

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BOR KARBÜR TAKVİYELİ METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLERDE ATIK AI
TALAŞLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

BENGÜ AĞACAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ÜRETİM PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. Dr. MÜZEYYEN MARŞOĞLU**

İSTANBUL, 2013

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**Bor Karbür Takviyeli Metal Matrisli Kompozitlerde Atık Al Talaşlarının
Değerlendirilmesi**

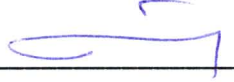
Bengü AĞACAN tarafından hazırlanan tez çalışması 12.07.2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

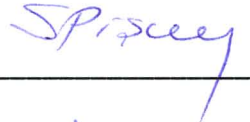
Prof. Dr. MÜZEYYEN MARŞOĞLU
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

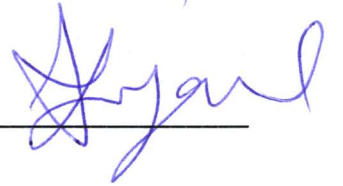
Prof. Dr. MÜZEYYEN MARŞOĞLU
Yıldız Teknik Üniversitesi



Prof. Dr. SABRİYE PİŞKİN
Yıldız Teknik Üniversitesi



Prof. Dr. CEMALETTİN YAMAN
Yıldız Teknik Üniversitesi



ÖNSÖZ

Bağımsız araştırma yeteneğimin gelişmesine olanak sağlayan ve yapıcı eleştirilerini benden esirgememiş olan, değerli fikirleri ile bana yön veren danışmanım sevgili Prof.Dr Müzeyyen MARŞOĞLU'na

Numunelerimin hazırlanmasında emeği çok büyük olan Prof.Dr Okan ADDEMİR'e ve Hartek Firması çalışanlarına

Tezimin başta karakterizasyon çalışmaları olmakla birlikte, bir çok alanda yardımını ve desteğini benden esirgemeyen Dr. Mustafa İLHAN'a

Yardımlarını benden hiç esirgemeyen Ar.Gör Müge SARI'ya, Dr. Seyhun KIPÇAK'a

Karakterizasyon çalışmaları için bölümün tüm imkanlarını bana sunan Prof.Dr. Sabriye PİŞKİN'e

Küçükçekmece Nükleer Araştırma Merkezine'de deneysel çalışma aşamasında yardımlarını esirgemeyen Dr.Ahmet YAYLI'ya

Tübitak'da çalışan ve karakterizasyon aşamasında yardımlarını esirgemeyen Enver Bülent Yalçın'a

Tezimin yapım ve yazım aşaması boyunca bana hep destek olan ve yardımlarını hiç esirgmeden sabırla yanımda olan sevgili Hüseyin KURT'a

Göstermis oldukları sonsuz sevgi, maddi, manevi destek ve sabır için, sevgili annem Belgin AĞACAN, sevgili babam Taner AĞACAN ve sevgili kardeşim Caner AĞACAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

TEMMUZ,2013

BENGÜ AĞACAN

İÇİNDEKİLER

SAYFA

SİMGE LİSTESİ.....	viii
KISALTMA LİSTESİ.....	x
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xv
ÖZET	xvi
ABSTRACT.....	xviii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	2
1.3 Hipotez	3
BÖLÜM 2	
2.1 Alüminyum Elementinin Özellikleri ve Kullanım Alanları.....	4
2.2 Alüminyum Kullanımının Avantajları ve Dezavantajları	5
2.2.1 Alüminyumun Avantajları.....	5
2.2.2 Alüminyumun Dezavantajları	5
2.3 Alüminyum Serilerinin Alaşım ve Kullanılabilirlik Kabiliyetleri	6
2.4 Alüminyumların Serilerinin Genel Özellikleri.....	8
2.4.1 1XXX Serisi Alüminyumların Özellikleri.....	8
2.4.2 2XXX Serisi Alüminyumların Özellikleri.....	8
2.4.3 3XXX Serisi Alüminyumların Özellikleri.....	8
2.4.4 4XXX Serisi Alüminyumların Özellikleri.....	9

2.4.5	5XXX Serisi Alüminyumların Özellikleri.....	9
2.4.6	6XXX Serisi Alüminyumların Özellikleri.....	9
2.4.6.1	EN AW - 6005A [AlSiMg(A)]	10
2.4.6.2	EN AW - 6060 [AlMgSi0.5].....	11
2.4.6.3	EN AW - 6061 [AlMg1SiCu].....	13
2.4.6.4	EN AW – 6063 [AlMg0.7Si]	14
2.4.6.5	EN AW - 6082 [AlSi1MgMn]	15
2.4.6.6	EN AW - 6106 [AlMgSiMn]	16
2.4.7	7XXX Serisi Alüminyum Alaşımları	18
2.5	Bor Karbür.....	18
2.5.1	Bor Karbürün Kristal Yapısı	20
2.5.2	Bor Karbürün Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri	23
2.5.2.1	Kimyasal Özellikler	23
2.5.2.2	Fiziksel Özellikler	24
2.5.3	Bor Karbürün Yapısal Özellikleri	24
2.5.3.1	Sertlik.....	24
2.5.3.2	Aşınma Direnci.....	25
2.5.3.3	Yoğunluk	25
2.5.3.4	Elektriksel Direnç	25
2.5.3.5	Mekanik Özellikler	25
2.5.4	B ₄ C 'ün Üretim Yöntemleri	26
2.5.4.1	Karbotermik Yöntemle B ₄ C Üretimi	26
2.5.4.2	Endüstriyel Karbotermik B ₄ C Üretimi.....	26
2.5.4.3	Yüksek Sıcaklık Fırını ve Grafit Dirençli Fırın Uygulamaları	27
2.5.4.4	SHS Yöntemi ile B ₄ C Üretimi.....	27
2.5.4.5	Gaz Fazında Sentezleme Yöntemi ile B ₄ C Üretimi.....	27
2.5.5	Bor Karbür Kullanım Alanları	28
2.6	Kompozit Malzemeler	28
2.6.1	Kompozit Malzemeler ve Sınıflandırılması	28
2.6.1.1	Seramik Matrisli Kompozitler (SMK)	29
2.6.1.2	Metal Matrisli Kompozitler (MMK)	29
2.6.1.3	Polimer Matrisli Kompozitler (PMK).....	30
2.6.1.4	Karbon-Karbon Kompozitler (KKK)	30
2.6.1.5	İntermetalik Kompozitler (İMK).....	31
2.6.2	Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri	31
2.7	Sinterleme	31
2.7.1	Sinterleme Aşamaları.....	32
2.7.2	Sinterleme Mekanizmaları.....	33
2.7.2.1	Katı Hal Sinterlemesi.....	36
2.7.2.2	Sıvı Faz Sinterlemesi	40
2.7.3	Yoğunlaşmanın Temelleri	43
2.7.4	Basınç Yardımlı Sinterleme	46
2.7.4.1	Sıcak Presleme (HP)	46
2.7.4.2	Sıcak İzostatik Presleme (HIP)	47
2.7.4.3	Spark Plazma Sinterleme (SPS).....	48
2.8	Alüminyum Metal Matrisli B ₄ C Takviyeli Kompozitler.....	49

2.9	B ₄ C Tozu ve Özellikleri.....	51
2.10	Alüminyum Matrisli - B ₄ C Takviyeli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri...	52
2.10.1	İnfiltrasyon Yöntemi İle Üretimi	52
2.10.2	Döküm Yöntemi İle Üretimi.....	52
2.10.3	Toz Metalurjisi Yöntemi İle Üretim.....	53
2.11	Alüminyum B ₄ C Kompozitleri ile İlgili Literatürdeki Çalışmalar.....	53

BÖLÜM 3

3.1	Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Başlangıç Malzemeleri ve Özellikleri....	57
3.2	Kullanılan Başlangıç Malzemelerinin XRD, SEM ve EDS ile Karakterizasyonu.....	57
3.3	Bor Karbür Takviyeli Al (Talaş) Matrisli Kompozitlerin Üretimi.....	60
3.3.1	Elektro Talaş İle Bor Karbür Tozlarının Hazırlanması	60
3.3.2	Al Talaşına İlave Edilecek Bor Karbür Tozların Hesaplanması.....	61
3.3.2.1	%5 B ₄ C ilaveli %95 Al talaşı içerikli numune için yapılan hesaplama	61
3.3.2.2	%10 B ₄ C ilaveli %90 Al talaşı içerikli numune için yapılan hesaplama ;	61
3.3.2.3	%15 B ₄ C ilaveli %85 Al talaşı içerikli numune için yapılan hesaplama ;	61
3.3.2.4	%20 B ₄ C ilaveli %80 Al talaşı içerikli numune için yapılan hesaplama;	61
3.3.3	Numuneye şekil verilmesi	62
3.4	Kullanılan Karakterizasyon ve Test Cihazları	62
3.4.1	Karakterizasyon Cihazları	62
3.4.1.1	Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)	62
3.4.1.2	Enerji Dağılım Spektrometresi (EDS).....	63
3.4.1.3	X-ışınları Difraktometresi (XRD)	63
3.4.2	Kullanılan Test Cihazları.....	64
3.4.2.1	Soğuk Pres Cihazı.....	64
3.4.2.2	Sıcak Pres Cihazı	65
3.4.3	Diğer Cihazlar	65
3.4.3.1	Hassas terazi.....	65
3.4.3.2	Karıştırıcı.....	66

BÖLÜM 4

DEĞERLENDİRME ve TARTIŞMA.....	67
4.1 B ₄ C Katkılı Tozdan Üretilen Al Matrisli Kompozitin XRD, SEM-EDS Analizleri	67
4.1.1 3 µm B ₄ C Katkılı Tozdan Üretilen Al matrisli Kompozitin XRD, SEM-EDS Analizleri.....	67
4.1.2 53 µm B ₄ C Katkılı Tozdan Üretilen Al Matrisli Kompozitin XRD, SEM-EDS Analizleri.....	69
4.1.3 75-150 µm B ₄ C Katkılı Tozdan Üretilen Al Matrisli Kompozitin XRD, SEM-EDS Analizleri.....	71

4.1.4	150-250 μm B_4C Katkılı Tozdan Üretilen Al Matrisli Kompozitin XRD, SEM-EDS Analizleri	73
4.1.5	500 μm B_4C Katkılı Tozdan Üretilen Al Matrisli Kompozitin XRD, SEM-EDS Analizleri	75
4.2	Al Matrisli B_4C takviyeli Kompozitte Matris ile B_4C Arayüzeyinin SEM ve EDS İncelemeleri.....	78
4.2.1	%20 katkılı 3 μm tane B_4C Tozlarıyla Matrisin Al (talaş) Arayüzeyinin SEM ve EDS İncelemeleri	78
4.2.2	%20 katkılı 53 μm tane B_4C Tozlarıyla Matrisin Al (talaş) Arayüzeyinin SEM ve EDS İncelemeleri	79
4.2.3	%20 katkılı 75-150 μm tane B_4C Tozlarıyla Matrisin Al (talaş) Arayüzeyinin SEM ve EDS İncelemeleri	80
4.2.4	%20 katkılı 150-250 μm tane B_4C Tozlarıyla Matrisin Al (talaş) Arayüzeyinin SEM ve EDS İncelemeleri	81
4.2.5	%20 katkılı 500 μm tane B_4C Tozlarıyla Matrisin Al (talaş) Arayüzeyinin SEM ve EDS İncelemeleri	82

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER	83
KAYNAKLAR	85
ÖZGEÇMİŞ	88

SİMGE LİSTESİ

B_4C	Bor Karbür
%ağ	Ağırlık yüzdesi
%h	Hacim yüzdesi
α	Isıl genleşme katsayısı
σ	Gerilme
γ	Yüzey enerjisi
R_1	Tane yarıçapı
R_2	Boyun bölgesinin yarıçapı
X	Boyun çapı
D	Parçacık çapı
P	Boyunun dairesel profilinin yarıçapı
S_0	Başlangıç yüzey alanı
ΔS	Yüzey alanındaki değişim
ψ	Yoğunlaşma
H	Hacim taşınımı
Y	Yüzey taşınımı
γ_{SV}	Katı-buhar yüzey enerjisi
γ_{SL}	Katı-sıvı yüzey enerjisi
γ_{LV}	Sıvı-buhar yüzey enerjisi
ρ	Yoğunluk
t	Süre
Ω	Atom hacmi
γ_s	Yüzey serbest enerjisi
δ_b	Tane sınırı difüzyon genişliği
k	Boltzmann sabiti
T	Sıcaklık
G	Tane boyutu
m	Difüzyon mekanizmasına bağlı sabit
n	Difüzyon mekanizmasına bağlı sabit
k	Boltzmann sabiti
P_A	Uygulanan basınç
P_E	Etkili basınç
C	Birim atom başına malzeme sabiti
dp/dt	Yoğunlaşma hızı

P_p	Gözenekteki basınç değeri
ρ_G	Kısmi ham yoğunluk
σ_Y	Akma dayanımı
C_p	Isı kapasitesi
Q	Absorpsiyon enerjisi
α	Termal difüzivite
λ	Termal iletkenli
B_2O_3	Bor oksit
O	Oksijen
C	Karbon
Si	Silisyum
B	Bor
CO	Karbon monoksit

KISALTMA LİSTESİ

EDS	Enerji Dağılım Spektrometresi
SPS	Spark Plasma Sintering
HP	Hot Press
HIP	Hot Isostatic Press
İMK	İntermetalik kompozit
KKK	Karbon Karbon kompozit
MMK	Metal Matrisli Kompozit
PMK	Polimer Matrisli Kompozit
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
SHS	Yüksek Sıcak Sentez
SMK	Seramik Matrisli Kompozit
XRD	X Işınları Difraktometresi

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Al metalinin kullanım alanları.....	5
Şekil 2.2	Al alaşımları ve serileri.....	6
Şekil 2.3	Al alaşımları ve kabiliyetleri.....	7
Şekil 2.4	B-C ikili denge diyagramı.....	20
Şekil 2.5	Rhombohedral B ₄ C birim hücre yapısı.....	21
Şekil 2.6	Bor/karbon oranının sertlik üzerinde etkisi.....	22
Şekil 2.7	(a) Safsızlık içermeyen bor karbür kafes yapısı, (b) Safsızlık içeren bor karbür kafes yapısı-mavi noktalar safsızlıkların yapıda boşluk bırakırken izlediği yolu göstermektedir.....	23
Şekil 2.8	Gözenek yapısı değişiminin şematik gösterimi.....	33
Şekil 2.9	Toz sinterleme proseslerinin sınıflandırılması.....	34
Şekil 2.10	Çok kristalli malzemelerin sinterlenme mekanizmaları.....	35
Şekil 2.11	İki küresel parçacığın sinterlenme profili.....	37
Şekil 2.12	Sinterleme süresinin parametreler üzerine etkisi.....	38
Şekil 2.13	Yüzey ve hacim taşınımı.....	39
Şekil 2.14	Sinterleme esnasında bağ gelişimini gösteren iki küre modeli.....	40
Şekil 2.15	Sıvı fazlı sinterlemede ıslatma ve yüzey enerjileri.....	41
Şekil 2.16	Sıvı faz sinterlemesinin kavramsal aşamaları.....	41
Şekil 2.17	Çözelti-tekrar çökelme işlemi ve tane yerleşimi.....	42
Şekil 2.18	Sıcak pres sisteminin şematik gösterimi.....	47
Şekil 2.19	Sıcak izostatik presleme sisteminin şematik gösterimi.....	48
Şekil 2.20	Al + %10 B ₄ C Tozlarının karışım süresinin görünür yoğunluk ve akış oranlarına etkisi.....	55
Şekil 2.21	Bor, Alüminyum, Karbon üçlü diyagramı.....	56
Şekil 3.1	Başlangıç malzemelerin XRD sonuçları.....	58

Şekil 3.2 Atık Al talaşın x30 büyütmede SEM fotoğrafı ve EDS analizi.....	58
Şekil 3.3 B ₄ C tozun (3 µm) x30 ve x2000 büyütmede SEM fotoğrafı ve EDS analizi.....	59
Şekil 3.4 B ₄ C tozun (53 µm) x30 ve x500 büyütmede SEM fotoğrafı ve EDS analizi.....	59
Şekil 3.5 B ₄ C tozlarının (a), (b) 75-150 µm,(c), (d) 150-250 µm, (e), (f) 500 µm boyutlarına ait x30 büyütmede SEM fotoğrafları ve EDS analizleri.....	60
Şekil 3.6 Taramalı elektron mikroskobu (SEM).....	62
Şekil 3.7 Enerji dağılım spektrometresi (EDS).....	63
Şekil 3.8 X-ışınları difraktrometresi (XRD).....	64
Şekil 3.9 Soğuk pres.....	64
Şekil 3.10 Sıcak pres.....	65
Şekil 3.11 Hassas terazi.....	65
Şekil 3.12 Karıştırıcı.....	66
Şekil 4.1 Al talaşı, 3 µm'luk B ₄ C tozu ve %20 B ₄ C katkılı Al kompozitin XRD paternleri..	67
Şekil 4.2 Al talaşına 3 µm B ₄ C tozu farklı oranlarda katkılanarak üretilen kompozitin x100 büyütmede SEM geri saçılımlı elektron (BE) fotoğrafları, (a) %5, (b) %10, (c) %15 ve (d) %20.....	68
Şekil 4.3 Al talaşına 3 µm 'luk B ₄ C tozu %20 oranında katkılanarak üretilen kompozitin (a) x500 büyütmede SEM geri saçılımlı elektron (BE) fotoğrafı ve EDS analizini gösteren bölgeler, EDS analiz sonuçları (b) B ₄ C tozu (nokta 1) (c) Al kompozit (nokta 2).....	69
Şekil 4.4 Al talaşı, 53 µm 'luk B ₄ C tozu ve %20 B ₄ C katkılı Al kompozitin XRD paternleri.....	70
Şekil 4.5 Al talaşına 53 µm %20 B ₄ C katkılı olarak üretilen kompozitin x100 büyütmede SEM geri saçılımlı elektron (BE) fotoğrafları, (a) %5, (b) %10, (c) %15 ve (d) %20.....	70
Şekil 4.6 Al talaşına 53 µm 'luk B ₄ C tozu %20 oranında katkılanarak üretilen kompozitin (a) x500 büyütmede SEM geri saçılımlı elektron (BE) fotoğrafı ve EDS analizini gösteren bölgeler, EDS analiz sonuçları (b) B ₄ C tozu (nokta 1) (c) Al kompozit (nokta 2).....	71
Şekil 4.7 Al talaşı, 75-150 µm 'luk B ₄ C tozu ve %20 B ₄ C katkılı Al kompozitin XRD paternleri.....	72
Şekil 4.8 Al talaşına 75-150 µm B ₄ C tozu farklı oranlarda katkılanarak üretilen kompozitin x100 büyütmede SEM geri saçılımlı elektron (BE) fotoğrafları, (a) %5, (b) %10, (c) %15 ve (d) %20.....	72
Şekil 4.9 Al talaşına 75-150 µm 'luk B ₄ C tozu %20 oranında katkılanarak üretilen kompozitin (a) x500 büyütmede SEM geri saçılımlı elektron (BE) fotoğrafı ve EDS analizini gösteren bölgeler, EDS analiz sonuçları (b) B ₄ C tozu (nokta 1) (c) Al kompozit (nokta 2).....	73

Şekil 4.10	Al talaşı, 150-250 µm 'luk B ₄ C tozu ve %20 B ₄ C katkılı Al kompozitin XRD paternleri.....	74
Şekil 4.11	Al talaşına 150-250 µm B ₄ C tozu farklı oranlarda katkılanarak üretilen kompozitin x100 büyütmede SEM geri saçılımlı elektron (BE) fotoğrafları, (a) %5, (b) %10, (c) %15 ve (d) %20.....	74
Şekil 4.12	Al talaşına 150-250 µm 'luk B ₄ C tozu %20 oranında katkılanarak üretilen kompozitin a) x500 büyütmede SEM geri saçılımlı elektron (BE) fotoğrafı ve EDS analizini gösteren bölgeler, EDS analiz sonuçları (b) B ₄ C tozu (nokta 1) (c) Al kompozit (nokta 2).....	75
Şekil 4.13	Al talaşı, 500 µm 'luk B ₄ C tozu ve %20 B ₄ C katkılı Al kompozitin XRD paternleri.....	76
Şekil 4.14	Al talaşına 500 µm B ₄ C tozu farklı oranlarda katkılanarak üretilen kompozitin x100 büyütmede SEM geri saçılımlı elektron (BE) fotoğrafları, (a) %5, (b) %10, (c) %15 ve (d) %20.....	76
Şekil 4.15	Al talaşına 500 µm 'luk B ₄ C tozu %20 oranında katkılanarak üretilen kompozitin (a) x500 büyütmede SEM geri saçılımlı elektron (BE) fotoğrafı ve EDS analizini gösteren bölgeler, EDS analiz sonuçları (b) B ₄ C tozu (nokta 1), (c) Al kompozit (nokta 2).....	77
Şekil 4.16	Al kompozit içerisinde 3µm B ₄ C tane arayüzeyinin (a) x5000 büyütmede SEM fotoğrafı (b) SEM fotoğrafında görülen 1 nolu noktanın (B ₄ C) EDS analizi, (c) SEM fotoğrafında görülen 2 nolu noktanın (arayüzey) EDS analizi (d) SEM fotoğrafında görülen 3 nolu noktanın (Al talaş) EDS analizi.....	78
Şekil 4.17	Al kompozit içerisinde 53µm B ₄ C tane arayüzeyinin (a) x5000 büyütmede SEM fotoğrafı (b) SEM fotoğrafında görülen 1 nolu noktanın (B ₄ C) EDS analizi, (c) SEM fotoğrafında görülen 2 nolu noktanın (arayüzey) EDS analizi (d) SEM fotoğrafında görülen 3 nolu noktanın (Al talaş) EDS analizi.....	79
Şekil 4.18	Al kompozit içerisinde 75-150 µm B ₄ C tane arayüzeyinin (a) x5000 büyütmede SEM fotoğrafı (b) SEM fotoğrafında görülen 1 nolu noktanın (B ₄ C) EDS analizi, (c) SEM fotoğrafında görülen 2 nolu noktanın (arayüzey) EDS analizi (d) SEM fotoğrafında görülen 3 nolu noktanın (Al talaş) EDS analizi.....	80
Şekil 4.19	Al kompozit içerisinde 150-250 µm B ₄ C tane arayüzeyinin (a) x5000 büyütmede SEM fotoğrafı (b) SEM fotoğrafında görülen 1 nolu noktanın (B ₄ C) EDS analizi, (c) SEM fotoğrafında görülen 2 nolu noktanın (arayüzey) EDS analizi (d) SEM fotoğrafında görülen 3 nolu noktanın (Al talaş) EDS analizi.....	81

Şekil 4.20 Al kompozit içerisinde 500 µm B₄C tane arayüzeyinin (a) x5000 büyütmede SEM fotoğrafı (b) SEM fotoğrafında görülen 1 nolu noktanın (B₄C) EDS analizi, (c) SEM fotoğrafında görülen 2 nolu noktanın (arayüzey) EDS analizi (d) SEM fotoğrafında görülen 3 nolu noktanın (Al talaş) EDS analizi.....82

ÇİZELGE LİSTESİ

	SAYFA
Çizelge 2.1 Al genel özellikleri.....	4
Çizelge 2.2 Al serileri ve alaşımları.....	6
Çizelge 2.3 Al alaşımları ve özellikleri	7
Çizelge 2.4 EN 573 - 3'e Göre EN AW - 6005A 'nın Kimyasal Bileşimi.....	11
Çizelge 2.5 EN AW - 6005A'nın Fiziksel Özellikleri.....	11
Çizelge 2.6 EN 573 – 3 'e Göre EN AW – 6060'ın Kimyasal Bileşimleri.....	12
Çizelge 2.7 EN AW – 6060'ın Fiziksel Özellikleri.....	12
Çizelge 2.8 EN 573 - 3'e Göre EN AW – 6061'in Kimyasal Bileşimleri	13
Çizelge 2.9 EN AW – 6061'in Fiziksel Özellikler.....	14
Çizelge 2.10 EN 573 - 3'e Göre EN AW – 6063'ün Kimyasal Bileşimleri.....	14
Çizelge 2.11 EN AW – 6063'ün Fiziksel Özellikleri.....	15
Çizelge 2.12 EN 573 - 3'e Göre EN AW – 6082'nin Kimyasal Bileşimleri.....	16
Çizelge 2.13 EN AW – 6082'nin Fiziksel Özellikleri.....	16
Çizelge 2.14 EN 573 - 3'e Göre EN AW – 6106'nın Kimyasal Bileşimleri.....	17
Çizelge 2.15 EN AW – 6106'nın Fiziksel Özellikleri.....	17
Çizelge 2.16 Bor karbürün genel özellikleri.....	19
Çizelge 2.17 Sinterleme aşamaları ve bu aşamalar esnasında meydana gelen fiziksel değişimler.....	32
Çizelge 2.18 AMK lerde başlıca kullanılan takviye malzemeleri.....	34
Çizelge 2.19 AMK lerde başlıca kullanılan takviye malzemeleri.....	50
Çizelge 2.20 Sıcaklık değişimine bağlı faz oluşumları.....	55

**BOR KARBÜR TAKVİYELİ METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLERDE ATIK AL
TALAŞLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

Bengü AĞACAN

Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof.Dr.Müzeyyen MARŞOĞLU

B₄C esaslı seramikler, sahip oldukları yüksek ergime sıcaklığı (2743 °C), yüksek mikro sertlik (32G Pa), düşük teorik yoğunluk ($2,52 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$) ve elektriksel ($\sim 1000 \cdot 10^{-8} \Omega.m$) iletkenlik katsayı değerinden dolayı elmas ve kübik bor karbürden sonra en sert malzemedir, bu yüzden çok yüksek sıcaklık malzemeleri olarak kullanılmaktadır.

Yüksek sıcaklıklarda sahip oldukları kimyasal ve fiziksel kararlılık ve sözü edilen diğer özelliklerinden dolayı, B₄C esaslı seramikler uzay, savunma, otomotiv, ısı ve teknolojik yapı, fonksiyonel uygulamalarda kullanılmaktadır.

Bu araştırmada matris elemanı olarak 6XXX serisi atık alüminyum talaşları ve takviye elemanı olarak 3 μm , 53 μm , 75-150 μm , 150-250 μm ve $\leq 500 \mu\text{m}$ üzeri tane boyutlarına sahip 5 farklı bor karbür tozları kullanılmıştır. Al talaş içine %5, %10, %15 ve %20 oranlarında (ağırlıkça) bor karbür ilavesi yapılmıştır. Daha sonra numuneler 10mmx24mmx5mm boyutlarında soğuk presle preslenerek, sıcak presle şekillendirilmiştir. Karakterizasyon çalışmaları ise XRD, SEM ve EDS ile yapılmıştır.

Deneyde kullanılan 6XXX serisi alüminyum talaşları Burak Alüminyum fabrikasından ve farklı boyuttaki bor karbür tozları BMBT ve Tübitak' tan temin edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: B₄C, Al talaşı, kompozit, üretim, karakterizasyon

ABSTRACT

EVALUATION OF WASTE Al CHIPS IN BORON CARBIDE REINFORCED METAL MATRIX COMPOSITES

Bengü AĞACAN

Department of Metallurgical and Materials Engineering

MSC. Degree

Adviser: Prof.Dr.Müzeyyen MARŞOĞLU

Boron carbide(chemical formula approxiametly B_4C),it is the one of the hardest materials known, behind cubic boron nitride and diamond, having regard to high melting temperature(2743 °C), Vickers hardness (32G Pa), theoretical minimum density ($2,52 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$) and electrical conductivity parameter (($\sim 1000 \cdot 10^{-8} \Omega.m$)),for these reasons it is used for the meterial having high temperature.

Due to its chemical and physical stablity at high temperature and other following properities, B_4C , cementitious ceramics, is used for space, defense industry, automotive, technological structure and other functional applications.

6XXX series of experimental studies of waste aluminum chips are used as the matrix element. Matrix (Al sawdust) as a reinforcing element in the 3 μm , 53 μm , 75-150 μm , 150-250 μm and $\leq 500 \mu m$ over 5 different boron carbide powders with grain sizes are used. Exhaust al 5%, 10%, 15% and 20% (by weight) made of the addition of boron carbide, on this work we used hot pressing device in order to create a sample in dimension of 10mm x 24 mm x 5mm by using hot pressing method.

Burak Aluminium plant used aluminum chips, boron carbide powders were obtained from the BMBT and Tübitak.

These created samples are made XRD, SEM ve EDS characterization processing.

Keywords: B₄C, Al chip, composite, manufacture, characterization

1.1 Literatür Özeti

Bor karbür, metal olmayan en önemli malzeme grubu (alümina, silisyum karbür, silisyum nitrür, elmas ve kübik bor nitrür) içerisinde yer alıp, elmas ve kübik bor nitrürden sonra en sert 3. malzemedir. İlk olarak 1858’de keşfedilen bor karbür bileşiği, 1883’te Joly ve 1894’te Moissan tarafından hazırlanmış ve sırasıyla B_3C ve B_6C olarak adlandırılmıştır. Günümüzde ise, 1934 yılında adlandırılarak B_4C formülü şekliyle kullanılmaktadır.

İçerik bakımından yaklaşık %80 oranında bor ihtiva etmesi, bileşiğin yüksek ergime noktasına sahip olması ve yüksek kimyasal ve fiziksel kararlılığından dolayı nötronların absorbe edilmesinde etkin ve ekonomik olarak kullanılmaktadır.

B_4C esaslı seramikler, sahip oldukları yüksek ergime sıcaklığı (2445 °C), yüksek mikro sertlik (31,5 GPa), düşük teorik yoğunluk ($2,52 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$) ve elektriksel ($\sim 1000 \cdot 10^{-8} \Omega.m$) iletkenlik katsayı değerinden dolayı elmas ve kübik bor karbürden sonra en sert malzemedir, bu yüzden çok yüksek sıcaklık malzemeleri olarak kullanılmaktadır.

Birçok çalışmada takviye malzemesi olarak alüminyumun kullanılması hafifliği, kolay şekillenebilmesi, sünekliği ve iyi ısı ve elektrik iletkenliği bakımından tercih edilmektedir.

Yüksek sıcaklıklarda sahip oldukları kimyasal ve fiziksel kararlılık ve sözü edilen diğer özelliklerinden dolayı, B_4C esaslı seramikler uzay, savunma, otomotiv, ısı ve teknolojik yapı, fonksiyonel uygulamalarda kullanılmaktadır.

Literatürdeki Al- B_4C kompozitleri ile ilgili çalışmalar daha çok infiltrasyon ve döküm üzerine yoğunlaşmıştır. Bunun yanında toz metalürjisiyle yapılan çalışmalar ara yüzeydeki ıslatılabilirlik seviyelerini arttırmak üzere yoğunlaştırılmış olup, gelişmiş fiziksel ve mekanik özellikler üzerine çalışmalar yapılmış ve iyileştirme çalışmaları devam etmektedir.

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmada şimdiye kadar literatürde kullanımına rastlanmayan Al talaşı kullanılarak Al talaş matrisli B_4C üretimi hedeflenmiştir.

Bu çalışmada takviye malzemesi olarak B_4C 'nin seçilmesinde, diğer takviyelere nazaran (SiC , Al_2O_3 ve TiC gibi) Türkiye'nin dünyada görünür bor rezervlerinin %64'üne sahip olmasıdır .

Çalışmada matris olarak Al talaşının seçilmesinde, Al 'nin hafif olması, yüksek mukavemet ve korozyon direnci, sünekliği ve kolay enstrüde edilmesi özelliğinin yanı sıra en önemli özellik olarak geri dönüşümünün kolaylığı açısından tercih edilmiştir. Al serilerinden 6XXX serisi Al talaşları (1mm 'lik elek altı) kullanılmıştır.

Al 6XXX serisi alaşımlar, magnezyum (Mg) ve Silisyum (Si) ihtiva ederler. Bu elementlerin ve içindeki diğer empüritelerin (Fe, Cu, Mn, Zn, gibi) belirli sınırlar içinde farklı değerlerde olmaları, alaşımların kullanılma yerine göre farklı özelliklerde profil üretimini sağlarlar. EN AW / AA 6005, 6005A ve 6082 alüminyum alaşımları mekanik özelliklerin daha yüksek değerlerde istendiği mühendislik uygulamaları için tercih edilir.

Bu çalışmada matris olarak seçilen Al talaşı elekten geçirilerek 1mm'lik elek altı kullanılmıştır. Bor karbür tozu olarak ise beş farklı büyüklükte ($3\mu m$, $53\mu m$, $75-150\mu m$, $150-250\mu m$ ve $500\mu m$) bor karbür tozu kullanılmış ve dört farklı oranda (%5, %10, %15 ve %20) üretimi Hartek firmasının'da karışımı 2 saatte tamamlanan B_4C ve Al talaşının idea marka soğuk presle şekillendirilmesinin ardından Dr. Fritch marka sıcak presle 3

dakika boyunca 540 °C ve 200 bar basınçta numuneye son şekli verilmiştir. Her numuneden 4 adet üretim yapılmış ve karakterizasyon için her biri incelenmiştir. Numunelerin karakterizasyon çalışmaları ise XRD, SEM, EDS kullanılarak yapılmıştır.

1.3 Hipotez

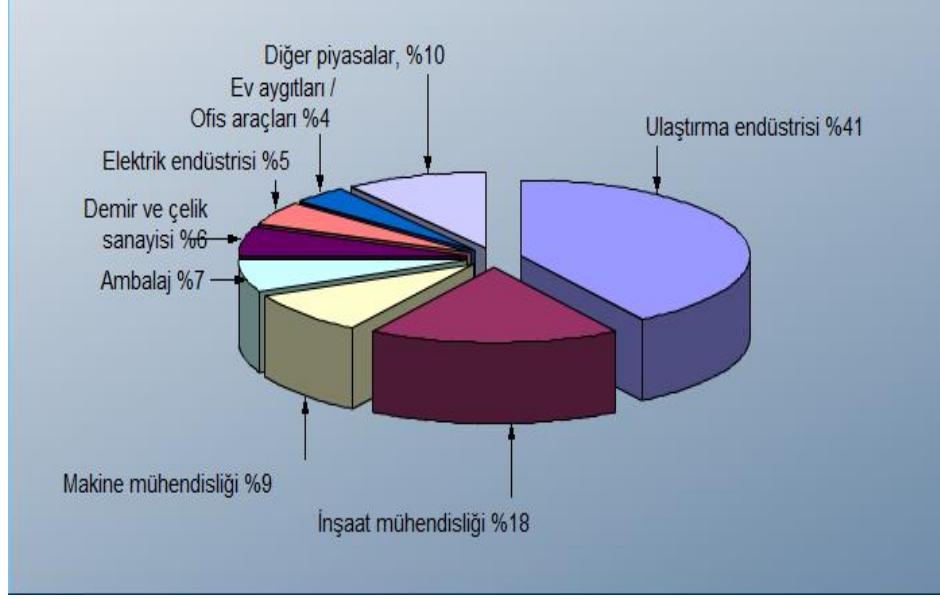
DeneySEL çalışma kapsamında, ortalama tane boyutu 3µm, 53µm, 75-150µm, 150-250µm ve 500µm olmak üzere numuneler 5 ayrı kategoride 4 farklı oranda %5 B₄C, %10 B₄C, %15 B₄C ve %20 B₄C katkısı ile üretilmiş numunelerin üretiminin kullanım açısından uygunluğu tespiti için SEM, EDS ve XRD analizleri yapılmıştır.

2.1 Alüminyum Elementinin Özellikleri ve Kullanım Alanları

1950'den bu yana büyüyen kullanım oranı günümüzde kıyaslandığında 6 kat daha fazla olduğu gözlenmektedir. Alüminyum metali yaygın bir metal olup yer kabuğunun %8' ini oluşturmaktadır. Al alaşım türüne bağlı olarak orta ve yüksek dayanım göstermektedir. Saf metal ve düşük alaşımlarda yüksek iletkenliğe sahip olup, yansıtma özelliği yüksek ve anti-manyetik özelliğe sahiptir [7]. Alüminyum elementinin genel özellikleri ve kullanım alanları sırasıyla Çizelge 2.1 ve Şekil 2.1 'de verilmiştir.

Çizelge 2.1 Alüminyum 'un genel özellikleri [1].

Genel Özellikler	Alüminyum
Kristal kafes yapısı	YMK
Yoğunluğu (G/cm ³)	2,7
Ergime sıcaklığı (°C)	660
Özgül ısısı (J / KgK)	930
Isıl iletkenliği (W/mK)	235
Isıl genleşme katsayısı	23,1 µm/(m·K)
Elektrik direnci	26,50 nΩ·m (20°C'de)
Elastisite modülü	6,7x10 (n/mm ²)
Max. Çekme mukavemeti	65



Şekil 2.1 Al metalinin kullanım alanları [1].

2.2 Alüminyum Kullanımının Avantajları ve Dezavantajları

2.2.1 Alüminyumun Avantajları

- Hafif olması
- Birim ağırlığa göre en iyi iletken metal olması
- İyi korozyon direnci
- Kolay şekillendirilmesi ve sünekliği
- Kolay ekstrüde edilmesi
- Geri kazanımının kolaylığı [1].

2.2.2 Alüminyumun Dezavantajları

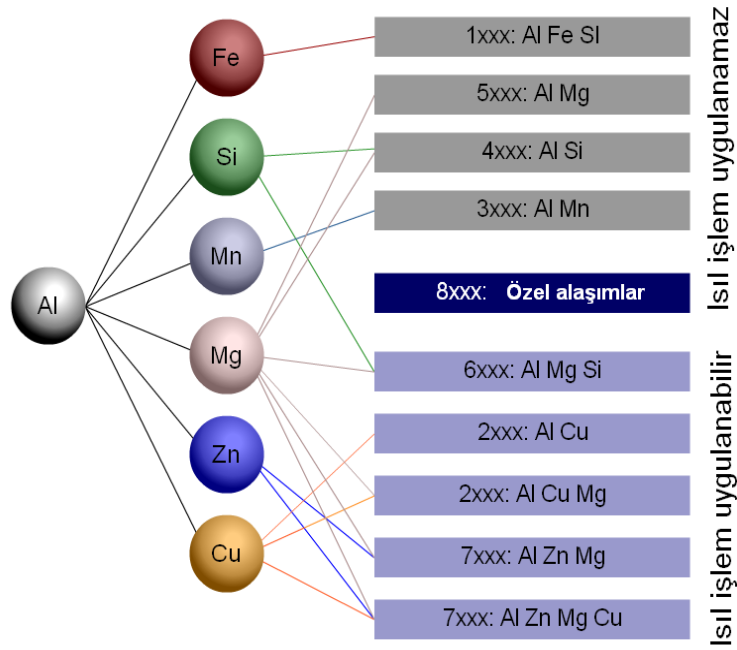
- Çekme mukavemetinin düşüklüğü
- Yüksek ısı genleşme katsayısına sahip olması
- Düşük sıcaklıkta ergimesi
- Ergime noktasında renk değişikliği göstermemesi, fiziksel ve kimyasal özellikleri kaynak kabiliyetini etkilemektedir.
- Ergitmek için çok fazla enerji gereksinimine ihtiyaç duyar [1].

2.3 Alüminyum Serilerinin Alaşım ve Kullanılabilirlik Kabiliyetleri

Alüminyum serileri ve alaşımları Çizelge 2.2 ve Şekil 2.2 'de verilmiştir. Alüminyum alaşımlarının özellikleri ve kullanılabilirlikleri Çizelge 2.3, Çizelge 2.4 ve Şekil 2.2 'te verilmiştir.

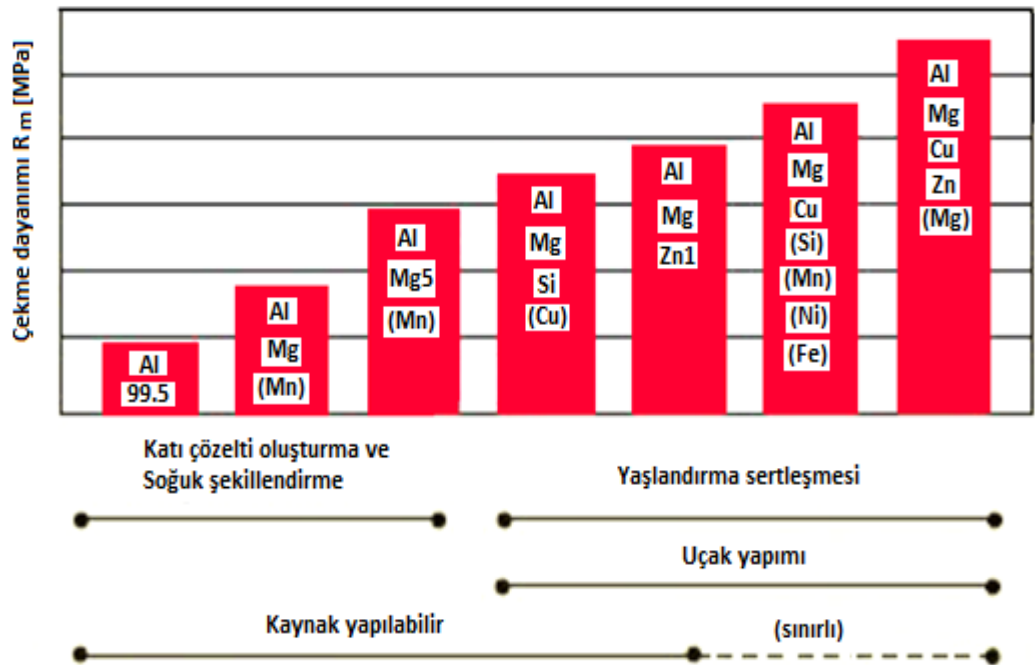
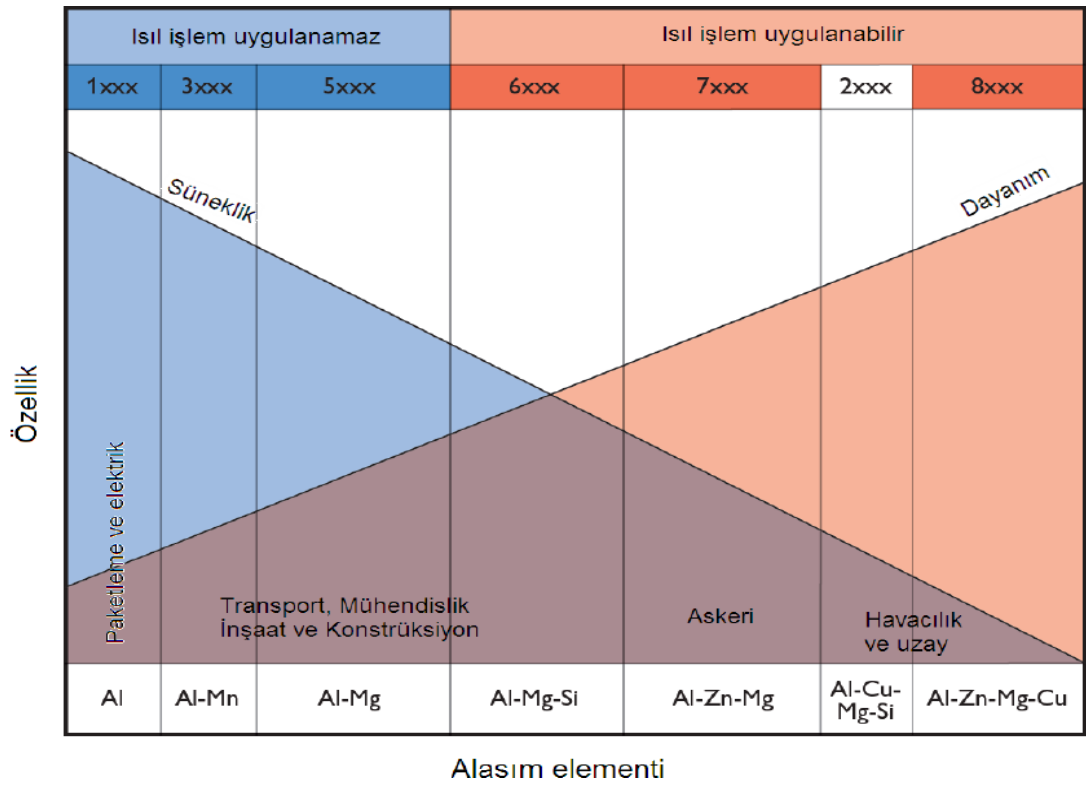
Çizelge 2.2 Al serileri ve alaşımları [1].

1000 Serisi	% 99 ' dan fazla Al içerir
2000 Serisi	Al – Cu alaşımları
3000 Serisi	Al – Mn alaşımları
4000 Serisi	Al –Si alaşımları
5000 Serisi	Al – Mg alaşımları
6000 Serisi	Al – Si – Mg alaşımları
7000 Serisi	Al – Mg – Zn alaşımları



Şekil 2.2 Al alaşımları ve serileri [1].

Çizelge 2.3 Al alaşımları ve özellikleri [1].



Şekil 2.3 Al alaşımları ve kabiliyetleri [1].

2.4 Alüminyumların Serilerinin Genel Özellikleri

2.4.1 1XXX Serisi Alüminyumların Özellikleri

- %99 un üzerinde alüminyum içeren alaşımlar bu gruba aittir.
- Yüksek termik iletkenlikleri ve yüksek yansıtma faktörüne sahiptir.
- Saf Al, soğuk sertleştirilebilir
- Korozyon performansı mükemmeldir.
- Elektrik ve ısı iletkenliği mükemmeldir.
- Zararlı bir etkisi bu malzemelerin sertliği arttıkça mukavemetinin düşmesidir.
- Saf Al kaynağa ve sert lehimlemeye uygundur [1].

2.4.2 2XXX Serisi Alüminyumların Özellikleri

- % 6.3'e kadar Cu ihtiva eder.
- Bu gruba ait malzemeler, en yüksek mukavemete sahip malzeme olarak ön plana çıkarlar.
- AlCuMg alaşımları kaynak için uygun değildir.
- AlCuSiMn alaşımları kaynağa kısıtlı şekilde uygundur.
- AW 2219 Modifikasyonu ise az miktarda Mg içerdiğinden kaynağa çok elverişlidir.
- Yüksek alaşımlarından dolayı en çok tercih edilen uygulama alanları makine ve kalıp imalatı, araç konstrüksiyonu ve havacılık –uzay sanayisidir.
- Uçak gövdesi ve mekanik elemanları, araç gövde panellerinde kullanılmaktadır.
- Kaynak kabiliyeti, alaşıma bağlı olarak kötü ile orta arasındadır [1].

2.4.3 3XXX Serisi Alüminyumların Özellikleri

- 1.2 Mn'ye kadar + Fe (bazı alaşımlarda) ihtiva eder.
- Çok iyi deformasyon (derin çekme kalitesi) kabiliyetleri ve oldukça yüksek dirençleri nedeniyle kullanım alanları arasında çatı ve cephe malzemeleri olarak bina Endüstrisi veya teneke kutuları için ambalaj malzemeleri üretiminde kullanılır.
- Diğer bir uygulama alanı otomotiv sektöründe ısı eşanjörleridir.

- Bu türdeki malzemeler aygıt ve konteyner konstrüksiyonunda ve gıda işleme endüstrisinde uygulanmaktadır.
- 3000 serisi malzemeleri iyi bir şekilde kaynaklanabilir ve sert lehimlenebilir [1].

2.4.4 4XXX Serisi Alüminyumların Özellikleri

- Bu türdeki alaşımlar yoğun olarak dökme malzemesi veya kaynak sarf malzemesi olarak kullanılırlar .
- Diğer önemli nokta Si alaşımının eklenmesi ile önemli miktarda gevrekleştirilmeden erime aralığı daraltılabilir.
- Yüksek sıcaklık parçaları, pistonlar endüstrisinde uygulanmaktadır.
- Yüksek korozyon direncine sahiptir [1].

2.4.5 5XXX Serisi Alüminyumların Özellikleri

- Deniz suyuna karşı mükemmel korozyon dirençleri ve ısıtma işlemi göremeyen alaşımlarda elde edilecek en yüksek mukavemet bağlantılı çok iyi deformasyon davranışları sayesinde neredeyse tüm endüstriyel alanlarda uygulama alanı bulmaktadır.
- Aygıt ve konteyner gemi mühendisliği, silo ve tank imalatı, ticari araç yapıları, demiryolu araçları, bina, basınçlı tanklar, ambalajlar, kalıp tasarımı ve gıda işleme endüstrilerinde kullanılır. Deniz araçları, otomobil ve uçak uygulamaları, Basınçlı kaplar, düşük sıcaklık kapları, iletişim kuleleri, zırhlı plakalar da kullanılır
- Çözültide % 5.1'e kadar Mg ilavesi, deformasyon sertleşmesi hızını artırır
- Mükemmel kaynak kabiliyeti yanı sıra dolgu metali olarakta kullanılır [1].

2.4.6 6XXX Serisi Alüminyumların Özellikleri

6XXX serisi alaşımlar, magnezyum (Mg) ve Silisyum (Si) ihtiva ederler. Bu elementlerin ve içindeki diğer empüritelerin (Fe, Cu, Mn, Zn, gibi) belirli sınırlar içinde farklı değerlerde olmaları, alaşımların kullanılma yerine göre farklı özelliklerde profil üretimini sağlarlar. Demir (Fe) miktarı 0,20 % veya daha düşük olan 6XXX serisi alaşımlarda, profil polisaj yapıldığında parlak yüzey elde edilir. Fe miktarının bu değerden yüksek olması durumunda, profilin rengi grileşmeye başlar, parlaklık

donuklaşır. Mat yüzey elde edilmesi için de Fe miktarı en az 0.18 % olmalıdır. Fe miktarı yükseldikçe o ölçüde mat yüzey elde edilir. Fe miktarının %0.30'dan fazla olması ise eloksal sonrasında donuk bir görünüme neden olacağı gibi, ekstrüzyon prosesini de zorlaştırır.

Mg ve Si miktarlarının, profilin yapay yaşlandırma ısı işlemi (termik) sonrası sertliğinde büyük önemi vardır. Ancak, ısı işlem sonrası maksimum sertlik temini için bu elementlerin üst sınırlarda olması ise, üretimin düşük hız ile yapılmasını gerektirir. Çünkü kullanılan alüminyum kütük (billet) de aynı oranda serttir.

Sonuç olarak, profillerin kullanılma yerine göre, mümkün olduğu ölçüde amaca uygun alaşım ile üretim yapılması faydalıdır [2].

6000 serisi alüminyum alaşımları çekme kabiliyetleri ve yüksek aşınma ve korozyon direnci ile ayırt edilirler. Özellikler bu malzemeler çok karmaşık geometrilere ekstrüde edebilme kabiliyeti gibi bir çok uygulama alanı doğurmaktadır. Kolayca işlenebilen mükemmel dayanımda alaşımlar ve mükemmel korozyon direncine, yüksek kaynak kabiliyetine sahiptir. Saç, levha, ekstrüzyon ürünü olarak bulunmaktadır [1].

2.4.6.1 EN AW - 6005A [AlSiMg(A)]

6005/6005A alüminyum alaşımı orta mukavemete sahip, ısı işlem görebilen ve mükemmel korozyon direnci olan bir alaşımdır. 6005 6061 ve 6081 alaşımları arasında bir özelliğe sahip olduğundan dolayı, bu alaşımların yerine kullanılabilir fakat 6005 'in ekstrüzyon kabiliyeti ve yüzey kalitesi daha iyidir. İnce kalınlıkta veya karmaşık ekstrüzyonla üretim 6005 için zor fakat 6081 'e kıyasla daha kolaydır [3, 4].

a) Kullanım Alanları:

- Mobilyaların iç konstrüksiyonlarında
- Taşınabilir merdivenlerde
- Boru hatları, sütun ve platformlarda
- Tren rayları ve otobüslerin iç iskeletinde [3,4,5].

b) EN 573 – 3’e Göre Kimyasal Bileşimleri:

Çizelge 2.4 EN 573 - 3’e Göre EN AW - 6005A’nin Kimyasal Bileşimi

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Diğer		Al
								Her Biri	Toplam	
0.50 - 0.90	0.35	0.30	0.50	0.40 - 0.70	0.30	0.20	0.10	0.05	0.15	Kalan

c) Fiziksel Özellikler (Yaklaşık 20 °C):

Çizelge 2.5 EN AW - 6005A’nin Fiziksel Özellikleri

Yoğunluk [kg/m ³]	Erime Aralığı [°C]	Elektrik İletkenliği [MS/m]	Isı İletkenliği [W/m.K]	Isıl Genleşme [10 ⁻⁶ /K]	Elastisite Modülü [GPa]	Kayma Modülü [GPa]
2700	585 – 650	26 - 32	180 - 220	23.4	~70	26

2.4.6.2 EN AW - 6060 [AlMgSi0.5]

6060 alüminyum alaşımı orta mukavemete, ısıtılabilir, sertliği 6005A’ ya göre biraz daha az olan bir alüminyum alaşımıdır. Çok iyi korozyon direnci ve iyi kaynaklanabilirliğe sahiptir ve ayrıca T4 sıcaklığında iyi soğuk şekillendirilebilir. Genellikle karmaşık şekilli ve çapraz kesitli yapılarda kullanılır [3, 4].

a) Kullanım Alanları:

- Mobilya ve ofis ekipmanları

- Sulama, ısıtma ve soğutma boruları
- Elektronik modül ve elektromotor gövdeleri
- Esnek montaj sistemleri, özel makine elemanları
- Mimari uygulamalar
- Çerçeve sistemleri, aydınlatma, merdivenler, parmaklıklar, çitler
- Kamyon ve demiryolu araçlarının iç döşemelerinde [3, 4, 5].

b) EN 573 – 3 'e Göre Kimyasal Bileşimleri:

Çizelge 2.6 EN 573 – 3 'e Göre EN AW – 6060'ın Kimyasal Bileşimleri

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Diğer		Al
								Her Biri	Toplam	
0.30	0.10			0.35						
-	-	0.10	0.10	-	0.05	0.15	0.10	0.05	0.15	Kalan
0.60	0.30			0.60						

c) Fiziksel Özellikler (Yaklaşık 20 °C):

Çizelge 2.7 EN AW – 6060'ın Fiziksel Özellikleri

Yoğunluk [gr/cm ³]	Erime Aralığı [°C]	Elektrik İletkenliği [MS/m]	Isı İletkenliği [W/m.K]	Isıl Genleşme [10 ⁻⁶ /K]	Elastisite Modülü [MPa]	Kayma Modülü [MPa]
2.7	585-650	34-38	200-220	23.4	69500	26100

2.4.6.3 EN AW - 6061 [AlMg1SiCu]

6061 alüminyum alaşımı orta mukavemete sahip, ısıtılabilir bir alaşımdır. Kaynak bölgesinde mukavemeti düşmesine rağmen çok iyi kaynaklanabilir ve çok iyi korozyon direncine sahiptir. Orta derece yorulma dayanımı vardır. T4 iyi soğuk şekillendirilebilirken, T6 için şekillendirilebilirlik kısıtlıdır. Çok karmaşık ve çapraz yapıli kesitler için uygun değildir [3, 4].

a) Kullanım Alanları:

- Gemi inşaatı
- Köprüler ve askeri köprüler
- Helikopter dahil havacılık ve uzay uygulamaları
- Boru üretimi
- Kuleler
- Isıya dayanıklı malzemeler
- Kamyon çerçeveleri [3, 4, 5]

b) EN 573 - 3'e Göre Kimyasal Bileşimleri:

Çizelge 2.8 EN 573 - 3'e Göre EN AW – 6061'in Kimyasal Bileşimleri

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Diğer		Al
								Her Biri	Toplam	
0.40	0.70	0.15	0.15	0.80	0.04	0.25	0.15	0.05	0.15	Kalan
-		-		-	-					
0.80		0.40		1.20	0.35					

c) Fiziksel Özellikler (Yaklaşık 20 °C):

Çizelge 2.9 EN AW – 6061’in Fiziksel Özellikler

Yoğunluk [gr/cm ³]	Erime Aralığı [°C]	Elektrik İletkenliği [MS/m]	Isı İletkenliği [W/m.k]	Isıl Genleşme [10 ⁻⁶ /K]	Elastisite Modülü [GPa]	Kayma Modülü [GPa]
2.7	585 – 640	22 – 30	170 - 200	23	~70	26

2.4.6.4 EN AW – 6063 [AlMg0.7Si]

6063 alüminyum alaşımı orta mukavemete sahip genellikle mimaride ve karışık ekstrüzyonda kullanılan bir alaşımdır. İyi yüzey kalitesi yüksek korozyon direnci vardır. Kolayca kaynaklanabilir ve anodize edilebilir. Genellikle T6’da temper halinde, T4’te de iyi şekillendirilebilir [3, 4].

a) Kullanım Alanları:

- Mimari uygulamalar
- Karışık Ekstrüzyon
- Pencere çerçeveleri, kapılar
- Sulama boruları [3, 4, 5].

b) EN 573 - 3’e Göre Kimyasal Bileşimleri:

Çizelge 2.10 EN 573 - 3’e Göre EN AW – 6063’ün Kimyasal Bileşimleri

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Diğer		Al
								Her Biri	Toplam	
0.20 - 0.60	0.35	0.10	0.10	0.45 - 0.90	0.10	0.10	0.10	0.05	0.15	Kalan

c) Fiziksel Özellikler (Yaklaşık 20 °C):

Çizelge 2.11 EN AW – 6063'ün Fiziksel Özellikleri

Yoğunluk [gr/cm ³]	Erime Aralığı [°C]	Elektrik İletkenliği [MS/m]	Isı İletkenliği [W/m.K]	Isıl Genleşme [10 ⁻⁶ /K]	Elastisite Modülü [MPa]	Kayma Modülü [MPa]
2.7	585 – 650	34 – 38	200 - 220	23.4	69500	26100

2.4.6.5 EN AW - 6082 [AlSi1MgMn]

6082 alüminyum alaşımı orta mukavemette mükemmel korozyon direncine sahip bir alaşımdır. 6000 serisi içerisinde en yüksek mukavemete sahip alaşımdır. Genellikle plaka formunda talaşlı üretim için kullanılmaktadır. Günümüzde 6082 alaşımı yüksek mukavemetinden dolayı birçok uygulamada 6061 alaşımının yerini almaya başlamıştır. Bu alaşımla ince et kalınlığında karmaşık ekstrüzyon şekilleri elde etmek zordur. Ekstrüzyon sonucu elde edilen yüzey kalitesi diğer 6000 serisi alaşımlar kadar iyi değildir. T6 VE T651 sıcaklıklarında 6082 iyi talaşlı şekillendirilir [3, 4].

a) Kullanım Alanları:

- Kafesler
- Köprüler
- Vinçler
- Ulaşım uygulamaları
- Hidrolik sistemler
- Bisikletler
- Ağır iş araçları [3, 4, 5]

b) EN 573 - 3'e Göre Kimyasal Bileşimleri:

Çizelge 2.12 EN 573 - 3'e Göre EN AW – 6082'nin Kimyasal Bileşimleri

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Diğer		Al
								Her Biri	Toplam	
0.70 – 1.30	0.50	0.10	0.40 – 1.0	0.60 – 1.20	0.25	0.20	0.10	0.05	0.15	Kalan

c) Fiziksel Özellikler (Yaklaşık 20 °C):

Çizelge 2.13 EN AW – 6082'nin Fiziksel Özellikleri

Yoğunluk [gr/cm ³]	Erime Aralığı [°C]	Elektrik İletkenliği [MS/m]	Isı İletkenliği [W/m.k]	Isıl Genleşme [10 ⁻⁶ /K]	Elastisite Modülü [MPa]	Kayma Modülü [MPa]
2.7	585 – 650	24 - 32	170 - 220	23.4	70000	26400

2.4.6.6 EN AW - 6106 [AlMgSiMn]

6106 alüminyum alaşımı optimum mekanik özellikleri, karmaşık yapıli şekilleri, minimum et kalınlığında iyi bir yüzey alanında dayanıklılığı, kaynaklanabilirliği ve şekillendirilebilirliği sağlamak amacıyla üretilmiş olan 6000 serisi Al alaşımıdır [3,4].

a) Kullanım Alanları:

- Denizcilik uygulamaları
- Otomotiv endüstrisi

- Merdiven, kule ve sütunlar
- Demiryolu araçları [3,4,5].

b) EN 573 - 3'e Göre Kimyasal Bileşimleri:

Çizelge 2.14 EN 573 - 3'e Göre EN AW – 6106'nın Kimyasal Bileşimleri

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Diğer		Al
								Her Biri	Toplam	
0.30	maks.	maks.	0.05	0.45	maks.	maks.	-	maks.	maks.	Kalan
- 0.60	0.35	0.25	- 0.20	- 0.80	0.20	0.10	-	0.05	0.10	

c) Fiziksel Özellikler (Yaklaşık 20 °C):

Çizelge 2.15 EN AW – 6106'nın Fiziksel Özellikleri

Yoğunluk [gr/cm ³]	Erime Aralığı [°C]	Elektrik İletkenliği [MS/m]	Isı İletkenliği [W/m.k]	Isıl Genleşme [10 ⁻⁶ /K]	Elastisite Modülü [GPa]	Kayma Modülü [GPa]
2.7	585 – 650	28 – 34	200 - 220	23.4	~70	26

2.4.7 7XXX Serisi Alüminyum Alaşımları

- En yüksek mukavemet bu alaşımlardan elde edilir, Cu miktarı arttıkça mukavemet artar; ancak Cu miktarı arttıkça kaynaklanabilirlik azalmaktadır.
- 7020 gibi bakır içermeyen orta mukavemetli alaşımlar iyi kaynak edilebilir.
- % 7.6'ya kadar Zn ihtiva eder.
- Bazı modern yüksek dayanımlı alaşımları içerir.
- Gerilmeli korozyon veya folyolanmanın problem olduğu yerlerde kullanılır
- Uçak endüstrisinde kullanılır.
- Cu'lu alaşımlar çökelme ile sertleştirilebilir.
- Alaşım ve yöntemle bağlı olarak kötü'den çok iyiye uzanan kaynak kabiliyeti vardır [1].

2.5 Bor Karbür

Bor karbür, metal olmayan en önemli malzeme grubu (alümina, silisyum karbür, silisyum nitrür, elmas ve kübik bor nitrür) içerisinde yer alıp, elmas ve kübik bor nitrürden sonra en sert 3. malzemedir. Yüksek sıcaklığa dayanımı diğer bor bileşiklerinin sentezlenmesinde ara hammadde özelliğine sahip olmasıdır. İlk olarak 1858'de keşfedilen bor karbür bileşiği, 1883'te Joly ve 1894'te Moissan tarafından hazırlanmış ve sırasıyla B_3C ve B_6C olarak adlandırılmıştır. Günümüzde kullanılan B_4C formülü ise 1934'den itibaren kullanılmaktadır [6].

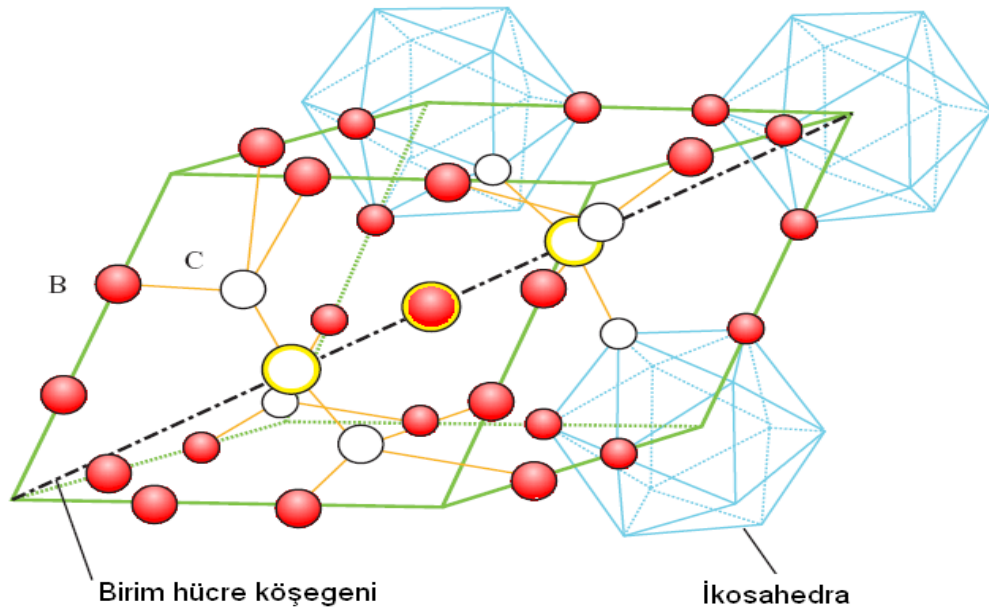
İçerik bakımından yaklaşık %80 oranında bor ihtiva etmesi, bileşiğin yüksek ergime noktasına sahip olması ve yüksek kimyasal ve fiziksel kararlılığından dolayı nötronların absorbe edilmesinde etkin ve ekonomik olarak kullanılmaktadır. Yine içeriğindeki yüksek miktarda bor sayesinde diğer bor bileşiklerini üretmede önemli bir kaynak olarak öne çıkmaktadır. En ilginç ürünler arasında, bor halojenleri veya borlu metaller bulunmaktadır [7]. Bor karbürün genel özellikleri Çizelge 2.16 'de verilmektedir.

Çizelge 2.16 Bor karbürün genel özellikleri [6].

Özellik	Değer
Yoğunluk (g/cm ³)	2.52
Ergime sıcaklığı (°C)	2445
Kristal yapısı	Rombohedral
Sertlik (Knoop 100g) (kg.mm ⁻²)	2900 – 3580
Vickers mikrosertliği (GPa)	31.5
Kırılma tokluğu (MPa.m ^{-1/2})	2.9 - 3.2
Elastisite modülü (GPa)	400 – 450
Kayma modülü (GPa)	186.5
Eğme mukavemeti (MPa) (25°C’de)	345
Çekme mukavemeti (MPa)	155
Elektriksel iletkenlik (25°C’de) (S)	140

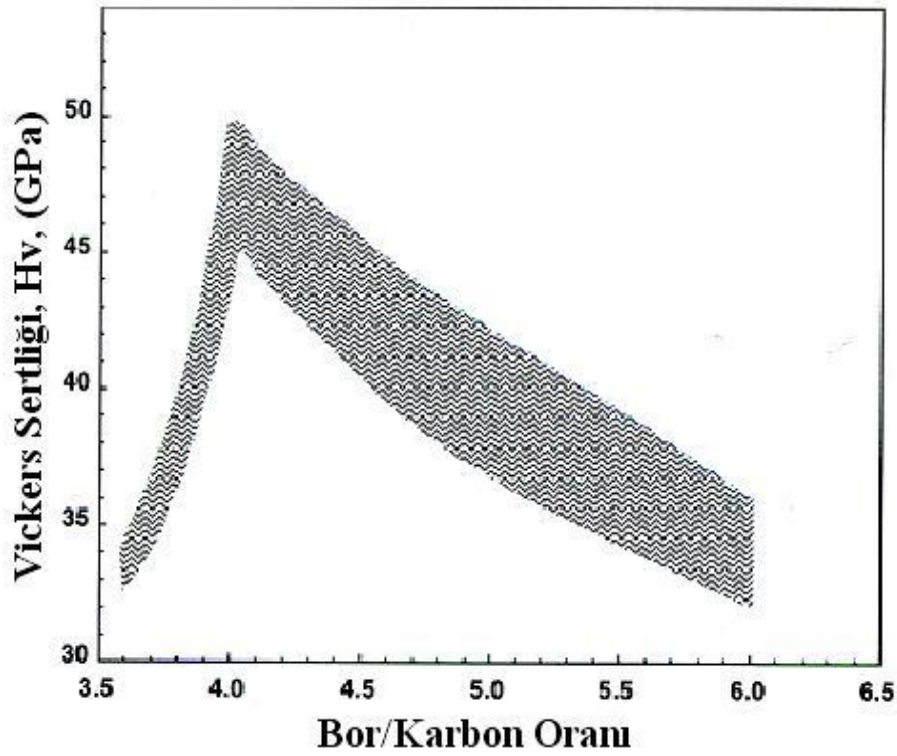
Bor karbürün pek çok bileşim olasılığı mevcuttur. Bunlar;

- Bir karbon atomunun icosahedral yapıda olduğu ($B_{11}C$)CBC kompozisyonu (B_4C 'ye denk gelir)
- Icosahedral yapıda hiçbir karbon atomunun yer almadığı (B_{12})CBC kompozisyonu ($B_{13}C_2$ 'ye denk gelir)
- Zincir yapısında veya boşluk içinde bor atomu ikamesi ile oluşan yüksek bor kompozisyonları



Şekil 2.5 Rhombohedral B_4C birim hücre yapısı [9].

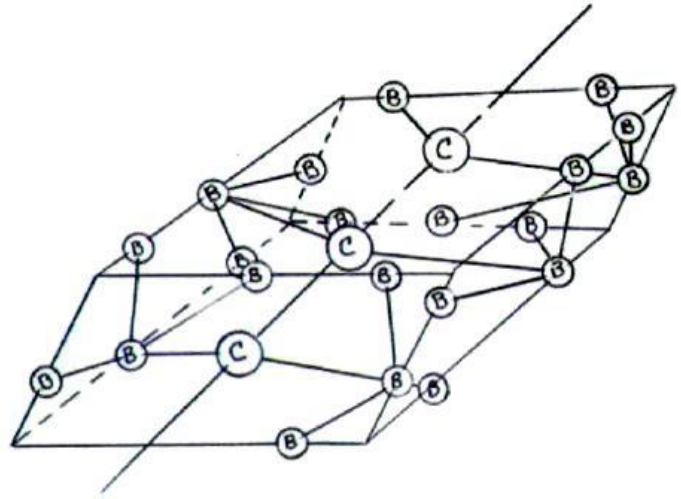
Bor karbür bileşiklerinde yüksek verimin sağlanabilmesi için B/C oranının kontrol edilmesi gerekmektedir. Şekil 2.6'te görüldüğü gibi B/C oranının 4 olduğu durumda sertlik en yüksek değerlere ulaşmış, bor içeriği arttıkça sertlikte düşüş gözlenmiştir. Buna rağmen elektromotor kuvvetinin önemli olduğu durumlarda bor içeriği zengin yapılar tercih edilmelidir [10].



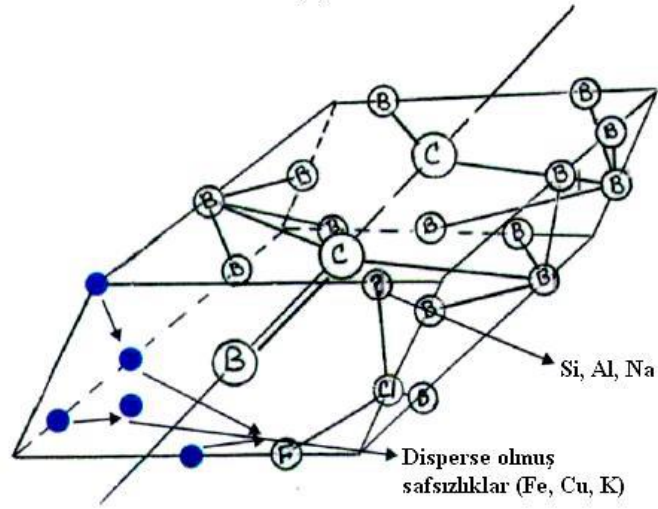
Şekil 2.6 Bor/karbon oranının sertlik üzerinde etkisi [10].

Bor/karbon oranının yanı sıra, hammaddeden gelen safsızlıklar da bor karbür bileşiğinin birim kafes yapısına etki etmektedir. Abramshe, yapmış olduğu çalışmada hammadde bileşiminde 100 ppm ve üzerinde bulunan safsızlıkların bor karbür yapısına olan etkisini incelemiştir. Kullanmış olduğu hammadde harmanında bulunan ve istenmeyen elementlerden olan kalsiyum, mangan, sodyum ve silisyum kristal kafes yapısını genişleterek daha zayıf hale gelmesine neden olmuş, diğer safsızlıkların da bor karbürün sertliğine ve kırılma tokluğuna olumlu bir yönde etki etmediği anlaşılmıştır. Safsızlıklar tane büyümesi sırasında bor karbür bünyesine katılarak kristal yapının genişlemesine neden olmuş ve nihai toz ürününü yapıdaki boşluklara ve porozitelere karşı daha hassas hale getirerek istenilen yoğunluğa sahip zırh üretiminin gerçekleşmesine engel olmuştur [11].

Şekil 2.7 'te bor karbürün kristal yapısı ve safsızlıkların bor karbürün birim hücresindeki dağılımı şematik olarak gösterilmektedir.



(a)



(b)

Şekil 2.7 (a) Safsızlık içermeyen bor karbür kafes yapısı, (b) Safsızlık içeren bor karbür kafes yapısı-mavi noktalar safsızlıkların yapıda boşluk bırakırken izlediği yolu göstermektedir [11].

2.5.2 Bor Karbürün Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri

2.5.2.1 Kimyasal Özellikler

Bilinen en kararlı bileşiklerden biri olan bor karbür, soğuk kimyasal reaktifler ile reaksiyona girmez. Yalnızca HNO_3 , H_2SO_4 ve HClO_4 gibi sıcak oksitleyici asitler ve $\text{HF} - \text{H}_2\text{SO}_4$ ya da $\text{HF} - \text{HNO}_3$ karışımları ile reaksiyona girerken, yüksek sıcaklıkta metal oksitlerle etkileşmesi sonucu karbonmonoksit ve metal borürleri açığa çıkarmaktadır. Bor karbür halürler tarafından aktive edilerek çelik ile diğer bazı alaşımların borlanması kullanılabilir [6]. 3A ve 6A grubunun bazı metalleri, lantanitler ve

aktinitler bor karbürle güçlü bor karbür fazları oluştururken, 4A ve 5A diborürleri bor karbürle reaksiyona girmezler [21].

2.5.2.2 Fiziksel Özellikler

Bor karbürün yoğunluğu, artan karbon miktarı ile birlikte fazların homojenlik aralığı dahilinde lineer olarak artmaktadır. Elektrik iletkenliği sıcaklık ile birlikte artarken, iletim mekanizması küçük ölçekte tekil veya bipolar elektron atlamaları ile açıklanabilir. Karbon içeriğinin artması ile atlama aktivasyon enerjisi (E_h) de artmaktadır.

Bor karbür bilinen en sert malzemelerden biri olup, sertlikte elmas ve kübik bor nitrürün ardından üçüncü sıradadır. Knoop mikrosertlik değerinin, artan karbon miktarı ile artış gösterdiği bilinmektedir. Bununla birlikte statik indentasyon ölçümleri, sertliğin artan sıcaklıkla birlikte sürekli bir düşüşe geçtiğini göstermektedir. Bor karbür, yüksek mukavemet ve sertlik değerlerinden ötürü aşınma direnci bakımından ise elmasın ardından ikinci sıradadır. Bor karbürün mukavemet değerleri homojen karbür fazının içerdiği karbon miktarına bağlıdır. Sıcaklık ve karbür stokiometrisine de bağlı olan mukavemet değeri, ufak miktarda bor ilavesi ile serbest grafitin elimine edilmesi ile de artırılabilir. Bor karbürün elastisite modülü genellikle stokiometriye bağlı olup, bor miktarının artması ile azalma gösterir [6].

2.5.3 Bor Karbürün Yapısal Özellikleri

2.5.3.1 Sertlik

Literatürde verilen bor karbür bileşikleri için değer aralığı 20GPa'dan 78GPa'a kadar değişiklik göstermektedir, fakat bor karbür bileşiği için genel kabul görmüş Vickers sertliği 32GPa dır [12].

Elmas ve kübik bor nitrürden sonra gelen bor karbür en sert malzemedir. Karbon miktarının sertliğe olan etkileri ile ilgili bir çok tez bulunmaktadır. Yüksek sıcaklık sertlik ölçümlerinde 1300 °C 'ye kadar olan sıcaklıklar için sertlikte herhangi bir azalma tespit edilememiştir. Basıncsız şartlar altında sinterlenmiş numunelerde sertlik ölçümleri 200 g yük ile yapıldığında ölçümler 25,5 GPa sertliğindeyken sıcak pres ile yapılan ölçümlerde sertliğin 29 GPa olduğu gözlenmiştir [13].

2.5.3.2 Aşınma Direnci

B₄C yüksek sertliğinden dolayı yüksek aşınma direncine sahiptir. Relatif skalanın en üstünde yer alan elmasla mukayese edildiğinde elmasın aşınma direncinin 0,613 B₄C 'ün ise aşınma direncinin 0.422 olduğu ve SiC 0,314 ile aynı skalada olduğu gözlenmektedir [12].

2.5.3.3 Yoğunluk

B₄C 'ün yoğunluğu 2,52 g/cm³ tür. Yapıdaki bor miktarının artması ile yoğunlukta bir azalma gözlenmesi elementel bor atom ağırlığının karbon atom ağırlığına göre daha küçük olması sebebiyle beklenen bir durumdur. Bilinen bir stokiometrik yapı için ölçülen yoğunlukların teorik değerlerden fazla olması yapıda empürite olarak demir, alüminyum gibi daha ağır metallerin bulunduğunu göstermektedir [12].

2.5.3.4 Elektriksel Direnç

Oda sıcaklığında gözlenen elektrik direnci 0,1-10 ohmxcm 'dir. Oda sıcaklığında 10 ohmxcm elektriksel direnç gösteren saf bor karbürün direnci 1600 °C civarında 0,2 ohmxcm değerine kadar bir düşüş gözlenir. Yoğunluk ve diğer özelliklere benzer şekilde elektriksel iletkenlikte bor/karbon oranına bağlı olarak değişiklik göstermektedir [12].

2.5.3.5 Mekanik Özellikler

Yüksek sertliği ve ergime noktasının yanı sıra bor karbürün mekanik özellikleri de oldukça önemlidir. Özellikle mukavemet/yoğunluk oranı göz önüne alındığında B₄C ideal bir malzemedir. Kristal yapıdaki atomların kuvvetli kovalent bağlarla birbirine bağlı olması yüksek mukavemet göstergesidir. Karışıma yapılan az miktardaki bor ilavesi mikroyapıdaki serbest karbonu elimine ederek mukavemette artışa sebep olur. Sıcak preslenmiş numuneler 300-500 MPa arasında eğme mukavemeti gösterirken, sinterleme sonrası HIP işlemine maruz bırakılmış numunelerde ise bu değer 150-350 MPa aralığına karşılık gelmektedir.

Yüksek sıcaklıklarda sertliğin düşmesine paralel olarak mukavemette de azot gazı altında 1500 °C 'ye kadar herhangi bir azalma gözlenemez. Öte yandan 600-1000 °C 'ye

kadar yapılan eğme deneyleri B_4C 'nin oksitlenmesine bağlı olarak mukavemetinin azalmasına yol açmaktadır. Yapıya Si ve Al katkıları yapılması oksitlenmenin önüne geçerek havadaki yüksek sıcaklık mukavemet değerinin iyileştirilmesine yardımcı olur [12].

2.5.4 B_4C 'ün Üretim Yöntemleri

B_4C 'ün literatürde yer alan çeşitli üretim yöntemleri vardır. Ticari B_4C üretimi karbotermik yöntemle, B_2O_3 ve karbon kullanılarak elektrik ark fırınında yapılmaktadır. Bunun dışında SHS yöntemini takiben asitte çözündürme, element halinde bor ve karbon tozunun reaksiyonu, bor halojenürlerin hidrojen ve hidrokarbonlarla reaksiyonu kullanılarak da B_4C üretiminin mümkün olduğu literatür'de verilmiştir [15, 16].

2.5.4.1 Karbotermik Yöntemle B_4C Üretimi

Karbotermik redüksiyon; karbür, borür veya nitrür seramik tozlarının üretiminde kullanılan bir üretim yöntemidir. Karbürler karbon ve metal oksit arasında gerçekleştirilen reaksiyon sonucu üretilirler. Borürlerin sentezi için metal oksit ve karbonun yanı sıra bor kaynağı olarak elementel bor veya bor içeren bir karbon kaynağı kullanılması gereklidir. Nitrürlerin üretimi ise azot gazı veya azot gazı içeren hammaddeler ile yapılmaktadır. Bütün karbotermal redüksiyon reaksiyonları yan ürün olarak CO gazı açığa çıkaran, çok enerji gerektiren endotermik oluşumlar olmakla beraber, termodinamik olarak redüksiyonun gerçekleşmesi yüksek sıcaklıklarda mümkün olmaktadır [15,16].

2.5.4.2 Endüstriyel Karbotermik B_4C Üretimi

Endüstriyel yöntemle bor karbür üretimi, bor oksit ve karbon karışımından oluşan yığının elektrik ark veya direnç fırını kullanılarak B_4C ergime sıcaklığına yakın bir sıcaklıkta karbotermik redüksiyonu şeklinde gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemle elde edilen elde edilen ürünler kaba taneli homojen olmayan yapıdadır. Ürünler daha sonra kırma ve öğütme işlemlerine tabi tutularak karbon içeriği fazla B_4C tozu elde edilir. Ticari B_4C tozları milimetre ile mikrometre arasında değişen geniş bir tane boyutuna sahiptirler [17].

2.5.4.3 Yüksek Sıcaklık Fırını ve Grafit Dirençli Fırın Uygulamaları

Literatürde yer alan yüksek sıcaklık fırını ve grafit dirençli fırın uygulamalarına bakıldığında genellikle kullanılan bor bileşiğinin bor oksit olduğunu bununla birlikte borik asit bileşiğinin kullanıldığı çalışmalar da mevcuttur.

1989 yılında, Rafaniello ve Moore' un yapmış oldukları çalışmada grafit rezistanslı fırın kullanarak borik asit ve karbon karışımından bor karbür elde etmişlerdir [15,18].

2.5.4.4 SHS Yöntemi ile B₄C Üretimi

Kendiliğinden ilerleyen yüksek sıcaklık sentezi, diğer adı yanma sentezi, ileri teknoloji seramikleri ve intermetalik malzemelerin üretiminde kullanılan basit bir yöntemdir. Yöntemin işleyişi, tetikleme ile aşırı ekzotermik reaksiyonun kendiliğinden başlaması ve bir dalga şeklinde reaksiyon karışımı üzerinde kendiliğinden ilerlemesi şeklinde olmaktadır. Bu olayların olabilmesi için reaksiyonun kısmen yüksek aktivasyon enerjisi olmalı ve aşırı yüksek ısı üretmelidir [15,19].

2.5.4.5 Gaz Fazında Sentezleme Yöntemi ile B₄C Üretimi

Gaz fazında sentezleme yöntemi hem ince taneli tozların üretimi hem de ince film oluşturmak için kullanılan bir yöntemdir. Katı ve sıvı faz sentezleme yöntemleri gibi karmaşık önlemlerin gerektirmediği bu yöntem kullanılarak yüksek verimde yüksek safiyette ürünler üretilebilmektedir. Termal aerosol, lazer veya plazma tipi reaktörler kullanılarak gerçekleşen toz üretimi reaksiyonları çok hızlı ve saniyeler içerisinde gerçekleşmektedir [15,20].

Aerosol üretim prosesi ile katı-katı reaksiyonları çok daha hızlı gerçekleşmektedir. Bununla birlikte bu işlem sonunda yüksek verimle yüksek safiyette ürünler elde edilebilmektedir. Yüksek safiyette B₄C 'ün gaz fazında üretilmesi lazer ateşlemesi ve radyo frekansı ile ısıtılan gazları kullanılarak başarılı olunmuştur [15,20].

2.5.5 Bor Karbür Kullanım Alanları

- Refrakter endüstrisinde antioksidan olarak,
- Nükleer reaktörlerde kontrol çubuklarında, radyasyondan koruyucu duvarlarında,
- Lepleme sanayiinde aşındırıcı olarak,
- Tel haddelerinde kılavuz olarak,
- Ekstrüzyon kalıplarında,
- Metal matrisli kompozitlerde, düşük yoğunluklu sermetlerde, alüminyum matristi kompozitlerde,
- Katı füze yakıtlarında
- Yüzey borlama reaktiflerinde
- Diğer borürlerin (TiB_2 , SiB_2 , MoB_2 v.b.) üretiminde kullanılmaktadır [22].

2.6 Kompozit Malzemeler

2.6.1 Kompozit Malzemeler ve Sınıflandırılması

Kompozit malzemeler iki veya daha fazla malzemenin makroskobik düzeyde bileşimi şeklinde tanımlanabilir. Farklı özelliklere sahip iki ya da daha fazla malzemenin, aralarında fark edilebilir bir ara yüzey bulunan ve bu malzemelerin makroskobik kombinasyonu sonucu, orijinal malzemelerde elde edilemeyen yeni bir özelliği elde etmek için kompozit malzemeler üretilir. Kompozit malzemelerin mühendislik uygulamalarında seçilmesinin en önemli nedeni diğer malzemelere göre daha üstün olan mukavemet, yüksek sıcaklık performansı, korozyon direnci, sertlik ve iletkenlikten oluşan özelliklerin bulunmasıdır. Genel anlamda son ürün olan kompozit malzeme, kendisini oluşturan malzemelerin tek başlarına gösterdikleri yapısal davranışlardan daha iyi sonuçlar gösterir [23,24].

Mekanik ve fiziksel özellikleri yönünden her bir bileşenine göre daha üstün olan yarı homojen yapıdaki malzemelerdir. Örneğin metal matrisli kompozitler (MMK), istenen özellikleri sağlamak üzere en az biri metal olan iki veya daha farklı malzemenin sistematik birleşimiyle elde edilen yeni malzemelerdir [23,24,25].

Genel olarak kompozit malzemeler seramik matrisli kompozitler (SMK), metal matrisli kompozitler (MMK), polimer matrisli kompozitler (PMK), karbon-karbon kompozitler (KKK) ve intermetalik kompozitler (IMC) olarak sınıflandırılabilirler [23,26,27].

2.6.1.1 Seramik Matrisli Kompozitler (SMK)

Seramik malzemeler, yüksek sıcaklıklara dayanıklılık, kimyasal kararlılık, sertlik, erozyon ve aşınmaya karşı direnç ve hafiflik gibi avantajlarından dolayı yüksek sıcaklık gerektiren uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, seramik malzemelerin gevrek olmaları nedeniyle mekanik yüklere maruz kaldıklarında düşük tokluk gösterdiklerinden çeşitli alanlarda kullanılmaları sınırlıdır. Bu durumun telafisi seramik matris yapının içerisine çeşitli takviye elemanları katılarak kompozit malzemelerin üretilmesiyle çözülebilmektedir. Fiber takviyeli kompozit malzemelerde gevrek yapılı seramik matrisin yüksek mukavemete sahip fiberlerle desteklenmesi sonucu yüke maruz kaldığında, çatlak oluşumu ve ilerlemesi ile meydana gelebilecek ani hasarların önlenerek zaman kazanılması sağlanarak tokluk artırılmaktadır. Yapılan araştırmalar sonucunda takviyesiz malzemelerin belirli gerilme değerlerinden sonra direkt hasara uğramasına karşın, fiber takviyeli kompozitlerde malzeme içerisinde bulunan fiberlerin tamamıyla kırılmadan önce çoklu matris kırılmaları, çatlakların geri yansması, köprülemesi ve ara yüzey bağının gevşemesinden sonra gerçekleştiği görülmüştür. Malzemenin tamamen hasara uğraması bahsedilen mekanizmalar sonrasında kompozit malzemenin ani kırılması önlenerek gevrek malzemenin tokluğu artırılmaktadır [23,28]. Seramik matrisli kompozitler yüksek sıcaklık dayanımları, düşük yoğunluk değerleri ile süper alaşımlara göre de daha avantajlı malzemelerdir [23,27].

2.6.1.2 Metal Matrisli Kompozitler (MMK)

Metal alaşımlarının fiber, visker ya da partiküller ile güçlendirilmesiyle oluşan kompozitlerdir. Matris malzemesinin metal olması nedeniyle polimer matrisli kompozitlere (PMK) göre daha yüksek sıcaklıklarda kullanılabilirler ancak ağırlıkları PMK'lere göre daha fazladır. PMK'lere göre daha yüksek çekme mukavemeti ve kayma modülü değerlerine sahiptirler. Boyut kararlılıkları, yüksek ergime noktaları, yüksek süneklik ve tokluk değerleri, iyi yüksek sıcaklık ve ısı kararlılık özellikleri, kaynak ve

diğer yöntemlerle kolaylıkla birleştirilebilme özellikleri metal matrisli kompozitlerin diğer avantajları olarak sıralanabilir. MMK malzemeler uçaklarda gövde ve iç donanım parçaları, kompresör kanatları, türbin kanatları, otomotiv, elektrik ve tıp alanlarında kullanılmaktadırlar [23,27].

2.6.1.3 Polimer Matrisli Kompozitler (PMK)

Polimer matrisli kompozitler (PMK), kompozit malzemeler arasında önemli bir yer teşkil etmektedir. Büyük ve kompleks şekillerde üretilebilmektedirler ve uzay uygulamaları, ticari alanlar gibi pek çok kullanım alanı vardır. Karbon ya da bor esaslı fiberlerin organik polimer matris tarafından çevrelenmesi ile meydana gelirler. Yapı içerisinde bulunan fiberler yüksek mukavemet ve elastisite modülü sağlarken, matris yükü dağıtır, korozyon direnci sağlar. Kompozitin mukavemeti yapı içerisinde bulunan fiber mukavemeti ile doğru orantılıdır. Yüksek elastisite modülüne sahip organik fiberler basit polimer moleküllerinin üretim esnasında düzgün olarak dizilmeleri ile meydana gelmektedir. Fiber üretiminde temel amaç rijitliğin (stiffness) optimizasyonu ve fiber mukavemetinin sağlanmasıdır [23,27].

2.6.1.4 Karbon-Karbon Kompozitler (KKK)

Karbon matris kompozitleri (karbon-karbon kompozitleri) karbonun ileri formlarından biridir. Karbon fiber takviyesi ile karbon matrisin mukavemeti, tokluğu, ısıl şok dayanımı artar. Karbon matris kompozitleri düşük yoğunluklu karbon fiber malzemeler arasında spesifik mukavemet (mukavemet/yoğunluk), spesifik modül (modül/yoğunluk), spesifik ısıl iletkenlik (iletkenlik/yoğunluk) açısından özellikleri en iyi olan malzemelerden biridir. Ayrıca ısıl genleşme katsayısı sıfıra yakındır [23,29]. Karbon-karbon kompozitlerin dezavantajı üretim maliyetinin yüksek, oksidasyon direncinin az ve düşük tabakalar arası özelliklere sahip olmasıdır (özellikle kumaş fiberler). Bu nedenle de matris ve fiberin birleştirilmesini zorlaştırır [23,29].

2.6.1.5 İntermetalik Kompozitler (İMK)

Yüksek sıcaklık uygulamaları için üstün özelliklere sahip malzemelere olan ihtiyaç, yeni malzemeler geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Üstün mekanik ve mikroyapı özelliklerine ilaveten ağır çevre şartlarına karşı dayanım gereksinimi hızla artmaktadır. Bu nedenlerden dolayı araştırmalar, alışlagelmiş metal ve alaşımlardan intermetalik bileşikler ve bunların kompozit uygulamalarına kaymıştır. İntermetalik kompozitler (İMK), seramik matrisli kompozitlerin sert ve kırılgan yapılarından kaynaklanan düşük sıcaklıklardaki tokluğunu, metal matrisli kompozitlerin de yüksek sıcaklıklardaki düşük mukavemet özelliklerini artırmak amacıyla geliştirilmektedir. İMK'lerin üretim yöntemleri maliyetin ön planda olduğu durumlarda kısa fiber veya partikül takviyesiyle, maliyetin önemsiz olduğu havacılık ve uzay endüstrisindeki uygulamalarda ise sürekli fiber takviyesiyle yapılmaktadır [23,30].

2.6.2 Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri

Kompozit malzemelerin geleneksel malzemelere oranla sahip oldukları üstün özellikleri, son yıllarda üretim teknikleri üzerine daha yoğun çalışmalar yapılmasına yol açmıştır. Üretim yöntemleri matris ve takviye malzemesine, parça şekline ve istenilen ürün özelliklerine göre farklılık göstermektedir. Üretim yöntemlerini en genel şekliyle sıvı faz ve katı faz üretim teknikleri olarak sınıflandırmak mümkündür [23,31]. Kompozit üretim yöntemlerini sıvı metal emdirilmesi (infiltrasyon), sıkıştırılmalı veya sıvı dövme döküm tekniği, basınçlı veya basınçsız infiltrasyon, difüzyon bağlama ve presleme, sıvı metal karıştırması, yarı katı karıştırma, plazma püskürtme, toz metalurjisi tekniği ve sinterleme olarak sıralamak mümkündür [23,31].

2.7 Sinterleme

Sinterleme, birbirine temas eden parçacıkların ergime sıcaklığının $2/3$ 'ünün altındaki sıcaklıklarda bağlanmasını ve böylece sıkılaştırılmış tanecikler arasındaki porların azaltılmasını sağlar. Bu durumda, ergime sıcaklığının altında katı halde atom hareketleri ile oluşabilir. Bazı durumlarda da sıvı faz oluşumu ile birlikte gerçekleşir. Mikroyapı ölçeğinde, bağlanma temas eden parçacıklar arasında boyun oluşumu ile kendini gösterir [23, 32].

Seramik tozlarının sinterlenmesi esnasında başlangıç partikülleri arasındaki porlar kapanarak birbirine yakın taneler arasında güçlü bir bağlanma oluşur. Buna bağlı olarak da malzemede boyutça çekilme meydana gelir. Sinterlemede yoğunlaşma için itici güç serbest enerji değişimi, katı-gaz ara yüzeylerinin eliminasyonu sonucu yüzey enerjisinin azalmasıdır. Mikroskobik boyutlarda malzeme transferi eğik yüzeylerdeki serbest enerji değişimi ve basınç farklılıkları sonucu gerçekleşmektedir [23,34].

2.7.1 Sinterleme Aşamaları

Sinterleme genellikle partiküllerin birleşmesi ve porozitenin yok olması gibi fiziksel değişimlerin sırasıyla gerçekleşmesi ile meydana gelmektedir. Sinterleme aşamaları ve bu aşamalarda gerçekleşen önemli fiziksel değişimler Çizelge 2.17 'de verilmiştir [23,34]. Başlangıç aşamasında, partiküllerin hareketi ile birbirine yakın taneler arasındaki temas noktaları artar ve bu şekilde boyun oluşumu sağlanır. Temas noktalarında yüzey enerjisi daha yüksek olduğu için bu bölgelerde malzeme taşınımı daha kolay gerçekleşmektedir [23,34,35].

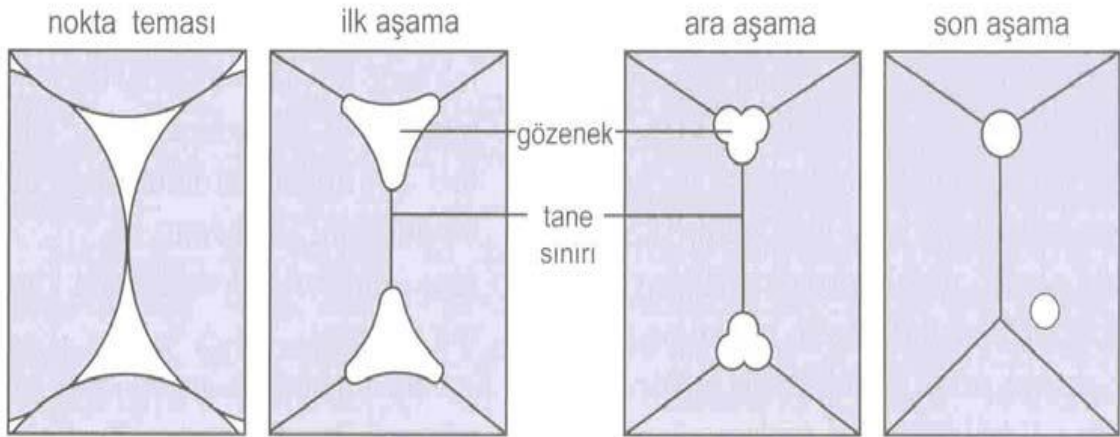
Çizelge 2.17 Sinterleme aşamaları ve bu aşamalar esnasında meydana gelen fiziksel değişimler [23, 34].

Sinterleme Aşamaları	Fiziksel Değişimler
1.Aşama (Başlangıç Aşaması)	Partiküllerin yeniden düzenlenmesi
	Partiküller arası boyun oluşumu
2.Aşama (Ara Aşama)	Boyun bölgesinin gelişimi
	Tane büyümesi
	Yüksek oranda çekilme
	Devamlı porların oluşumu
3.Aşama (Son Aşama)	Tane büyümesinin devam etmesi
	Devamsız porların oluşumu
	Tane sınırı porlarının eliminasyonu

Sinterlemenin ikinci aşaması ara aşama olarak adlandırılmaktadır. Bu aşamada, daha önce partiküller arasında oluşan boyun bölgelerinde ve boyutlarında artış meydana gelmekte, porozite azalmakta ve partiküller birbirlerine daha da yakınlaşmaktadır. Bu

da malzemede azalan porozite miktarı ile doğru orantılı olarak çekilmenin artmasına neden olmaktadır. Genellikle sinterleme esnasında en çok çekilme görülen aşama bu aşamadır [23,34,35]. Üçüncü aşama porların tamamen kapanması ve tane büyümesi ile ilgilidir. Bu aşamada, partiküller arasında kalan porlar, tane sınırındaki difüzyon ile kapanmaktadır. Tane sınırlarının hareketi ve kontrollü tane büyümesi porların kapanmasına yardım etmektedir. Eğer tane büyümesi çok hızlı gerçekleşirse tane sınırları daha çabuk hareket etmekte ve taneler arasında izole olmuş porlar kalmaktadır. Tane büyümesinin devam etmesi durumunda, porların eliminasyonu, porlar tane sınırından uzaklaşacağı için imkansız olacaktır [23,34,35].

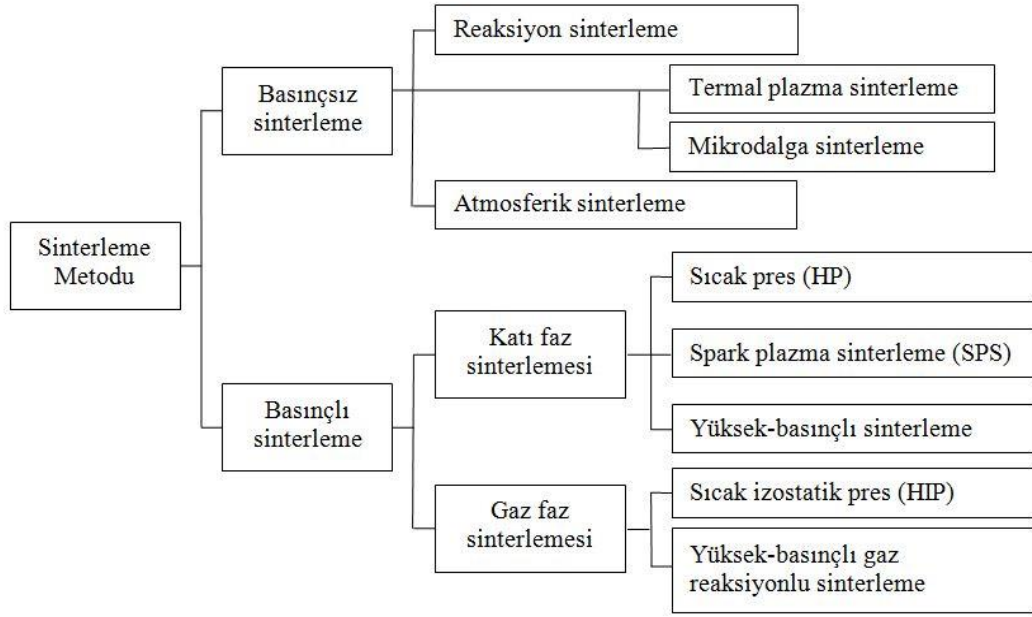
İyi bir sinterleme için, hızlı tane büyümesi aşamaları da dahil, gözeneklerin tane sınırı ile bağlantılı olması gerekmektedir. Sinterleme esnasında gözenek hacmi azalır ve gözenekler düzgünleşir. Gözenek küreselleşmesi meydana gelirken gözeneklerin yerini tane sınırları alır. Sinterleme esnasında gözenek yapısındaki değişikliklerin kavramsal gösterimi Şekil 2.8’de verilmiştir.



Şekil 2.8 Gözenek yapısı değişiminin şematik gösterimi [23, 32].

2.7.2 Sinterleme Mekanizmaları

Sinterleme farklı yöntemler (Şekil 2.9) kullanılarak birçok farklı mekanizma ile meydana gelmektedir (Çizelge 2.18). Her mekanizma tek başına veya birbiri ile birlikte yoğun yapı oluşumunu (yoğunlaşma veya densifikasyon) sağlayabilir [23, 33].



Şekil 2.9 Toz sinterleme proseslerinin sınıflandırılması [35]

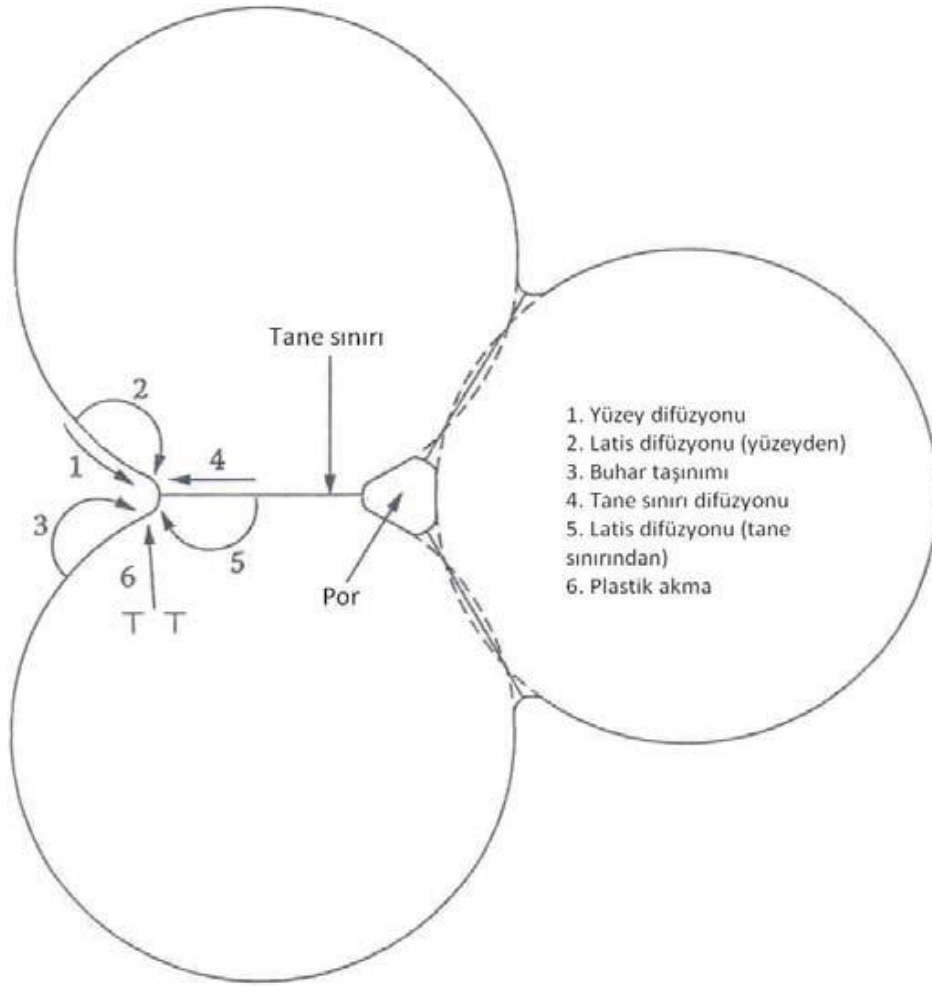
Çizelge 2.18 Sinterleme mekanizmaları [23,33]

Sinterleme Türü	Malzeme Taşınım Mekanizması	Sinterleme için İtici Güç
Gaz faz sinterlemesi	Buharlaştırma-Yoğunlaşma	Buhar basıncı farklılığı
Katı hal sinterlemesi	Difüzyon	Serbest enerji ve/veya kimyasal potansiyeldeki değişim
Sıvı faz sinterlemesi	Viskoz akış, difüzyon	Kapiler basınç, yüzey gerilimi
Reaktif sıvı sinterlemesi	Viskoz akış, çözelti-çökeltme	Kapiler basınç, yüzey gerilimi

Seramik malzemelerin veya kompozitlerin üretim süreçleri esnasında mikro yapının kontrol edilmesi istenen özelliklerin elde edilmesinde önem taşımaktadır. Seramik üretimi komplekstir ve bazı faktörlerden etkilenmektedir. Bu faktörler sıcaklık, basınç, atmosfer, süre gibi üretim koşulları ve saflık, tane boyut dağılımı, tane şekli, yüzey alanı gibi kullanılan hammadde özellikleri olmak üzere iki ana grupta toplanabilir [23,34].

Temel olarak seramiklerin sinterlenmesinde üç itici güç vardır. Bunlar partiküllerin şekli, boyutu, yüzey serbest enerjisi, dışarıdan uygulanan basınç ve gerçekleşen kimyasal reaksiyonlardır [23,36].

Seramikleri de içine alan çok kristalli malzemelerin sinterlenmesi temel olarak altı farklı mekanizma ile kontrol edilmektedir. Bu mekanizmalar birbirine temas eden üç tane için şematik olarak Şekil 2.10 'te verilmektedir.



Şekil 2.10 Çok kristalli malzemelerin sinterlenme mekanizmaları [23,36].

Bu altı mekanizmadan tümünde partiküller arası boyun oluşumu ve bağlanması görülmektedir. Böylelikle sinterleme esnasında toz kompaktının mukavemeti artmaktadır. Bu mekanizmalardan 1, 2 ve 3 ile gösterilen yüzey difüzyonu, yüzeyden boyun bölgesine latis difüzyonu ve buhar fazı taşınımında, yoğunlaşma (densifikasyon) olmadan boyun oluşumu gerçekleşmektedir. Tane sınırı difüzyonu ve tane sınırından porlara gerçekleşen latis difüzyonu (4 ve 5), çok kristalli seramiklerin sinterlenmesinde

en önemli yoğunlaşma mekanizmalarıdır. Dislokasyon hareketi ile gerçekleşen plastik akma (6) boyun oluşumu ve yoğunlaşma ile sonuçlanır ancak bu mekanizma genellikle metallerin sinterlenmesinde etkindir. 1, 2 ve 3 ile gösterilen yoğunlaşmanın gerçekleşmediği mekanizmalar sinterleme esnasında ihmal edilemezler. Bu mekanizmalar etkin olduğunda, sinterleme için itici güçlerden biri olan boyun bölgesi yüzeyinin eğriliği azalır ve yoğunlaşma hızı düşer [23, 36].

Sinterlemenin başlangıç aşamasında tane büyümesi yüzey difüzyonu ile gerçekleşir. Yüksek sıcaklıklarda tane sınırı difüzyonu, yüzey difüzyonundan daha etkin hale gelir ve tane büyümesine katkıda bulunur. Bu nedenle sinterlemenin son aşamasında hızlı tane büyümesi meydana gelmektedir. Nano boyutlu tozların sinterlenmesi esnasında yüzey difüzyonunun densifikasyona etkisi daha fazladır. Nano boyutlu partiküllerin sahip oldukları geniş yüzey alanı (yüksek yüzey serbest enerjisine ve sinterleme için yüksek itici güce sahip olduğundan) sinterleme esnasında tane/por yapısının oluşmasında önemli bir rol oynamaktadır. Seramiklerin sinterlenmesi esnasında porlar kapanır ve taneler yüzey difüzyonu, tane sınırı difüzyonu ve latis difüzyonu ile büyür [23,37].

2.7.2.1 Katı Hal Sinterlemesi

Sinterlemenin itici gücü yüzey enerjisinin azaltılmasıdır. Rastgele atom hareketleri sırasında, atomlar mikro yapıdaki boşlukları doldurur. Kavisli yüzeylerin atom yerleşmeleri üzerine etkisini göstermenin bir yolu gerilmeyi incelemektir. Laplace eşitliği (Eşitlik 2.1) kavisli yüzey ile ilgili gerilmeyi (σ) verir [23,32].

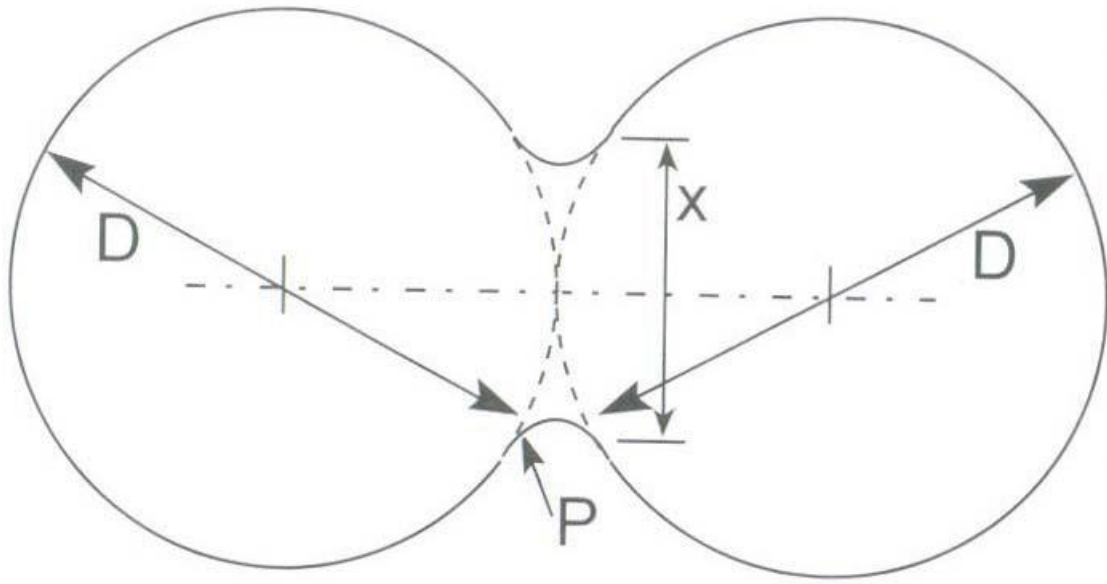
$$\sigma = \gamma / (1/R1 + 1/R2) \quad (2.1)$$

Bu denklemde γ yüzey serbest enerjisi, R1 tanenin ve R2 boyun bölgesinin temel yarıçaplarıdır. Düz bir yüzeyde gerilme yoktur. Sinterleme esnasında iç bükey yüzeyler basma gerilmesi altında, dış bükey yüzeyler ise çekme gerilmesi altındadır. $R1 > R2$ olduğundan, büyük eğrilik yarıçapına sahip bölgeden küçük eğrilik yarıçapına sahip bölgeye doğru malzeme taşınımı söz konusudur [23,32].

Sinterleme esnasında oluşan boyun bölgesinde de bir gerilme gradyanı vardır. Küçük bir boyunda gradyan büyük olabilir. Parçacık boyutundan çok küçük olan boyunda dış bükey bölgeden iç bükey bölgeye kütle taşınımı için itici güç oluşturan gerilme gradyanı

oluşur. Bunun sonucu olarak, küçük parçacıklar daha düşük sıcaklıklarda sinterlenir. Küçük parçacıklarda boyun bölgesinin doldurulması için daha az sayıda atom gerekir. Atomların hareket mesafesi daha kısadır ve gerilme daha büyüktür. Bunun doğal sonucu olarak küçük boyutlu parçacıklar daha hızlı sinterlenir [23,32].

Sinterleme sırasında atom hareketi görülmez ancak hacim değişimleri meydana geldiğinden, sinterleme işlemi genelde bu değişimler ile izlenir. Boyun büyümesi bunlardan bir tanesidir. Sinterlemenin temel ölçülerinden biri Şekil 2.11 'te tanımlandığı gibi boyun büyüklük oranıdır. Boyun çapı X , parçacık çapı D ve boyunun dairesel profilinin yarıçapı P 'dir. Sinterleme esnasında yüzey alanı hızla azalır ve $\Delta S/S_0$ (yüzey alanındaki değişimin başlangıç alanına oranı) boyutsuz parametresi ile izlenir.

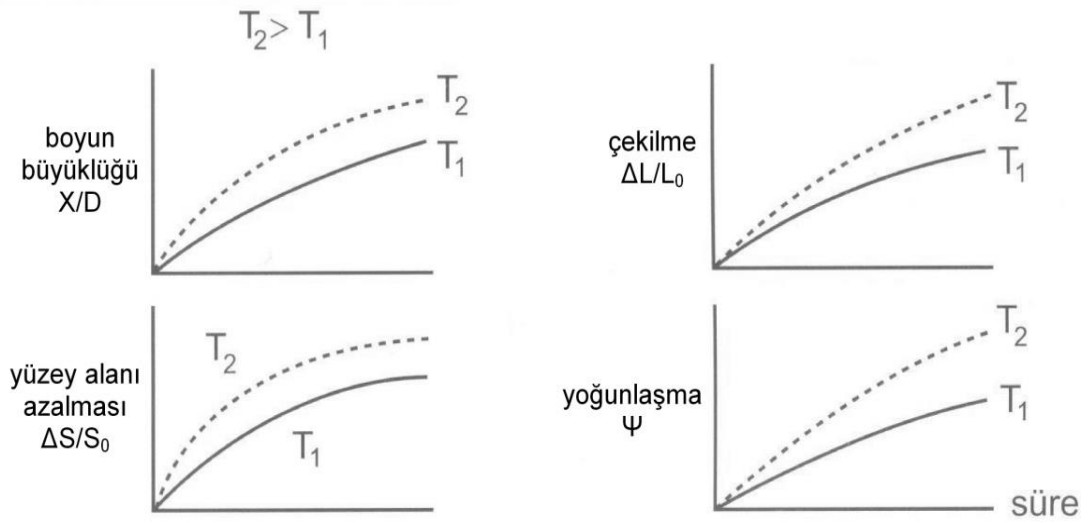


Şekil 2.11 İki küresel parçacığın sinterlenme profili [23,32].

Birçok malzemedeki sinterleme esnasında boyut, yoğunluk, mukavemet, sertlik, elastisite modülü gibi özellik değişimleri olur. Bu nedenle, sinterleme işlemini izlemek için hacim özellikleri kullanılabilir ve Şekil 2.12 'te gösterildiği gibi sıcaklık ve zamanla benzer değişimler gösterir. Yaygın bir izleme yöntemi parçadaki boyut değişimidir. Sinterleme esnasında meydana gelen çekilme, yoğunluk artışı ve gözenek azalmasına

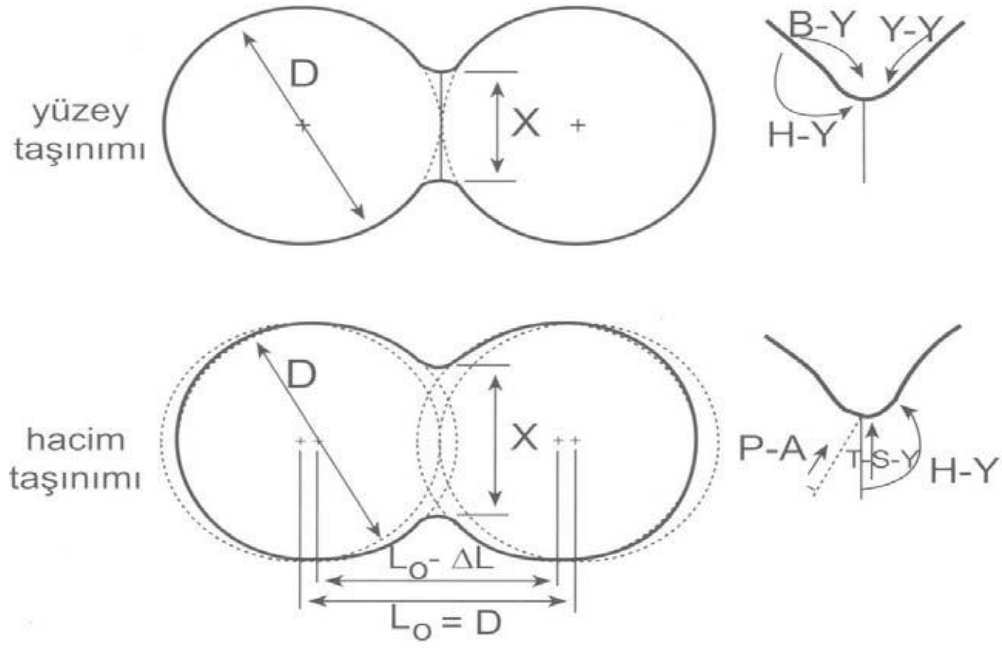
bağlıdır. Yüksek ham yoğunluklar küçük sinterleme çekilmeleri ve yüksek son yoğunluk verir.

Diğer bir parametre de yoğunlaşmadır. Sinterleme ile olan kısmi yoğunluk değişiminin gözeneksiz katı yoğunluk değişimine oranı olarak tanımlanır. Yoğunlaşma, son yoğunluk, boyun büyüklüğü, yüzey alanı ve çekilme oranı sinterleme sırasında parçacıklar arası bağlanma ve gözeneklerin giderilmesi ile ilgili ölçülerdir.



Şekil 2.12 Sinterleme süresinin parametreler üzerine etkisi [23,32].

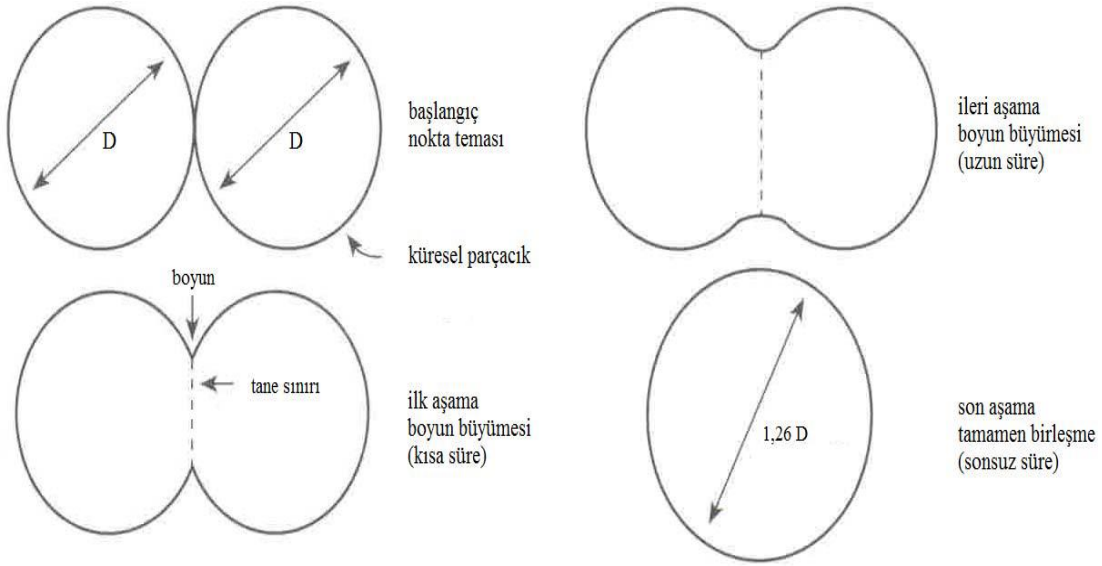
Yoğunlaşma esnasında gerçekleşen taşınım mekanizmaları itici güçlere karşılık kütle akışının nasıl olduğunu belirler. Yüzey ve hacim taşınım mekanizmaları kütle akışının iki sınıfıdır. Aralarındaki fark atomların boyun bölgesini nerelerinden doldurmaya başladıkları ile ilgilidir. Yüzey taşınımında atomlar boyun bölgesini yakınındaki gözenek yüzeylerinden başlayarak doldurur. Hacim taşınımı ise tane sınırlarındaki atomları kullanarak boyun bölgesinde yeniden konumlanır. İki kütle akış türü Şekil 2.13 'da şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.13 Yüzey ve hacim taşınımı [23,32].

Yüzey taşınımı (Y) çekilme veya yoğunluk artışı olmayan boyun büyümesini içerir. Yüzey difüzyonu ve buharlaşma-yoğuşma (B-Y), yüzey taşınım kontrollü sinterlemede en önemli katkı yapan iki olaydır. Birçok malzemede, düşük sıcaklıkta gerçekleşen sinterleme olayında yüzey difüzyonu baskındır. Hacim taşınım kontrollü sinterleme çekilmeye neden olur. Kütle, tane sınırından bazen de tane içinden gelir ve boyun yanındaki gözeneğin yüzeyinde toplanır. Hacim taşınım mekanizmaları hacim difüzyonu, tane sınırı difüzyonu, plastik akış ve viskoz akış içerir. Özellikle preslenmiş tozlarda plastik akış ısıtma sırasında son derece önemlidir. Ancak toz en yüksek sıcaklığa ulaştığında plastik akış önemini kaybeder. Cam ve polimer gibi amorf malzemeler viskoz akış ile sinterlenir. Bu durumda parçacıkların birleşme hızı parçacık boyutuna ve malzeme viskozitesine bağlıdır. Metallerde viskoz akış tane sınırında sıvı fazların olması durumunda mümkündür. Kristalli malzemelerin yoğunlaşmasında tane sınırı difüzyonu oldukça önemlidir ve pek çok metalin yoğunlaşmasında esas difüzyon mekanizmasıdır. Yüzey ve hacim taşınım işlemleri boyun büyümesine neden olurken, aralarındaki en önemli fark sinterleme esnasındaki yoğunluk veya çekilmedir. Hacim taşınım mekanizmaları genellikle yüksek sıcaklıklarda baskındır.

Şekil 2.14 'de gösterildiği gibi, birbirleri ile temas halinde olan küresel iki parçacığın, sinterleme işlemi ilerledikçe, birbirine temas eden bağları büyür ve birleşir.

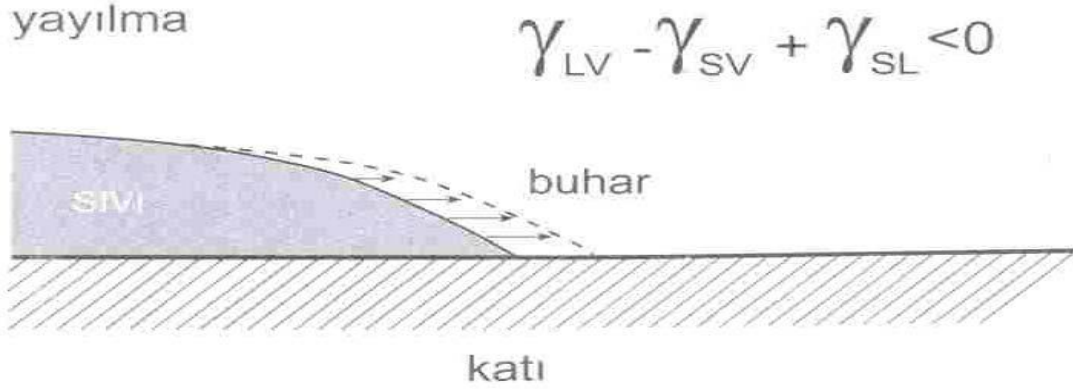


Şekil 2.14 Sinterleme esnasında bağ gelişimini gösteren iki küre modeli [23,32].

Her temas noktasında bir tane sınırı büyür ve katı-buhar ara yüzeyinin yerini alır. Uzun süre sinterleme iki parçacığın tamamen birleşerek çapı başlangıç çapının 1,26 katı olan tek küresel parçacık oluşturmaya yol açar. Sinterlemenin ilk aşaması, her parçacık üzerinde birkaç noktada boyun büyümesi ile tanımlanır. Fakat boyunlar birbirinden bağımsız olarak büyür [23,32].

2.7.2.2 Sıvı Faz Sinterlemesi

Sıvı faz sinterlemesi aynı zamanda süper – solidus sinterleme olarakta adlandırılır. Toz karışımı içeren iki bileşenli faz sistemlerinde düşük sıcaklıkta ergiyen faz oluşturmak mümkündür. Sıvı faz sinterlemesi hızlı trasportu ve koşullar yerine geldiğinde ise sinterlenmeyi mümkün kılar. Önemli koşul ıslatmadır [23, 32].

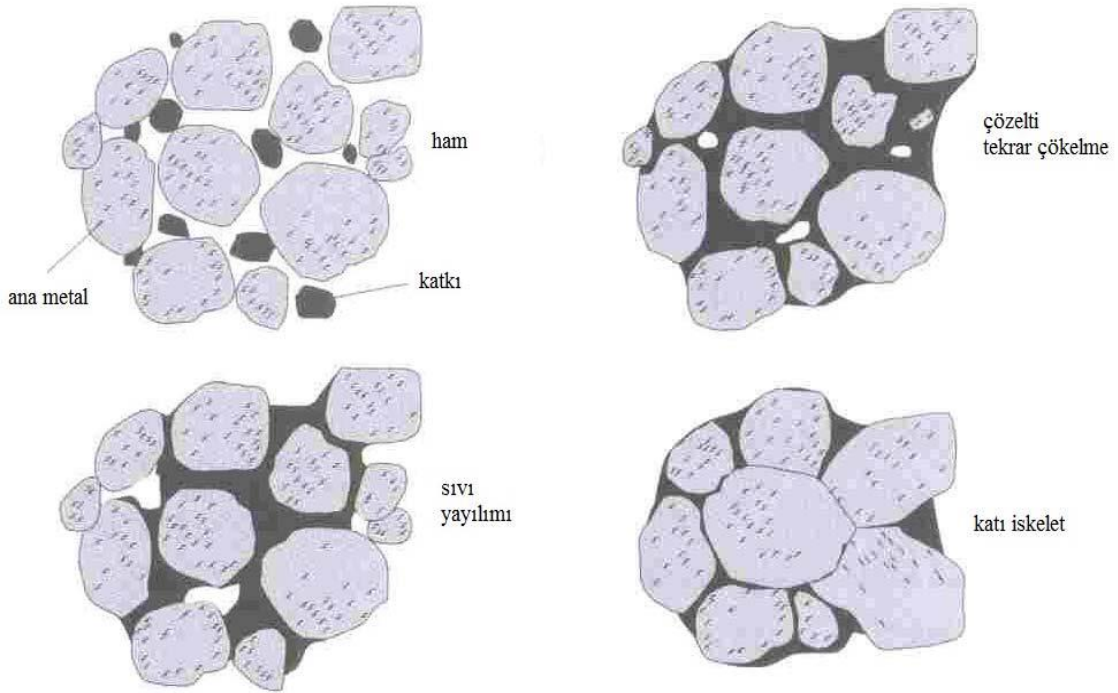


Şekil 2.15 Sıvı fazlı sinterlemede ıslatma ve yüzey enerjileri [23, 32].

Şekil 2.15 'de gösterildiği gibi sıvı faz katı tanelerin üzerinde yayılmalıdır. Islatan bir sıvı, küçük temas açısına (θ) sahiptir. Temas açısı yüzey enerjilerinin (2.2) eşitliği ile tanımlanır.

$$\gamma_{SV} = \gamma_{SL} + \gamma_{LV} \cos \theta \quad (2.2)$$

Bu eşitlikte, γ_{SV} katı-buhar yüzey enerjisi, γ_{SL} katı-sıvı yüzey enerjisi, γ_{LV} ise sıvı-buhar yüzey enerjisidir. Sıvı faz sinterlenmesi esnasında meydana gelen yoğunlaşma aşamaları Şekil 2.16 'da verilmektedir [23,32].

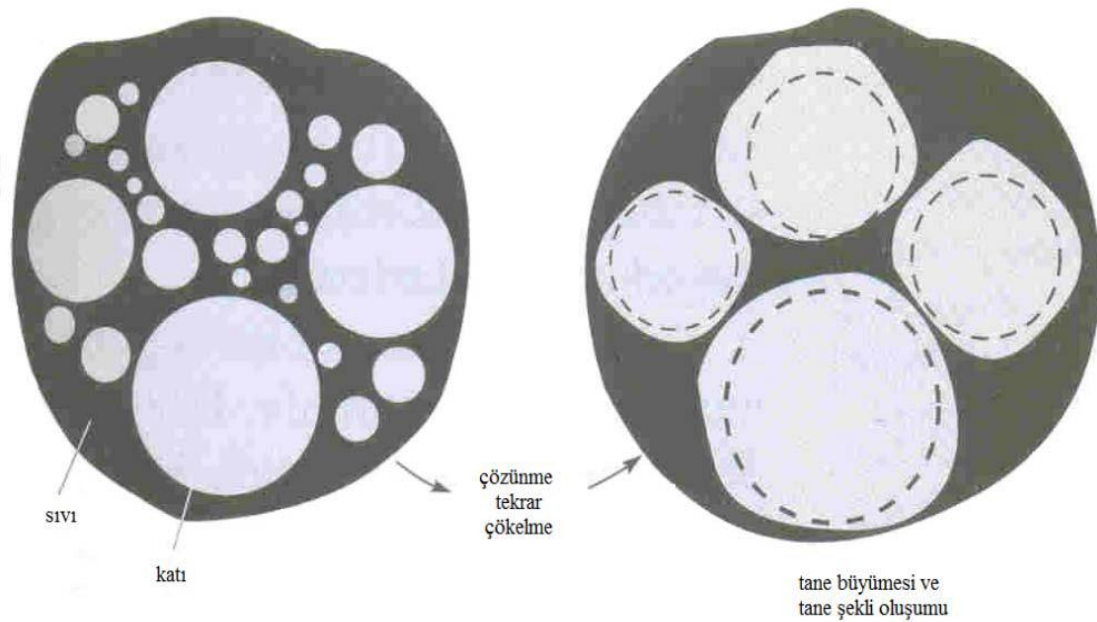


Şekil 2.16 Sıvı faz sinterlemesinin kavramsal aşamaları [23,32].

Katkıların bir kısmı, düşük sıcaklıkta sıvı faz oluşturarak sinterlemenin hızlandırılması sağlanmaktadır. Bu sinterlemeye birde basınç eklenirse çok daha yoğun parçalar elde etmek mümkündür [23,32].

Başlangıçta, ısıtma esnasında taneler katı hal sinterlemesi ile birbirine bağlanır. İlk sıvı oluştuğunda tanelerin yeniden düzenlenmesi ile hızlı bir yoğunluk artışı meydana gelir. Oluşan sıvı, katıyı ıslatarak oluşmuş olan katı bağlarını çözer ve yeniden düzenlenmeyi sağlar. Bundan sonra, çözelti-tekrar çökme işleminde, sıvı katı atomların taşıyıcısı olur. Bu aşamada, daha küçük taneler sıvı içinde çözünür, sıvı içinden yayınır ve daha sonra büyük tanelerin üzerine çöker. Katı tane çözünürlüğü tane boyutu ile ters orantılıdır. Dolayısıyla, öncelikle küçük taneler sıvı faz içinde çözünür. Zamanla tane sayısı azalır ve tane boyutu artar. Çözelti-tekrar çökme işlemi ve tane şekli yerleşimi Şekil 2.17 'de verilmektedir [38].

Sıvı faz sinterlemesinin meydana geldiği durumlarda densifikasyon çok hızlı gerçekleşmektedir. Oluşan sıvı faz, partiküllerin tane sınırlarındaki hareketini kolaylaştırmaktadır [23,32].



Şekil 2.17 Çözelti-tekrar çökme işlemi ve tane yerleşimi [23,32].

2.7.3 Yoğunlaşmanın Temelleri

Yoğunlaşma parçacık temas noktalarında şiddetlenen dış basınç ile artar. Parçacık temas noktaları küçük olduğunda, bu yüzeylerdeki etkili basınç yüksektir. Temas büyüdükçe basınç düşer. Pek çok basınç yardımcı sinterleme yönteminde uygulanan basınç sabittir. Dolayısıyla, parçacık temas noktalarındaki gerilme, yoğunlaşma ile sürekli olarak düşer. Yoğunlaşma hızını belirleyen etkili basınçtır. Mikron boyutlu tanelerin yoğunlaşma (densifikasyon) hızı için Coble'nin sinterleme modeli kullanılmaktadır. Nano boyutlu tozlar için bu modele boyutsuz bir sabit eklenmesi gerekmektedir (Eşitlik 2.3) [23, 37].

$$\frac{d\rho}{\rho dt} \propto \frac{\Omega \gamma_s \delta_b^m D_{eff}}{kTG^n} F(\rho) \quad (2.3)$$

ρ yoğunluk, t süre, Ω atomik hacim, γ_s yüzey serbest enerjisi, δ_b tane sınırı difüzyon genişliği, D_{eff} difüzyon mekanizmasının kontrolü ile belirlenen efektif difüzyon katsayısı, k Boltzmann sabiti, T mutlak sıcaklık ve G tane boyutudur. $F(\rho)$ por hacminden, boyutundan ve dağılımından belirlenen boyutsuz faktördür. m ve n katsayıları difüzyon mekanizmasına bağlıdır. Spark plazma sinterleme, sıcak pres gibi dışarıdan basınç uygulanan sistemlerde, yoğunlaşma hızının uygulanan basınç ile doğru orantılı olduğu kabul edilmektedir. SPS prosesinde ise maksimum çekilme hızı uygulanan ısıtma hızından, basınçtan ve darbeleri doğru akımdan etkilenmektedir. Maksimum çekilme hızının ısıtma hızı ile artması yüzey difüzyonunun sıcaklığa bağlı olduğunu göstermektedir [23,37].

Malzemelerin büyük bölümünde sıcaklık arttıkça dayanım düşer. Eğer toz yoğunlaşmaya karşı direnç gösterirse, daha yüksek bir sıcaklık tozu yumuşatacak ve sıkıştırılmasını kolaylaştıracaktır. Toz ergime sıcaklığına yakın bir sıcaklığa ısıtıldığında, küçük parçacıklar arasındaki kılcal gerilmeler, akma dayanımını geçecek ve hızlı yoğunlaşmaya neden olacaktır. Bu kılcal gerilme, sinterleme gerilmesi olarak adlandırılır. Plastik akış ile yoğunlaşma, temas gerilmesi malzemenin akma gerilmesinden büyük olduğu sürece devam eder. Diğer taraftan, akma gerilmesi sıcaklık

arttıkça düşer. Plastik akma ile ulaşılabilen kısmi yoğunlaşma (ρ), uygulanan basınçtan (PA) (2.4) eşitliği ile hesaplanabilir.

$$\rho = [(PA(1-\rho G)/(1,3\sigma Y) + \rho G^3)]^{1/3} \quad (2.4)$$

Bu eşitlikte ρG kısmi ham yoğunluk ve σY malzemenin verilen sıcaklıktaki akma dayanımıdır. Bu ilişki 0,9'dan düşük kısmi yoğunluklar için geçerlidir. Daha yüksek yoğunluklarda, uygulanan basınç, akma dayanımı ve yoğunluk arasındaki ilişki (2.5) eşitliğinde verildiği gibi basitleştirilebilir.

$$\rho = 1 - \exp(3PA/2\sigma Y) \quad (2.5)$$

Eğer kısmi yoğunluk 0,99 alınırsa, bu sıcaklıkta uygulanan basınç akma dayanımının üç katı olmalıdır. Difüzyon ile kontrol edilen işlemler küçük tane boyutu ile desteklenir. Dislokasyon kontrollü yoğunlaşma anlamına gelen plastik akış, yüksek gerilme duyarlılığına sahiptir ve genellikle büyük taneler ve yüksek sıcaklık ile desteklenir. Plastik akış ile yoğunlaşma sadece parçacık temas noktalarındaki etkili gerilme akma dayanımından büyük olduğunda gerçekleşir. Temas noktaları genişlediğinde, etkili temas gerilmesi azalır ve sonunda akma dayanımının altına iner. Bu noktadan sonra, yoğunlaşmanın çoğu dislokasyon tırmanması, tane sınırlarında yayınım veya kafes içinde yayınım gibi yayınım sürünmesi işlemleri ile gerçekleşir.

Yayınım sürünmesi, basma gerilmesi altındaki gözenekli mikroyapıdaki noktalardan, çekme gerilmesi altındaki noktalara olan atom hareketi ile gerçekleşir. Yayınım sürünmesi (difüzyon kontrollü sürünme) sıcak presleme ve sıcak izostatik preslemede en etkili olan işlemdir. Hacim difüzyonu ile kontrol edildiğinde, çekilme oranı, zamana bağlı olarak boydaki değişimin ilk boya normalleştirilmesi ile belirlenir (Eşitlik 2.6).

$$d(\Delta L)/L_0 dt = 13DV.\Omega.PE / k.T.G^2 \quad (2.6)$$

Bu eşitlikte T mutlak sıcaklık, k Boltzmann sabiti, Ω atom hacmi, DV kafes veya hacim yayınım gücü, G tane boyutu, PE ise etkili basınçtır. Gözenek olduğu sürece, yoğunlaşma sürünme gerilme hızı ile orantılıdır. Yayınım gücü sıcaklığa bağlıdır. Bu nedenle sıcaklık yoğunlaşma üzerinde önemli bir kontrol edici etkiye sahiptir. Hacim difüzyon sürünmesi bazı durumlarda Nabarro-Herring sürünmesi olarak adlandırılır.

Diğer bir işlem seçeneği tane sınırları boyunca gerçekleşen difüzyondur. Bu durumda, büzülme hızı Eşitlik 2.7’de gösterilmektedir.

$$d(\Delta L)/L_0 dt = 48 \cdot \delta \cdot DB \cdot \Omega \cdot PE / k \cdot T \cdot G^3 \quad (2.7)$$

Bu eşitlikte δ tane sınırı genişliği (yaklaşık beş atom genişliğinde) ve DB sınır difüzyon gücüdür. Bu difüzyon şekli genelde Coble sürünmesi olarak adlandırılır. Gerilme ve sıcaklığın her ikisinin de yüksek olduğu zaman, yoğunlaşma hızı dislokasyon tırmanma hızına bağlıdır ve Eşitlik 2.8 ile verilen üslü sürünme kanunu eşitliği ile tanımlanır.

$$d(\Delta L)/L_0 dt = (C \cdot b \cdot \mu \cdot DV / k \cdot T) (PE / \mu)^n \quad (2.8)$$

Bu eşitlikte b Burger vektörü veya dislokasyon ile ilgili kristal sapması, C birim atom başına malzeme sabiti, μ kesme modülü, n gerilme hassasiyetini gösteren üs olup, toz sıkıştırmada genellikle 2 ile 4 arasındadır. Plastik akış aniden gerçekleşir. Dolayısıyla toplam yoğunlaşma, ilk plastik akış katkısı ve zamana bağlı difüzyon sürünme katsayısı ile belirlenir. Tam yoğunluk işlemlerinin modellenmesinde zamana bağlı yayılım sürünmesi dikkate alınır. Genelleştirilmiş yoğunlaşma hızı (dp/dt) kısmi katı yoğunluğunun zamana bağlı olarak ani değişimi ile ifade edilir. Bu hız, ne kadar gözeneklilik kaldığına ve atom taşınım hızına bağlıdır (Eşitlik 2.9).

$$dp/dt = (1-p) \cdot B \cdot g \cdot (\gamma/\psi) \quad (2.9)$$

Bu eşitlikte, p kısmi katı yoğunluk, (1-p) ise kalan kısmi gözeneklilik, B yayılım gücü ve parçacık boyutu gibi malzeme özelliklerinin toplamı, g geometrik bir terim ve ψ mikroyapının ölçeğini ifade etmektedir. Örneğin, sinterlemenin son aşamasında ψ gözenek çapı, g ise 4’tür. Gözenek giderilirken yoğunlaşma hızı sıfıra düşer. Eğilmiş parçacık veya gözenek yüzeyleri tarafından sinterleme gerilmesi oluşur. Kinetik terim B, bu gerilme değeri ile beraber yoğunlaşma hızını belirler. PE etkili basınç olarak adlandırılır ve genellikle uygulanan basınçtan birkaç kat daha büyüktür. Sonuç olarak, yoğunlaşma hızı temas basıncı ile tamamlanır (Eşitlik 2.10).

$$dp/dt = (1-p) \cdot B \cdot [(g\gamma/\psi) + PE] \quad (2.10)$$

Özellikle düşük yoğunluklu parçalarda, uygulanan düşük bir basınç, yüksek etkili gerilme nedeni ile yoğunlaşma hızının artışı sağlar. Sinterleme esnasında toplam yoğunlaşma, uygulanan basınç arttıkça artar ve yoğunlaşma hızı yükselir. Yoğunluk ve

zaman artarken yoğunlaşma hızı düşer. Gözeneklerde sıkışmış olan gazdan kaynaklanan bir etki de görülebilir. Yaklaşık %92-95 yoğunlukta gözenekler kapandıkça, iç gaz basıncı yoğunlaşma ile sürekli olarak artar. Eğer gaz gözenekler içinde kalırsa, artan basınç yoğunlaşmayı engeller. Bu durumda yoğunlaşma hızı Eşitlik 2.11 ile verilen hali alır.

$$dp/dt = (1-\rho).B.[(gy/\psi)+PE-PP] \quad (2.11)$$

Bu eşitlikte, PP gözenekteki gaz basıncıdır. Eşitlik 2.11 zamana bağımlı bütün basınç yardımcı sinterleme verilerinin analizi için temel oluşturur. Yüzey enerjisi, dış basınç tarafından yardımcı olunan ancak gözenekte kapalı kalmış gaz ile düşürülen bir doğal sinterleme gerilmesi sağlar. Dolayısıyla yoğunlaşma oranı, B teriminde ifade edildiği gibi net gerilme ile yayılım sürünmesinin çarpımına bağlıdır. Yüksek sıcaklıklar malzemeyi yumuşatır ve difüzyon oranını arttırarak yoğunlaşmaya yardımcı olur.

2.7.4 Basınç Yardımlı Sinterleme

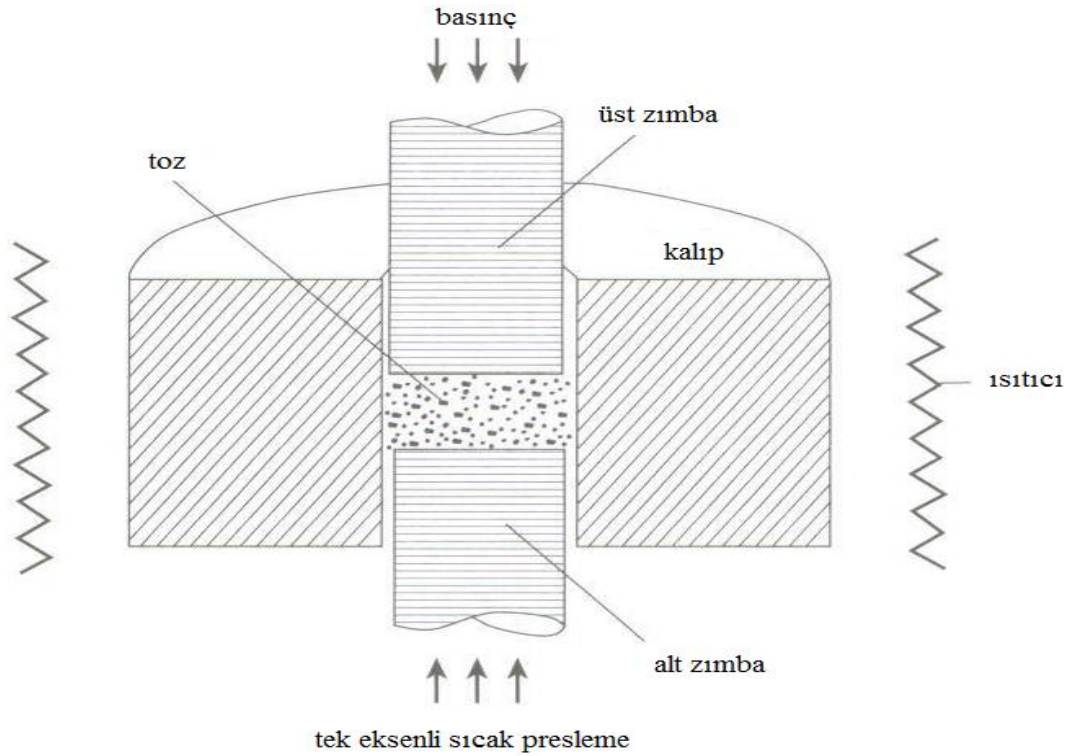
Sinterleme esnasında uygulanan basınç, partiküller arasındaki temas basıncını arttırır ve sinterleme için itici güç oluşturur. Sinterleme esnasında basınç uygulanan teknikler hakkında detaylı bilgi bu bölümde verilmektedir.

2.7.4.1 Sıcak Presleme (HP)

Sıcak presleme, tozlara tek eksenli sıkıştırma uygulanarak bir kalıp içerisinde (genellikle grafit) gerçekleştirilir. Grafit kalıplar indüksiyon ile ısıtmaya uygundur, ancak malzemede kirlenmeye neden olabilirler. Diğer kalıp malzemeleri molibden alaşımları gibi refrakter metaller, alümina ve silisyum karbür seramikleri kapsar. Bu tür durumlarda kalıbın ve parçanın ısıtılması için dış ısıtıcılara ihtiyaç vardır [23,32].

Sıcak presleme esnasında ilk yoğunlaşma, parçacıkların yeniden düzenlenmesi ve parçacık temas noktalarındaki plastik akış ile olur. Etkili gerilme kendiliğinden akma gerilmesinin altına düştüğünde, daha fazla yoğunlaşma tane sınırı ve hacim difüzyonuna bağlıdır. Sıcaklık kritik bir faktördür ve küçük tane boyutları yoğunlaşmaya yardımcı olur. Proses zamanı saatler ile ölçülmektedir ve uzun sinterleme süresi tane boyutunun büyümesine neden olabilmektedir. Sıcak presleme ile karmaşık şekilli

malzeme üretilmemesi bu prosesin diğer bir dezavantajıdır. En yüksek sıcaklık ve basınç, kullanılan kalıp malzemesine bağlıdır ve sırasıyla 2200°C ve 50-60 Mpa olabilmektedir. Sıcak presleme sisteminin şematik gösterimi Şekil 2.18 'de verilmiştir [23, 32].



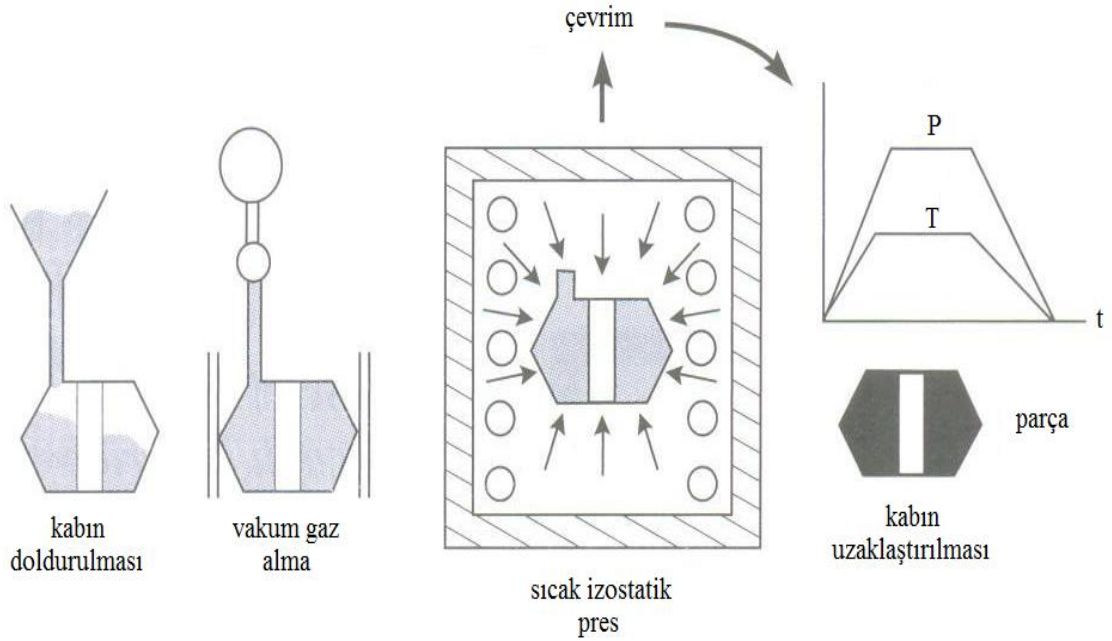
Şekil 2.18 Sıcak pres sisteminin şematik gösterimi [23,32].

2.7.4.2 Sıcak İzostatik Presleme (HIP)

Sıcak izostatik preslemede (Şekil 2.19) basınç, önceden şekillendirilmiş tozlara aynı anda uygulanır. Bu daha az parçacık-parçacık kayması oluşturur. Tam yoğunluk sağlanması durumunda dahi, malzeme özelliklerini olumsuz etkileyebilecek parçacıkların yapı içerisinde kalmaları söz konusu olabilmektedir. Ayrıca, sıkıştırılan parçanın yüzeyi sıkıştırma ortamından kirlendiği için, sıcak izostatik presleme sonrası bu kirliliklerin kimyasal çözme, talaş kaldırma ve aşındırma ile giderilmesi gerekmektedir [23,32].

Sıcak izostatik preslemede tozun doğrudan sıkıştırılabilmesi için, gaz sızdırmaz esnek bir kap içerisine konulması gerekir. Kap, sıkıştırma sıcaklığında yumuşak ve deforme edilebilir cam, çelik, paslanmaz çelik, titanyum veya tantalyum gibi herhangi bir

malzemeden yapılabilir. HIP'ten önce, kap toz ile doldurulur ve uçucu kirlilikleri uzaklaştırmak için vakum altında ısıtılır. Vakum ve gaz alma işleminden sonra kap sızdırmaz bir şekilde kapatılır. Tozdaki gazın uygun şekilde alınamaması gözeneklere yol açar. HIP'ten sonra parça yüksek sıcaklığa maruz kaldığında daha önce kapanmış içi gaz dolu gözenekler yeniden oluşur [23,32].



Şekil 2.19 Sıcak izostatik presleme sisteminin şematik gösterimi [23,32].

Tozun sıkıştırılması ısıtılmış basınçlı bir hazne içinde meydana gelir. Yüksek basınçlı gaz, argon veya azot, basıncı ve sıcaklığı parçaya iletmek için kullanılır. HIP'te 2200°C'ye kadar sıcaklık ve 200-300 MPa basınç uygulamak mümkündür. Hazneler 1,5 m çap ve 2,5 m yüksekliğe kadar değişik ölçülerdedir. İşlem süreleri 2- 8 saat arasında değişir [23,32].

2.7.4.3 Spark Plazma Sinterleme (SPS)

Spark plazma sinterleme (SPS) son derece yeni bir sinterleme ve sentezleme sistemidir. Proses, sıcak presleme, sıcak izostatik presleme ve atmosferik sinterleme sistemlerine göre yüksek sinterleme hızı, düşük sinterleme sıcaklığı, sinterleme sırasında tane büyümesinin engellenmesi gibi çok önemli avantajlara sahiptir. Elektriksel enerjileme

yöntemi ile malzeme prosesi üzerine çalışmalar 1930'lu yılların sonunda Amerika'da başlamış, Japonya'da devamı gerçekleştirilmiş ve 1960'lı yıllarda patenti alınmıştır. 1986 yılında düşük basınç ve düşük darbeli akım kullanımına uygun olan plazma etkin sinterleme sistemi ortaya çıkarılmıştır. 1989 yılında ise düşük ve yüksek basınç uygulanarak malzeme üretimine olanak sağlayan, yüksek darbeli doğru akım geçirebilen spark plazma sinterleme (SPS) sistemi geliştirilmiştir.

SPS sistemi, uygulanan basıncın tek eksenli olması nedeniyle sıcak prese büyük benzerlik gösterirken, sisteme sağlanan ısı açısından farklıdır. Sıcak preste ısı, numune ve kalıbın etrafını çevreleyen ancak temas etmeyen bir dirençten yayınma yolu ile transfer olurken, SPS sisteminde birkaç volt ve cihazın kapasitesine bağlı olarak birkaç binler mertebesinde amperden oluşan akım, doğrudan grafit kalıba ve numune üzerine uygulanır ve kalıp doğrudan ısıtma direnci gibi davranır. Numune üzerine gönderilen akım, hızlı bir yoğunlaşmaya sebep olan, toz taneleri arasında kısa devreler, arklar, kıvılcımlar ve oluşumu konusunda çeşitli fikir ayrılıklarının olduğu plazmaları oluşturur. SPS sistemiyle tane büyümesi oluşmadan birkaç dakika gibi çok kısa sürelerde tamamen yoğunlaştırılmış yapılar elde etmek mümkündür. Isının homojen uygulanması, yüzey pürifikasyonu ve aktivasyonu sonucunda yüksek yoğunlukta ve kalitede, homojen sinterlenmiş çok çeşitli numuneler elde etmek mümkündür.

SPS sisteminde açık-kapalı (on-off) darbeli doğru akım kullanılması ile spark plazma, spark darbe basıncı (spark impact pressure), Joule ısınma (Joule heating) ve elektrik alan difüzyon etkisi oluşturulmaktadır. SPS prosesinde toz partiküllerinin yüzeyleri, darbeli doğru akım kullanılmayan geleneksel sinterleme proseslerine oranla daha kolay aktif hale gelmektedir. Mikro ve makro düzeyde malzeme taşınımı kolaylaştığı için düşük sıcaklıklarda ve kısa sürelerde yoğun yapıda malzeme elde edilmesi mümkündür [23,35,38,39].

2.8 Alüminyum Metal Matrisli B₄C Takviyeli Kompozitler

MMK'ler de matris malzemesi olarak alüminyum alaşımlarının, hem araştırma - geliştirmede hem de endüstriyel uygulamalarda çok geniş bir kullanım alanı bulmaktadır. Alüminyum alaşımları düşük yoğunluğundan dolayı tercih sebebi olmuştur buna ek olarak diğer düşük yoğunluklu metallerle (Mg, Ti gibi) karşılaştırıldığı zaman

daha ucuzdur. Ayrıca, gösterdiği iyi korozyon direnci, düşük elektriksel direnç ve mükemmel mekanik özelliklerinden dolayı metal matrislerde odak noktası olmuştur. Bu özelliklere ilaveten hafifliği, sinterlenmiş alüminyum ürünlerinin düşük kompaktlama basıncı ve düşük sinterleme sıcaklığından kaynaklanan enerji tasarrufu, otomotiv endüstrisinde alüminyum matrisli kompozitlerin, bazı demir bazlı parçaların yerine tercih edilmesine sebep olmuştur. Sonuç olarak alüminyum ve alaşımları, havacılıktan otomotiv sanayisine kadar olmak üzere birçok endüstriyel alanda yüksek kullanıma sahip olduğu için çok iyi bilinen bir metaldir [40].

Matris malzemesi olarak büyük ölçüde 2xxx, 6xxx ve 7xxx alüminyum alaşımları kullanılır. Son zamanlarda iyi ıslatma özelliğinden dolayı 8xxx alaşımları da araştırmalarda yer bulmuştur.

Çizelge 2.19 Alüminyum matrisli kompozitlerde başlıca kullanılan takviye malzemeleri [40].

Takviye Malzemesi	Yoğunluk ($\times 10^3$ kgm^{-3})	Isıl Genleşme Katsayısı (10^{-6} C ⁻¹)	Ergime Sıcaklığı (°C)	Mukavemet (MPa)	Elastiklik Modülü (GPa)
Al ₂ O ₃	3,98	7,94	2100	221 (1090 °C)	379 (1090 °C)
SiC	3,21	5,4	2750	X	324 (1090 °C)
C	2,18	-1,44	X	X	690
SiO ₂	2,66	< 1,08	1710	X	73
AlN	3,26	4,84	2375	2069 (24 °C)	310 (1090 °C)
B ₄ C	2,52	6,08	2420	2759 (24 °C)	448 (24 °C)

Al-MMK 'de takviye malzemesi olarak SiC ve Al₂O₃ en yaygın kullanıma sahiptir. B₄C ise sahip olduğu yüksek sertlik ve mukavemet ile düşük yoğunluk özelliklerinden dolayı bir çok araştırmaya konu olmuştur. Diğer seramiklerle karşılaştırıldığında maliyet açısından dezavantajı mevcuttur. Çok az malzemede bulunan, sıcaklıkla çekme

mukavemetinin artması da B_4C 'yi diğer takviye malzemelerine göre B_4C 'yi ön plana çıkarmaktadır [40].

B_4C takviyeli kompozitin proses problemleri ve mekanik özelliklerinin sınırlılıkları, Al'un katılımıyla önemli ölçüde azalabilmektedir. B_4C -Al kompozitlerinin parçacıklı olmasının amacı, daha büyük oranda içeriğe sahip olmak (hacimsek olarak >%55)'tır. Güçlü bir iç yüzey bağlanmasını sağlamak için ve sinterleme sırasında sıvı artış aralığına izin vermek için, matris ile takviye partikülleri arasında ıslanma gerçekleşmesi gerekmektedir. Eğer gerçekleşmezse birleşmeyi arttırmak için dış basınç uygulanmak zorundadır. Fakat her basınç tekniği bazı yüksek seramikli kompozitler (hacimsel olarak >%60) için uygun olmayabilir [40].

Alüminyum matrisli kompozitlerde başlıca kullanılan üretim yöntemleri sıvı metal infiltrasyonu ve döküm yöntemleridir. Bunun yanında T/M yöntemi, gerek nihai malzeme özelliklerinin kontrolünde sağladığı avantajlar gerekse yüksek sıcaklıklara çıkmayı gerektirmeyen proses şartlarıyla diğer yöntemlere göre avantajlıdır. Al- B_4C kompozitlerinin üretimindeki ana sorun, matris metali ile takviye partikülleri arasındaki düşük ıslanmadır. Bu konudaki mevcut çalışmalar, matris metali ile takviye partikülleri arasındaki ıslatma sorunu üzerinde yoğunlaşmıştır. Islatma problemi takviye partiküllerine bazı önlemler uygulanarak aşılmaya çalışılmıştır. Literatürde Al- B_4C kompozitlerinin üretimi için önerilen infiltrasyon ve T/M gibi yöntemler, nispeten iyi mekanik özellikler verse de işlem maliyetleri yüksek olmaktadır. Bunun yanında düşük sıcaklıklarda döküm yöntemi üzerine yapılan çalışmalarda genel olarak ara yüzeydeki ıslatılabilirlik problemlerinin aşılması üzerinde yoğunlaştırılmış olup, gelişmiş fiziksel ve mekanik özellikleri verecek olan yöntem henüz standartlaştırılamamıştır. Araştırmacılar Al- B_4C kompozitlerinin aşınma uygulamaları için kullanılabileceğini belirtmekle birlikte, nihai üretim yöntemi ve mukavemet arttırıcı yöntemler üzerinde yeterince sonuç ortaya koyulamamıştır [40].

2.9 B_4C Tozu ve Özellikleri

Alüminyum ve alaşımları, aşınma davranışını ve mekaniksel dayanımı geliştirmek için seramiklerle takviye edilirler. Alüminyumun kolay elde edilebilir olması, düşük yoğunluklu olması ve uygun üretim şartları altında B_4C ile tepkime oluşturması

nedeniyle takviye elemanı olarak B_4C tercih edilmektedir. Düşük yoğunluklu Al kompozit üretmek amacıyla, rijitliği yüksek ve sert B_4C ile sünek alüminyum birleştirilir [40].

B_4C , elmas ve kübik yapıli bor nitrürden sonra bilinen en sert (9.5+Mohs skalasında) üçüncü malzemedir. Nötron absorpsiyonu, sürünme direnci ve darbe dayanımı isteyen uygulamalar için farklı avantajlara sahip, kovalent bağıli seramik yapıdadır. Ayrıca seramiklerin en hafifidir. Bu yüzden kompozitin toplam ağırlığını arttırmadan mekanik özelliklerini geliştirmede kullanılabilir. B_4C ile çalışılırken dikkat edilmesi gereken dezavantajı, B_4C 'nin yüksek sertliğinden dolayı kompozitin ekstrüzyon yapabilme kabiliyetinin limitli olmasıdır.

Tamamen yoğun mikroyapıların üretiminde karşılaşılan sorunlar ve gevrek kırılmaya karşı B_4C 'ün aşırı hassasiyeti bu takviye malzemesinin sahip olduğı sınırlılıklardır [40].

2.10 Alüminyum Matrisli - B_4C Takviyeli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri

2.10.1 İnfiltrasyon Yöntemi İle Üretimi

İnfiltrasyon yöntemi, B_4C - Al kompozitlerinin üretiminde sık kullanılan bir yöntemdir. Bununla birlikte; Al'un B_4C üzerindeki düşük ıslatabilirliği nedeniyle endüstride bu işlem çok yüksek sıcaklıklarda (1200 °C) uygulanmaktadır.

Gözenekli B_4C preformu, Al ile infiltre edilir. Yeterli ıslatmanın ardından başlayan infiltrasyon yüksek sıcaklıklarda meydana gelir. Yüksek içerikli B_4C kompozitlerinin imalatı için, metalle infiltrasyonda, seramik preformlar 800-900 °C'de kısmen (bölgesel olarak) sinterlenir [40].

2.10.2 Döküm Yöntemi İle Üretimi

Döküm yöntemi, diğ er MMK'lerde olduğı gibi, Al- B_4C kompozitlerinde de düşük maliyetli olması nedeniyle tercih edilebilir. Ancak Al ile B_4C arasındaki ıslanabilirliğin 1100 °C nin altındaki sıcaklıklarda düşük olması, Al- B_4C kompozitlerinin bu sıcaklıklarda döküm yoluyla üretiminin zor olduğı anlamına gelmektedir. B_4C partiküllerinin Al üzerindeki ıslatılabilirliğini artırmak ve sıvı alüminyum ile birleşebilirliğini kolaylaştırmak için, partiküller genellikle ısıli işleme tabi tutulur veya kaplanırlar [40].

2.10.3 Toz Metalurjisi Yöntemi İle Üretimi

Toz metalurjisi yöntemi, matris alaşımı ve takviye elemanı tozlarının bir karıştırıcı yardımıyla karıştırılmasını, karıştırılan tozların preslenmesini ve sinterlenmesini içerir. Bu yöntem tamamen katı halde gerçekleştiğinden, gerekli sıcaklık diğer yöntemlerden daha düşüktür. Bu yöntemde, kuvvetli ara yüzey reaksiyonlarının oluşmaması ve matris-takviye elemanı arasında istenmeyen reaksiyonların minimize edilmesi yöntemin avantajıdır [40].

2.11 Alüminyum B₄C Kompozitleri ile İlgili Literatürdeki Çalışmalar

Literatürde Al-B₄C kompozitleri ile ilgili bir çok çalışma bulunmaktadır. Mevcut çalışmalar daha çok infiltrasyon ve döküm üzerine yoğunlaşmıştır. Bunun yanında toz metalurjisiyle yapılan çalışmalar ara yüzeydeki ıslatılabilirlik seviyelerini arttırmak üzerine yoğunlaştırılmış olup, gelişmiş fiziksel ve mekanik özellikler üzerine çalışmalar devam etmektedir.

Halverson ve Pyzik, yaptıkları çalışmada; yüksek seramik içerikli Al-B₄C kompozitlerinde, takviye ile matris arasındaki ıslatmayı sağlamaya ve B-C-Al sisteminde faz dengesini gözlemlemeye çalışmışlardır. Ara yüzeydeki ıslatmayı sağlayabilmek için; 1000 °C 'nin üzerinde bir işlem sıcaklığı kullanılmış ve sistemdeki reaksiyonlar dikkatlice gözlemlenmiştir. Yapılan çalışma göstermiştir ki; bor karbür katılmış kompozitlerin proses problemleri ve mekanik özellik sınırlılıkları; metal bir fazın katılımıyla önemli ölçüde azaltılabilir. Düşük ergime noktalı metal bir faz (Al veya Al alaşımları) kullanılarak B₄C 'nin kırılma tokluğu arttırabilir [40].

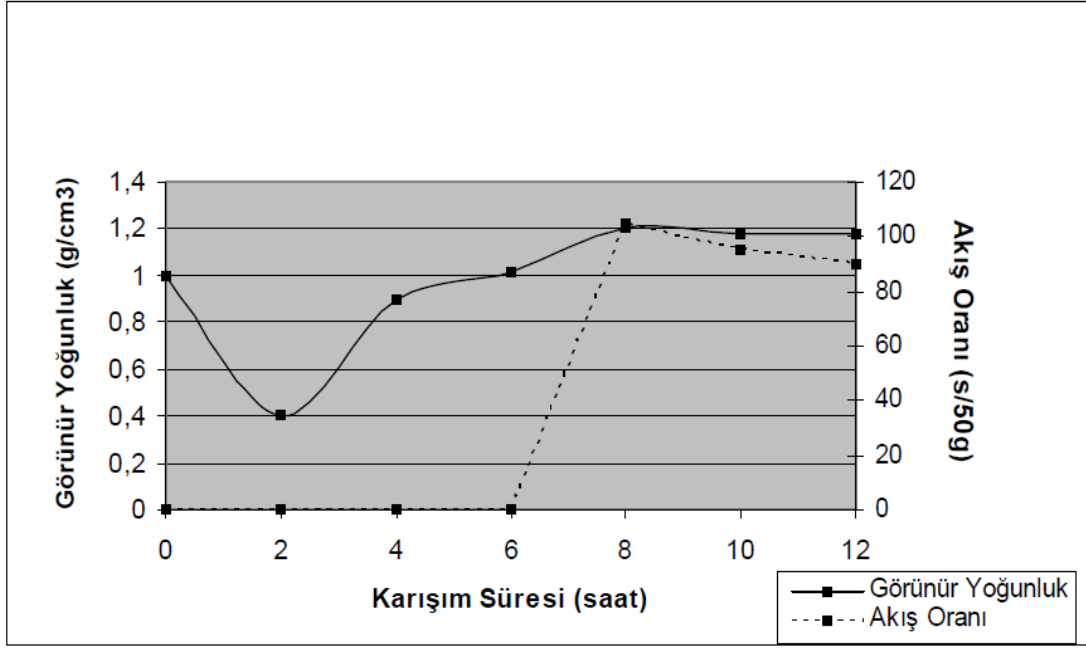
Zhang, Ramesh ve Chin yaptıkları çalışmada, ekstrüzyon ve sıcak izostatik presleme gibi iki farklı işlemle Al6092- B₄C MMK'ler üretmişlerdir. Üretilen kompozitlerin mukavemetlerinin, partikül takviyelerinin artan hacim oranlarıyla arttığını; düşük gerinmede (%5'in altı) takviyenin artan hacim oranı ile gerinme sertliğinin arttığını gözlemlenmiştir [40].

Kouzeli, Marchi ve Mortensen yaptıkları çalışmada, infiltrasyon yöntemiyle ürettikleri Al-B₄C kompozitlerin çekme davranışlarını incelemişlerdir. Sıvı metal infiltrasyon ile desteklenmiş gaz basıncı, değişik hacim oranlarına sahip B₄C-Al kompozitlerinin

üretiminde kullanılmıştır. Deneylerin sonunda, iki reaksiyon ürünü gözlemlenmiş ve kompozitin içinde AlB_2 ve Al_3BC olarak tanımlanmıştır. Bu fazların toplam hacim miktarlarındaki artma, kompozitin sertliğinin ve sünekliğinin azalmasına sebep olmuştur [40].

Akın'ın yaptığı çalışmada; Al- B_4C kompozitleri, T/M yöntemiyle üretilmiş, aşınma ve korozyon dirençleri araştırılarak optimum üretim parametreleri saptanmaya çalışılmıştır. Yapılan deneylerin sonucunda, B_4C takviye oranının artması ile aşınma direnci de artmıştır; fakat belirli bir takviye oranından sonra (%9 B_4C) kompozitin sertliği artmasına rağmen aşınma direnci düşmüştür. %9 B_4C içeren kompozite uygulanan ara deformasyon ile korozyon direnci artmıştır. B_4C içeriğinin artmasıyla korozyon direnci azalmıştır. Sertlik kriter alınarak yapılan değerlendirmede; optimum üretim parametrelerine 570 °C'de atmosferik ortam koşullarında, 12 saat süre ile yapılan sinterleme neticesinde ulaşılmıştır [40].

Abenojar, Velasco ve Martinez in yaptıkları çalışmada; Al- B_4C kompozitleri üretiminde T/M yöntemi kullanılmışlardır. Bu kompozitlerin üretiminde ana problem olan homojeniteyi, mekanik alaşımlama ile çözmeye çalışmışlardır. Al- B_4C toz karışımı 12 saat süreyle karıştırılmış ve her 2 saatte bir, karışım tozunun yoğunluk ve akış oranı ölçülmüştür. Şekil 2.20 'de görüldüğü gibi; 2 saatlik karıştırma işleminde gevrek fazların çatladığı, sünek fazların deformasyona uğradığı görülmüştür; karışımın görünür yoğunluğu düşüktür. 4 saat sonunda uniform bir tane boyutuna ulaşılmış fakat yer yer ince parçalar görülmüştür. Bu ince parçalar kayboldukça görünür yoğunlukta artma gözlemlenmiştir. 8 saat sonunda tozların yeterince karıştığı, partiküller arası birleşmelerin tamamlandığı ve görünür yoğunluğun sabit kaldığı; 12 saatlik karıştırma sonunda üretilen karışımda topaklaşmaların olduğu görülmüştür [40].



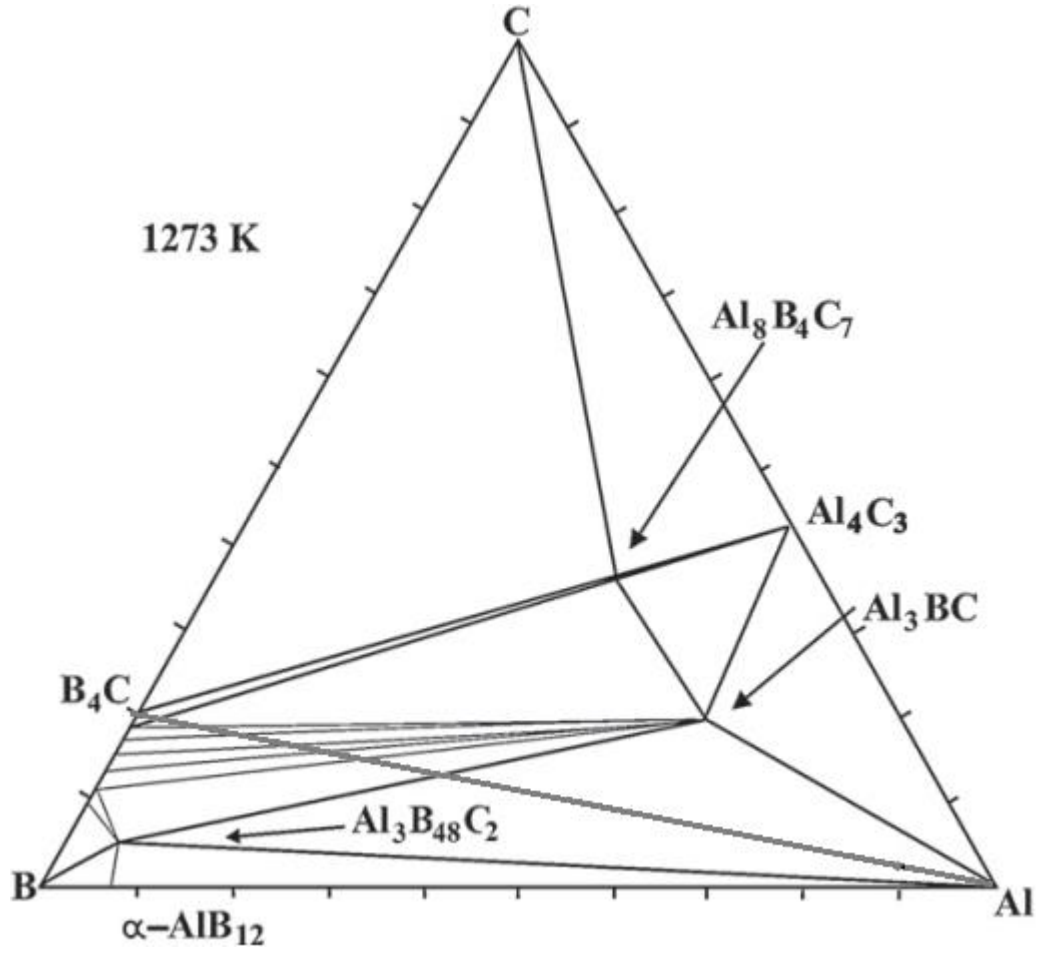
Şekil 2.20 Al + %10 B₄C Tozlarının karışım süresinin görünür yoğunluk ve akış oranlarına etkisi [40].

J.C.Viala, J.Bouix, G.Gonzalez, C.Esnoul yaptıkları çalışmada alüminyum ve bor karbür tozları 105 Pa altında arıtılmış argon gazı ile soğuk preslenip 450 saat boyunca 900-1273 K arasında ısıtılmıştır. X-ışını ile karakterize edilen, preslenmiş numune elektron mikroskobu (SEM) ve tarama difraksiyonu (XRD), optik metalografi (OM), elektron prob mikroanaliz (EPMA) ile analizleri yapılmıştır. [41].

Çizelge 2.20 Sıcaklık değişimine bağlı faz oluşumları [41].

Deney No	Sıcaklık (K)	Isıtma sonrası XRD faz analizi
1	900	Al, B ₄ C
2	920	Al, B ₄ C
3	950	Al, B ₄ C, Al ₃ BC, AlB ₂
4	1000	Al, B ₄ C, Al ₃ BC, AlB ₂
5	1050	Al, B ₄ C, Al ₃ BC, AlB ₂
6	1100	Al, B ₄ C, Al ₃ BC, AlB ₂
7	1150	Al, B ₄ C, Al ₃ BC, Al ₃ B ₄₈ C ₂
8	1200	Al, B ₄ C, Al ₃ BC, Al ₃ B ₄₈ C ₂
9	1273	Al, B ₄ C, Al ₃ BC, Al ₃ B ₄₈ C ₂

Şekil 2.21 'de 9 farklı sıcaklıkta ısıtılarak, faz değişimleri gözlenmiştir. Sıcaklıkla oluşan farklı faz değişimleri bor-karbür-alüminyum üçlü diyagramında gösterilmiştir.



Şekil 2.21 Bor, Alüminyum, Karbon üçlü diyagramı [41].

Deneyler Al-B₄C 5: 76:19 at%, 15:68 : 17 at% (B₄C zengin) ve 95: 4:1 at% (Al-zengin karışımların 1000 ve 1200 K' de 160 saat tavlanması ile elde edilmişlerdir.

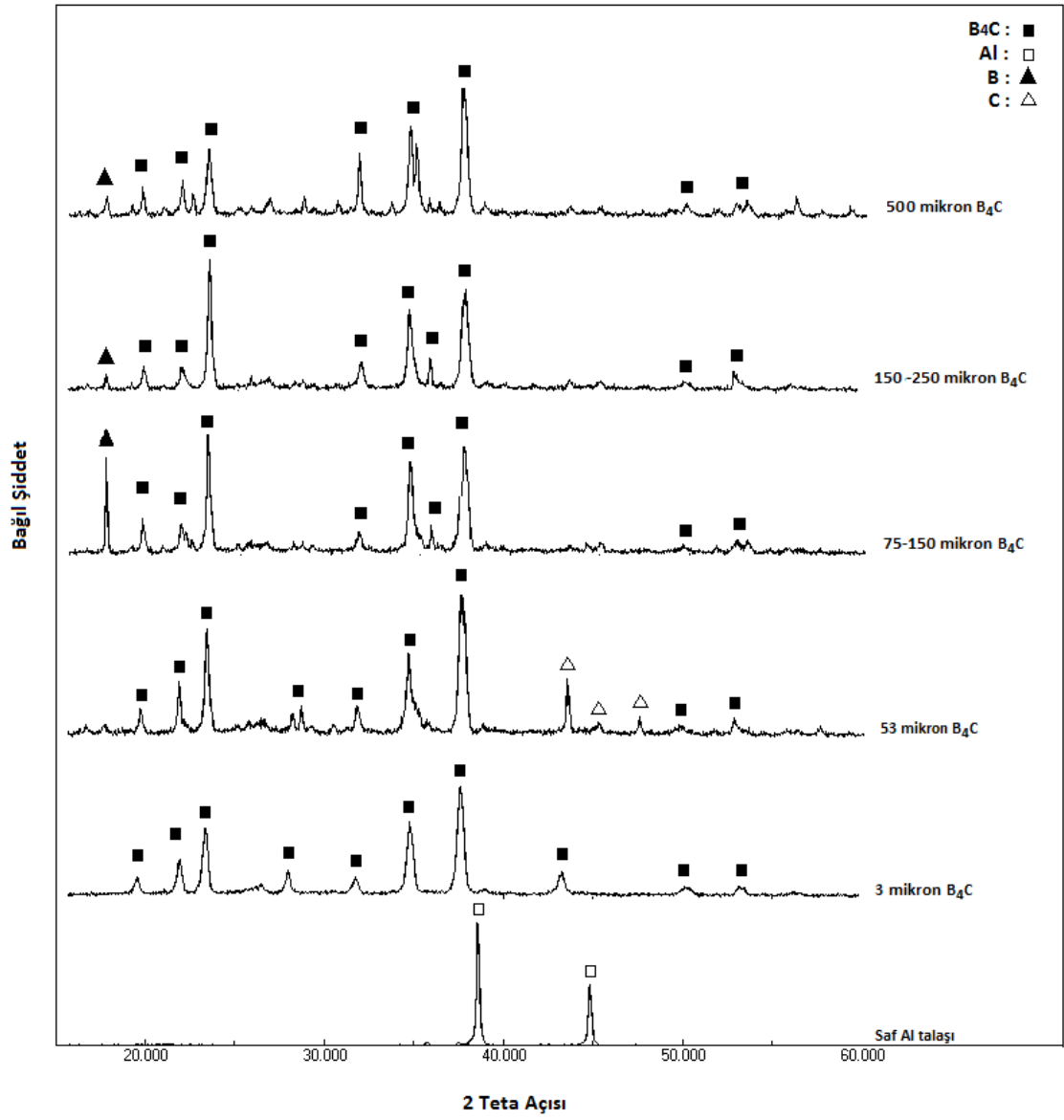
DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1 Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Başlangıç Malzemeleri ve Özellikleri

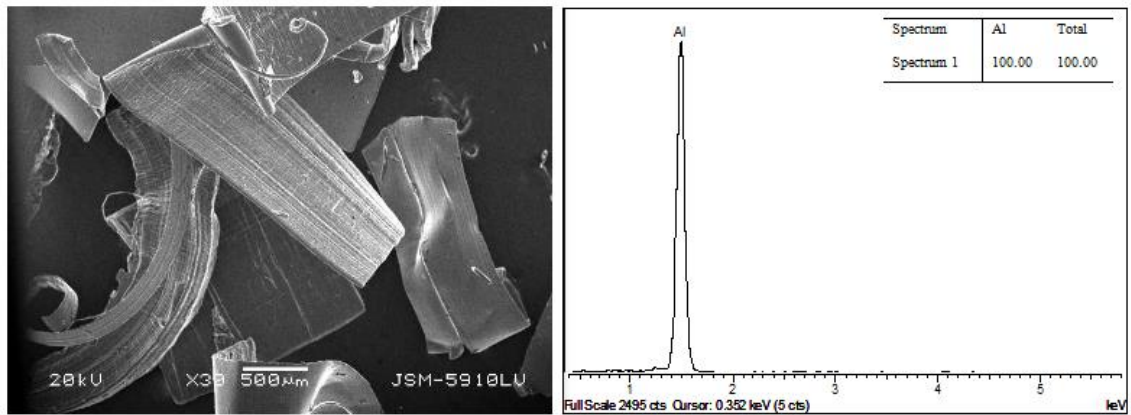
Deneysel çalışmalarda matris elemanı olarak 6XXX serisi atık alüminyum talaşları kullanılmıştır. Matris (Al talaş) içine takviye elemanı olarak 3 µm, 53 µm, 75-150 µm, 150-250 µm ve ≤500 µm üzeri tane boyutlarına sahip 5 farklı bor karbür tozları kullanılmıştır. Al talaş içine %5, %10, %15 ve %20 oranlarında (ağırlıkça) bor karbür ilavesi yapılmıştır. Daha sonra numuneler 10mmx24mmx5mm boyutlarında İdea marka soğuk presle preslenerek, Dr.Fritsch marka sıcak presle şekillendirilmiştir. Karakterizasyon çalışmaları ise XRD, SEM ve EDS ile yapılmıştır. Deneyde kullanılan 6XXX serisi alüminyum talaşları Burak Alüminyum fabrikasından temin edilmiştir. Deneyde kullanılan farklı boyuttaki bor karbür tozları BMBT ve Tübitak' tan temin edilmiştir.

3.2 Kullanılan Başlangıç Malzemelerinin XRD, SEM ve EDS ile Karakterizasyonu

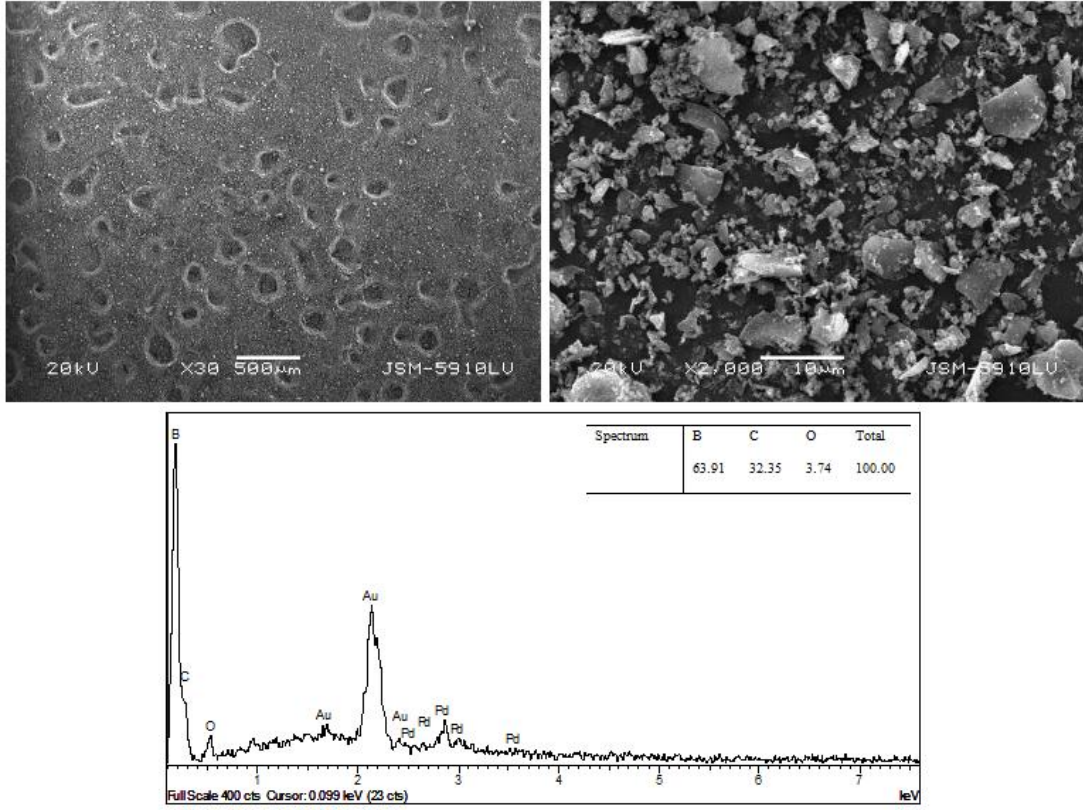
Kullanılacak olan Al talaş ve bor karbür tozları XRD, SEM ve EDS ile incelenerek, Al ve tozların kimyasal bileşimi ve tane yapısı karakterize edilmiştir. [Şekil 3.1](#) 'de atık Al talaşı ve katkı olarak ilave edilen bor karbür tozların XRD sonuçları verilmiştir. Al talaşın XRD paterni (JCPDS Kart No. 04-0787), B₄C tozların XRD paterni (JCPDS Kart No. 35-0798) olup, 53 µm boyutuna sahip toz C (karbon) (JCPDS Kart No. 26-1081), 75-150 µm boyutuna sahip toz B (JCPDS Kart No. 31-0207) içermektedir. [Şekil 3.2](#) 'te Al talaşı, [Şekil 3.3](#) 'te 3 µm, [Şekil 3.4](#) 'te 53 µm, [Şekil 3.5](#) 'te 75-150 µm, 150-250 µm ve 500 µm boyutlarına sahip tozların SEM fotoğrafları ve EDS analizleri verilmiştir.



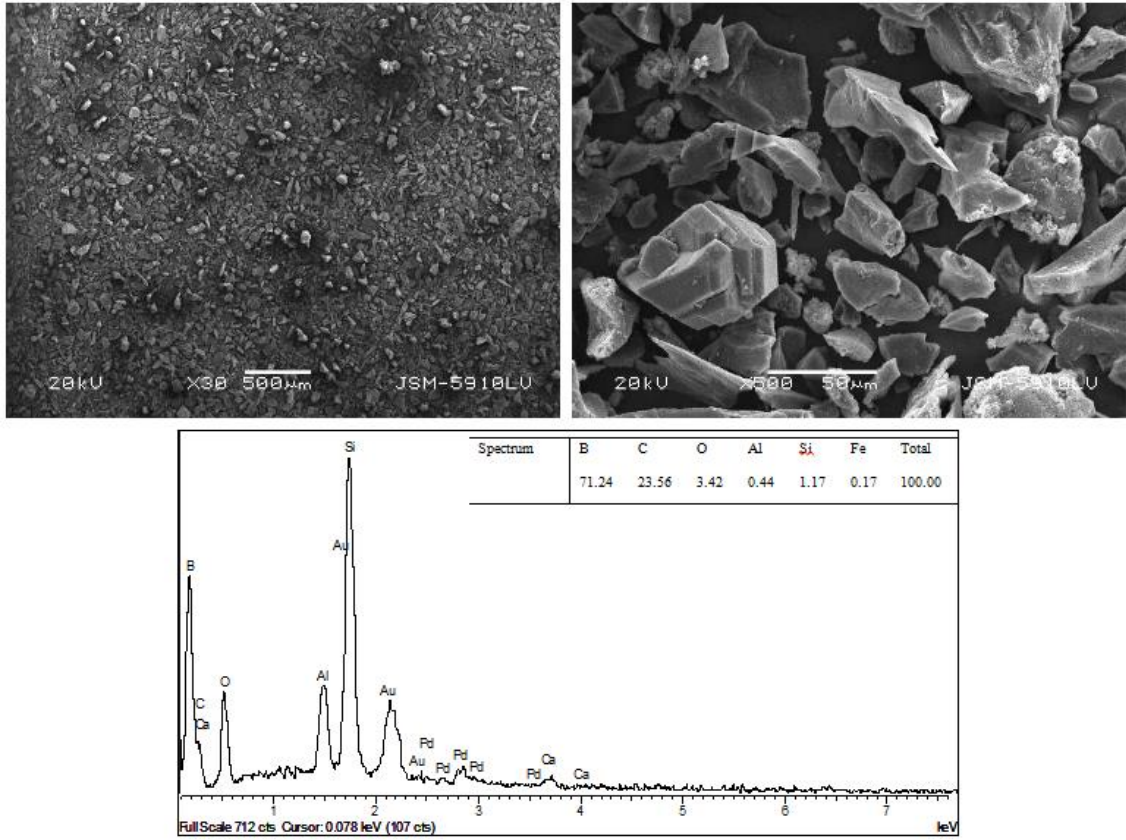
Şekil 3.1 Başlangıç malzemelerin XRD sonuçları



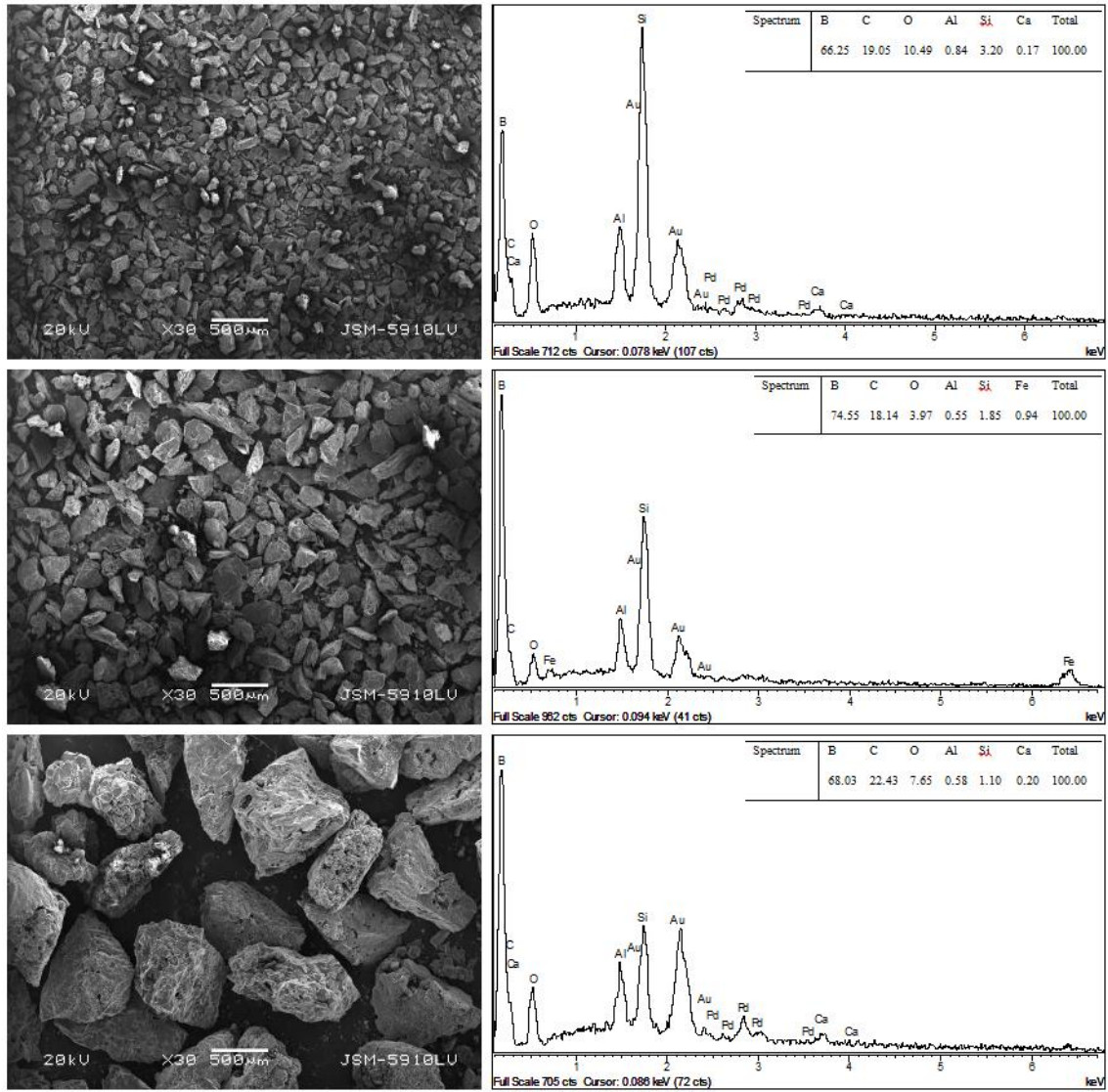
Şekil 3.2 Atık Al talaşın x30 büyütmede SEM fotoğrafı ve EDS analizi



Şekil 3.3 B₄C tozun (3 μm) x30 ve x2000 büyütmede SEM fotoğrafı ve EDS analizi



Şekil 3.4 B₄C tozun (53 μm) x30 ve x500 büyütmede SEM fotoğrafı ve EDS analizi



Şekil 3.5 B₄C tozlarının (a), (b) 75-150 μm, (c), (d) 150-250 μm, (e), (f) 500 μm boyutlarına ait x30 büyütmede SEM fotoğrafları ve EDS analizleri

3.3 Bor Karbür Takviyeli Al (Talaş) Matریksli Kompozitlerin Üretimi

3.3.1 Elekalıtı Talaş İle Bor Karbür Tozlarının Hazırlanması

Alüminyum talaşları 1 milimetrelık elekten geçirildi, elekalıtı numunelerin ve tozların karakterizasyonu tamamlandıktan sonra. Deneysel çalışmalarda 6XXX serisi alüminyum talaşların içine takviye elemanı olarak %5, %10, %15 ve %20 oranlarında 3μ, 53μ, 75-150μ, 150-250μ ve 500μ üzeri boyutlarına sahip bor karbür tozlarının ilavesi idea marka soğuk pres ile şekil verildikten sonra Dr. Fritsch marka sıcak pres kullanılarak bor karbür takviyeli matris (alüminyum talaş) malzeme üretilmiştir. Elde edilen numunelerin fiziksel özellikleri SEM, XRD ve EDS ile incelenmiştir. Farklı boyutlardaki

bor karbür tozlarının (3µm, 53µm, 75-150µm, 150-250µm ve 500µm) SEM görüntüleri, tane boyutu ölçümü ve XRD testleri yapılmıştır.

3.3.2 Al Talaşına İlave Edilecek Bor Karbür Tozların Hesaplanması

Deney başlangıcında numuneler hacmi 10 mmx24mmx5mm olan kalıba %5, %10, %15 ve %20 oranlarında bor karbür, ağırlık olarak yapılan hesaplamanın ardından Al talaşına ilave edildi.

10x24x5= 1200 mm³=1.2 cm³ den %95 , %90 , %85 ve %80 oranlarında kullanacağımız alüminyumun talaşının ağırlık (gr) cinsinden karşılığını bulmak için atom ağırlığını göz önünde bulundurarak ve aynı hesaplama %5 , %10 , %15 ve %20 oranlarında kullanacağımız B₄C içinde yapıldıktan sonra İdea marka soğuk presle şekillendirilip sonra Dr. Fritsch marka sıcak presleme ile preslenip numunelere son şekilleri verilmiştir.

3.3.2.1 %5 B₄C ilaveli %95 Al talaşı içerikli numune için yapılan hesaplama ;

$$1 \text{ cm}^3 \rightarrow \%95 \text{ Al için } 2.70 \text{ gr/cm}^3 \times 0.95 = 2.565 \text{ gr/cm}^3 \quad (3.1)$$

$$1 \text{ cm}^3 \rightarrow \%5 \text{ B}_4\text{C için } 2.54 \text{ gr/cm}^3 \times 0.05 = 0.127 \text{ gr/cm}^3 \quad (3.2)$$

3.3.2.2 %10 B₄C ilaveli %90 Al talaşı içerikli numune için yapılan hesaplama ;

$$1 \text{ cm}^3 \rightarrow \%90 \text{ Al için } 2.70 \text{ gr/cm}^3 \times 0.90 \text{ gr} = 2.43 \text{ gr/cm}^3 \quad (3.3)$$

$$1 \text{ cm}^3 \rightarrow \%10 \text{ B}_4\text{C için } 2.54 \text{ gr/cm}^3 \times 0.10 \text{ gr} = 0.254 \text{ gr/cm}^3 \quad (3.4)$$

3.3.2.3 %15 B₄C ilaveli %85 Al talaşı içerikli numune için yapılan hesaplama ;

$$1 \text{ cm}^3 \rightarrow \%85 \text{ Al için } 2.70 \text{ gr/cm}^3 \times 0.85 \text{ gr} = 2.295 \text{ gram/cm}^3 \quad (3.5)$$

$$1 \text{ cm}^3 \rightarrow \%15 \text{ B}_4\text{C için } 2,54 \text{ gr/cm}^3 \times 0.15 \text{ gr} = 0.381 \text{ gram/cm}^3 \quad (3.6)$$

3.3.2.4 %20 B₄C ilaveli %80 Al talaşı içerikli numune için yapılan hesaplama;

$$1 \text{ cm}^3 \rightarrow \%80 \text{ Al için } 2.70 \text{ gr/cm}^3 \times 0.8 \text{ gr} = 2.16 \text{ gr/cm}^3 \quad (3.7)$$

$$1 \text{ cm}^3 \rightarrow \%20 \text{ B}_4\text{C için } 2.54 \text{ gr/cm}^3 \times 0.2 = 0.508 \text{ gr/cm}^3 \quad (3.8)$$

3.3.3 Numuneye şekil verilmesi

Ağırlık olarak ölçümleri tamamlanan bor karbür ve Al talaşları 2 saat boyunca Hartek firmasının kendi üretimi olan karıştırıcıda karıştırıldı. İdea marka soğuk preste şekil verdikten sonra Dr.Fritsch marka sıcak sinter ile 540 °C de 200 barda 3 dakika süreyle sinterlenmiştir.

3.4 Kullanılan Karakterizasyon ve Test Cihazları

3.4.1 Karakterizasyon Cihazları

3.4.1.1 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Başlangıç maddeleri ve sentezlenen kompozitlerin tane şekilleri, tane boyutları ve faz yapıları SEM kullanılarak incelenmiştir. İncelenecek toz numuneler bir tutucu metal altlık üzerine yapıştırılmış iki taraflı yapışkan karbon bant üzerine yerleştirilerek ve yüzey iletkenliğinin sağlanması amacıyla Au-Pd ile kaplama yapılarak incelenmiştir. Al talaşı ve metal kompozit numuneler (yüzeyleri temizlenerek) doğrudan incelenmiştir. Kullanılan taramalı elektron mikroskobunun (SEM) modeli, JEOL Ltd., JSM-5910LV 'dir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6 Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

3.4.1.2 Enerji Dağılım Spektrometresi (EDS)

Başlangıç maddeleri ve sentezlenen kompozitlerin elementel kompozisyonları EDS kullanılarak incelenmiştir. EDS analizlerinde SEM çalışma voltajı 20 kV, EDS analiz süresi ise 60 sn seçilmiştir. Enerji dağılım spektrometresi (EDS) modeli; (OXFORD Industries INCAx-sight 7274 (133-eV çözünürlükte) 'dir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 Enerji dağılım spektrometresi (EDS)

3.4.1.3 X-ışınları Difraktometresi (XRD)

Başlangıç maddeleri ve sentezlenen kompozitlerde faz tespiti, ikinci fazların varlığı, kristal yapı, kristalinite veya amorflaşma derecesi hakkında bilgi edinebilmek amacıyla X-ışınları difraktometresi (XRD) kullanılarak incelenmiştir. İncelenecek toz numuneler agat havanda öğütülerek 20 μm altında ve yaklaşık 200 mg ağırlığında olacak şekilde hazırlanmış ve cam tutucu üzerine yerleştirilerek XRD analizleri yapılmıştır. Kompozit numuneler ise metalin yüzeyi temizlenerek, macun ile analiz aparatına tutturulmuş ve XRD analizleri yapılmıştır. XRD analizleri $\text{CuK}\alpha$ radyasyonla 2°/dak 'lık tarama hızında 2 θ : 20-60° aralığında gerçekleştirilmiştir. Kullanılan X-ışınları difraktometresinin (XRD) modeli; (Rigaku Corp., D-Max 2200) 'dır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 X-ışınları difraktometresi (XRD)

3.4.2 Kullanılan Test Cihazları

3.4.2.1 Soğuk Pres Cihazı

İdea markalı soğuk pres cihazında numunenin soğuk şekillendirilmesi yapılmıştır. Numune ebatları sıcak pres kalıbına uygun olarak 5mmx10mmx24mm ebatlarında üretilmiştir.



Şekil 3.9 Soğuk pres

3.4.2.2 Sıcak Pres Cihazı

Dr.Fritsch' in modeli DSP 510/515 olan sıcak sinter cihazında, soğuk pres ile şekil verilen numuneler, sıcak pres kalıbına yerleştirilip sıcak pres yardımıyla numuneye son şekil verilmiştir.



Şekil 3.10 Sıcak pres

3.4.3 Diğer Cihazlar

3.4.3.1 Hassas terazi

Mattler toledo marka XP6U ultramicro model (0,1 μ g hassasiyetle) ile şekil verilerek numunelerin tartımları hassas olarak yapılmış ve şekillendirme aşamaları için hazırlanmıştır.



Şekil 3.11 Hassas terazi

3.4.3.2 Karıştırıcı

B₄C tozlarının Al talaşı içinde homojen dağılması için Hartek firmasının kendi imalatı olan karıştırıcıda (eksantrik karıştırma yöntemi benzeri) ölçümü tamamlanmış Al talaşı ve B₄C tozlarının ağırlık olarak tartımı tamamlandıktan sonra farklı farklı kutulara konulmasının ardından karıştırıcıya yerleştirilip iki saat boyunca karıştırılmış (Şekil 3.12).

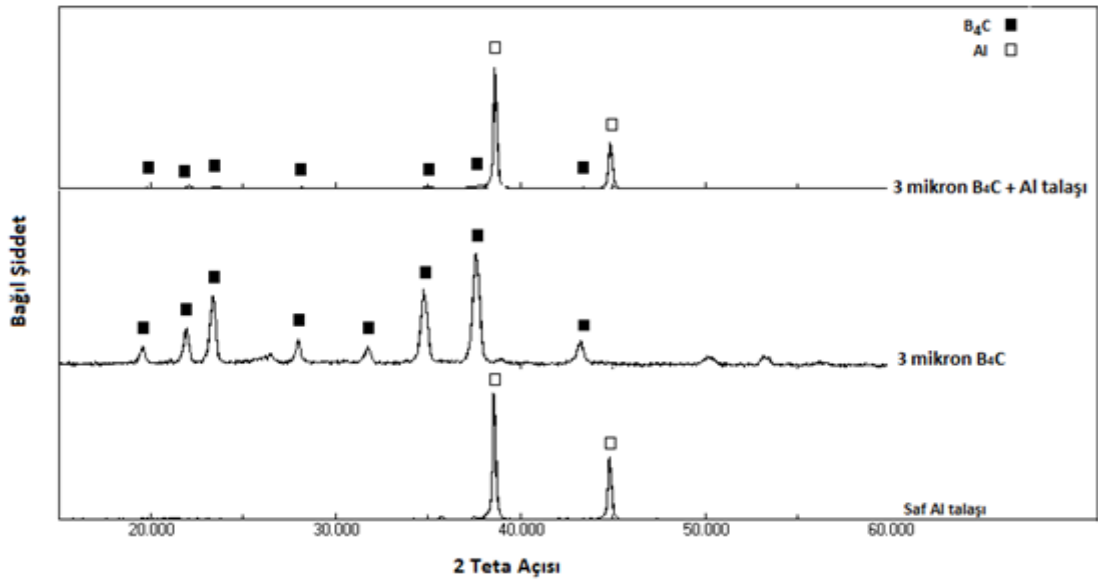


Şekil 3.12 Karıştırıcı

DEĞERLENDİRME ve TARTIŞMA

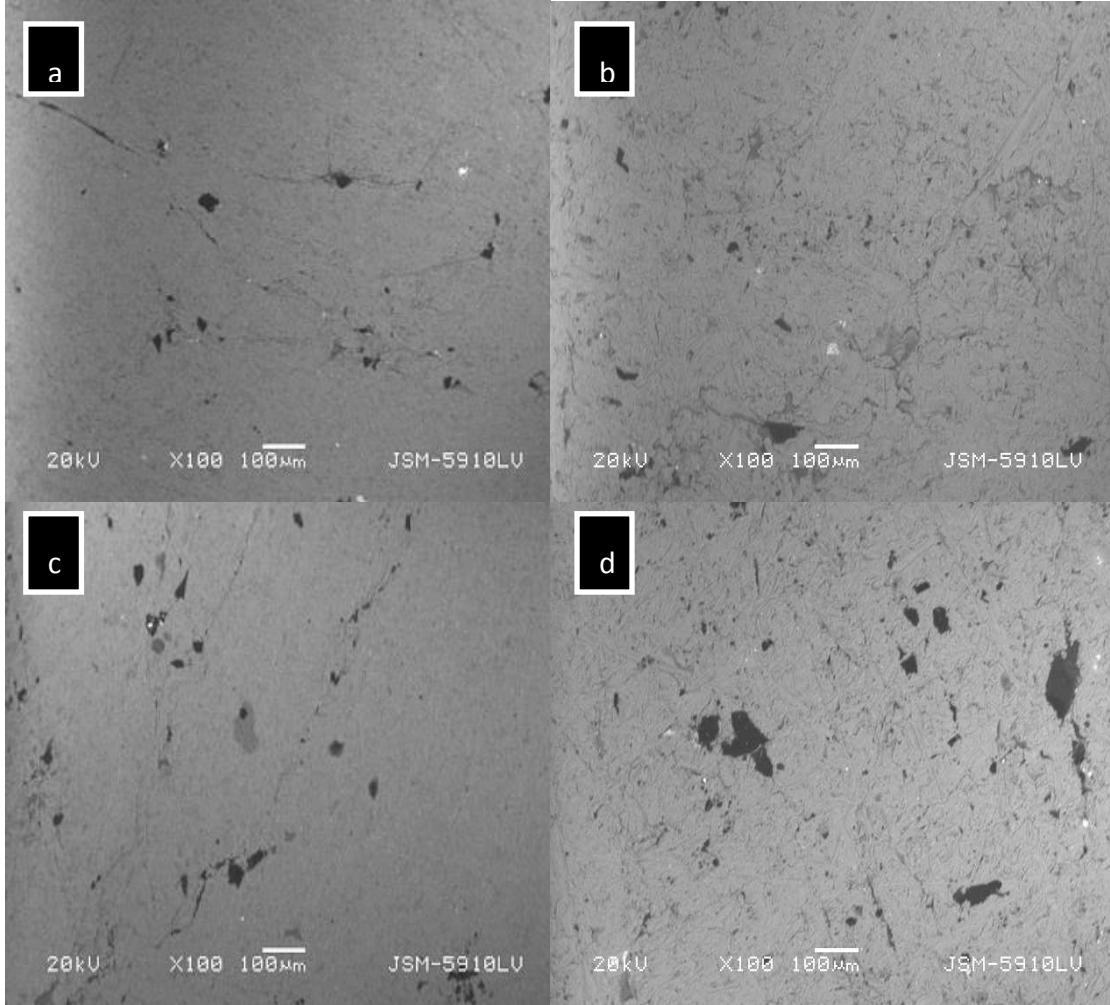
4.1 B₄C Katkılı Tozdan Üretilen Al Matrisli Kompozitin XRD, SEM-EDS Analizleri4.1.1 3 µm B₄C Katkılı Tozdan Üretilen Al matrisli Kompozitin XRD, SEM-EDS Analizleri

Şekil 4.1 'de saf Al talaş, ortalama tane boyutu 3µm B₄C tozu ile %20 oranında ilave edilerek üretilen kompozitin XRD sonuçları verilmiştir. Kompozit yapıda Al pikleri yanı sıra görülen B₄C pikleri yapıda içerisinde bor karbür varlığını göstermektedir.



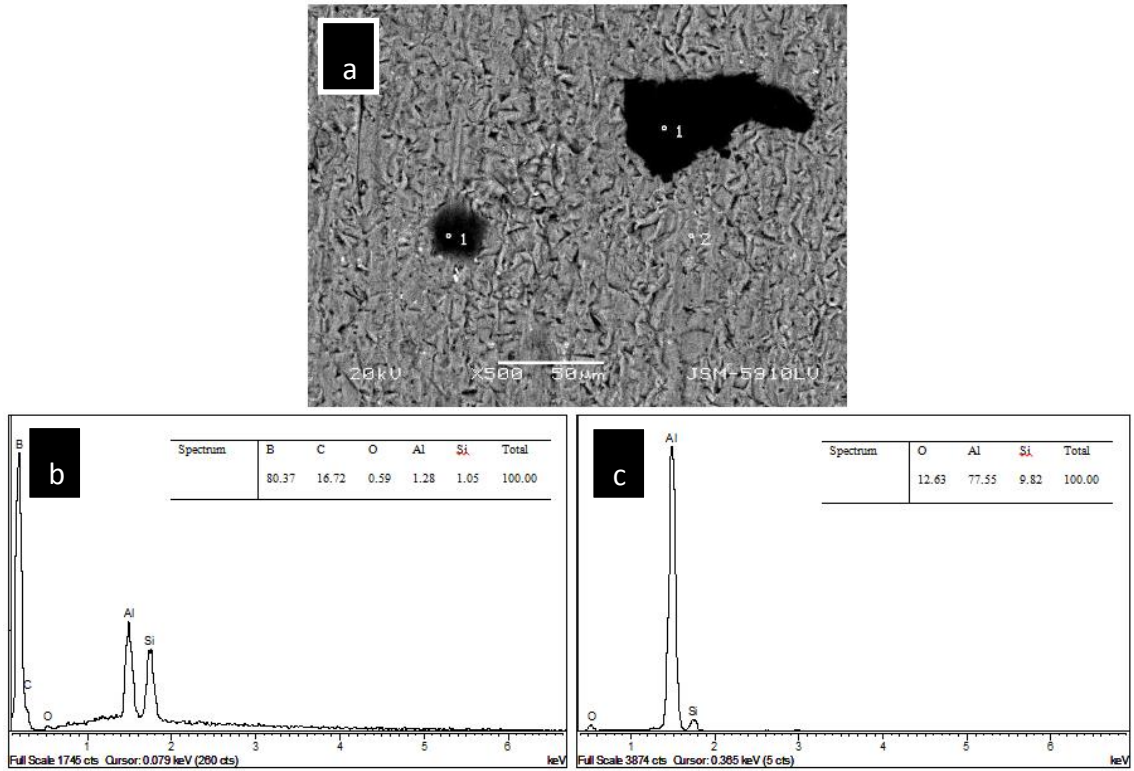
Şekil 4.1 Al talaşı, 3 µm 'luk B₄C tozu ve %20 B₄C katkı Al matrisli kompozitin XRD paternleri

Şekil 4.2 'de %5, %10, %15, %20 oranlarında ve 3 mikron boyutunda B_4C katkıli kompozitlerin SEM analizlerini gösteren fotoğraflar verilmiştir. Geri saçılımlı elektron (BE) görüntülerinde beyaz kontrasta sahip Al matris içerisine dağılmış olan B_4C yapıları görülmektedir. SEM analizleri XRD sonuçlarını teyit etmekte olup B_4C katkıli alüminyum matrisli kompozit yapısını doğrulamaktadır. Ayrıca katkı miktarı artışına bağlı olarak 3 μm tozun matriste oluşturduğu aglomere tanelerinin sınırlı kaldığı görülmüştür.



Şekil 4.2 Al talaşına 3 μm B_4C tozu farklı oranlarda katkılanarak üretilen kompozitin x100 büyütmede SEM geri saçılımlı elektron (BE) fotoğrafları, (a) %5, (b) %10, (c) %15 ve (d) %20.

Şekil 4.3 'de %20 oranında ve 3 mikron B_4C tozu katkıli kompozitin SEM-EDS analizlerini gösteren fotoğraf verilmiştir. Geri saçılımlı elektron (BE) görüntüsünün EDS analizinde matris içerisine dağılmış olan B_4C yapıları (nokta 1) ve beyaz kontrasta sahip Al matrisin EDS analizinde matris yapı (nokta 2) görülmektedir.



Şekil 4.3 Al talaşına 3 µm 'luk B₄C tozu %20 oranında katkılanarak üretilen kompozitin (a) x500 büyütmede SEM geri saçılımlı elektron (BE) fotoğrafı ve EDS analizini gösteren bölgeler, EDS analiz sonuçları (b) B₄C tozu (nokta 1) (c) Al matrisli kompozit (nokta 2).

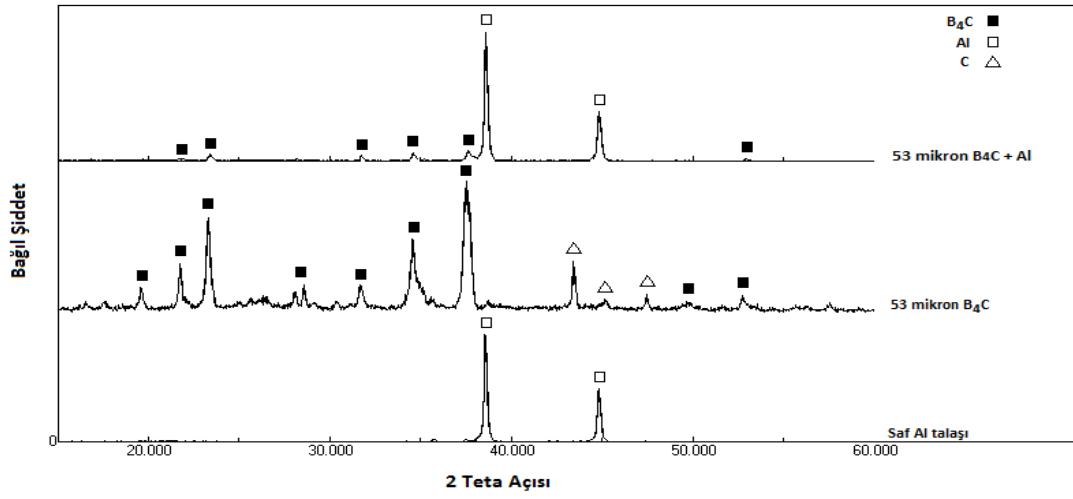
4.1.2 53 µm B₄C Katkılı Tozdan Üretilen Al Matrisli Kompozitin XRD, SEM-EDS

Analizleri

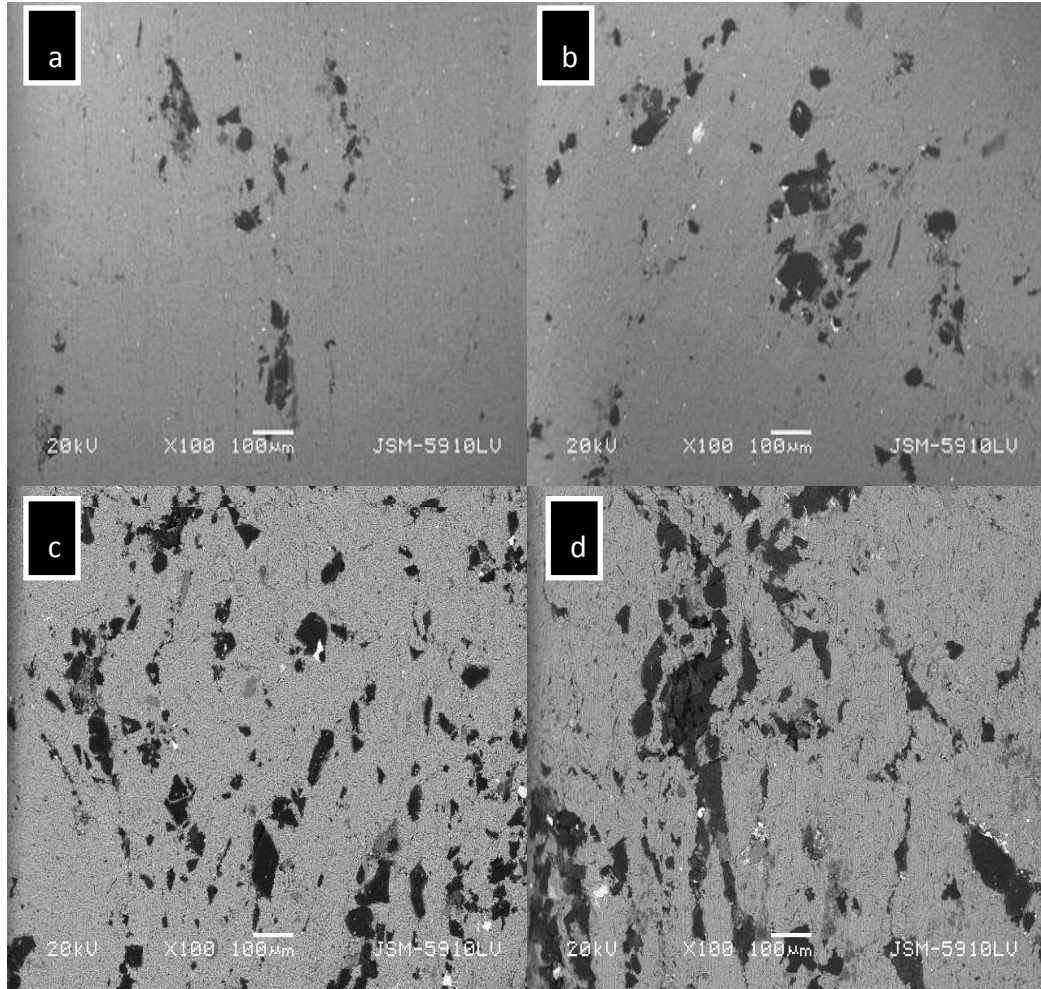
Şekil 4.4 'de saf Al talaş, ortalama tane boyutu 53µm B₄C tozu ile %20 oranında ilave edilerek üretilen kompozitin XRD sonuçları verilmiştir. Kompozit yapıda Al pikleri yanı sıra görülen B₄C pikleri yapıda içerisinde bor karbür varlığını göstermektedir.

Şekil 4.5 'de %5, %10, %15, %20 oranlarında ve 53 mikron boyutunda B₄C katkıli kompozitlerin SEM analizlerini gösteren fotoğraflar verilmiştir. Geri saçılımlı elektron (BE) görüntülerinde beyaz kontrasta sahip Al matris içerisine dağılmış olan B₄C yapıları görülmektedir. SEM analizleri XRD sonuçlarını teyit etmekte olup B₄C katkıli alüminyum matrisli kompozit yapısını doğrulamaktadır.

SEM incelemeleri, 53 µm toz yapısının matriste homojen dağılım sergilediğini ve katkı miktarı artışına bağlı olarak Al matriste aglomere tane oluşumu görüldüğünü bununla birlikte aglomerelerin sınırlı düzeyde kaldığı görülmüştür.

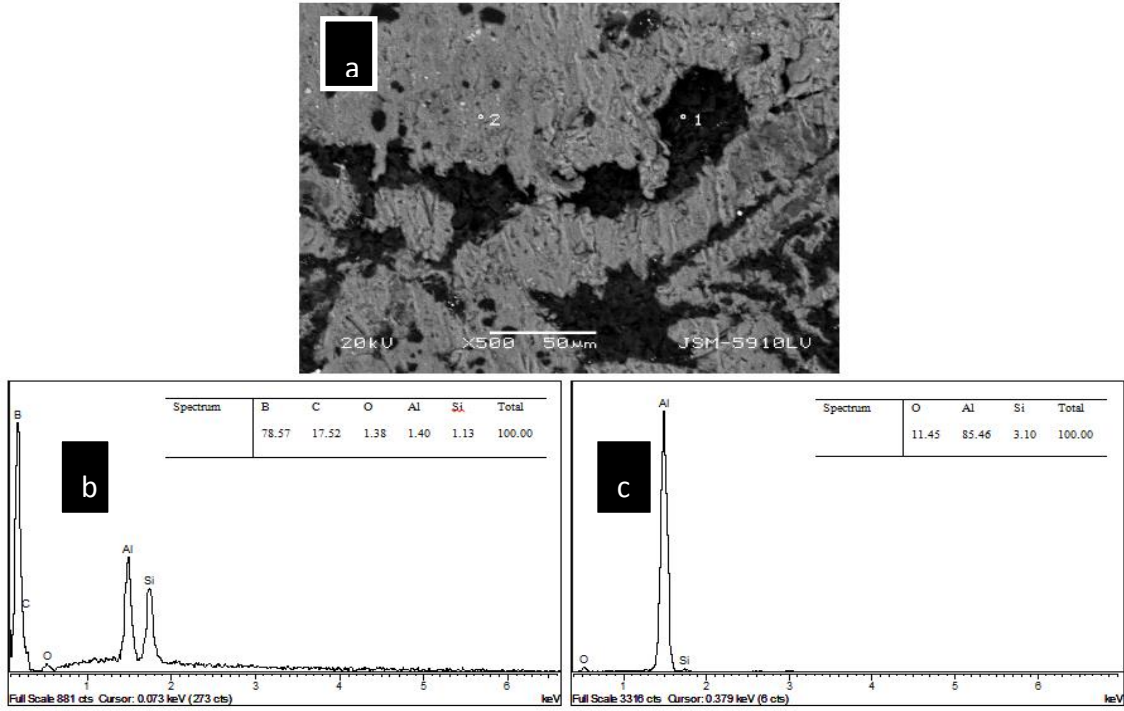


Şekil 4.4 Al talaşı, 53 μm 'luk B_4C tozu ve %20 B_4C katkılı Al matrisli kompozitin XRD paternleri



Şekil 4.5 Al talaşına 53 μm %20 B_4C katkılılanarak üretilen kompozitin x100 büyütmede SEM geri saçılımlı elektron (BE) fotoğrafları, (a) %5, (b) %10, (c) %15 ve (d) %20.

Şekil 4.6 'da %20 oranında, 53 mikron B_4C tozu katkılı kompozitin SEM-EDS analizlerini gösteren fotoğraf verilmiştir. Geri saçılımlı elektron (BE) görüntüsünün EDS analizinde matris içerisine dağılmış olan B_4C yapıları (nokta 1) ve beyaz kontrasta sahip Al matrisin EDS analizinde matris yapı (nokta 2) görülmektedir.



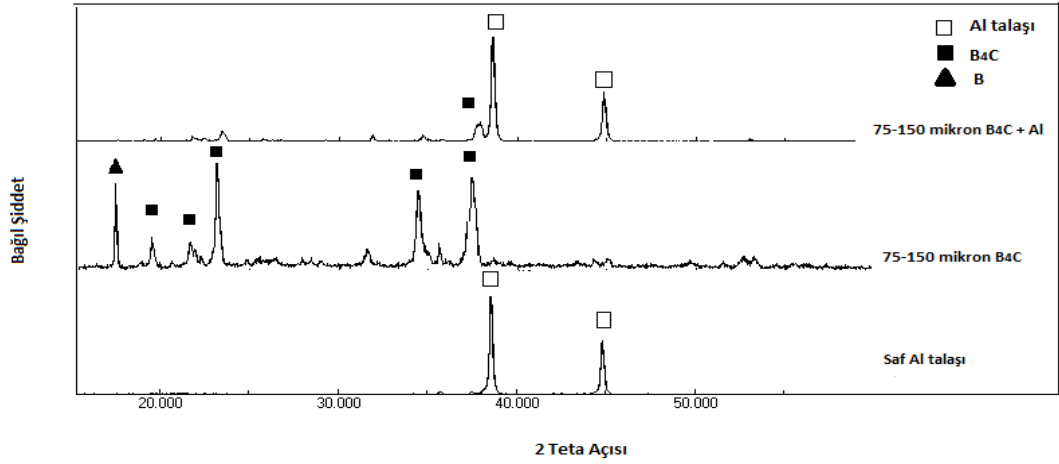
Şekil 4.6 Al talaşına 53 µm 'luk B_4C tozu %20 oranında katkılanarak üretilen kompozitin (a) x500 büyütmede SEM geri saçılımlı elektron (BE) fotoğrafı ve EDS analizini gösteren bölgeler, EDS analiz sonuçları (b) B_4C tozu (nokta 1) (c) Al matrisli kompozit (nokta 2).

4.1.3 75-150 µm B_4C Katkılı Tozdan Üretilen Al Matrisli Kompozitin XRD, SEM-EDS Analizleri

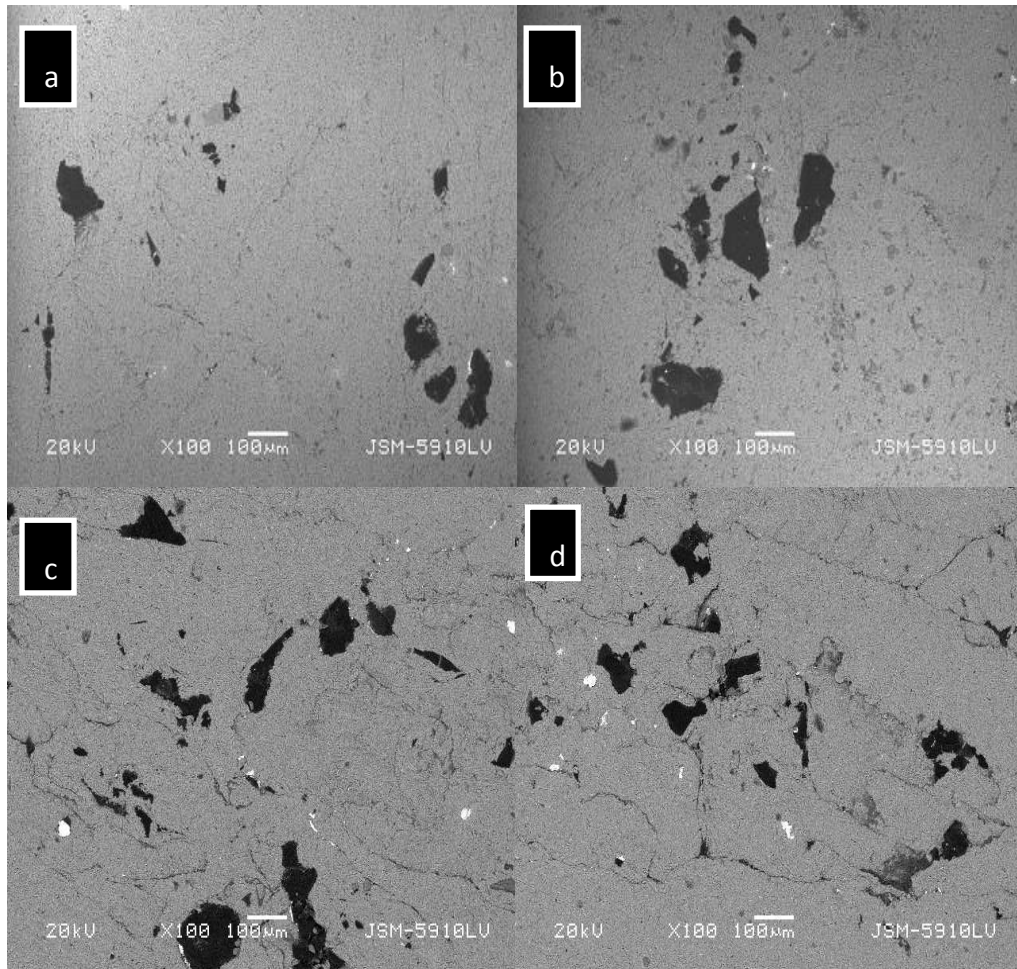
Şekil 4.7 'de saf Al talaş, tane boyut aralığı 75-150 µm olan B_4C tozu ile %20 oranında ilave edilerek üretilen kompozitin XRD sonuçları verilmiştir. Kompozit yapıda Al pikleri yanı sıra görülen B_4C pikleri yapıda içerisinde bor karbür varlığını göstermektedir.

Şekil 4.8 'de %5, %10, %15, %20 oranlarında ve 75-150 mikron boyut aralığında B_4C katkılı kompozitlerin SEM analizlerini gösteren fotoğraflar verilmiştir. Geri saçılımlı elektron (BE) görüntülerinde beyaz kontrasta sahip Al matris içerisine dağılmış olan B_4C yapıları görülmektedir. SEM analizleri XRD sonuçlarını teyit etmekte olup B_4C katkılı alüminyum matrisli kompozit yapısını doğrulamaktadır. Kompozitte 75-150 µm tozun

aglomere oluşumu ve matriste dağılımının 53 μm 'luk toza paralellik gösterdiği tesbit edilmiştir.

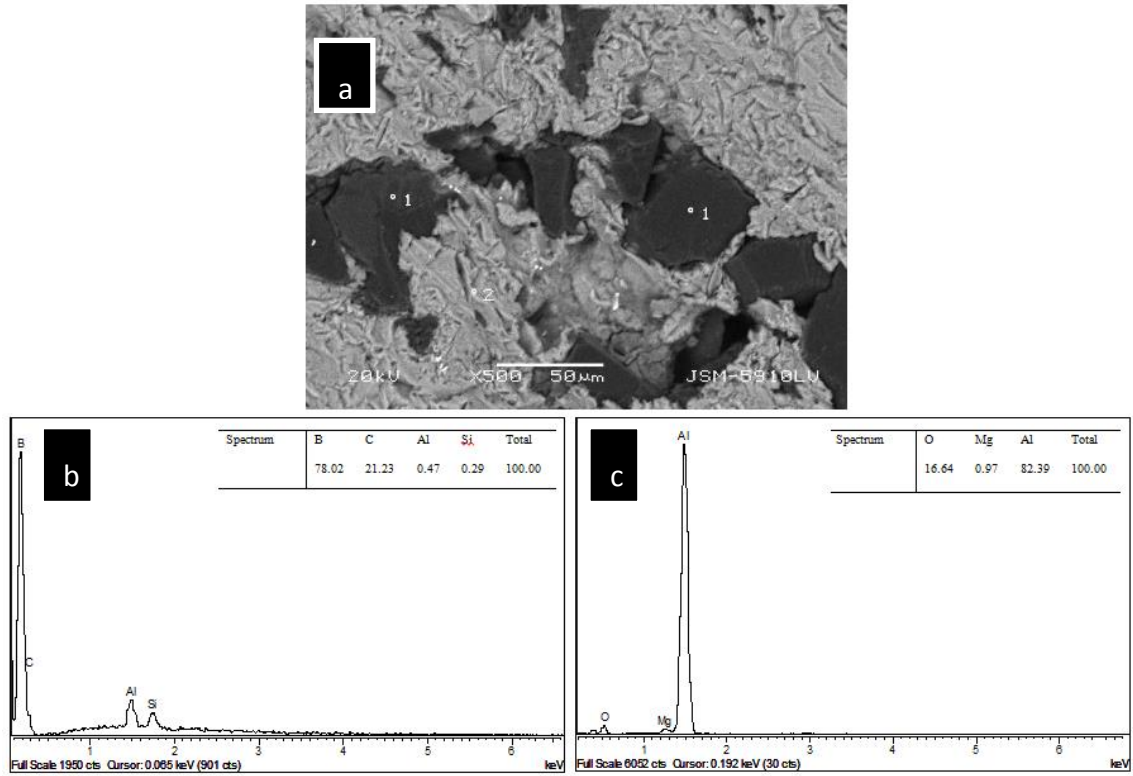


Şekil 4.7 Al talaşı, 75-150 μm 'luk B_4C tozu ve %20 B_4C katkılı Al matrisli kompozitin XRD paternleri



Şekil 4.8 Al talaşına 75-150 μm B_4C tozu farklı oranlarda katkılanarak üretilen kompozitin x100 büyütmede SEM geri saçılımlı elektron (BE) fotoğrafları, (a) %5, (b) %10, (c) %15 ve (d) %20.

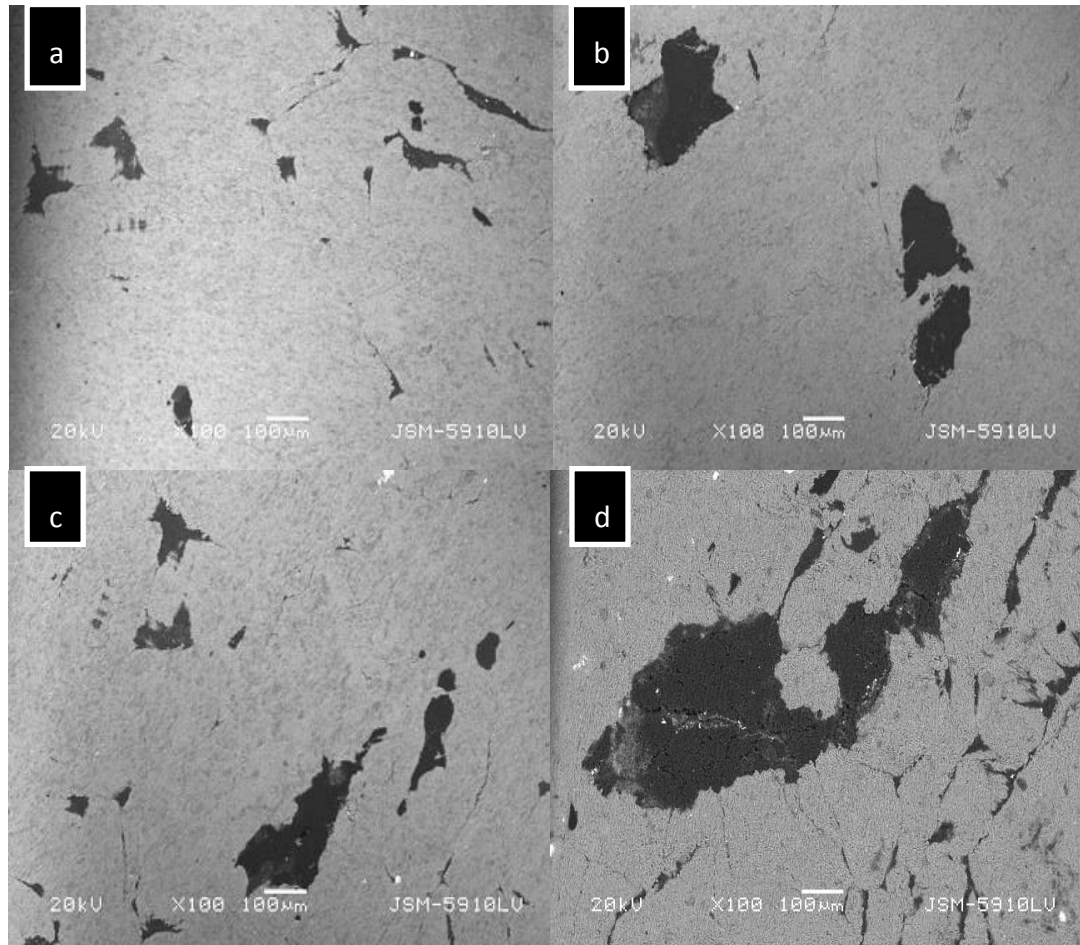
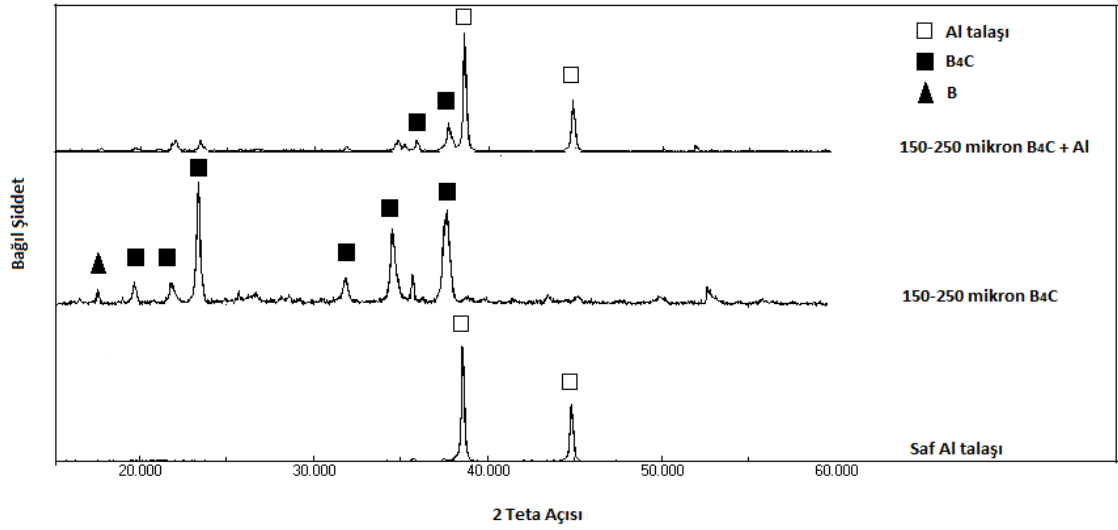
Şekil 4.9 'da %20 oranında ve 75-150 mikron boyut aralığında B_4C tozu katkıli kompozitin SEM-EDS analizlerini gösteren fotoğraf verilmiştir. Geri saçılımlı elektron (BE) görüntüsünün EDS analizinde matris içerisine dağılmış olan B_4C yapıları (nokta 1) ve beyaz kontrasta sahip Al matrisin EDS analizinde matris yapı (nokta 2) görülmektedir.



Şekil 4.9 Al talaşına 75-150 µm 'luk B_4C tozu %20 oranında katkılanarak üretilen kompozitin (a) x500 büyütmede SEM geri saçılımlı elektron (BE) fotoğrafı ve EDS analizini gösteren bölgeler, EDS analiz sonuçları (b) B_4C tozu (nokta 1) (c) Al matrisli kompozit (nokta 2).

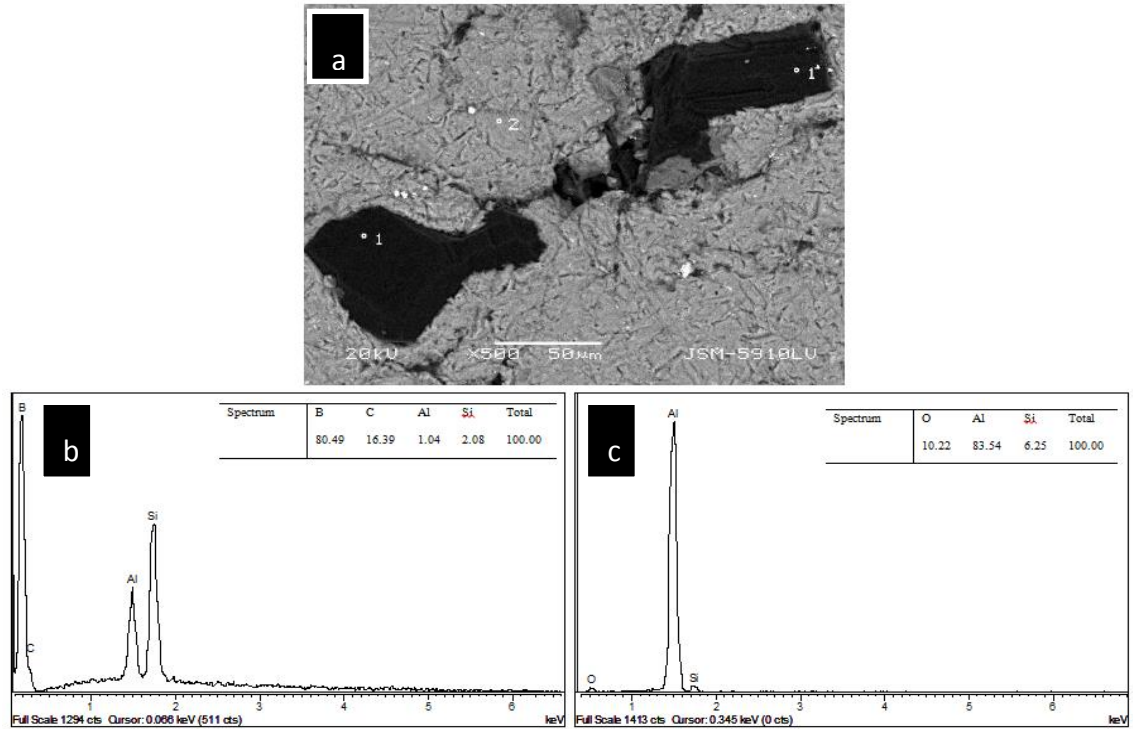
4.1.4 150-250 µm B_4C Katkılı Tozdan Üretilen Al Matrisli Kompozitin XRD, SEM-EDS Analizleri

Şekil 4.10 'de saf Al talaş, tane boyut aralığı 150-250 µm olan B_4C tozu ile %20 oranında ilave edilerek üretilen kompozitin XRD sonuçları verilmiştir. Kompozit yapıda Al pikleri yanı sıra görülen B_4C pikleri yapıda içerisinde bor karbür varlığını göstermektedir.



Şekil 4.11 'de %5, %10, %15, %20 oranlarında ve 150-250 mikron boyut aralığında B₄C katkıli kompozitlerin SEM analizlerini gösteren fotoğraflar verilmiştir. Geri saçılımlı elektron (BE) görüntülerinde beyaz kontrasta sahip Al matris içerisine dağılmış olan B₄C yapıları görülmekte. SEM analizleri XRD sonuçlarını teyit etmekte olup B₄C katkıli Al matrisli kompozit yapısını doğrulamaktadır. Al matriste artan toz boyutu ve katkı artışının heterojen bölgelere neden olduğu görülmektedir.

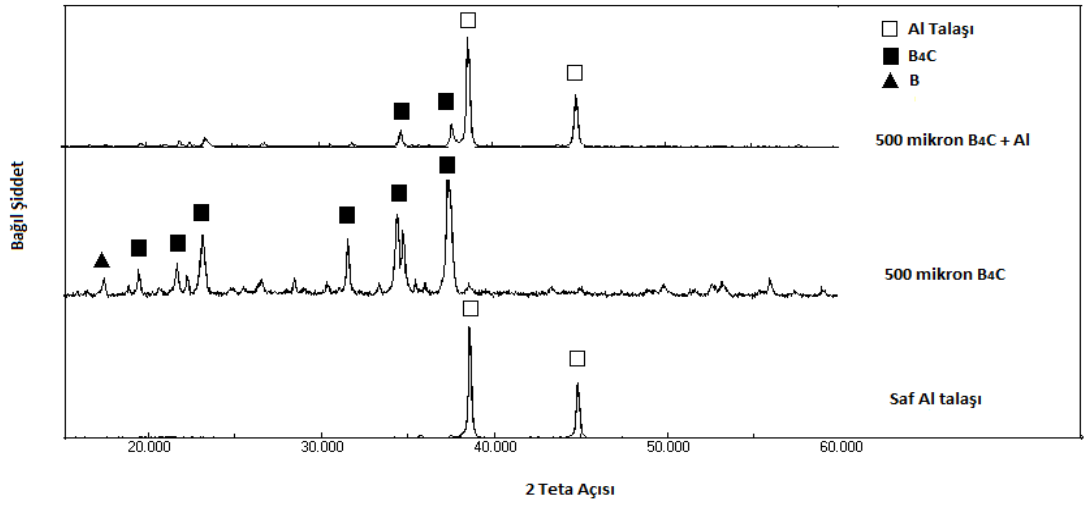
Şekil 4.12 'de %20 oranında ve 150-250 mikron boyut aralığında B₄C tozu katkıli kompozitin SEM-EDS analizlerini gösteren fotoğraf verilmiştir. Geri saçılımlı elektron (BE) görüntüsünün EDS analizinde matris içerisine dağılmış olan B₄C yapıları (nokta 1), beyaz kontrasta sahip Al matrisin EDS analizinde matris yapı (nokta 2) görülmektedir.



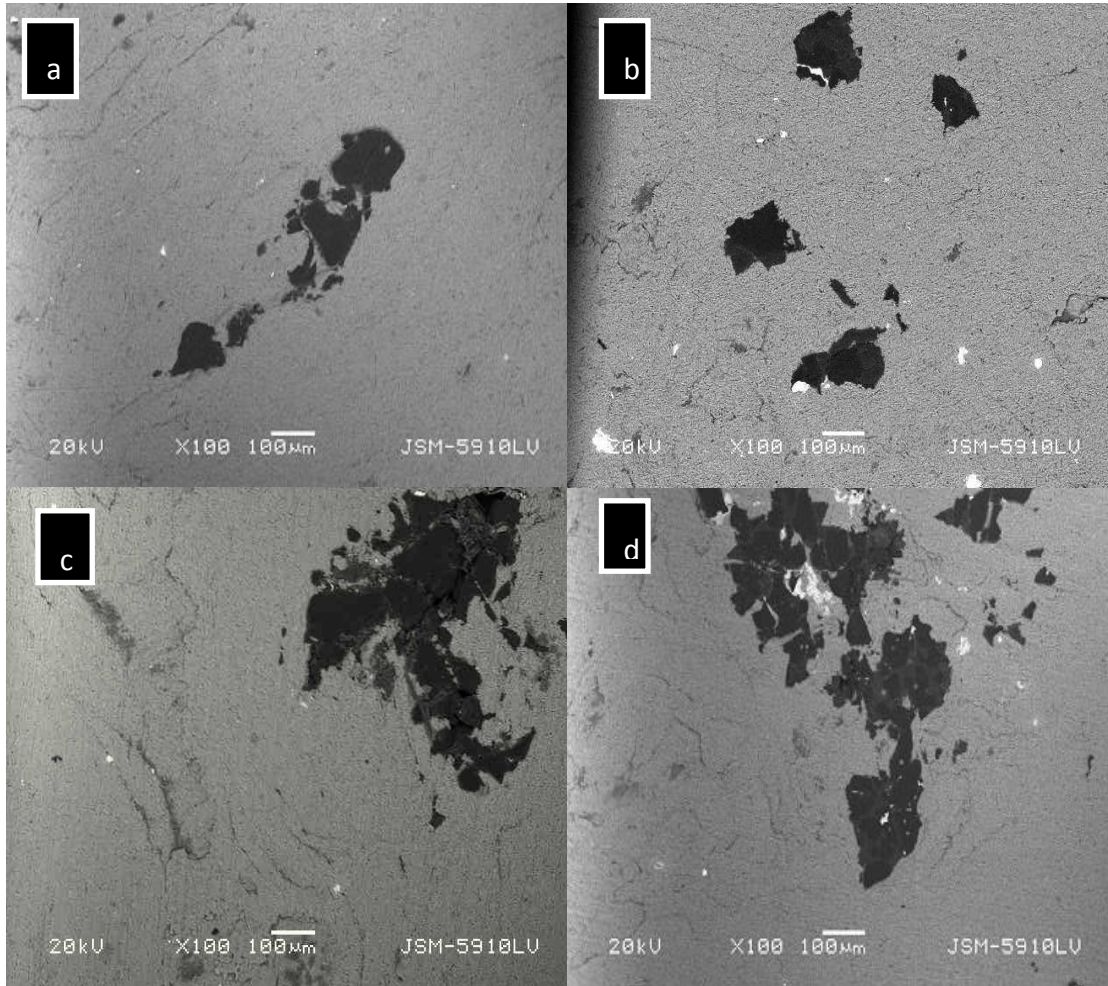
Şekil 4.12 Al talaşına 150-250 µm 'luk B₄C tozu %20 oranında katkılanarak üretilen kompozitin a) x500 büyütmede SEM geri saçılımlı elektron (BE) fotoğrafı ve EDS analizini gösteren bölgeler, EDS analiz sonuçları (b) B₄C tozu (nokta 1) (c) Al matrisli kompozit (nokta 2).

4.1.5 500 µm B₄C Katkıli Tozdan Üretilen Al Matrisli Kompozitin XRD, SEM-EDS Analizleri

Şekil 4.13 'de saf Al talaş, ortalama tane boyutu 53 µm B₄C tozu ile %20 oranında ilave edilerek üretilen kompozitin XRD sonuçları verilmiştir. Kompozit yapıda Al pikleri yanı sıra görülen B₄C pikleri yapıda içerisinde bor karbür varlığını göstermektedir.



Şekil 4.13 Al talaşı, 500 µm 'luk B₄C tozu ve %20 B₄C katkılı Al matrisli kompozitin XRD paternleri

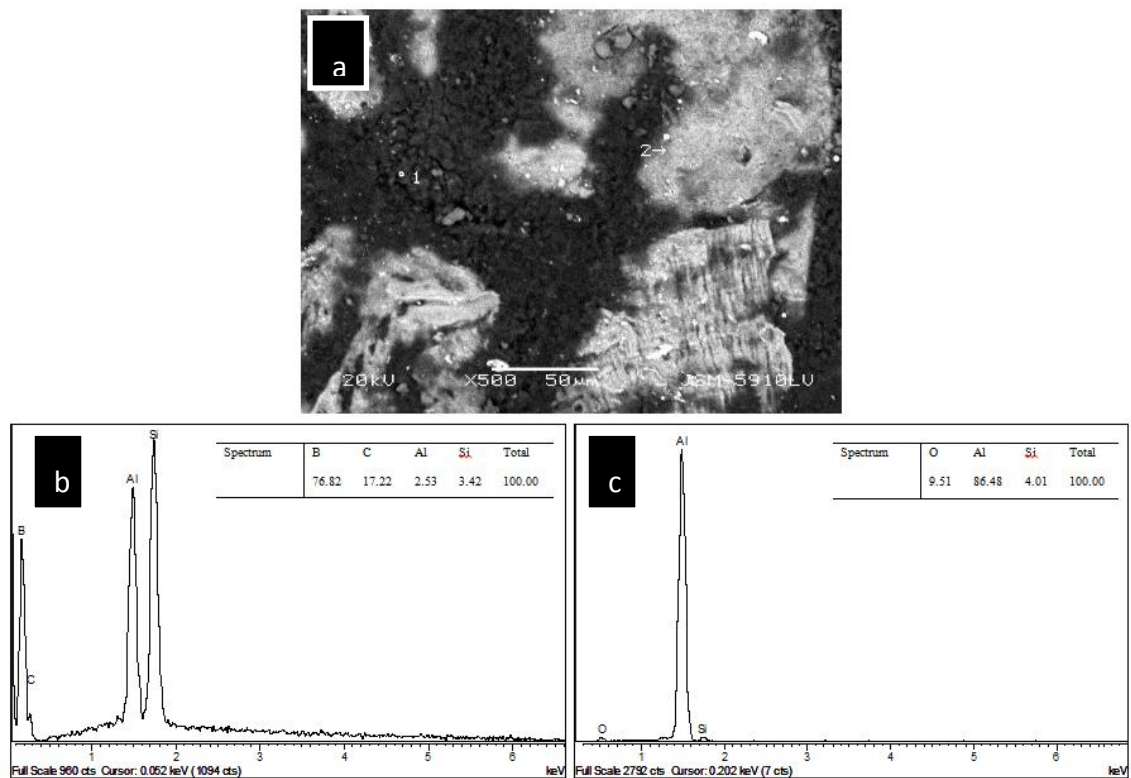


Şekil 4.14 Al talaşına 500 µm B₄C tozu farklı oranlarda katkılanarak üretilen kompozitin x100 büyütmede SEM geri saçılımlı elektron (BE) fotoğrafları, (a) %5, (b) %10, (c) %15 ve (d) %20.

Şekil 4.14 'de %5, %10, %15, %20 oranlarında ve 500 mikron boyutunda B_4C katkıli kompozitlerin SEM analizlerini gösteren fotoğraflar verilmiştir. Geri saçılımlı elektron (BE) görüntülerinde beyaz kontrasta sahip Al matris içerisine dağılmış olan B_4C yapıları görülmektedir. SEM analizleri XRD sonuçlarını teyit etmekte olup B_4C katkıli alüminyum matrisli kompozit yapısını doğrulamaktadır.

SEM incelemeleri 500 mikron toz boyutunun Al matriste dağılımı yavaşlattığı, artan katkı artışının heterojen dağılıma neden olduğunu, karıştırma işlemi esnasında tane boyutunda küçülme meydana gelebileceği gibi, bu işlemin bir miktar matris içerisinde aglomere tane büyümelerine neden olabileceğinden göstermektedir.

Şekil 4.15 'de %20 oranında ve 500 mikron B_4C tozu katkıli kompozitin SEM-EDS analizlerini gösteren fotoğraf verilmiştir. Geri saçılımlı elektron (BE) görüntüsünün EDS analizinde matris içerisine dağılmış olan B_4C yapıları (nokta 1) ve beyaz kontrasta sahip Al matrisin EDS analizinde matris yapı (nokta 2) görülmektedir.

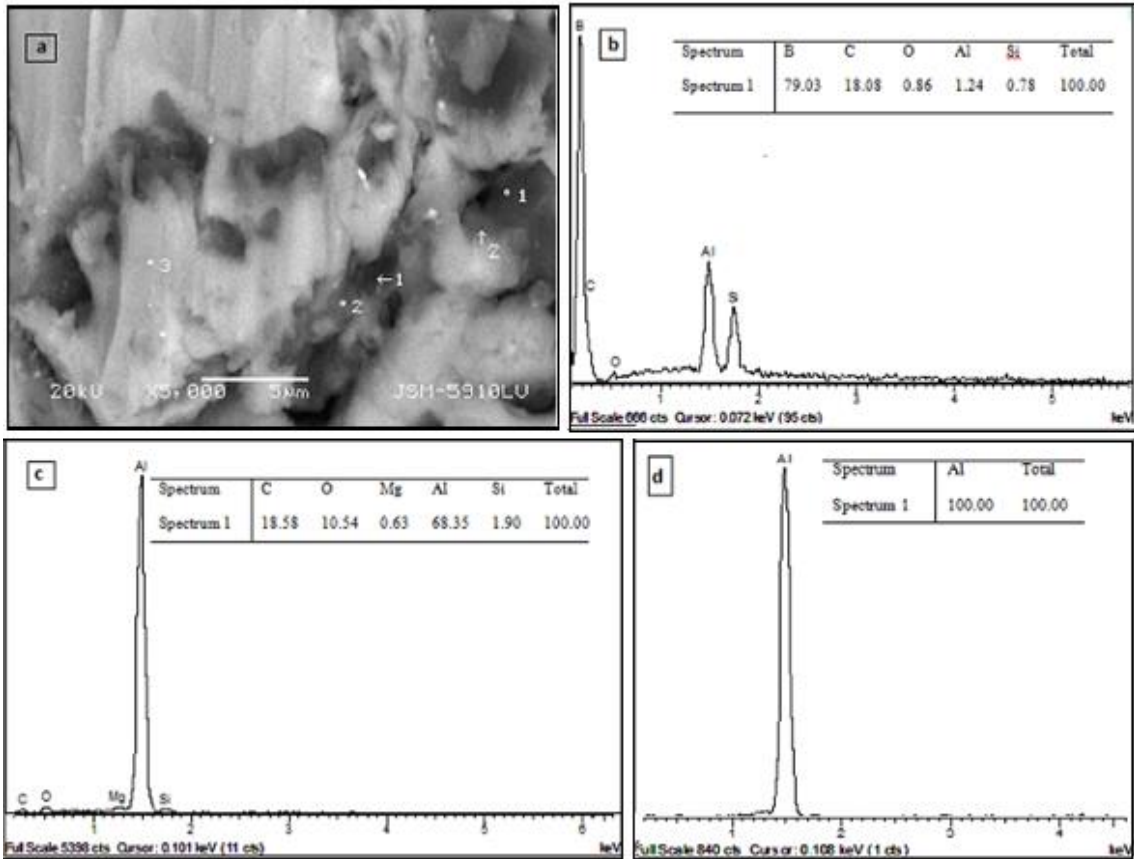


Şekil 4.15 Al talaşına 500 μm 'luk B_4C tozu %20 oranında katkılanarak üretilen kompozitin (a) x500 büyütmede SEM geri saçılımlı elektron (BE) fotoğrafı ve EDS analizini gösteren bölgeler, EDS analiz sonuçları (b) B_4C tozu (nokta 1), (c) Al matrisli kompozit (nokta 2).

4.2 Al Matrisli B₄C Takviyeli Kompozitte Matris ile B₄C Arayüzeyinin SEM ve EDS İncelemeleri

4.2.1 %20 katkı 3 µm tane çapına sahip B₄C Tozlarıyla Matrisin Al (talaş) Arayüzeyinin SEM ve EDS İncelemeleri

Şekil 4.16 'da Al matrisli kompozit içerisinde % 20 oranında katkı B₄C tozu ile matris arayüzeyinin SEM geri saçılımlı elektron mikroyapı fotoğrafı verilmiştir. Fotoğrafta Al talaş ve B₄C yapısı yanısıra arayüzeyde oluşan diğere bir yapı oluşumunun meydana geldiği görülmektedir. EDS analizleri, Al talaşı (nokta 3), B₄C (nokta 1) ve arayüzeyde oluşan Al-C-O elementlere bağlı faz veya fazlarının (nokta 2) oluştuğunu göstermektedir. Al ve B₄C arayüzeyinde ikincil ara faz veya fazların oluşması; ısıl işlem esnasında difüzyon etkisine bağlı olması muhtemeldir.

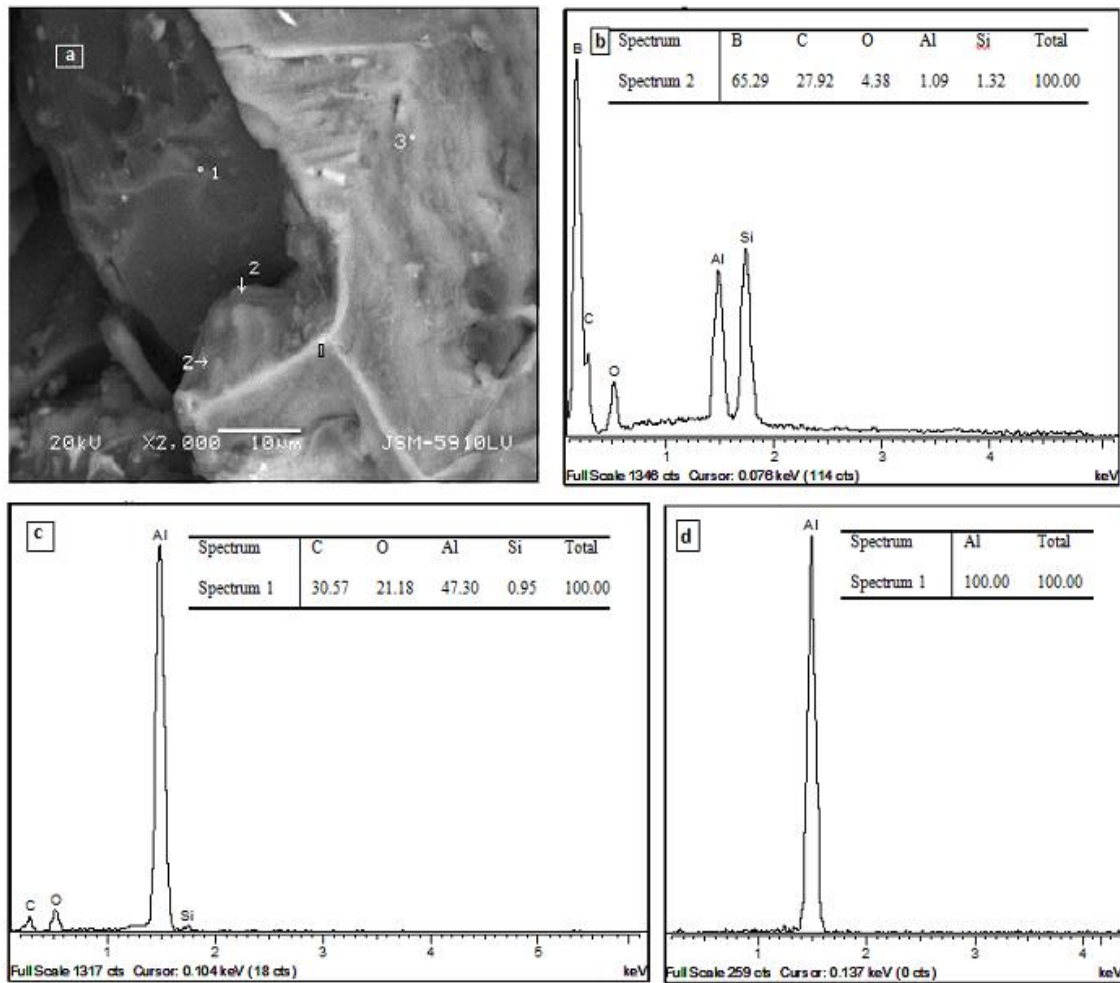


Şekil 4.16 Al matrisli kompozit içerisinde 3µm B₄C tane arayüzeyinin (a) x5000 büyütmede SEM fotoğrafı (b) SEM fotoğrafında görülen 1 nolu noktanın (B₄C) EDS analizi, (c) SEM fotoğrafında görülen 2 nolu noktanın (arayüzey) EDS analizi (d) SEM fotoğrafında görülen 3 nolu noktanın (Al talaş) EDS analizi.

4.2.2 %20 katkılı 53 µm tane çapına sahip B₄C Tozlarıyla Matrisin Al (talaş)

Arayüzeyinin SEM ve EDS İncelemeleri

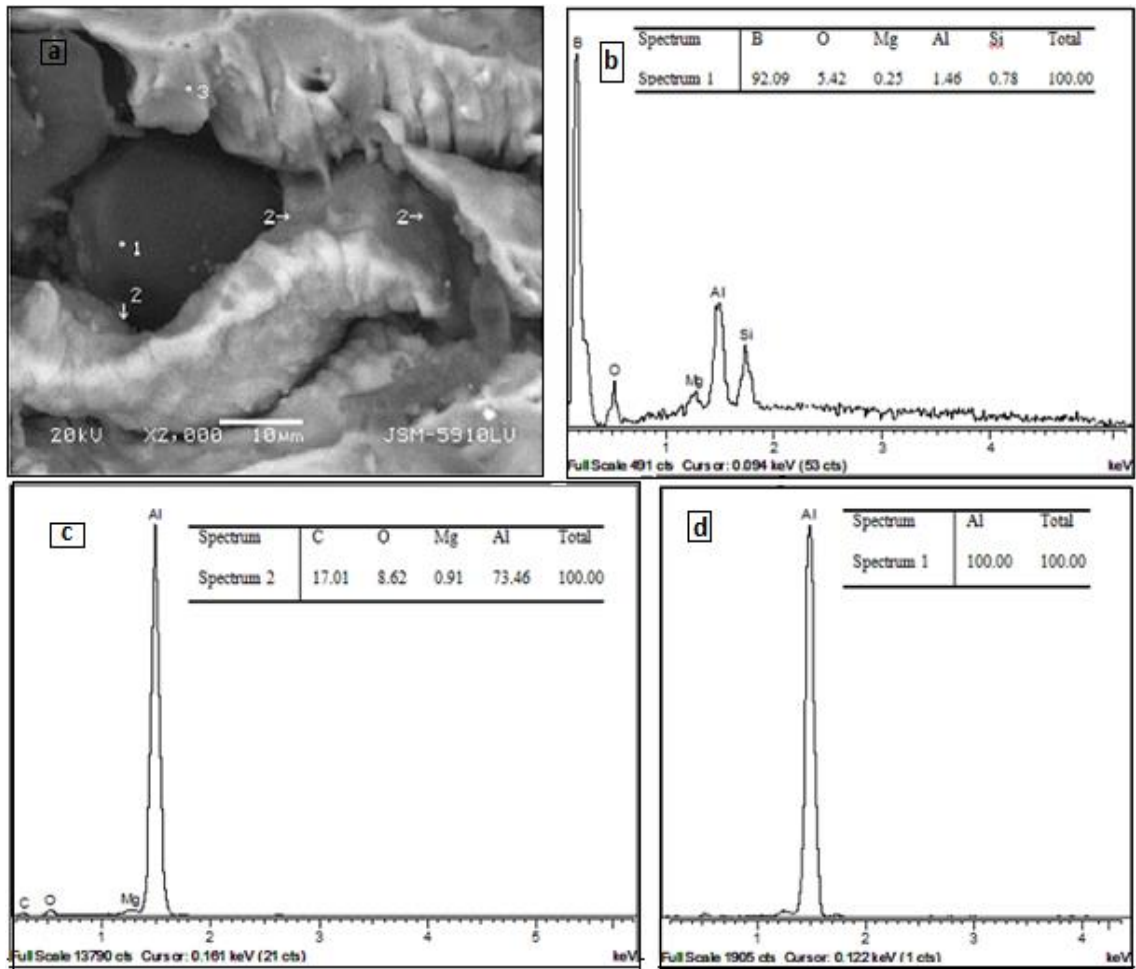
Şekil 4.17 'da Al matrisli kompozit içerisinde % 20 oranında katkılı B₄C tozu ile matris arayüzeyinin SEM geri saçılımlı elektron mikroyapı fotoğrafı verilmiştir. Fotoğrafta Al talaş ve B₄C yapısı yanısıra arayüzeyde oluşan diğere bir yapı oluşumunun meydana geldiği görülmektedir. EDS analizleri, Al talaşı (nokta 3), B₄C (nokta 1) ve arayüzeyde oluşan Al-C-O elementlere bağlı faz veya fazlarının (nokta 2) oluştuğunu göstermektedir. Al ve B₄C arayüzeyinde ikincil ara faz veya fazların oluşması; ısıl işlem esnasında difüzyon etkisine bağlı olması muhtemeldir.



Şekil 4.17 Al matrisli kompozit içerisinde 53 µm B₄C tane arayüzeyinin (a) x2000 büyütmede SEM fotoğrafı (b) SEM fotoğrafında görülen 1 nolu noktanın (B₄C) EDS analizi, (c) SEM fotoğrafında görülen 2 nolu noktanın (arayüzey) EDS analizi (d) SEM fotoğrafında görülen 3 nolu noktanın (Al talaş) EDS analizi.

4.2.3 %20 katkılı 75-150 µm tane çapına sahip B₄C Tozlarıyla Matrisin Al (talaş) Arayüzeyinin SEM ve EDS İncelemeleri

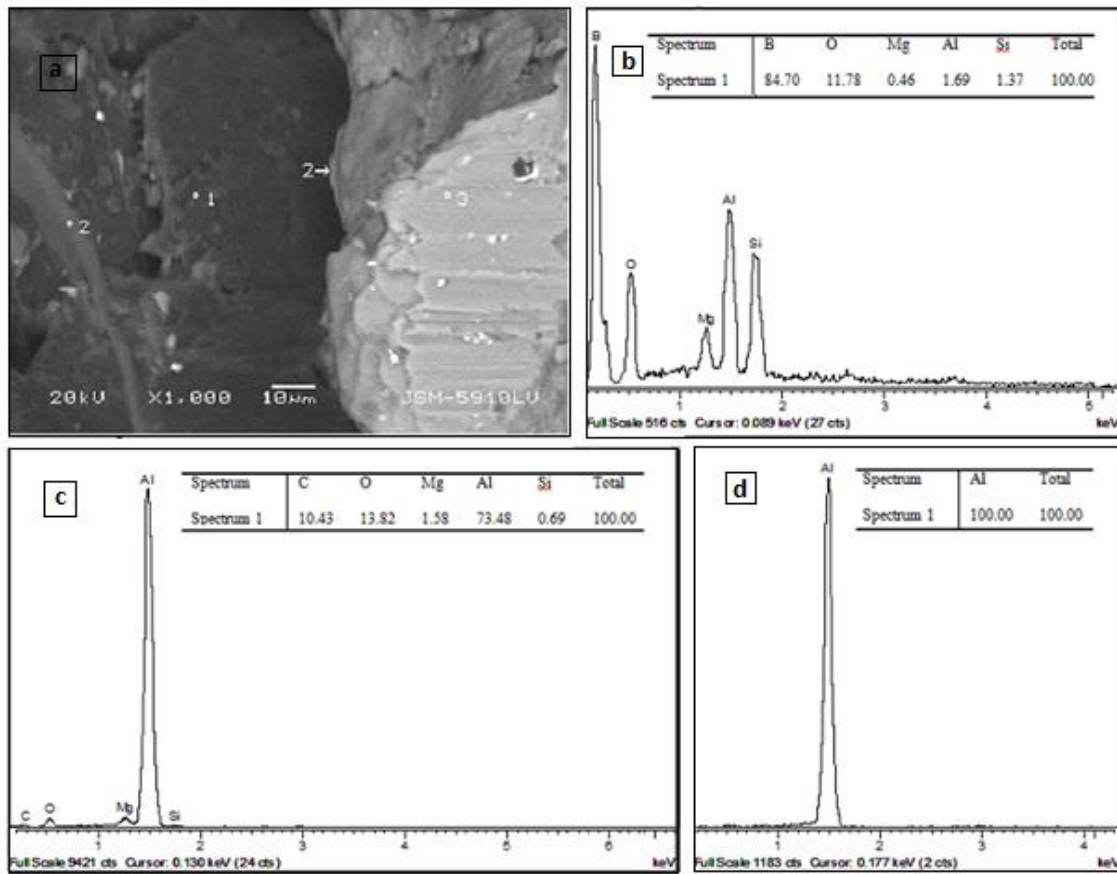
Şekil 4.18 'da Al matrisli kompozit içerisinde % 20 oranında katkılı B₄C tozu ile matris arayüzeyinin SEM geri saçılımlı elektron mikroyapı fotoğrafı verilmiştir. Fotoğrafta Al talaş ve B₄C yapısı yanısıra arayüzeyde oluşan diğere bir yapı oluşumunun meydana geldiği görülmektedir. EDS analizleri, Al talaşı (nokta 3), B₄C (nokta 1) ve arayüzeyde oluşan Al-C-O elementlere bağlı faz veya fazlarının (nokta 2) oluştuğunu göstermektedir. Al ve B₄C arayüzeyinde ikincil ara faz veya fazların oluşması; ısıtılma işlem esnasında difüzyon etkisine bağlı olması muhtemeldir.



Şekil 4.18 Al matrisli kompozit içerisinde 75-150 µm B₄C tane arayüzeyinin (a) x2000 büyütmede SEM fotoğrafı (b) SEM fotoğrafında görülen 1 nolu noktanın (B₄C) EDS analizi, (c) SEM fotoğrafında görülen 2 nolu noktanın (arayüzey) EDS analizi (d) SEM fotoğrafında görülen 3 nolu noktanın (Al talaş) EDS analizi

4.2.4 %20 katkılı 150-250 μm tane B_4C Tozlarıyla Matrisin Al (talaş) Arayüzeyinin SEM ve EDS İncelemeleri

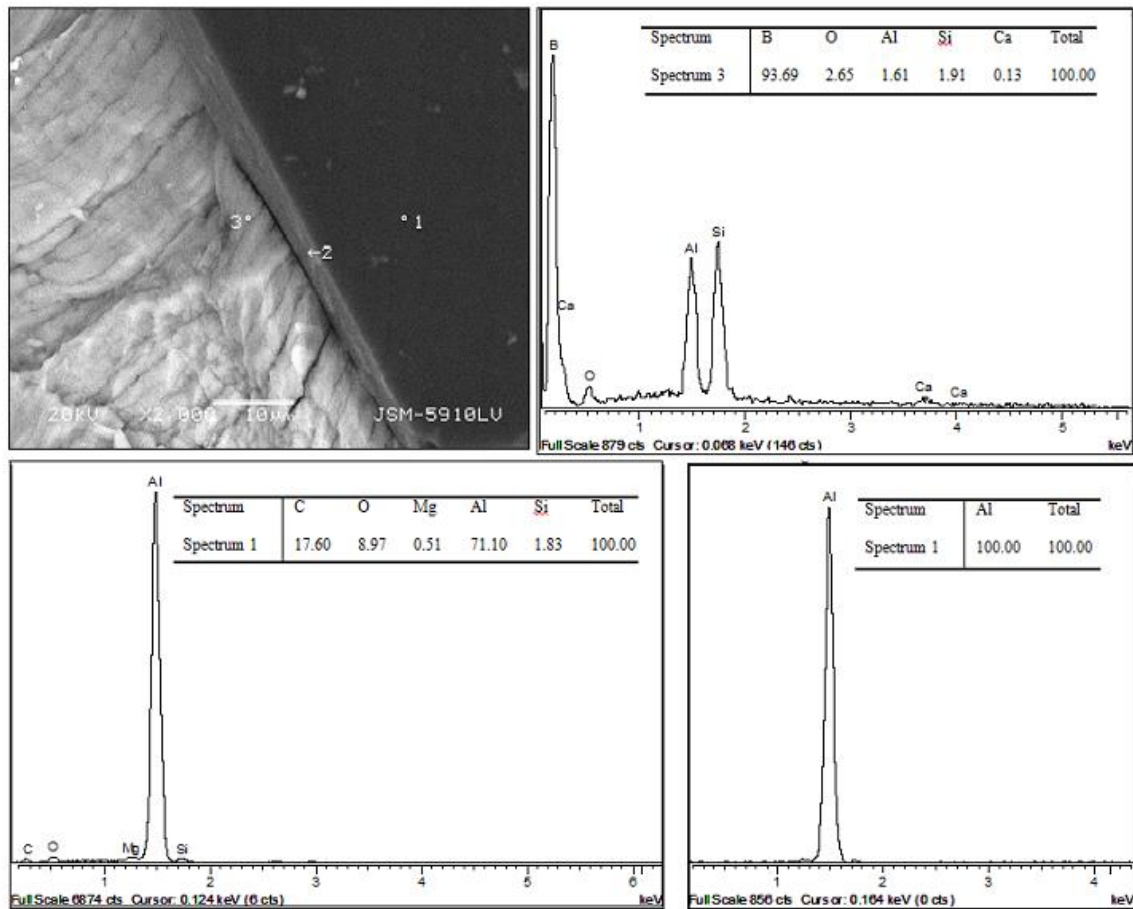
Şekil 4.19 'da Al matrisli kompozit içerisinde % 20 oranında katkılı B_4C tozu ile matris arayüzeyinin SEM geri saçılımlı elektron mikroyapı fotoğrafı verilmiştir. Fotoğrafta Al talaş ve B_4C yapısı yanısıra arayüzeyde oluşan diğere bir yapı oluşumunun meydana geldiği görülmektedir. EDS analizleri, Al talaşı (nokta 3), B_4C (nokta 1) ve arayüzeyde oluşan Al-C-O elementlere bağlı faz veya fazlarının (nokta 2) oluştuğunu göstermektedir. Al ve B_4C arayüzeyinde ikincil ara faz veya fazların oluşması; ısıtıl işlem esnasında difüzyon etkisine bağlı olması muhtemeldir.



Şekil 4.19 Al matrisli kompozit içerisinde 150-250 μm B_4C tane arayüzeyinin (a) x1000 büyütmede SEM fotoğrafı (b) SEM fotoğrafında görülen 1 nolu noktanın (B_4C) EDS analizi, (c) SEM fotoğrafında görülen 2 nolu noktanın (arayüzey) EDS analizi (d) SEM fotoğrafında görülen 3 nolu noktanın (Al talaş) EDS analizi.

4.2.5 %20 katkılı 500 µm tane çapına sahip B₄C Tozlarıyla Matrisin Al (talaş) Arayüzeyinin SEM ve EDS İncelemeleri

Şekil 4.20 'da Al matrisli kompozit içerisinde % 20 oranında katkılı B₄C tozu ile matris arayüzeyinin SEM geri saçılımlı elektron mikroyapı fotoğrafı verilmiştir. Fotoğrafta Al talaş ve B₄C yapısı yanısıra arayüzeyde oluşan diğere bir yapı oluşumunun meydana geldiği görülmektedir. EDS analizleri, Al talaşı (nokta 3), B₄C (nokta 1) ve arayüzeyde oluşan Al-C-O elementlere bağlı faz veya fazlarının (nokta 2) oluştuğunu göstermektedir. Al ve B₄C arayüzeyinde ikincil ara faz veya fazların oluşması; ısıl işlem esnasında difüzyon etkisine bağlı olması muhtemeldir.



Şekil 4.20 Al matrisli kompozit içerisinde 500 µm B₄C tane arayüzeyinin (a) x1000 büyütmede SEM fotoğrafı (b) SEM fotoğrafında görülen 1 nolu noktanın (B₄C) EDS analizi, (c) SEM fotoğrafında görülen 2 nolu noktanın (arayüzey) EDS analizi (d) SEM fotoğrafında görülen 3 nolu noktanın (Al talaş) EDS analizi.

SONUÇ VE ÖNERİLER

- Bu tez çalışmasında matris olarak Burak Alüminyum'dan temin edilen 6XXX serisi atık alüminyum talaşları kullanılmıştır.
- Bu tez çalışmasında takviye elemanı olarak BMBT ve Tübitak'tan temin edilen beş farklı tane boyutunda ve dört farklı oranda olmak üzere bor karbür tozu kullanılmıştır.
- Alüminyum atık talaş malzemesi kullanılarak, 3 µm, 53 µm, 75-150 µm, 150-250 µm ve 500 µm boyutlarında sahip B₄C katkı tozları (ağırlıkça), %5, %10, %15 ve %20 oranlarında Al talaşa ilave edilerek, Al (talaş) kompozit üretimi soğuk presle şekillendirildikten sonra sıcak presleme yöntemiyle gerçekleştirilmiştir.
- Numuneler literatür araştırmalarında ki uzun sürenin aksine Dr.Fritch marka sıcak sinter yardımıyla 200 bar, 540 °C' de ve 3 dakikada üretilmiştir.
- XRD, SEM ve EDS analizleri yapılarak farklı B₄C tozları ve farklı katkı miktarlarının etkileri araştırılmıştır. Toz boyutunun artması matris içinde dağılımı düzensiz hale getirirken, oran artışı aglomera oluşumuna neden olmaktadır.
- Analizler, %5, %10 katkı miktarlarında ve 3 mikron, 53 mikron şartlarında üretilen kompozit yapıların dengeli olduğunu göstermiştir. %15, %20 katkı oranlarının üzerinde ve 75-150 mikron boyutlar üzerinde heterojen yapılar ve aglomeralar daha yoğun hale geldiği görülmüştür.

- SEM analizlerinde Al matris ile B₄C taneleri arasında difüzyon etkisinin varlığını görmüş olup, bu nedenle tane sınırlarında matris-B₄C arasında arayüzey fazı veya fazlarının oluştuğu düşünülmektedir.
- Arayüzeyin SEM incelemelerinde matris ve B₄C taneleri arasında boşluk ve çatlak oluşumlarından oluşmadığı, buna karşılık arayüzeylerde sıkı bir kaynaşmanın çoğunlukla meydana geldiği yapılar gözlenmiştir.
- % 20 oranında 75-150 mikron katkı B₄C takviyeli matris (Al talaş) 3 saat boyunca 620 °C' de ısıtılmıştır. Yapılan XRD incelemesinde yeni bir faz oluşumu gözlenmemiştir.
- Literatürde verilen Al₃B₄₈C₂, Al₃BC, AlB₂ fazlarına; sinterleme ürününe ve sinterlemeden sonra yapılan 3 saatlik tavlamalarda rastlanmamıştır [41].
- Bu ürünler daha uzun süreli kontrollü gaz atmosferinde tavlansak oluşturulabilirler.

KAYNAKLAR

- [1] Marşoğlu, M.M., (2012). Alüminyum kullanım alanları ve serileri, 1-37, İstanbul.
- [2] AALCO METALS, Technical Information, <http://www.aalco.co.uk/>, 25 Mart 2013.
- [3] NEDAL ALUMINIUM, Alloy Data Sheet, http://www.nedalextrusion.com/files/2013/0678/5546/Data_6005A.pdf, 25 Mart 2013.
- [4] COSMOS ALUMNIUM, Alloy Data Sheet, <http://www.deyuanmetals.com/topic-4-73.html?gclid=CLqisezKjLgCFRMPtAodsy4AOA>, 20 Ocak 2013.
- [5] EUROPEAN ALUMINIUM ASSOCIATION, ALUSELECT Technical Information, http://aluminium.matter.org.uk/aluselect/03_physical_browse.asp, 5 Ocak 2013.
- [6] Thevenot, F.,(1990). Boron carbide - A comprehensive review. Journal of the European Ceramic Society, 6: 205-225.
- [7] Yeşilkaya, B. ve İbişoğlu, G.,(2003). Bor Karbür Ön Fizibilite Etüdü, ETİ Holding A.Ş. Genel Müdürlüğü, Ankara.
- [8]. Mohanty, R.M., Balasubramanian, K. ve Seshadri, S.K.,(2007). Multiphase formation of boron carbide in B₂O₃-Mg-C based micropyretic process, Journal of Alloys and Compounds, 441, 85-93.
- [9] Cho, N.,(2006).Processing of Boron Carbide, PhD Thesis, Georgia Institute of technology, School of Materials Science and Engineering, Atlanta, USA.
- [10] Niihara, K., Nakahira, A. ve Hirai, T.,(1984). The effect of stoichiometry on mechanical properties of boron carbide, Journal of American Ceramic Society, 67, C13-C14.
- [11] Abramshe, R.A,(2006). Improving ceramic armor performance with better materials, Ceramic Industry, 156, 14-18.
- [12] Alaca, M.A.,(1999). Bor karbür üretimi, Lisans Tezi Afyon Kocatepe Üniveristesi, Afyon.

- [13] Emrulloğlu, Ö.F.,(1999). İleri teknoloji seramikleri ders notları, AfyonKocatepe Üniversitesi, Seramik Mühendisliği.
- [14] Karabaş, K.K.,(2006). Bor karbür üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi İzmir. 1-15.
- [15] Alkan, M.A.,(2008). Kendiliğinden ilerleyen yüksek sıcaklık sentezi yöntemi ile bor karbür tozu üretimi, 1.
- [16] Weimer, A.W.,(1997). Thermochemistry and kinetics, in Carbide, nitride and boride materials synthesis and processing, 79-114, Chapman & Hall, London, UK.
- [17] Chang, B., Gersten, B.L., Szewczyk, S.T. ve Adams, J.W.,(2007). Characterization of boron carbide nanoparticles prepared by a solid state thermal reaction, Applied Physics A – Materials Science & Processing, 86, 83-87.
- [18] Rafaniello, W. ve Moore, W.G.,(1990). Method of production boron carbide, World Intellectual Property Organization, No: 90/09348, 23.08.1990.
- [19] Puszynski, J.A.,(1997). Thermochemistry and kinetics, in Carbide, nitride and boride materials synthesis and processing, 183-228, Chapman & Hall, London, UK.
- [20] Weimer, A.W., (1997). Gas phase synthesis process, in Carbide, nitride and boride materials synthesis and processing, 273-274, Chapman & Hall, London, UK.
- [21] Şahin, F.Ç. ve Yeşilçubuk A., (2007). B₄C-ZrB₂ Kompozitlerinin Reaktif Sıcak Presleme ile, B₄C-TiB₂ Kompozitlerinin Reaktif Sıcak Presleme ve Sıcak Presleme ile Eldesi, BOREN-TÜBİTAK Proje No: 105M342.
- [22] Marşoğlu, M.M.,(2012). Yıldız Teknik Üniveristesi, Bor karbür üretimi ve kullanımları , ders notları, 1-37.
- [23] Akın, İ.A.,(2010)., ZrB₂ Esaslı Kompozitlerin Spark Plazma Sinterleme (SPS) yöntemi ile üretimi ve karakterizasyonu, Doktora tezi, 3-33.
- [24] Kayrak, M. A.,(1999). Havacılık Kompozitleri ve Mukavemet-Maliyet Analizleri, Anadolu Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksek Okulu Yayınları No:09, Eskişehir.
- [25] Bhat, B. V., Mahajan, Y. R., Roshan, H. M. ve Prasad, Y. V.,(1992). Processing maps for hot-working of powder metallurgy 1100 Al-10vo%SiC-particulate metal matrix composite, *J. Mater. Sci.*, 27, pp.2141-2147.
- [26] Schwartz, M. M., (1984). Composite Materials Handbook, McGraw-Hill, New York.
- [27] Schwartz, M. M.,(1997). Composite Materials, Volume I, Prentice Hall PTR, New Jersey.
- [28] Yılmaz, R.,(2007). Cam Seramik Matrisli Kompozit Malzeme Araştırmalarında Ortaya Çıkan Problemlerin Değerlendirilmesi, Metal Dünyası Dergisi,İstanbul.

- [29] Fitzer, E.,(1990). Carbon Fibers, Filaments and Composites, Kluwer Academic, Dodrecht.
- [30] Onat, A., İntermetalik Matrisli Kompozit Malzemeler ve Üretim Yöntemleri, Metal Dünyası Dergisi, Kasım 2004.
- [31] Şahin, Y., (2000). Kompozit Malzemelere Giriş, Gazi Kitapevi, Ankara, 91-113.
- [32] Saritas, S., Turker, M., ve Durlu, N.,(2007). Toz Metalurjisi ve Parçacıklı Malzeme İşlemleri, (Powder Metallurgy & Particulate Materials). Processing, German, R. M.), Türk Toz Metalurjisi Derneği, 235-246.
- [33] Anadolu Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Seramik Mühendisliği Bölümü, Seramik Süreçler Laboratuvarı II Deney Föyü, Alümina'nın ve Silisyum Nitrür'ün Sinterlenmesi, Deney No: 4, 2001.
- [34] Chan R. W., Haasen P., Kramer E. J., Materials Science and Technology (A Comprehensive Treatment), Volume 11, Structure and Properties of Ceramics, Editor Swain, V. M., p.119-173, Almanya (1994).
- [35] ND LTD, Yüksek Lisans Tezi Url-1 http://www.scm-sps.com/e.htm/whatsps_e.htm/whatsps4_e.htm, alındığı tarih 31.05.2013.
- [36] Rahaman, M. R., Sintering of Ceramics, CRC Press Taylor&Francis Group, (2008), ABD, 46.
- [37] Shen, Z., Nygren, M., (2005). Microstructural prototyping of ceramics by kinetic engineering: applications of spark plasma sintering, The Chemical Record, 5, 173-184.
- [38] Tokita M., Trends in Advanced SPS Systems and FGM Technology, Masao Tokita, Proceedings of NEDO International Symposium on Functionally Graded Materials, Mielparque Tokyo, Tokyo, Japan, 21-22 October 1999.
- [39] Eugene, O. ve Ludo, F.,(2006). Constitutive modeling of spark-plasma sintering of conductive materials, Scripta Materialia, 55, 1175–1178.
- [40] Kumdalı,F.K., (2008), Alüminyum matrisli borkarbür takviyeli kompozitlerin toz metalürjisi yöntemi ile üretimi, yüksek lisans tezi, 11-14.
- [41] Viala J.C, Bouix J.,Gonzalez G., Esnouf C., (1997), Chemical reactivity of aluminium with boron carbide, Journal Of Materials Science 32: 4559-4573.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Bengü AĞACAN
Doğum Tarihi ve Yeri : 10.10.1987 ALTINDAĞ
Yabancı Dili : İNGİLİZCE
E-posta : benguagacan@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Seramik Mühendisliği	Dumlupınar Üniversitesi	2009
Lise	Fen- Matematik	Şemikler Lisesi	2004

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2011-2013	Atu Turizm İşletmeciliği A.Ş.	Satış uzmanı