

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KARBOTERMAL İNDİRGEME YÖNTEMİ İLE BOR  
KARBÜR ÜRETİMİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Gökhan YAKUT**

**Enstitü Anabilim Dalı : METAL EĞİTİMİ**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Ahmet ATASOY**

**Eylül 2009**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KARBOTERMAL İNDİRGEME YÖNTEMİ İLE BOR  
KARBÜR ÜRETİMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gökhan YAKUT

Enstitü Anabilim Dalı : METAL EĞİTİMİ

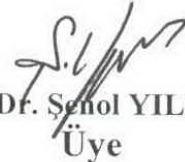
Bu tez 10/09/2009 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.



Yrd. Doç. Dr. Ahmet ATASOY  
Jüri Başkanı



Yrd. Doç. Dr. Zafer TATLI  
Üye



Doç. Dr. Şenol YILMAZ  
Üye

## TEŞEKKÜR

Bu tezi hazırlamamda yardımcı olan ve tez çalışmam süresince bilgi ve tecrübelerini benden esirgemeyen ve yakından ilgilenen değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Ahmet ATASOY'a öncelikle teőekkürü bir borç bilirim.

Lisansüstü Ders Dönemi süresince engin bilgi ve tecrübelerinden istifade ettiğim ve desteklerini her zaman hissettiğim Metal Eğitimi bölümünün bütün öğretim üyelerine teőekkürlerimi sunarım.

Son olarak deneysel çalışmalar esnasında maddi manevi yardımlarını esirgemeyen Arř. Gör. Hakan YAKUT'a ve bugünlere gelmemde büyük emekleri olan ve benim için hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan sevgili aileme teşekkür ederim.

# İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER .....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	x
SUMMARY.....	xi
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	3
2.1. Mühendislik Seramikleri.....	3
2.1.1. Geleneksel seramikleri.....	3
2.1.2. İleri teknoloji seramikleri.....	4
2.2. Nitrür Seramikleri.....	7
2.2.1. Alüminyum nitrür (AlN).....	7
2.2.2. Titanyum nitrür (TiN).....	8
2.2.3. Zirkonyum nitrür (ZrN).....	8
2.2.4. Silisyum nitrür (Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> ).....	9
2.2.5. Bor nitrür (BN).....	10
2.2.5.1. Bor'un fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	11
2.2.5.2. Bor elementinin kullanım alanları.....	14
2.2.5.3. Bor nitrür yapıları ve özellikleri.....	14
2.2.5.4. Kübik yapılı bor nitrür.....	15

2.2.5.5. Hegzagonal yapılı bor nitür.....	17
2.2.5.6. Pirolitik yapılı bor nitür.....	19
2.3. Seramik Karbürler.....	19
2.3.1. Silisyum karbür (SiC).....	19
2.3.1.1. SiC'ün kullanım alanları.....	20
2.3.2. Titanyum karbür (TiC).....	21
2.3.2.1. TiC'ün kullanım alanları.....	21
2.3.3. Bor karbür (B <sub>4</sub> C).....	21
2.3.3.1. Bor karbürün üretimi.....	22
2.3.3.2. Bor karbürün yapısı.....	22
2.3.3.3. B <sub>4</sub> C'ün kullanım alanları.....	24
2.5. Kompozit Malzemeler ve Gelişimi.....	26
2.6. Kompozit Malzemelerin Özellikleri.....	27
2.7. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması.....	29
2.7.1. Partikül (taneli) esaslı kompozitler.....	29
2.7.2. Fiber (lifli) esaslı kompozitler.....	30
2.7.3. Tabaka yapıli kompozitler.....	30
2.8. Kompozit Malzeme Türleri.....	32
2.8.1. Metal matrisli kompozitler (MMC).....	32
2.8.1.1. MMC'lerin avantajları ve dezavantajları.....	33
2.8.2. Seramik matrisli kompozitler (CMC).....	33
2.8.2.1. CMC'lerin avantajları ve dezavantajları.....	34
2.8.3. Polimer matrisli kompozitler (PMC).....	35
2.8.3.1. PMC'lerin avantajları ve dezavantajları.....	35

### BÖLÜM 3.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	36
3.1. Kullanılan Malzemeler.....	37
3.1.1. Borik asit .....	37
3.1.2. Karbon .....	37
3.1.3. Argon.....	38
3.2. Kalsinasyon İşlemi .....	38

3.3. Karışımın Hazırlanması.....	39
3.4. Kompaktlama İşlemi.....	39
3.5. Karbotermal İndirgeme İşlemi.....	39
3.6. Karbonun Yakılması.....	40
3.7. Hammadde ve Reaksiyon Ürünlerinin Karakterizasyonu.....	40
3.7.1. X ışınları analizi.....	40
3.7.2. Taramalı elektron mikroskopu (SEM).....	40
3.7.3. EDS analizi .....	41
BÖLÜM 4.	
SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	42
4.1. Hammadde Karakterizasyonu .....	42
4.2. Kalsine Edilmiş Ürün Karakterizasyonu.....	43
4.3. Karbotermal İndirgeme İşlemi.....	45
4.3.1. Karbon etkisi.....	64
4.3.2. Reaksiyon sıcaklığının etkisi.....	64
4.3.3. Reaksiyon süresinin etkisi .....	64
BÖLÜM 5.	
ÖNERİLER.....	66
KAYNAKLAR.....	67
ÖZGEÇMİŞ.....	69

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AlN	: Alüminyum nitrür
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	: Bor oksit
BN	: Bor nitrür
(c)BN	: Kübik bor nitrür
(h)BN	: Hegzagonal bor nitrür
B <sub>4</sub> C	: Bor karbür
CRN	: Karbotermik reaksiyon
DTA	: Derimativ termogravimetri
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	: Borik asit
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
SiC	: Silisyum karbür
Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	: Silisyum nitrür
SHS	: Yanma sentezi
TiN	: Titanyum nitrür
TiC	: Titanyum karbür
XRD	: X ışınları difraksiyonu
ZrN	: Zirkonyum nitrür

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Bor'un Kristal Yapısı.....	13
Şekil 2.2.	Bor karbür yapısının şematik gösterimi.....	23
Şekil 2.3.	Icosahedral yapı.....	23
Şekil 2.4.	Rombohedral yapı.....	23
Şekil 2.5.	Bor - Karbon faz diyagram.....	24
Şekil 2.6.	Zırhın darbe karşısındaki şematik görünümü.....	25
Şekil 3.1.	Deneysel akış şeması.....	36
Şekil 3.2.	Kalsinasyon işleminde kullanılan kamara tipi küp fırın.....	38
Şekil 3.3.	Karbotermal indirgeme işleminde kullanılan atmosfer kontrollü yatay tüp fırın.....	39
Şekil 4.1.	Başlangıç malzemesinin ( $H_3BO_3$ )XRD analizi bekletilmiş .....	42
Şekil 4.2.	Başlangıç malzemesinin ( $H_3BO_3$ )SEM görüntüsü.....	43
Şekil 4.3.	Kalsine edilmiş başlangıç malzemesinin ( $H_3BO_3$ ) XRD analizi ( $B_2O_3$ ) .....	44
Şekil 4.4.	Kalsine edilmiş başlangıç malzemesinin ( $H_3BO_3$ ) SEM görüntüsü ( $B_2O_3$ ).....	45
Şekil 4.5.	1300°C'de 1 saat bekletilmiş numunenin XRD analizi.....	46
Şekil 4.6.	1300° C 2 saat bekletilmiş numunenin XRD analizi.....	48
Şekil 4.7.	1350° C'de 1 saat bekletilmiş numunenin XRD analizi.....	49
Şekil 4.8.	1350° C'de 2 saat bekletilmiş numunenin XRD analizi.....	50
Şekil 4.9.	1450° C'de 2 saat bekletilmiş numunenin XRD analizi.....	51
Şekil 4.10.	1600° C'de 2 saat bekletilmiş numunenin XRD analizi.....	52
Şekil 4.11.	1650° C'de 2 saat bekletilmiş numunenin XRD analizi.....	53
Şekil 4.12.	1650° C'de 4 saat bekletilmiş numunenin XRD analizi.....	54



Şekil 4.13.	Nihai ürün olarak üretilen bor karbür tozuna ait SEM görüntüleri (1600°C de 2 saat reaksiyona tabi tutulmuş karışıma ait) (a) 250x de çekilmiş görünümü, (b) 500 x de çekilmiş noktasal görünümü.....	55
Şekil 4.14.	1600 °C de 2 saat reaksiyona tabi tutulan numunenin 1 nolu bor oksit tanesine ait EDS analizi.....	56
Şekil 4.15.	1600 °C de 2 saat reaksiyona tabi tutulan numunenin 2 nolu bor karbür tanesine ait EDS analizi.....	56
Şekil 4.16.	1600 °C de 2 saat reaksiyona tabi tutulan numunenin 3 nolu karbon tanesine ait EDS analizi.....	57
Şekil 4.17.	Nihai ürün olarak üretilen bor karbür tozuna ait SEM görüntüleri 1650°C de 2 saat reaksiyona tabi tutulmuş numunenin SEM görüntüleri (a) 250x de çekilmiş görünümü, (b) 500 x de çekilmiş noktasal görünümü.....	58
Şekil 4.18.	1650 °C de 2 saat reaksiyona tabi tutulan numunenin 1 nolu bor oksit tanesine ait EDS analizi.....	59
Şekil 4.19.	1650 °C de 2 saat reaksiyona tabi tutulan numunenin 2 nolu bor karbür tanesine ait EDS analizi.....	59
Şekil 4.20.	1650 °C de 2 saat reaksiyona tabi tutulan numunenin 3 nolu karbon tanesine ait EDS analizi.....	60
Şekil 4.21.	Nihai ürün olarak üretilen bor karbür tozuna ait SEM görüntüleri 1650°C de 4 saat reaksiyona tabi tutulmuş numunenin SEM görüntüleri (a) 250x de çekilmiş görünümü, (b) 500 x de çekilmiş noktasal görünümü.....	61
Şekil 4.22.	1650 °C de 4 saat reaksiyona tabi tutulan numunenin 1 nolu bor oksit tanesine ait EDS analizi.....	62
Şekil 4.23.	1650 °C de 4 saat reaksiyona tabi tutulan numunenin 2 nolu bor karbür tanesine ait EDS analizi.....	62
Şekil 4.24.	1650 °C de 4 saat reaksiyona tabi tutulan numunenin 3 nolu karbon tanesine ait EDS analizi.....	63

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Oksit olmayan seramikler.....	5
Tablo 2.2.	Bazı ileri teknolojik seramiklere ait değerler.....	6
Tablo 2.3.	Bor Elementinin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	13
Tablo 3.1.	Borik asitin kimyasal özellikleri.....	41
Tablo 3.2.	Kullanılan karbonun özellikleri.....	41
Tablo 4.1.	1600 °C de 2 saat reaksiyona tabi tutulan numunelerdeki 1-2-3 nolu tanelerin kimyasal analizi.....	57
Tablo 4.2.	1650 °C de 2 saat reaksiyona tabi tutulan numunelerdeki 1-2-3 nolu tanelerin kimyasal analizi.....	60
Tablo 4.3.	1650 °C de 4 saat reaksiyona tabi tutulan numunelerdeki 1-2-3 nolu tanelerin kimyasal analizi.....	63

## ÖZET

Anahtar kelimeler: Borik asit, Karbotermal İndirgeme Metodu (KTI), Karbon (C), Bor Karbür (B<sub>4</sub>C), Bor Oksit

Karbotermal indirgeme metodu, Bor karbür üretiminde kullanılan ekonomik yöntemlerden biridir. Bu çalışmada bor karbür üretimi için hammadde olarak borik asitten elde edilmiş bor oksit ve karbon kullanılmıştır. Bor oksit ve karbon belli oranlarda harmanlanarak deney işlemine hazır hale getirilmiştir. Hazırlanan numuneler grafit potanın içerisine yerleştirilerek yatay tüp fırınında argon atmosferinde işleme tabi tutulmuştur. Deneyler yatay tüp fırınında 1300–1650 °C'ler arasında 1-4 saat aralığında gerçekleşmiştir. Yapılan deneylere göre XRD, SEM ve EDS analizlerini incelediğimizde 1600–1650 °C'de 2-4 saat zaman aralığında gerçekleşen deneylerde bor karbür fazı tespit edilmiştir. Elde edilen tozun SEM görüntülerini incelediğimizde tane boyutunun 3-25 mikron aralığında olduğu saptanmıştır.

# **PRODUCTION OF THE BORON CARBIDE BY USING CARBOTHERMAL REDUCTION METHOD**

## **SUMMARY**

Key Words: Boric Acid, Carbotermic Method (KTI), Carbon (C), Boron Carbide ( $B_4C$ ), Boron Oxide

Carbothermic method is an economic method to produce boron carbide powder. In the present thesis, this method was utilized to produce a boron carbide powder using commercial purity raw materials. Boron oxide as a source of boron, and carbon active and petroleum coke as reducing agents were used. Mixtures of boron oxide and carbon bearing material with a particle size of less than 25  $\mu m$  were placed in a graphite crucible and heated under flow of argon and nitrogen atmospheres in a tube furnace to 1300–1650  $^{\circ}C$  for 1–4 h. This resulted in the formation of boron carbide powder with or without un-reacted starting raw materials. It was found that the optimum weight ratio of boron oxide to carbon bearing material was 4.1 and 6 for petroleum coke and carbon active, respectively. Boron carbide phase has been obtained by waiting at 1600 and 1650  $^{\circ}C$  for 2-4 h in a horizontal tube furnace under flow of argon atmosphere. XRD, SEM and EDS analyses of the obtained powder have shown that boron carbide phase observed at these temperatures. When we examine the SEM images of the obtained powder, it is clear to see that the dimension of the particle is between 3 and 25  $\mu m$ .

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Dünyadaki önemli bor yatakları Türkiye, ABD ve Rusya'da yer almaktadır. Dünya toplam bor rezervi sıralamasında Türkiye %72'lik pay ile ilk sıradadır. Dünyadaki önemli bor üreticileri; Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü (Türkiye) ve Rio Tinto (ABD)'dur. Bu iki kuruluş dünya bor üretiminin yaklaşık % 70'ini gerçekleştirmektedir [1].

Bor, ülkemizin sahip olduğu en önemli madenlerden biridir. Bazı alanlarda konsantre bor ürünleri kullanılabilirdiği gibi bor ürünleri genel olarak rafine bor bileşiklerine ve özel bor kimyasallarına dönüştürüldükten sonra geniş bir kullanım alanı bulmaktadır. Cam endüstrisinden sabun ve deterjanlara, gübre ve tarımsal ilaçlardan aleve dayanıklı malzemelere, yakıt pillerinden nükleer uygulamalara kadar geniş bir kullanım alanı olan bor ürünleri günümüz teknolojisinde önemli bir yere sahiptir [1].

Bor mineralleri; bünyelerinde değişik oranlarda bor oksit ( $B_2O_3$ ) içeren mineraller olup; ülkemizde yaygın olarak bulunan bor mineralleri; tinkal, kolemanit ve üleksit'dir. Dünya kolemanit rezervinin tamamına yakını ülkemizde bulunmaktadır. Bor karbür, metal olmayan en önemli gruba ait olup, en sert malzemedir. Mükemmel özellikleri arasında: Ekstrem sertliği; onu ancak Elmas ve kubik Bor Nitrür (cBN) aşar. Birçok kimyasal reaksiyonlara karşı dayanımı çok yüksektir. Diğer mükemmel özelliği ise düşük yoğunluğu ile ısı dayanımıdır. İçerik bakımından yaklaşık % 80 Bor ihtiva etmesi, bileşiğin yüksek ergime noktası ve iyi kimyasal ve fiziksel kararlılığından dolayı nötronların absorbe edilmesinde bor karbür daha etkin ve daha ekonomiktir. İçeriğinde yüksek bor ihtiva etmesi, Bor karbürü diğer bor bileşikleri üretimde önemli bir kaynak kılmaktadır. Örneğin; en ilginç olanlar arasında, Bor halojenleri veya borlu metaller bulunmaktadır. Bor Karbür yüksek sıcaklıklarda, bor oksit bileşimi ve Karbondan elde edilmektedir. Bileşimdeki sınır aralıkları (bor oranları) nispeten muhtelifdir. Bor/Karbon oranı 3.8'den 10.4'e kadar; teknik Bor

Karbür için aşağı yukarı değer aralıkları ise, 3.9'den 4.3'e kadar değişmektedir (tipik Bor/ Karbon oranları 4.0–4.1'dir) [1].

Makine ve Çalışma aletleri yüzeylerinin işlenmesi için kullanılır. Başta kesim plakaları olmak üzere, anaç taşlar, her türlü matrisler, soğuk çekilmiş aletler, akıcı baskı aletleri, demircilik, matkap uçları, kılavuzluk, ok dövme keskesi, valflar, valf yatakları, piston ringleri, silindir düğmeler, silindir burçlar, silindirik yüzeyler, dişli mekanizmalar, rulman yatakları, salmastra kutuları, püskürtmeli pompalar, sertleştirilmiş oturma yüzeyleri, suni malzeme pres kalıpları, her türlü eğitim alet–ve kesiciler, rendeler, frezeler, krank miller ve diferansiyeller gibi alanlarda yüzey işlenmesinde kullanılır [1].

Bor nitrür, bor ve azot elementlerinin oluşturduğu, kimyasal formülü BN olan, kimyasal metotlarla üretilen bir bileşiktir. Literatür araştırmalarından edinilen bilgilere göre, bor nitrür ticari alanda dört ayrı metotla üretilmektedir. Yine literatürden edinilen bilgilere göre bor nitrür genellikle, bor oksit, karbon ve azot'un 1450-1600 °C'de kimyasal reaksiyona sokulmasıyla elde edilmektedir [2].

Ticari alanda bor nitrürün iki ayrı kristal formu kullanılmaktadır. Bunlar hegzagonal ve kübik bor nitrürlerdir.

Hegzagonal bor nitrür; yüksek sıcaklıklarda refrakter özelliği, yüksek termal şok direnci, yüksek ısı iletkenliği, elektriksel yalıtkanlık, kimyasal kararlılık, yağlayıcılık ve kolay işlenebilirlik gibi üstün özelliklere sahip bir malzemedir. Bu özellikleri nedeniyle, metalürjide yüksek sıcaklığa dayanım gerektiren uygulamalarda, yağlayıcı olarak yüksek sıcaklık kalıplarında, yalıtkan malzeme olarak elektrik-elektronik endüstrisinde kullanılır [3].

Kübik bor nitrür, elmaştan sonra bilinen en sert malzemedir. Bu özelliği nedeniyle sert malzemelerin kesilmesi ve işlenmesinde, ayrıca yüksek ısı iletkenliği nedeniyle yüksek sıcaklıkta kesme ve aşındırma işlemlerinde kullanılmaktadır [3].

## **BÖLÜM 2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI**

### **2.1. Mühendislik Seramikleri**

Mühendislik seramikleri; yüksek sıcaklık dayanımı, sertlik, aşınma dayanımı, mukavemetçe düşük ağırlık gibi özellikler taşırlar. Bu özelliklerden dolayı mühendislik seramikleri, metalürji, makine-bakım, otomobil, inşaat, elektrik elektronik ve uçak-uzay sanayisinde kullanım alanları bulunmaktadır.

Seramik malzemeler çeşitli faktörlere göre sınıflandırılabilirler. Bunlar; malzemenin doğası(organik-inorganik), bileşim (element, bileşik) şekli veya durumu (toz, fiber, film, tabaka), yapısı (kristalin, amorf) üretim yöntemi ve teknolojisidir [2].

Seramik malzemeler genel olarak geleneksel ve ileri teknolojik seramikler olmak üzere iki kısımda incelenmektedir.

#### **2.1.1. Geleneksel seramikler**

Geleneksel seramikler, doğadan doğrudan kazanılan kil, kuvars ve feldspat hammaddelerinin temel karışımından oluşur. Bu sınıflama içinde çeşitli porselenler, çini, tuğla-kiremit, sağlık gereçleri, karolar ve benzeri diğer geleneksel seramik malzemeler bulunur. Genel olarak geleneksel seramikler silikatlar ve alümina silikatlardan oluşur. Bu tip seramiklerin daha etkin kullanımları için iyi ısıl ve elektrik dayanım (yalıtkanlar için), süper oksidasyon ve yüksek sıcaklık dayanım (refrakterlik) özellikleri sağlamaları gerekir. Son yıllarda bu tür malzemelerin mekaniksel ve kimyasal özellikleri daha iyi anlaşılmış ve bu durum malzemelerin yüksek sertlik, mukavemet, kimyasal kararlılık ve korozyon açılarından gelişmeler ortaya konmuştur. Geleneksel seramik malzemelerin oluşumu çok yıllar öncesine

dayanırken bu malzemeler göre oldukça yeni olan ve çok gelişen bir malzeme sınıfı ileri teknoloji seramikleridir [3].

### 2.1.2. İleri teknoloji seramikleri

Geleneksel seramikler ile teknolojik seramikleri birbirinden farklı kılan sahip oldukları özelliklerdir. Her iki seramik grubu da temel olarak toz metalürjisi tekniği ile üretilirken, kullanılan hammadde, şekillendirme ve sinterleme gibi temel üretim aşamalarındaki farklılıklar üretilen özellikleri de tayin etmektedir. Geleneksel seramikler doğal hammaddelerden üretilirken, teknolojik seramiklerin hammaddesi sentezleme yöntemi ile yapay olarak hazırlanmaktadır. Bunun nedeni yapay hammaddelerin istenmeyen maddelerden arındırılmış olarak çok saf halde ve istenen fiziksel özelliklerde üretilmektedir [3].

İleri teknoloji seramikleri saf bileşikler olup oksitler, nitrürler, sülfürler, silisitler, borürler ve karbürlerden oluşurlar. Bunların sahip oldukları iyonik ve kovalent bağların oranı bileşimindeki elemanların elektronegatiflik dereceleri arasındaki farka bağlıdır. Seramikleri meydana getiren atomlar arasındaki bağın iyonik ve kovalent olması esnek modüllerin ve sertliklerin metallere daha yüksek olmasını sağlamaktadır. Karbürler, nitrürler ve borürler diğer metalik ve metalik olmayan malzemelerde ayıran en üstün özellikleri uzun zamandır bilinmektedir. Örneğin; aşındırma endüstrisinde ve talaşlı imalat sektöründe, aşındırıcı malzemelerin kullanılması büyük önem taşımaktadır.

Aşındırıcı malzeme olarak 20. yy'ın başlarında doğal sert hammaddeler kullanılmıştır. Bunlar; elmas, korund ve çeşitli sertlikte minerallerdir. Ancak teknolojiye gelişmeler sonunda aşındırıcı ve talaşlı imalat gereksiniminin artması ile birlikte doğal sert maddeler ihtiyaca cevap veremeyecek duruma gelmiştir.

Ayrıca doğal sert malzemelerin yer kabuğunda nadir olarak çıkartılması ve pahalı oluşu ikinci bir olumsuzluğu ortaya çıkarmıştır. Bu sebepten dolayı özellikle 2. dünya savaşı ve sonrasında sentetik sert maddelerin üretiminde büyük gelişmeler kaydedilmiştir [4].



Sert maddeler metalik ve metal dışı bileşiklerden oluşmaktadır. Yüksek sertlik özelliklerinin yanı sıra bir kısmının yüksek oksidasyon ve elektrik direnci de malzemelerin ısıtma elemanı olarak kullanımını mümkün kılmıştır. Günümüzde yüksek ısı iletkenliği ve düşük elektrik iletkenliği gibi özellikler ile AlN enerji ve devrelerinde en çok aranan altlık ve paketleme malzemesi olmuştur. Benzer şekilde  $\text{Si}_3\text{N}_4$  otomobil ve ağır kamyonların motor parçalarında olduğu gibi enerji ünitelerinin küçük gaz türbin motorlarında uygulama alanı bulabilmektedir. Çoğu durumda metallerle rekabet edebildiklerinden tokluk değerlerinin de artması için yoğun çalışmalar devam etmektedir. Metal içeren kompozitler çokça kullanım alanı bulunmaktadır (WC-Co). Benzer şekilde  $\text{B}_4\text{C}_2$  TiC ve  $\text{TiB}_2$  gibi malzemelerin ve bunların kompozitlerinin de günümüzde hem mühendislik uygulamaları hem de üzerinde yoğun araştırmalar yapılan malzemelerdir. Günümüzde yoğun olarak kullanılan ve araştırma konusu olan bu malzemeler ileri teknoloji malzemeler olarak adlandırılır [4].

Teknolojik seramiklerin başlıcaları; alümina, zirkonyum dioksit, magnezyum oksit, berilyum oksit gibi saf oksitlerden ve oksit olmayan seramiklerden oluşmaktadır.

Tablo 2.1. Oksit olmayan seramikler

Karbür	Nitrürler	Sülfürler	Silisitler	Borürler	Diğerleri
SiC	$\text{Si}_3\text{N}_4$	TaSi <sub>2</sub>	Mo <sub>2</sub> Si	TiB <sub>2</sub>	Fosfürler
TiC	AlN	CdS	TaSi <sub>2</sub>	LaB <sub>6</sub>	(BP)
B <sub>4</sub> C	TiN	ZnS	WSi <sub>2</sub>	ZrB <sub>2</sub>	

Tablo 2.2. Bazı ileri teknolojik seramiklere ait değerler

Malzeme Adı	Ergime Sıcaklığı (°Q)	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Dayanım (MPa)	Elastik Modül (GPa)	Sertlik (kg/mm <sup>2</sup> )
<b>Alüminyum oksit (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)</b>	-2050	3,96	250-300	36-40	4,5
<b>Zirkonyum oksit (ZrO<sub>2</sub>)</b>	-2700	5,6	113-130	17-25	6-9
<b>Silisyum karbür(SiC)</b>	-3000	3,2	310	40-44	3,4
<b>Silisyum nitrür(Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>)</b>	-1900	3,24	410	30,7	5
<b>Tungsten karbür(WC)</b>	-2700	15,7	350-550	54-70	5-8

Teknolojik seramikleri önemli kılan üstün özelliklerden bazıları;

- Yüksek sıcaklıkta dayanımları,
- Sertliklerinin yüksek oluşu,
- Aşınmaya karşı dayanıklı olmaları,
- Kimyasal kararlılığın yüksek olması,
- Metallere göre daha hafif olmaları,
- Sürtünme katsayılarının düşük olması,
- Hammadde kaynaklarının doğada bol miktarda bulunması,
- Isıl genleşme katsayılarının düşük olması olarak sıralanabilir.

Bu üstün özelliklerin yanı sıra teknolojik seramiklerin de birtakım dezavantajları mevcuttur. Bunların en önemlisi kırılğan olmalarıdır. Kırılğan olmalarının nedeni yapılarında meydana gelen gözenek ve katlanmalarında dolaydır [4].

## 2.2. Nitrür Seramikleri

Oksit olmayan teknolojik seramikler içerisinde önemli bir yere sahip olan inorganik nitrür seramikler genel olarak iyonik nitrürler, kovalent nitrürler ve ikinci grup elementler tarafından oluşturulan iyonik nitrürler düşük ergime sıcaklığına sahiptirler ve teknolojik seramik olarak bir öneme sahip değildirlir.

Periyodik tabloda III. ve IV grup elementlerce oluşturulan kovalent nitrürler Paulins'in elektronegatiflik prensipleriyle ölçülerinin % 60 daha üstünde iyi bir kovalent karaktere sahiptir. TiN, VN ve diğer ara yer nitrürler de azot kafes yapıda ara boşluklara yerleşmiştir. Metal bağ yapısını muhafaza ettiğinden bu gibi nitrürler metalik özellik gösterirler.

Pek çok nitrürün genel kimyası ve termodinamik özellikleri çok iyi bilinmekte ve önemli bir araştırma alanı olarak görülmektedir. Seramik olarak nitrürlerin en önemli olanları Si, Al, B ve Ti bileşikleridir. Nitrürlere ilave olarak silisyum ve alüminyum oksinitrür bileşikleri önemlidir. Nitrürler karbürlere göre daha fazla, oksitler göre daha az kararlıdır. Bu nedenle N<sub>2</sub> veya O<sub>2</sub> atmosferinde karbürün bir nitrüre veya okside dönüşümü doğaldır. Nitrürlerin en kararlı olanları Al, Ce, Th (3A grubu) Ti, Zr, Hf (4B grubu) olarak sıralanır. B ve Si nitrürleri ise AlN 'den daha az kararlıdır. Nitrürlerin kararlılığında bu grup elementlerin sağına ve soluna gidildiğinde düşüş görülmektedir. Bu nedenle N<sub>2</sub> veya O<sub>2</sub> atmosferlerinde karbürün bir nitrüre veya okside dönüşümü doğaldır [3].

### 2.2.1. Alüminyum nitrür

Alüminyum nitrür çok yüksek sıcaklıklarda çok yavaş düşme gösteren yüksek ısıl iletkenlik ve yüksek elektrik direncinin bir kombine özelliğini verir. Bu özellikleri AlN malzemeleri yüksek güç elektronik modülleri için ana malzeme haline getirmiştir. Bu uygulamalarda BeO 'in yerini almaktadır. Bununla birlikte oldukça fazla toksit etkisinin olması üretimi ve uygulamalardaki en büyük handikabıdır. AlN'ün sın alüminyum içerisindeki korozyon direnci de mükemmeldir.

Alüminyum nitrür termodinamik olarak silisyum nitrürden daha karardır. Fakat rutubetle reaksiyona girme eğilimi fazla olduğundan geniş bir uygulama alanı bulamamıştır. Alüminyum nitrür ticari olarak genellikle alüminyumun doğrudan nitrülenmesi veya alüminanın ( $Al_2O_3$ ) indirgenip daha sonra nitrülenmesi ile üretilmektedir [3].



Bütün kovalent bağ yapısına sahip seramikler gibi kendi içinde sinterleme yayımları çok zordur. AlN'e bazı oksitler katarak yapılan sinterleme ile tam yoğunlukta ( $3.2 \text{ g/cm}^3$ ) parçalar üretilebilir. AlN içerisindeki oksijen miktarı arttıkça malzemenin ısı iletkenliği düşmektedir.

### 2.2.2. Titanyum nitrür (TiN)

Titanyumla aynı özelliklere sahip üç nitrür vardır. Bunlar TiN, ZrN ve HfN 'dür. Bu nitrürlerin her ölçüde yüksek ergime sıcaklığına, yüksek sertliğe ve metalik yapılarından dolayı metalik iletkenlik özelliğine sahiptir. Bununla birlikte oksitlenmeye dirençleri çok zayıftır. TiN  $700^\circ\text{C}$ 'ye kadar oksitlenmeye dirençli iken diğer iki nitrürün oksitlenme sıcaklığı  $500^\circ\text{C}$ ' dir .  $N_2$  Atmosferinde kararlı olan bu nitrürlerden sadece TiN uygulama alanı bulabilmektedir. Bu nitrürler için en sık kullanılan üretim şekli elementin doğrudan nitrülenmesidir [4].

### 2.2.3. Zirkonyum nitrür

Zirkonyum nitrür tozları ileri teknoloji seramik hammaddelerinden biridir. En önemli özelliği yüksek ergime sıcaklığı, düşük buhar basıncı, yüksek atomik kütlesi, bağ entalpisi, düşük iyon enerjisi, düşük sürtünme katsayısı, kimyasal kararlılık, korozyon direnci yüksek mekanik özellikleri ve renkleri dolayısıyla kullanılmaktadır. Zirkonyum nitrürün elektriksel ve kimyasal özelliklerinden yararlanılması konusunda mikro elektronik endüstrisinin ilgisini yeni yeni çekmeye başlamıştır. ZrN'ün başlıca üreticileri ABD, Japonya, İsviçre, Kanada ve İngiltere'dir [5].

ZrN çok amaçlı bir ileri teknoloji seramik malzemesi olduğundan ve yüksek özelliklerinden dolayı araştırmacıların dikkatini çeken bir malzeme konumuna gelmiştir. Ayrıca kaplama sanayinde altın renginden dolayı TiN kaplamalara alternatif kaplamalar olarak ortaya çıkmıştır. Yüksek mukavemetli ve altın rengi verme özelliği bulunan ZrN çeşitli endüstriyel ve tüketici uygulamaları bakımından memnuniyet verici özellikler gösterir. ZrN'ün dekoratif kaplama konusunda yüksek oranda tercih edilmesinin sebebi, parlak altın rengi ve aşınmaya dayanıklılığıdır. Cerrahi uygulamalar ve gıda sektöründe de kullanılmaya başlanmıştır. Bu kaplamalar özellikle saç zımbalama operasyonlarında kullanılan takımlarda mükemmel sonuç vermektedir.

Özellikle demir dışı metallerin talaş kaldırma işlemlerinde kesici takım yüzeyine uygulanan ZrN ince film kaplamalar üst seviyede aşınma dayanımı sağlamaktadır. Uygulama alanları olarak daha çok delme takımlarında derin çekme takımlarında ve kalıp preslerinde ZrN kullanılmaktadır [5].

#### **2.2.4. Silisyum nitrür**

Silisyum nitrür tozları ileri teknoloji seramik hammaddelerinden birisidir. En önemli özelliği yüksek sıcaklıklardaki oksidasyona direnci, düşük yoğunluğa sahip olması, yüksek sıcaklıkta sertlik ve mukavemetini korumasıdır. Bu yüzden motorlarda, yüksek sıcaklık korozyonunun görüldüğü ortamlarda, yüksek sıcaklıklarda çalışan türbin elemanlarının ve rulmanların üretiminde ve de tornalama takım ucu olarak kullanım alanları bulunmaktadır. 1970–1995 yılları arasında ortalama dünya üretimi 550 ton/yıl olan  $Si_3N_4$  tozunun başlıca üreticileri ABD, Japonya, Almanya, İsviçre, Kanada ve İngiltere'dir [5].

Silisyum nitrür, azot seramikleri içerisinde en yaygın kullanım alanı olan mühendislik malzemelerden birisidir. 40 yılı aşkın bir süredir üzerinde yoğun çalışmalar yapılan bu malzemeyi mühendislik amaçlı uygulamalarda kullanılabilir kılan mükemmel mekaniksel ve termal özelliklerdir. Si ve N atomları arasındaki kuvvetli kovalent bağ mevcuttur. Sert ortam şartlarına ve ağır yüklere karşı metallerin ve polimerlerin kötü sonuç verdiği sıcaklıklarda dayanıklıdır.

Silisyum nitrür, oksit dışı nitrür seramikler içerisinde yer alan üstün mekanik ve termo-mekanik özellikleri olan bir teknolojik seramik malzemedir. Sahip olduğu sertlik, aşınma direnci, düşük ısıl genleşme katsayısından dolayı mükemmel ısıl şok direnci gibi özelliklerinden dolayı özellikle yüksek sıcaklıklarda (1800 °C) yüksek performans gerektiren uygulamalar için aranan bir malzeme konumundadır [5].

Silisyum nitrür seramiklerin uygulama alanları genel olarak üç bölüme ayrılmaktadır:

1. Yüksek performanslı seramik malzeme olarak kullanım amaçlı
2. Elektrik ve elektronik alanındaki uygulamaları
3. Özel refrakter malzeme olarak kullanımı

### 2.2.5. Bor nitrür (BN)

Elmasta en sert malzeme olarak bilinen kübik bor nitrür (BN), elmasın aksine yüksek ısıl dirence sahiptir (1370 °C'ye kadar) ve mekanik şoklara karşı dayanımı yüksektir. Çok yüksek ısıl iletkenliği sebebiyle kesme aletlerinde (cutting tools) kullanılmalarının yanı sıra küçük kristaller halinde aşındırıcı diskler içerisine ilave edilerek demirli metallerin aşındırılmasında da kullanılmaktadırlar [1].

BN endüstriyel alanda aşağıda açıklanan dört metotla üretilmektedir;

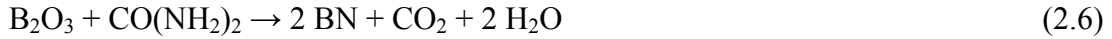
BN üretiminde birinci metot; karbon, bor oksit ve azot gazının 1450-1650 °C arasında reaksiyona sokulmasıdır. Dünyada BN üretiminde en yaygın olan prosestir.



BN üretiminde ikinci metot; bor oksidin amonyak gazı ile inört bir dolgu malzemesinin ( $\text{Ca}_3\text{PO}_4$ ) varlığında 900 °C' de nitrülenmesi ve reaksiyon sonrası saflaştırma ve kristalizasyon amacıyla ısıl işlem uygulanması.



BN üretiminde üçüncü metot; bor oksit veya boraksın, üre ve melamin gibi azot içeren organik bileşiklerle 1000 °C' nin üzerinde nitrülenmesi.



BN üretiminde dördüncü metot; kalsiyum hekzaborür ve bor oksidin, azot gazı ile 1500 °C' nin üzerinde nitrülenmesi.



Bor nitrür, taşıdığı yüksek ısıl şok direnci, ısıl iletkenlik, elektriksel yalıtkanlık, kimyasal kararlılık ve yağlayıcılık gibi üstün özelliklere sahip sentetik bir malzemedir. Bu özellikleri nedeniyle metalürjik yüksek sıcaklık uygulamalarında, elektrik-elektronik endüstrisinde, seramik kompozit malzemelerinin yapımında ve kimya endüstrisinde toz ve şekillendirilmiş kütleler halinde kullanılmaktadır [6].

### 2.2.5.1. Bor'un fiziksel ve kimyasal özellikleri

Tarihte ilk olarak 4000 yıl önce Babiller Uzak Doğu'dan boraks ithal etmiş ve bunu altın işletmeciliğinde de kullanmışlardır. Mısırlıların da boru, mumyalamada, tıpta ve metalürji uygulamalarında kullandıkları bilinmektedir. İlk boraks kaynağı Tibet Göllerinden elde edilmiştir. Boraks koyunlara bağlanan torbalarda Himalayalar'dan Hindistan' a getirilmiştir. Eski Yunanlılar ve Romalılar boratları temizlik maddesi olarak kullanmıştır. İlaç olarak ilk kez Arap doktorlar tarafından M.S. 875 yılında kullanılmıştır. Borik Asit 1700'lü yılların başında borakstan yapılmış, 1800'lü yılların başında ise elementer bor elde edilmiştir [7].

Bor, ametal (metal olmayan) sınıfında B harfi ile gösterilen bir kimyasal elementtir. Aslında metal ile ametal arasındaki bir sınırdadır. Bor ilk defa 1808 yılında Gay-Lussac, Louis Jacques Thenard ve Sir Davy tarafından bor oksidin potasyum ile ısıtılmasıyla elde edilmiştir. Daha saf bor, ancak bromit veya klorit formlarının tantalyum flamenti vasıtasıyla hidrojen ile reaksiyona sokulmasıyla elde edilmektedir. Bor ismi borun tuzu olan borakstan türetilmiştir

Bor elementinin kimyasal özellikleri morfolojisine ve tane büyüklüğüne bağlıdır. Mikron ebadındaki amorf bor kolaylıkla ve bazen şiddetli olarak reaksiyona girerken kristalin bor kolay reaksiyona girmez. Bor yüksek sıcaklıkta su ile reaksiyona girerek borik asit ve diğer ürünleri oluşturur. Mineral asitleri ile reaksiyonu, konsantrasyona ve sıcaklığa bağlı olarak yavaş veya patlama şeklinde olabilir ve ana ürün olarak borik asit oluşur

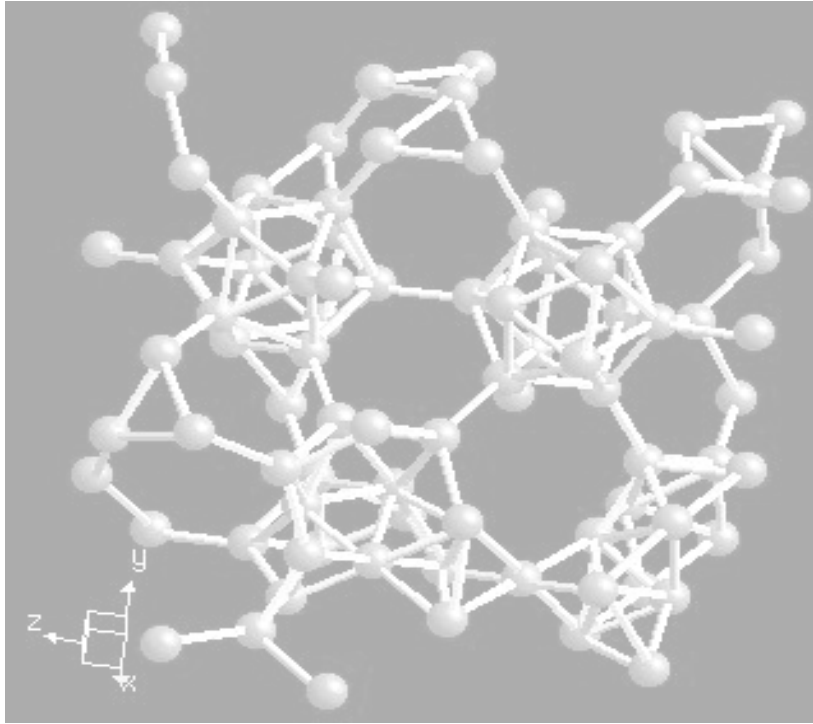
Bor, yeryüzünde toprak, kayalar ve suda yaygın olarak bulunan bir elementtir. Toprağın bor içeriği genelde ortalama 10-20 ppm olmakla birlikte ABD'nin batı bölgeleri ve Akdeniz'den Kazakistan'a kadar uzanan yörede yüksek konsantrasyonlarda bulunur. Deniz suyunda 0.5- 9.6 ppm, tatlı sularda ise 0.01-1.5 ppm aralığındadır. Yüksek konsantrasyonda ve ekonomik boyutlardaki bor yatakları, borun oksijen ile bağlanmış bileşikleri olarak daha çok Türkiye ve ABD'nin kurak, volkanik ve hidrotermal aktivitesinin yüksek olduğu olan bölgelerde bulunmaktadır.

Kristal bor, önemli ölçüde hafiftir, serttir, çizilmeye karşı mukavemetlidir ve, ısıya karşı kararlıdır. Bor kırmızı ötesi ışığın bazı dalga boylarına karşı saydamdır ve oda sıcaklığında zayıf elektrik iletkenliğine sahiptir. Yüksek sıcaklıkta iyi bir iletkendir. Kristal bor kimyasal olarak inerttir. Bor hidroklorik ve hidroflorik asitlerle kaynatıldığında bozulmaz. Sadece çok ince öğütülmüş bor, konsantre nitrat asidi ile yavaş oksitlenir [7].



Tablo 2.3. Bor Elementinin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

<b>Atom ağırlığı:</b>	10.811 ± 0.005 g/mol
<b>Kaynama noktası:</b>	2500° C
<b>Yoğunluğu:</b>	2.34 g /cm <sup>3</sup>
<b>Oksidasyon sayısı:</b>	3
<b>Elektronegatifliği:</b>	2.0
<b>İyonlaşma enerjisi:</b>	191 k cal /g atom
<b>Sertliği:</b>	9.3 Mohs
<b>Atom yarıçapı:</b>	0.98
<b>Fusion Isısı:</b>	5.3 k cal / g atom
<b>Buharlaştırma Isısı:</b>	128 k cal / g atom



Şekil 2.1. Bor'un Kristal Yapısı (Kristal Yapısı: hegzagonal yapıdadır)

Kristal bor, önemli ölçüde hafiftir, serttir, çizilmeye karşı mukavemetlidir ve ısıya karşı kararlıdır. Bor kırmızı ötesi ışığın bazı dalga boylarına karşı saydamdır ve oda sıcaklığında zayıf elektrik iletkenliğine sahiptir. Yüksek sıcaklıkta iyi bir iletkenidir. Kristal bor kimyasal olarak inerttir. Bor hidroklorik ve hidroflorik asitlerle kaynatıldığında bozulmaz. Sadece çok ince öğütülmüş bor, konsantre nitrat asidi ile yavaş oksitlenir [7].

### 2.2.5.2. Bor elementinin kullanım alanları

- Cam sanayi
- Seramik sanayi
- Temizleme ve beyazlatma sanayi
- Yanmayı önleyici (geciktirici) maddeler
- İlaç ve Kimya Sanayi
- Tarım
- Metalürji
- Enerji depolama
- Arabalardaki hava yastıklarında
- Atık temizleme işlemleri
- Pigment ve kurutucu olarak
- Nükleer uygulamalar
- Diğer kullanım alanları

A.B.D., Batı Avrupa ve Japonya'da bor mineralleri ve ürünlerinin kullanım oranları farklıdır. A.B.D.'de en çok tüketim fiberglas izolasyon sanayisinde olmaktadır. Batı Avrupa'da ise sabun ve deterjan sanayileri bor tüketiminde öndedir. Japonya'da en büyük bor tüketimi tekstil ve fiberglas sanayisinde gerçekleşmektedir [7].

### 2.2.5.3. Bor nitrür yapıları ve özellikleri

Bor nitrür, bor ve azot elementlerinin oluşturduğu, kimyasal formülü BN olan, kimyasal metotlarla üretilen bir bileşiktir. Literatür araştırmalarından edinilen bilgilere göre, bor nitrür ticari alanda dört ayrı metotla üretilmektedir. Yine

literatürden edinilen bilgilere göre bor nitrür genellikle, bor oksit, karbon ve azot'un 1450-1600 °C'de kimyasal reaksiyona sokulmasıyla elde edilmektedir.

Bor nitrür, taşıdığı yüksek ısıl şok direnci, ısıl iletkenlik, elektriksel yalıtkanlık, kimyasal kararlılık ve yağlayıcılık gibi üstün özelliklere sahip sentetik bir malzemedir. Bu özellikleri nedeniyle metalürjik yüksek sıcaklık uygulamalarında, elektrik-elektronik endüstrisinde, seramik kompozit malzemelerin yapımında ve kimya endüstrisinde toz, şekillendirilmiş kütleler, spreyci ve macun biçimlerinde kullanılmaktadır ve yeni kullanım alanları bulmaya yönelik bir potansiyeli de sahip olduğu özelliklerde barındırmaktadır.

Bor nitrür doğada tabii halde bulunmaz. 19. yüzyılın başlarında elde edilmesine rağmen ticari anlamda 20.yüzyılın ikinci yarısında üretilmeye ve kullanılmaya başlanmıştır.

Ticari alanda bor nitrürün iki ayrı kristal formu kullanılmaktadır. Bunlar hegzagonal ve kübik bor nitrürlerdir [8].

#### **2.2.5.4. Kübik yapılı bor nitrür**

Kübik bor nitrür kristal yapısı ve diğer özellikleri yönünden elmasa benzer. Saf kübik bor nitrür renksiz, iyi bir elektrik yalıtkanıdır. Yüksek sıcaklık (1500 °C) ,yüksek basınç (8 Gpa) teknikleri ile hegzagonal–kübik kafes dönüşümü ile elde edilen kübik bor nitrür c(BN) ,elmasın sonra ikinci en yüksek sertlik değerine sahiptir [8].

Kübik bor nitrür'ün özellikleri;

- Elmasın aksine yüksek ısıl dirence sahip olup, çok yüksek sıcaklıklara dayanıklıdır (1370 °C).
- Elmas gibi çok yüksek ısıl iletkenliğe sahiptir.
- Mekanik şoklara karşı dayanımı yüksektir.

Kübik bor nitrür, hegzagonal bor nitrürün yüksek sıcaklık (1400°C ve 1700°C'ler arasında) ve yüksek basınç (60.000 atm) altında ısıtılmasıyla elde edilir.

Kübik bor nitrür'ün kullanım alanları;

Çok yüksek ısı iletkenliği sebebiyle kesme aletlerinde (cutting tools) kullanılır. Elmasın aksine yüksek ısı dirence sahip olup, çok yüksek sıcaklıklara dayanıklıdır (1370°C'ye kadar). Elmasla karşılaştırıldığında kübik bor nitrürün en önemli avantajı, demir veya diğer metaller ile temasında veya havada yüksek sıcaklıkta sahip olduğu çok yüksek karahlığıdır. Çok kristalli kübik bor nitrür endüstriyel alanda son birkaç yıldır kullanım alanı bulmaktadır. Ferro malzemeler ile reaksiyon direnci ve mükemmel abrasif direnci ile kombine edilen c(BN) diğer takım malzemelerden daha yüksek sıcaklıklarda ve daha yüksek hızlarda sert malzemelerin işlenmesinde kullanılmaktadır.

Sertleştirilmiş çeliklerin işlenmesinde kullanılır. Bor nitrür kesici aletler, işleme esnasında sıvı kullanılmadan çok yüksek hızlı işleme için uygundur.

Yüksek sıcaklıklarda kesici alet ve aşındırıcı olarak kullanılır.

Mekanik şoklara karşı yüksek dayanımı sebebiyle dökümle ve dövmeyle üretilen parçaların işlenmesinde kullanılır.

Aşındırıcı malzeme olarak kullanılır (küçük kristaller halinde aşındırıcı diskler içerisine ilave edilerek demirli metallerin aşındırılmasında kullanılır). Yüksek sertliği ve yüksek sıcaklıklara dayanımı sebebiyle kübik bor nitrürden üretilmiş parçalar yüksek dayanıma ve uzun ömre sahiptirler. Ayrıca, yüksek ısı iletkenliğe sahip olması, aşındırıcı disk olarak kullanım esnasında oluşan ısının kolaylıkla uzaklaştırılabilmesinde bir avantajdır.

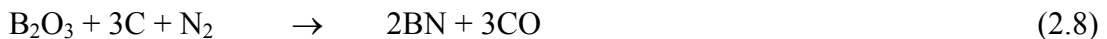
50 HR<sub>c</sub>'den daha sert demir bazlı malzemelerin ve 35 HR<sub>c</sub>'den daha yüksek sertliğe sahip kobalt ve nikel bazlı malzemelerin taşlanması, işlenmesinde ve parlatılmasında kullanılır [8].

### 2.2.5.5. Hegzagonal yapılı bor nitrür

Kristal yapısı, yumuşaklık, tabakalı olması ve kayganlık özellikleri nedeniyle grafitte benzer. Beyaz grafit olarak ta adlandırılır.

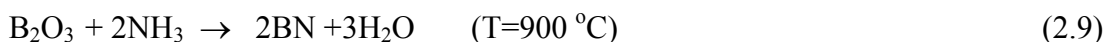
Bor nitrür endüstriyel alanda aşağıda açıklanan dört yolla üretilmektedir. Bunlardan birinci metot; karbon, bor oksit ve azot gazının 1450-1650 °C arasında reaksiyona sokulmasıdır. Bu reaksiyon aşağıda görülmektedir. Literatürden edinilen bilgiye göre bu metot, dünyada bor nitrür üretiminde en yaygın olan prosestir.

— Bor nitrür üretiminde kullanılan birinci metot; karbon, bor oksit ve azot gazının 1450-1650 °C arasında reaksiyona sokulmasıdır. Bu reaksiyon aşağıda görülmektedir. Literatürden edinilen bilgiye göre bu metot, dünyada bor nitrür üretiminde en yaygın olan prosestir. Bu proseste önce B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve kömür tozları karıştırılıp bir peletleme diskinde peletlenmektedir. Bu peletler elektrik ısıtmalı bir fırına yüklendikten sonra azot gazı ortamında yaklaşık 2 saat süreyle 1450-1650 °C de ısıtılmaktadır. Böylece, aşağıda verilen reaksiyona göre bor oksit, karbon tarafından redüklenmekte ve açığa çıkan Bor ise derhal azot ile reaksiyona girerek bor nitrür oluşturmaktadır.

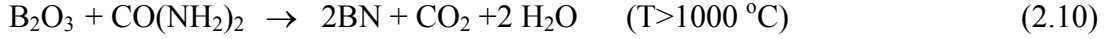


Üretilen Bor nitrür yaklaşık olarak %92 BN içermektedir. İçinde emprüte olarak B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve kül vardır. Fırından alınan ürün, içindeki emprütelerin uzaklaştırılması için, 1/1 oranında karıştırılmış hidroklorik asit/su çözeltisinde liç edilmektedir. Liç çözeltisi disk filtreden geçirilmek suretiyle, bor nitrür filtrede tutulmaktadır. Buradan elde edilen bor nitrür refrakter ve seramik kalitelere olmaktadır [2].

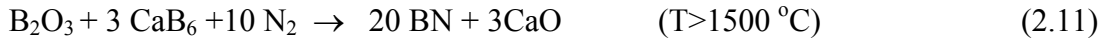
— Bor oksit'in Amonyak gazı ile inert bir dolgu malzemesinin (genellikle trikalsiyum fosfat) varlığında 900 °C'de nitrülenmesi ve reaksiyon sonrası saflaştırma ve kristalizasyon amacıyla ısıtım işlem uygulanması.



— Bor oksit veya boraks'ın, üre ve melamin gibi azot içeren organik bileşikler ile 1000 °C'nin üzerinde nitrülenmesi.



— Kalsiyum Hekzaborür ve bor oksit'in, azot gazı ile 1500 C° nin üzerinde nitrülenmesi.



Yukarıdaki yollarla üretilen bor nitrür grafit gibi tabakalı bir yapıda, beyaz renkte, pudra halindedir.

Hegzagonal bor nitrür'ün özellikleri;

—h(BN) yapısal yönden grafitte, görünüm olarak alüminaya benzeyen, Beyaz renkte, zehirsiz, geçirimsiz ve kaygan bir malzemedir.

—Seramik malzemeler içinde en düşük yoğunluklu olanıdır. (2,27 g/cm<sup>3</sup>)

—Çok yüksek sıcaklıklara dayanıklıdır. (inert atmosferde 3000 °C'ye kadar, hava ortamında 1400 °C'ye kadar).

—Isıl şok direnci oldukça yüksektir. 0-2000 °C arasındaki ısı şoklarına karşı dayanıklıdır.

—Birçok ergimiş metal veya cürüflar ve ergimiş camlar tarafından ıslatılma özelliği düşüktür.

—Mükemmel elektrik yalıtım özelliğine ve ısıl direncine sahiptir.

Hegzagonal bor nitrür'ün kullanım alanları;

—Sıcak ve ergimiş metallere temas eden yüzeylerde kaplama olarak kullanılır. Bor nitrür kaplama, korozyonu ve kimyasal olarak malzemenin reaksiyona girmesini önler. Bu nedenle de, kalıpların yüzeyinin kaplanmasında kullanılır.

—Aynı amaçlarla cam ve plastik endüstrisinde de kullanılır. kompozit üretiminde bor nitrür kaplamalar kalıbın oksitlenmesini önler.

- Yüksek sıcaklıklarda yağlayıcı olarak kullanılır.
- Yüksek ısı şok direncinin ve yüksek tokluğun istendiği uygulamalarda kullanılır (potalar ve refrakter astar uygulamaları dahil).
- Yüksek dielektrik dayanımı, düşük dielektrik sabiti ve yüksek ısı iletkenliğine haiz olması sebebiyle, dielektrik malzeme olarak elektronik ve elektroteknik endüstrisinde kullanım alanına sahiptir.
- Bor nitrür, belli oranlarda silisyum nitrür ile karıştırılarak (60:40, 50:50 veya 40:60) nozül pota, termokupul kılıfı ve cam kalıplarla ilgili refrakter malzeme olarak kullanılır.
- Diğer seramik malzemelerle birlikte kompozit yapımında kullanılır (Örneğin;  $Al_2O_3/BN$ ,  $AlN/BN$ ,  $3Al_2O_3.2SiO_2.xZrO_2/BN$ ).
- Kozmetik endüstrisinde kullanılır.
- Seramik ve cam endüstrisinde kullanılır (pota, destekleyici vb. malzeme olarak) [8].

#### **2.2.5.6. Pirolitik yapılı bor nitrür**

Pirolitik bor nitrürün kullanma alanları kısmen sıcakta sıkıştırılmış bor nitrürle çakışır. Bu yüzden potalarda ve fırın parçalarında kullanılabilir. Çeşitli tiplerdeki kalıp şekilleri ve kapların kaplanmasında ve sıcakta çalışan memelerin üretiminde kullanılmaya uygundur. Pirolitik bor nitrürden ayrıca ısı kalkanı, elektrik kablolarının ısı izolasyonu, induksiyon ısıtma bobinleri taşıyıcıları, elektrik dirençleri ve yüksek sıcaklık kondansatörleri, infrared cam ve plarizatörleri üretilebilir [8].

### **2.3. Seramik Karbürler**

#### **2.3.1. Silisyum karbür (SiC)**

Silisyum karbür (SiC) kuvvetli kovalent bağ yapısında yapay bir malzeme olup, E.G. Acheson tarafından 1891'de tesadüfen sentezlenmiştir.  $Al_2O_3$  den sert ve ısıya daha dayanıklıdır. Ayrıca korozyona karşı yüksek dayanım gösterir. Bu yüzden yangın olarak hem aşındırıcı hem de refrakter olarak kullanılır. Demir çelik yapımında metalürjik katkı olarak da kullanılır. Elektriksel özellikleri nedeniyle ısıtıcı

elementlerde ve elektrik devrelerinde kullanılırlar. 2000 °C'nin altındaki sıcaklıklarda SiC; “β” formundadır. Bu durum düşük sıcaklık yapısı olarak isimlendirilir. Dönüşüm sıcaklığı arttıran etkiler yok ise 2000°C üzerinde sadece hegzagonal ve rombohedral tipler mevcuttur. Bu sıcaklıklarda SiC; “α” formundadır.

SiC'ün temel yapısı tetrahedraldir. SiC'ün farklı formları, SiC tetrahedrallerinin birbirlerinin üzerine yığılmaları ile oluşan tabakalar ve tekrarlayan SiC birimlerinin oluşturduğu bu tabakaların sayısı ile temsil edilir. Acheson fırınında sentezlenen SiC kristallerinde 4H,6H,15R veya 3C formları yaygın olarak görülür. Bunların dağılımı hammaddenin kalitesine ve üretim koşullarına göre değişir. H, R, C sırasıyla hegzagonal, rombohedral, ve kübik yapıları rakamlar ise tabaka sayılarını göstermektedir. β-SiC'e ait olan 3C dışında diğer formların tamamı α-SiC'e aittir. En sık karşılaşılan 3C, 4H, 15R ve 6H tipleri X- ışınları difraksiyon teknikleri ile saptanabilirler [9].

### 2.3.1.1. SiC'ün kullanım alanları

Yüksek mekanik mukavemet, yüksek oksitlenme direnci ve termal şok direnci gibi özelliklere sahip silisyum karbür bazlı malzemeler, özellikle pişirilme fırınlarında kullanılan refrakterler içerisinde önemli bir yere sahiptir. Nurol Teknoloji; balistik zırh plakalar, aşınmaya dirençli nozul, döküm filtresi, döküm potası ve seramik fırın malzemelerinde silisyum karbür bazlı malzemeler kullanmaktadır.

Aşındırıcı olarak, deoksidasyon ve alaşım malzemesi olarak, refrakter malzemesi olarak genellikle çubuk ve tüp şeklindeki ürünler olarak elektrikli fırınlarda kullanılabilirler. Sızdırmazlık elemanı olarak, dökme demirin erimesi sırasında SiC ilavesi karbürizasyon ve silikanizasyona yardım eder. Aynı zamanda çekirdeklendirici görevini görerek dökme demirin kalitesini de artırır. Kaymalı yataklar SiC'ün kullanım alanlarından biridir. SiC'ün erozyon ve kimyasal direnci planlayıcıya değişik ortamlarda yatak konumu için bir fikir verir [9].



### 2.3.2. Titanyum karbür (TiC)

Bu malzemeler çok yüksek sertlik ve yüksek basma kuvvetli bir kitle oluşturacak şekilde bir metal alaşım grubu ile metal partiküllerinden oluşurlar. Aşınma direnci yüksek, kimyasal olarak kararlı takım ile talaş arasında ısı kalkan oluşturan çok sert bir malzemedir. Genellikle kaplama sanayinde kullanılırlar. SHS metodu ile üretimleri vardır. Kaplama sanayinde kullanımları genellikle torna kalemleri, kesici uçlar, takım çelikleri ve sert malzeme teknolojilerinde kullanılırlar. 3200 vickers sertliğinde, basma mukavemeti 3100-3850 MPa, darbe mukavemeti 0.79-1.24 J, elastisite modülü 310-450 GPa, yoğunluğu 5.5-5.8 g/cm<sup>3</sup>, ergime ve bozunma sıcaklığı 1400°C'dir.



#### 2.3.2.1. TiC'ün kullanım alanları

Kaplama sanayinde kullanımları genellikle torna kalemleri, kesici uçlar, takım çelikleri ve sert malzeme teknolojilerinde kullanılırlar.

### 2.3.3. Bor karbür (B<sub>4</sub> C)

Bor karbür 2500 °C'de, Bor oksit bileşimi ve karbondan elde edilmektedir. Bileşimdeki sınır aralıkları (bor oranları) nispeten muhtelifdir. Bor/Karbon oranı 3.8'den 10.4'e kadar; teknik Bor Karbür için aşağı yukarı değer aralıkları ise, 3.9'den 4.3'e kadar değişmektedir (tipik bor/ Karbon oranları 4.0–4.1'dir).

Bor karbür, metal olmayan en önemli gruba ait olup, en sert malzemedir. Yüksek ergime sıcaklığı, yüksek sertlik, yüksek yoğunluk, kimyasal maddelere karşı üstün direnç, üstün mekaniksel özellikleri nedeniyle günümüzde ileri teknolojinin önemli bir malzemesidir. Bor karbür bilinen en kararlı bileşiklerden birisidir. Asit ve bazlarla kolaylıkla reaksiyona girmez.

Bilinen birçok karbür ve nitrürlerin erimeden buharlaşma yoluyla bozulma eğilimi gösterirken bor karbür; 2450 °C’de eriyerek sıvı faz oluşumu gösteren nadir bileşiklerden birisidir [1].

### 2.3.3.1. Bor karbürün üretimi

Bor karbür; Borik asit (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>) veya Bor oksiti (B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), Elektrik Ark Fırınlarında uygun sıcaklık ortamında karbon ile redüklemek suretiyle üretilir. Reaksiyon Prosesi şöyledir:



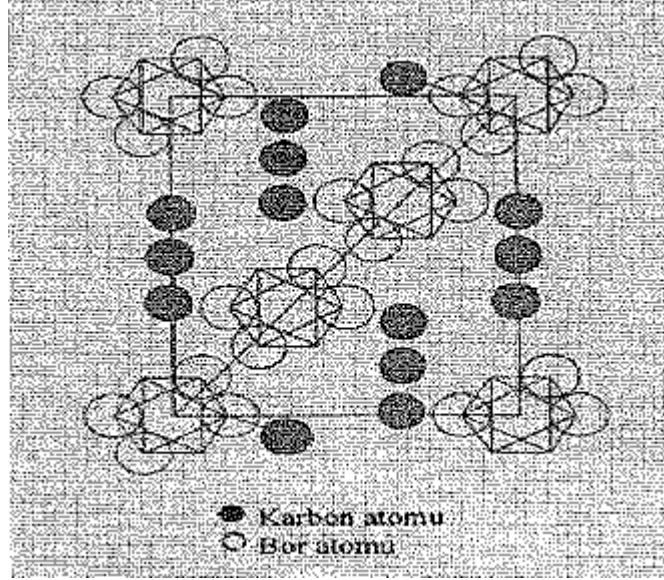
Proses Reaksiyonu endotermik olup, mol başına 1812 kJ veya 9.1 kWh/kg enerji gerekmektedir. Bu genellikle Elektrik Ark Fırınlarında 1500-2500 °C sıcaklık taşınması anlamına gelmektedir. Yani bir ton bor karbürün üretimi için gerekli olan enerji 9100 kWh’tir.

Reaksiyon sonucunda Bor karbür’ün hammaddeye olan oranı: ¼ kadardır.Yani bir Birim Bor karbür elde etmek için dört birim hammadde kullanmak gerekmektedir [13].

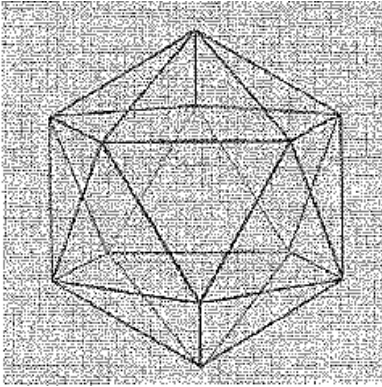
### 2.3.3.2. Bor karbürün yapısı

Bor karbür yapısının görünümü Şekil 2.2’de verilmiştir. Karbon atomu üç atom zincirinde ve icosahedralin bir parçası olarak verilmiştir. Tetragonal hibritleşmelerinden dolayı merkez atomu bor olan zincirin diğer iki ucunu doldururlar. Bazı istinai durumlarda iyonlaşmış karbon atomları merkezde yer alabilirler. Bağ yapma kıstaslarına göre en fazla iki atom icosahedrale katılabilir. Bor karbürün yapısı icosahedraldir. 12 atomlu kafes yapısını oluşturan bir polihedranın 20 yüzü, 12 eş dikmesi ve 12h dikmesi vardır. Şekil 2.3 ve Şekil 2.4’te görülen bir rombohedral konfigürasyonu birleştirilmektedir. Şekil 2.2’de görüldüğü gibi bor

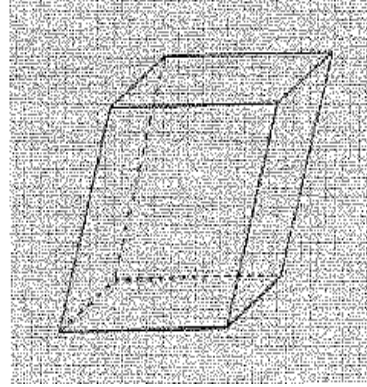
karbür için bu icosahedrallerin merkezleri, rombohedralin her bir köşesine yerleşmiştir [13].



Şekil 2.2. Bor karbür yapısının şematik gösterimi

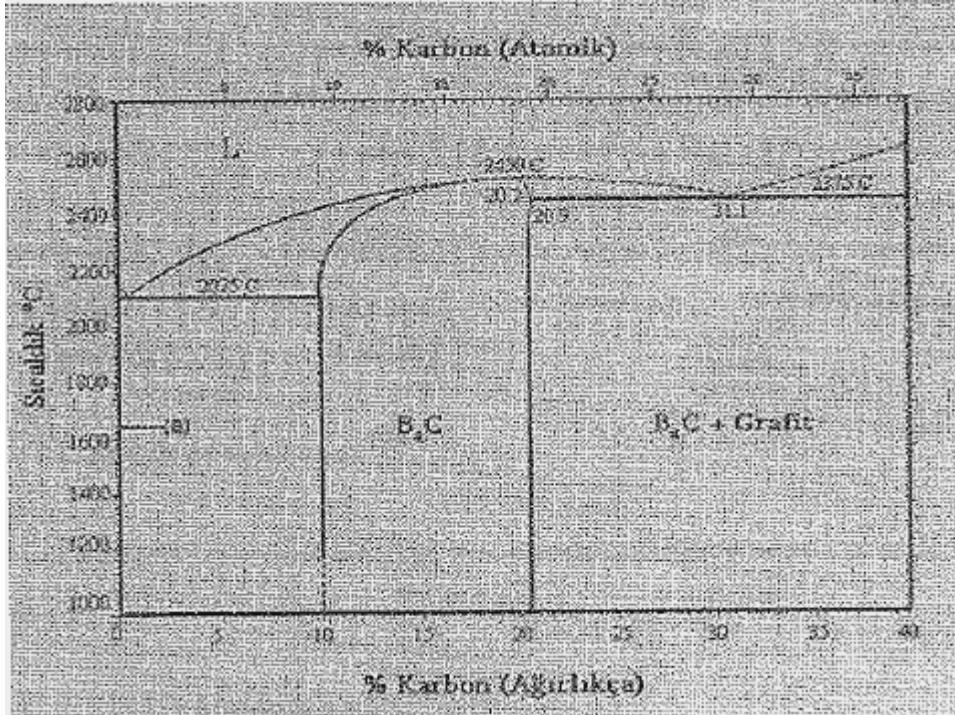


Şekil 2.3. Icosahedral yapı



Şekil 2.4. Rombohedral yapı

Şekil 2.5'te Bor-Karbon faz diyagramından da görüldüğü gibi karbon miktarının ağırlıkça %8-20 arasında değiştiği bölge tek fazlı bölgedir.



Şekil 2.5. Bor - Karbon faz diyagram

### 2.3.3.3. B<sub>4</sub>C'ün kullanım alanları

Elmas ve kübik yapıdaki bor nitrürden sonra günümüzde bilinen malzemeler içerisinde en yüksek sertliğe sahip olan bor karbür ise;

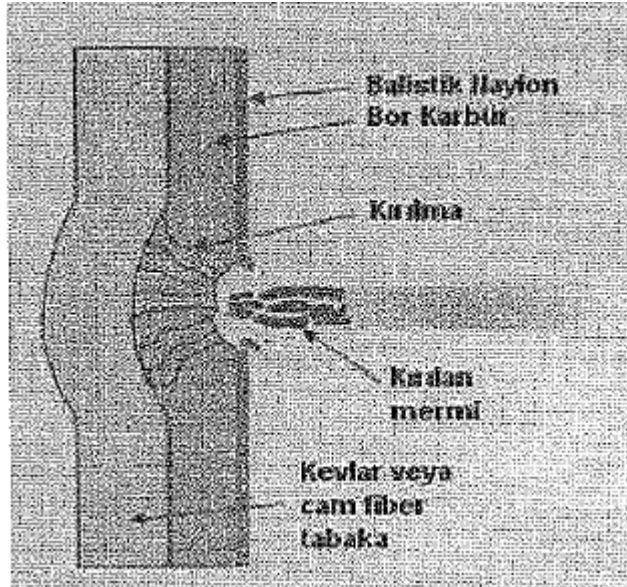
- Makine ve çalışma aletleri yüzeylerinin işlenmesinde, (Matkap uçları, dişli mekanizmalar, rulman yatakları, suni malzeme pres kalıpları, frezeler vb.)
- Seramik ve sert çalışma malzemelerinin işlenmesinde, (Kuvars, optik camlar vb.)
- Seramik yapı parçaları imalatında,
- Nükleer kalkan ve termik nötronların tutulmasında,
- Metal matriks kompozitlerinde kullanılmaktadır.

Bor karbür ve bor nitrür üretimleri konusunda ülkemizde laboratuvar çapında sonuçlandırılmış birçok çalışma mevcuttur [12].

Aşınmaya dayanıklı malzeme olarak; Bor karbür, fiziksel özelliklerine bağlı olarak çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Bor karbürün sertliği 90k yüksek olduğu için aşındırıcı olarak kullanılmaktadır. Bor karbürün diğer bir önemli kullanım alanı,

aşınmaya dayanıklı makine parçalarının üretimidir. Örneğin; kumlama ve su-jeti ile kesmede kullanılan nozullar gibi.

Zırh yapımında; Bor karbür yüksek sertlik, mukavemet ve düşük yoğunluğa sahip olmasından dolayı zırh malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bor karbür esaslı bir zırh sisteminin geleneksel sistemlere oranla % 20 hafif olması günümüz tank ve helikopterlerinde daha kolay hareket ve manevra yeteneği demektir. Şekil 2.6'da tipik bir darbe durumu gösterilmiştir. Darbe anında, seramik plaka mermi çekirdeğini kırarak, kinetik enerjinin önemli bir kısmını absorbe etmektedir. Arka malzeme ise geri kalan enerjiyi absorbe etmiştir.



Şekil 2.6. Zırhın darbe karşısındaki şematik görünümü

Nükleer Reaktörlerde; Bor karbürün en yaygın kullanım alanlarından biriside nükleer enerji santrallerinde radyasyondan korunma amaçlı ve yakıt yükleme çubuğu olarak kullanımıdır. Günümüz nükleer santrallerinin % 95'inde kontrol çubuğu olarak Ag - In - Cd alaşımı ve bor karbürden mamul malzemeler kullanılmaktadır [12].

## 2.5. Kompozit Malzemeler ve Gelişimi

Aynı ya da farklı gruplardan iki ya da daha fazla malzemenin uygun olan özelliklerini tek malzemedeki toplamak, ya da yeni bir özellik ortaya çıkarmak amacıyla makro düzeyde birleştirilmesi ile oluşturulan malzemeler, kompozit malzemeler olarak adlandırılırlar. Atomsal veya molekül düzeyde birleştirilen malzemeler (örneğin alaşımlar) makroskobik olarak homojen olduklarından kompozit malzeme olarak sınıflandırılmazlar.

Malzeme özelliklerinin hepsi aynı anda iyileşmez ve zaten buna gerek de yoktur. Bileşenlerinin özellikleri bilinen bir kompozit malzemenin, bazı özellikleri hesaplanarak bulunabilir (yoğunluk, elastik özellikler vb). Bazı özellikler için ise bu mümkün değildir (yorulma dayanımı, tokluk vb). Tasarımcı bu durumda emniyetli davranarak emniyet katsayılarını çok yüksek seçmek zorunda kalır ve kompozit malzeme kullanımı ekonomik olmaktan çıkabilir [13].

Kompozit malzeme üretiminin bilinçli olarak ele alınması ve bilimsel yaklaşımlarla yeni malzemelerin geliştirilmesi ancak 1940'lı yıllarda cam takviyeli plastiklerin kullanımı ile başlamıştır, önemli ilk uygulamalara örnek olarak radar kubbeleri gösterilebilir. Cam takviyeli plastikler elektromanyetik geçirgenlik, hafiflik, atmosfer koşullarına dayanıklılık ve mekanik özellikleri nedeniyle bu amaç için kullanılacak en uygun malzemedir, ilk CTP tekne 1942'de yapılmış, ilk fiber sarma patenti ise 1946'da ABD'de alınmıştır. 1950'lerde ise uçak pervaneleri kompozit malzemedeki yapılmaya başlanmıştır. Bugün uçak endüstrisinde %30'a varan oranlarda kullanılan kompozit malzemelere örnek olarak, çeşitli polimerler (plastikler) içerisine gömülmüş karbon fiberleri, alüminyum içerisine dizilmiş boron fiberleri veya 1000°C üzerindeki sıcaklıklarda çalışan ve nikel-alüminyum alaşımı içerisinde oluşturulmuş nikel-niobiyum levhaları ile kuvvetlendirilen malzemeler gösterilebilir. Bu üstün nitelikli kompozit malzemelerin yanında ucuzluğu ve elde edilmesi oldukça kolay olan cam fiber-polyester (CTP) malzeme oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Verilen örneklerden de anlaşılacağı üzere kullanılacak kompozit malzeme istenen mekanik özellikler, çevre şartlarına dayanıklılık,

görünüm, maliyet vb. özellikler ile çok çeşitli olabilmekte ve hemen hemen her şartı karşılayabilecek uygun bir takviye-matris çifti oluşturulabilmektedir [14].

Bu malzeme grubu hava ve uzay endüstrileri yanında kara ve deniz taşımacılığı, çeşitli spor malzemeleri tıp gereçleri, robot yapımı (eylemsizlikleri az ve rijit olduklarından), kimya sanayi (korozyona dayanıklı olduklarından), elektroteknik, elektronik (yalıtkan olduklarından) ve müzik aletleri yapımı gibi birçok uygulama sahası bulmuş durumdadır. Sıralanan bu uygulamalarda kompozit malzemeler geleneksel bazı malzemelerle yarış halindedirler.

Kompozit malzemelerin üretilmesindeki asıl amaç, az enerji harcayarak çok iş yapabilen araçların, cihazların ve yapıların üretilmesini sağlamaktır. Günümüzde kullanılan otomobillerin fren diskleri genel olarak dökme demirden yapılmaktadır. Bu geleneksel malzeme yerine alternatif olarak metal matrisli kompozitler kullanılabilir. Böylece, daha düşük ağırlığa sahip alternatif malzemeler üretilerek, çok daha düşük yakıt sarfiyatı, daha uzun malzeme ömrü ve daha başarılı bir frenleme elde edilebilir. Bu konu ile ilgili bir başka örnek uzay mekiklerinin uzaya çıkması verilebilir. Seramik ve metal matrisli kompozit malzemelerin kombinasyonu şeklinde yapılan bir mekik, geleneksel malzemelerin ağırlıkta olduğu bir mekiğe göre çok daha ucuz, uzun ömürlü, yüksek hızlı uçuşlar yapabilmektedir [13].

## **2.6. Kompozit Malzemelerin Özellikleri**

Kompozit malzemelerin diğer malzemelere göre önem kazanmaları, bunların değişik uygulamalarda belirli özelliklere sahip olmasından ileri gelir. Bunlar; çekme, basma, eğme, akma, sürünme, yorulma mukavemeti, sertlik, tokluk, rijitlik, aşınma direnci gibi mekanik özellikler; elektriksel iletkenlik/yalıtkanlık, manyetik özellikler, yoğunluk vb. fiziksel özelliklerle; kararlılık, korozyon direnci gibi kimyasal özelliklerdir. Malzeme seçimi ve dizaynında önem kazanan ve değişik tekniklerle ölçülebilen bu özelliklerin yanı sıra malzemenin birim maliyeti, gereksinilen tonaj, kolay bulunabilirlik, işlenebilme ve şekillendirilebilme gibi diğer faktörler de mühendis ve işletmecilerin her zaman göz önünde bulundurdukları faktörlerdir

Uygulamada pek çok durumda elimizdeki malzemeden yukarıda ileri sürdüğümüz özelliklerin çoğuna sahip olmasını bekleriz. Kompozit malzemelerin özelliklerini şu şekilde açıklayabiliriz

Yüksek mukavemet; kompozitlerin çekme ve eğilme mukavemetleri birçok metalik malzemeye göre çok daha yüksektir. Ayrıca kalıplama özelliklerinden dolayı, kompozitlere istenilen yönde ve istenilen bölgede gerekli mukavemet verilebilir. Böylece malzemeden tasarruf yapılarak, daha hafif ve ucuz ürünler elde edilebilir.

Kolay şekillendirilebilme; kompozit malzemeler yeni tasarım esneklikleri sunarlar. Büyük ve kompleks parçalar, tek işleme bir parça halinde kalıplanabilir. Bu da malzeme ve işçilikten kazanç sağlar.

Elektriksel özellikler; uygun malzemelerin seçilmesiyle, çok üstün elektriksel özelliklere sahip kompozit ürünler elde edilir.

Korozyona ve kimyasal etkilere karşı mukavemet; kompozitler; hava etkilerinden, korozyondan ve çoğu kimyasal etkilere zarar görmezler. Bu özellikleri nedeniyle kompozit malzemeler, kimyevi madde tankları, boru ve aspiratör, tekne ve deniz araçları yapımında güvenle kullanılmaktadır.

Isıya ve ateşe dayanıklılık; ısı iletim katsayısı düşük malzemelerden oluşabilen kompozitlerin ısıya dayanıklılık özellikleri, yüksek ısı altında kullanılabilmesine olanak tanımaktadır. Bazı özel katkı maddeleri ile kompozitlerin ısıya dayanımı artırılabilir.

Kalıcı renklendirme; kompozit malzemeye, kalıplama esnasında reçineye ilave edilen pigmentler sayesinde istenilen renk verilebilir. Bu işlem ek bir masraf ve işçilik gerektirmez.

Titreşim sönümlendirme; kompozit malzemelerde, süneklik nedeniyle doğal bir titreşim sönümlenme ve şok yutabilme özellikleri metallere göre önemli ölçüde fazladır. Çatlak yürümesi olayı da böylece minimize edilmiştir [14].



## 2.7. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Yapılarında çok sayıda farklı malzeme kullanılabilen kompozitlerin gruplandırılmasında kesin sınırlar çizmek mümkün olmamakla birlikte, yapıdaki malzemelerin formuna göre bir sınıflama yapmak mümkündür. Kompozit genelde üç şekilde sınıflandırılmıştır.

### 2.7.1. Partikül (taneli) esaslı kompozitler

Bir matris malzeme içinde başka bir malzemenin parçacıklar halinde bulunması ile elde edilirler ve izotrop yapılardır. Yapının mukavemeti parçacıkların sertliğine bağlıdır. En yaygın tip plastik matris içinde yer alan metal parçacıklardır. Metal parçacıklar ısıl ve elektriksel iletkenlik sağlar. Metal matris içinde seramik parçacıklar içeren yapıların, sertlikleri ve yüksek sıcaklık dayanımları yüksektir. Uçak motor parçalarının üretiminde tercih edilmektedirler [14].

Rijitlik ve mukavemette artış sağlayan küçük granül dolgu maddesi ilavesiyle şekillendirilirler. Partikül kompozitler, bir veya iki boyutlu makroskobik partiküllerin veya sıfır boyutlu olarak kabul edilen çok küçük mikroskobik partiküllerin matris fazı ile oluşturdukları malzemelerdir. Makroskobik veya mikroskobik boyutlu partiküller kompozit malzeme özelliklerini farklı şekilde etkilerler. Partikül takviyeli kompozitleri fiber ve dolgu kompozitlerden ayırt eden karakteristik özellikleri, partiküllerin matris içinde tamamen rastgele dağılması ve bu nedenle malzemenin izotropik özellik göstermesidir. Partikül esaslı kompozitlerin maliyeti düşük ve rijitliği de oldukça iyidir.

Partikül takviyeli kompozit malzemelerde, belirgin üniform olarak dağılmış sert, gevrek malzeme yumuşak daha sünek bir matrisle kuşatılmıştır. Aslında yapı, iki fazlı dağılım mukavemetlendirilmiş metal alaşımlarına benzemektedir. Buna karşın, kompozitlerde dağılan partikülleri oluşturmak için faz dönüşümü kullanılmaz [14].

### 2.7.2. Fiber ( lifli) esaslı kompozitler

Birçok özelliklerde artış sağlayan, yüksek etkinliği olan fiberlerin ilavesiyle elde edilir. Mühendislikte kullanılan malzemelerin pek çoğu fiber şeklinde üretildiklerinde mukavemet ve rijitlikleri kütle hallerindeki değerlerinden çok üstünde olabilmektedir. Örneğin karbon fiberlerin çekme mukavemeti kütle halindeki grafitten 50 kat, rijitliği 3 kat daha yüksektir. Fiberlerin bu özelliğinin fark edilmesiyle fiber kompozitlerin üretilmesi süreci başlamıştır. Günümüzde düşük performanslı ev eşyalarından roket motorlarına değin kullanım alanı bulan malzemeler olmuşlardır.

Fiberler yapı içerisinde kesintisiz uzayan sürekli fiberler veya uzun fiberlerin kesilmesiyle elde edilen süreksiz fiberler veya elyaflar şeklinde olabilirler.

Fiber-matris kompozitlerinin mühendislik performansını etkileyen en önemli faktörler fiberlerin şekli, uzunluğu, yönelmesi, matrisin mekanik özellikleri ve fiber-matris ara yüzey özellikleridir. Fiberler dairesel olduğu gibi daha nadiren dikdörtgen, hegzagonal, poligonal ve içi boş dairesel kesitli olabilir. Bu kesitlerin bazı artı özellikleri olmakla birlikte (paketleme, yüksek mukavemet vs.) dairesel kesitler maliyeti ve kullanım kolaylığı ile üstünlük sağlar. Sürekli fiberlerle çalışmak genelde daha kolay olmakla beraber tasarım serbestliği süreksizlere göre çok daha sınırlıdır. Sürekli fiberler süreksizlerden daha iyi yönelme göstermelerine karşılık süreksiz fiberlerin kullanılması daha pratik sonuçlar vermektedir [14].

### 2.7.3. Tabaka yapılı kompozitler

Farklı özelliklere sahip en az iki tabakanın kombinasyonundan oluşur. Çok değişik kombinasyonlarla tabakalanmış kompozitlerin üretimi mümkündür. Korozyon direnci zayıf metaller üzerine, daha yüksek dirençli metallerin veya plastiklerin kaplanmasıyla korozyon özelliğinin, yumuşak metallerin sert malzemelerle birleştirilmesiyle sertlik ve aşınma direncinin, farklı fiber yönelmesine sahip tek tabakaların birleştirilmesiyle çok yönlü yük taşıma özelliğinin geliştirilmesi mümkün olmaktadır.

Mühendislik uygulamalarında, özellikle de mekanik uygulamalarda, dışarıdan gelecek herhangi bir darbeye karşı beklenmedik sonuçların ortaya çıkmaması için, malzemenin gerekli en uygun cevabı veya davranışı verebilmesi istenir. Uygulama yerine ve kullanım amacına göre malzemenin maruz kalabileceği darbeler çok farklı şekillerde olabilir. Buna karşın darbeye karşı olan cevap da malzemenin kendisi tarafından belirlenir. Şöyle ki, metal ve metal alaşımları durumunda darbeye karşı malzemenin cevabı; elastik uzama ve plastik şekil değiştirme şeklinde meydana gelir ve darbe hasarı, çoğunlukla, çarpma yüzeyinde başladığı anda kolay bir şekilde tespit edilebilir. Darbe hasarı, metal malzemelerde genellikle bir tehlike işareti olarak kabul edilmez, çünkü metaller plastik şekil değiştirebilme kabiliyetlerinden dolayı, büyük miktarda enerjiyi absorbe edebilirler. Metaller sabit bir gerilme durumunda yapı sertleşmeden önce çok büyük uzamalarda akabilirler, bu nedenle oluşacak kopmalar ani ve beklenmedik olmaz. Kompozit malzemelerde bir darbe sonucunda oluşan hasar, çarpmanın türüne göre darbeye maruz kalmayan yüzeyde meydana gelebilir, içyapıda oluşan delaminasyonlar (tabakalar arasında ayrılma) şeklinde başlayabilir [14].

Yukarıda da bahsedildiği gibi metallerde darbe cevabı, plastik şekil değiştirme sonucunda bir kopma şeklinde olmasına rağmen, kompozitler çok değişik modlarda hasara uğrayabilirler ve bu hasar modlarında parçanın yapısal bütünlüğünde ciddi bir değişiklik meydana gelmez. Genellikle gözle görülmeyen veya çok zayıf bir şekilde görülebilen hasarlar meydana gelir. Plastik matrisli kompozit malzemelerin hemen tamamı kırılıgandır, bu nedenle enerjiyi sadece elastik deformasyon ve bazı hasar mekanizmaları (matris kırılması, delaminasyon, fiber kopması v.b) sayesinde absorbe edebilirler, diğer bir deyişle enerjiyi absorbe etmede plastik deformasyonun katkısı hemen hemen hiç yoktur. Bu anlamda hasar direnç ifadesi, bir kompozit sistemde meydana gelen darbe hasarının miktarını ifade eder. Tabakalı kompozit malzemede, eğer kalınlık boyunca bir takviye söz konusu değil ise, en büyük darbe hasarı enine doğrultuda oluşacaktır. Bunun en önemli nedenlerinden birisi, enine doğrultudaki malzeme elastik özelliğinin düşük olmasıdır. Bu nedenle bir kompozit malzemenin enine hasar direnci nispeten zayıftır. Tabakalar arası gerilmeler (kesme ve normal) tabakalar arası mukavemetin düşük olmasından dolayı ilk kopmalara sebep olan gerilmelerdir. Darbe esnasında kompozit malzemeye aktarılacak enerjinin miktarı,

malzemenin bu enerjiyi sönümleyebilmesi için oluşacak hasar modlarını belirleyecektir. Bu nedenle tabakalı bir kompozit malzemede darbenin oluşturacağı hasarı tahmin etmek için darbe hızının belirlenmesi çok büyük bir öneme sahiptir [14].

## **2.8. Kompozit Malzeme Türleri**

### **2.8.1. Metal matrisli kompozitler (MMC)**

Metal alaşımlarının birçoğu, yüksek sıcaklıkta bazı özellikleri sağlamalarına rağmen kırılğan olmaktadır. Fakat metalik fiberler ile takviye edilmiş metal matrisli kompozitler, her iki fazın uyumlu çalışması ile yüksek sıcaklıkta da yüksek mukavemet özelliklerini vermektedirler. Bakır ve Alüminyum matrisli, Wolfram veya Molibden fiberli kompozitler ve Al-Cu kompoziti, bize bu kompozisyonu veren en iyi örneklerdir. Bu tip kompozitler, matrisin özelliklerini iyileştirdiği gibi bu özelliklere daha ekonomik olarak ulaşılmasını sağlamaktadır.

Bu kompozitlerde metal matris içine gömülen ikinci faz, sürekli fiberler şeklinde olabildiği gibi, geliş güzel olarak dağıtılmış küçük parçalar halinde de olabilmektedir [13].

Metaller organik reçinelere göre çok daha yüksek dayanımlı matrislerdir. Buna ek olarak metal matris, kompozit malzemelerin tokluğunun ve kullanım sıcaklığının yükselmesini sağlar. Ancak matrisin metal olduğu kompozit malzemelerin üretimi güçtür ve bunlar her fiber ile birlikte kullanılamazlar. Metal matris içinde en kolay kullanılabilen fiber en nadir ve pahalı fiber türü olan bor ve borsik (yüzeyi silisyum karbür kaplı bor) fiberdir. Yaygın olarak kullanılan metal matrislere örnek olarak 6061 ve 2024 alüminyum alaşımları ile 1010 saf alüminyum gösterilebilir. Burada kompozit malzeme 450–550 °C sıcaklıkta sıcak presleme ile üretilebilir. Böyle bir karma malzeme 300 °C'ye kadar, oda sıcaklığındaki özelliklerini korur. Titanyum alaşımları da yayınma bağı yoluyla borsik ve SiC fiberle birleştirilerek matris olarak kullanılabilir. Bu tür bir kompozit malzemenin kullanım sıcaklığı 420-520 °C'ye çıkar. Karbon fiber da alüminyum alaşımı içine gömülebilir, ancak karbon ile

alüminyum arasındaki galvanik korozyonun önlenmesi için önce yüzeyinin nikel veya gümüşle kaplanması gerekir [14].

### **2.8.1.1. MMC'lerin avantajları ve dezavantajları**

Metal matrisli malzemeler takviye edildikleri malzemelere göre üstün özelliklere sahiptir. Bu özellikler aşağıda verilmiştir.

- Yüksek elastisite modülüne sahiptir
- Yüksek mukavemet gösterir
- Metallerin süneklik ve tokluk; seramiklerin yüksek mukavemet ve aşınma direnci bu kompozitlerde bir araya gelebilir
- Düşük yoğunluğa sahiptirler
- Sıcaklık değişiklikleri ve termal şoka karşı düşük hassasiyet gösterirler
- Yüksek sıcaklıklarda kullanılabilirler
- Tekrar üretilebilir mikro yapı ve özelliklere sahiptirler
- Kaynak veya diğer yöntemlerle kolayca birleştirilebilirler

Bu özelliklerden dolayı MMK'lar ticari olarak çok tercih edilmektedirler. Ancak üretimlerinin zor ve maliyetli olması, kırılma tokluklarının partikül takviyeli MMK'lar haricinde düşük olması bazı dezavantajlarından [14].

### **2.8.2. Seramik matrisli kompozitler (CMC)**

Seramik matrisli kompozitlerin geliştirilip kullanılmasındaki amaç, enerji darboğazında olan dünyada, daha hafif ama bir o kadar mukavemetli malzemelere ihtiyaç duyulmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca seramiklerin vazgeçilmez özelliği olan yüksek sıcaklıkta çalışma, seramik matrisli kompozitlerin geliştirilip kullanılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Özet olarak seramik matris, yüksek sıcaklıkta çalışma, korozyon direnci, sertlik, aşınma dayanımı, düşük yoğunluk gibi özelliklerinden dolayı kullanılmaktadır. Takviyelerinin amacı da malzemeye yüksek tokluk ve malzemenin kullanım ömrünün uzatma gibi özellikler katmak için kullanılmaktadır. Seramik malzemeler iki başlık altında toplanmaktadır. İlki

monolitik seramik malzeme, diğeri ise seramik kompozit malzemelerdir. Monolitik seramikler kompozit seramiklere göre çok daha kırılğan olmaktadır. Seramik kompozitlerde ise takviye fazlarının katkısıyla yüksek tokluk değerlerine ulaşılabilmektedir.

Seramiklerin matris olarak kullanılması halinde kompozit malzemeler 1300°C'ye kadar kullanılabilme şansına sahip olur. Bu tür- kompozit malzemelerin en gelişmişlerine örnek olarak SiC veya Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> fiber ile takviye edilmiş, SiC ve Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> seramikleri gösterilebilir. Karbon fiberinde kullanılabildiği bu tür matrislerde (cam, seramik, mullit, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiC) fiberlerin rolü farklıdır. Mekanik özellikleri bakımından matristen çok farklı olmayan fiberin buradaki görevi daha çok malzemenin tokluğunu arttırmaktır.

Karbon matris içine gömülü karbon fiberinden oluşmuş kompozitlerin 4000°C'ye kadar dayanma şansı vardır. Burada matris bir organik matrisin poligonizasyonu veya buhar çökeltme ile elde edilir. Bu kompozitler yüksek sıcaklıklarda olağanüstü ısı ve mekanik özelliklere sahiptirler [14].

### **2.8.2.1. CMC'lerin avantajları ve dezavantajları**

Metal veya metal olmayan malzemelerin birleştirilmelerinden oluşan seramik kompozitler, yüksek sıcaklıklara karşı çok iyi dayanım göstermekle birlikte, rijit ve gevrek bir yapıya sahiptirler. Ayrıca elektriksel olarak çok iyi bir yalıtkanlık özelliği de gösterirler.

Bir metalik fazın bazı takviye malzemeleri ile eritme vakum emdirme, sıcak presleme ve difizyon kaynağı gibi ileri teknikler uygulanarak MMC' ler elde edilirler. MMC ler daha çok uzay ve havacılık alanlarında, mesela uzay teleskobu, platform taşıyıcı parçalar, uzay haberleşme cihazlarının reflektör ve destek parçaları vs. yerlerde kullanılır [14].

### 2.8.3. Polimer matrisli kompozitler (PMC)

Fiber olarak kullanılan plastik, yük taşıyıcı bir özelliğe sahip iken, matris olarak kullanılan plastik, esneklik verici, darbe emici ya da istenen amaca göre kullanılan plastiğin özelliğine sahip olmaktadır. Kullanılabilecek plastik türleri de iki ayrı sınıfta incelenebilir.

Termoplastikler; bu tür plastikler, ısıtıldığında yumuşar ve şekillendirildikten sonra soğutulduğunda sertleşir. Bu işlem sırasında plastiğin mikro yapısında herhangi bir değişiklik söz konusu değildir. Genellikle 5-500°C arasındaki sıcaklıklarda kullanılabilirler. Bu gruba giren plastikler olarak; naylon, polietilen, karbon florür, akrilikler, selülozikler, viniller sayılabilir.

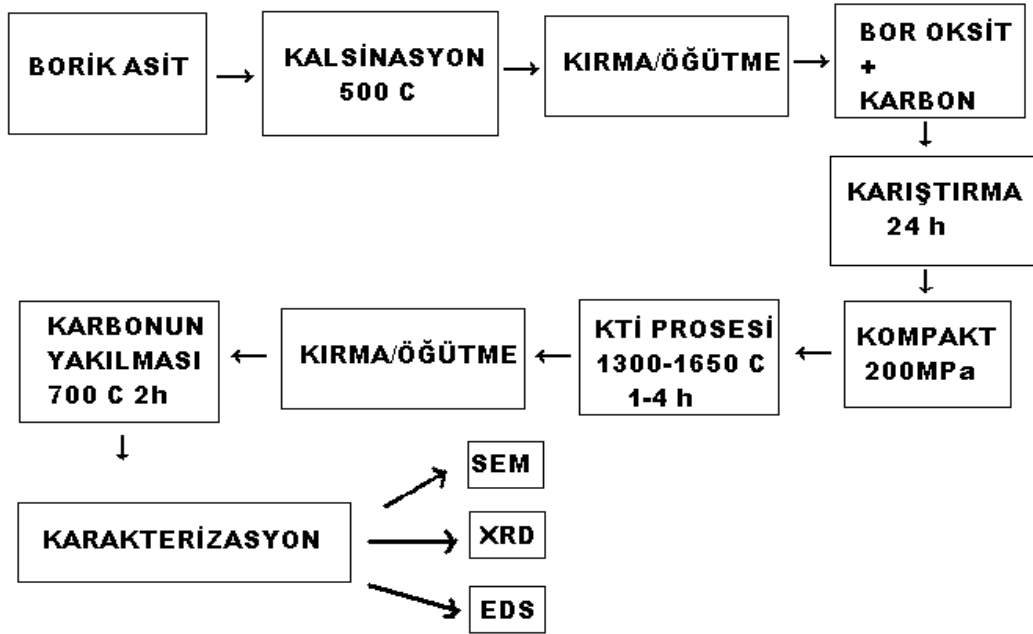
Termoset Plastikler; bu tip plastiklerde ise ısıtılıp şekillendirildikten sonra soğutulduklarında artık mikro yapıda oluşan değişim nedeniyle eski yapıya dönüşüm mümkün olmamaktadır. Bu grubun belli başlı plastikleri ise; polyesterler, epoksiler, alkillenler, aminler olarak verilebilir [14].

#### 2.8.3.1. PMC'lerin avantajları ve dezavantajları

Polimer matrisli kompozitler; hava etkilerinden, korozyondan ve çoğu kimyasal etkilerden zarar görmezler. Bu özellikleri nedeniyle bu kompozit malzemeler, kimyevi madde tankları, boru ve aspiratör, tekne ve deniz araçları yapımında güvenle kullanılmaktadır. Uygun malzemelerin seçilmesiyle, çok üstün elektriksel özelliklere sahip kompozit ürünler elde edilir

### BÖLÜM 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada karbotermal indirgeme yöntemi kullanılarak Bor karbür üretimi amaçlanmıştır. Bu amaçla aşağıdaki Şekil 3.1’de verilen deneysel akış programına göre aşamalı bir şekilde uygulanmıştır. Kullanılan malzemeler, deneysel çalışmalar, analiz yöntemlerini aşağıda detaylandırılmıştır.



Şekil 3.1. Deneysel akış şeması

Elde edilen sonuçlar başlangıç malzemesi, XRD, deneyleri ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.



### 3.1. Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada, seramik toz karşımı olarak bor karbür ürünü eldesi için belirli deney aşamalarından geçirilecektir. Deneyde kullanılacak malzemeler aşağıda detaylarıyla verilmiştir.

#### 3.1.1. Borik asit ( $H_3BO_3$ )

Ülkemiz dünyada en zengin bor yataklarına sahiptir. Dolayısıyla bu çalışmada bandırma tesislerinde üretilen ve elementel borun bir bileşiği olan  $H_3BO_3$  ürünü kullanılmıştır.

Tablo 3.1. Borik asitin kimyasal özellikleri

İçerik	Birim	Değer
$B_2O_3$	%	56,25 min.
Safiyet	%	99,9 min.
$SO_4$	ppm	500 nax
Cl	ppm	15 max
Fe	Ppm	20

#### 3.1.2. Karbon ( C )

Karbürleyici olarak deneysel çalışmalarda karbon siyahı kullanılmıştır. TÜPRAŞ firmasından temin edilen ve aşağıda Tablo3.2. de özellikleri verilen karbon kullanılmıştır.

Tablo 3.2. Kullanılan karbonun özellikleri

Tane boyutu	Nem	C oranı	Yoğunluk	Tutuşma sıcaklığı
< 325 mesh	% 2,5	% 98	350 gr/ l	400 °C(min)

### 3.1.3. Argon

Karbür fazlarının üretiminde inort atmosfer olması en önemli deney şartlarından biridir. Bu amaçla BOSS firmasından temin edilen ve % 99 saflıkta olan argon gazı karbürleyici ortamı 200 mm/dk akış hızında ortama verilmiştir. Argon kullanılacak gazlar içersinde yoğunluğu diğer gazlardan fazla olduğu için, reaksiyon esnasında ortaya çıkabilecek oksijen, CO<sub>2</sub>, CO gazlarını reaksiyon tüpünden atmaktadır.

### 3.2. Kalsinasyon İşlemi

Kalsinasyon işlemi Şekil 3.3'de verilen kamara tipi fırında gerçekleştirilmiştir. Deney şartları olarak 500 °C'de 2 saat ve hava ortamında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.2. Kalsinasyon işleminde kullanılan kamara tipi küp fırın

### 3.3. Karışımın Hazırlanması

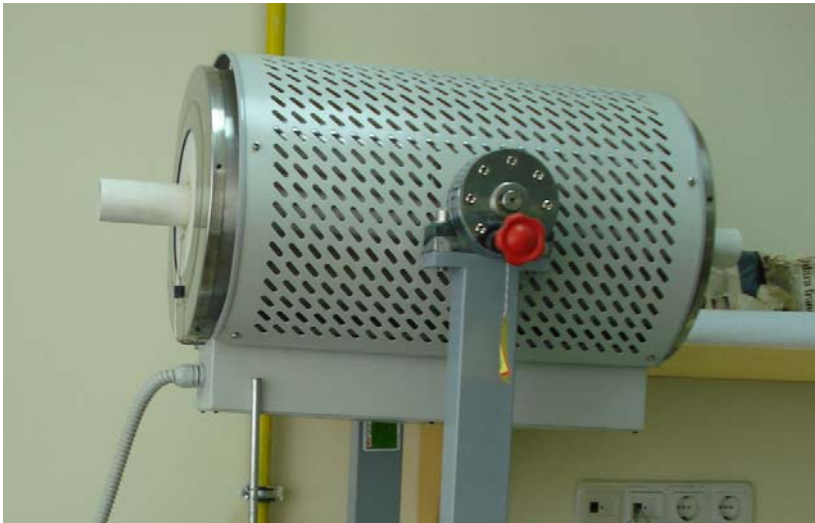
Deneysel parametrelerin en önemli faktörlerden birisi borik asit karbon oranı olarak belirlenmiştir. Bu konuda yapılan literatür çalışmalarında 3.8-4.1 arasında, çok nadir olarak ise 10.3 değer aralıkları kullanıldığı rapor edilmiştir. Bu amaçla deneysel çalışmalarda stokimetric olarak karbon oksit oranı 4-6 arasında iki farklı değerde deneysel çalışmalar yürütülmüştür. Bu amaçla bir önceki aşamada kalsinasyon işlemine tabi tutulan bor kaynağı, belirlenen iki farklı karbon oranı ile karıştırılmıştır. Her iki karışımda bormil yöntemi ile 24 saat karıştırma işlemine tabi tutulmuştur.

### 3.4. Kompaktlama İşlemi

Bir önceki bormil işleminden elde edilen karışımdan 4 gr alınarak 200MPa altında sıkıştırmak suretiyle ham kompaktlara elde edilmiştir. Karbotermal indirgeme yönteminde bu kompaktlar kullanılmıştır.

### 3.5. Karbotermal İndirgeme İşlemi

Şekil 3.4 verilen kompaktlar 1300-1650 °C sıcaklık aralığında ve farklı reaksiyon sürelerinde karbürleme indirgeme prosesine tabi tutulmuştur. Bu amaçla kullanılan atmosfer kontrollü fırının Şekil 3.3’de verilmiştir.



Şekil 3.3. Karbotermal indirgeme işleminde kullanılan atmosfer kontrollü yatay tüp fırın

Hazırlanan iki farklı karışımın üzerinde sıcaklık ve süre etkisini araştırmak amacıyla çalışmalarda farklı parametreler kullanılmıştır.

### **3.6. Karbonun Yakılması**

Bir önceki aşamada elde edilen reaksiyon ürünü içerisinde bulunan reaksiyona girmemiş karbon ortamdan uzaklaştırılmıştır. Bu amaçla karbotermal indirgeme yapılmış ürün 900 °C'de hava ortamında 2 saat bekletilerek bünyede bulunan reaksiyona girmemiş karbon kalıntıları yakılmıştır.

### **3.7. Hammadde ve Reaksiyon Ürünlerinin Karakterizasyonu**

DeneySEL düzenekte kullanılan borik asit ve karbon siyahı karışımı karbotermal indirgeme prosesi esasıyla oluşan reaksiyon ürünleri aşağıdaki karakterizasyon metotlarıyla incelenmiştir.

#### **3.7.1. X ışınları analizi ( XRD )**

Başlangıç maddesi olan borik asit ve deneyler sonucu elde edilen reaksiyon ürünlerinin faz analizleri, X-ışınları difraksiyon analizi ile tespit edilmiştir. Bu yöntemle mineralin kristal yapısının mineralojik yapısı saptanır. Burada Cu gibi bir elementten elde edilen karakteristik X-ışını demeti analiz edilecek tozun üzerine gönderilir. Bunun incelenmesi ve bileşimin belli standart ASTM paternleri ile karşılaştırılması sonucu maddenin kristal özellikleri ve yapısı saptanmış olur. Bu çalışmada XRD analizleri RIGAKU XX cihazı ile Sakarya Üniversitesinde yapılmıştır.

#### **3.7.2. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)**

Taramalı Elektron Mikroskobunda (SEM) görüntü yüksek voltaj ile hızlandırılmış elektronların numune üzerine odaklanması, bu elektron demetinin numune yüzeyinde taratılması sırasında elektron ve numune atomları arasında oluşan çeşitli girişimler sonucu meydana gelen etkileri uygun algılayıcılarda toplanması ve sinyal

güçlendiricilerden geçirildikten sonra bir katot ışınları tüpünün ekranına aktarılmasıyla elde edilir. Modern sistemlerde bu algılayıcılarından gelen sinyaller dijital sinyallere çevrilip bilgisayar monitörüne verilmektedir. Ayrıca numune atomları ile elektron demeti arasında elastik olmayan girişimler sonucu numunede karakteristik X- ışınları ve sürekli ışımalarda meydana gelmektedir. Karakteristik ışımalar, dalga boyu ve enerji dağılımı X-ışını analitik sistemlerde değerlendirildiğinde numunenin kimyasal bileşimi hakkında bilgi vermektedir.

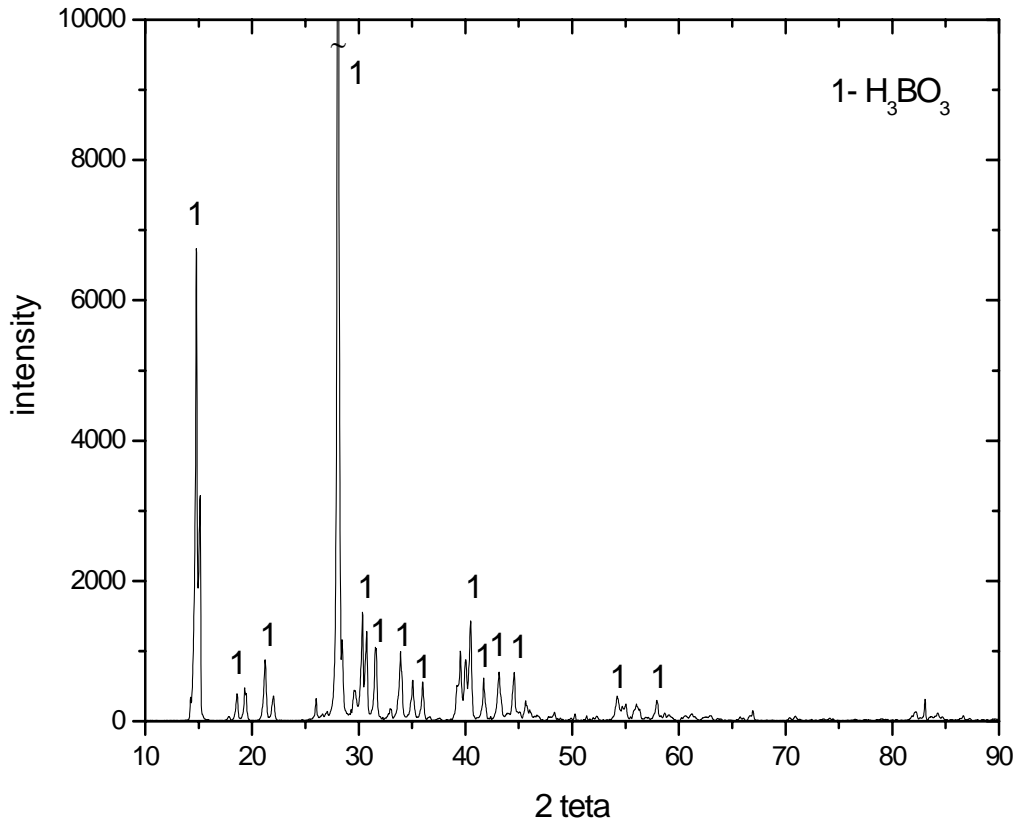
### **3.7.3. EDS analizi (EDS)**

Yukarıda verilen deneysel ve analiz çalışmalarından sonra reaksiyon ürünlerinde X-ışınları ile saptanan belirlenen faz analizlerinin uygunluğu, kimyasal analizi ile doğrulanmıştır. Numunelerin kimyasal analizi elektron difraksiyon spektrum analizi ile yapılmıştır.

## BÖLÜM 4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

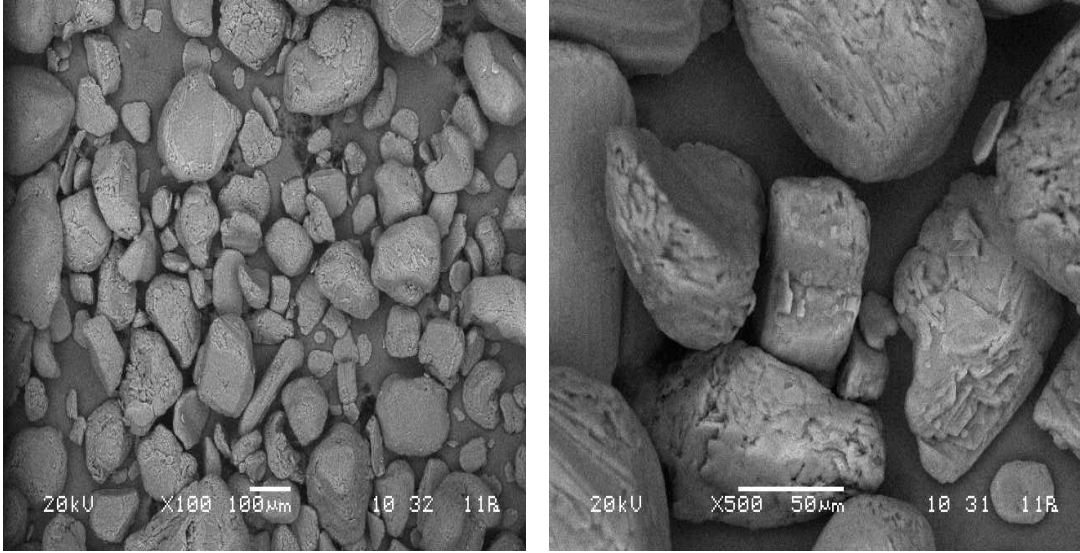
### 4.1. Hammadde Karakterizasyonu ( $H_3BO_3$ )

En önemli bor bileşiklerinden olan borik asit, boraksın( kolemanit) sulu çözeltisinin asitlendirilmesi ile üretilmektedir. Deneysel çalışmalarda kullanılan borik asitin ( $H_3BO_3$ ) kimyasal analizi bir önceki bölümde verilmiştir. Şekil 4.1’de ise borik asite ait X-ışınları analizi görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi yapı tamamen saf bir şekilde borik asit piklerine aittir.



Şekil 4.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan başlangıç malzemesinin (XRD) analizi

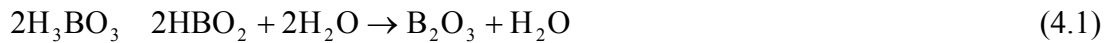
Taramalı elektron mikroskobu ile elde edilen borik asite ait görüntüler Şekil 4.2’de verilmiştir. Genel özellikleri olarak yoğunluğu  $1.46 \text{ g/cm}^3$  olan ürün beyaz ve yağlı parlak görünümlü kristaller şeklindedir. Borik asit tanelerinin tane boyutlarının 20–100 mikron aralığında değiştiği görülmektedir. Borik asit taneleri parlak beyaz ve keskin köşelere sahip olmayan küresel bir tane özelliği göstermektedir.



Şekil 4.2. Kullanılan borik asite ait SEM görüntüleri

#### 4.2. Kalsine Edilmiş Ürün Karakterizasyonu

Karbotermal indirgeme çalışmaları öncesi bor kaynağı olarak kullanılan borik asit bor okside dönüştürülmüştür. Kalsinasyon işlemi kamera tipi fırında  $500 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de hava ortamında gerçekleştirilmiştir. Borik asitin susuzlaştırılması işlemi olarak da ifade edilen Kalsinasyon işlemi aşağıdaki reaksiyona göre gerçekleşmektedir.

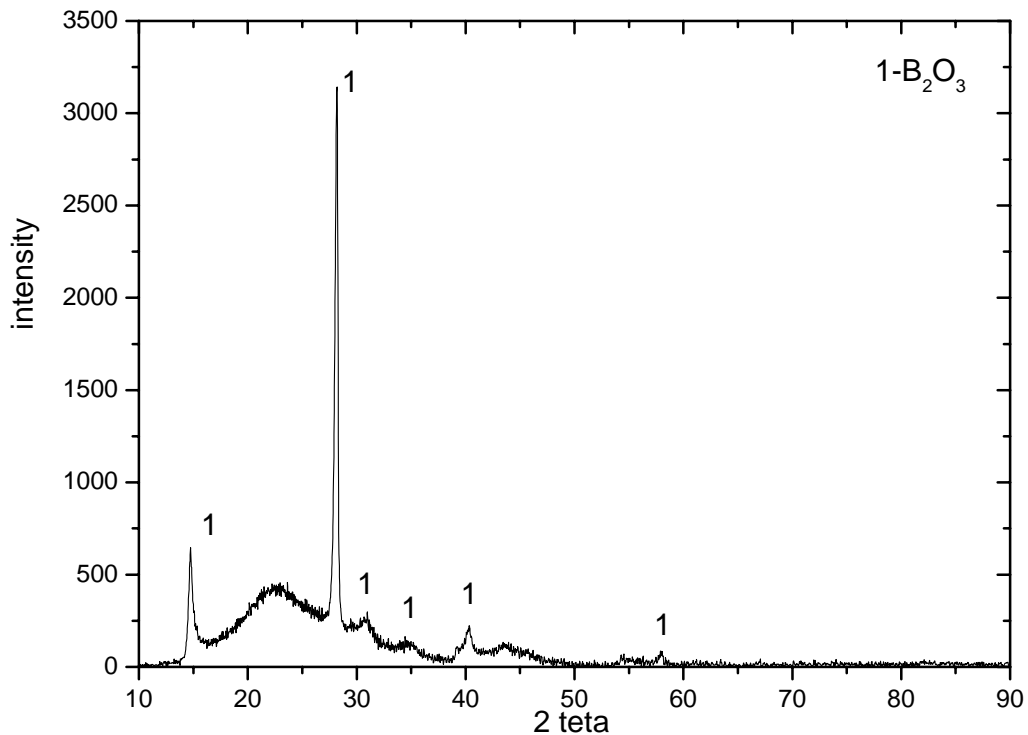


(borik asit) – metaborik asit + su --- bor oksit + su

Yukarıdaki reaksiyona göre gerçekleştirilen Kalsinasyon işlem farklı sıcaklıklarda ve birden çok aşamada gerçekleşmektedir [20]. Borik asitin ısıtılmaya başlamasıyla yaklaşık  $130 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de 2 mol metaborik asit ve 2 mol su buharı oluşturmaktadır. Isıtma

işleminin devamı ile metaborik asitinde bulunan OH uzaklaşır ve tamamen bor oksite dönüşür [19].

Kalsinasyon işlemi sonucu ağırlıkça olarak % 56,3 bor oksit içeren borik asit işlemin tamamlanmasıyla  $B_2O_3$  oranı % 100 tamamlanır. Bu işlemle beraber diğer bir özellik ise  $1,46 \text{ g/cm}^3$  olan başlangıç malzemesi yoğunluğunun yaklaşık olarak  $2,7 \text{ g/cm}^3$  çıkmış olmasıdır. Kalsinasyon işlemi sonucu  $B_2O_3$ 'e dönüşmüş olarak fırından alınan numunenin ergiyi oluşturduğu gözlemlenmiştir. Elde edilen bu camsı numune bir sonraki işlem için öğütülme işlemine tabi tutulmuştur. Öğütülen numune mümkün olduğu kadar atmosferik koşullardan korunmaya çalışılmıştır. Fakat öğütme sırasında ve hava ortamına kaldığı durumlarda büyüyen yüzey alanına bağlı olarak bor oksit ( $B_2O_3$ ) diğer bir bor kristali olan  $B(OH)_3$ 'e kısmi olarak dönüştüğü düşünülmektedir. Şekil 4.3'te kalsine edilmiş borik asitin X- ışınları analizinde bor oksit pikleri tespit edilmiştir.

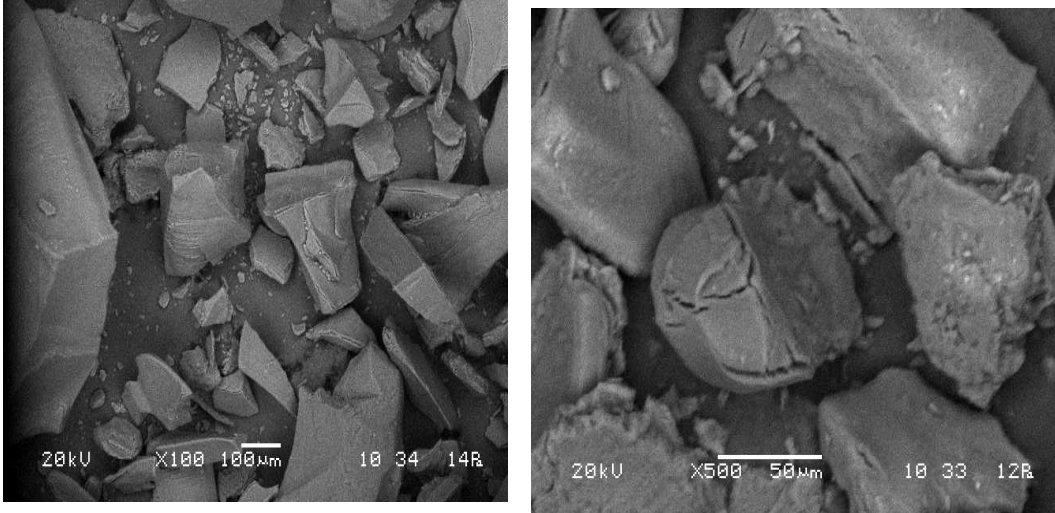


Şekil 4.3. Deneysel çalışmalarda kullanılan başlangıç malzemesinin kalsine edilmiş ( $B_2O_3$ ) XRD analizi



Şekil 4.1’de verilen borik asit ait X-ışınları analizi ile kalsine edilmiş bor oksitinin X-ışınları karşılaştırıldığında pik sayısı ve şekli bakımından çok büyük farklılıklar göstermektedir. Kalsine edilmiş numunede pik sayısı azalarak tamamen  $B_2O_3$ ’e dönüşmüş ve numunede olduğu tahmin edilen camsı yapı 20-25 teta açısından görüldüğü düşünülmektedir.

Kalsine edilmiş bor okside ait taramalı elektron mikroskobu Şekil 4.4’te verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi kalsinasyon sonrası camsı yapının öğütülmesi ile beraber bor oksit taneleri keskin köşeli taneler şekline dönüşmüştür.



Şekil 4.4. Deneysel çalışmalarda kullanılan başlangıç malzemesinin kalsine edilmiş ( $B_2O_3$ ) SEM görüntüsü

### 4.3. Karbotermal İndirgeme İşlemi

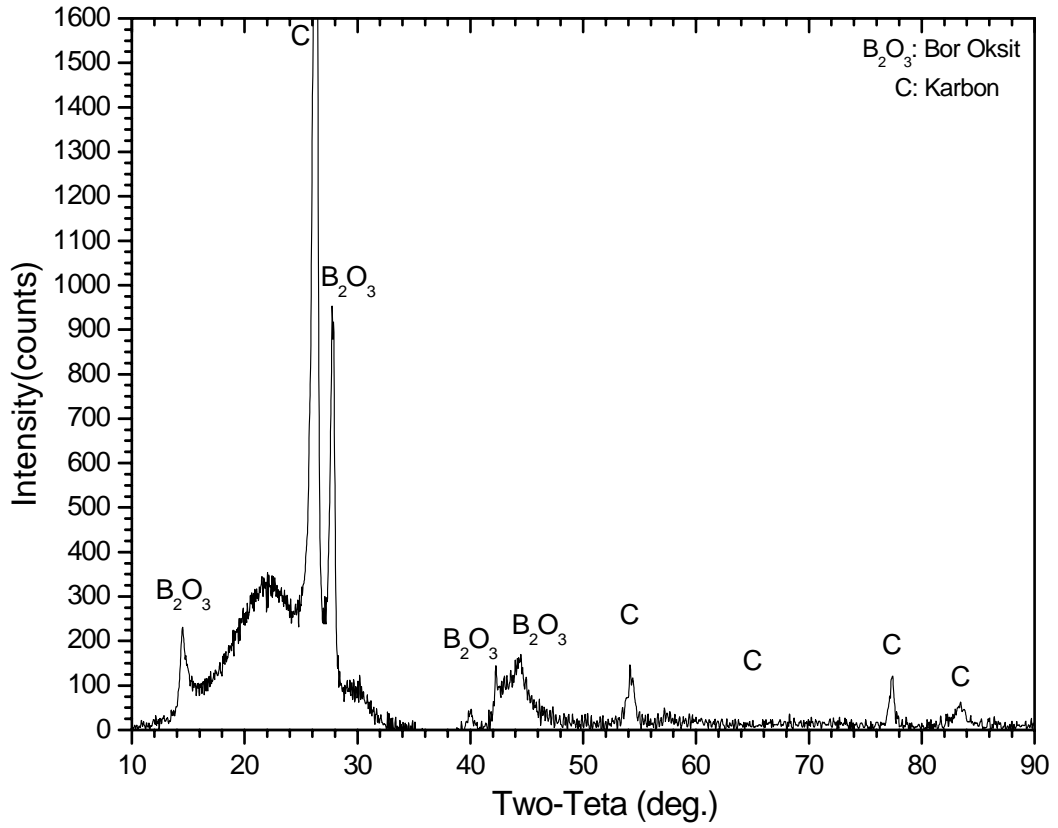
Karbotermal indirgeme yöntemi yüksek sıcaklık prosesleridir ve bazı işlemlerde reaksiyon sıcaklığını ölçmek zorluklar içermektedir. Bor karbür üretim yönteminde bir karbotermal indirgeme işlemi olup sıcaklık aralığı 800-2600 °K arasında değişmektedir. Bu çalışmada karbotermal indirgeme yönteminin basitliği, güvenilirliği gibi avantajları dikkate alınarak bu yöntem kullanılmıştır.

Bor karbür kaynağı olan borik asit veya borik asitin kalsinasyonu sonucu elde edilen bor oksit kullanılabilir. Aşağıdaki (4.2) nolu reaksiyon bor karbürün borik asitin direk karbürle indirgenmesini vermektedir. (4.3) nolu reaksiyon ise bor oksitin karbon ile indirgenmesini ifade etmektedir.



Her iki reaksiyonda da önemli miktarda karbon monoksit gazı oluşmaktadır fakat borik asitin indirgenmesinden karbon monoksit gazına ilaveten su buharı oluşmaktadır. (4.2) nolu reaksiyonun kontrolünün ve tehlikeli olacağı düşünülerek bu çalışmada bor karbür üretimi kalsine edilmek suretiyle bor oksit kullanılmıştır. Her ne kadar iki reaksiyon şeklinde basitleştirilmiş bir şekilde verilen bor karbür üretimi diğer oksitlerde olduğu gibi [15-17] karmaşık, ve birbirlerini etkileyecek önemli aşamalar reaksiyon kinetiği üzerinde belirleyici olmaktadır bir önceki bölümde verildiği gibi borik asitin ergime derecesi çok düşük olduğundan bor oksite dönüşüne kadar birden çok allotropik yapıya uğramaktadır [19-20]. Diğer yandan kalsine edilmiş borik asit de elden edilen bor oksit de yüksek sıcaklık işlemi esnasında önce ergimekte ve sonra gaz fazı olan  $\text{B}_2\text{O}_2$  oluşturmaktadır. Dolayısıyla bor karbür oluşum mekanizması katı-sıvı, sıvı-gaz, gaz-katı reaksiyon mekanizmaları oluşmaktadır. Isıtma hızı, reaksiyon sıcaklığı, reaksiyon süresi ve faz dönüşümleri dikkate alındığında bor karbür üretiminin kompleks bir yapıya sahip olduğu düşünülmektedir.

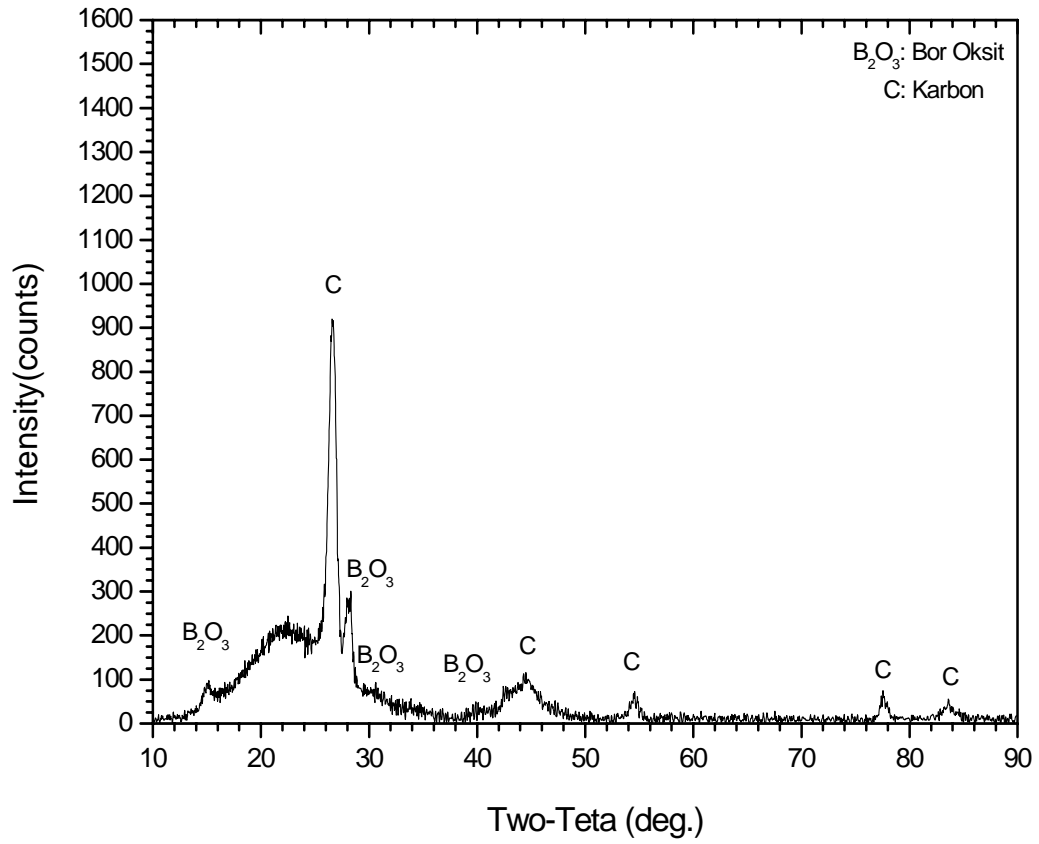
Yukarıdaki verilere dayanılarak bor karbür üretimi gerçekleştirmek amacıyla 1300-1650 °C sıcaklık aralığında ve 1-4 reaksiyon sürelerinde ve farklı karbon (C) oranlarında karbotermal indirgeme deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler sonucu elde edilen reaksiyon numunelerinin 700 °C'de kalıntı karbonları yakılarak ana üründen uzaklaştırılmaya çalışılmıştır. Karbonu yakılan toz numuneler reaksiyon sonucu elde edilen fazların belirlenmesi amacıyla X-ışınları analizine tabi tutulmuş ve elde edilen bu sonuçlar çalışmanın nihai ürünü olarak Şekil 4.5-Şekil 4.12'deki XRD analizlerinde verilmiştir.



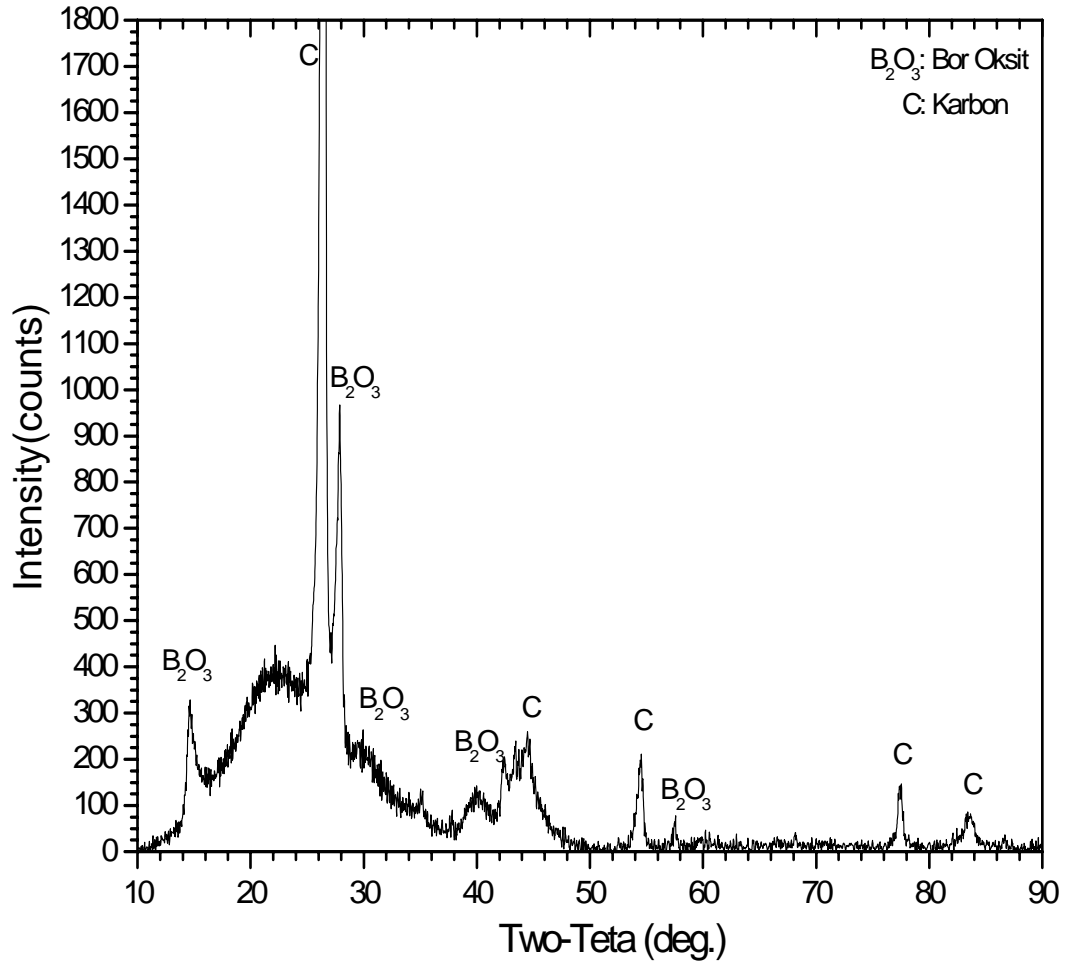
Şekil 4.5. 1300 °C’de 1 saat reaksiyona tabi tutulmuş numunenin XRD analizi

Bölüm 2’de verilen literatür çalışmalarında karbotermal indirgeme yöntemi ile 1300 °C ve yukarısında olabileceği ifade edilmektedir. Fakat yapılan deneysel çalışma sonucunda 1300-1450 °C sıcaklık aralığında farklı sürelerde 1-4 saat indirgenen numuneler incelendiğinde bor karbür üretiminin mümkün olmadığı görülmüştür. Bu sıcaklığa ait X-ışınları difraksiyon analizleri herbir sıcaklık ve süre için irdelenmiş ve içerisindeki fazlar belirlenmiştir. Baskın faz olarak B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve karbon olduğu saptanmıştır. Şekil 4.3. de verilen kalsine edilmiş bor oksit ile 1300-1350 °C sıcaklık aralığında B<sub>4</sub>C farklı sürelerde dahi gerçekleşmemiştir. Fakat sıcaklık 1450 °C’ye çıkması ile beraber B<sub>4</sub>C fazı Şekil 4.9’de görüldüğü gibi X-ışınları analizi ile olabileceği ortaya çıkmıştır. Sıcaklığın yükselmesi ile beraber bor karbür oluşumu be bor oksidin tamamen dönüşümü mümkün olduğu 1600 ve 1650 °C’deki sıcaklıklarda görülmüştür. Bu sıcaklık farklı reaksiyon sürelerine ait X-ışınları analizi Şekil 4.9-4.12’de verilmiştir. Bu sıcaklığa ait X-ışınları pikleri analiz edilerek hangi pikin

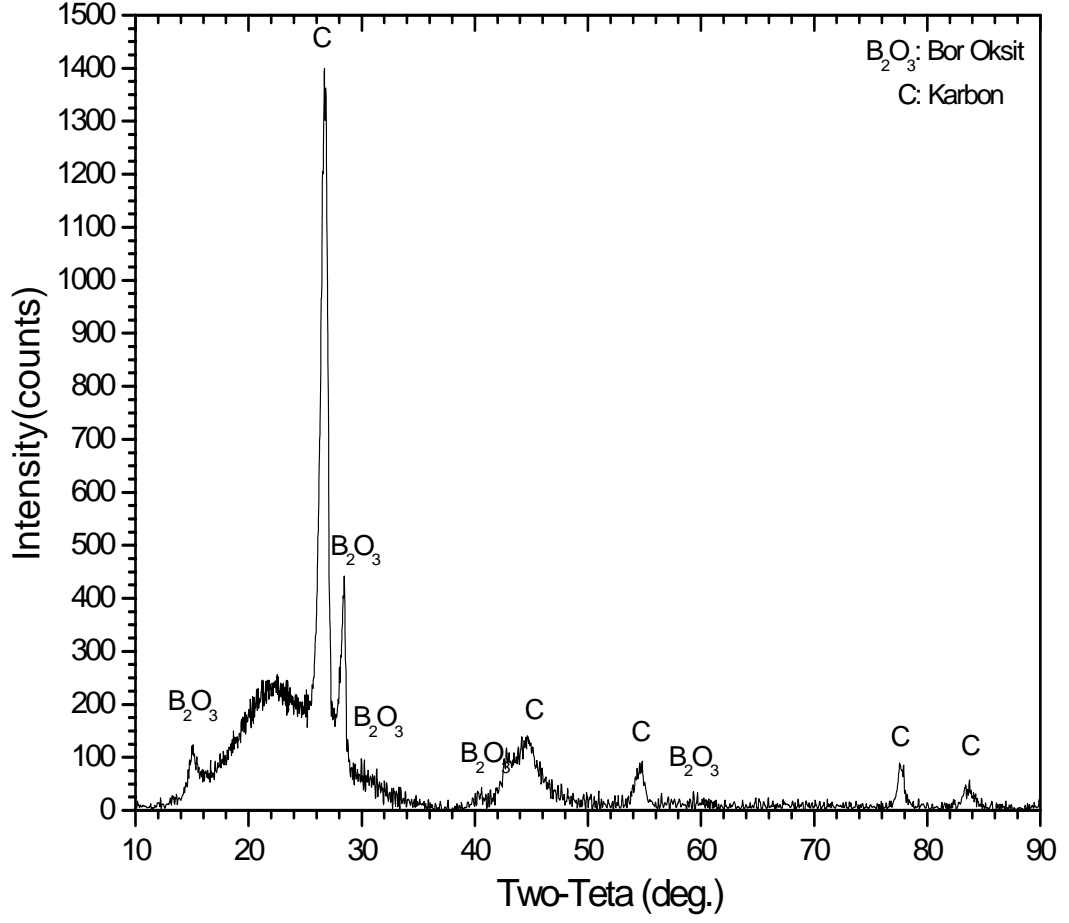
hangi faza ait olduğu şekil üzerinde belirtilmiştir. Şekil 4.9-4.12'nin daha düşük sıcaklıklarda elde edilen X ışınları ile kıyaslandığında var olan ve yeni oluşmuş fazlar açısından pik şiddetlerinin ve sayılarının değiştiği açıkça görülmektedir. Her ne kadar  $15-25^\circ$  2-teta aralığında ortamda bulunan kalıntı karbon amorf bir yapı görüntüsü vermesine rağmen başlangıçtaki  $B_2O_3$ 'ün büyük bir kısmı  $B_4C$ 'ye dönüştüğü görülebilmektedir.



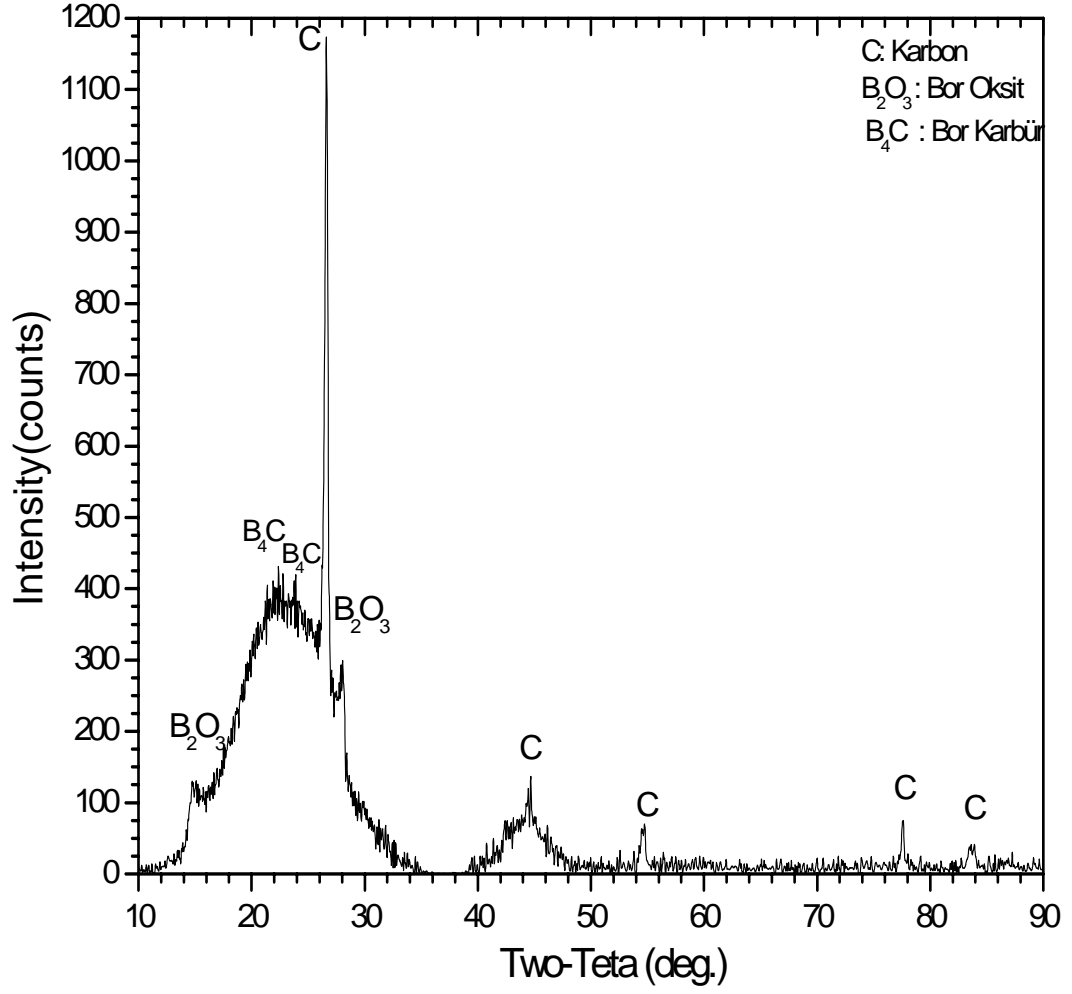
Şekil 4.6.  $1300^\circ C$  de 2 saat reaksiyona tabi tutulmuş numunenin XRD analizi



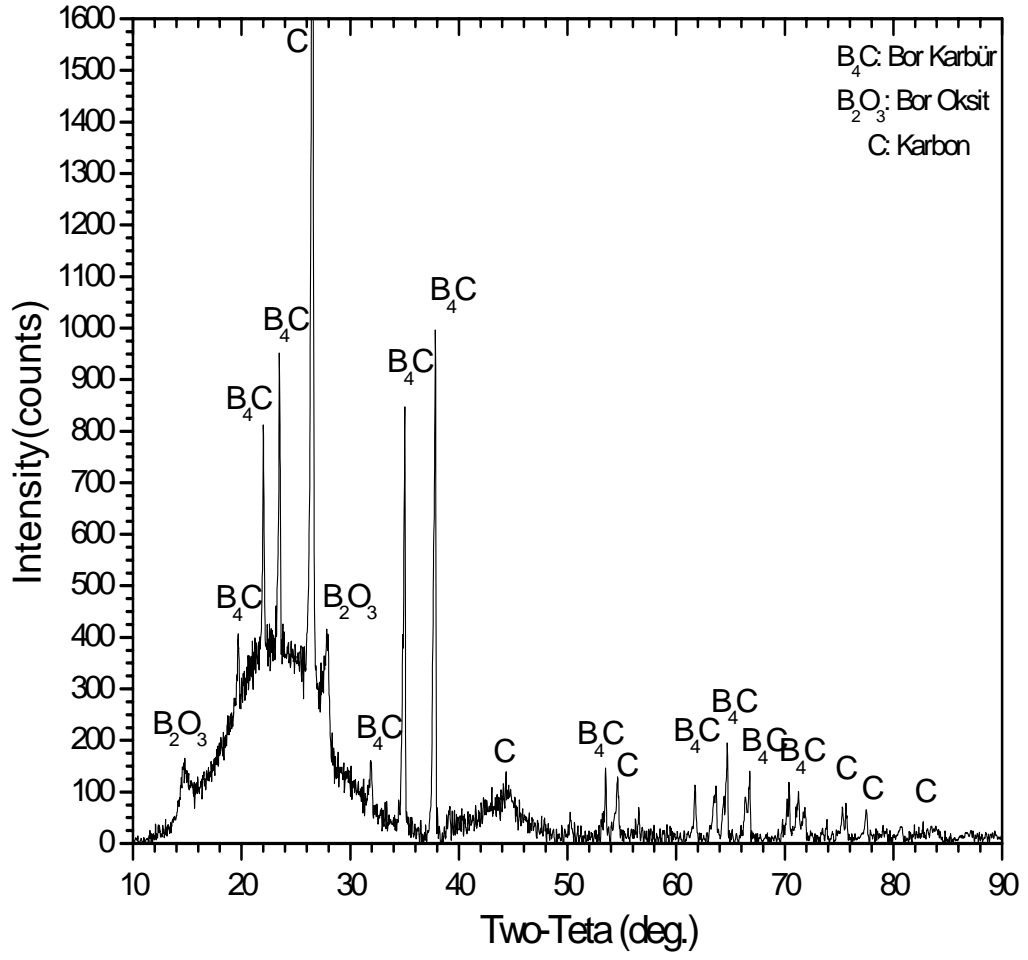
Şekil 4.7. 1350°C'de 1 saat reaksiyona tabi tutulmuş numunenin XRD analizi



Şekil 4.8. 1350°C'de 2 saat reaksiyona tabi tutulmuş numunenin XRD analizi

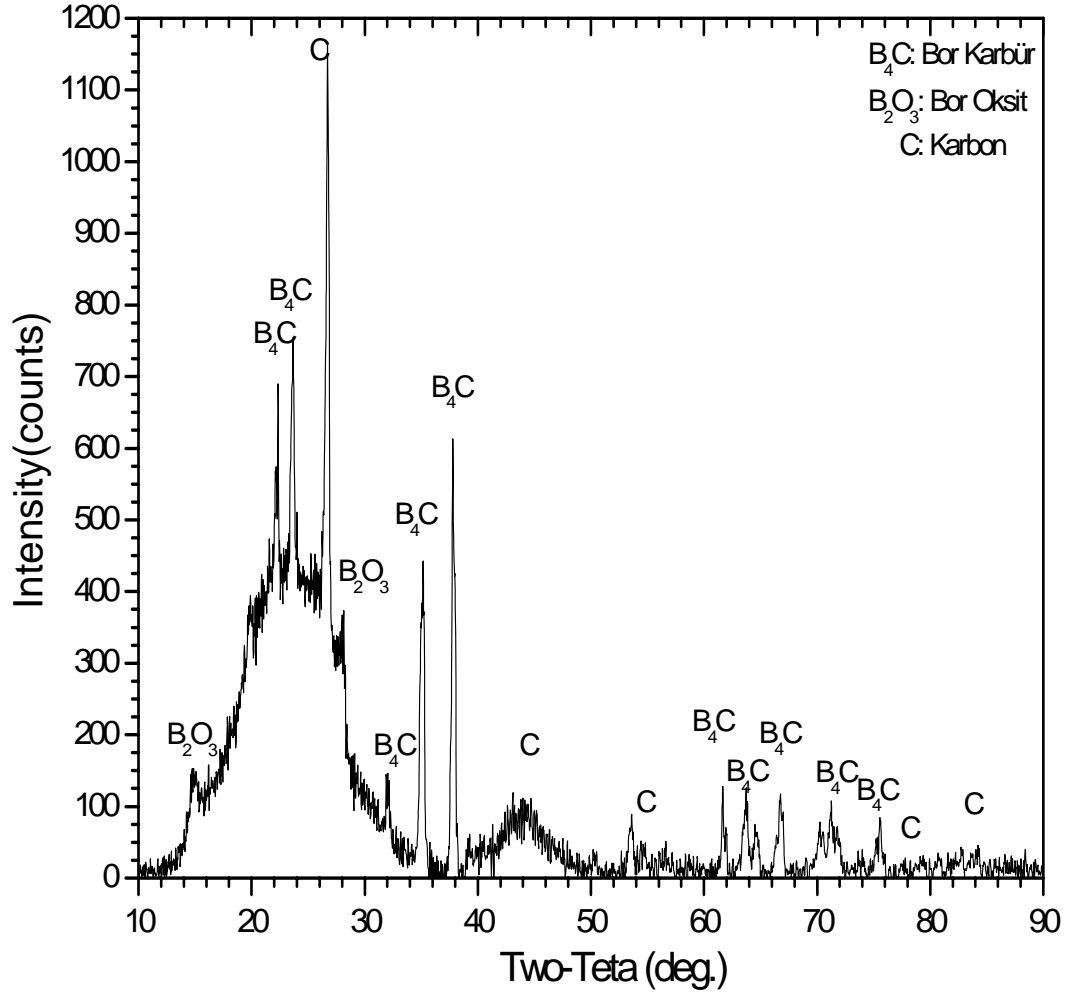


Şekil 4.9. 1450°C'de 2 saat reaksiyona tabi tutulmuş numunenin XRD analizi

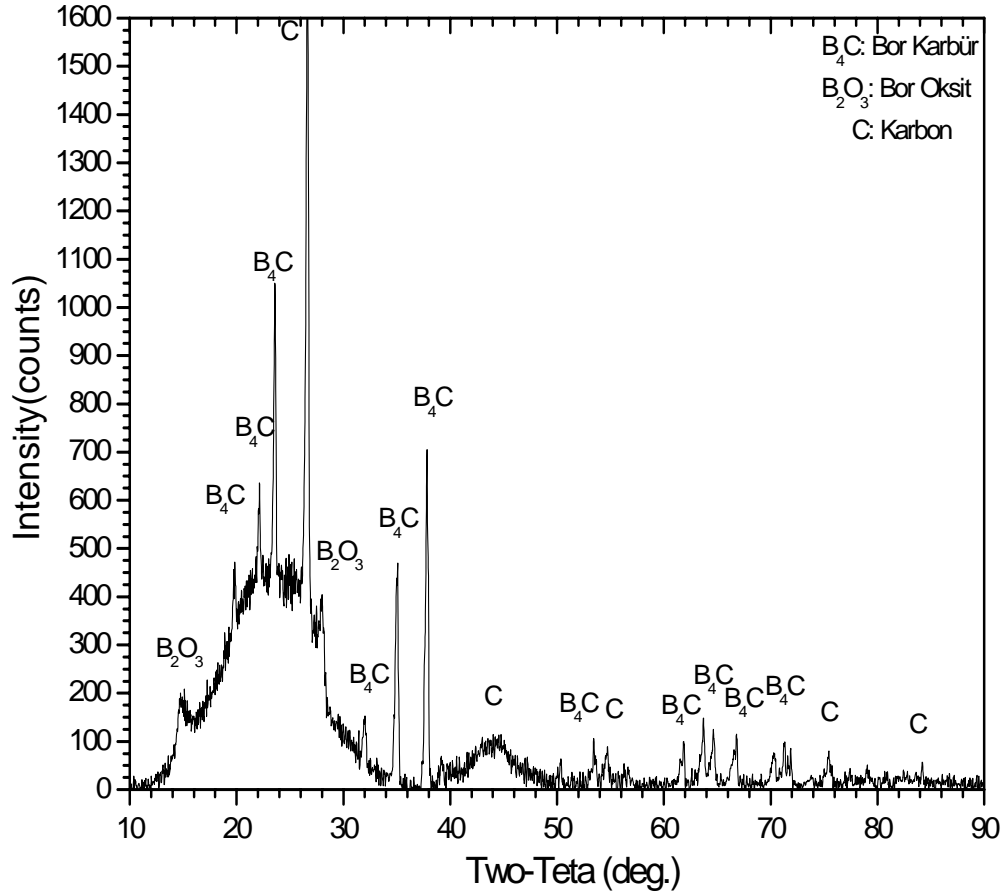


Şekil 4.10. 1600°C’de 2 saat reaksiyona tabi tutulmuş numunenin XRD analizi



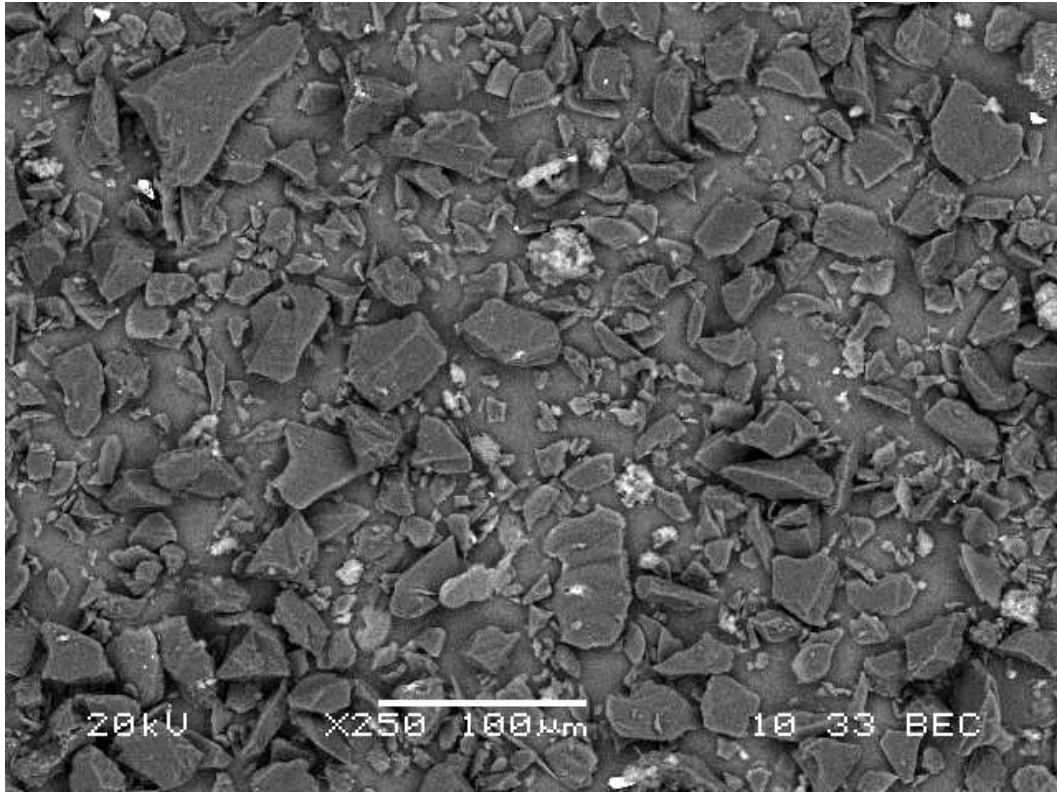


Şekil 4.11. 1650 °C'de 2 saat reaksiyona tabi tutulmuş numunenin XRD analizi

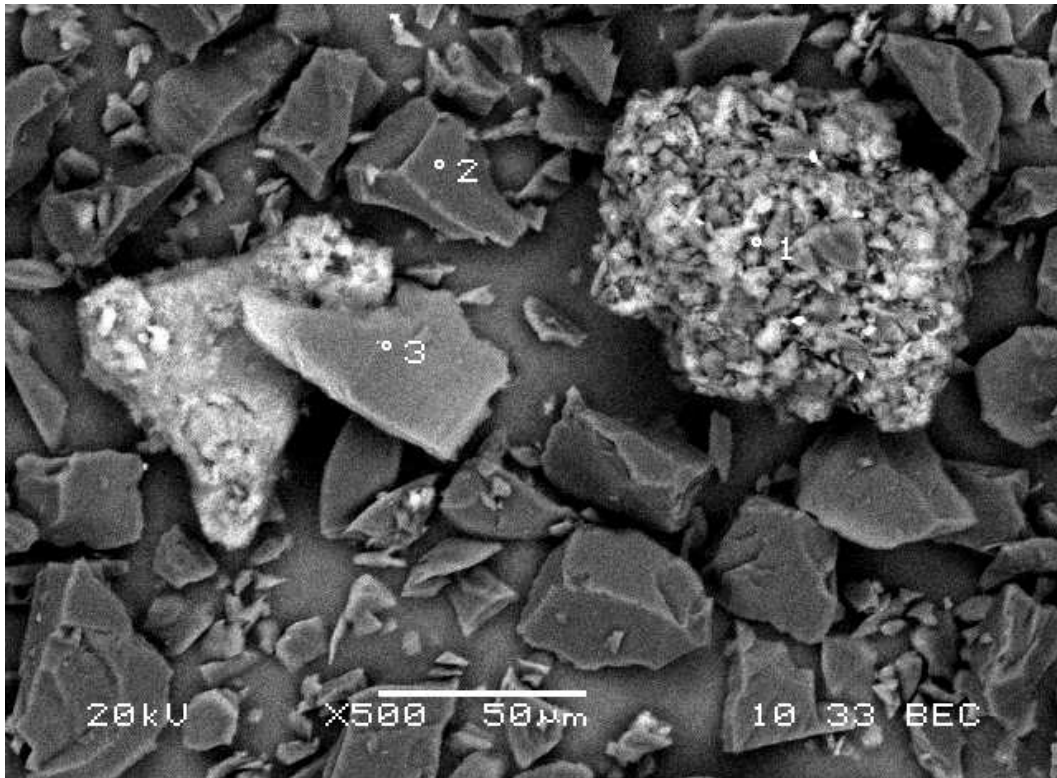


Şekil 4.12. 1650 °C'de 4 saat reaksiyona tabi tutulmuş numunenin XRD analizi

Reaksiyon ürünlerinin morfoloji ve tane yapısı taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiş (SEM) ve Şekil 4.13-17-23'te verilmiştir. SEM görüntülerinden de anlaşılacağı gibi fotoğrafların kontrast özelliklerine göre üç farklı tane görülmektedir. Şekil 4.13 b de daha açık ve net görülen bu durum elde edilen reaksiyon ürünüde kalıntı miktarda karbon ve bor oksit bulunmaktadır. Bu resimde 1 nolu tane borik oksite ait bir tane, 2 nolu tanenin üretilmesi istenilen ve hedeflenen ürüne ait olan bor karbür tanesi, 3 nolu tanenin ise kalıntı karbon tanesi olduğu ispatlanmış bunlara ait EDS ve kimyasal analizler çalışmanın ileriki safhalarında verilmiştir.

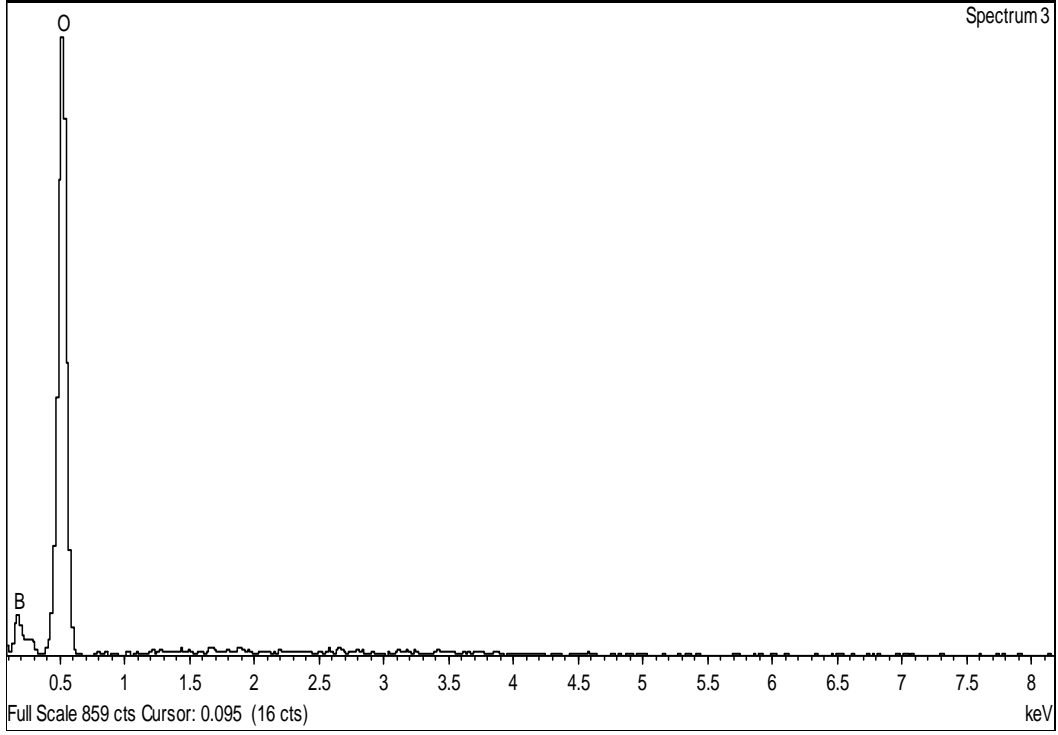


(a)

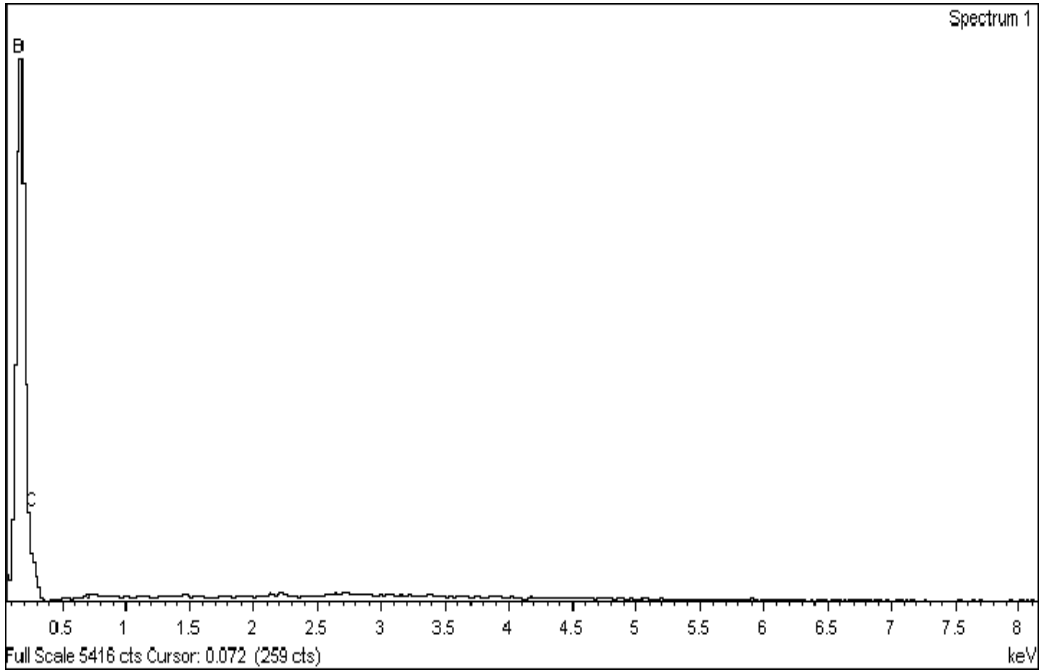


(b)

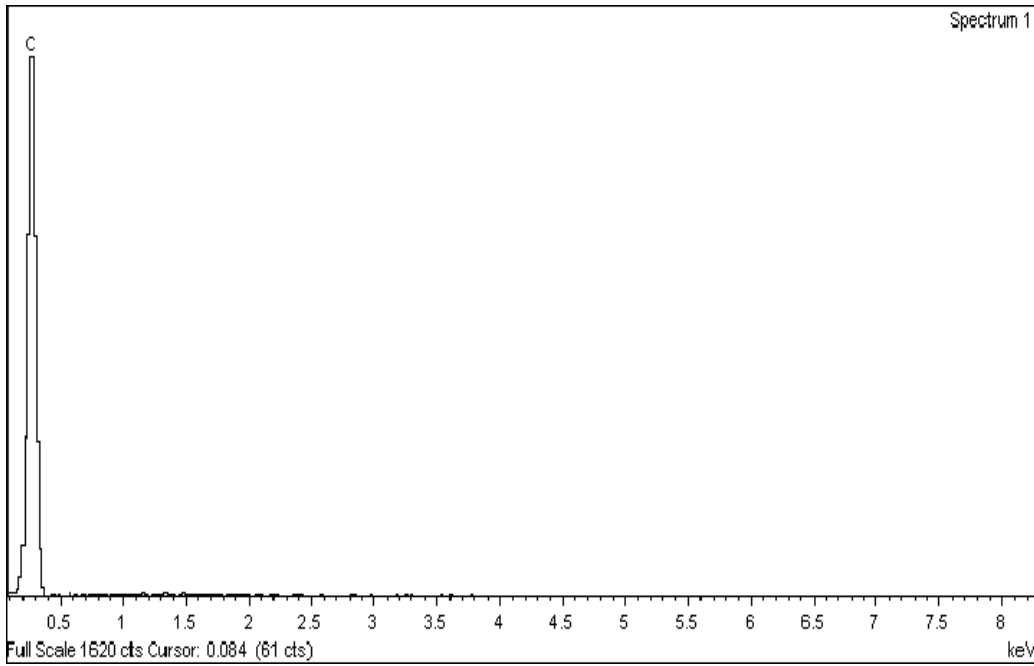
Şekil 4.13. Nihai ürün olarak üretilen bor karbür tozuna ait SEM görüntüleri (1600 °C’de 2 saat reaksiyona tabi tutulmuş karışıma ait) (a) 250x’te çekilmiş görünümü, (b) 500 x’te çekilmiş noktasal görünümü



Şekil 4.14. 1600 °C'de 2 saat reaksiyona tabi tutulan numunenin 1 nolu bor oksit tanesine ait EDS analizi



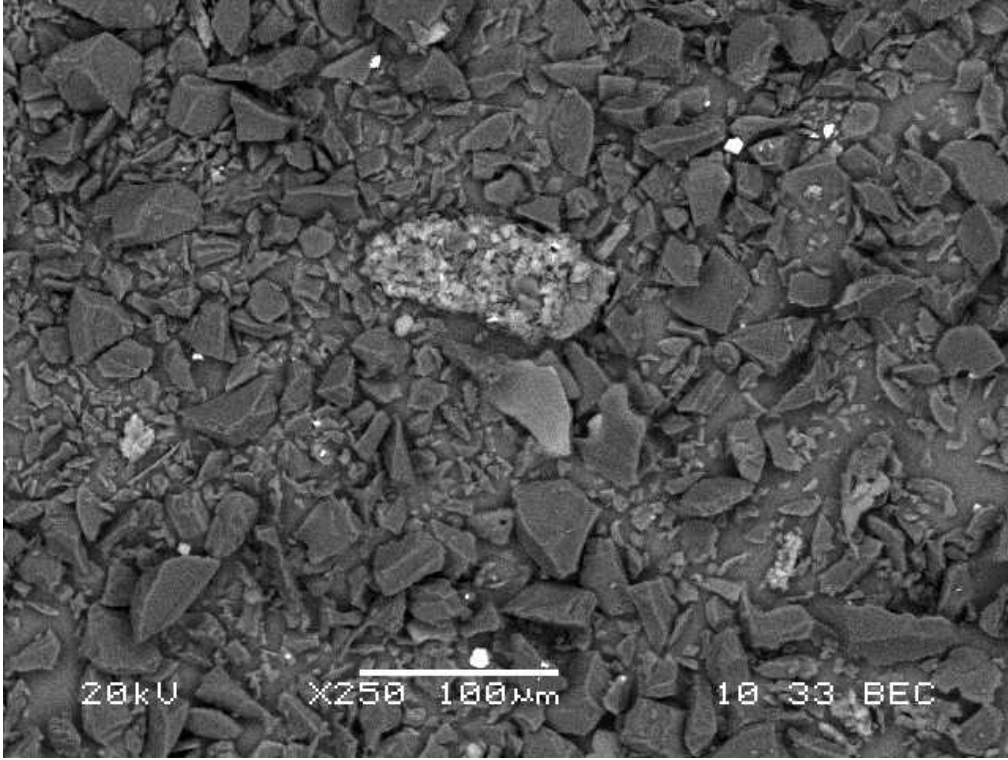
Şekil 4.15. 1600 °C'de 2 saat reaksiyona tabi tutulan numunenin 2 nolu bor karbür tanesine ait EDS analizi



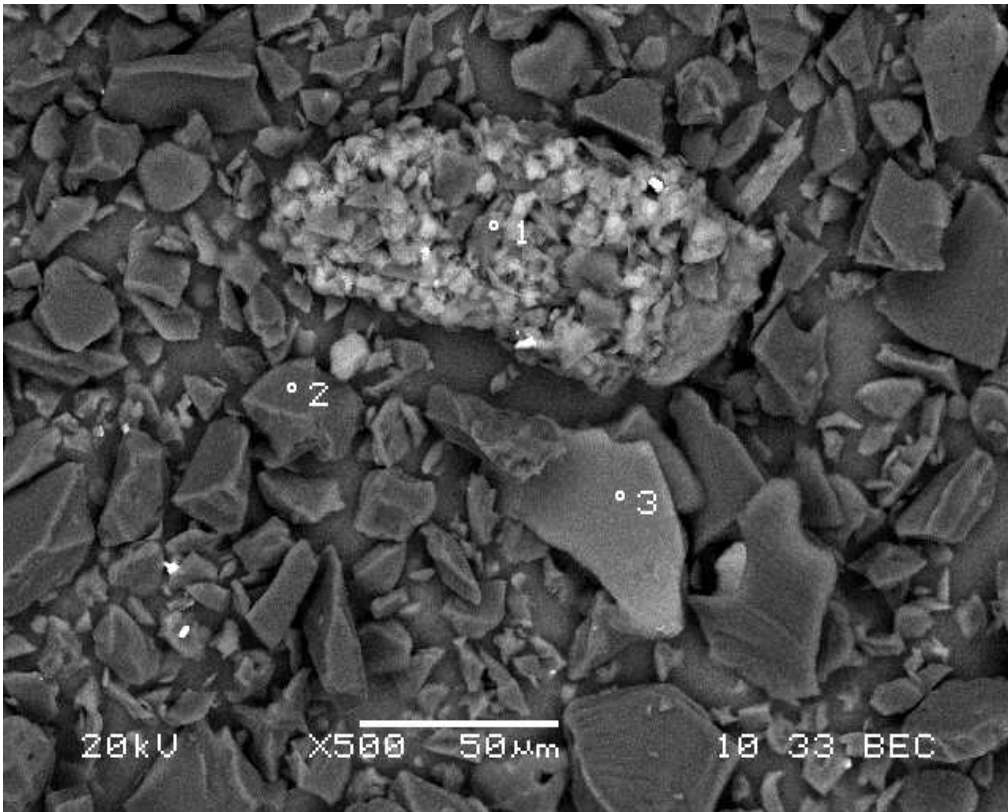
Şekil 4.16. 1600 °C’de 2 saat reaksiyona tabi tutulan numunenin 3 nolu karbon tanesine ait EDS analizi

Tablo 4.1. 1600 °C’de 2 saat reaksiyona tabi tutulan numunelerdeki 1-2-3 nolu tanelerin kimyasal analizi

Tane numarası	Elemental İçerik (%)			Toplam (%)	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	B <sub>4</sub> C (%)	C (%)
	B	O	C				
1	33.15	66.85	-----	100	100	-----	-----
2	74.46	-----	25.54	100	-----	100	-----
3	-----	-----	100		-----	-----	100

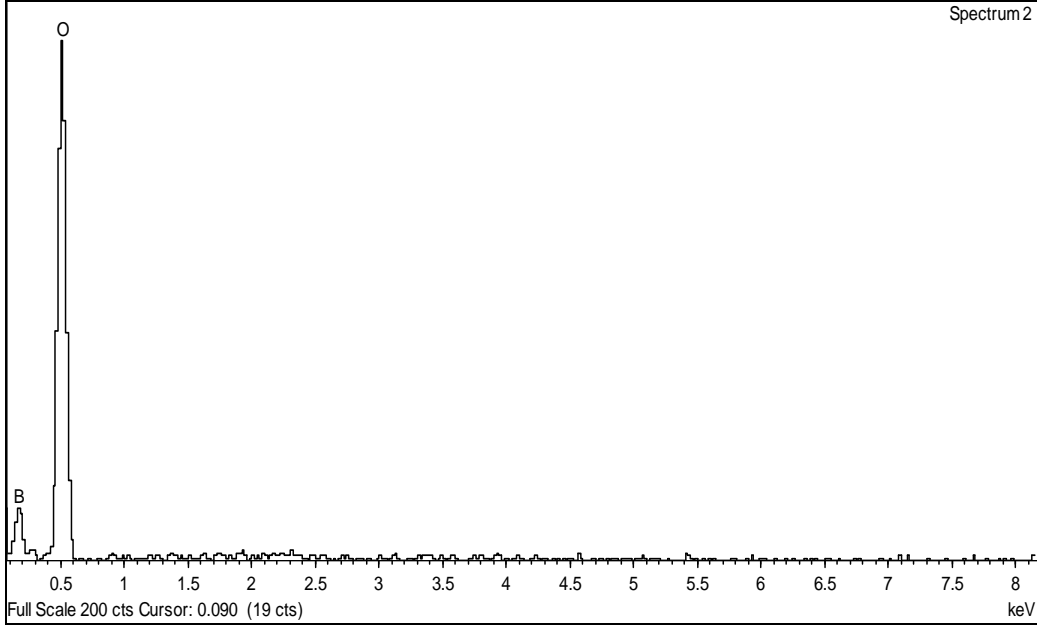


(a)

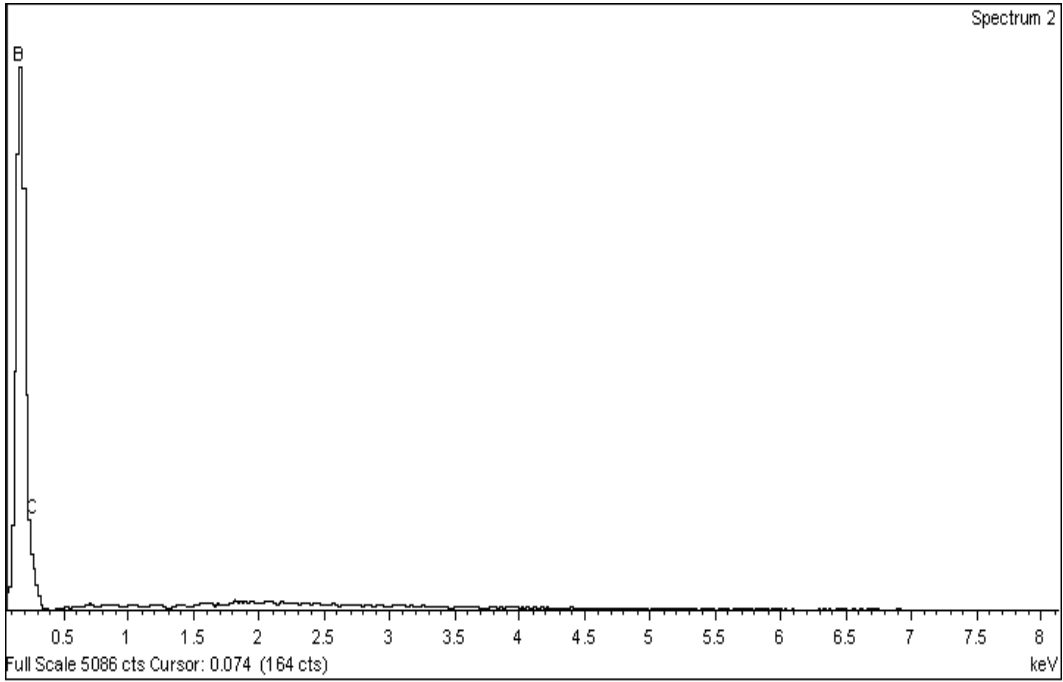


(b)

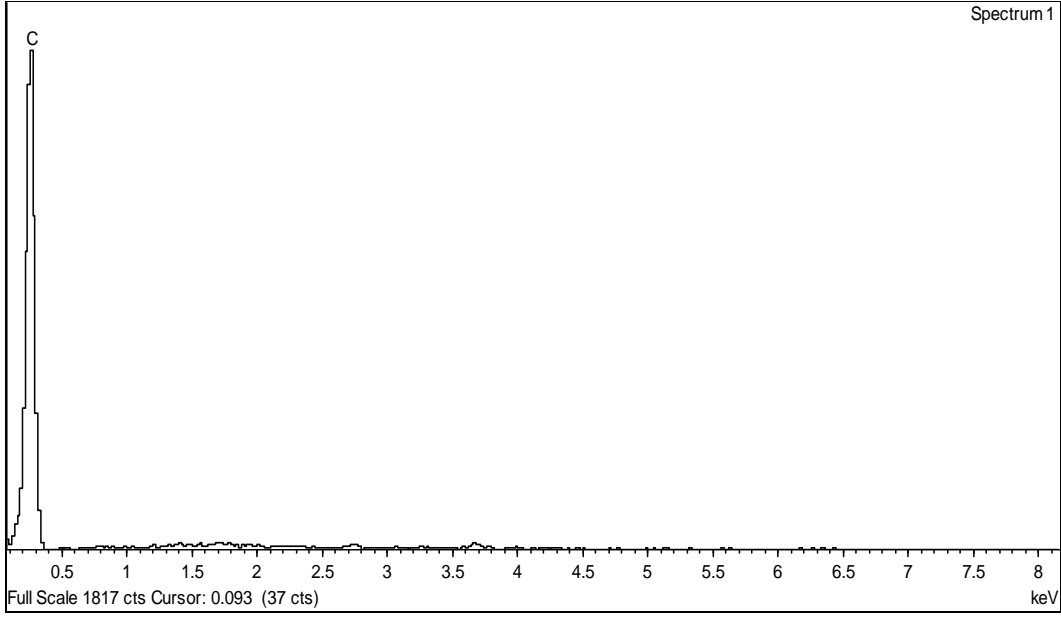
Şekil 4.17. Nihai ürün olarak üretilen bor karbür tozuna ait SEM görüntüleri 1650°C de 2 saat reaksiyona tabi tutulmuş numunenin SEM görüntüleri (a) 250x'te çekilmiş görünümü, (b) 500x'te çekilmiş noktasal görünümü



Şekil 4.18. 1650 °C'de 2 saat reaksiyona tabi tutulan numunenin 1 nolu bor oksit tanesine ait EDS analizi



Şekil 4.19. 1650 °C'de 2 saat reaksiyona tabi tutulan numunenin 2 nolu bor karbür tanesine ait EDS analizi

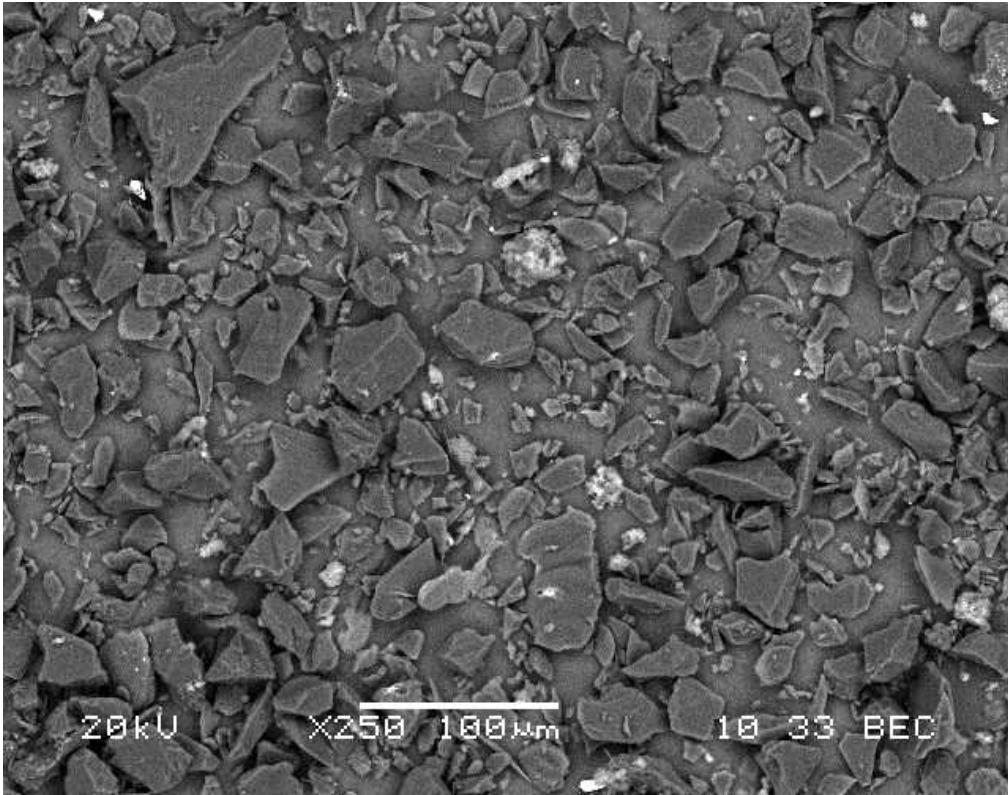


Şekil 4.20. 1650 °C’de 2 saat reaksiyona tabi tutulan numunenin 3 nolu karbon tanesine ait EDS analizi

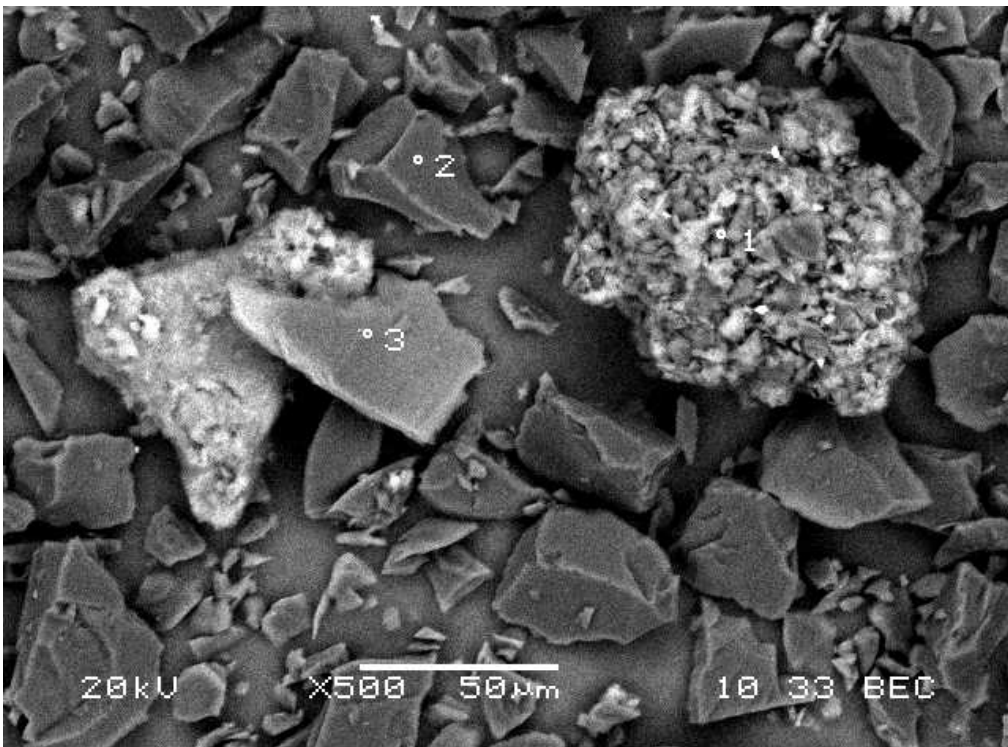
Tablo 4.2. 1650 °C’de 2 saat reaksiyona tabi tutulan numunelerdeki 1-2-3 nolu tanelerin kimyasal analizi

Tane numarası	Elemental İçerik(%)			Toplam (%)	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	B <sub>4</sub> C (%)	C (%)
	B	O	C				
1	33.15	66.85	-----	100	100	-----	-----
2	74.46	-----	25.54	100	-----	100	-----
3	-----	-----	100	-----	-----	-----	100



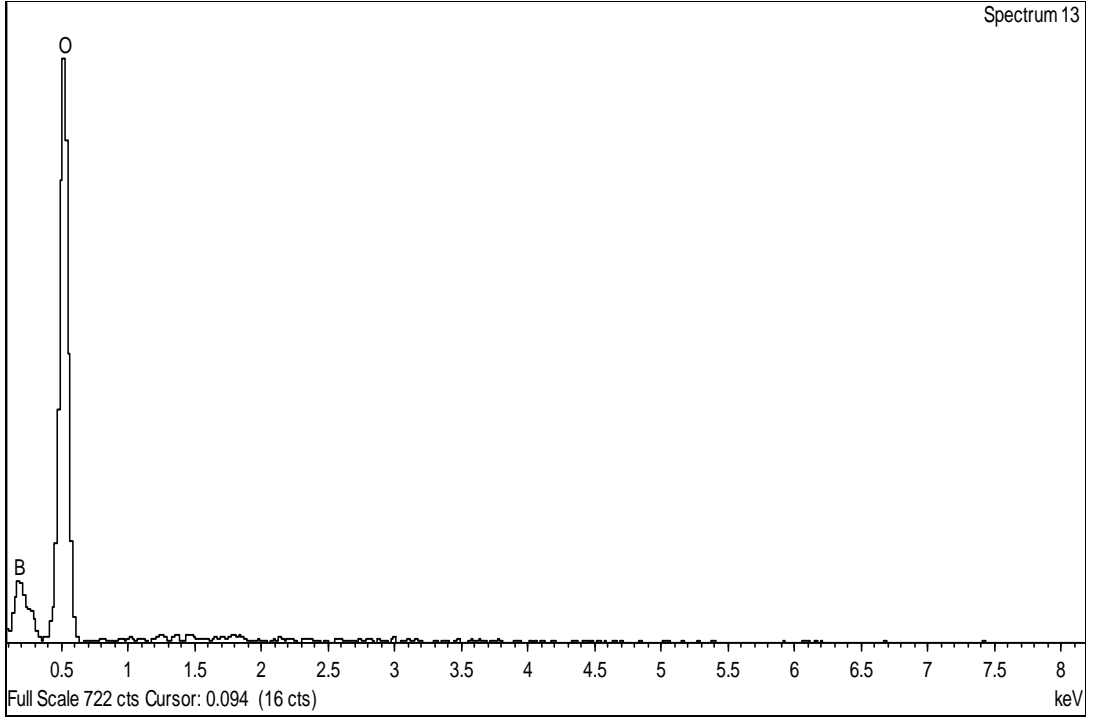


(a)

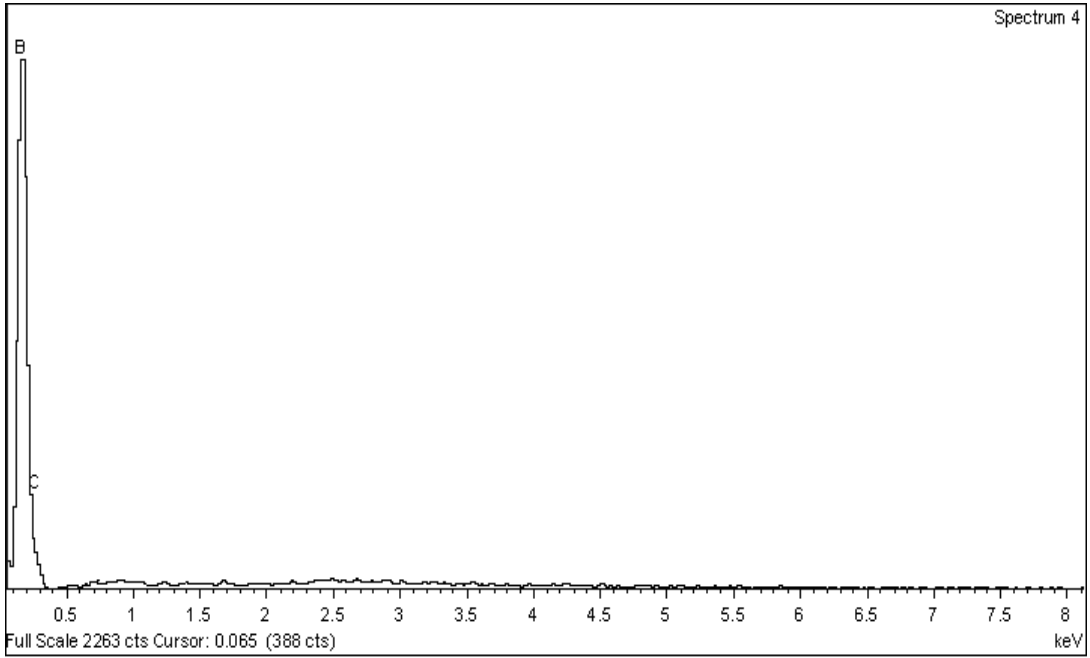


(b)

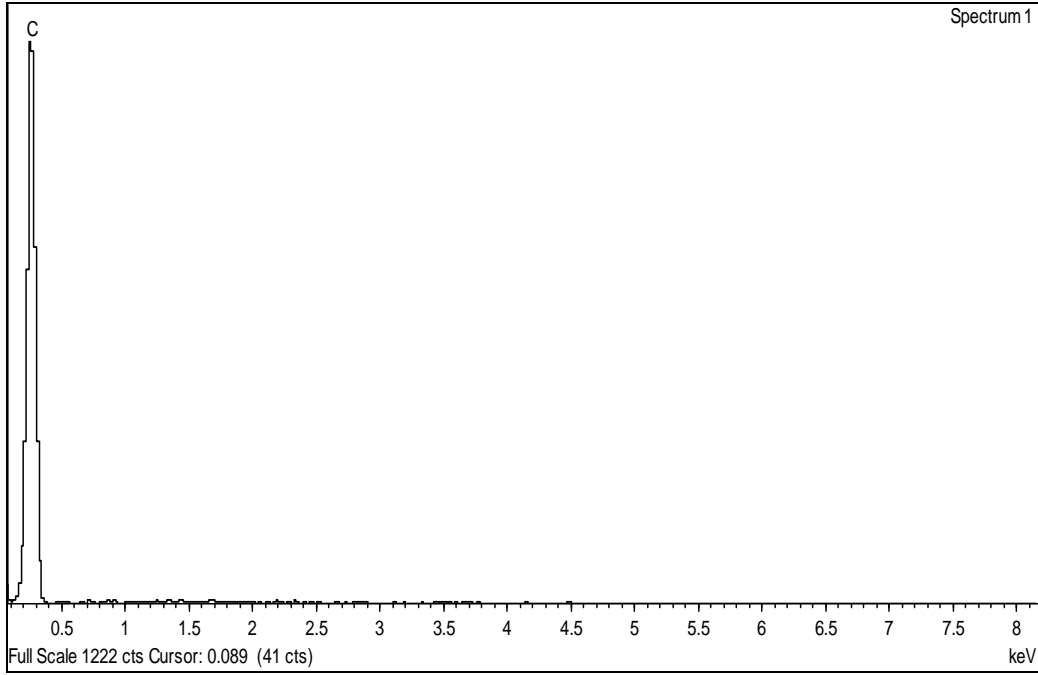
Şekil 4.21. Nihai ürün olarak üretilen bor karbür tozuna ait SEM görüntüleri 1650°C de 4 saat reaksiyona tabi tutulmuş numunenin SEM görüntüleri (a) 250x'te çekilmiş görünümü, (b) 500x'te çekilmiş noktasal görünümü



Şekil 4.22. 1650 °C'de 4 saat reaksiyona tabi tutulan numunenin 1 nolu bor oksit tanesine ait EDS analizi



Şekil 4.23. 1650 °C'de 4 saat reaksiyona tabi tutulan numunenin 2 nolu bor karbür tanesine ait EDS analizi



Şekil 4.24. 1650 °C’de 4 saat reaksiyona tabi tutulan numunenin 3 nolu karbon tanesine ait EDS analizi

Tablo 4.3. 1650 °C’de 4 saat reaksiyona tabi tutulan numunelerdeki 1-2-3 nolu tanelerin kimyasal analizi

Tane numarası	Elemental İçerik(%)			Toplam (%)	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	B <sub>4</sub> C (%)	C (%)
	B	O	C				
1	35.77	64.23	-----	100	100	-----	-----
2	72.69	-----	27.31	100	-----	100	-----
3	-----	-----	100	-----	-----	-----	100

Yukarıdaki SEM görüntüleri incelendiğinde nihai ürün olarak üretilen bor karbür toz numunesinin 10-70 mikron tane boyutu aralığında değiştiği tanelerin parlak ve keskin köşeli olduğu anlaşılmaktadır. Ürünlerin kimyasal analizlerinin belirlenmesi amacıyla resimlerde numaralandırılan taneler üzerinde noktasal analiz yapılmış ve analizler sıralı bir şekilde Tablo 4.1- Tablo 4.3 arasında verilmiştir.

#### **4.3.1. Karbon etkisi**

Yukarıda verilen X- ışınları kimyasal analizi farklı sıcaklıklarda karbotermal indirgeme yöntemine tabi tutulan bor oksit – karbon karışımından, reaksiyon ürünü belirleyen en önemli parametrelerden birinin karbon oranı olduğu anlaşılmaktadır. Bor oksit / karbon oranının  $\frac{1}{4}$  olduğu karışımlarda 1450 °C' sine kadar herhangi bir B<sub>4</sub>C reaksiyon ürünü olarak tespit edilememiştir. Bu oranı  $\frac{1}{6}$  ya çıkarılması ile beraber B<sub>4</sub>C fazı reaksiyon ürünü olarak Şekil 4.9'da görüldüğü gibi oluşmuştur. Bu konuda yapılan çalışmalarda bor oksit/ karbon oranı  $\frac{1}{4}$  ile  $\frac{1}{10}$  arasında değişmektedir [21].

#### **4.3.2. Reaksiyon sıcaklığının etkisi**

Deneysel çalışmaların sonucunda en önemli faktörlerden biri olarak reaksiyon sıcaklığıdır. Yapılan karbotermal indirgeme deneylerinde minimum bor karbür oluşum sıcaklığı 1450 °C olarak ifade edilebilir. Fakat verimli bir şekilde bor oksitin bor karbüre dönüşebilmesi için 1650 °C olarak belirlenmiştir.

#### **4.3.3. Reaksiyon süresinin etkisi**

Metalürjik proseslerdeki olabilecek reaksiyonların en kısa sürede gerçekleşmesi istenilen bir durumdur. Fakat bor karbür üretim prosesi enerji yoğunluklu bir proses olarak ifade edilebilir. Bor karbür oluşumu yüksek sıcaklıkta, indirgenecek olan oksidin 6 katı kadar karbon ilave edilmesi ve uzun süreler gerektirmektedir.

1450 °C'de karbotermal indirgeme ile elde edilen numunenin X-ışınları analizinde reaksiyon ürünü olan bor karbür XRD yöntemi tarafından saptanabilecek oran olan

% 3-5 oranında tahmin edilmektedir. Dolayısıyla bu sıcaklıkta 2 saat süre sonucu ile elde edilen ürünün oranının tam olması için çok uzun sürelerde bekletilmesi gerektiği ifade edilebilir. Diğer yandan sıcaklığın 1650 °C çıkarılmasıyla farklı sıcaklıklarda elde edilen reaksiyon ürünlerinde bor oksit ve kalıntı karbon farklılığı saptanmıştır. Daha uzun reaksiyon sürelerinde bor oksitin tamamının bor karbürü dönüşebileceği düşünülmektedir.

## **BÖLÜM 5. ÖNERİLER**

Ülkemizin en önemli doğal zenginliklerinden biri ve dünya da bulabilirliği açısından rezervlerin %80'ni ülkemizde olan tamamen yerli ara ürün olarak ihracatı gerçekleştirilen borik asit ve tüpraş ve firmasından temin edilen karbon karıştırılarak katma değeri daha yüksek bor karbür üretimi laboratuvar şartları altında çalışılmıştır. Herhangi bir üretim prosesinin optimize edilebilmesi için o sistemin reaksiyon mekanizmasının belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla aşağıdaki çalışmaların yapılması ile sistem ticari anlamda bor karbür üretilebilir.

Başlangıç malzemesinde bor miktarına herhangi bir kayıp olup olmadığının araştırılması gerekmektedir bu amaçla karbotermal indirgeme yönteminin mekanizması çalışılması gerekmektedir.

Proses sonucu üretilen ürünün mekanik ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir.

Elde edilen ürünlerin piyasada ticari olarak satılan ürünlerden spesifikasyonları bakımından karşılaştırılması gerekmektedir.

Üretilen bor karbürün endüstriyel anlamda bir ürüne dönüştürülerek mekanik ve kimyasal özellikleri araştırılmalıdır.

## KAYNAKLAR

- [1] Bor Karbür Ön Fizibilite Raporu, ETİ HOLDİNG A.Ş. Genel Müdürlüğü, ANKARA, Mayıs 2003
- [2] Bor Nitrür Ön Fizibilite Raporu ETİ HOLDİNG A.Ş. Genel Müdürlüğü ANKARA, Mayıs 2003
- [3] ARIK, H., SÜLEYMAN, S., Silisyum Nitrür Tipi Seramiklerin Üretilmesi ve Mekanik Özellikleri, I. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı Bildiri Kitabı, pp. 247-261, 1996
- [4] ARIK, H., Sepiyolitten Karbo-Termal İndirgeme ve Nitrürleme Yoluyla Silisyum Nitrür ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) Seramik Tozu Üretimi Parametrelerinin Arastırılması”, Gazi Üniversitesi – Fen Bilimleri Enstitüsü, pp. 3-36, 1996
- [5] KNOTEK, O., MUNZ, W.D., LEYENDECKER T., Industrial deposition of binary, ternary and quaternary nitrides of titanium, zirconium and aluminum, Journal of Vacuum Science and Technology, A5, 4, pp. 2173-2179, 1987
- [6] KUSKONMAZ, N., Pirinç Kabuğundan Silisyum Nitrür Tozunun Sentezi, Doktora, İstanbul Teknik Üniversitesi – Fen Bilimleri Enstitüsü, pp.1-33, 1993
- [7] WEIMER, A.W., Carbide, Nitride and Boride Materials Synthesis and Processing, pp. 389, 392-399, 401, 403
- [8] EMRULLAH, Ö.F. , EMRULLAH C.B.; bor nitrür üretimi Afyon Kocatepe Üni. Mühendislik Fak. Seramik Müh.bölümü, Afyon, pp. 124-128
- [9] NAKAE, H., FUJII, H., NAKAJİMA, K., GOTO, A., Infiltration and Combustion Synthesis of and Intermetallic Compound  $\text{Ni}_3\text{Al}$ , Materials Sci. And Eng. A223, 21-28, 1997
- [10] Termal İndirgeme ve Nitrürleme Yoluyla Silisyum Nitrür ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) Seramik Toz Üretimi, Gazi Üniversitesi – Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2002
- [11] SANIZ, K. ve NUHOĞLU L., “endüstriyel hammadde yatakları ve madenciligi Anadolu Üniversitesi yayın, 636, 61, 1992

- [12] KUŞOĞLU, İ.M., İleri Teknoloji Seramik Üretimi Dokuz Eylül Üniversitesi, 2004
- [13] BHUSHAN, B., Modern Tribology Handbook Vol. I and Vol. II, The Mechanics and Materials Science Series, CRC press, New York, USA, 2001
- [14] MASSALSKI, P.R., SUBRAMANIAN, H., OKAMOTO, L., KACPRZACK, (Eds.), Binary Alloys Phase Diagrams, 2nd ed., ASM International, Materials Park, oh, 1990
- [15] ATASOY, A., The effect of nitriding condition and the edition of metallic powder on the production of Silicone nitride (will be presented in the 5<sup>th</sup> inter. Powder metal. Con. 2008 in Ankara)
- [16] ATASOY, A., TÜMER, M., Karbotermal indirgeme ve nitrüleme prosesinde deney şartlarının Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> oluşuna etkileri, Proc. 4<sup>th</sup> Int. Powder Metal. Con., Sakarya, pp.1299-1308, 2005
- [17] KUŞTUTAR, S., Yanma senteziyle Zirkondan Nitrür ve Karbür tozu üretiminin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, 2008
- [18] BERNARTZ, K. M., ECHEVERRIA, I., SIMON, S. L., PLAZEK, D. J., Viscoelastic properties of amorphous boron trioxide, Journal of non crystalline solids, 289, pp. 9-16, 2001
- [19] AY, N., TÖRE, İ., Amorf bor oksit eldesi ve karakterizasyonu, 2. uluslar arası bor sempozyumu, Eskişehir, pp. 127-132, 2004
- [20] AZİZ, M. J., NYGREN, E., HAYS, J. F., TUMBULL, D., Crystal growth kinetics of boron oxide under pressure, Journal of applied physics, 57, pp. 2223, 1985
- [21] ADDEMİR, O., Bor Ürünlerinin Teknolojileri ve Türkiyenin durumu. İTÜ, ileri teknoloji seramik ve kompozitleri araştırma merkezi, 80626, İstanbul



## ÖZGEÇMİŞ

Gökhan YAKUT, 04.12.1982 tarihinde Sakarya'da doğdu. İlkokulu Eser İlkokulu'nda, ortaokulu ise 21 Haziran İlköğretim Okulu'nda tamamladı. Liseyi Sakarya I. Endüstri Meslek Lisesi Metal işleri bölümünde okuyarak 1999 yılında mezun oldu. İki yıl sonra Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Öğretmenliği Bölümü'nü kazandı ve 2005 yılında mezun oldu. 2006 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metal Eğitimi Ana Bilim Dalı'nda Yüksek lisans eğitimine başladı. Halen yüksek lisans eğitimini sürdürmektedir.