sembolüyle ifade edilen ve yeryüzünde en çok bulunan gümüş renkli bir metaldir. Saf alüminyumun özellikleri Tablo 2.1’ de verilmektedir.

Tablo 2.1. Saf Alüminyum özellikleri [26]

<b>Atom numarası</b>	13
<b>Atom ağırlığı (g/mol)</b>	26.97
<b>Kristal yapısı</b>	Yüzey merkezli kübik (YMK)
<b>Yoğunluğu (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2.7
<b>Ergime noktası (°C)</b>	660
<b>Yeniden kristalleşme sıcaklığı (°C)</b>	150-300
<b>Buharlaşma noktası (°C)</b>	2450
<b>Özgül ısı (cal/g)</b>	0.224
<b>Elastisite modülü (GPa)</b>	72
<b>Kayma modülü (GPa)</b>	27
<b>Çekme mukavemeti (MPa)</b>	40-90
<b>Akma mukavemeti (MPa)</b>	10-30
<b>Kopma uzaması %</b>	30-40

Tablo 2.1’deki alüminyumun özellikleri incelendiğinde alüminyumun yüksek mukavemet, düşük yoğunluk, yüksek elektrik ve ısı iletkenliği, atmosferik korozyona karşı direnç gibi özelliklerle hafif metaller arasında önemli bir yere sahiptir. Bu özelliklerinden kaynaklı olarak alüminyum günümüzde mimari, ulaşım, endüstriyel alanlar, elektrik ve elektronik, inşaat gibi önemli sektörlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, diğer metallerle yüksek çekme dayanımı sağlayan alaşım oluşturabilmesi de alüminyumun önemli özelliklerinden biridir. Bu özelliklerin yanı sıra, farklı üretim yöntemleriyle üretilebilme, kolay şekillendirilebilme ve geri dönüştürülebilme gibi özellikler de alüminyumun yaygınlaşmasını arttırmaktadır [27].

## 2.1. Alüminyum Alaşım Elementleri ve Sınıflandırma

Alüminyumun özellikleri, magnezyum (Mg), bakır (Cu), silisyum (Si), çinko (Zn) ve manganez (Mn) gibi ana elementler ile geliştirilebilir. Ayrıca, titanyum (Ti) ve nikel (Ni), gibi ilave elementler de alüminyumun özelliklerini büyük ölçüde geliştirmektedir.

## 2.2. Alüminyum Alaşımlarının Üretim Yöntemleri

### 2.2.1. Döküm Alüminyum Alaşımları

Alüminyum düşük mukavemet, hafif yapısı ve kolay şekil alma gibi özellikleri sayesinde diğer sert metallere oranla daha kolay bir şekilde dökülerek şekillendirilebilir. Bu nedenle kum kalıba döküm, kokil kalıba döküm, enjeksiyonla döküm ve alçak basınçlı sistemlerde döküm başta olmak üzere birçok döküm tekniği kullanılarak üretim yöntemleri gerçekleştirilmektedir. Alüminyum döküm malzemeleri genellikle ağırlığın büyük sorun olduğu başta otomotiv ve havacılık sektörlerinde büyük bir avantaj sağlamaktadır. Fakat alüminyum dökümün demir ve çelik gibi güçlü malzemelere oranla daha düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilmesidir. Bu nedenle alüminyum malzemeler diğer metallerin çıktığı 1100-1500°C'ler gibi yüksek sıcaklıklarda bozdukları için yüksek sıcaklıklara çıkamamaktadırlar. Tablo 2.2'de döküm alüminyum alaşımlarının sınıfları verilmektedir.

Tablo 2.2. Döküm Alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması

Ana alaşım elementi	Tanımlanan seri
≥99.00 % Al (Saf Al)	1xxx
Al + Cu	2xxx
Al+Si + Cu ve/veya Mg	3xxx
Al + Si	4xxx
Al + Mg	5xxx
Al + Zn	7xxx
Al + Sn	8xxx
Al + Diğer elementler	9xxx

Tablo 2.2’de 6xxx serisi kullanılmayan seri olması sebebiyle yer almamaktadır. Bunun nedeni 6xxx serisinin içerisinde hem magnezyum hem de silisyum bulunduğu için bu iki elementin birleşerek magnezyum silis ( $Mg_2Si$ )’i oluşturmasıdır [28].

### 2.2.2. Dövme Alüminyum Alaşımlar

Alüminyum dövme alaşımlarında mekanik deformasyon ile mekanik açıdan değerlerini arttıracak şekilde özellikler kazanırlar. Dökme alüminyum alaşımlarına nazaran daha iyi mekanik özelliklere sahip olmasını bu yönleriyle açıklayabilmekteyiz. Dövme alaşımlarında gerçekleştirilen yöntemler; ekstrüzyon, soğuk, sıcak haddeleme ve dövme prosesleridir. Genellikle yüksek performans, işlenebilirlik ve yüzey özelliklerini ön planda olduğu uygulamalarda kullanılır. Çeşitli lama ve levha tipi yapı malzemeleri, köşebentler, tel, boru tipi malzemeler bu yöntemlerle üretilebilmektedir [29]. Dövme alüminyum alaşımları, yine alaşım elementine bağlı olarak farklı serilerde adlandırılmaktadırlar. Bu serilerde belirtilen ve yaşlandırılabilen dövme alaşımlarına uygulanan yapay veya doğal yaşlandırma prosesleriyle, alüminyum alaşımlarının mekanik özellikleri istenen seviyelere çıkarılabilmektedir.

#### 1xxx Serisi

Alüminyum 1 serisi, %99 ve daha yüksek Al bileşimine sahiptir buna bağlı olarak saf alüminyum veya alaşımlanmamış olarak adlandırılırlar. Bu seri alaşımları düşük mekanik dayanıma sahiptir ancak yüksek süneklik ve mükemmel korozyon direnci özellikleri sayesinde kimya ve elektrik endüstrisi malzemelerinde kullanılır [30].

#### 2xxx Serisi

Alüminyum 2 serisi alaşımlarında, alaşım elementi olarak başlıca bakır yer almakta olup diğer elementlere kıyasla ayrıca magnezyum, mangal, nikel elementlerini de barındırabilmektedir. Bu seri alaşımları yaşlandırılabilir. Yapay veya doğal yaşlandırma sonrası oluşan  $Al_2Cu$  fazının çökmesi ile önemli ölçüde akma dayanımı kazanmaktadır [4]. Ana alaşım elementi Tanımlanan seri  $\geq 99.00$  % Al (Saf Al) Al + Cu Al + Mn Al + Si Al + Mg Al + Mg+Si Al + Zn Al + Li Diğer 1xxx 2xxx 3xxx 4xxx 5xxx 6xxx 7xxx 8xxx 9xxx 9 Tercihen hafiflik ve akma dayanımı gerektiren havacılık

sektöründe uçak yapılarında, pervanelerde ve yine perçin bağlantılarında, otomotivde de gövde parçalarında kullanılabilir [31].

### **3xxx Serisi**

Alüminyum 3 serisi alaşımlarında, başlıca alaşım elementi mangandan oluşmakta olup uygulamalara göre magnezyum ilavesi de eklenerek kullanılmaktadır. Bu serinin alaşımlarına ısıtılma işlemi uygulanamamakta olup soğuk şekillendirme ile sertleştirilebilirler. Yüksek korozyon direnci ve sünekliğe rağmen ortalama bir mukavemete sahiptirler. Genel kullanım amaçlı malzemelerde; genellikle pişirme kapları, içecek kutuları ve mimari uygulamalarda kullanılmaktadır [29].

### **4xxx Serisi**

Alüminyum 4 serisi alaşımlarında, başlıca alaşım elementi silisyumdan oluşmakta olup uygulamalara göre magnezyum, bakır ve nikel ilavesi de eklenerek kullanılmaktadır. Bu seride 4032 ve 4145 alaşımları haricindeki 4 serisi alaşımlara ısıtılma işlemi uygulanamamaktadır. Kaynak çubuklarında ve lehim sacında kullanılmaktadır [32].

### **5xxx Serisi**

Alüminyum 5 serisi alaşımlarında, başlıca alaşım elementi magnezyumdan oluşmakta olup uygulamalara göre Manganez, krom ve titanyum ilavesi de eklenerek kullanılmaktadır. Bu seri alaşımlarına ısıtılma işlemi uygulanamamakta olup soğuk şekillendirme ile sertlik dayanımı artırılabilir. Tekne gövdelerinde, benzin tanklarında, borda iskelelerinde ve deniz ortamlarına maruz kalan bileşen parça ürünlerinde kullanılmaktadır [29].

### **6xxx Serisi**

Alüminyum 6 serisi alaşımlarında, başlıca alaşım elementi magnezyum ve silisyumdan oluşmakta olup uygulamalara göre mangan, krom ve çinko ilavesi de eklenerek kullanılmaktadır [32]. Bu gruba dahil olan alaşım elementleri ekstrüzyonla üretilen malzemeler içerisinde geniş pay almaktadırlar. Mimari yapılarda, gemi güvertelerinde,

makine imalatlarında ve otomotiv sektöründe yapısal malzeme olarak kullanılmaktadırlar. Bu alaşımların korozyon direnci oldukça yüksek olması sayesinde korozif ortamlarda bile aktif olarak kullanılabilirler. 6xxx serisi alaşım malzemeleri ısıtılma maruz bırakılarak doğal veya yapay yaşlandırılmaktadırlar. Bu yaşlandırma ısıtılma işlemleriyle birlikte iç yapısında çökelen  $Mg_2Si$  fazlarıyla mekanik özelliklerde iyileşme sağlanmaktadır. Sünekliğini kaybeden malzeme buna karşın ciddi açıdan mekanik dayanım kazanmaktadır. Yapısında bulunan fazla silisyum alaşımları, çökeltme sertleşmesinin etkisini arttırmaktayken öte yandan tane sınırlar bölgesinde silisyumun ayrışması sonucu malzemenin süneklik değerleri azalmaktadır. Çözelti işlemi sırasında yeniden kristalleşmeyi baskılayan krom ve manganez ilavesiyle bu etki dengelenebilmektedir [33].

### **7xxx Serisi**

Alüminyum 7 serisi alaşımlarında, başlıca alaşım elementi çinkodan oluşmakta olup uygulamalara göre Mangan, bakır ve krom ilavesi de eklenerek kullanılmaktadır 7xxx serisi alüminyum alaşımlarına ısıtılma işlemi uygulanabilmektedir. Özellikle bu seri alaşımlarına ısıtılma işlemi uygulaması neticesinde alaşımlarda en yüksek mekanik dayanım değerlerine ulaşılmaktadır. T4 veya T6 ısıtılma işlemleri uygulanan alaşımlarda ısıtılma işlemi sonrası, yaşlandırmanın etkisiyle çökelen  $MgZn_2$  ve  $Mg_3Zn_3Al_2$  fazları sayesinde, alaşım mekanik özellikleri üç ile beş kat arasında artış kazanabilmektedirler. Alüminyum-çinko-magnezyum alaşımlarının korozyon direnci özellikle az miktarda bakır içeren alaşımlarda iyidir [34]. Alaşım elementlerinin toplam miktarı %8'in altında olduğu alaşımlarda, kaynaklanabilirlik ve şekillendirilebilirlik oldukça iyi seviyede olmaktadır. Isıtılma işlemi sırasında ince tane yapısına ulaşabilmek için çözelti işlemi sırasında yeniden kristalleşmeyi engellemek gerekmektedir. Az miktarlarda katılan zirkonyum, krom ve manganez alaşım elementleri yeniden kristalleşmeyi engelleyici yönde etki göstermektedir. 7xxx serisi alaşımları çeşitli uçak yapılarında dövme, ekstrüzyon veya sac formunda kullanılabilirken aynı zamanda hidrolik ekipman imalatında da kullanılmaktadırlar.

## **8xxx Serisi**

Alüminyum 8 serisi alaşımlarını başlıca Lityum ilaveli alaşımlardan oluşmaktadır. Lityumlu alüminyum dövme alaşımları, lityumdan gelen düşük yoğunluk özelliği sayesinde havacılık alanında tercih sebebi olmaktadır. Alüminyumla yaptığı alaşımlarda %1 eklenen lityum, alaşım yoğunluğunu %3 oranında düşürmesi nedeniyle bu sektör için vazgeçilemeyecek derecede önemlidir. Alüminyum lityum alaşımları yüksek elastisite modülüne, yüksek özgül sertliğe ve çok iyi derece yorulma dayanımına sahiptir [35].

## **9xxx Serisi**

Kullanılmayan veya yeni eklenecek alaşımlar için rezerve edilmiş seri olarak geçmektedir.

### 3.BÖLÜM

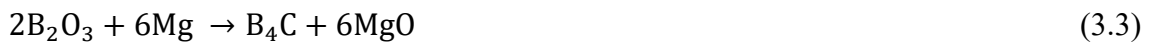
#### BOR KARBÜR

Bor karbür bileşiği ilk olarak 1858 yılında Woehler tarafından metalik borürlerin üretimi esnasında yan ürün olarak keşfedilmiştir. İlk sentezi 1883'te Joly tarafından B<sub>3</sub>C olarak, 1894'te Moissan tarafından B<sub>6</sub>C olarak yapılmıştır. Sitokiyometrik formülü olan B<sub>4</sub>C ise 1934 yılında bulunmuştur [36]. Sonrasında, bor karbür birçok farklı başlangıç malzemesi ve farklı prosesler kullanılarak çok çeşitli bileşimlerde üretilmiştir.

Saf bor karbürün ticari üretimi için başlangıç maddesi olarak genellikle borik asit (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>) veya bor oksit (B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) kullanılmaktadır. Bor karbür üretimi karbotermik redüksiyon yöntemi ile elektrik ark fırınlarında borik asit veya bor oksitin sırasıyla Denklem 3.1 veya Denklem 3.2' göre karbon ile redüklenmesiyle gerçekleştirilmektedir.



Karbotermik redüksiyona alternatif olarak borik asidin Denklem 3.3'e göre magnezyum ve karbon ile magnezyotermik redüksiyonu da kullanılmaktadır [2].

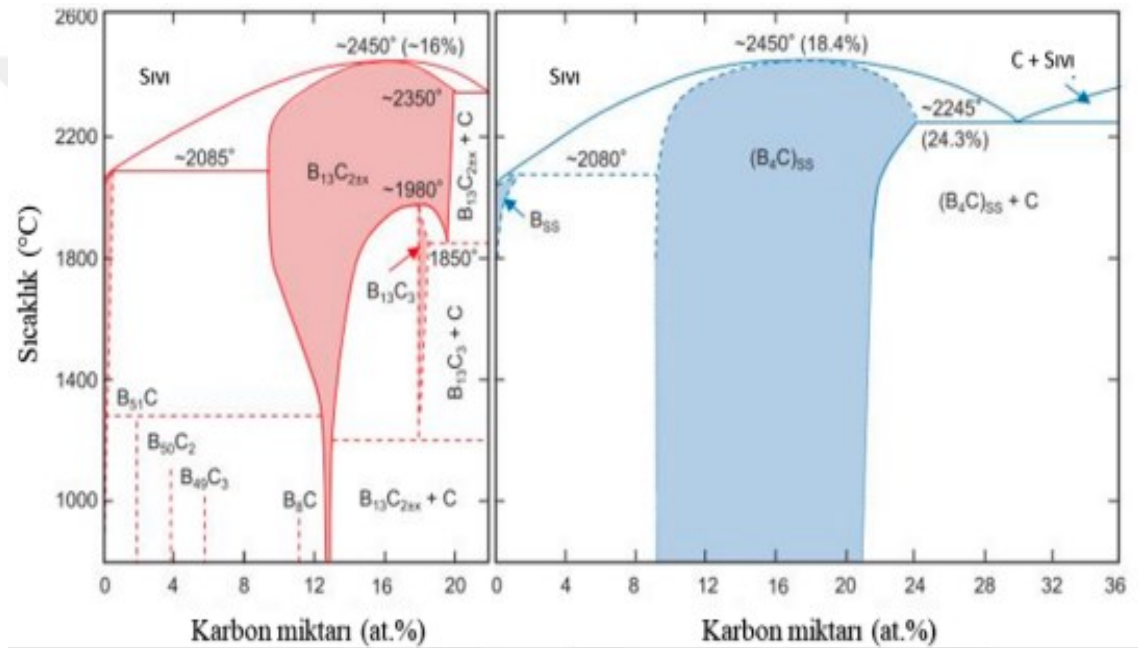


Bor karbür, elementlerinden bor (B) ve karbonun (C) karıştırılarak pelletlenmesinin ardından 1500°C üzerindeki sıcaklıklarda vakum veya gaz atmosferinde reaksiyona girmesiyle üretilebildiği gibi BCl<sub>3</sub>, BBr<sub>3</sub>, BI<sub>3</sub> ve BCl<sub>3</sub> gibi bor halojenürlerin CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> ve C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> gibi hidrokarbon gazlarla tepkimeye sokulmasıyla sentezlenebilmektedir [37].

Bor karbür bileşikleri, Şekil 3.1'de verilen B-C ikili faz diyagramlarında görüldüğü gibi geniş bir homojenizasyon aralığına sahiptir. Bor karbürün bileşimindeki karbon oranı at. %8,8 (B<sub>10,4</sub>C) ile at. %20 (B<sub>4</sub>C) arasında değişmektedir. Karbon miktarı at. %20'nin

üzerinde olduğu bölgede kararlı bor karbür yapısı ve karbon dengede olup, karbon miktarı yaklaşık at. %30 olduğunda 2350°C'de ötektik noktası bulunmaktadır.

Bor karbür bileşikleri arasında en kararlı yapı olan  $B_4C$  üstün özelliklere sahip olup serbest karbon ile dengede olduğundan  $B_4C$ 'nin serbest karbon olmadan sentezi çok zordur. Bor karbürün bileşimindeki karbon miktarı, bor karbürün yapısını ve özelliklerini önemli ölçüde etkilediğinden, yapıdaki B/C oranının bilinmesi önem arz eder [38].



Şekil 3.1. B-C ikili faz denge diyagramları

### 3.1. Bor Karbürün Kristal Yapısı

Bor karbürün en yaygın kabul gören kristal yapısı, birim hücrenin köşelerinde yer alan 12 atomlu ikozahedradan oluşan rombohedral yapıdır.  $R^3m$  uzay grubunda 111 rombohedral eksenini boyunca ikozahedrayı birbirine bağlayan 3 atomlu doğrusal zincirler bulunmaktadır. Bor karbür atomik yapısının şematik diyagramı Şekil 3.2'de verilmiştir

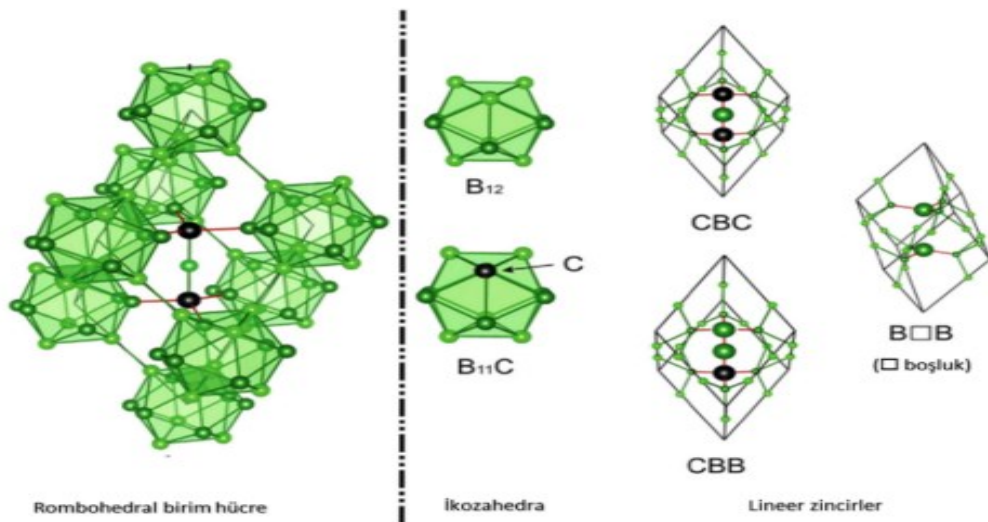
Birim hücrenin en uzun köşegeni üç atomlu C-B-C doğrusal zincirini içermektedir. Her zincirin uç atomu 3 farklı ikozahedra atomuna kovalent bağlanır. İkozahedra 11 bor



atomu ve 1 karbon atomundan oluşmaktadır. İkozahedral konfigürasyon, borun değerlik elektronlarının eksikliğinden dolayı üç merkezli kovalent bağlar oluşturma eğiliminden kaynaklanır.

İkozahedronda kristalografik olarak eşdeğer olmayan iki bölge bulunmaktadır. Altı atomdan oluşan bu bölgeler polar (p) ve ekvatorial (e) olarak adlandırılmaktadır. Polar bölgedeki atomlar karşı ve komşu ikozahedronun polar bölgesindeki atomlarla kovalent bağlanırken, ekvatorial kısımdaki atomlar ise ikozahedronun merkezinde 11 bulunan üç atomlu zincirin uç kısımlarındaki atomlarla kovalent bağlanarak ikozahedraarası bağ oluşumunu sağlamaktadır.

En kararlı yapı olarak kabul edilen  $B_4C$  (at. %20 C) yapısı  $B_{11}C$  ikozahedra ve üçlü C-B-C zincirinden oluşmaktadır. Yapıda karbon konsantrasyonu azalıp kompozisyon borca zengin hale geldikçe C-B-C zincirlerindeki karbon atomlarından biri bor ile yer değiştirir. Karbon içeriği %13'e doğru azalırken,  $B_{13}C_2$  (yaklaşık %13 C) bileşimine yakın yapı,  $B_{11}C$  ikozahedra ve C-B-B zincirlerinden oluşur. Karbon konsantrasyonu daha da azaldığında B12 ikozahedra yapı olduğu düşünülmektedir. Bor karbür kristal yapısında ikozahedra ve üç atomlu zincirlerin yapısı karbon konsantrasyonuna göre değiştirmektedir. İkozahedra yapısı B12 veya  $B_{11}C$  iken, üç atomlu zincirler karbon konsantrasyonuna göre C-C-C, C-B-C, B-B-B, C-B-C, C-B-B ve B-B şeklinde oluşabilmektedir [39,40].



Şekil 3.3. Bor karbürün kristal yapısı [40]

### 3.2. Bor Karbürün Fiziksel, Kimyasal, Mekanik ve Radyasyon Özellikleri

Bor karbür ( $B_4C$ ), elmas ve kübik bor nitrürden sonra bilinen en sert malzeme olup; yüksek sertliği, düşük yoğunluğu, yüksek ergime noktası, yüksek kimyasal direnci, yüksek sıcaklıklardaki kararlı yapısı, yüksek aşınma direnci ve yüksek nötron 12 absorpsiyon kesiti sayesinde ileri teknoloji uygulamalarında kullanılan önemli yapısal seramiklerden biridir. Bor karbürün genel özellikleri Tablo 3.1’de verilmektedir.

Bor karbür bilinen en kararlı bileşiklerden biri olup kimyasal direnci yüksek bir malzemedir. Soğuk kimyasal reaktiflerle reaksiyona girmez fakat  $HNO_3$ ,  $H_2SO_4$ ,  $HClO_4$  gibi asitlerle sıcak ortamda oksitlenebilir. Bor karbür yüksek sıcaklıklarda metal oksitlerle reaksiyona girmesiyle karbon monoksit ve metal borürler oluşmaktadır. Demir, nikel, titanyum ve zirkonyum gibi metallerle  $1000^\circ C$  üzerinde reaksiyona girerek karbür ve borürlerin oluşmasına neden olmaktadır.

Tablo 3.1. Bor karbürün genel özellikleri

Bileşim	( $B_{11}C$ ) CBC
Renk	Siyah
Kristal yapısı	Rombohedral
Molekül ağırlığı (g/mol)	55,26
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	2,52
Ergime noktası ( $^\circ C$ )	2450
Spesifik ısı (J/mol·K)	50,88
Vickers sertliği (GPa)	29-35
Kırılma tokluğu (MPa·m <sup>1/2</sup> )	2,9-3,7
Elastisite modülü (GPa)	450-470
Kayma modülü (GPa)	200
Eğme dayanımı (MPa)	300-500
Poisson oranı	0,18
Elektriksel direnci ( $\Omega \cdot cm$ ) ( $25^\circ C$ 'de)	0,1-10
Termal iletkenlik (W/m·K-1)	30-42
Seebeck katsayısı ( $\mu V \cdot K^{-1}$ )	300
Nötron yakalama kesiti (barns)	400-750

Bor karbürün oksitlenme davranışı tane boyutuna ve sıcaklığa bağlı olarak değişmekte olup  $600^\circ C$ 'den sonra oksitlenmeye başlar ve üzerinde koruyucu bir borik oksit ( $B_2O_3$ )

tabakası oluşur. Oluşan bu oksit tabakası malzeme soğuduktan sonra kırılarak bertaraf edilebilmektedir. 1200°C'ye kadar oksidasyon reaktiflerin (B, C, O) oksit tabakasından difüzyonu ile sınırlıdır. 1200°C'den yüksek sıcaklıklarda ise B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'ün buharlaşma hızı oluşma hızından daha fazla olduğu için oksit tabakası koruyucu özelliğini yitirir. Yüksek sıcaklıklarda bor karbürün oksidasyon direnci düşüktür ve artan sıcaklıkta oksidasyon hızı artmaktadır.

Bor karbür en sert malzemelerden biri olup yüksek sertliğe sahiptir (>25 GPa). Yüksek sertliğine bağlı olarak aşınma direnci de oldukça yüksektir. Eğme dayanımı 300-500 MPa aralığında olup elastisite modülü yaklaşık olarak 450-470 GPa'dır [38]. Tüm bu üstün mekanik özelliklerinin yanında bor karbürün kırılma tokluğu, yapısal seramik malzemesi olarak kullanımını kısıtlayan en önemli etkidir. Bor karbürün kırılma tokluğu 2,9-3,7 MPa·m<sup>1/2</sup> aralığında değişmektedir [36]. Malzemenin mekanik özellikleri ve yoğunluğu, B/C oranı ve mikroyapısına bağlıdır. Bor karbürün porozitesi azaldıkça ve tane boyutu küçüldükçe mekanik özelliklerinin iyileştiği bilinmektedir. Ayrıca B/C oranı 4'ten büyük ve küçük olduğunda da sertlik ve kırılma tokluğu değerlerinin azaldığı görülmüştür.

### **3.3. Bor Karbürün Kullanım Alanları**

Bor karbür yüksek sertliği sayesinde kesici ve aşındırıcı takımlarda kullanılmaktadır. Bor karbür kaplamalı kesici takımlar, pirinç, paslanmaz çelik, titanyum alaşımları, alüminyum alaşımları, dökme demir gibi çeşitli alaşımların kesilmesinde kullanılmaktadır. Sinterlenmiş formda, iyi aşınma direnci nedeniyle kumlama ve su jeti nozüllerinde, seramik rulmanlarda ve tel çekme kalıplarında kullanılır. Elmasa kıyasla daha ucuz olduğu için karbürler ve diğer teknik seramikler gibi sert malzemelerin parlatma, lepleme işlemlerinde tercih edilmesinin yanı sıra öğütme elemanı olarak da kullanılmaktadır.

Düşük yoğunluğu, yüksek sertliği ve iyi darbe dayanımı sayesinde balistik uygulamalarda zırh malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bor karbür yüksek Seebeck katsayısı nedeniyle termoelektrik uygulamalarda da tercih edilmektedir [41]. Bor karbür, refrakter ve diğer metal borürlerin üretimi için önemli bir bileşendir

Bor karbür, yüksek performanslı metal matris kompozitleri üretmek için katkı malzemesi olarak da kullanılmaktadır.

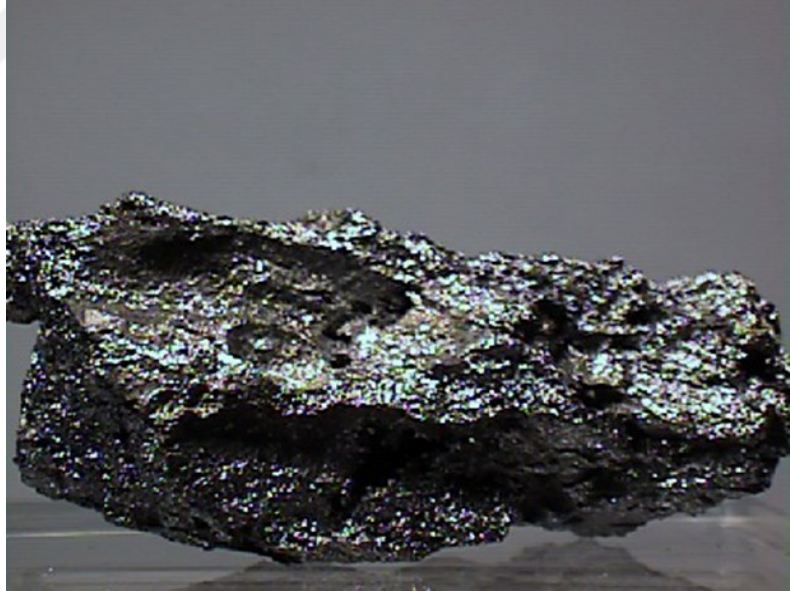
Bor karbür, yüksek nötron absorplama kapasitesi, kimyasal kararlılığı ve refrakter karakteri sayesinde nükleer reaktörlerde nötronları zayıflatmaya yarayan kontrol malzemesi (kontrol çubuğu) ve nötron zırhlama malzemesi olarak kullanılmaktadır. Ayrıca kanser tedavisinde nötron yakalama tedavisi için de kullanılmaktadır.



## 4.BÖLÜM

### TİTANYUM ve ALAŞIMLARI

Titanyum, periyodik cetvelin 4. alt gurubunda yer alan, çok sert, gümüşü beyaz renkli, parlak bir elementtir. Titanyum nadir bir element olarak görülmesine rağmen dünyada en bol miktarda yer alan 6. element olduğu bilinmektedir. Şekil 4.1'te Titanyum elementinin görüntüsü verilmektedir. Doğada saf halde bulunmamaktadır. Titanyum mineralleri, belirli jeolojik koşullarda ve az miktarda oluşmaktadır. Ekonomik değeri olan titanyum mineralleri rutil ( $TiO_2$ ) ve ilmenit ( $FeTiO_3$ )'tir. Titanyum cevheri, kayalardan (primer yataklar), kum ve çakıldan oluşan tortulardan (ikincil yataklar) elde edilmektedir. Titanyum elementinin genel özellikleri Tablo 4.1'de verilmektedir.

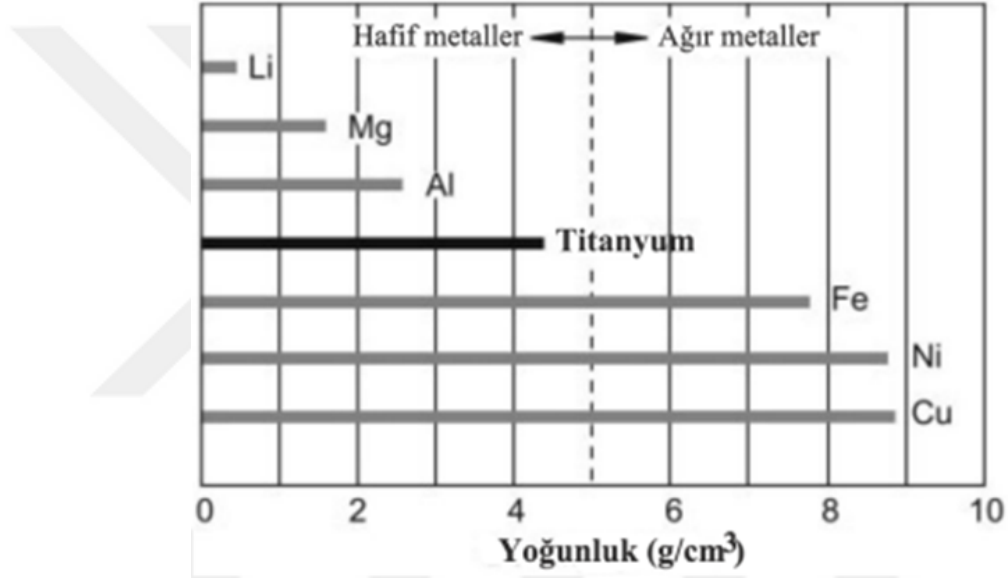


Şekil 4.1. Titanyum elementi

Titanyum işlenmesi çok zor olan bir elementtir. Bu nedenle pahalı ve piyasada bulunması zor olan bir elementtir. Asma kilitler, kişisel ve araç anti-balistik zırh kaplaması, kum püskürtme nozulları, yüksek basınçlı su jeti kesici nozullar ve çizilmeye- aşınmaya dayanıklı kaplamalar gibi özellikle sertliğin önemli olduğu birçok alanda kullanılmaktadır. Şekil 4.2'de seçili ağır metallerin yoğunlukları gösterilmektedir. Şekilden de anlaşıldığı üzere titanyum yoğunluk olarak ağır bir metal değildir.

Tablo 4.1. Titanyum elementi özellikleri

Atom numarası	22
Atom ağırlığı (g/mol)	47,9
Kristal yapısı	Hegzagonal
Yoğunluğu (g/cm <sup>3</sup> )	4,5
Ergime noktası (°C)	1660
Buharlaşma noktası (°C)	3287
Özgül ısı (cal/g)	4.51
Elastisite modülü (GPa)	116



Şekil 4.2. Seçili ağır metallerin yoğunlukları

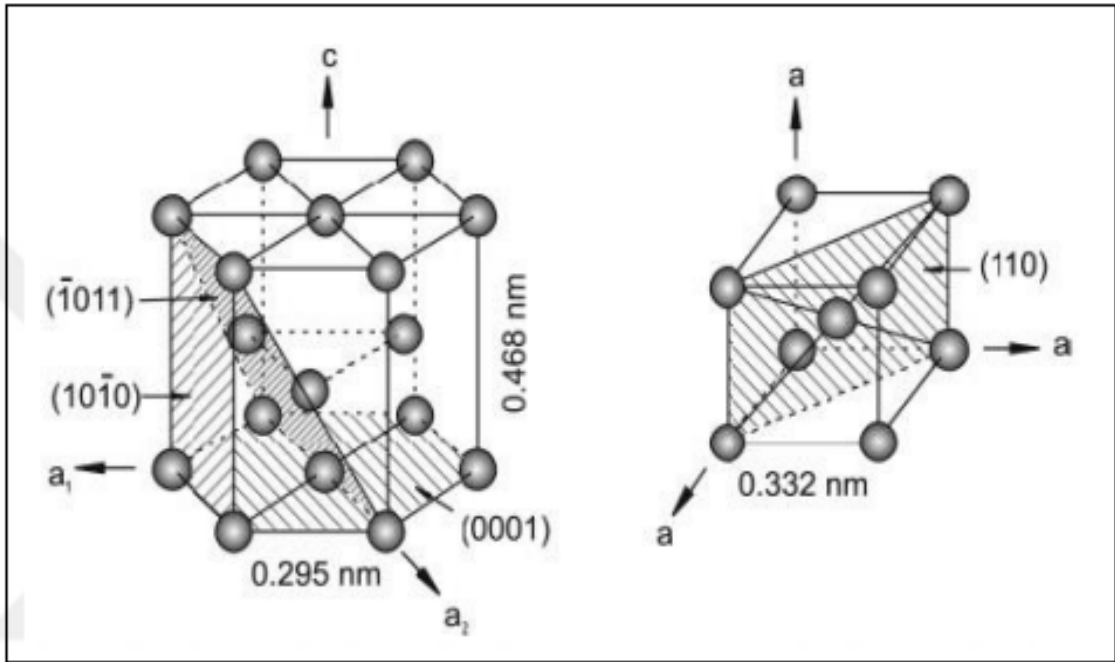
Titanyum alaşımları, yüksek özgül mukavemeti ve korozyona karşı gösterdiği mükemmel direnç ile öne çıkmaktadır. Bu özellikleri, havacılık, uzay, kimya, tıp ve eğlence sektörlerinde yaygın olarak kullanılmalarını sağlamaktadır. Karbon fiber takviyeli plastiklerin özgül mukavemeti, titanyum alaşımlarından sadece 300 °C'nin altındaki sıcaklıklarda daha yüksektir. Titanyum alaşımlarının özgül mukavemeti, daha yüksek sıcaklıklarda özellikle dikkat çekicidir. Ancak oksidasyon davranışları nedeniyle, maksimum uygulama sıcaklıkları sınırlıdır [42].

Titanyum alüminidler bu dezavantajı kısmen ortadan kaldırdığından yoğun alaşım geliştirme çalışmalarının konusu haline gelmişlerdir. Konvansiyonel yüksek sıcaklık Titanyum alaşımları yalnızca 500 °C'nin biraz üzerindeki sıcaklıklara kadar

kullanılmaktadır. Titanyum alüminidler, yüksek sıcaklıklarda oksidasyona karşı daha dirençli olduklarından yoğun alaşım geliştirme çalışmalarının konusu haline gelmişlerdir. Konvansiyonel yüksek sıcaklık titanyum alaşımları, yalnızca 500 °C'nin biraz üzerindeki sıcaklıklarda kullanılabilirlerdir.

#### 4.1. Titanyumun Kristal Yapısı

Titanyumda diğer birçok element gibi çeşitli kristal yapılarda kristalleşme özelliğine sahip olmasına rağmen her bir modifikasyon yalnızca belirli sıcaklık aralıklarında kararlı bir yapıdadır. Kristal yapının birinden diğerine tam değişimine allotropi denir. Bu değişimin gerçekleştiği sıcaklık ise geçiş sıcaklığı olarak adlandırılır [42].



Şekil 4.2. Hcp  $\alpha$  ve Bcc  $\beta$  fazının kristal yapısı

Titanyum ve titanyum alaşımlarının çoğu, oda sıcaklığında modifiye edilmiş, ideal altıgen yapıdadır. Bu yapıya  $\alpha$  titanyum denir. Yüksek sıcaklıklarda ise hacim merkezli kübik yapı,  $\beta$  titanyum olarak adlandırılır. Saf titanyum için  $\beta$ -geçiş sıcaklığı  $882 \pm 2$  °C'dir.  $\alpha$  titanyum ve  $\beta$  titanyumun atomik yapıları, en yoğun şekilde istifli düzlemleri ve yönleri vurgulanarak Şekil 4.2'de gösterilmiştir.  $\alpha$  titanyum, altıgen sıkı paket (hcp) bir yapıya sahiptir. Bu yapıda, atomlar, birbirine paralel altıgen bir düzlem üzerinde istiflenmiştir. Bu düzlemler, şekil 4.2'den de

görüldüğü üzere  $[0001]$  yönüne diktir.  $\beta$  titanyum ise hacim merkezli kübik (Bcc) bir yapıya sahiptir. Bu yapıda, atomlar, bir küpün köşelerinde ve merkezinde istiflenmiştir. En yoğun şekilde istifli düzlemler, şekil 4.2'den de görüldüğü üzere  $[111]$  yönündeki düzlemlerdir [43].



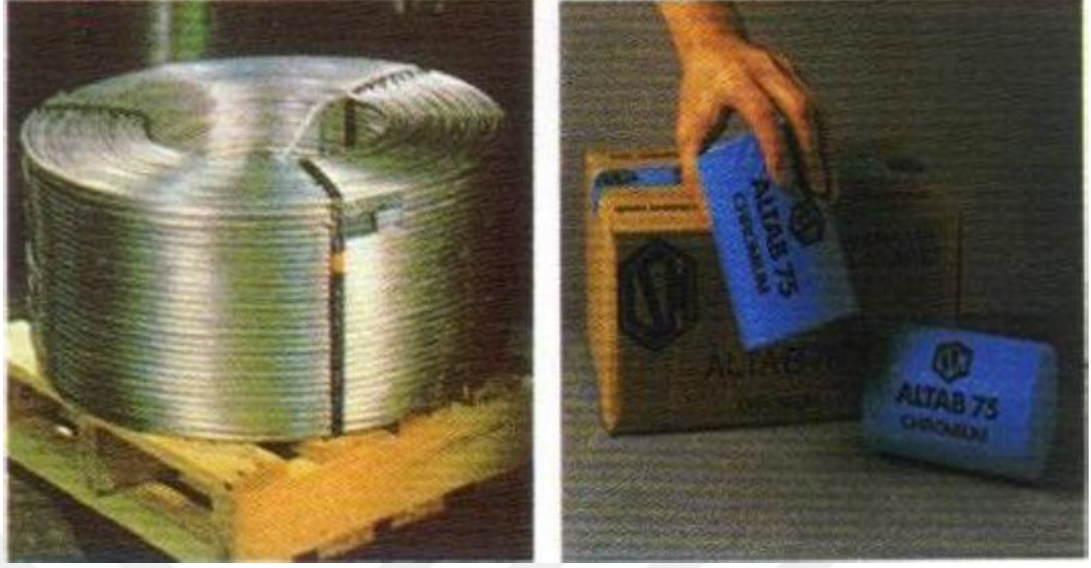


## 5.BÖLÜM

### ALÜMİNYUM TİTANYUM BOR (AL-Ti-B)

Titanyum, alüminyum alaşımlarında tane küçültücü bir etki göstermekte ve bu etki, titanyumun alüminyumla birlikte katılaşmasıyla oluşur. Titanyum, alüminyum alaşımlarına %0,05-0,20 oranında sıvı metale eklenerek kullanılır. Basınçlı döküm alaşımlarına ise titanyum ilave edilmez. Bunun nedeni, basınçlı dökümde hızlı soğuma nedeniyle tane küçülmesinin kendiliğinden gerçekleşmesidir [45]. Titanyum, alüminyum alaşımlarının çekme mukavemetini ve sünekliği artırır, ısı iletkenliğini ise azaltır.

Alüminyum titanyum bor (Al-Ti-B) tane inceltici tel % 99,7 saflıkta birincil alüminyumdan ve değişik bileşimlerdeki florür tuzlarından üretilmektedir [17]. Geçmişte Al-Ti-B tel üretimi için yuvarlak takozlar halinde dökülen metal, ekstrüzyon yöntemiyle tel haline getirilirdi. Günümüzde ise, sürekli döküm ve haddeleme yöntemleri kullanılarak, daha verimli ve kaliteli tel üretimi gerçekleştirilmektedir. Al-Ti-B'un ergimiş alüminyumla temas süresi, bu alaşımların sağladığı maksimum tane inceltme kabiliyetinin bir göstergesidir. Alüminyum sıvı bir formdayken Al-Ti-B telleri alaşıma katıldığından dolayı alaşımda çok dikkat çekici bir değişiklik meydana gelmemektedir.



Şekil 5.1. Tel ve tablet şeklinde tane incelticiler

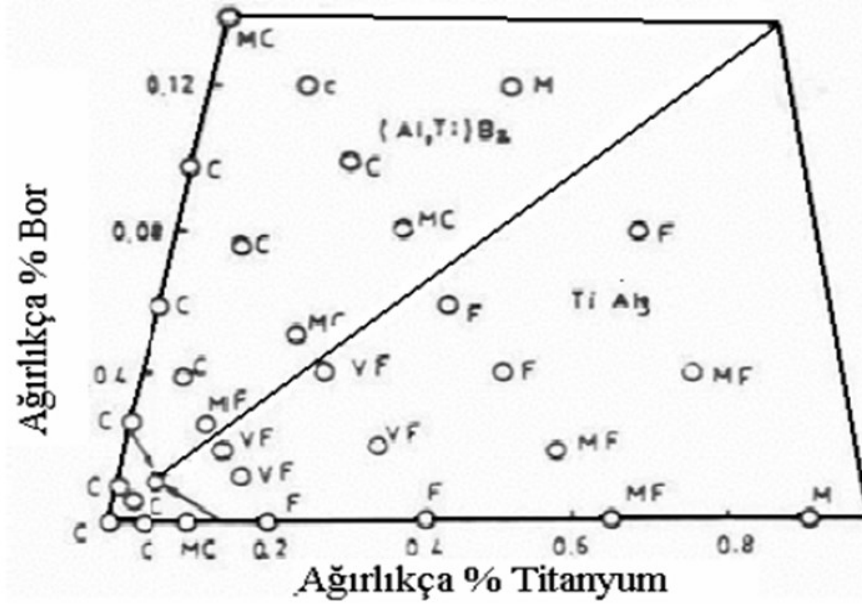
Al-Ti-B'un tane incelticisi olarak kullanılmaya başlamasından itibaren araştırmacılar çeşitli alüminyum alaşımlarına en etkin Ti/B oranı için büyük çaplı araştırmalar yapmışlardır. Bu çalışmalar neticesinde % 3–10 oranında Ti %0,1–1 oranında B ihtiva eden çeşitli ürünler geliştirmişlerdir, ancak standart en çok kullanılan master alaşım 5/1 Ti-B oranına sahiptir. Endüstriyel uygulamalarda kullanılan tane incelticiler Tablo 5.1'de gösterilmiştir.

Tablo 5.1. Uygulamalarda kullanılan tane incelticilerin kimyasal bileşimleri [45]

Tane İncelticileri		
AlTiB 5/1	Al % 5 Titanyum	% 1 Bor
AlTiB 5/0,6	Al % 5 Titanyum	% 0,6 Bor
AlTiB 5/0,2	Al % 5 Titanyum	% 0,2 Bor
AlTiB 3/1	Al % 3 Titanyum	% 1 Bor
AlTiB 6	Al % 6 Titanyum	
AlTiB 10	Al % 10 Titanyum	

Dünya alüminyum sanayinin %70'i, %7 Ti ve %0,2 B içeren Al-Ti-B alaşımlarını tane inceltici olarak kullanmaktadır. İnce levha ve folyo gibi bazı özel üretimlerde ise, daha düşük bor içeren %5 Ti ve %0,2 B içeren alaşımlar tercih edilir. Bu alaşımlar, daha az titanyum borid bileşikler içerir. Titanyum miktarı %0,25'i geçmemelidir. Bu noktadan sonra oluşan kaba Al-Ti primer kristalleri, alaşımın mukavemetini düşürmektedir [46].

Alüminyum alaşım üretiminde, tane inceltici olarak kullanılan Al-Ti-B tellerinin önemi giderek artmaktadır. Bu tellerin kullanımı, farklı alaşımların tane inceltme işlemine nasıl tepki vereceğinin anlaşılmasına önemli katkı sağlamıştır. Demir, silisyum, mangan, titanyum ve bor gibi elementler, alüminyum alaşımlarında tane inceltme işlemi olumlu yönde etkilemektedir. Bu nedenle, bu elementleri içeren alaşımların tane inceltmesi daha kolay ve daha az ilaveye ihtiyaç duymaktadır. Krom ve zirkonyum gibi elementler ise, tane inceltme işlemi olumsuz yönde etkiler. Bu nedenle, bu elementleri içeren alaşımların tane inceltmesi daha zor ve daha yüksek oranda ilaveye ihtiyaç duymaktadır. Şekil 5.2'de Ti-B bileşimine bağlı olarak tane boyutunun değişimi gösterilmektedir.



C Kaba, M Orta, F ince, MC Orta Kaba, MF Orta ince, VF Çok ince

Şekil 5.2. Ti-B bileşimine bağlı olarak tane boyutunun değişimi

Alüminyum alaşım bileşiminin yanı sıra döküm kesit kalınlığı ve döküm yöntemi tane inceltme işlemi etkileyen diğer faktörlerdir. Sıcak halde ingot dökümleri, kalın kesitler ve düşük katılma hızlarında gerçekleştirildiği için tane inceltme işlemi daha ince kesitlerde gerçekleştirilen ekstrüzyon takoz dökümüne göre daha zordur. Sürekli levha döküm işlemlerinde ise kesitin ince ve katılmanın hızlı olmasına karşın kenar çatlama problemi sebebi ile Al-Ti-B tel incelticinin yüksek oranlarda ilave edilmesi gereklidir [17].

## **6.BÖLÜM**

### **KOMPOZİT MALZEMELER VE ALÜMİNYUM MATRİSLİ KOMPOZİTLER**

Teknolojik yeniliklerle birlikte insanlığın ihtiyacını karşılamak amacıyla aynı anda birden fazla mekanik özelliği bünyesinde barındıran yeni malzemelere ihtiyaç duyulmaktadır. Günümüzde endüstriyel gelişmelerle; var olan seramik, metal, polimer, elastomer ve cam gibi malzemelerin bir araya getirilmesi ile bileşenlerin en iyi özelliklerinden daha üstün yeni nesil malzemeler olan kompozitler oluşmuştur. Kompozit malzemeler, birbirinden farklı fiziksel veya kimyasal özelliklere sahip iki veya daha fazla bileşen malzemenin birbirleriyle etkileşime sokularak yeni bir malzeme üretilmesi olarak ifade edilebilir ve oluşan kompozit malzeme birleşimde kullanılan malzemelerden farklı özelliklere sahip olmaktadır.

Yeni nesil kompozit malzemeler, kimyasal bileşimi ve özellikleri farklı olan iki veya daha fazla malzemenin birleştirilebilmesi özelliğiyle ön plana çıkmaktadır. Kompozit malzemelerde Matris elemanı ve takviye elemanı olarak genel olarak 2 sınıfa ayrılmaktadır. Matris, kompozit malzemelerde takviye elemanlarının üzerine gelen yükü alarak, kompozitin mukavemet, rijitlik ve diğer mekanik özelliklerini belirler. Bu görev, matris ve takviye elemanlarının arasındaki ara yüzey bağının kalitesine bağlıdır. Takviye malzemeleri ise kullanılan matrisin: dayanım, korozyon direnci, aşınma direnci, yoğunluk, yorulma ömrü, ısı ve ses yalıtımı ile termal iletkenlik gibi mekanik ve fiziksel özellikleri üzerinde olumlu etkiler sağlanmaktadır.

Kompozit, genellikle sert lifler ya da parçalılardan (takviye elemanı), lifleri yerinde tutan bir bağlayıcıdan (matris) ve bunların arasında bulunan ara yüzey bağından oluşan çok fazlı yapının genel adıdır. Bu yapıdaki bileşenlerin görevleri vardır. Takviye elemanı formuna ve oranına bağlı olarak kompozitin mukavemetini artırırken ana malzeme ise oluşabilecek mikro/makro çatlakların ilerlemesini önlemektedir. Kompozit malzemelerin takviye elemanı ve ana malzemesi arasında bulunan arayüzey bağı ise aradaki kuvvet iletimini sağlamaktadır.

Kompozitlerin matris fazı bir metal, polimer veya seramik olabilir. Genel olarak, metaller ve polimerler matris malzemesi olarak kullanılır, çünkü bir miktar süneklik arzu edilir. Kompozitlerin farklı bir malzeme türü olarak sınıflandırılması ise 20. yüzyılın ortalarında, fiberglas takviyeli polimerler gibi kasıtlı olarak tasarlanmış çok fazlı kompozitlerin üretilmesiyle başlamıştır [47].

Kompozit malzemeler çeşitli metotlarla üretilebilir. Bu yöntemler toz metalurjisi, mekanik alaşımlama, döküm, infiltrasyon, vb. şeklinde sıralanmaktadır. Bu yöntemler içerisinde standart döküm metodu diğer tekniklere göre daha düşük maliyetli olmasına rağmen takviye malzemesinin yapı içerisinde homojen dağılımı zordur. Bu sorun ya döküm metodunu karıştırmalı hale getirerek ya da toz metalurjisi tekniği ile düzeltilmektedir.

Kompozit malzemelerde alaşımlardan farklı olarak çözünen ve çözen kavramları ve bileşenler arası atom alışverişi yoktur. Yani bileşenler birbirlerini kimyasal olarak etkilemezler.

Kompozit malzemelerin kullanımında sağlanan en temel avantajlar [];

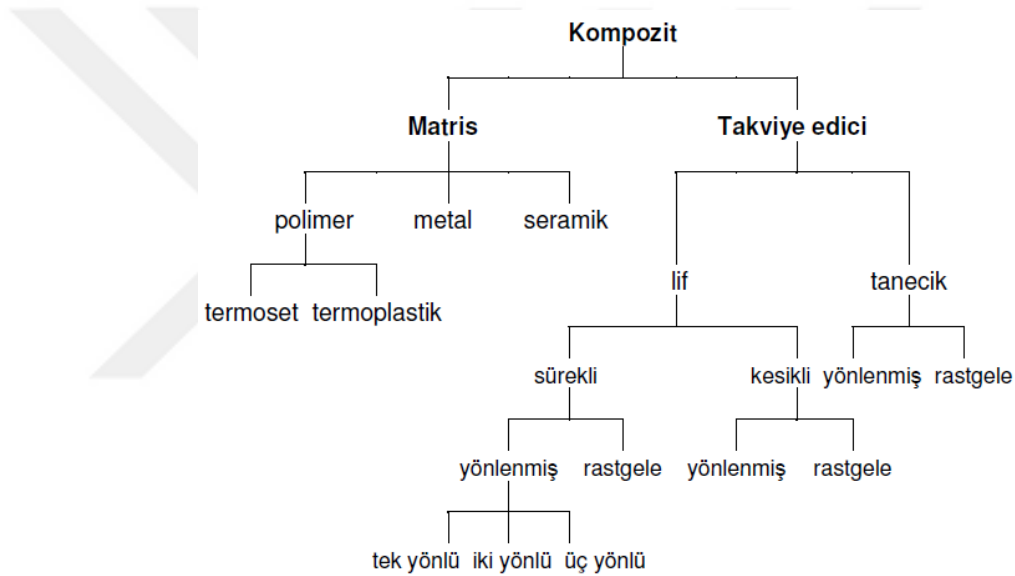
- Yüksek mukavemet
- Yüksek aşınma dayanımı
- Yüksek yorulma dayanımı
- Yüksek kırılma tokluğu
- Yüksek korozyon dayanımı
- Yüksek sıcaklık performansı
- Isıl ve akustik iletkenlik
- Düşük maliyet
- Estetik görünüm
- İmalat kolaylığıdır.

### **6.1. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması**

Kompozit malzemelerin çeşitli özelliklerine göre farklı sınıflamaları mevcuttur. Malzeme bileşenlerine göre”, “metal-organik” veya “metal-inorganik”, fonksiyonlarına

göre, “elektriksel” veya “yapısal”, bileşen fazların karakteristik özelliklerine göre “matris sistemleri” veya “tabakalı yapılar”, bileşen fazların dağılımlarına göre ise “sürekli” veya “süreksiz” bileşen dağılımı kompozit malzemeler olarak pek çok sınıflandırma yapılmıştır [49]

Kompozit malzemeler, ana yapıyı oluşturan matris malzemesine göre sınıflandırılır. Matris malzemesine göre kompozitler, polimer, seramik ve metal olmak üzere üç ana sınıfa ayrılmaktadır. Şekil 6.1’de kompozitlerin gruplandırılmasının nasıl gerçekleştiği verilmektedir.



Şekil 6.1. Kompozitlerin gruplandırılması

### 6.1.1. Polimer Matrisli Kompozitler (PMK)

Petrokimya bazlı ürünlerden üretilen polimer matrisli kompozitler, korozyona dayanıklı, uzun ömürlü, işlenmesi kolay, şekillendirilebilen ve birim kütle başına yük kapasitesi yüksek olan, günümüzün en popüler kompozit malzemeleridir. Havacılık, otomotiv, denizcilik, inşaat, elektronik ve spor malzemeleri gibi birçok alanda kritik bir rol oynamaktadırlar.

### 6.1.2. Seramik Matrisli Kompozitler (SMK)

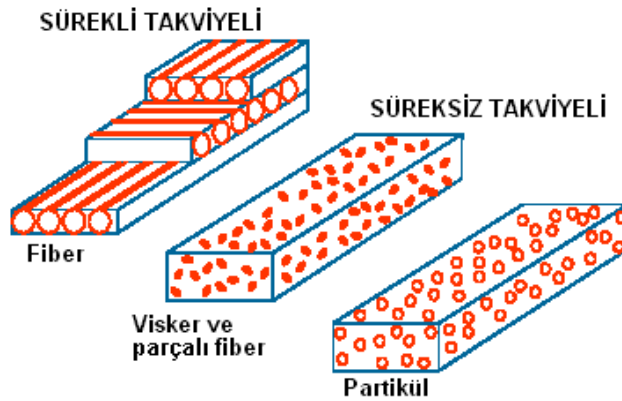
Seramik matrisli kompozitler, yüksek sıcaklık dayanımı, hafiflik ve rijitlik gibi önemli avantajlara sahip, fakat düşük süneklik ve tokluk gibi dezavantajlara da sahip olan malzemelerdir. Liflerle takviye edilerek dezavantajları giderilebilen SMC'ler, havacılık, uzay, otomotiv ve enerji gibi birçok alanda kritik bir rol oynamaktadır.

### 6.1.3. Metal Matrisli Kompozitler (MMK)

Metal matrisli kompozitler, metal veya metal alaşımından oluşan bir matrisin içine seramik, metal veya polimer gibi farklı geometrilerde takviye fazı gömülerek üretilen kompozitlerdir. Bu sayede metallerin plastik şekil değiştirme yeteneği ile seramiklerin yüksek elastiklik modülü bir araya getirilerek yüksek aşınma direnci ve gerilme mukavemeti sunan malzemeler elde edilir.

MMK'lere üstünlük sağlayan ana noktalar şu başlıklarda toplanabilir:

- Yüksek elastiklik modülüne sahiptirler,
- Yüksek mukavemete (çekme, basma, asınma, sürünme ve kayma) sahiptirler,
- Yüksek sıcaklıklarda çalışabilirler,
- Tekrar üretilebilir mikroyapı ve özelliklere sahiptirler,
- Düşük yoğunluğa sahiptirler,
- Sıcaklık değişimlerine veya ısıya karşı düşük hassasiyet gösterirler,
- Yüksek yüzey dayanıklılığına sahiptirler,
- Yüksek elektrik ve ısı iletkenlik özelliklerine sahiptirler.



Şekil 6.2. Metal matrisli kompozitlerde tipik takviye geometrileri

## 6.2. Alüminyum Matrisli Kompozitler (AMK):

Alüminyum, düşük yoğunluk, yüksek korozyon direnci, ısı ve elektrik iletkenliği, kolay işlenebilirlik ve tedarik kolaylığı gibi avantajları ile MMK'ler arasında en popüler matris malzemesidir. Bu özellikler, alüminyum matrisli kompozitlere de aktarılarak onları havacılık, uzay, otomotiv, denizcilik, inşaat, spor malzemeleri ve makine imalat gibi birçok alanda kullanılabilen potansiyel bir malzeme haline getirir. AMK'lerin düşük ağırlığı, yüksek mukavemeti ve üstün aşınma özellikleri, bu malzemelerin gelecekte de birçok farklı alanda kullanılmaya devam edeceğini göstermektedir.

Alüminyum alaşımları, hafiflikleri, çökme sertleşmesi ile mukavemetlerini artırma kabiliyetleri, korozyona karşı yüksek dirençleri, ısı ve elektriği iyi iletmeleri, kolay işlenebilmeleri ve tedarik kolaylıkları gibi birçok avantajı sayesinde, rakiplerine kıyasla öne çıkarak gelişmiş uygulamalarda kullanılmaktadır. Alüminyum alaşımlarının bu temel özellikleri, alüminyum matrisli kompozitler (AMK) kullanılarak daha da geliştirilebilmektedir.

AMK'ler, takviye malzemesinin geometrisine göre farklı gruplara ayrılır.

- a) Partikül takviyeli AMK'ler
- b) Visker veya kısa fiber takviyeli AMK'ler
- c) Sürekli fiber takviyeli AMK'ler
- d) Monofilament takviyeli AMK'ler

Tablo 6.1. AMK'lerin, takviyesiz Al alaşımlarına göre üstünlükleri ve eksiklikleri

ÜSTÜNLÜK	EKSİKLİK
Yüksek özgül mukavemet Yüksek özgül rijitlik Yüksek sıcaklıkta sürünme direncinde artış Artan aşınma dayanımı pahalı üretim yöntemleri	Düşük tokluk ve süneklik Daha karmaşık



Tablo 6.2. AMK'lerin PMK'lere göre üstünlükleri ve eksiklikleri

ÜSTÜNLÜK	EKSİKLİK
Çapraz yönde mukavemette artış	Daha az geliştirilmiş teknoloji
Yüksek tokluk	Daha az tecrübe
Yüksek hasar toleransı	Yüksek maliyet
Çevresel etkilere karşı dayanımda artış	
Yüksek ısı ve elektriksel iletkenlik	
Yüksek sıcaklıkta dayanım	

Tablo 6.3. AMK'lerin SMK'lere göre üstünlükleri ve eksiklikleri

ÜSTÜNLÜK	EKSİKLİK
Yüksek tokluk ve süneklik	Yüksek sıcaklıkta dayanımın düşük olması
Üretim kolaylığı	
Düşük maliyet	

### 6.2.1. Partikül takviyeli AMK'ler:

Partikül takviyeli alüminyum matrisli kompozitler (AMK'ler), genellikle es eksenli seramik takviyeler içermektedir. Bu seramik takviyeler, oksitler, karbürler veya borürler gibi malzemelerden oluşabilmektedir. Yapısal veya aşınma dayanımı gerektiren uygulamalarda %30'dan az hacim oranında kullanılmaktadır. Hem katı hem de sıvı durum prosesleri ile üretilebilen bu kompozitler, sürekli fiber takviyeli AMK'lere göre daha düşük maliyetlidir.

Partikül takviyeli AMK'lerin mekanik özellikleri, visker, kısa fiber ve sürekli fiber takviyeli AMK'lere göre daha düşük olsa da, takviyesiz alüminyum alaşımlarının oldukça üzerindedir. Bu kompozitler izotropik özellik göstermektedir ve ekstrüzyon, haddeleme, dövme gibi geniş bir yelpazedeki ikincil şekillendirme işlemlerine tabi tutulabilirler.

Kullanım Alanları:

- Otomotiv parçaları
- Havacılık ve uzay sanayi
- Makine imalatı
- Elektrik ve elektronik ekipmanları

- Spor malzemeleri
- Askeri donanım

Partikül takviyeli AMK'lerin avantajları:

- Düşük maliyet
- Kolay üretim
- İzotropik özellikler
- Geniş bir yelpazede ikincil şekillendirme işlemlerine uyumluluk

Partikül takviyeli AMK'lerin dezavantajları:

- Sürekli fiber takviyeli AMK'lere göre daha düşük mekanik özellikler
- Takviyesiz alüminyum alaşımlarına göre daha yüksek yoğunluk

#### **6.2.2. Visker veya kısa fiber takviyeli AMK'ler**

Visker takviyeli kompozitler, toz metalurjisi veya infiltrasyon teknikleri ile üretilmektedir. Bu kompozitlerin mekanik özellikleri, partikül veya kısa fiber takviyeli kompozitlere kıyasla oldukça üstün olduğu görülmektedir. Kısa fiber takviyeli AMK'ler ise, sürekli fiber ve partikül takviyeli AMK'lerin arasında kalan karakteristik özellikler göstermektedir.

Visker takviyeli AMK'lerin avantajları:

- Yüksek mekanik özellikler
- İzotropik veya yönlendirilmiş mikro yapı
- Aşınma direnci
- Yüksek sıcaklık dayanımı
- Visker takviyeli AMK'lerin dezavantajları:
- Yüksek üretim maliyeti
- Karmaşık üretim süreci
- Kısa fiber takviyeli AMK'lerin avantajları:
- Visker takviyeli AMK'lere göre daha düşük üretim maliyeti
- Sürekli fiber takviyeli AMK'lere göre daha kolay üretim süreci
- Daha yüksek süneklik
- Kısa fiber takviyeli AMK'lerin dezavantajları:

- Visker takviyeli AMK'lere göre daha düşük mekanik özellikler
- Sürekli fiber takviyeli AMK'lere göre daha düşük mukavemet

### 6.2.3. Sürekli fiber takviyeli AMK'ler

Bu tür AMK'lerde, 20 mikrondan küçük çaplı ve sürekli fiber formunda takviyeler kullanılır. Alüminyum oksit ( $Al_2O_3$ ), silikon karbür (SiC) veya karbon (C) gibi malzemelerden üretilen bu fiberler, paralel veya örgü şeklinde düzenlenebilmektedir. Sürekli fiber takviyeli AMK'lerde, üretim yöntemine bağlı olarak %40'a varan hacim oranında takviye kullanılabilir. Bu da, bu kompozitlere oldukça yüksek mukavemet ve rijitlik kazandırmaktadır.

Sürekli fiber takviyeli AMK'lerin avantajları:

- Yüksek mukavemet ve rijitlik
- Yüksek yorulma dayanımı
- Aşınma direnci
- Yüksek sıcaklık dayanımı
- Sürekli fiber takviyeli AMK'lerin dezavantajları:
- Karmaşık üretim süreci
- Yüksek üretim maliyeti
- Düşük süneklik

Kullanım Alanları:

- Havacılık ve uzay sanayi
- Otomotiv parçaları
- Makine imalatı
- Spor malzemeleri
- Askeri donanım

### 6.2.4. Monofilament takviyeli AMK'ler

Monofilamentler, 100-150 mikron çapında geniş çaplı fiberlerdir. Kimyasal buhar çöktürme (CVD) yöntemi ile üretilirler. Esneklikleri, multifilamentlere göre daha düşük

olduğu bilinmektedir. Multifilament takviyeli AMK'ler ise difüzyon bağlama teknikleri ile üretilmektedir.

Monofilamentlerin özellikleri:

- Geniş çap (100-150 mikron)
- Düşük esneklik
- CVD yöntemi ile üretim
- Yüksek mukavemet ve rijitlik

Multifilament takviyeli AMK'lerin özellikleri:

- Difüzyon bağlama teknikleri ile üretim
- Daha yüksek esneklik
- Monofilamentlere göre daha düşük mukavemet ve rijitlik

Kullanım Alanları:

- Monofilamentler: Yapısal parçalar, yüksek mukavemet ve rijitlik gerektiren uygulamalar
- Multifilament takviyeli AMK'ler: Daha yüksek esneklik ve daha düşük mukavemet ve rijitlik kabul edilebilen uygulamalar

Metal matrisli kompozitler, farklı takviye türleri ve üretim yöntemleri kullanılarak üretilen, birçok avantaja sahip bir malzeme türüdür. Sürekli fiber takviyeli kompozitler, en yüksek mukavemet, rijitlik, yorulma dayanımı, aşınma ve yüksek sıcaklık direncine sahip MMC'lerdir. Karmaşık üretim süreci ve yüksek maliyetleri dezavantajları olsa da, birçok kritik alanda kullanılmaktadır. Bunlar;

- Gelişmiş rijitlik ve mukavemet
- Aşınma ve sürünme dayanımlarında azalma
- Anizotropik özellikler
- Fiber yönüne göre mukavemetin artması
- Maliyeti yüksek karmaşık üretim teknikleri

Mukavemet odaklı kompozitlere alternatif olarak, rijitlik, aşınma direnci, ısıl genleşme kontrolü ve yüksek sıcaklık toleransı gibi özelliklerin ön plana çıktığı uygulamalarda,

üretim kolaylığı ve düşük maliyet avantajları da sunan süreksiz takviyeli kompozitler tercih edilebilir

Kolay ve ucuz üretim yöntemleri ile öne çıkan parçacık takviyeli AMK'ler, yüksek mukavemet, rijitlik, aşınma direnci, ısıl genleşme kontrolü ve yüksek sıcaklık toleransı gibi çeşitli avantajlar sunarak, otomotiv, makine imalatı, elektronik, askeri, spor ve inşaat gibi birçok sektörde geniş bir uygulama potansiyeline sahiptir.

### **6.3. Al-B<sub>4</sub>C Kompozitleri**

B<sub>4</sub>C, yüksek sertlik, darbe ve aşınma direnci, düşük yoğunluk gibi üstün özelliklere sahip bir malzeme olmasına rağmen, gevrek kırılmaya karşı hassasiyeti ve üretim zorluğu dezavantajları kullanım alanlarını sınırlamaktadır. Al-B<sub>4</sub>C kompozitleri, bu dezavantajları alüminyum matrisin sünekliği ve kolay üretilebilirliği ile telafi ederek B<sub>4</sub>C'ün potansiyelini açığa çıkarmaktadır. Aşınmaya dayanıklı parçalar, hafif ve dayanıklı yapılar, yüksek sıcaklık uygulamaları gibi birçok alanda Al-B<sub>4</sub>C kompozitleri gelecekte önemli bir rol oynayabilmektedir.

#### **6.3.1. B<sub>4</sub>C Arayüzeyi**

Al-B<sub>4</sub>C kompozitleri, alüminyum matris içinde B<sub>4</sub>C takviyelerinin dağıtılmasıyla üretilir ve birçok alanda kritik rol oynar. Bu kompozitlerin üretiminde, tıpkı diğer metal matrisli kompozitlerde (MMK) olduğu gibi, matris-takviye ara yüzeyi kilit rol oynamaktadır.

Matris-takviye ara yüzeyinin önemi:

- Kompozitin mekanik özelliklerini belirler: Mukavemet, sertlik, tokluk, yorulma ve sürünme dayanımları gibi birçok mekanik özellik, ara yüzeyle yakından ilişkilidir.
- Isıl genleşme katsayısını ve ısıl iletkenliği etkiler: Ara yüzey, kompozitin ısıl genleşme katsayısını ve ısıl iletkenliğini de etkileyerek farklı sıcaklıklardaki performansını belirlemektedir.

Ara yüzey ile ilgili problemler:

- Kimyasal reaksiyonlar: Matris ve takviye malzemesi arasındaki kimyasal reaksiyonlar, ara yüzeyde zayıflığa yol açabilmektedir.
- Yetersiz ıslatma: Takviye malzemesinin matrisi yeterince ıslatmaması, ara yüzeyde boşluk ve kusurlar oluşmasına neden olabilmektedir.

Bu problemlerin sonuçları:

- Düşük mekanik özellikler: Kompozitin istenen mukavemet, sertlik, tokluk ve diğer mekanik özelliklere ulaşamaması,
- Zayıf ısı performans: Kompozitin istenen ısı genleşme katsayısına ve ısı iletkenliğe ulaşamaması,
- Kırılganlık ve çatlama: Ara yüzeydeki zayıflıklar, kompozitin kırılgan olmasına ve çatlama eğilimine yol açabilmektedir.

Çözümler:

- Ara yüzey kimyasının kontrolü: Matris ve takviye malzemesi arasındaki kimyasal reaksiyonları kontrol etmek için arayüz mühendisliği teknikleri kullanılabilir.
- Islatma probleminin çözümü: Takviye malzemesinin matrisi daha iyi ıslatmasını sağlayacak kaplama ve ısı işlem gibi yöntemler kullanılabilir.

Al-B<sub>4</sub>C kompozitlerde matris-takviye ara yüzeyinin istenilen şekilde düzenlenmesi, kompozitin istenen mekanik ve ısı özelliklere ulaşması için kritik önem taşımaktadır. Ara yüzey ile ilgili problemlerin çözümü, bu kompozitlerin potansiyelini tam anlamıyla ortaya çıkarmak için gerekmektedir.

## 7.BÖLÜM

### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu bölümde tez kapsamında yapılan deneysel çalışmalar kapsamında 6082 alüminyum alaşımına farklı oranlarda B<sub>4</sub>C ve farklı oranda Al-Ti-B ile dökümler gerçekleştirilmiştir. Yapılmış olan çalışma ve analizlerin sıralama sistematığı aşağıda verilmektedir;

- Denede kullanılacak matris ve takviye elemanlarının belirlenmesi
- Döküm işlemleri
- Spektro analiz işlemi
- Optik mikroskop incelemeleri
- SEM & EDS (Noktasal, mapping )analizi
- Mikrosertlik inceleme
- Makrosertlik inceleme

#### 7.1. Kullanılan Malzemeler

Alüminyum 6082 alaşımları diğer 6xxx serisi alüminyum alaşımlarından daha yüksek sertliğe sahiptir ve yapı alaşımı olarak da bilinmektedir. Alüminyum 6082 alaşımı özellikle korozyonun çok olduğu deniz altı uygulamalarında, köprü ve makine parçalarında kullanılmaktadır. Bu alaşım, benzer şekilde hafiflik ve kullanım ömrünün daha yüksek olması istenildiği havacılık, otomotiv ve yüksek stresli uygulamalarda kullanılmaktadır.

Bu çalışmada kullanılan ticari 6082 alüminyum alaşımının kimyasal analizi Tablo 7.1'de belirtilmekte ve çubuk şeklindeki alüminyum alaşımları Şekil 7.1'de gösterilmektedir.

Tablo 7.1. Al 6082 kimyasal analizi

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

Alüminyum malzeme olarak 10 x 10 x 2950 mm<sup>3</sup> boyutlarında üretilmiş 6082 T6 (Çözeltiye alma işlemi ve suni yaşlandırma işlemleri yapılmış) lama profil kullanılmıştır.



Şekil 7.1. Al 6082 malzemesi

Farklı oranlarda; Şekil 7.2’de Al-Ti-B alaşımı verilmektedir. Kullanılan Al-Ti-B alaşımının kimyasal analizi Tablo 7.2’de gösterilmektedir.





Şekil 7.2. Al-Ti-B malzemesi

Tablo 7.2. Katkı malzemesi olarak kullanılan Al-Ti-B malzeme kimyasal bileşimi

Palet Numarası	Alaşım Elementleri (% ağı.)					
	Al	Ti	B	Si	Fe	V
<b>D414691E</b>	94,02	4,9	0,9	0,09	0,08	0,01

Şekil 7.3'te 25 mikron boyutunda olan bor karbür ( $B_4C$ ) ilave edilmiştir ve  $B_4C$ 'nin kimyasal analizi Tablo 7.3'te verilmektedir. Şekil 7.3'te verilen bor karbür granül halinde alınmış ve kırıcılardan geçirilen bor karbür öğütüldükten sonra eleme işlemleri sonrası 25 mikron boyutlarına sınıflandırılmıştır.

Tablo 7.3.  $B_4C$  kimyasal analizi

Kimyasal Analiz	Toplam B	Serbes B	$B_2O_3$	Toplam C	$Fe_2O_3$
	75,2	0,51	0,44	22,8	0,1



Şekil 7.3. Bor karbür tozu

## 7.2.Döküm Esnasında Kullanılan Cihazlar

Çubuk şeklide temin edilen matris Al 6082 alaşımı ve uzun çubuk şeklinde tedarik edilen Al-Ti-B malzemesi döküm haznesi için el testeresi ile uygun boyutlara getirilmiştir. Daha sonra Şekil 7.4’de belirtilen Denver instrument marka hassas terazi kullanılarak uygun boyutlara getirilmiş Al alaşımı ve Al-Ti-B malzemeleri tartılmıştır.



Şekil 7.4. Hassas Terazi

Döküm için hazırlanan matris ve takviye elemanı malzemeler potalara yerleştirilmiştir. Şekil 7.5’te gösterilen malzemelerin ergitilmesi için özel üretilen potalar kullanılmıştır.

Bu potalara belirli oranlarda hazırlanan malzeme şarj edilerek ilave parametreleri oluşturulmuştur.



Şekil 7.5. Malzemelerin ergitildiği pota

Ergitmeye hazır hale getirilen şarjlar yaklaşık  $750\text{ }^{\circ}\text{C}$  sıcaklıklarda ergitilmiştir. Ergitilme işlemi Şekil 7.6'da gösterilen laboratuvar tipi Carbolite markalı fırında gerçekleştirilmektedir. Ergitme aşamasının gerçekleştirilmesi için fırın  $750\text{ }^{\circ}\text{C}$  ergitme sıcaklığına sabit tutularak bu sıcaklığa hazırlanmıştır. Daha sonra ergitilecek tartılan Al 6082 alaşımı potaların için yerleştirilerek ergitilme işlemine geçilmiştir. Belirli bir süre bekledikten sonra ilave edilecek farklı orandaki bor karbür ve farklı oranda Al-Ti-B çubukları hazırlanmıştır. Ergiyen Al 6082 alaşımına farklı oranlarda Al-Ti-B ve  $\text{B}_4\text{C}$  ilaveleri yapılmıştır. Gerçekleştirilen dökümlerin homojen olarak karıştırılmasını sağlayabilmek için seramik çubuk ile mekanik olarak karıştırma işlemi uygulanmıştır.



Şekil 7.6. Deneylerde kullanılan kül fırını

Döküm için Şekil 7.7’de gösterilen CTA- 45 çeliğinden özel olarak hazırlanmış kokil kalıp kullanılmıştır. Döküm işleminde soğuk kokil kaba dökülen ergiyenin fiziksel ve kimyasal özelliklerinde farklılıklar olmaması için kokil kalıp önceden ısıtılmış ve hazırlanan karışımlar ilave edilmiştir. Tamamlanan bu işlemde sonra numuneler havada soğutulmaya bırakılmıştır.



Şekil 7.7. Deneylerde kullanılan kokil kap

### 7.3. Deneysel Çalışma için Numune Hazırlıkları

Dökülen alüminyum matrisli kompozit numuneler havada soğuduktan sonra kokil kalıptan çıkartılmıştır. Çıkartılan numuneler sonra karakterizasyon işlemleri (spektro incelemeleri, mikro yapı, sertlik ve SEM incelemeleri) için hazır hale getirmek için numuneler küçük boyutta kesilmiştir. Şekil 7.8.de gösterilen Metkon Forcipul 2 V zımparalama ve parlatma makinası kullanılarak zımpara ve parlatma yapılır. Zımpara için hazır hale gelen numuneler 120,400,600 ve 800 gridlik zımpara kademelerinden sonra 1 mikron elmas pasta kullanarak parlatma işlemi yapılmıştır. Yüzeyi pürüzsüz hale gelen numuneler yüzeydeki mikro yapıları görebilmek için kimyasal dağlama işlemi yapılmıştır. Kimyasal dağlama işlemi için Keller ayracı (95 ml saf su, 2.5 ml  $HNO_3$ , 1.5 ml  $HCl$ , 1.0 ml  $HF$ ) kullanılmıştır.



Şekil 7.8. Zımparalama ve Parlatma cihazı

Elde edilen numunelerin hazırlanış şekilleri aşağıdaki gibidir;

- 1 numaralı numune 6082 alüminyum alaşımına hiçbir katkı ilave edilmeden üretim gerçekleştirilmiştir.
- 2 ve 3 numaralı numuneler 6082 alüminyum alaşımına farklı oranlarda  $B_4C$  ilave edilerek üretim gerçekleştirilmiştir.
- 4 numaralı numuneler 6082 alüminyum alaşımına  $Al-Ti-B$  ilave edilerek üretim gerçekleştirilmiştir.

- 5 ve 6 numaralı numune de ise 6082 alüminyum alaşımına Al-Ti-B sabit tutulmuş ve farklı oranlarda B<sub>4</sub>C ilave edilerek üretim gerçekleştirilmiştir.

Döküm sonrasında kokil kalıptan çıkarılan numune Şekil 7.9 de gösterilmektedir.



Şekil 7.9. Döküm sonrası kokil kalıptan çıkan numune

Elde edilen numunelerin kimyasal bileşenleri belirlenmesi için spektrometre ile ölçümler yapılmıştır. Ölçüm Gebze Teknik Üniversitesi Alüminyum Araştırma ve Uygulama merkezinde bulunan Şekil 7.10'da gösterilen spectromaxx marka spektrometre cihazı kullanılmıştır.



Şekil 7.10. Spektro ölçüm cihazı

Yapılan ölçümler sonrasında Tablo 7.4'te döküm sonrası oluşan kompozitelerin kimyasal bileşenleri gösterilmektedir.

Tablo 7.4. Elde edilen numuneler ve kimyasal bileşenler

No	Malzeme İçeriği	Fe	Si	Mn	Mg	Cr	Al	Ti	B
1	6082 Al alaşımı	0,27	0,86	0,43	0,78	0,032	97,5	0,0087	0,0022
2	Al+B <sub>4</sub> C	0,335	0,85	0,42	0,75	0,023	97,5	0,078	0,016
3	Al+B <sub>4</sub> C	0,256	0,85	0,44	0,71	0,027	97,6	0,064	0,0023
4	Al+Al-Ti-B	0,224	0,74	0,35	0,61	0,02	97,6	0,361	>0,026
5	Al+ Al-Ti- B+B <sub>4</sub> C	0,243	0,72	0,34	0,57	0,022	97,6	0,35	>0,026
6	Al+ Al-Ti- B+B <sub>4</sub> C	0,247	0,73	0,33	0,56	0,033	97,2	0,68	>0,026

#### 7.4. Optik İncelemeler

Metalografik işlemlerden sonra dağlanan numuneler, mikro yapı analizleri için Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Mikroskopi Laboratuvarı'nda Şekil 7.11'de gösterilen 2,5X-10X-20X-50X-100X büyüklükte

objektifleri bulunan bilgisayar bağlantılı Clemex tipi dijital kamera monte edilmiş Nikon Eclipse MA 100 tipi ışık mikroskobunda mikroyapılar incelenmiştir.



Şekil 7.11. Optik mikroskop cihazı

## **7.5. Sertlik Testleri**

### **7.5.1. Vickers sertlik ölçümü**

Hazırlanan numuneler 25 gram yük vererek 5 sn süreyle 12 farklı noktadan ayrı ayrı ölçüm alınarak ortalaması alınmıştır. Sertlik testleri için Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Mikroskopi Laboratuvarında bulunan Şekil 7.12’de gösterilen FM-700 cihazı kullanılmıştır.





Şekil 7.12. Mikrosertlik deney cihazı

#### 7.5.2. Brinnell sertlik ölçümü

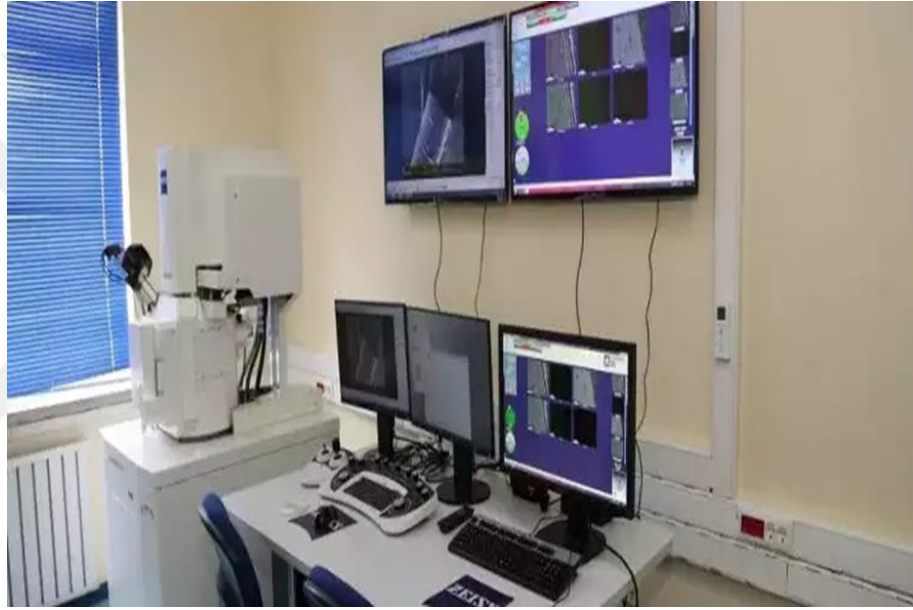
Hazırlanan numuneler 150 kg yük vererek 5 sn süreyle 3 farklı noktadan ölçüm alınarak ortalaması alınmıştır. Sertlik testi için Nevşehir’de Şahin Makina firmasında Şekil 7.13’te gösterilen Tronic marka TH-500D sertlik ölçme cihazı kullanılmıştır.



Şekil 7.13. Sertlik deney cihazı

## 7.6.SEM Mikroyapı ve Analizleri

Hazırlanan numunelerin her birine SEM (Scanning Electron Mikroskop)-EDS(Energy Dispersive Spectrometry) analizleri, ayrıca noktasal analiz ve Haritalama (Mapping) tarama gerçekleştirilmiştir. Böylece numunelerdeki katkı maddelerinin dağılımı ve durumları gözlenmiştir. SEM-EDS analiz çalışmaları için Kayseri Erciyes Üniversitesi Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezinde Şekil 7.14’de gösterilen ZEISS GEMINI 500 marka Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) cihazı kullanılmıştır.



Şekil 7.14. SEM Analiz Cihazı

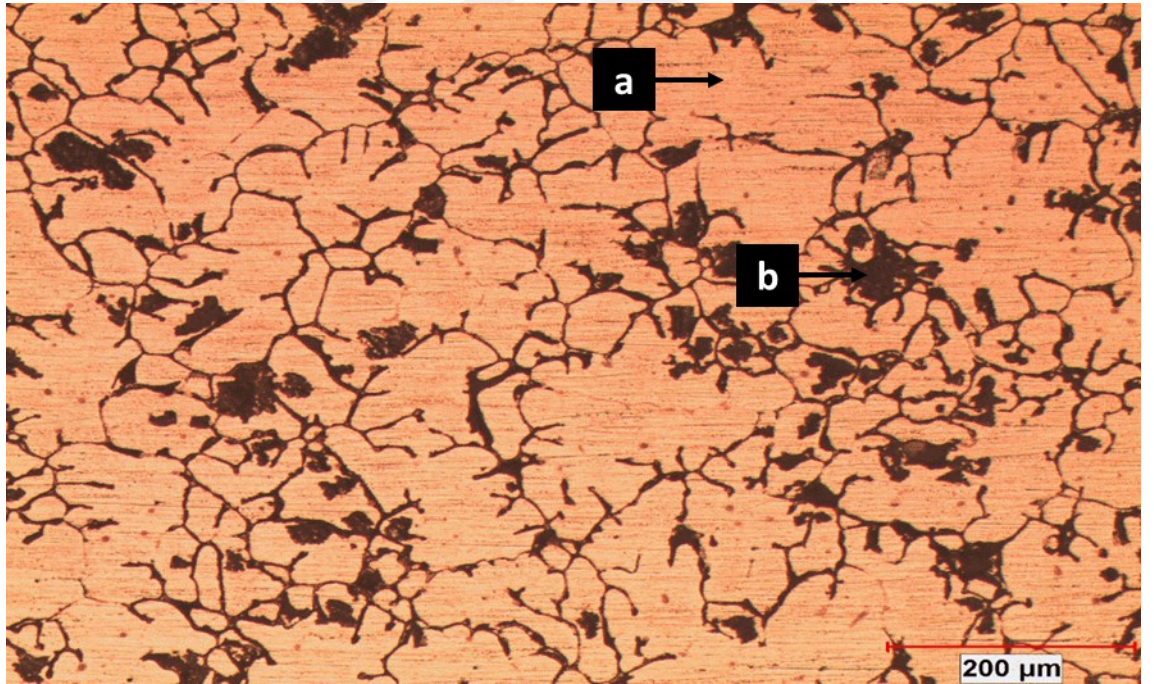
Zımparalama, parlatma ve dağlama gibi işlemlerinin ardından görüntü alınacak numuneler, elementel bileşimlerini karakterize etmek amacıyla SEM-EDS tekniği kullanılarak, elektron demeti tarafından bombardımana uğrayan numuneler analiz edilmektedir. Elementel karakterize için, noktasal analiz ve elementel dağılım haritası (Mapping) analizleri gerçekleştirilmiştir.

## 8.BÖLÜM

### DENEY SONUÇLARI ve TARTIŞMA

#### 8.1.Optik Mikroskop Analiz Sonuçları ve Tartışma

6082 Al matris malzemesinin mikroyapı çalışmalarında Şekil 8.1'de 1 nolu 6082 Al matris malzemenin mikro yapı fotoğrafı görülmektedir. Mikro yapı fotoğrafında 6082 Al saf olmadığı için (%97,5 Al) şekil 8.1 a'da gösterilen beyaz kısımlarda Al, şekil 8.1 b'de gösterilen çoğunlukla tane sınırlarında gözükten siyah kısımlarda ise yoğunlukla magnezyum ve silisyum içeriği olduğu SEM çalışmalarıyla tespit edilmiştir. 1 nolu Al 6082 Al genellikle heterojen bir tane yapısı görülmektedir.



Şekil 8.1. 1 Nolu numune optik fotoğrafı

Nurveren ve Gündüz (2018), Al 6082-T6 malzemesiyle yaptıkları çalışmasında mikro yapıyı) oluşturan tanelerin iriliği dikkat çekmektedir. Koyu siyah renkle görülen kısımlar ise Si açısından zengin bölgeleri göstermektedir. Bu bölgelerin özellikle tane sınırları olduğu belirtmişlerdir [50].

Bu durum 1 nolu Al 6082 malzemedeki mikro yapıların iri ufaklı heterojen tane yapısıyla uyusmaktadır. Şekil 8.1 'de SEM EDS analizlerinde görülen optik fotoğraflarda da okla gösterilen kısımlarda beyaz kısım Al ve diğer siyah kısımlar Si, Mg içeriği olduğu gözlenmiştir.

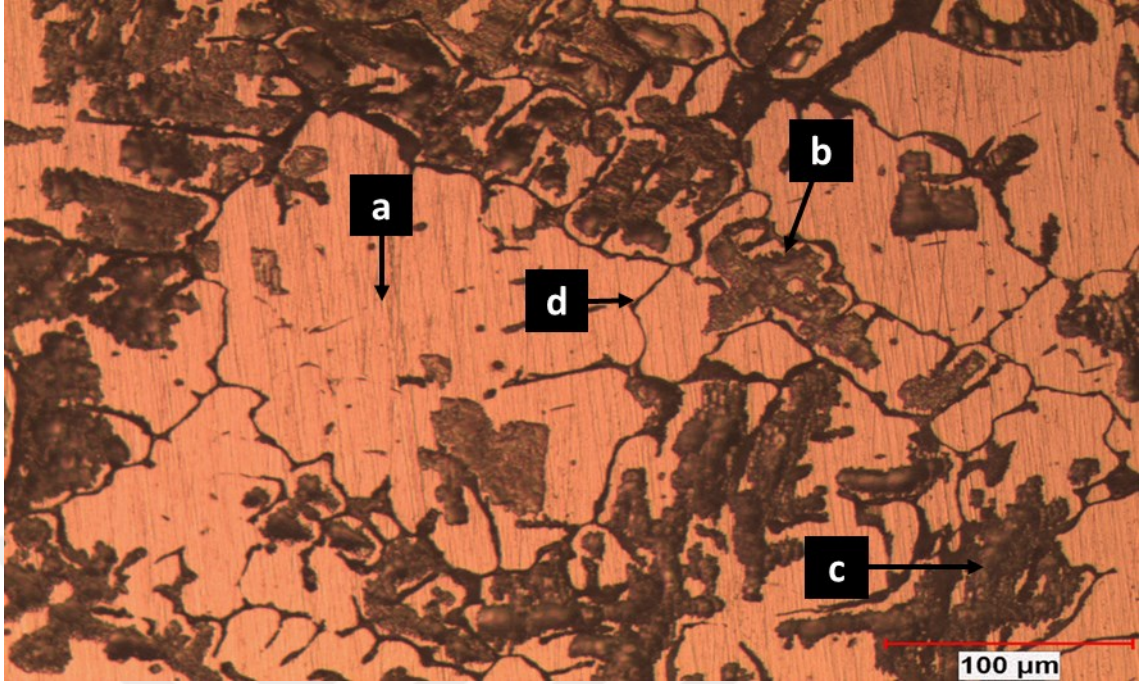
2 nolu numune dökümünde elde edilen Al 6082+ B<sub>4</sub>C dökümünün mikroyapısı Şekil 8.2'de görülmektedir.



Şekil 8.2. 2 nolu numunenin optik fotoğrafı

Şekil 8.2'deki 2 nolu numuneye 181,5 gr Al 6082 alaşımına 5 gr 25 mikron boyutunda katkı malzemesi olarak B<sub>4</sub>C ilave edilmiştir. Şekil 8.2'de verilen mikroyapılarda okla gösterilen a) kısımları Al-Fe-0-Mg-Mn b) kısımlarında Al içeriğinde c) kısımları Al-Si-Mg içeriğinde ve d) kısımları ise genellikle tane sınırlarında Bor olduğu SEM-EDS analizleriyle görülmektedir. Yapılan EDS analizlerinde karbon değeri girildiği zaman bor karbon gibi davrandığı için görülmemektedir. Fakat karbon değeri EDS analizinden kaldırıldığı zaman bor ortaya çıkmadığı gözlenmiştir.

3 nolu numunenin döküm işleminden elde edilen Al 6082+ B<sub>4</sub>C dökümünün mikroyapısı şekil 8.3'te görülmektedir.

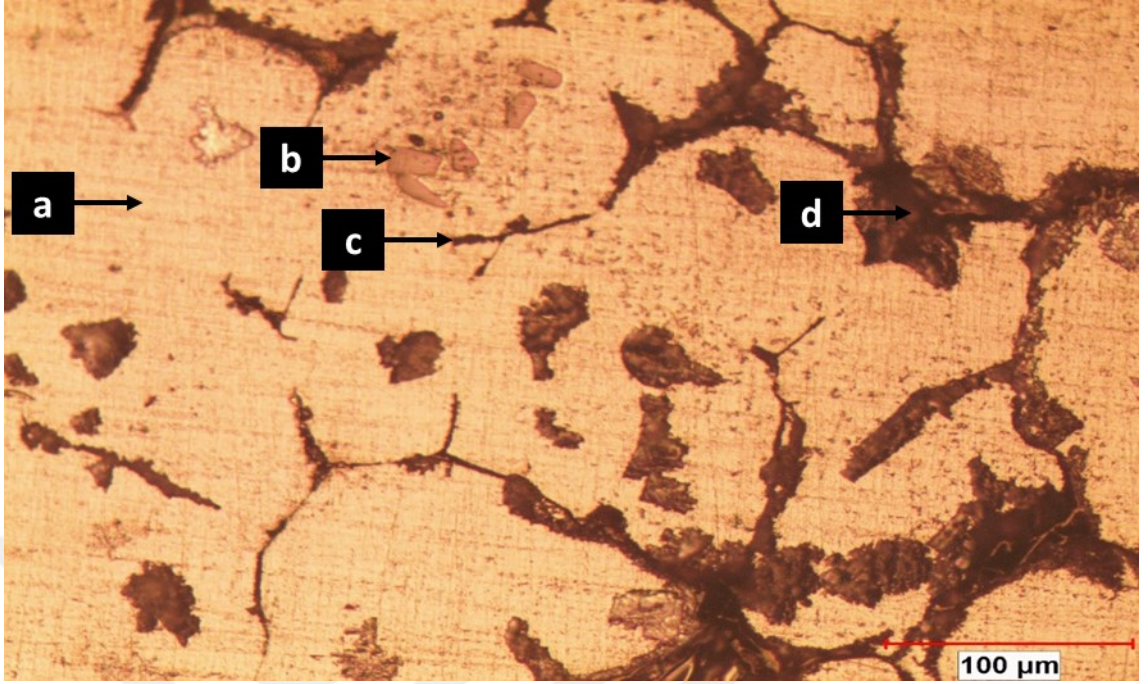


Şekil 8.3. 3 nolu numunenin optik fotoğrafı

Şekil 8.3 3 nolu numuneye 181,5 gr Al 6082 alaşımına 9 gr 25 mikron boyutunda katkı malzemesi olarak  $B_4C$  ilave edilecek 2 nolu numuneye göre  $B_4C$  oranı yaklaşık 2 katı olarak arttırılmıştır. Şekil 8.3'te verilen mikroyapılarda okla gösterilen a) kısımları Al b) kısımlarında Al-Fe-O-Mg-Mn içeriğinde c) kısımları Al-Si-Mg içeriğinde ve d) kısımları ise genellikle tane sınırlarında bor olduğu SEM-EDS analizleriyle görülmektedir. Yapılan EDS analizlerinde karbon değeri girildiği zaman B karbon gibi davrandığı için görülmemektedir. Fakat karbon değeri EDS analizinden kaldırıldığı zaman bor ortaya çıkmadığı gözlenmiştir.

Kumdalı (2008); yaptığı çalışmasında Al matrisli malzemeye  $B_4C$  ilavesine toz metalurjisi yöntemi ile ilave ederek mikroyapı görüntülerini incelemiş ve ince taneli  $B_4C$  miktarı arttıkça ince taneli tozlar yapının her yerine dağılarak özellikle tane sınırlarına çöktüğü tespit etmiştir [12]. Bu çalışmada 2 ve 3 nolu numunelerdeki mikroyapı çalışmasıyla benzerlik göstermektedir. 2 nolu ve 3 nolu numunelerde  $B_4C$  oranı arttırıldıkça tane sınırlarında siyah kısımların arttığı gözlenmiştir.

4 nolu numunenin döküm işleminden elde edilen Şekil 8.4 Al 6082+Al-B-Ti dökümünün mikroyapısı görülmektedir.



Şekil 8.4. 4 nolu numunenin optik fotoğrafı

4 nolu numuneye 181 gr Al 6082 alüminyum alaşımına ilave malzeme olarak 26,1 gr Al-Ti-B ilave edilmiştir.

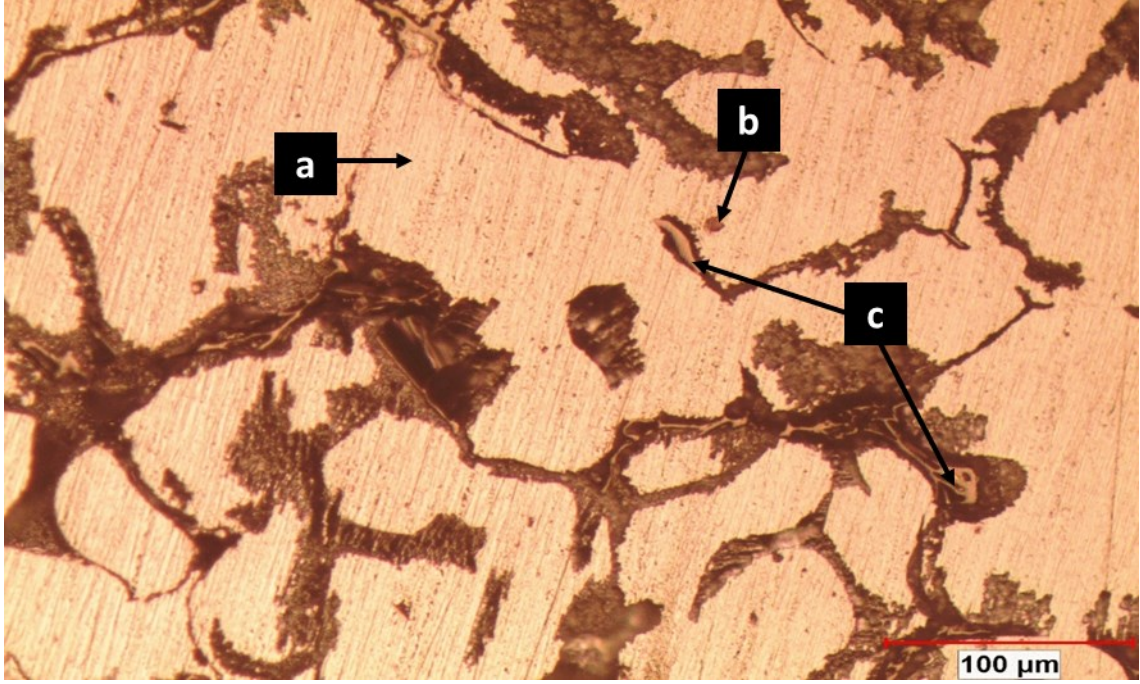
Al-Ti-B malzemesi, malzeme içerisinde bulunan ve vakumsuz ortamdan dolayı havada karışabilecek olan azot ve oksijeni korumak için ilave edilmektedir. Matris malzeme Al olduğundan dolayı Al-Ti-B malzemesinin Al kısmından oksijenden koruma ihtiyacı duyulmayabilir. Fakat Ti ve B bu ilavede katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Özellikle Ti malzeme içerisindeki N ve hava ortamından ergiyik içerisine karışacak N'dan B elementini efektif bir şekilde arayer olarak kalması için önem arz etmektedir. Her ne kadar hedefimiz bu olsada ergime derecesinin düşük olması beklenen TiN oluşumlarını gerçekleştirmemiş olabilir. Fakat yapılan EDS analizlerinde köşeli turuncu renkte parçacıkların Ti çıkması bunu doğrular niteliktedir.

Şekil 8.4'de verilen mikroyapılarda okla gösterilen a) kısımları Al b) kısımlarında Ti içeriğinde c) kısımları Al-B içeriğinde ve d) kısımları ise Al-Fe-Si-Mn olduğu EDS analizleriyle görülmektedir.

Raghavan (2009) yaptığı çalışmada sıvı Al'e çok küçük miktarlarda Ti (ağırlıkça %0,005) ve B'nin (ağırlıkça %0,001) eklenmesi dikkate değer bir tane inceltme etkisine

sahiptir [51]. Bu üçlü sistem üzerinde [1972Max, 1985Abd1, 1985Abd2, 1989Hay] tarafından yapılan önceki çalışma ([1995Vil]'de derlenmiştir). Son çalışmalar, AlB<sub>2</sub> ve TiB<sub>2</sub> diboritlerinin sürekli bir katı çözelti oluşturmadığını doğrulamaktadır.

5 nolu numune dökümünde elde edilen Al 6082+Al-B-Ti+B<sub>4</sub>C dökümünün mikroyapısı Şekil 8.5'te görülmektedir.

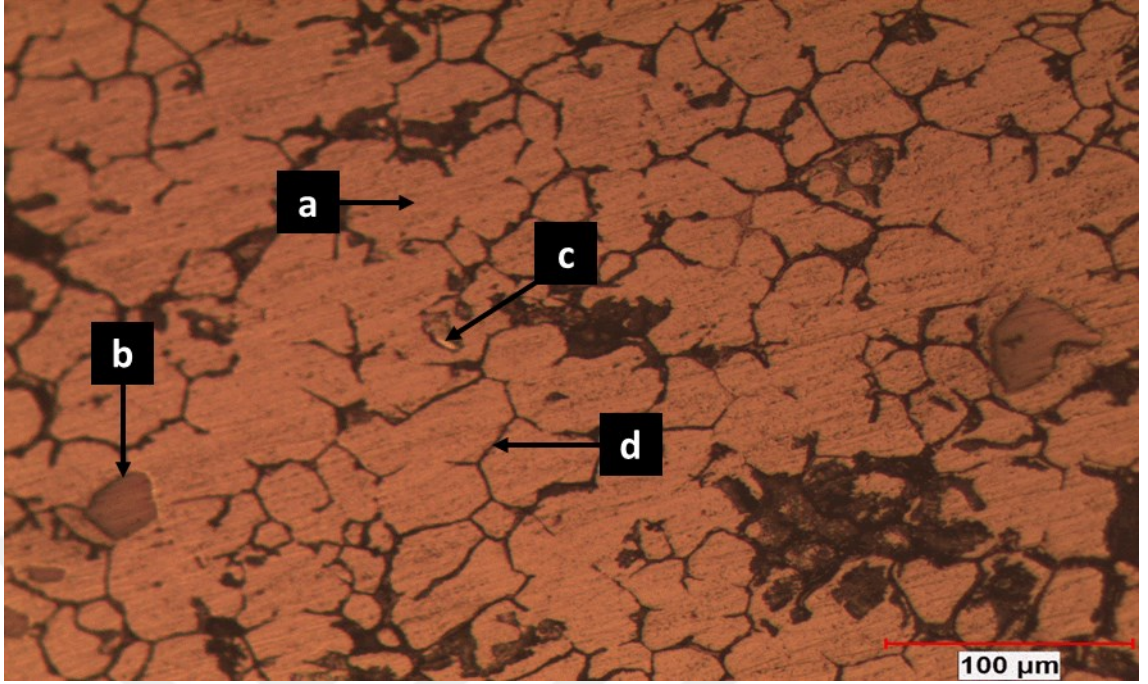


Şekil 8.5. 5 nolu numunenin optik fotoğrafı

5 nolu numune 180 gr Al 6082 alüminyum alaşımına ilave olarak 25.9 gr Al-Ti-B ve takviye elemanı olarak 1.29 gr B<sub>4</sub>C ilave edilmiştir.

Şekil 8.5'te verilen mikroyapılarda okla gösterilen a) kısımları Al b) kısımları Ti ve c) kısımları ise genellikle tane sınırlarında bor olduğu SEM-EDS analizleriyle görülmektedir.

6 nolu numune dökümünde elde edilen Al 6082+Al-B-Ti+B<sub>4</sub>C dökümünün mikroyapısı Şekil 8.6'da görülmektedir.



Şekil 8.6. 6 nolu numunenin optik fotoğrafı

6 nolu numune 180 gr Al 6082 alüminyum alaşımına ilave olarak 24.4 gr Al-Ti-B ve takviye elemanı olarak 2.01 gr B<sub>4</sub>C ilave edilmiştir.

5 nolu ve 6 nolu numunelere yaklaşık Al-Ti-B (5 noluda 25,5gr, 6 noluda 24,4 gr) sabit kalmasına çalışılmıştır. Fakat 5 nolu ve 6 nolu numuneye farklı oranlarda (5 noluya 1,25-6 noluya 2,01 gr) B<sub>4</sub>C takviye malzemesi ilave edilmiştir.

5 nolu numuneye ilave edilen B<sub>4</sub>C takviye elemanı 6 noluda yaklaşık 2 katı olarak ilave edilmiştir. Fakat fırında ergitme süresi 5 noluda da 1 saat iken 6 nolu numunede 30 dk olarak gerçekleştirilmiştir. Bu durum 5 nolu numunede tane boyutu 6 nolu numuneye göre daha büyük olmasına yol açmıştır.

5 nolu ve 6 nolu numunelerin optik mikro yapıları incelendiğinde belirgin bir bor değişikliği görülmektedir. Fakat yapılan SEM Mapping analizlerinde bölgesel analiz değerlerinde 5 nolu numunede bor değeri %18,75 iken 6 nolu numunede bu değer %25,90 olarak tespit edilmiştir. Yapılan ilavelerde doğru orantılı bir sonuçtur.

Katılmış (2021) çalışmasında; 6082 alüminyum alaşımına farklı oranlarda Al-Ti-B alaşımı, farklı oranlarda 25 μm'lik ferrobör tozu ve Al-Ti-B+Ferrobör ilave edilerek üç



tür malzeme elde etmiştir. Yaptığı optik incelemelerde, malzemelerin mikro yapıları arasında belirgin bir farklılık görülmemiştir. Ancak SEM-EDS analizleri sonucunda, borun genellikle homojen bir şekilde dağıldığını, ancak titanyumun yer yer belirli bölgelerde yoğunlaştığını göstermiştir. Bu, Al-Ti-B katkı maddesinin, alüminyum matris içinde sert ve kırılabilir bir faz oluşturmasına, ferrobor katkı maddesi ise; alüminyum matris içinde daha yumuşak ve sünek bir faz oluşturabileceği sonucuna varmıştır [24].

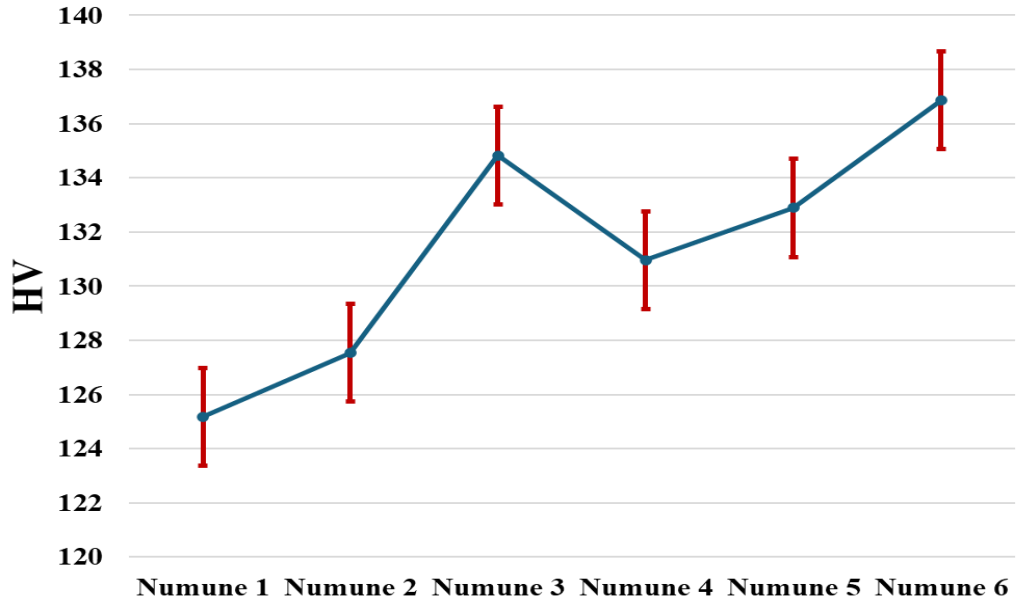
## 8.2. Sertlik Deney Sonuçları ve Tartışma

### 8.2.1. Mikrosertlik Vicker Sertlik Deney Sonuçları ve Tartışma

Mikro sertlik değerleri, mikroyapıya bakılmış olan numunelerin yüzeylerinden 16 farklı bölgeden Vickers mikro sertlik değerleri alınmış ve ortalamaları değerlendirilmiştir. Tablo 8.1 de numunelerin mikro sertlik değerleri verilmiştir.

Tablo 8.1. Vickers mikro sertlik testi ölçümleri

	Numune 1	Numune 2	Numune 3	Numune 4	Numune 5	Numune 6
<b>Ortalama</b>	125,1813	127,543	134,8313	130,9563	132,8875	136,8563



Şekil 8.7. Vickers mikro sertlik sonuçlarının karşılaştırılması

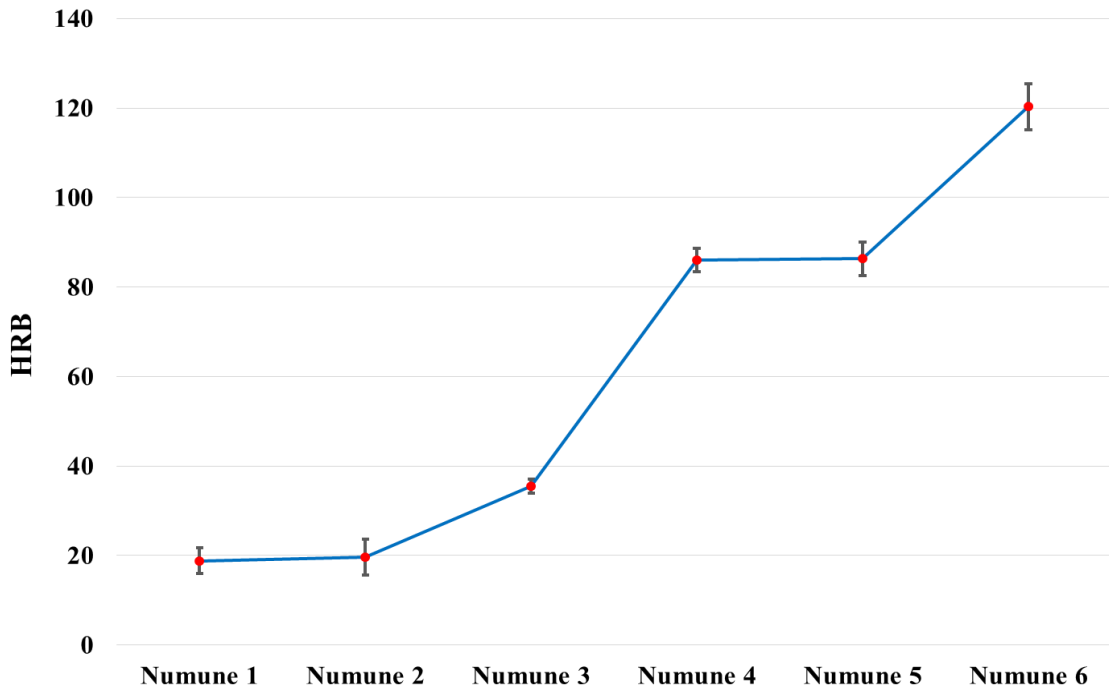
Şekil 8.7’de verilen Vickers mikro sertlik sonuçlarının karşılaştırılmasına bakıldığında Al 6082 alüminyum alaşımının mikrosertlik değeri diğer numunelere göre daha düşük olduğu görülmektedir. 2 nolu numune (Al+B<sub>4</sub>C) ve 3 nolu numune (Al+B<sub>4</sub>C) B<sub>4</sub>C oranı arttıkça mikro sertlikte de artış görülmüştür. 4 nolu numune (Al+Al-Ti-B) mikrosertlikte düşme görülmüştür. 5 nolu numune ve 6 nolu numunede Bor oranı artmasıyla sertlikte de artış görülmektedir. 4 nolu numunedeki düşüşün kompozitten ziyade bir alaşımlama olduğundan kaynaklandığı düşünülmektedir.

### 8.2.2. Brinell Sertlik Deneyi Sonuçları ve Tartışma

Numunelerin yüzeylerinden 3 farklı bölgeden Brinell sertlik değerleri alınmış ve ortalamaları Tablo 8.2’de numunelerin Brinell sertlik değerleri verilmektedir.

Tablo 8.2. 6 adet numuneye uygulanan Brinell sertlik test ölçümleri

	Numune 1	Numune 2	Numune 3	Numune 4	Numune 5	Numune 6
Ortalama	18,83 HRB	19,66 HRB	23,78 HRB	86 HRB	86,33 HRB	120,33 HRB



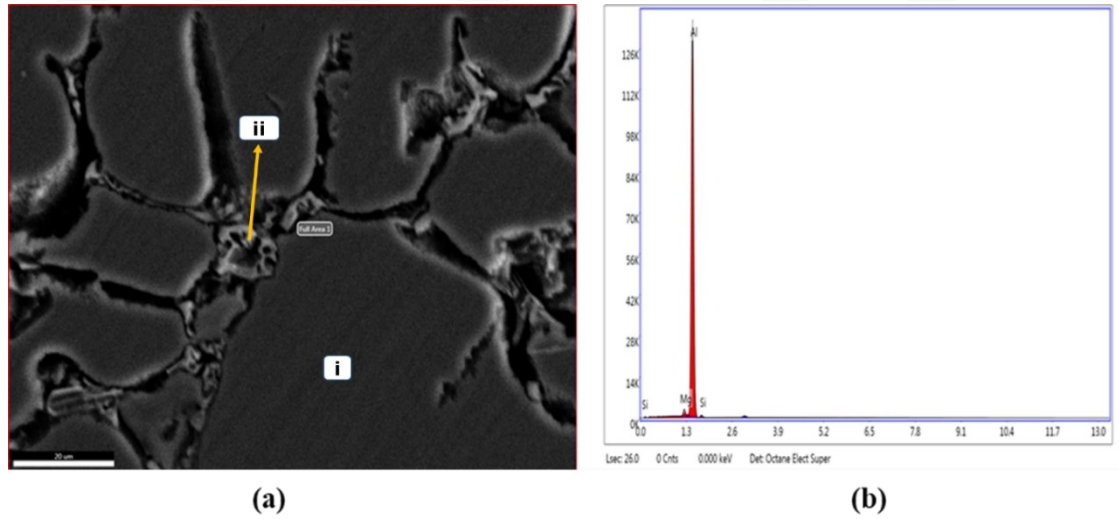
Şekil 8.8. Brinell sertlik ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması

Yapılan Brinell sertlik sonuçlarına göre Şekil 8.8 bakıldığında 6082 alüminyum alaşımının makro sertlik değerinin diğer katkı maddelerinin ilave edilmiş numunelere göre daha düşük olduğu görülmektedir. 2 nolu numuneye 5 gr B<sub>4</sub>C ve 3 nolu numuneye 9 gr B<sub>4</sub>C ilavesi yapılmaktadır. Sertlikte istenilen artış görülmemektedir. Fakat 4 nolu numuneyede aynı durum Al-Ti-B ilavesiyle sertlikte ciddi artış görülmüştür. 5 nolu numuneye ve 6 nolu numuneye ilave edilen B<sub>4</sub>C'lerden sonra artış daha da fazla olduğu gözlenmiştir.

Topçu ve diğerleri (2009); Al matrisli ve B<sub>4</sub>C takviyeli kompozitlerin mekanik özelliklerinin incelemek amacıyla bir çalışma yapmışlardır. Çalışma sürecindeki deneylerin sonucunda; takviye elemanı arttıkça sertliğin arttığını belirlemişlerdir [52].

### 8.3. SEM Analizleri Sonuçları ve Tartışma

1 nolu numunenin SEM incelemesi sırasında elde edilen mikro yapı görüntüsü ve enerji ayırmalı kimyasal analiz grafiği Şekil 8.9 de gösterilmektedir.



Şekil 8.9. 1 nolu numune Al 6082 alaşımının SEM incelemesi sonucu elde edilen a) mikroyapı fotoğrafı ve b) enerji ayırmalı kimyasal analiz grafiği

Şekil 8.9'a'da 1 nolu numunenin farklı gözükten tane sınırlarından SEM noktasal analiz yapılarak inceleme yapılmıştır. İnceleme sonucunda Şekil 8.9'un i bölgesinde Al yoğunluğu şekil 8.9'un ii bölgesinde eser miktarda ise Mg ve Si içeriklerine rastlanmıştır. Şekil 8.9 b)'de enerji ayırmalı kimyasal analiz grafiği gösterilmektedir. Kimyasal analiz grafiğinde yoğun olarak Al piki görülmektedir.

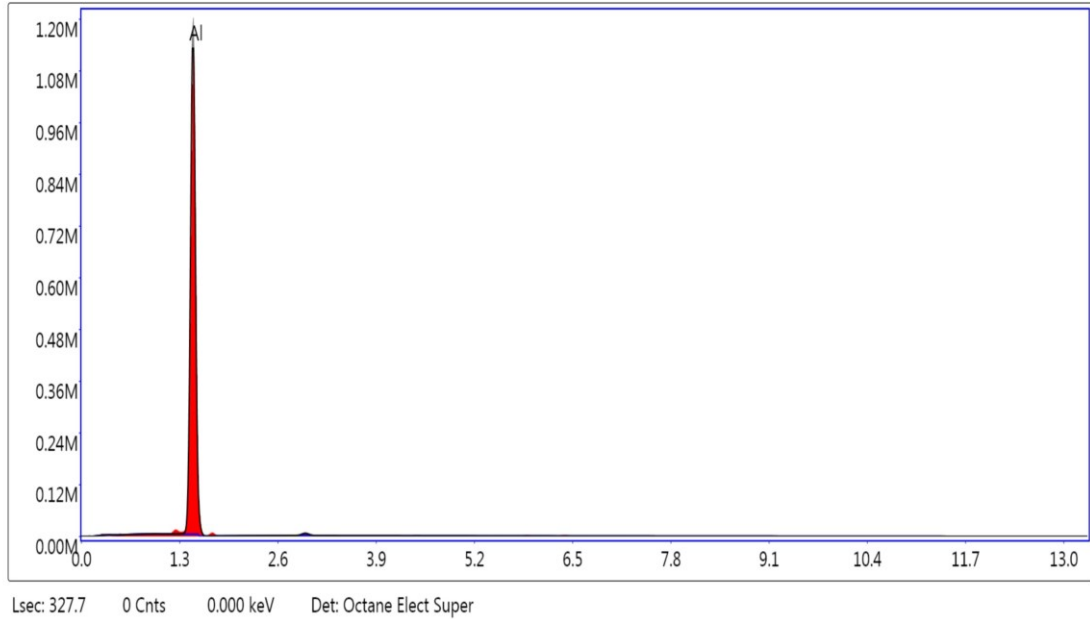
Tablo 8.3. 1 nolu numunenin SEM İncelemesi sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafının element analiz sonuçları

Element	Ağırlık (%)	Atomik (%)
MgK	1,61	1,79
AlK	96,47	96,37
SiK	1,92	1,84

Tablo 8.3 1 nolu numunenin SEM İncelemesi sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafının elementel analiz sonucu görülmektedir. 1 nolu numunenin elemental analiz sonuçlarında Al %96.47 iken Mg % 1.79 ve Si % 1.92 olduğu gözlenmiştir. Yapılan spektro analiz sonucu Mg ve Si elementleri tespit edilmiştir.

Emanetçi (2019), yaptığı çalışmada 6082 Al alaşımı malzemesinde temel element olan Al dışındaki diğer elementlerin kayda değer miktarları fazları belirleyici unsur olduğunu ve kimyasal içerik olarak Al dışında bariz miktarlarda Si içeriği olduğunu belirtmektedir [53].

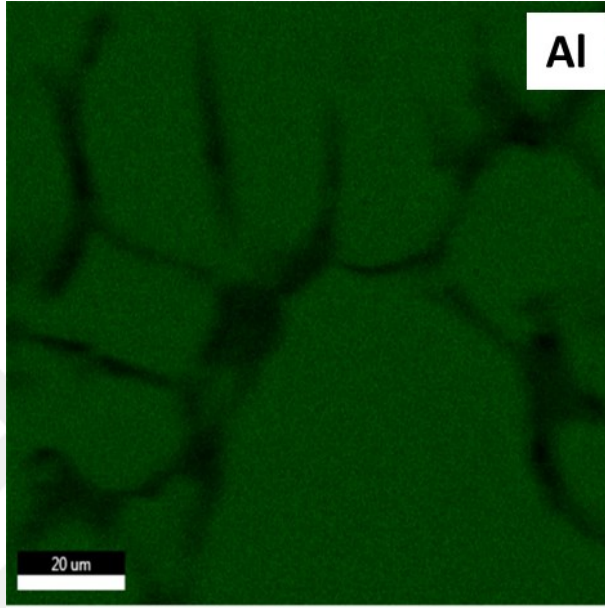
1 nolu numunenin Mapping analizlerinden enerji ayırmalı kimyasal analiz grafiği Şekil 8.10'da verilmektedir.



Şekil 8.10. 1 nolu numune Al 6082 alaşımının mikroyapı fotoğrafının mapping analizi sonucu enerji ayırmalı kimyasal analiz grafiği

Tablo 8.4. 1 nolu numune Al 6082 alaşımının mikroyapı fotoğrafının mapping analizi sonucu element analiz sonuçları

Element	Ağırlık (%)	Atomik (%)	Net Int.	Hata (%)	Kratio	Z	A	F
AlK	100,00	100,00	27851,50	1,01	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000

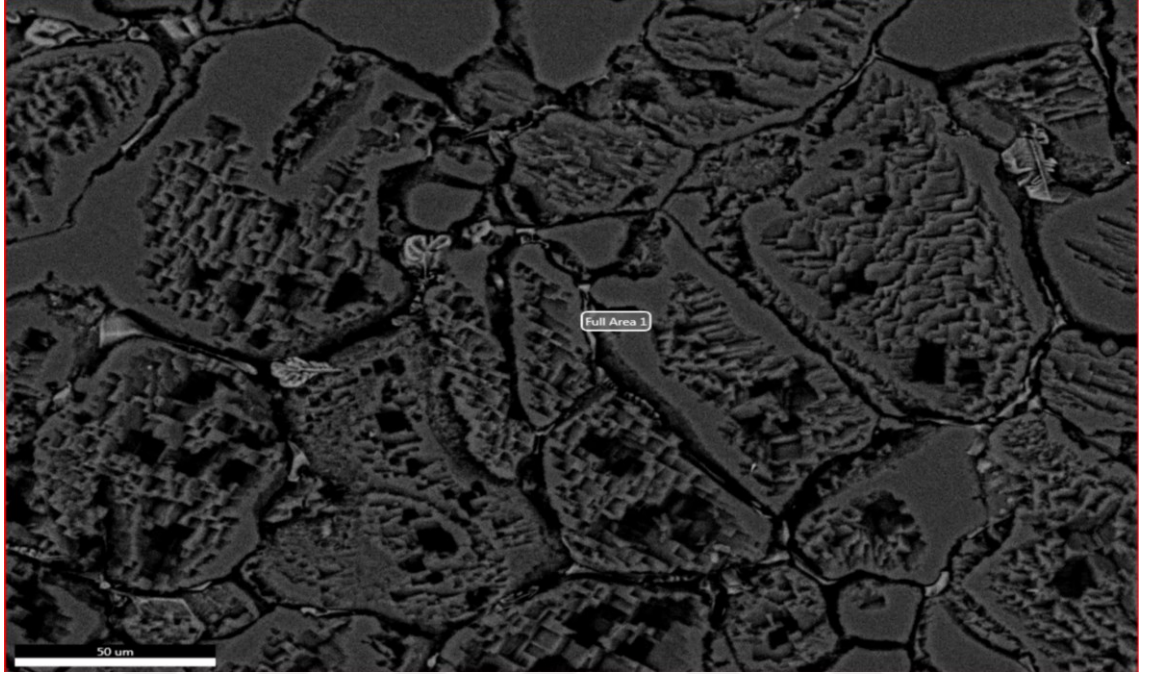


Şekil 8.11. 1 nolu numune SEM ile yapılan element haritalama sonucu Al dağılımı

Yapılan mapping analizine göre Şekil 8.10’de 1 nolu numune Al 6082 alaşımının mikroyapı fotoğrafının mapping analizi sonucu enerji ayırmalı kimyasal analiz grafiği gösterilmiştir ve Tablo 8.4’e göre 1 nolu numune Al 6082 alaşımının mikroyapı fotoğrafının mapping analizi sonucu element analiz sonuçları verilmiştir. Ayrıca Şekil 8.11’te de 1 nolu numunenin SEM ile yapılan element haritalama sonucu Al dağılımı gösterilmektedir.

1 nolu Al içerikli matris malzemeye yapılan Mapping analiz sonuçlarında sadece Al tesbiti edilmiştir. SEM ile yapılan (Tablo 8.3) noktasal analizlerde eser miktarda Mg ve Si içeriklerinin olduğu gözlenmiştir. Mapping elementel haritalama analizinde Mg ve Si’un görülmemesinin nedeninin noktasal kaynaklı ve eser miktarda olmasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

2 nolu numuneye 181,5 gr Al 6082 alaşımına 5 gr 25 mikron boyutunda katkı malzemesi olarak B<sub>4</sub>C ilave edilmişti.



şekil 8.12. 2 nolu numune SEM incelemesi sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafı

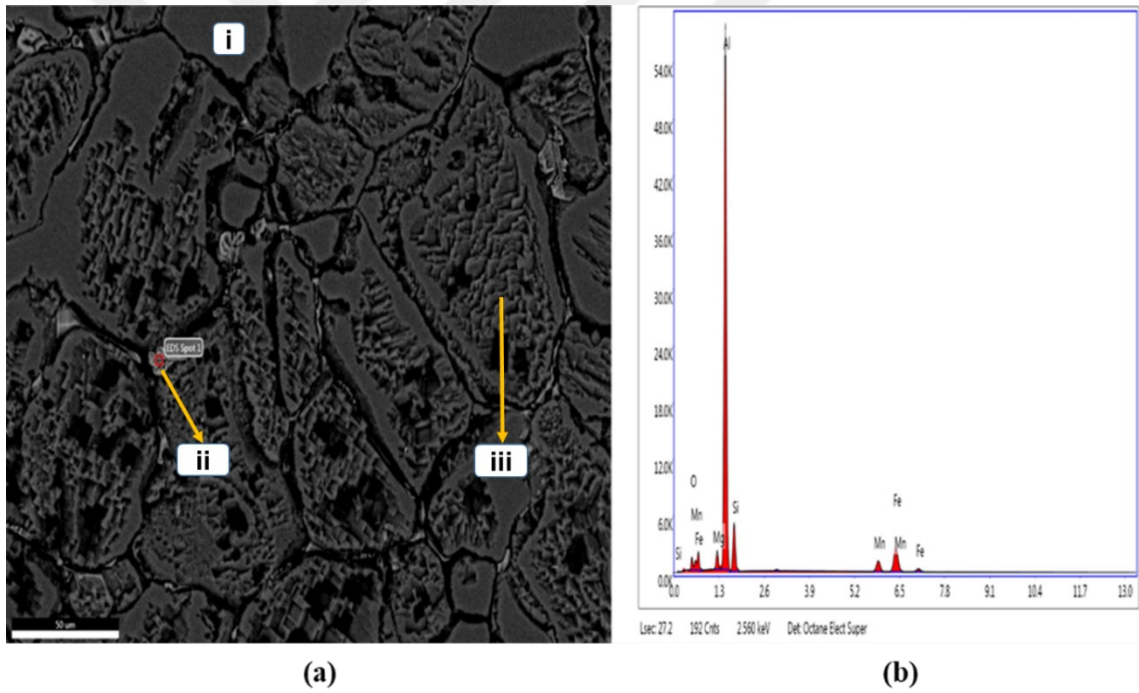
Tablo 8.5. 2 nolu numunenin SEM İncelemesi sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafının element analiz sonuçları(karbonsuz)

Element	Ağırlık (%)	Atomik (%)
B K	13,9	28,7
MgK	1,42	1,3
AlK	83,25	68,86
SiK	1,43	1,14

Tablo 8.6. 2 nolu numunenin SEM İncelemesi sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafının element analiz sonuçları(karbonlu)

Element	Ağırlık (%)	Atomik (%)
<b>B K</b>	0,02	0,05
<b>C K</b>	5,75	12,05
<b>AlK</b>	91,02	84,82
<b>SiK</b>	1,68	1,51
<b>MgK</b>	1,52	1,57

Şekil 8.12’de gösterilen 2 nolu numunenin SEM incelemesi sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafıdır. Şekil 8.12’ de belirtilen mikroyapı fotoğrafındaki noktanın Tablo 8.5 (karbonsuz) ve Tablo 8.6’(karbonlu) ‘da 2 nolu numunenin SEM İncelemesi sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafının element analiz sonuçları verilmiştir. Tabloda da görüldüğü gibi karbon elementi ile bor elementi aynı anda analiz edildiğinde bor görülmemektedir. Fakat karbon elementi çıkarıldığında SEM analizinde bor elementi daha belirgin bir şekilde gözükmemektedir. Bunun nedenin karbonun bor gibi arayer olması ve bunun daha hafif bir element olmasından dolayı karbon ve diğer elementlerin daha baskın gelmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bundan dolayı Tablo 8.5’de karbon çıkarılarak element analiz yapılmıştır. Tablo 8.6’ da ise karbonlu şekilde elemental analiz yapılmıştır.



Şekil 8.13. 2 nolu numunenin SEM incelemesi sonucu elde edilen a) mikroyapı fotoğrafı ve b) enerji ayırmalı kimyasal analiz grafiği

Tablo 8.7. 2 nolu numunenin i bölgesi SEM İncelemesi sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafının element analiz sonuçları

Element	Ağırlık (%)	Atomik (%)
AlK	100	100

Tablo 8.8. 2 nolu numunenin ii bölgesi SEM İncelemesi sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafının element analiz sonuçları

Element	Ağırlık (%)	Atomik (%)
O K	3,18	5,88
Mg K	2,32	2,82
Al K	63,59	69,64
SiK	10,05	10,58
MnK	5,83	3,13
FeK	15,02	7,95

Tablo 8.9. 2 nolu numunenin iii bölgesi SEM İncelemesi sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafının element analiz sonuçları

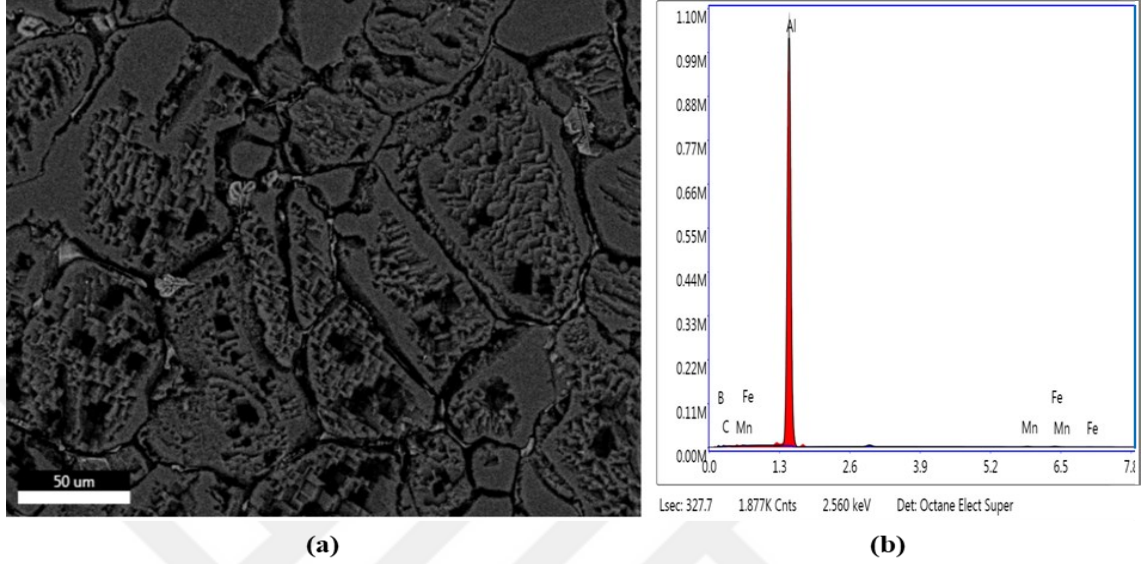
Element	Ağırlık (%)	Atomik (%)
Mg K	1,72	1,90
Al K	96,96	96,83
Si K	1,32	1,27

Şekil 8.13'te 2 nolu numunenin SEM incelemesi sonucu elde edilen a) mikroyapı fotoğrafı ve b) enerji ayırmalı kimyasal analiz grafiği verilmiştir. Bunun sonucunda şekil 8.13'te gösterilen i, ii ve iii bölgelerinde yapılan SEM noktasal element analiz sonucunda Tablo 8.7'de i bölgesinin, Tablo 8.8'de ii bölgesinin ve Tablo 8.9 iii bölgesinin elementel analiz sonuçları verilmiştir. i bölgesinde gösterilen bölgede Tablo 8.7'de gösterildiği gibi analiz değeri Şekil 8.13'de göre tamamen Al (%100) görülmektedir. Tablo 8.8'e göre ii bölgesinde ise Al ağırlıklı olarak Fe-Si-Mn elementlerinin içerdiği görülmektedir. Tablo 8.9'a göre ise iii bölgesinde Al ağırlıklı Mg-Si içeriği görülmektedir.

Şekil 8.13'te 2 nolu numunenin SEM incelemesinde farklı görülen tane ya da oluşan incelenmiş; i bölgesinde ve iii bölgelerinde yoğunlukla Al görülmüştür fakat ii bölgesindeki gibi tane sınırlarında yer yer yapraksı şekilde yine Al ağırlıklı diğer B<sub>4</sub>C'dan gelen elementler olduğu düşünülmektedir.



2 nolu numunenin Mapping sonucu elde edilen a) mikroyapı fotoğrafı ve b) enerji ayırmalı kimyasal analiz grafiği Şekil 8.14'te verilmektedir.

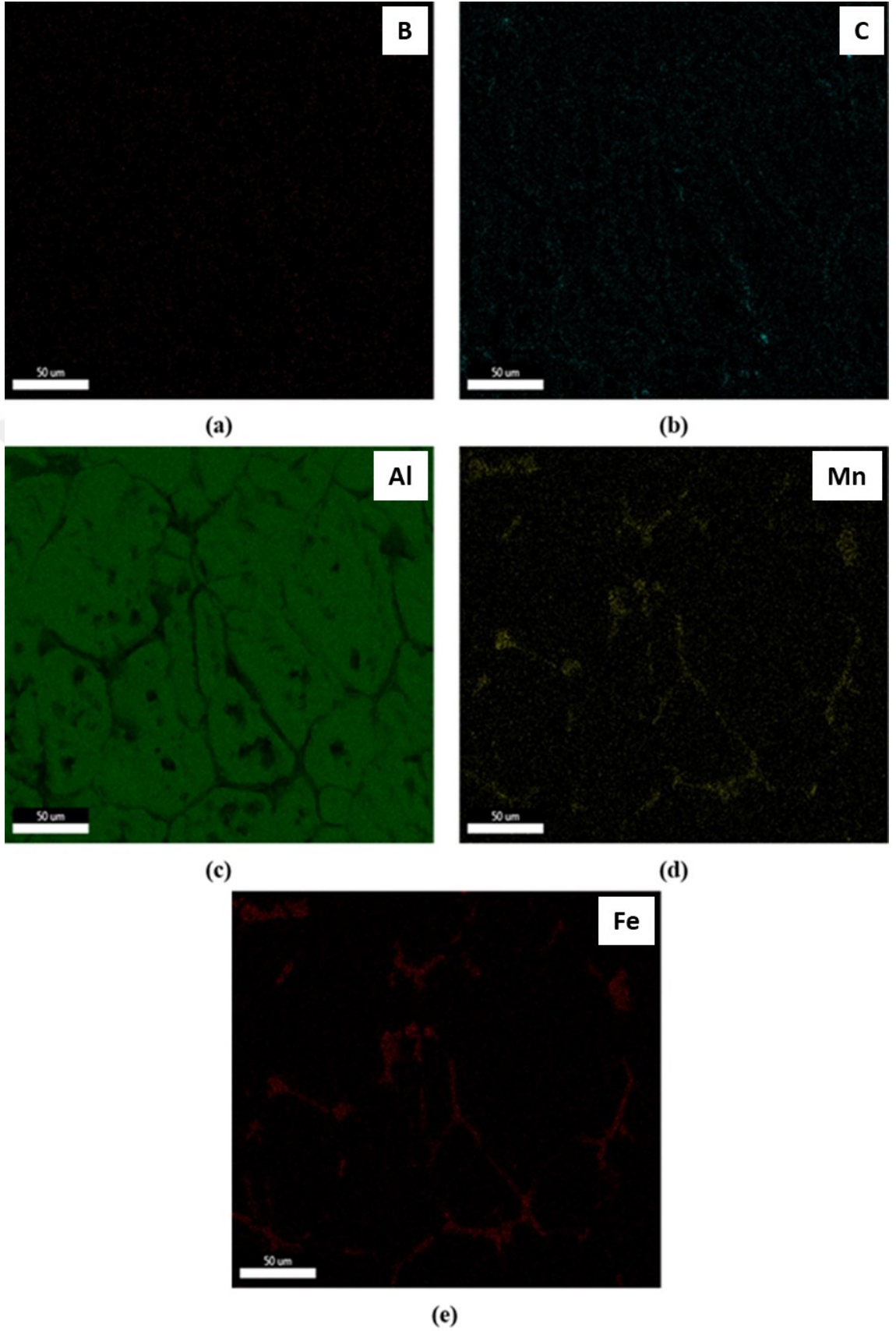


Şekil 8.14. 2 nolu numunenin Mapping sonucu elde edilen a) mikroyapı fotoğrafı ve b) enerji ayırmalı kimyasal analiz grafiği

Tablo 8.10. 2 nolu numunenin mikroyapı fotoğrafının mapping analizi sonucu element analiz sonuçları

Element	Ağırlık (%)	Atomik (%)	Net Int.	Hata (%)	Kratio	Z	A	F
<b>B K</b>	25,96	45,25	54,50	11,27	0,02	1,07	0,08	1,00
<b>C K</b>	4,04	6,34	40,00	12,28	0,00	1,13	0,07	1,00
<b>Al K</b>	68,70	47,97	25248,00	1,28	0,64	0,96	0,97	1,00
<b>Mn K</b>	0,57	0,20	61,40	4,68	0,01	0,82	1,00	1,06
<b>Fe K</b>	0,73	0,25	71,00	4,19	0,01	0,83	1,00	1,07

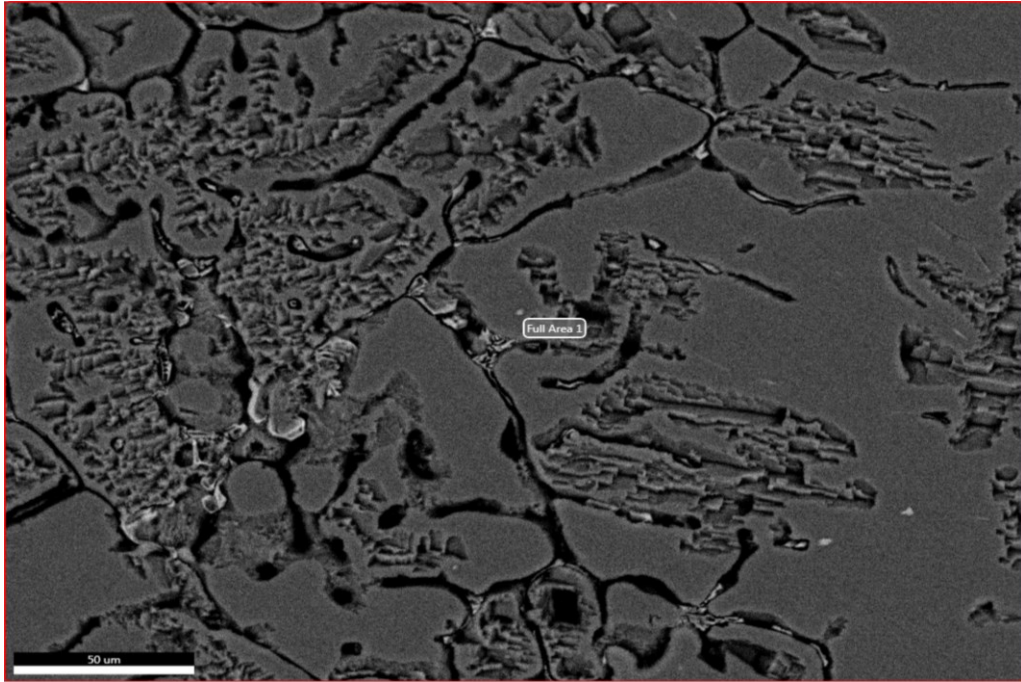
2 nolu numuneden yapılan mapping incelemesinde Tablo 8.10'da yoğunlukla Al bulunurken B, C, Mn ve Fe elementinin dağılımı yüzdeleri verilmektedir.



Şekil 8.15. 2 nolu numunenin SEM ile yapılan element haritalama sonucu a) Bor, b) Karbon, c) Alüminyum, d) Mangane ve e) Demir dağılımı

Şekil 8.15'te 2 nolu numunenin SEM ile yapılan element haritalama sonucu a) Bor, b) Karbon, c) Alüminyum, d) Mangan ve e) Demir dağılımı verilmektedir. Şekil 8.15 a'da borun daha çok tane sınırlarında çökelediği görülmektedir. Karbon elementinin ise genellikle borun bulunduğu bölgelerde olduğu yapılan mapping analizi ile gözlenmiştir. Mapping analizinde elde edilen Fe ve Mn elementlerinin ise eser miktarda olduğu için dikkate alınmamıştır. Mapping analizinde Al elementi ise matris olduğu için yeşil olarak her tarafta olduğu gözlenmiştir. Şekil 8.15'te ii ve iii bölgelerinde görülen Si ve Mg ise mapping analizinde eser miktarda olduğu için görülmediği düşünülmektedir.

3 nolu numuneye 181,5 gr Al 6082 alaşımına 9 gr 25 mikron boyutunda katkı malzemesi olarak B<sub>4</sub>C ilave edilmiştir.



Şekil 8.16. 3 nolu numunenin SEM incelemesi sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafı

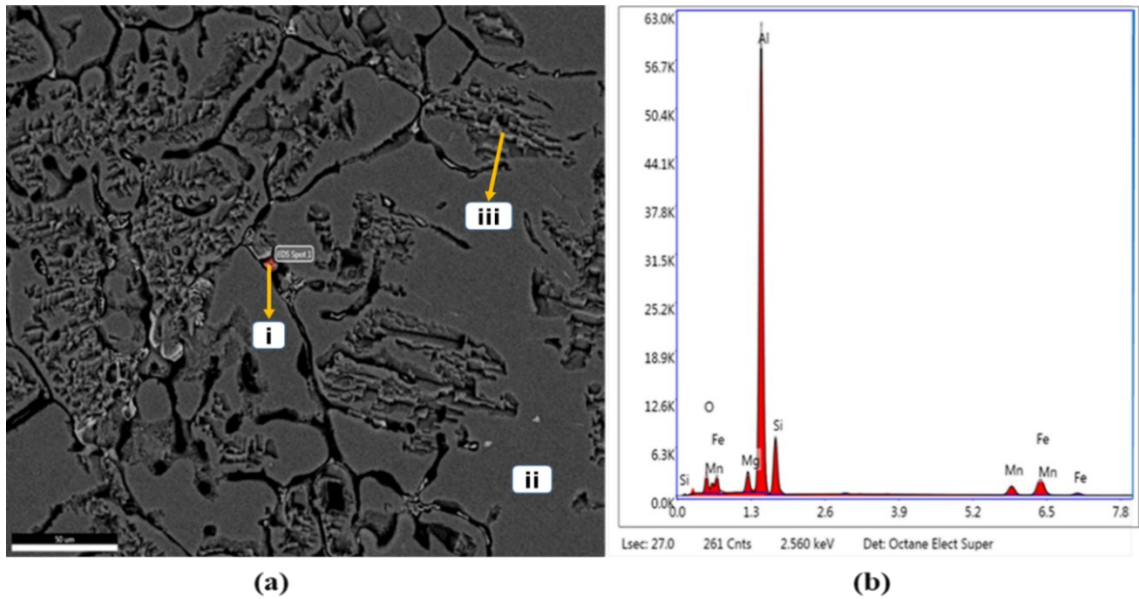
Tablo 8.11. 3 nolu numunenin SEM İncelemesi sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafının element analiz sonuçları(karbonsuz)

Element	Ağırlık (%)	Atomik (%)
B K	13,18	27,45
Mg K	1,48	1,37
Al K	84,25	70,30
Si K	1,10	0,88

Tablo 8.12. 3 nolu numunenin SEM İncelemesi sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafının element analiz sonuçları(karbonlu)

Element	Ağırlık (%)	Atomik (%)
B K	0,02	0,05
C K	5,66	11,86
Mg K	1,58	1,64
Al K	91,46	85,31
Si K	1,28	1,14

SEM incelemesinde sonucunda Şekil 8.16'da gösterilen 3 nolu numuneden elde edilen mikroyapı fotoğrafı verilmektedir. Şekil 8.16'da belirtilen mikroyapı fotoğrafındaki noktanın Tablo 8.11 (karbonsuz) ve Tablo 8.12 (karbonlu)' de 3 nolu numunenin SEM İncelemesi sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafının element analiz sonuçları verilmiştir. Tabloda da görüldüğü gibi karbon elementi ile bor elementi aynı anda analiz edildiğinde bor görülmemektedir. Fakat karbon elementi çıkarıldığında SEM analizinde bor elementi daha belirgin bir şekilde gözükmemektedir. Bunun nedenin karbonun bor gibi arayer olması ve borun daha hafif bir element olmasından dolayı karbon ve diğer elementlerin daha baskın gelmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bundan dolayı Tablo 8.11'de karbon çıkarılarak element analiz yapılmıştır. Tablo 8.12' de ise karbonlu şekilde elemental analiz yapılmıştır.



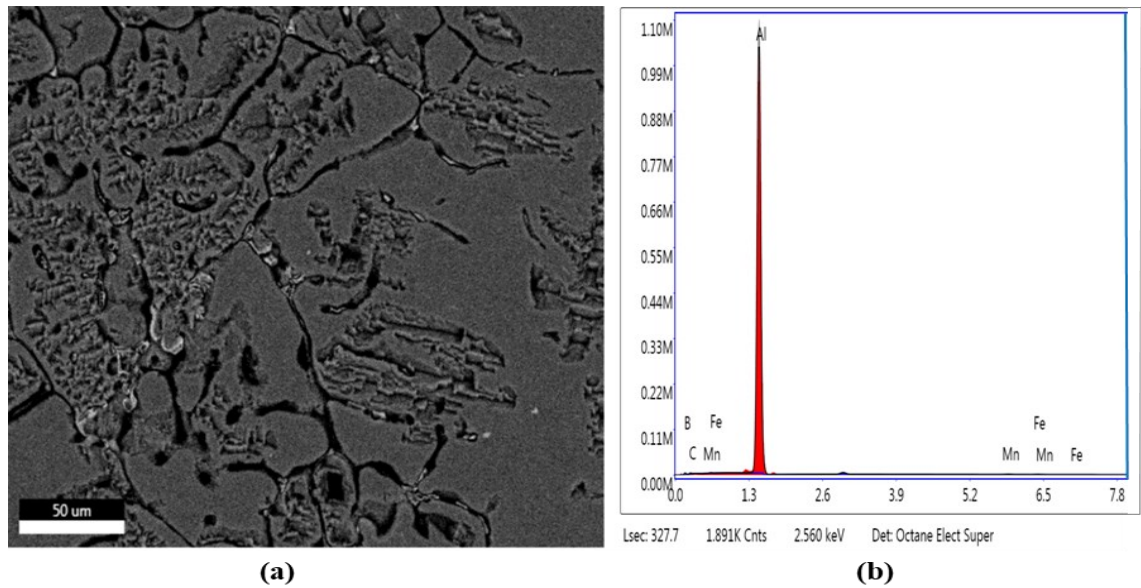
Şekil 8.17. 3 nolu numunenin SEM incelemesi sonucu elde edilen a) mikroyapı fotoğrafı ve b) enerji ayırmalı kimyasal analiz grafiği

Tablo 8.13. 3 nolu numunenin SEM incelemesi sonucu elde edilen i bölgesinin mikroyapı fotoğrafının element analiz sonuçları

Element	Ağırlık (%)	Atomik (%)
O K	5,94	10,54
Mg K	2,81	3,28
Al K	61,07	64,23
Si K	13,07	13,21
Mn K	5,56	2,87
Fe K	11,54	5,86

Şekil 8.17’de verilen ii ve iii bölgesinin Şekil 8.13’te belirtilen sonuçlarla benzerlik gösterildiği için tekrar bahsedilmemiştir.

Şekil 8.17’de 3 nolu numunenin SEM incelemesi sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafı ve enerji ayırmalı kimyasal analiz grafiği gösterilmiştir. Bunun sonucunda resimde gösterilen i bölgesinde kısımlarında yapılan SEM noktasal element analiz sonucunda Tablo 8.13’te i bölgesinin Al ağırlıklı olmasının yanı sıra Fe, Si, O, Mn ve Mg içeriği görülmektedir. Şekil 8.17’de 3 nolu numunenin SEM incelemesinde farklı görülen tane ya da oluşan incelenmiş ve i bölgesinde ve iii bölgelerinde yoğunlukla Al görülmüştür fakat ii bölgesindeki gibi tane sınırlarında yer yer yapraksı şekilde yine Al ağırlıklı diğer B<sub>4</sub>C’den gelen elementler olduğu düşünülmektedir.



Şekil 8.18. 3 nolu numunenin Mapping sonucu elde edilen a) mikroyapı fotoğrafı ve b) enerji ayırmalı kimyasal analiz grafiği

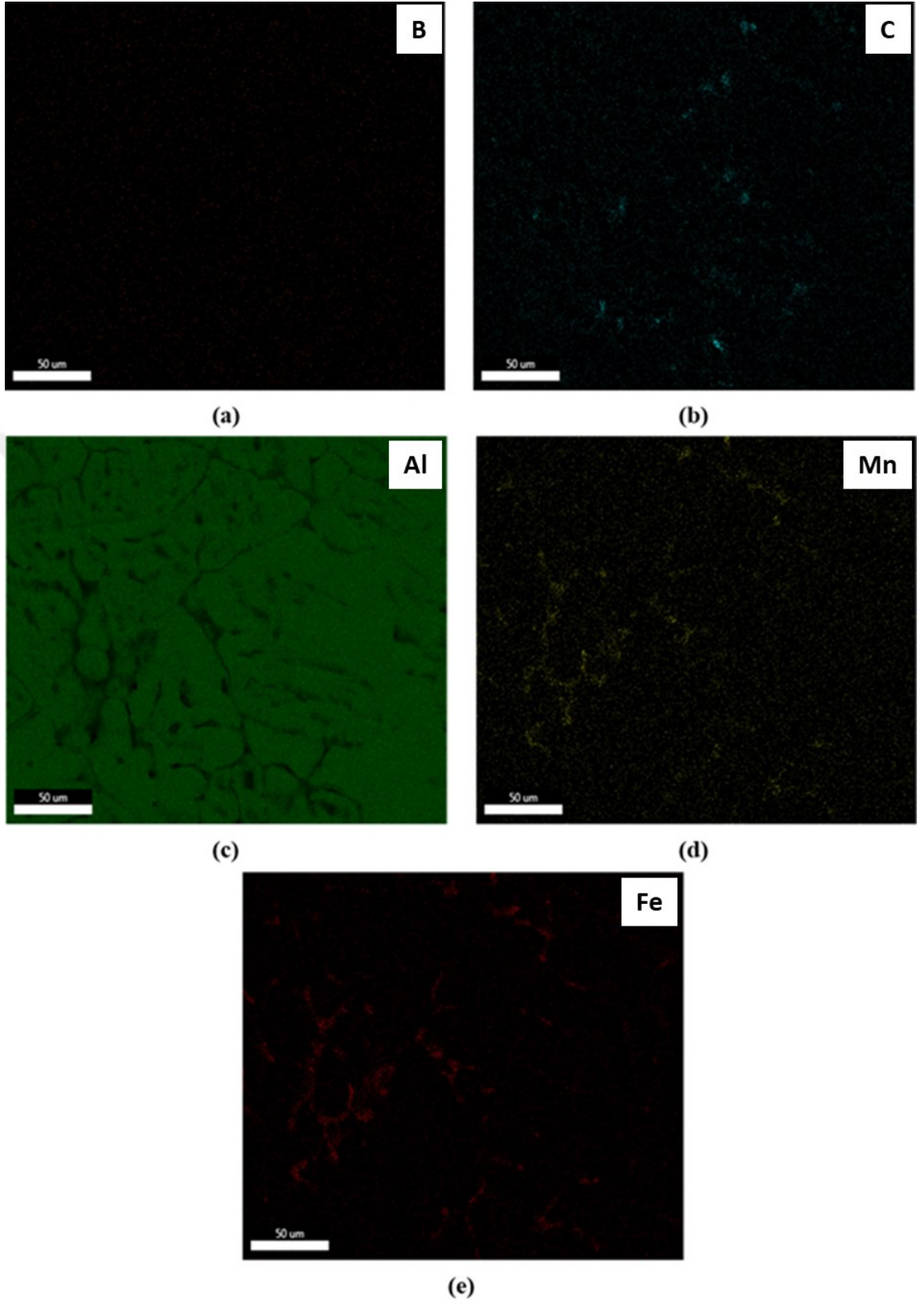
Tablo 8.14. 3 nolu numunenin mikroyapı fotoğrafının mapping analizi sonucu element analiz sonuçları

Element	Ağırlık (%)	Atomik (%)	Net Int.	Hata (%)	Kratio	Z	A	F
<b>B K</b>	27,06	46,62	58,30	11,23	0,02	1,07	0,08	1,00
<b>C K</b>	3,85	5,97	38,60	12,32	0,00	1,13	0,07	1,00
<b>Al K</b>	68,31	47,15	25506,10	1,20	0,64	0,96	0,98	1,00
<b>Mn K</b>	0,43	0,15	46,80	5,86	0,00	0,81	1,00	1,06
<b>Fe K</b>	0,35	0,12	34,20	10,29	0,00	0,83	1,00	1,08

3 nolu numuneden yapılan mapping incelemesinde Tablo 8.14'te yoğunlukla Al bulunurken B, C, Al, Mn ve Fe elementinin dağılımı yüzdeleri verilmektedir.

2 nolu numunenin ve 3 nolu numunenin SEM incelemesi sonucu elde edilen mikro yapı fotoğrafının element analizi incelendiğinde ağırlık olarak yüzdeler dağılımlara bakıldığından benzerlikler görülmektedir. Ayrıca 2 nolu numunenin ve 3 nolu numunenin Mapping analizi sonucu element analiz sonuçlarına bakıldığında % oranlara bakıldığında yine benzerlikler görülmektedir.

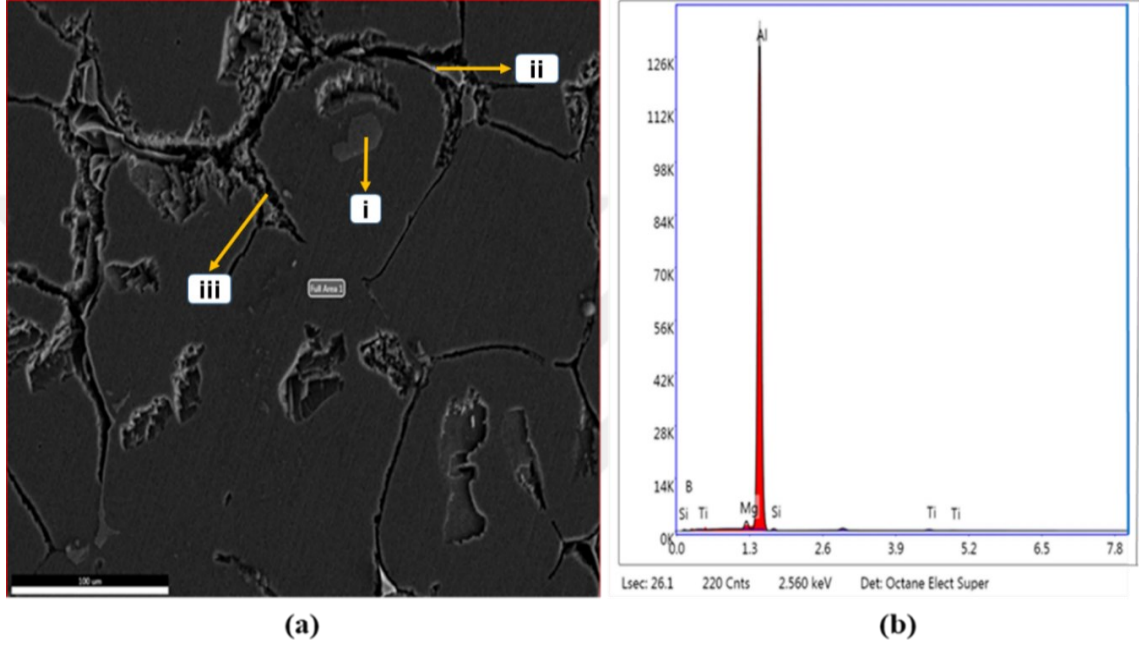
Toptan (2006); yaptığı çalışmada Al matrisli B<sub>4</sub>C takviyeli kompozit malzemelerin döküm yoluyla üretimi, indüksiyon ocağı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ergiyik haldeki ticari saf alüminyuma 1–7, <10 ve 22–59 µm tane boyutlarındaki B<sub>4</sub>C tozları, ağırlıkça % 5, 10 ve 15 oranında, B<sub>4</sub>C ile eşit ağırlıkta flaksla beraber ilave edilmiştir. Kullanılan çeşitli tane boyutu ve oranlar için verilen mikroyapı görüntülerine bakılmış ve takviye malzemesinin yapıda homojen bir şekilde dağıldığı, ancak karıştırma yapılmayan numunelerde ilave edilen miktarda yapıya geçmediği tespit edilmiştir. Bunun yanında, küçük tane boyutuna sahip numunelerde (1–7 ve <10 µm), takviye taneleri tüm yapıya dağıtılmasına rağmen, yer yer öbelenmeler görmüştür [10].



Şekil 8.19. 3 nolu numunenin SEM ile yapılan element haritalama sonucu a) Bor, b) Karbon, c) Alüminyum ,d) Mangan ve e) Demir dağılımı

Şekil 8.19'da 3 nolu numunenin SEM ile yapılan element haritalama sonucu a) Bor, b) Karbon, c) Alüminyum, d) Mangan ve e) Demir dağılımı verilmektedir. Verilenlere göre B'nin genel olarak tane sınırlarına doğru dağılımı olduğu görülmektedir.

4 numaralı numuneye 181 gr Al 6082 alüminyum alaşımına ilave malzeme olarak 26,1 gr Al-Ti-B ilave edilmiştir.



Şekil 8.20. 4 nolu numunenin SEM incelemesi sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafı ve enerji ayırmalı kimyasal analiz grafiği

Tablo 8.15. 4 nolu numunenin i bölgesi SEM incelemesi sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafının element analiz sonuçları

Element	Ağırlık (%)	Atomik (%)
Al K	60,78	72,31
Si K	2,97	3,39
Ti K	36,25	24,29

Tablo 8.16. 4 nolu numunenin ii bölgesi SEM incelemesi sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafının element analiz sonuçları

Element	Ağırlık (%)	Atomik (%)
B K	12,89	27,01
Mg K	1,31	1,22
Al K	84,31	70,79
Si K	0,81	0,66
Ti K	0,67	0,32

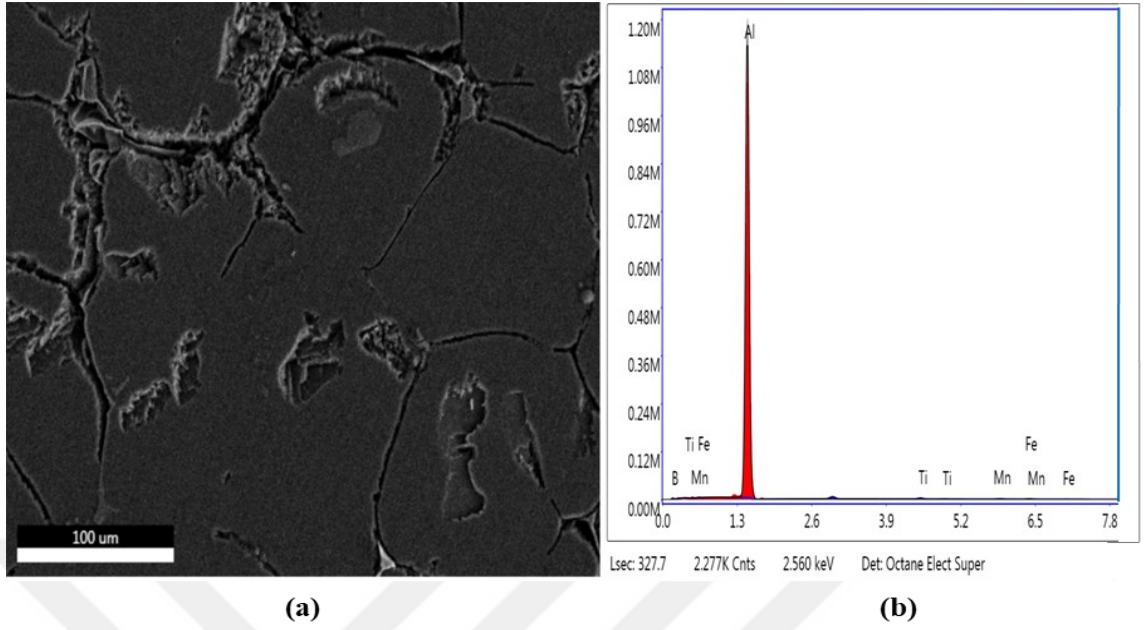


Tablo 8.17. 4 nolu numunenin iii bölgesi SEM İncelemesi sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafının element analiz sonuçları

Element	Ağırlık (%)	Atomik (%)
O K	2,83	5,27
Al K	66,90	73,85
Si K	8,89	9,43
Mn K	6,44	3,49
Fe K	14,93	7,96

Şekil 8.20’de 4 nolu numunenin SEM incelemesi sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafı ve enerji ayırmalı kimyasal analiz grafiği verilmiştir. Bunun sonucunda resimde gösterilen i, ii ve iii bölgelerinde yapılan SEM noktasal element analiz sonucunda Tablo 8.15’te i bölgesinin, Tablo 8.16’da ii bölgesinin ve Tablo 8.17’de iii bölgelerinde yoğunluk Al olmak üzere diğer elementlerin olduğu görülmektedir. i bölgesinden gösterilen kısmında Tablo 8.15’te gösterildiği gibi analiz değerine göre yoğunlukla Al ve Ti görülürken Si eser miktarda bulunmaktadır. Tablo 8.16’ya göre ii bölgesinde ise yoğunlukla Al bulunurken B-Ti-Mg ve Si elementlerinin içerdiği görülmektedir. Tablo 8.17’ye göre iii bölgesinde ise yoğunlukla Al görülürken Si-Mn-Fe-O içeriği görülmektedir.

SEM ‘de yapılan analizlerde taneler genellikle Al içerikli iken tane sınırlarında beyaz parkası renklerin olduğu (ii bölgesi) borlu bölgeler tespit edilmiştir. Ayrıca borun olmadığı tane sınırlarında (iii bölgesi) siyah parlak Fe-Si-Mn elementlerinden oluşan yapılarda bulunmaktadır.



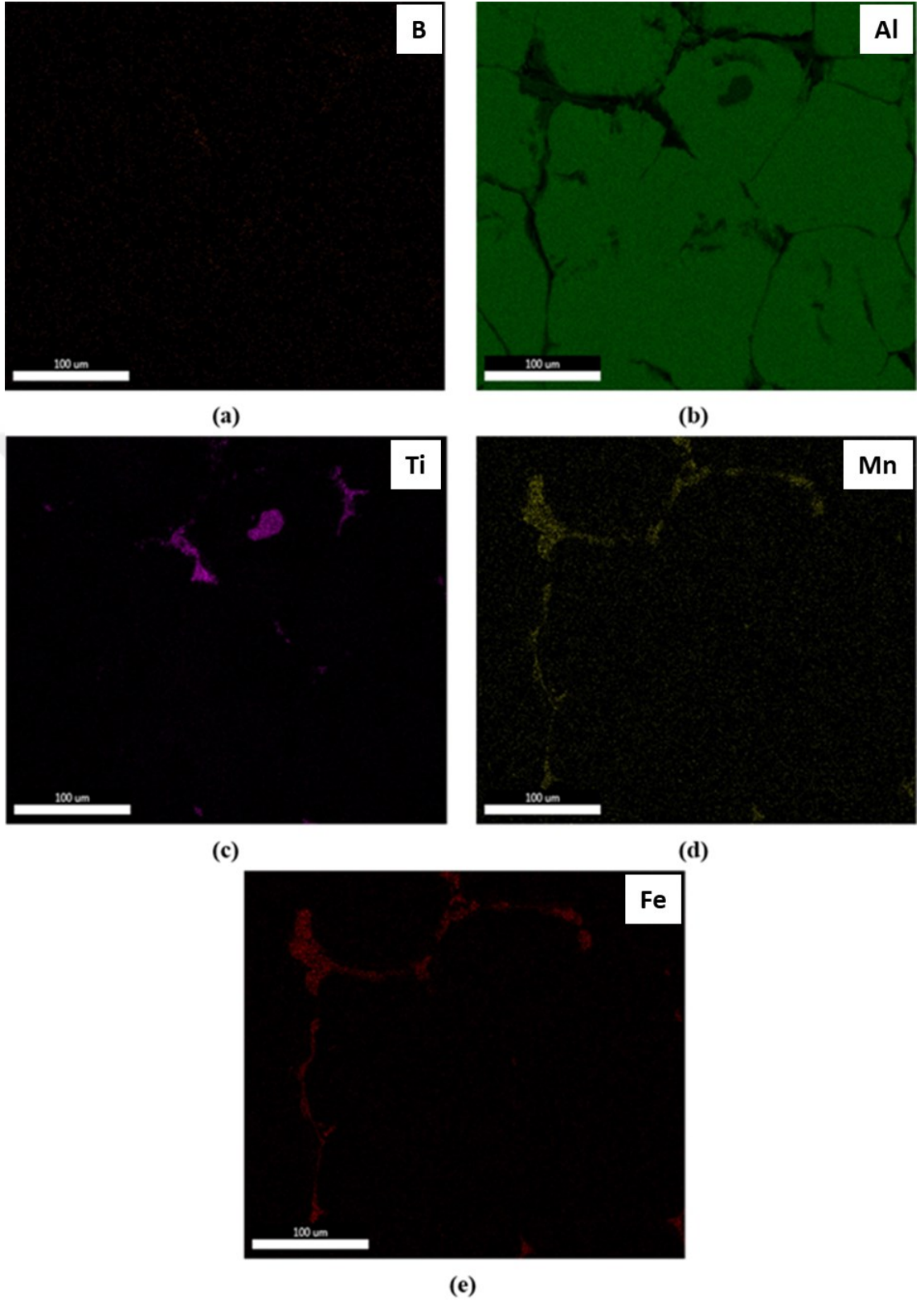
Şekil 8.21. 4 nolu numunenin Mapping sonucu elde edilen a) mikroyapı fotoğrafı ve b) enerji ayırmalı kimyasal analiz grafiği

Tablo 8.18. 4 nolu numunenin mikroyapı fotoğrafının mapping analizi sonucu element analiz sonuçları

Element	Ağırlık %	Atomik %	Net Int.	Hata %	Kratio	Z	A	F
<b>B K</b>	24,31	44,79	47,10	11,39	0,02	1,08	0,07	1,00
<b>Al K</b>	73,86	54,52	27841,80	1,26	0,70	0,97	0,98	1,00
<b>Ti K</b>	0,67	0,28	101,50	3,45	0,01	0,85	0,96	1,03
<b>Mn K</b>	0,60	0,22	65,90	4,47	0,01	0,82	0,99	1,06
<b>Fe K</b>	0,56	0,20	56,50	4,84	0,01	0,84	1,00	1,07

4 nolu numunenin Mapping sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafı ve enerji ayırmalı kimyasal analiz grafiği Şekil 8.21’de gösterilmiştir ve 4 nolu numunenin mikroyapı fotoğrafının mapping analizi sonucu element analiz sonuçları Tablo 8.19’da verilmiştir.

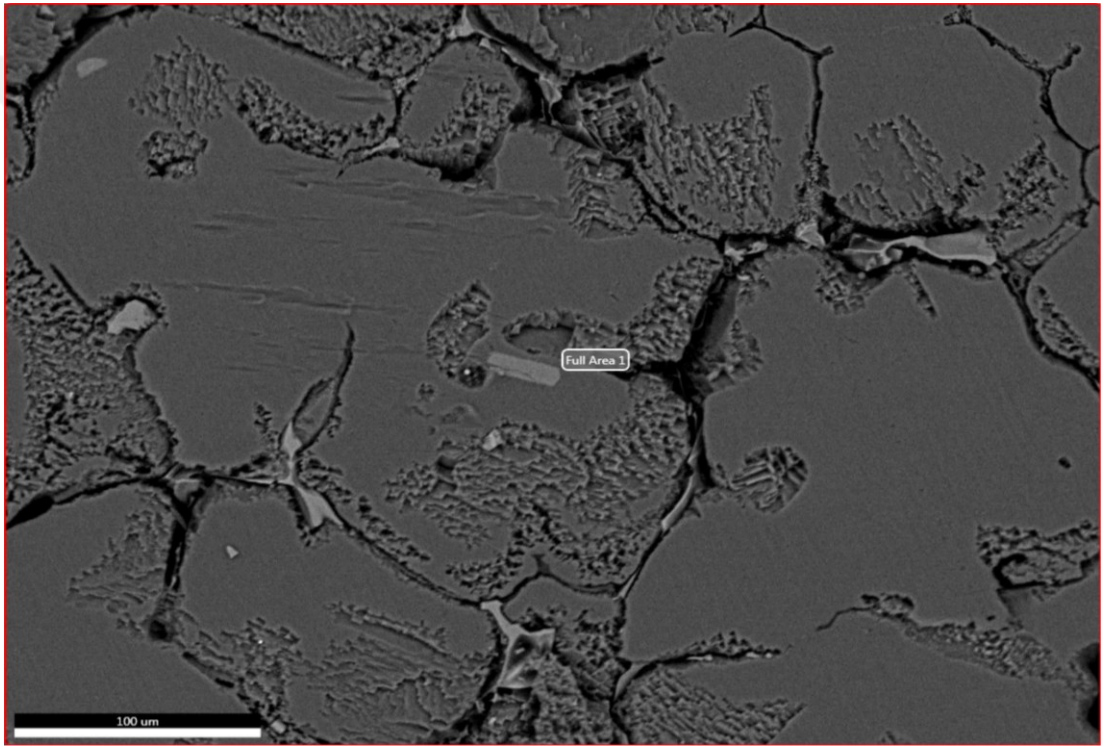
Ölmez (2020); ise yaptığı çalışmada paslanmaz çeliğe Al-Ti-B alışımlı ilave etmiş ve sonucunda SEM ve EDX analizlerinde mikroyapıda görülen turuncu renkte köşeli parçacıkların titanyum nitrür (TiN) olduğu tespit edilmiştir. Fakat bizim yaptığımız analizler sonucunda N’e rastlanmamıştır [54].



Şekil 8.22. 4 nolu numunenin SEM ile yapılan element haritalama sonucu a) Bor, b) Karbon, c) Alüminyum, d) Mangan ve e) Demir dağılımı

Şekil 8.22’de 4 nolu numunenin SEM ile yapılan element haritalama sonucu a) Bor, b) Alüminyum, c) Titanyum, d) Mangan ve e) Demir dağılımı verilmektedir. Şekil 8.22’de 4 nolu numunenin SEM ile yapılan mapping analiz sonucunda B ve Ti elementi tane sınırlarında yoğunlaştığı gösterilmiştir. Özellikle Ti-Mn ve Fe elementlerinin tane sınırlarında belirli bölgelerde bulunduğu gözlenmiştir.

5 nolu numuneye 180 gr Al 6082 alüminyum alaşımına ilave ek olarak 25.9 gr Al-Ti-B ve takviye elemanı olarak 1.29 gr B<sub>4</sub>C ilave edilmiştir



Şekil 8.23. 5 nolu numunenin SEM incelemesi sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafı

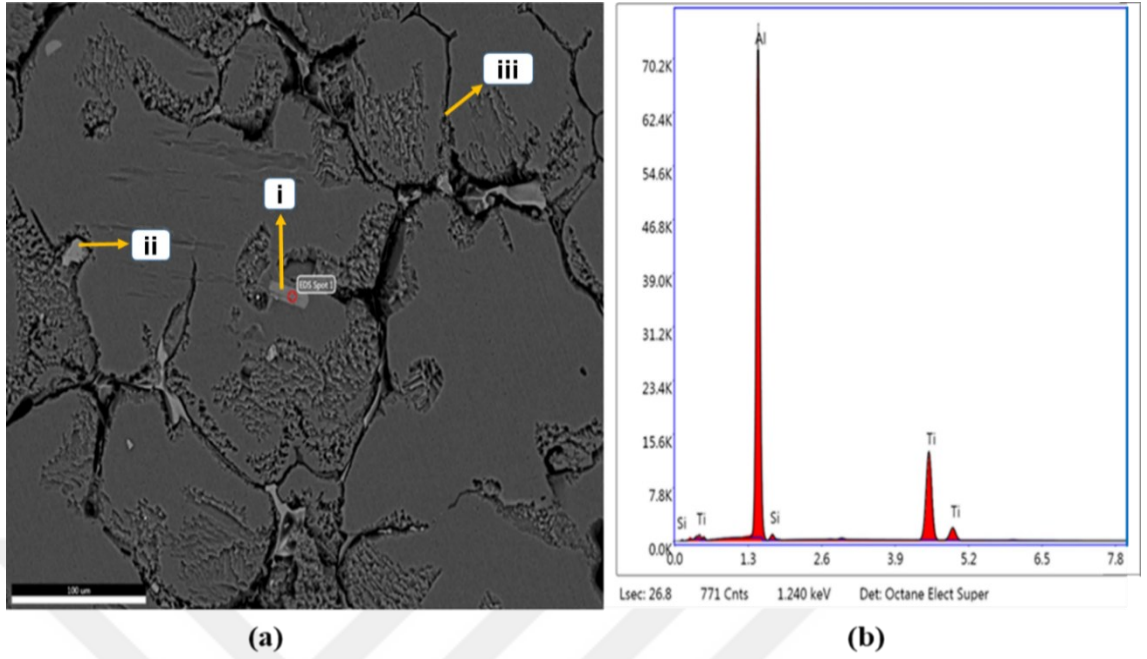
Tablo 8.19. 5 nolu numunenin SEM İncelemesi sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafının element analiz sonuçları (karbonsuz)

Element	Ağırlık (%)	Atomik (%)
B K	14,20	29,06
N K	0,92	1,45
Mg K	1,29	1,17
Al K	81,84	67,13
Sİ K	1,11	0,87
Ti K	0,65	0,30

Tablo 8.20. 5 nolu numunenin SEM İncelemesi sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafının element analiz sonuçları (karbonlu)

Element	Ağırlık (%)	Atomik (%)
<b>B K</b>	0,02	0,05
<b>C K</b>	6,11	12,77
<b>N K</b>	0,00	0,00
<b>Mg K</b>	1,37	1,42
<b>Al K</b>	90,48	84,21
<b>Sİ K</b>	1,34	1,20
<b>Ti K</b>	0,67	0,35

Şekil 8.23'te gösterilen 5 nolu numunenin SEM incelemesi sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafı. Şekil 8.23'te belirtilen mikroyapı fotoğrafındaki noktanın Tablo 8.21'de karbonlu ve Tablo 8.22'de karbonsuz 5 nolu numunenin SEM İncelemesi sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafının element analiz sonuçları verilmiştir. Tabloda da görüldüğü gibi karbon elementi ile bor elementi aynı anda analiz edildiğinde bor görülmemektedir. Fakat karbon elementi çıkarıldığında SEM analizinde bor elementi daha belirgin bir şekilde gözükmemektedir. Bunun nedenin karbonun bor gibi ara yer olması ve bunun daha hafif bir element olmasından dolayı karbon ve diğer elementlerin daha baskın gelmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bundan dolayı Tablo 8.19'de karbon çıkarılarak element analiz yapılmıştır. Tablo 8.20' de ise karbonlu şekilde elemental analiz yapılmıştır.



Şekil 8.24. 5 nolu numunenin SEM incelemesi sonucu elde edilen a) mikroyapı fotoğrafı ve b) enerji ayırmalı kimyasal analiz grafiği

Tablo 8.21. 5 nolu numunenin i bölgesinin SEM İncelemesi sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafının element analiz sonuçları

Element	Ağırlık (%)	Atomik (%)
Al K	64,48	75,86
Si K	1,28	1,45
Ti K	34,23	22,68

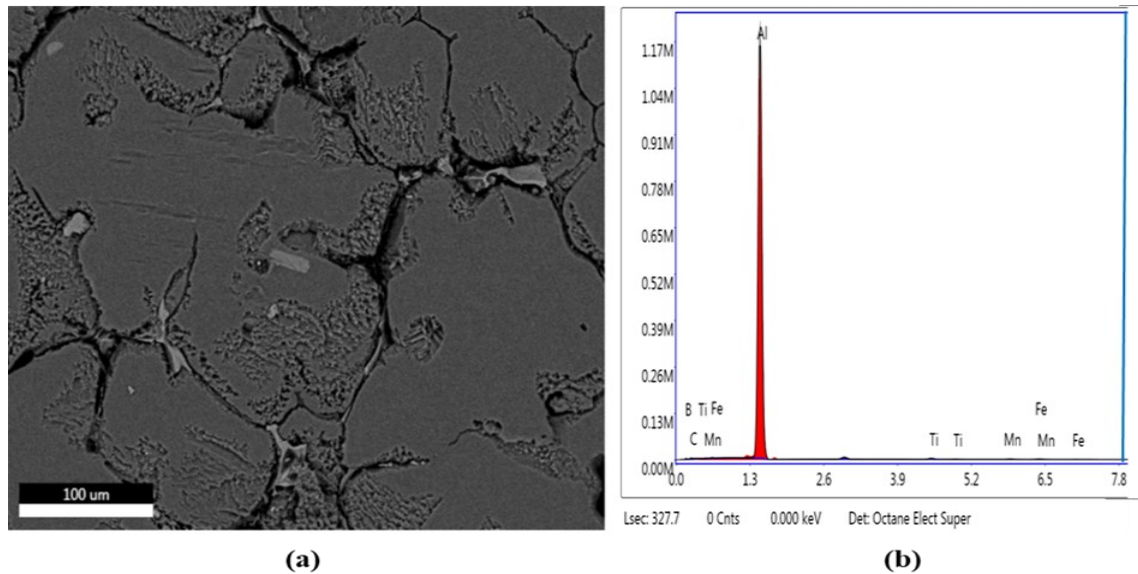
Tablo 8.22. 5 nolu numunenin ii bölgesinin SEM İncelemesi sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafının element analiz sonuçları

Element	Ağırlık (%)	Atomik (%)
Al K	59,80	71,53
Si K	8,24	9,47
Ti K	4,79	3,23
Mn K	7,14	4,19
Fe K	20,04	11,58

Tablo 8.23. 5 nolu numunenin iii bölgesinin SEM İncelemesi sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafının element analiz sonuçları

Element	Ağırlık (%)	Atomik (%)	Net Int.
B K	16,60	30,32	66,12
C K	12,44	20,44	248,21
O K	5,96	7,36	399,39
Mg K	1,03	0,83	413,06
Al K	43,92	32,15	20205,04
Si K	2,35	1,65	702,83
Ti K	16,78	6,92	3907,79
Fe K	0,92	0,33	133,97

Şekil 8.24'te 5 nolu numunenin SEM incelemesi sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafı ve enerji ayırmalı kimyasal analiz grafiği verilmiştir. Bunun sonucunda şekil 8.21'de gösterilen i, ii ve iii bölgelerinde yapılan SEM noktasal element analiz sonucunda Tablo 8.21'de i bölgesinde, Tablo 8.22'de ii bölgesi ve Tablo 8.23'te iii bölgesinde Al ağırlıklı ve diğer elementlerin (C, O, Mg, Si, Ti ve Mn) olduğu görülmektedir. i bölgesinde gösterilen kısımda Tablo 8.21'de gösterildiği gibi analiz değerine göre Al ve Ti yoğunlukta görülürken Si eser miktarda görülmektedir. Tablo 8.22'ye göre ii bölgesinde ise Al yoğunlukta olup diğer eser miktarda Ti-Mg-Fe ve Si elementleri görülmektedir. Tablo 8.23'e göre iii bölgesinde ise Al yoğunlukta Ti, B ve C yoğunlaşmaktadır diğer O, Mg, Si ve Fe ise eser miktardadır.



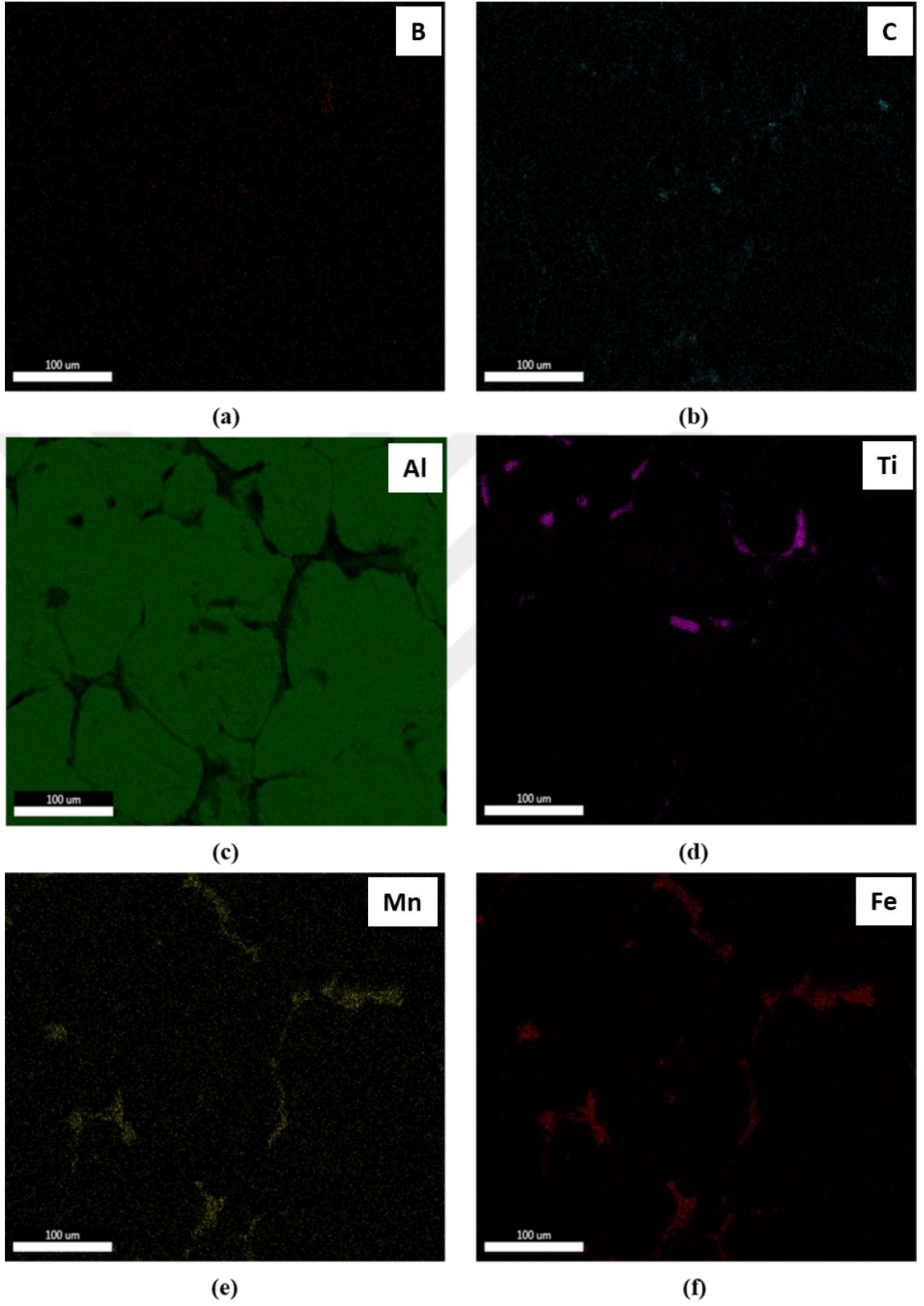
Şekil 8.25. 5 nolu numunenin Mapping sonucu elde edilen a) mikroyapı fotoğrafı b) ve enerji ayırmalı kimyasal analiz grafiği

Tablo 8.24. 5 nolu numunenin mikroyapı fotoğrafının mapping analizi sonucu element analiz sonuçları

Element	Ağırlık (%)	Atomik (%)	Net Int.	Hata (%)	Kratio	Z	A	F
B K	18,79	35,75	34,50	11,60	0,01	1,08	0,07	1,00
C K	3,24	5,55	31,50	12,48	0,00	1,14	0,07	1,00
Al K	75,95	57,91	28466,30	1,34	0,71	0,97	0,97	1,00
Ti K	0,74	0,32	113,00	3,21	0,01	0,85	0,96	1,03
Mn K	0,63	0,24	69,60	4,17	0,01	0,82	0,99	1,06
Fe K	0,66	0,24	66,30	4,28	0,01	0,84	1,00	1,07

5 nolu numunenin Mapping sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafı ve enerji ayırmalı kimyasal analiz grafiği Şekil 8.25'te gösterilmiştir ve mikroyapı fotoğrafının mapping analizi sonucu element analiz sonuçları Tablo 8.24'te verilmiştir.

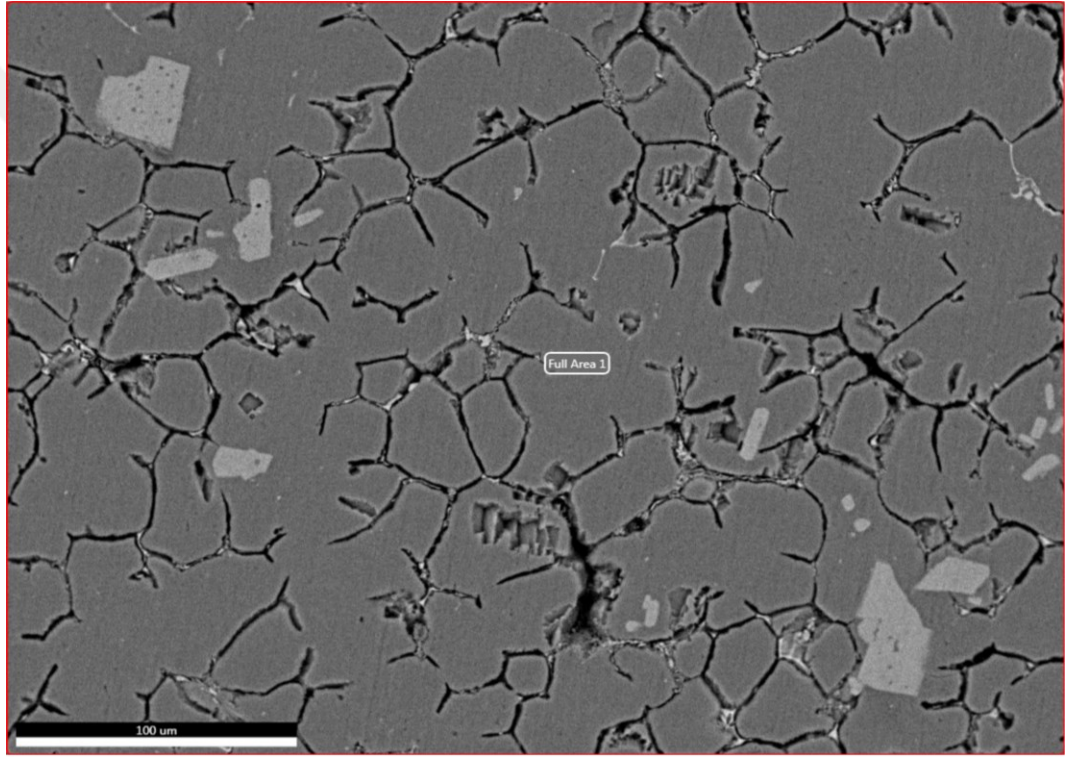




Şekil 8.26. 5 nolu numunenin SEM ile yapılan element haritalama sonucu a) Bor, b) Karbon, c) Alüminyum, d) Titanyum, e) Mangan ve f) Demir dağılımı

Şekil 8.26'da 4 nolu numunenin SEM ile yapılan element haritalama sonucu a) Bor, b) Karbon, c) Alüminyum, d) Titanyum, e) Mangan ve f) Demir dağılımı verilmektedir. Şekil 8.22'de 4 nolu numunenin SEM ile yapılan mapping analiz sonucunda B ve Ti elementi tane sınırlarında yoğunlaştığı gösterilmiştir. Özellikle C-Ti-Mn ve Fe elementlerinin tane sınırlarında belirli bölgelerde bulunduğu gözlenmiştir

6 numaralı numuneye 180 gr Al 6082 alüminyum alaşımına ilave olarak 24.4 gr Al-Ti-B ve takviye elemanı olarak 2.01 gr B<sub>4</sub>C ilave edilmiştir.



Şekil 8.27. 6 nolu numunenin SEM incelemesi sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafı

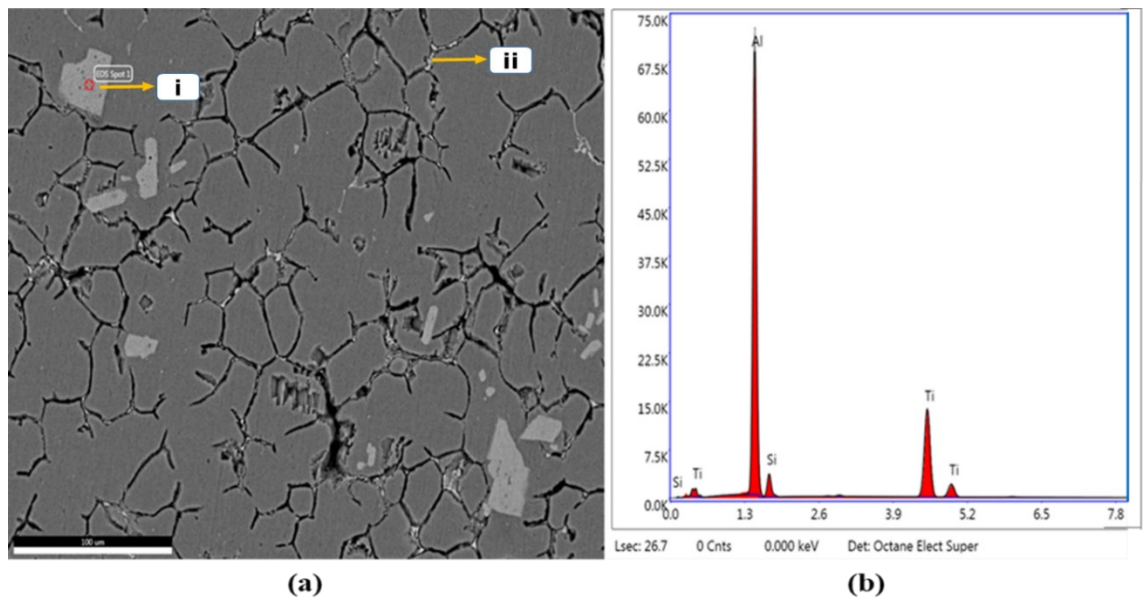
Tablo 8.25. 6 nolu numunenin SEM İncelemesi sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafının element analiz sonuçları (karbonsuz)

Element	Ağırlık (%)	Atomik (%)
<b>B K</b>	10,96	23,63
<b>Mg K</b>	1,34	1,29
<b>Al K</b>	85,04	73,46
<b>Si K</b>	0,94	0,78
<b>Ti K</b>	1,71	0,83

Tablo 8.26. 6 nolu numunenin SEM incelemesi sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafının element analiz sonuçları (karbonlu)

Element	Ağırlık (%)	Atomik (%)
B K	0,02	0,05
C K	4,59	9,81
Mg K	1,42	1,50
Al K	91,08	86,69
Si K	1,08	0,99
Ti K	1,81	0,97

Şekil 8.27’de gösterilen 6 nolu numunenin SEM incelemesi sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafı verilmektedir. Şekil 8.23’te belirtilen mikroyapı fotoğrafındaki noktanın Tablo 8.25 (karbonsuz) ve Tablo 8.26 (karbonlu)’da Numune 6’in SEM İncelemesi sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafının element analiz sonuçlarıdır. Tabloda da görüldüğü gibi karbon elementi ile bor elementi aynı anda analiz edildiğinde bor görülmemektedir. Fakat karbon elementi çıkarıldığında SEM analizinde bor elementi daha belirgin bir şekilde gözükmemektedir. Bunun nedenin karbonun bor gibi arayer olması ve borun daha hafif bir element olmasından dolayı karbon ve diğer elementlerin daha baskın gelmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bundan dolayı Tablo 8.25’te karbon çıkarılarak element analiz yapılmıştır. Tablo 8.26’da ise karbonlu şekilde element analiz yapılmıştır.



Şekil 8.28. 6 nolu numunenin SEM incelemesi sonucu elde edilen a) mikroyapı fotoğrafı ve b) enerji ayrımlı kimyasal analiz grafiği

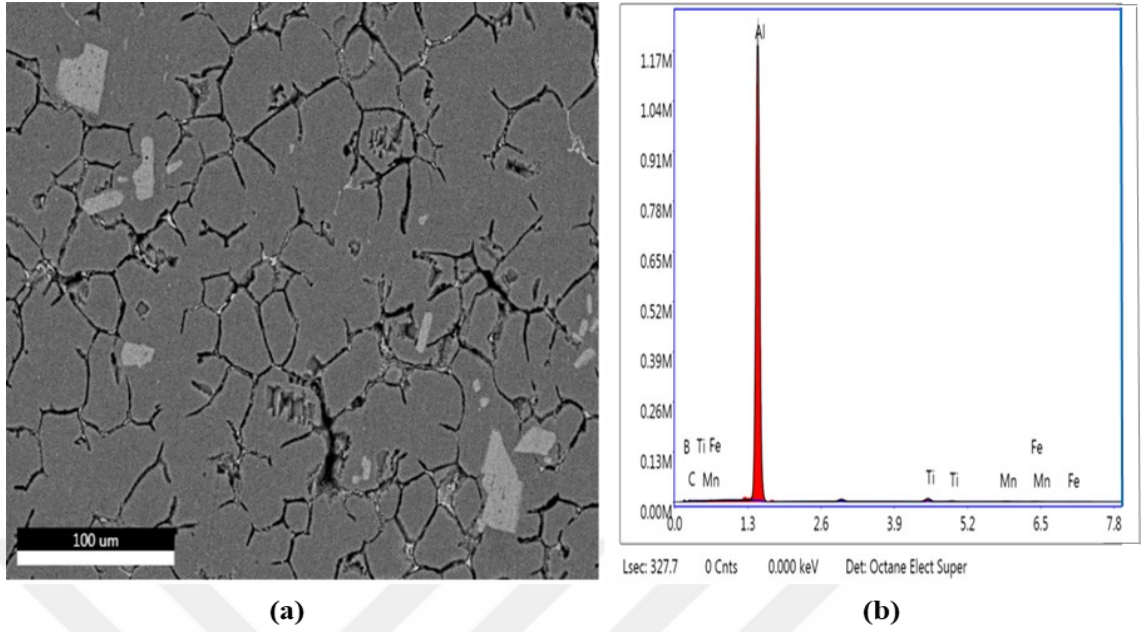
Tablo 8.27. 6 nolu numunenin i bölgesinde SEM İncelemesi sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafının element analiz sonuçları

Element	Ağırlık (%)	Atomik (%)
Al K	59,91	70,79
Si K	5,37	6,09
Ti K	34,72	23,11

Tablo 8.28. 6 nolu numunenin ii bölgesinde SEM İncelemesi sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafının element analiz sonuçları

Element	Ağırlık (%)	Atomik (%)
B K	20,74	38,61
C K	10,61	17,78
O K	4,22	5,31
Al K	32,52	24,26
Si K	4,16	2,98
Ti K	17,29	7,27
Mn K	20,74	38,61
Fe K	10,61	17,78

Şekil 8.28’de 6 nolu numunenin SEM incelemesi sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafı ve enerji ayırmalı kimyasal analiz grafiği gösterilmiştir. Bunun sonucunda resimde gösterilen i ve ii kısımlarında yapılan SEM noktasal element analiz sonucunda Tablo 8.27’de i kısmının, Tablo 8.28’de ii kısmında Al, B, C, Ti ve diğer elementlerin olduğu görülmektedir. i kısmında Tablo 8.27’de gösterildiği gibi analiz değerine göre Al-Si ve Ti görülmektedir. Tablo 8.28’e göre ii kısmında ise Al-B-C-O-Mg-Si-Ti ve Fe içeriği görülmektedir.



Şekil 8.29. 6 nolu numunenin Mapping sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafı ve enerji ayırmalı kimyasal analiz grafiği

Tablo 8.29. 6 nolu numunenin mikroyapı fotoğrafının mapping analizi sonucu element analiz sonuçları

Element	Ağırlık (%)	Atomik (%)	Net Int.	Hata (%)	Kratio	Z	A	F
B K	25,90	45,67	58,80	11,23	0,02	1,07	0,08	1,00
C K	3,12	4,96	33,30	12,45	0,00	1,13	0,07	1,00
Al K	68,62	48,47	29109,70	1,34	0,64	0,96	0,97	1,00
Ti K	1,67	0,67	291,60	2,33	0,01	0,84	0,97	1,03
Mn K	0,39	0,13	48,50	6,33	0,00	0,82	0,99	1,06
Fe K	0,30	0,10	34,00	7,26	0,00	0,83	1,00	1,07

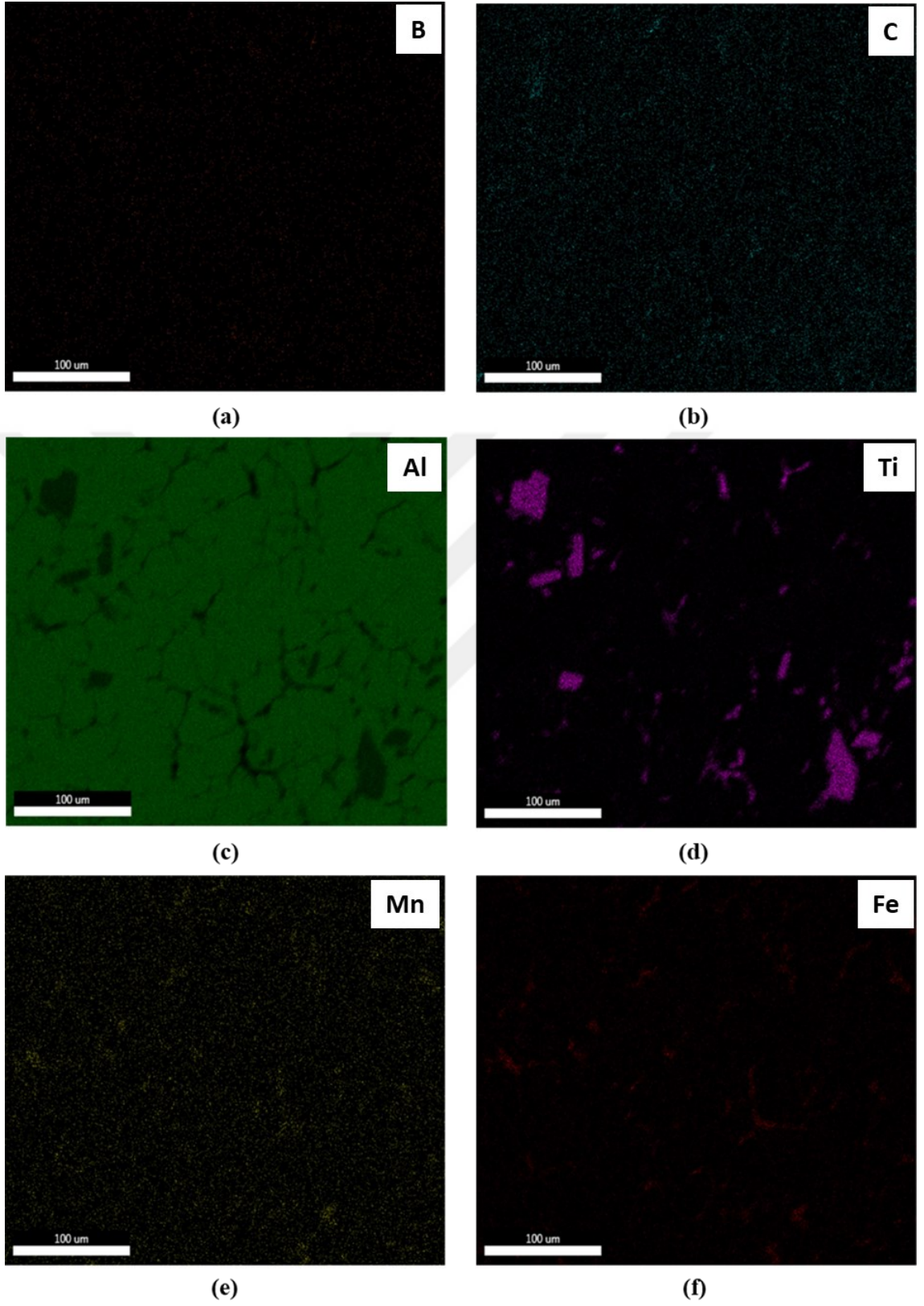
6 nolu numunenin Mapping sonucu elde edilen mikroyapı fotoğrafı ve enerji ayırmalı kimyasal analiz grafiği Şekil 8.29’da gösterilmiştir ve mikroyapı fotoğrafının mapping analizi sonucu element analiz sonuçları Tablo 8.29’da verilmiştir.

5 nolu numune ve 6 nolu numunenin MAPPING sonuçlarına mikro yapı fotoğrafının element analiz sonuçlarına bakılınca 5 nolu numuneninde B’un ağırlıkça yüzdelik oranı %18.79 iken 6 nolu numunedeysse %25.90’dır.

Kocaeve ve arkadaşları (2014); B<sub>4</sub>C’nin erimiş Al ve Al-Ti alaşımları tarafından ıslanabilirliği, sessile-drap methodu kullanılarak incelenmiştir. Genel olarak sıcaklık ve

zaman arttıkça temas açısı azalmıştır. %1,5 optimum oranda Ti ilavesi, B<sub>4</sub>C'nin Al tarafından ıslanabilirliğini arttırmaktadır. Saf Al ile temas halindeyken, B<sub>4</sub>C parçacıklarının etrafında Al<sub>3</sub>BC ve AlB<sub>2</sub> parçacıkları oluşmaktadır. Ancak Al'a Ti eklendiğinde, AlB<sub>2</sub> parçacıkları kaybolmuştur ve B<sub>4</sub>C yüzeyleri çevresinde TiB<sub>2</sub> parçacıklarından oluşan Ti açısından zengin bir katman oluşturduğu görülmüştür [15].





Şekil 8.30. 6 nolu numunenin SEM ile yapılan element haritalama sonucu a) Bor, b) Karbon, c) Alüminyum, d) Titanyum, e) Manganyum ve f) Demir dağılım

Şekil 8.30'de 4 nolu numunenin SEM ile yapılan element haritalama sonucu a) Bor, b) Karbon, c) Alüminyum, d) Titanyum, e) Mangan ve f) Demir dağılımı verilmektedir. Şekil 8.22'de 4 nolu numunenin SEM ile yapılan mapping analiz sonucunda B ve Ti elementi tane sınırlarında yoğunlaştığı gösterilmiştir. Özellikle C-Ti-Mn ve Fe elementlerinin tane sınırlarında belirli bölgelerde bulunduğu gözlenmiştir.

Zhang ve arkadaşları (2020); Al-B<sub>4</sub>C kompozitlerinin karıştırmalı döküm tekniği ile üretilmesinde, Ti içeriği ve karıştırma süresi iki önemli parametreleri olmuştur. Bu çalışmada, bu parametrelerin mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisi araştırılmıştır. Daha yüksek Ti seviyeleri, Al<sub>3</sub>Ti'nin daha yüksek hacim fraksiyonu ve parçacık boyutuna, daha yoğun TiB<sub>2</sub> arayüzüne ve B<sub>4</sub>C'nin daha düzgün uzaysal dağılımına yol açmıştır. Uzatılmış karıştırma süresi ise Al<sub>3</sub>Ti parçacıklarının bol miktarda kaba TiB<sub>2</sub> kristallerine ve parçacıkların genel olarak daha homojen dağılımına yol açmıştır. Sonuç olarak, çekme mukavemetleri eğimli bir yavaş şekli eğrisi göstermiştir. Bu gözlemler, Al<sub>3</sub>Ti parçacıklarının sinerjisi, parçacık dağılımının tekdüzeliği, kaba TiB<sub>2</sub> kristalleri ve Al-B<sub>4</sub>C arayüzü açısından yorumlanmıştır [55].

Biz XRD deneyi gerçekleştiremediğimiz için bu sonuca ulaşamadık.



## 9.BÖLÜM

### SONUÇLAR ve ÖNERİLER

6082 Al matris malzeme farklı oranlarda Al+B<sub>4</sub>C, Al+Al-Ti-B ve Al, Al+Ti+B ve farklı oranlarda B<sub>4</sub>C ilaveleri yapılarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Yapılan optik incelemeler sonucunda heterojen bir tane yapısı gözlenmiştir. 1 nolu Al matris tanelerinin büyük olduğu diğer numunelerde ise tane sınırlarında ilave edilen takviye elemanlarının çökeldiği gözlenmiştir.
2. Sertlikler mikro ve makro olarak incelenmiştir. Mikro sertlikte her ne kadar artış olsada belirgin bir artış gözlenmediği görülmüştür. Makro sertlikte ise B<sub>4</sub>C ilave oranı ve Al-Ti-B ilave oranına paralel olarak sertliğin arttığı gözlenmiştir.
3. Yapılan SEM-EDS analizleri, noktasal analizler ve Mapping çalışmalarında yoğunlukla Al görülürken, yer yer Ti ve B elementlerinin tane sınırlarında gözlenmiştir. Bor ve Karbonun ayrı ayrı analiz edilerek sonuç zenginleştirilmiştir. Diğer tespit edilen elementler ise eser miktar olarak değerlendirilmiştir.

Sonuç olarak elde edilen bu 6082 alüminyum alaşımı, farklı oranlarda Al-Ti-B'lu alüminyum, farklı oranlarda B<sub>4</sub>C ve Al-Ti-B+B<sub>4</sub>C'lu alüminyum numuneleri ısıtma işlemleriyle mukavemetinin ciddi değerlerde artacağı öngörülmektedir. Ayrıca XRD analizleri yapılarak oluşan bileşikler tespit edilebilir.

## KAYNAKLAR

1. Öztop, B., Gürbüz, M., "si<sub>3</sub>n<sub>4</sub> takviyesiyle atık alüminyumdan üretilmiş kompozitlerin özelliklerinin incelenmesi," *Technological Applied Sciences*, vol. 13, no. 1, pp. 57-66, 2018.
2. Prieto Martínez, V., Torres Torres, J., Flores Valdés, A., "Recycling of aluminum beverage cans for metallic foams manufacturing," *Journal of Porous Materials*, vol. 24, no. 3, pp. 707-712, 2017.
3. Bainbridge, I. F., Taylor, J. A., "The surface tension of pure aluminum and aluminum alloys," *Metallurgical and Materials Transactions A*, vol. 44, pp. 3901-3909, 2013.
4. Ravindranath, V., Shankar, G. S., Basavarajappa, S., Suresh, R., "Optimization of Al/B<sub>4</sub>C and Al/B<sub>4</sub>C/Gr MMC drilling using Taguchi approach," *Materials Today: Proceedings*, vol. 4, no. 10, pp. 11181-11187, 2017.
5. Zhang, L., Xu, H., Wang, Z., Li, Q., Wu, J., "Mechanical properties and corrosion behavior of Al/SiC composites," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 678, pp. 23-30, 2016.
6. Hu, H., Lavernia, E., Harrigan, W., Kajuch, J., Nutt, S., "Microstructural investigation on B<sub>4</sub>C/Al-7093 composite," *Materials Science and Engineering: A*, vol. 297, no. 1-2, pp. 94-104, 2001.
7. Kouzeli, M., San Marchi, C., Mortensen, A., "Effect of reaction on the tensile behavior of infiltrated boron carbide–aluminum composites," *Materials Science and Engineering: A*, vol. 337, no. 1-2, pp. 264-273, 2002.
8. Zhang, H., Ramesh, K., Chin, E., "High strain rate response of aluminum 6092/B<sub>4</sub>C composites," *Materials Science and Engineering: A*, vol. 384, no. 1-2, pp. 26-34, 2004.

9. Akın, G., "Toz metalurjisi yöntemiyle alüminyum matrisli bor karbür takviyeli kompozitlerin üretilmesi ve mekanik Özelliklerinin incelenmesi," *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul, 2006.
10. Toptan, F., Kumdalı, F., Kerti, I., "Al-B4C kompozitlerinin fren diski olarak kullanılabilirliğine genel bir bakış," *Metallurji*, vol. 145, pp. 11-18, 2006.
11. Abenojar, J., Velasco, F., Martinez, M., "Optimization of processing parameters for the Al+ 10% B4C system obtained by mechanical alloying," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 184, no. 1-3, pp. 441-446, 2007.
12. Kumdalı, F., "Alüminyum matrisli B4C takviyeli kompozitlerin toz metalurjisi yöntemi ile üretimi," *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul, 2006.
13. Çolak, M., Kayıkçı, R., "Alüminyum dökümlerinde tane inceltme," *Sakarya University Journal of Science*, vol. 13, no. 1, pp. 11-17, 2009.
14. Kalaiselvan, K., Murugan, N., Parameswaran, S., "Production and characterization of AA6061-B4C stir cast composite," *Materials & Design*, vol. 32, no. 7, pp. 4004-4009, 2011.
15. Kocaefe, D., Sarkar, A., Chen, X. G., "Effect of Ti addition on the wettability of Al-B4C metal matrix composites," *International Journal of materials research*, vol. 103, no. 6, pp. 729-736, 2012.
16. Zhang L., "Microtopography and mechanical properties of vacuum hot pressing Al/B4C composites," *Ceramics International*, vol. 44, no. 3, pp. 3048-3055, 2018.
17. Kaytaz, B., "Fonksiyonel Aşamalı B 4 C-TiB 2-Al Seramik-metal Kompozit Malzemelerin Üretimi Ve Karakterizasyonu," *Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, Eskişehir, 2016.

18. Li, Y., Li, Q., Liu, W., Shu, G., "Effect of Ti content and stirring time on microstructure and mechanical behavior of Al-B4C composites," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 684, pp. 496-503, 2016.
19. Savaş, Ö., Demirok, Ö. F., "Fonksiyonel Derecelendirilmiş TiB<sub>2</sub>/Al Kompozitlerin Üretimi Üzerine Bir Çalışma," *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, vol. 8, no. 3, pp. 1829-1839, 2020.
20. Dwivedi, S. P., "Microstructure and mechanical behaviour of Al/B<sub>4</sub>C metal matrix composite," *Materials Today: Proceedings*, vol. 25, pp. 751-754, 2020.
21. Kılıç G., Körpe, N. Ö., "Effects of boron waste as a reinforcement in the production of Al composite foams," *Materials Testing*, vol. 65, no. 3, pp. 322-331, 2023.
22. Nirala, A., Soren, S., Kumar, N., Kaushal, D., "A comprehensive review on mechanical properties of Al-B<sub>4</sub>C stir casting fabricated composite," *Materials Today: Proceedings*, vol. 21, pp. 1432-1435, 2020.
23. Sathiyaraj, S., Senthilkumar, A., Ameen, P. M., Sundar R., "Experimental investigations on mechanical properties of Al-B<sub>4</sub>C metal matrix composites," *Materials Today: Proceedings*, vol. 45, pp. 6372-6376, 2021.
24. Katılmış, D. Z., Çarboğa, C., "Alüminyum 6082 alaşımına Ti-B alaşımlama ve ferrobor takviyesinin mikroyapı ve mekanik özellikler üzerindeki etkisinin araştırılması," *Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, Nevşehir, 2021.
25. Yaman, G., Karakoç, H., Özer, M., "AA7075/B<sub>4</sub>C/nano grafen yüzey katmanlı kompozit malzemelerin üretimi ve mikroyapı özelliklerinin incelenmesi," *TASHKENT II-International Congress on Modern Sciences*, vol.1, Tashkent, Uzbekistan, pp.352-353, 2022.

26. Gökşahin, E., “Sert eloksal ile kaplanmış 6XXX serisi alüminyum alaşımlarının aşınma davranışının incelenmesi,” *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul, 2007.
27. Xin, S. G., Song, L. X., Zhao, R. G., Hu, X. F., “Composition and thermal properties of the coating containing mullite and alümina,” *Materials Chemistry and Physics*, 97(1), 132-136, 2006.
28. Tımaç, G., “Uçak endüstrisinde kullanılan alüminyum alaşımlarının TIG kaynak yöntemi ile kaynaklanabilirliğinin incelenmesi,” *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, İstanbul, 2007.
29. Kaufman, J. G. “Introduction to aluminum alloys and tempers,” ASM international, Metals Park Ohio, 2000.
30. Cengiz, N.M., “İkiz Merdane Yöntemi ile 1xxx Serisi ve 3xxx Serisi Alüminyum Levha Üretimindeki Proses Parametrelerinin Özellikler Üzerindeki Etkisi,” *Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, Kütahya, 2008.
31. Baştékeli, E., "Havacılık Alanında Kullanılan Birleştirme Yöntemleri" *Mühendis ve Makina*, 61, ss.154-169, 2020.
32. Davis, J. R. “Aluminum and aluminum alloys 6th Ed.”. ASM international, Metals Park Ohio, 2007.
33. Maljaars, J., Soetens, F., Katgerman, L. Constitutive model for aluminum alloys exposed to fire conditions”, *Metallurgical and Materials Transactions A*, 39, 778-789, 2008.
34. Baruah, M., & Borah, A., “Processing and precipitation strengthening of 6xxx series aluminium alloys: A review”, *Int. J. Mater. Sci*, 1(1), 40-48, 2020.

35. Chen, Z. W., Zhao, J., & Hao, X. L., "Microstructure and texture evolution of TRC A8006 alloy by homogenization", *International Journal of Minerals, Metallurgy, and Materials*, 20, 433-439, 2013.
36. Thevenot, F., "Boron carbide—a comprehensive review", *Journal of the European Ceramic society*, 6(4), 205-225, 1990.
37. Knoch, H., "Boron Carbide. In Concise Encyclopedia of Advanced Ceramic Materials" (pp. 38-39), Pergamon, 1991.
38. Suri, A. K., Subramanian, C., Sonber, J. K., & Murthy, T. C., "Synthesis and consolidation of boron carbide: a review", *International Materials Reviews*, 55(1), 4-40, 2010.
39. Domnich, V., Reynaud, S., Haber, R. A., Chhowalla, M., "Boron carbide: structure, properties, and stability under stress", *Journal of the American Ceramic Society*, 94(11), 3605-3628, 2011.
40. Werheit, H. " Boron carbide: Consistency of components, lattice parameters, fine structure and chemical composition makes the complex structure reasonable", *Solid State Sciences*, 60, 45-54, 2016.
41. Yin, Z., Yuan, J., Chen, M., Si, D., & Xu, C., "Mechanical property and ballistic resistance of graphene platelets/B4C ceramic armor prepared by spark plasma sintering", *Ceramics International*, 45(17), 23781-23787, 2019.
42. Peters, M., Hemptenmacher, J., Kumpfert, J., & Leyens, C. "Structure and properties of titanium and titanium alloys", *Titanium and titanium alloys: fundamentals and applications*, 1-36, 2003.
43. Collings, E. W., "The physical metallurgy of titanium alloys" American Society for Metals, Metals Park Ohio, 1984.

44. Han, Y., Li, K., Wang, J., Shu, D., Sun, B., “ Influence of high-intensity ultrasound on grain refining performance of Al–5Ti–1B master alloy on aluminium”, *Materials Science and Engineering: A*, 405(1-2), 306-312, 2005.
45. Totten, G. E., MacKenzie, D. S., “Handbook of Aluminum: Volume 2: Alloy production and materials manufacturing”, CRC press, New York, 2003.
46. Young, D. K., Dunville, B. T., Setzer, W. C., & Koch, F. P., “A Survey of Grain Refiners for Hypoeutectic Al-Si Alloys”, *Light Metals*, 1115-1121, 1991.
47. Callister, W. D. and Rethwisch, D. G. “Materials science and engineering: an introduction”, Wiley Press, 577-621, New York, 2018.
48. Atmaca, A., “Çelik Fiber Takviyeli Alüminyum Metal Matriksli Kompozit Plakaların Elastoplastik Gerilme Analizi”, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Ankara, 2006.
49. Uygur, İ. U., & Saruhan, H., “Alüminyum esaslı metal matris kompozit malzemelerin mekanik özellikleri”, *Sakarya University Journal of Science*, 8(1), 167-174, 2004.
50. Nurveren, K., Gündüz, B. B., ”6082 Alüminyum alaşımının mıg kaynağı sonrası mikro yapı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi”, *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(2), 909-916, 2018.
51. Raghavan, V., “Al-Co-Ni-Ti (aluminum-cobalt-nickel-titanium)”, *Journal of Phase Equilibria and Diffusion*, 30(2), 199-200, 2009
52. Topçu, İ. B., & Kara, İ. “Azot fabrikası cürufu ve termik santral küllerinden hafif duvar bloğu üretilmesi”. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(2), 1-13, 2009.

53. Emanetci, F., “Otomobillerde Kullanılan ön Süspansiyon Sistemlerinden al (6082) Salıncak Tasarımı, Analizi ve Isıl İşlem Uygulaması” *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya, 2019.
54. Cetin, M., Ölmez, E., “Döküm AISI 304 Paslanmaz Çeliğin Mekanik Özelliklerine Bor İlavesinin Etkisi”, *Journal of Current Researches on Engineering, Science and Technology*, 4(2), 55-74, 2020.
55. Bai, Q., Zhang, L., Ke, L., Zhu, P., Ma, Y., Xia, S., Zhou, B., “The effects of surface chemical treatment on the corrosion behavior of an Al-B4C metal matrix composite in boric acid solutions at different temperatures”, *Corrosion Science*, 164, 108356, 2020.



