

**T.C.
KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Cu-B₄C KOMPOZİT MALZEMELERDEKİ MİKROYAPI VE
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Çiğdem URAYLI

**Danışman
Jüri Üyesi
Jüri Üyesi**

**Dr. Öğr. Üyesi Özkan ESKİ
Doç. Dr. Uğur ÇALIGÜLÜ
Doç. Dr. Serkan ISLAK**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

KASTAMONU – 2018

TEZ ONAYI

Çiğdem URAYLI tarafından hazırlanan "**Cu-B₄C Kompozit Malzemelerdeki Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde savunulmuş ve **oy birliği** ile Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

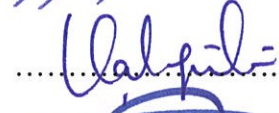
Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Özkan ESKİ
Kastamonu Üniversitesi



Jüri Üyesi

Doç. Dr. Uğur ÇALIGÜLÜ
Fırat Üniversitesi



Jüri Üyesi

Doç. Dr. Serkan ISLAK
Kastamonu Üniversitesi



02/07/2018

Enstitü Müdür V.

Doç.Dr. M.Altan KURNAZ



TAAHHÜTNAME

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildirir ve taahhüt ederim.

İmza
Çiğdem URAYLI

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi
Cu-B₄C KOMPOZİT MALZEMELERDEKİ MİKROYAPI VE MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Çiğdem URAYLI
Kastamonu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Dr.Öğr.Üyesi Özkan ESKİ

Üstün nitelikli malzeme üretimi, teknolojik gelişmeler yüzünden zorunluluk haline gelmiştir. Kompozit malzeme teknolojisindeki gelişmeler üstün nitelikli malzeme üretimindeki ihtiyacı önemli ölçüde karşılamaktadır. Metal veya seramik matris içinde karbürlerin kullanımı, özellikle aşınmaya dayanıklı malzeme üretiminde giderek yaygınlaşmakta, endüstride önemli bir kullanım payına sahip olmaktadır.

İnsanlık tarihinin ilk çıkarılan ve işlenen madenlerinden olan bakır, gümüşten sonra en iyi ısı ve elektrik iletkenliğe sahip ikinci metaldir. Bakır yüksek elektrik ve ısı iletkenliğe sahip olmasına rağmen, çekme, sertlik v.b. mekanik özelliklerinin düşük olması, bakırın alaşımlandırılmasını, bakır matrisli kompozit malzeme oluşturulmasını veya bazı ısı işlemlerin uygulanmasını gerekli kılmıştır.

Bakır matrisli kompozitlerde takviye malzemesi olarak kullanılan karbürlerden birisi bor karbürdür. Bor karbürün yüksek sertlik, aşınma direnci, düşük yoğunluğu, kimyasal özellikleri, nötron absorpsiyonunun yüksek olması, bakırın olumsuz mekanik özelliklerini iyileştirmede ön plana çıkmaktadır.

Bu çalışmada bakır matris içerisine ağırlıkça %2,5; %5; %7,5; %10 B₄C ilave edilerek 650⁰C, 750⁰C ve 850⁰C sinterleme sıcaklıklarında kompozit malzemeler üretilmiştir. Üretilen malzemelerin sertlikleri, yoğunlukları, elektriksel iletkenlikleri ölçülmüş, optik ve taramalı elektron (SEM) mikroskoplarında görüntüleri alınmış, EDS analizleri yapılmış ve aşınma testine tabi tutulmuşlardır.

Elde edilen sonuçlar neticesinde kompozitlerin sertliklerinin, takviye oranı ve sinterleme sıcaklığı arttıkça arttığını; yoğunluklarının ve gözenek boşluklarının ise takviye oranı ve sinterleme sıcaklığı arttıkça azaldığını; aşınma oranının %7,5 B₄C ilavesine kadar arttığını sonrasında ise azaldığını, sıcaklık arttığında ise malzemelerin aşınmaya karşı dayanımının arttığı saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bor karbür, bakır, kompozit malzeme, sinterleme, mikroyapı

2018, 79 sayfa
Bilim Kodu: 91

ABSTRACT

MSc. Thesis

INVESTIGATION OF MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES IN Cu-B₄C COMPOSITE MATERIALS

Çiğdem URAYLI

Kastamonu University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Materials Science And Engineering

Supervisor: Ph.D. Özkan ESKİ

Abstract: The production of superior materials has become a necessity due to technological developments. Developments in composite material technology meet the need for superior material production to a significant extent. The use of carbides in metal or ceramic matrix is becoming increasingly popular in the production of abrasion resistant materials, and the industry has an important share of usage.

Copper, which is one of the first mined and processed mines of human history, is the second metal with the best thermal and electrical conductivity after silver. Although copper has high electrical and thermal conductivity, tensile, hardness and the like. low mechanical properties, alloying of copper, formation of copper matrix composite material or application of some heat treatments.

One of the carbides used as reinforcing material in copper matrix composites is boron carbide. Boron carbide is predominant in improving the hardness, abrasion resistance, low density, chemical properties, high neutron absorption, adverse mechanical properties of copper.

In this study, 2,5%; 5%; 7,5%; 10% B₄C by weight in copper matrix was added to; produce composite materials at sintering temperatures of 650⁰C, 750⁰C and 850⁰C. The hardnesses, densities and electrical conductivities of the produced materials were measured, images were taken on optical and scanning electron (SEM) microscopes, EDS analyzes were made and subjected to abrasion test.

The results obtained show that the hardness of the composites increases as the reinforcement ratio and sintering temperature increase; densities and pore voids decrease as the reinforcement rate and sintering temperature increase; it was found that after the increase of the wear rate up to 7,5% B₄C addition, the wear rate decreased and when the temperature increased, the resistance against the material wear increased.

Key Words: Boron carbide, copper, composite material, sintering, microstructure

2018, 79 pages

Science Code: 91

TEŞEKKÜR

Kastamonu Üniversitesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalında sürmüş olan yüksek lisans eğitiminde şahsıma göstermiş olduğu her türlü ilgi ve destekten ötürü değerli hocam ve tez danışmanım Sayın Dr.Öğr.Üyesi Özkan ESKİ'ye, Tez çalışmalarım süresince tecrübelerinden ve bilgilerinden faydalandığım, beni kendi öğrencilerinden ayırmayan değerli hocalarım Sayın Doç.Dr.Serkan ISLAK ve Dr.Öğr.Üyesi Arif UZUN'a Tezime ait deneylerin yapılmasında yardımlarını esirgemeyen Araş.Gör.Celal NAZLI, Araş.Gör.Umut KAYA, Araş.Gör.Yasin ÖZCAN, Araş.Gör. Sedat KURNAZ, Araş.Gör.Şeydanur KAYA, Araş.Gör. Cihan ÖZORAK'a Varlıkları ile her an beni mutlu eden, desteklerini biran olsun esirgemeyen sevgili eşim Kemal URAYLI'ya, babalarım Mustafa ZİPİR ve Hüseyin URAYLI'ya, annelerim Sebahat ZİPİR ve Sebahat URAYLI'ya, abim Metin ZİPİR'a, görümcem Serap AYDIN'a ve çok değerli arkadaşlarıma, En büyük şükürlerim canım kızım İpek URAYLI'ya ve canım oğlum Uğur URAYLI'ya tüm kalbimle şükranlarımı sunarım.

Çiğdem URAYLI
Kastamonu, Temmuz, 2018

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
TABLolar DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
2. KOMPOZİT MALZEMELER.....	3
2.1. Kompozit Malzemelerin Genel Tanımı.....	3
2.2. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	5
3. METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLER(MMK)	7
3.1. Metal Matrisli Kompozitlerin Üretim Teknikleri.....	7
3.1.1. Katı Faz Yöntemleri	8
3.1.1.1. <i>Difüzyonla Bağlama</i>	8
3.1.1.2. <i>Toz Metalurjisi Tekniği (TM)</i>	8
3.1.2. Sıvı Faz Yöntemleri.....	9
3.1.2.1. <i>Sıvı Metal İnfiltrasyon Yöntemi</i>	9
3.1.2.2. <i>Sıkıştırma Döküm Yöntemi</i>	9
3.1.2.3. <i>Sıvı Metal Karıştırma Yöntemi</i>	9
3.1.2.4. <i>Plazma Püskürtme Yöntemi</i>	9
3.1.3. Diğer Yöntemler	10
3.1.3.1. <i>Rheocasting Ve Compocasting Döküm Yöntemi</i>	10
3.1.3.2. <i>Vidalı Ekstrüzyon Yöntemi</i>	10
3.1.3.3. <i>In-Situ Tekniği</i>	11
3.1.3.4. <i>XD Tekniği</i>	11
4. SİNERLEME.....	12
4.1. Sinterleme Çeşitleri	14
4.1.1. Katı Faz Sinterlemesi.....	14

4.1.2. Sıvı Faz Sinterlemesi	15
4.1.3. Basınç Destekli Sinterleme	16
4.1.3.1. <i>Sıcak Presleme</i>	17
4.1.3.2. <i>Sıcak İzostatik Presleme (HIP)</i>	18
4.1.3.3. <i>Spark Plazma Sinterleme (SPS)</i>	18
4.2. Sinterlemeyi Etkileyen Faktörler	19
4.2.1. Parçacık/Toz Karakteristikleri	19
4.2.1.1. <i>Toz Boyutu Ve Dağılımı</i>	19
4.2.1.2. <i>Tane Şekli</i>	19
4.2.1.3. <i>Toz Aglomerasyonu</i>	19
4.2.2. İlave Maddeler	20
4.2.3. Sinterleme Atmosferleri	20
5. BAKIR (Cu)	22
5.1. Bakırın Üretimi Ve Tarihçesi	22
5.2. Bakırın Fiziksel, Kimyasal Ve Mekanik Özellikleri	23
5.3. Bakırın Kullanım Alanı	25
5.4. Literatürde Bakır Üzerine Yapılan Çalışmalar	26
6. BORKARBÜR (B ₄ C)	29
6.1. Bor Karbürün Üretimi Ve Tarihçesi	29
6.2. Bor Karbürün Fiziksel, Kimyasal Ve Mekanik Özellikleri	30
6.3. Bor Karbürün Üretimi Yöntemleri	31
6.4. Bor Karbürün Kullanım Alanları	32
6.5. Literatürde Bor Karbürün Kullanıldığı Çalışmalar	33
6.5.1. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımlarında B ₄ C Kullanılarak Kompozit Malzeme Üretimi	33
6.5.2. Silisyum ve Silisyum Alaşımlarında B ₄ C Kullanılarak Kompozit Malzeme Üretimi	35
6.5.3. Bakır ve Bakır Alaşımlarında B ₄ C Kullanılarak Kompozit Malzeme Üretimi	36
7. DENEYSEL ÇALIŞMA	38
7.1. Kullanılan Hammaddeler	38
7.2. Sıcak Presleme	39
7.3. Metalografik Çalışmaları	39

7.4. Parçacık Morfolojisi	40
7.5. Yoğunluk ve Yapı İçerisindeki Gözenek Boşluğu Tayini.....	40
7.6. Sertlik	41
7.7. Elektriksel İletkenlik	41
7.8. Aşınma Testi.....	42
8. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA	43
8.1. Mikroyapı İncelemeleri	43
8.2. EDS Analizi.....	45
8.3. Sertlik	46
8.4. Yoğunluk ve Gözenek Oranı	48
8.4.1. Yoğunluk	48
8.4.2. Gözenek Oranı	49
8.5. Elektriksel İletkenlik	56
8.6. Aşınma Testi.....	56
8.6.1. %5 B ₄ C Takviyeli Cu/B ₄ C Kompozitlerin Artan Sinterleme Sıcaklığındaki Aşınma Davranışı	57
8.6.2. %7,5 B ₄ C Takviyeli Cu/B ₄ C Kompozitlerin Artan Sinterleme Sıcaklığındaki Aşınma Davranışı	59
8.6.3. %10 B ₄ C Takviyeli Cu/B ₄ C Kompozitlerin Artan Sinterleme Sıcaklığındaki Aşınma Davranışı	61
8.6.4. 850 ⁰ C Sinterleme Sıcaklığında Üretilen Cu/B ₄ C Kompozitlerinin Artan Takviye Malzemesinin Aşınma Davranışı Üzerine Etkisi	63
9. SONUÇ	66
9.1. B ₄ C Oranının Malzeme Özellikleri Üzerine Etkisi	66
9.2. Farklı Sinterleme Sıcaklıklarının Malzeme Özelliklerine Etkisi	67
KAYNAKLAR	69
EKLER.....	74
EK 1- (Cu-B ₄ C Kompozitlerine Ait Mikroyapı Görüntüleri ve EDS Analizleri).....	75
ÖZGEÇMİŞ	

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

B ₄ C	Bor Karbür
Cu	Bakır
CVD	Chemical Vapour Deposition (<i>Kimyasal Buhar Biriktirme Yöntemi</i>)
HF-HNO ₃	Hidroflorik Asit – Nitrik Asit
HF-H ₂ SO ₄	Hidroflorik Asit – Sülfürik Asit
HP	Sıcak Presleme
IACS	International Annealed Copper Standard (Metal ve Alaşımlar için Kullanılan Elektrik İletkenliği Birimi)
MMK	Metal Matrisli Kompozit
SHS	Self-Propagating High Temperature Synthesis (<i>Kendiliğinden İlerleyen Yüksek Sıcaklık Yöntemi</i>)
SPS	Spark Plazma Sinterleme
SEM-EDS	Taramalı Elektron Mikroskobu
TM	Toz Metalurjisi

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Kompozit Malzemelerin Mevcut Malzeme Grupları İle İlişkisi	03
Şekil 2.2. Kompozit Malzemelerinin Takviye Malzemesine Göre Sınıflandırılması	05
Şekil 2.3. Farklı Türde Takviye Malzemesi İçeren Kompozitlere Ait Şematik Görünüm (A) Örgülü Elyaf (B) Sürekli Elyaf (C) Yönlenmiş Kırpılmış Elyaf (D) Rasgele Düzenlenmiş Kırpılmış Elyaf (E) Parçacıklı Kompozit (F) Tabakalı Kompozitler.....	06
Şekil 4.1. Sinterleme Esnasında Taneler Arasında Meydana Gelen Mekanizmalar.....	13
Şekil 4.2. Sinterleme İşlemi Sırasında Gözenek Yapısının Değişimi.....	13
Şekil 4.3. İki Kürenin Sinterleme Aşamaları	15
Şekil 4.4. Sıvı Faz Sinterleme Mekanizmasının Aşamaları.....	16
Şekil 4.5. Sıcak Presleme Sisteminin Şematik Gösterimi.....	17
Şekil 4.6. SPS Sisteminin Şematik Gösterimi.....	18
Şekil 5.1. Türkiye’de Bulunan Bakır Madeni Yatakları	22
Şekil 5.2. Bakır Cevherinin Üretim Aşamaları	23
Şekil 5.3. Bakır Ve Bakır Alaşımlarının Sektörlere Göre Kullanımı	25
Şekil 6.1. Rhombohedral B ₄ C Birim Hücre Yapısı	29
Şekil 6.2. B-C İkili Denge Diyagramı.....	29
Şekil 6.3. Bor/karbon oranının sertlik üzerine etkisi.....	30
Şekil 7.1. Üretim Ve Deney Aşamalarını Gösteren İş Akışının Şematik Gösterimi.....	38
Şekil 7.2. Bakalite Alma Cihazı.....	40
Şekil 7.3. Zımparalama Ve Parlatma Cihazı.....	40
Şekil 7.4. SEM Cihazı.....	40
Şekil 7.5. Optik Mikroskop Cihazı	40
Şekil 7.6. Sertlik Cihazı	41
Şekil 7.7. Aşınma Deney Cihazı	42
Şekil 8.1. SEM Görüntüleri a) Cu b) B ₄ C Tozları	43
Şekil 8.2. Cu/B ₄ C kompozitlerinin sinterleme sıcaklığına bağlı mikroyapıları a) %0 B ₄ C takviyeli 650°C, 750°C ve 850°C’de sinterlenmiş kompozitler b) %2,5 B ₄ C takviyeli 650°C, 750°C ve 850°C’de sinterlenmiş kompozitler c) %5 B ₄ C takviyeli 650°C, 750°C ve 850°C’de sinterlenmiş kompozitler d) %7,5 B ₄ C takviyeli 650°C, 750°C ve 850°C’de sinterlenmiş kompozitler e) %10 B ₄ C takviyeli 650°C, 750°C ve 850°C’de sinterlenmiş kompozitler	44
Şekil 8.3. 750°C’de Sinterlenmiş %100 Cu içeren N06 Numunesine Ait SEM Ve EDS Verileri	45
Şekil 8.4. 650°C’de Sinterlenmiş %2,5 B ₄ C içeren N02 Numunesine Ait SEM Ve EDS Verileri.....	45
Şekil 8.5. 850°C’de Sinterlenmiş %10 B ₄ C içeren N15 Numunesine Ait SEM Ve EDS Verileri	46

Şekil 8.6. İçerdiği B ₄ C Oranın Bağlı Olarak Farklı Sinterleme Sıcaklıklarında Cu/B ₄ C Kompozitlerinin Sertliklerinde Meydana Gelen Değişim a) Sertlik Değerlerinin Çizgisel Grafikte Gösterimi b) Sertlik Değerlerinin Sütun Üzerinde Gösterilmesi	46
Şekil 8.7. İçerdiği B ₄ C Oranın Bağlı Olarak Farklı Sinterleme Sıcaklıklarında Cu/B ₄ C Kompozitlerinin Yoğunluklarında Meydana Gelen Değişim a) Yoğunluk Değerlerinin Çizgisel Grafikte Gösterimi b) Yoğunluk Değerlerinin Sütun Üzerinde Gösterilmesi	48
Şekil 8.8. 650 ⁰ C’de Sinterlenmiş Numunelere Ait Gözenek Boşluğu Değişimi	50
Şekil 8.9. 750 ⁰ C’de Sinterlenmiş Numunelere Ait Gözenek Boşluğu Değişimi	51
Şekil 8.10. 650 ⁰ C’de Sinterlenmiş Numunelere Ait Gözenek Boşluğu Değişimi	51
Şekil 8.11. Artan Takviye Malzemesine Göre Kompozitlerde Oluşan Sinterleme Boşluğunun Değişimi	52
Şekil 8.12. 650 ⁰ C Sinterleme Sıcaklığında Artan Takviye Malzemesine Göre Kompozitlerde Oluşan Sinterleme Boşluğunun Değişiminin Optik Mikroskop Görüntüleri	53
Şekil 8.13. Sinterleme Sıcaklığının Gözenek Boşluğu Üzerine Etkisi	54
Şekil 8.14. Cu/B ₄ C Kompozitlerinin Sinterleme Sıcaklığına Bağlı Gözeneklerin Değişimini Gösteren SEM Görüntüleri a) % 2,5 B ₄ C Takviyeli b) %10 B ₄ C Takviyeli Kompozitler.....	54
Şekil 8.15. Cu/B ₄ C Kompozitlerinin Gözenek Boşluklarının Optik Mikroskop Görüntüleri a)%0 B ₄ C Takviyeli 650 ⁰ C, 750 ⁰ C Ve 850 ⁰ c’de Sinterlenmiş Kompozitler b) %2,5 B ₄ C Takviyeli 650 ⁰ C, 750 ⁰ C Ve 850 ⁰ c’de Sinterlenmiş Kompozitler c) %5 B ₄ C Takviyeli 650 ⁰ C, 750 ⁰ C Ve 850 ⁰ C’de Sinterlenmiş Kompozitler d) %7,5 B ₄ C Takviyeli 650 ⁰ C, 750 ⁰ C Ve 850 ⁰ C’de Sinterlenmiş Kompozitler e) %10 B ₄ C Takviyeli 650 ⁰ C, 750 ⁰ C Ve 850 ⁰ C’de Sinterlenmiş Kompozitler.....	55
Şekil 8.16. Farklı Sinterleme Sıcaklığında Cu/B ₄ C Kompozitlerinin Elektrik İletkenliğinde Meydana Gelen Değişim	56
Şekil 8.17. Farklı Sinterleme Sıcaklıklarında Üretilmiş %5 B ₄ C Takviyeli Kompozitlerin Aşınma Görüntüleri a)650 ⁰ C b)750 ⁰ C c)850 ⁰ C.....	57
Şekil 8.18. %5 B ₄ C İlaveli Kompozitlerin Aşınmaya Bağlı Aşınma Oranı Ve Sürtünme Katsayısını Veren Grafik	58
Şekil 8.19. %5 B ₄ C İlaveli Kompozitlerin Ağırlık Kayıp Grafiği	58
Şekil 8.20. Farklı Sinterleme Sıcaklıklarında Üretilmiş %7,5 B ₄ C Takviyeli Kompozitlerin Aşınma Görüntüleri a)650 ⁰ C b)750 ⁰ C c)850 ⁰ C.....	59
Şekil 8.21. %7,5 İlaveli Kompozitlerin Aşınmaya Bağlı Aşınma Oranı Ve Sürtünme Katsayısını Veren Grafik	60
Şekil 8.22. %7,5 B ₄ C İlaveli Kompozitlerin Ağırlık Kayıp Grafiği	60
Şekil 8.23. Farklı Sinterleme Sıcaklıklarında Üretilmiş %10 B ₄ C Takviyeli Kompozitlerin Aşınma Görüntüleri a)650 ⁰ C b)750 ⁰ C c)850 ⁰ C.....	61
Şekil 8.24. %10 B ₄ C İlaveli Kompozitlerin Aşınmaya Bağlı Aşınma Oranı Ve Sürtünme Katsayısını Veren Grafik	62
Şekil 8.25. %10 B ₄ C İlaveli Kompozitlerin Ağırlık Kayıp Grafiği	62

Şekil 8.26. 850 ⁰ C’de Sinterlenen Farklı Takviye Oranlarına Sahip Kompozitlerin Aşınma Görüntüleri a)Saf bakır b)%2,5 c)%5 d)%7,5 e)%10	64
Şekil 8.27. 850 ⁰ C’de Sinterlenen Numunelere Ait Aşınma Oranı Ve Sürtünme Katsayısını Veren Grafik.....	65
Şekil 8.28. 850 ⁰ C’de Sinterlenen Numunelere Ait Ağırlık Kayıp Grafiği	65

TABLÖLAR DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 5.1. Bakır(Cu) Elementinin Fiziksel Ve Kimyasal Özellikleri	24
Tablo 6.1. B ₄ C'nin Fiziksel Ve Mekanik Özellikleri.....	31
Tablo 7.1. Farklı Sinterleme Sıcaklıklarında Ve Oranlarda Hazırlanan Cu/B ₄ C Toz Karışımlarına Uygulanan Sıcak Presleme Parametreleri	39
Tablo 8.1. Deneysel Ve Teorik Yoğunluk Ölçümleri	49

1. GİRİŞ

İlerleyen teknoloji, gelişen sanayi üstün nitelikli malzeme üretimi gereğini zorunlu kılmıştır. Kompozit malzeme teknolojisindeki gelişmeler bu ihtiyacı önemli ölçüde karşılamaktadır. Elektrik, elektronik ve endüstriyel sanayilerindeki hızlı gelişme bakıra olan ihtiyacı artırmıştır.

İnsanlık tarihinin ilk çıkarılan ve işlenen madenlerinden olan bakır, gümüşten sonra en iyi ısı ve elektrik iletkenliğe sahip ikinci metaldir. İletkenlikte ikinci sırada olmasına rağmen gümüş metalinin pahalı olması ve üretim zorluğu, bakırın endüstride daha çok kullanılmasına neden olmuştur. Yüksek elektrik ve ısı iletkenliğe sahip olmasına rağmen, çekme, sertlik v.b. mekanik özelliklerinin düşük olması bakır metalinin alaşımlandırılmasını, bakır matrisli kompozit malzeme oluşturulmasını veya bazı ısı işlemlerin uygulanmasını gerekli kılmıştır. Yapılan literatür taramalarında bakır matrisli kompozitlerde ağırlıklı olarak Al_2O_3 , SiC, B_4C , TiB_2 ve WC seramiklerinin takviye malzemesi olarak kullanıldığı görülmüştür (Islak, Akkaş, Kaya ve Güleç, 2017).

Metal olmayan malzemeler içerisinde bakır elementi özel bir yer tutmaktadır (Thevenot, 1990). Kimyasallara karşı yüksek kararlılığı, iyi mukavemet özellikleri, nötron emme kabiliyeti, düşük yoğunluğu gibi birçok üstün özelliğiyle endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Kübik bor nitrür (cBN) ve elmasan sonra sertlikte üçüncü sırada olan borkarbür, bilinen en kararlı bileşiklerdendir. Asit ve bazlarla kolaylıkla tepkimeye girmeme özelliği de bu kararlı yapısından ileri gelmektedir.

Bu çalışmada bakırın düşük mekanik özelliklerini iyileştirmek amacıyla Cu matris içerisine B_4C ilavesi yapılmıştır. 40µm partikül boyutunda saf bakır tozlarının içerisine 40µm partikül boyutunda ağırlıkça %2,5; %5; %7,5; %10 oranlarında borkarbür (B_4C) parçacıkları takviye edilerek toz metalürjisi yöntemiyle toplamda 15 farklı bileşime sahip metal matrisli kompozit üretilmiştir. Belirli oranlarda oluşturulan Cu/ B_4C kompozitleri 650°C, 750°C ve 850°C sıcaklıklarında argon atmosferi altında 35Mpa basınçta 4dk sıcak presleme işlemine tabi tutularak sinterlenmiştir. Sinterleme işlemi sonrasında numunelerin yoğunlukları, sertlikleri, elektriksel iletkenlikleri ölçülmüş,

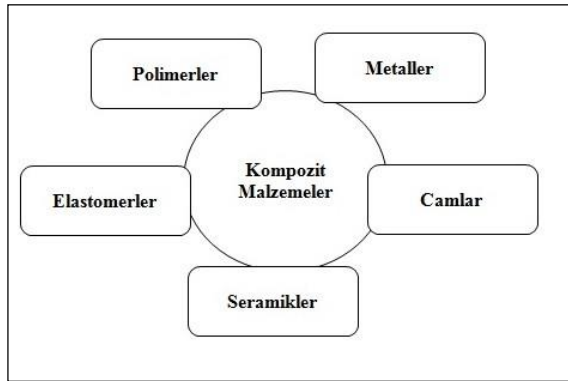
mikroyapıları optik ve taramalı elektron mikroskoplarında (SEM) görüntüleri alınmış, enerji dağılımı spektrometresi (EDS) analizi yapılan numuneler aşınma testine alınmış ve deneysel çalışmalar sonlandırılmıştır.

Çalışma sonunda elde edilen veriler toplanarak genel bir değerlendirmeye alınmıştır. Yapılan değerlendirmede artan takviye oranına bağlı olarak kompozitlerin yapılarında meydana gelen değişimler ile farklı sinterleme sıcaklıklarında malzeme yapısında meydana gelen değişimler iki farklı başlık altında irdelenmiştir.

2. KOMPOZİT MALZEMELER

2.1. Kompozit Malzemelerin Genel Tanımı

Gelişen endüstriyel teknoloji ile birlikte üstün özelliklere sahip ileri mühendislik malzemelerinin üretilmesi ihtiyacı doğmuştur (Nazik, 2013). Kompozitler en geniş tanımıyla en az iki farklı malzemenin birbiri içerisinde çözünmeyecek şekilde birleştirilmesidir (Smith, 2001). Kompozit malzemelerin (karma malzemelerin) bir diğer tanımı ise iki veya daha fazla malzemenin, aynı veya farklı gruptaki mühendislik malzemelerinin en iyi özelliklerini (hafiflik, dayanım, esneklik v.b.), yeni ve tek bir malzemede toplamak amacıyla, makro düzeyde birleştirilmesiyle oluşturulan malzemelerdir. Şekil 1.1’de mühendislik malzemeleri ile kompozitler arasındaki ilişki görülmektedir (Dutdibi, 2011).



Şekil 2.1. Kompozit malzemelerinin mevcut malzeme grupları ile ilişkisi (Nazik, 2013)

Gelişen teknoloji ile birlikte ihtiyaç duyulan üstün özellikler (hafiflik, dayanım, esneklik v.b.) kompozitlerin geliştirilmesini gerekli kılmıştır. Malzemelerin en iyi özelliklerinin birleştirilmesi ile oluşturulan kompozit malzemelerin avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır.

Avantajları;

1. Arttırılmış veya azaltılmış mukavemet, aşınma direnci, termal veya elektrik iletkenliği
2. Kolay şekillendirme

3. Uzun ömür (korozyona ve kimyasal etkilere karşı dayanım)
4. Hafiflik olarak sıralandırılabilirken,

Dezavantajlarını ise;

1. Kırılma uzamasının düşük olması,
2. Malzemenin geri dönüşümünün mümkün olmaması,
3. Kompozit malzemenin üretimi sırasında yaşanan zorluk,
4. İşleme maliyetinin fazla olması gibi nedenler sayılabilmektedir. (Özkavak, 2014; Meydanoğlu, 2006)

Kompozit malzemeler iki temel bileşenden oluşmaktadır. Bunlar matris ve takviye malzemesi olarak adlandırılmaktadır. Matris kompoziti oluşturan ana bileşendir. Takviye malzemesine göre genellikle daha düşük dayanıma ve genellikle daha yüksek sünekliliğe sahip malzemedir. Takviye malzemesi ise genellikle daha yüksek dayanıma sahip, daha sert bir malzemedir. Gelen yükleri takviye malzemesine homojen bir şekilde ileterek plastik deformasyonun oluşmasını engellemek, takviye malzemesinin dağılmasını ve takviye malzemesini darbelere ve çevresel etkilere karşı korumak matrisin başlıca görevleri arasındadır (Karabulut, 2011). Kompozitlerin mekanik özellikleri aşağıda sıralanan faktörlere bağlıdır:

- Takviye malzemesinin türü ve özelliği
- Takviye malzemesinin tane büyüklüğü, tanelerin geometrisi ve doğrultusu
- Matris türü
- Üretim yöntemi (karışım oranı, üretim ortamı v.b.)

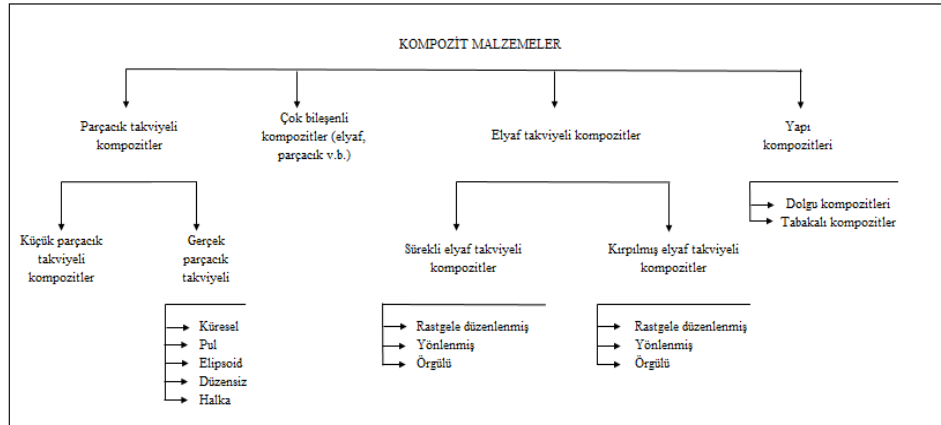
Kompozit malzemelerinin üretilmesi ile birlikte bu malzemelerin kullanım alanı her geçen gün daha da çok artmaktadır. Neredeyse tüm endüstri kollarında kompozit malzemeler kullanılmaktadır. Ulaşım sektörü, otomotiv endüstrisi, uzay ve havacılık sanayisi, savunma sanayi kompozit malzemelerinin kullanımının en yoğun kullanıldığı endüstri kollarındandır.

2.2. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

İnsan icadı olmayan kompozit malzemeler en temelinde, doğal kompozit malzemeler (kemik, ağaç, deri kas v.b.) ile yapay kompozit malzemeler (karbon-karbon, cam elyaf takviyeli, epoksi v.b.) olarak sınıflandırılmaktadır (Karabulut, 2015). Matris malzemesine göre kompozit malzemeler 3 gruba ayrılmaktadırlar. Bunlar;

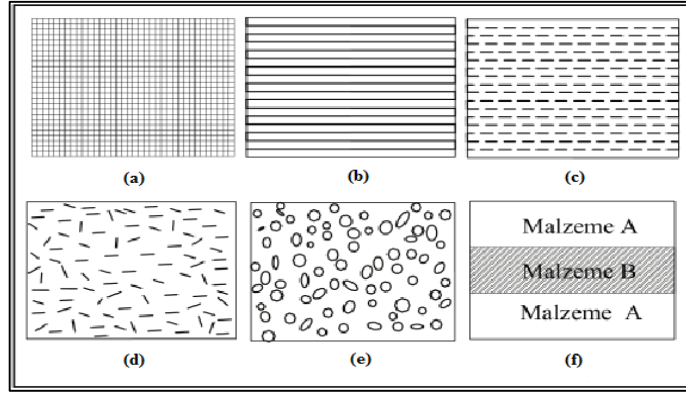
1. Polimer Matrisli Kompozitler
2. Seramik Matrisli Kompozitler
3. Metal Matrisli Kompozitler

Kompozitlere üstün özellikler kazandıran takviye malzemesine yapılan sınıflandırma uygulamada en yaygın kullanılan sınıflandırma türüdür. Takviye malzemesine göre yapılan sınıflandırma Şekil 2.2’de gösterilmektedir.



Şekil 2.2. Kompozit malzemelerinin takviye malzemesine göre sınıflandırılması (Çanakçı, 2006)

Farklı türde takviye malzemesi içeren kompozit malzemelere ait örnek yapılar Şekil 2.3.’te gösterilmiştir. Takviye malzemesinin yerleşimi ve takviye malzemesinin yapısal şekli neticesinde farklı kompozitler oluşturulabiliyor iken, iki ayrı kompozit malzemenin birleştirilmesiyle oluşturulan tabakalı kompozitlerin şematik gösterimi de Şekil üzerinde görülebilmektedir.



Şekil 2.3. Farklı türde takviye malzemesi içeren kompozitlere ait şematik görünüm (a) Örgülü elyaf (b) Sürekli elyaf (c) Yönlenmiş kırılmış elyaf (d) Rasgele düzenlenmiş kırılmış elyaf (e) Parçacıklı kompozit (f) Tabakalı kompozitler

Kompozit malzeme çeşitlerinden olan polimer matrisli kompozitler, cam, kevlar (aramid), karbon, polietilen, bor, Al_2O_3 ve SiC ile pekiştirilmiş kompozitlerdir. Polyester, epoksi, termoset plastikler ile termoplastik polyester, poliamid (PA), politetrafloretillen (PTFA), polietilen (PE) gibi termoplastik malzemeler polimer matrisli kompozitlerde kullanılan matris malzemeleridir. Polimer matrisli kompozit malzemeler imalat yöntemlerinin diğer kompozit malzemelere göre daha düşük maliyetli ve kolay olması nedeniyle geniş bir kullanım alanı bulmuşlardır. Yüksek mukavemet ve elastisite modülü bu kompozitlerin en önemli özelliklerindendir. Polimer matrisli kompozitler, bu özellikleri nedeniyle, uzay ve uçak sanayisinde kullanılmak üzere üretilen alüminyum ve alaşımlarında tercih nedeni olmuştur (URL-2, 2018).

Diğer bir kompozit malzeme çeşidi olan seramik matrisli kompozitler, çoğunlukla aşınmaya maruz ve yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılmaktadır. Çok düşük kırılma uzaması göstermeleri, sert ve kırılgan olmaları, rijitlik başlıca özellikleri arasındadır. Seramik matrisli kompozitler seramik-seramik sistem, seramik-cam sistem ve seramik-metal sistem olmak üzere üç farklı bileşen yapıyla oluşturulmaktadır. Oluşturulan kompozitler başlıca savunma ve uzay sanayisinde tercih edilmektedir. Alümina (Al_2O_3) ve Zirkonya (ZrO_2) esaslı kompozitler üzerine yapılan çalışmalar neticesinde de insan vücudunda biomalzeme olarak kullanılabilecek kompozit malzeme üretimi sağlanmıştır. (Büyükuncu, 2000)

3. METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLER (MMK)

Metal matrisli kompozitler, matrisi metalik esaslı saf elementlerden ve/veya alaşımlardan oluşturulan, içerisine üstün özellikli takviye malzemesi (elyaflar, partiküller, whiskers) katılarak, istenilen fiziksel ve kimyasal özellikleri gösteren kompozit malzemelerdir (Karadağ, 2012). Kullanılan takviye malzemeleri tipik olarak oksit, nitrit ve karbürler olarak sınıflandırılabilir. Takviye malzemesinin yüksek elastik modülü ile metallerin plastik şekil değiştirme özellikleri bir araya getirilerek aşınmaya dayanıklı, kırılma tokluğu ve basma gerilmesi yüksek kompozitler oluşturulmaktadır. Oluşturulan bu kompozitler yoğun olarak uzay, havacılık, otomotiv ve savunma sanayisinde karşımıza çıkmaktadır. Metal matrisli kompozitler her elyaf çeşidi ile iyi ara yüzey oluşturamadıkları için üretimi zor ve pahalıdır. Al, Mg, Ni, Ti, Cu, Zn gibi hafif metaller ve bunların alaşımları MMK üretiminde sıkça kullanılan matris malzemeleridir. (Akın, 2006; Köksal, 2004)

3.1. Metal Matrisli Kompozitlerin Üretim Teknikleri

Metal matrisli kompozitlerin üretimde kullanılan farklı matris ve takviye malzemeleri, üretim aşamasında farklı tekniklerin gelişmesine sebep olmuştur. Üretim yönteminin seçiminde, üretimi yapılacak metal matrisli kompozitin istenilen fiziksel ve mekanik özellikleri değerlendirilmeye alınmalıdır. Değerlendirme aşamasında aşağıdaki parametreler dikkate alınarak yöntem belirlenmesi yapılır:

- Çalışmanın yapılacağı sıcaklık aralığı
- Takviye edilen malzemenin şekli
- Kullanılan matris malzemesi ile takviye edilen malzeme arasındaki uyum
- Matris ve takviye malzemelerinin ilave işlem ihtiyacı
- Matris ile takviye malzemesi arasında oluşabilecek tepkimeler
- Elde edilecek üründen istenen boyut tamlığı
- Matris malzemesi içerisine takviye edilen malzemenin homojen dağılması
- Matris-takviye arayüzey bağının tam olarak elde edilebilmesi.

Metal matrisli kompozit üretim yöntemleri; katı faz üretim yöntemleri, sıvı faz üretim yöntemleri ve diğer yöntemler olarak sınıflandırılmaktadır (Sönmez, 2017).

3.1.1. Katı Faz Yöntemleri

Katı faz yöntemleri difüzyonla bağlama ve toz metalurjisi tekniği olmak üzere iki temel başlık altında incelenmektedir (Sur, 2008).

3.1.1.1. Difüzyonla bağlama

Folyo veya levha şeklinde kullanılan matris malzemesinin içerisine arzu edilen açıda ve miktarda takviye malzemesi katıldıktan sonra ergime sıcaklığına yakın bir sıcaklıkta haddelenerek veya preslenerek matris ile takviye malzemesi arasında bağ oluşması sağlanır. Oluşan bağlar sayesinde kompozit malzeme üretilmiş olur. Bu yöntem vakum altında presleme yöntemi olarakta bilinmektedir (Akın, 2006).

3.1.1.2. Toz metalurjisi tekniği (TM)

Bu yöntemde arzu edilen miktardaki matris ve takviye malzemesi toz halinde öncelikle karıştırma işlemine tabi tutulur. Karıştırma işleminin ardından toz karışımı, kalıba boşaltılır ve presleme işlemi uygulanır. Karışım malzemeleri arasında bağ oluşturabilmek için de ergime sıcaklığının altında ki bir sıcaklıkta malzeme sinterleme işlemine tabi tutularak kompozit malzeme üretilmiş olur. Toz presleme ve sinterleme işlemlerinin ayrı yapıldığı bu yöntemde elde edilen malzemedeki yoğunluk istenilen değerlerde değildir. Bu sebeple soğuk presleme ve sinterleme işlemlerinin aynı anda yapıldığı sıcak presleme (HP) işlemi uygulanmaktadır. Bu yöntemle yoğunluk değerleri istenilen seviyelerde olurken, takviye-matris arayüzey bağda önemli ölçüde kuvvetlenmiş olmaktadır. Üretilen malzeme ekstrüzyon, haddeleme ve dövme gibi işlemlerle şekillendirilerek kullanıma hazır hale gelmektedir (Akın, 2006).

3.1.2. Sıvı Faz Yöntemleri

Metal matrisli kompozit malzeme üretimlerinden olan sıvı faz yöntemleri 4 farklı teknikle uygulanabilmektedir. Bunlar; sıvı metal infiltrasyon, sıkıştırma döküm, sıvı metal karıştırma ve plazma püskürtme yöntemleridir.

3.1.2.1. Sıvı metal infiltrasyon yöntemi

Bu yöntemde istenilen malzemenin özelliklerine göre döküm yapılacak kabın içerisine yerleştirilen fiberlerin yönlendirilmesi ve hacimsel oranı ayarlanır. Sonrasına sıvı metal bu fiberlerin arasına dökülerek emdirilmesi sağlanır ve soğutmaya bırakılır. Kullanılan fiber oranı arttıkça fiberler arası mesafenin azalması, ergimiş metalin emdirilmesini zorlaştırmaktadır. Bu gibi durumlarda basınç yada vakum altında emdirilme işlemi uygulanmaktadır. Böylece fiberler arasındaki hava boşlukları minimize edilerek homojen bir yapı sağlanmaktadır.

3.1.2.2. Sıkıştırma döküm yöntemi

Sıkıştırma döküm yönteminde ilk önce ön ısıtma yapılmış takviye malzemelerini metal bir kalıp içerisine yerleştirilir. Sonrasında ergimiş metal kuvvet uygulanarak emdirilerek yüksek basınç altında katılaştırılması sağlanır.

3.1.2.3. Sıvı metal karıştırma yöntemi

Bu teknikte, sürekli karıştırılan sıvı metal içerisine, ön işlemlerden geçerek hazırlanan takviye malzemeleri karıştırılarak, şekillendirilecek kalıp içerisine döküm yapılır.

3.1.2.4. Plazma püskürtme yöntemi

Parçacık takviyeli metal matrisli kompozitlerin üretiminde daha çok tercih edilen bu yöntemde çok küçük damlacık durumuna getirilen sıvı metal parçacıkları, takviye malzemesi üzerine istenilen kalınlıkta püskürtülmektedir. Püskürtülen sıvı metal takviye malzemesine yapışmakta ve hızla katılma sağlanmaktadır.

3.1.3. Diğer Yöntemler

Metal matrisli kompozit üretim yöntemleri olan katı ve sıvı faz yöntemlerine alternatif olarak uygulanan bu yöntemler başlıca,

1. Rheocasting (karıştırımlı) ve Compocasting (karma) döküm yöntemi
2. Vidalı ekstrüzyon yöntemi
3. In-Situ (yerinde) tekniği
4. XD (ekzotermik dispersiyon) yöntemi (Görener, 2011; Nazik, 2013)

3.1.3.1. Rheocasting (karıştırımlı) ve Compocasting (karma) döküm yöntemi

Karıştırma özellikli ergitme fırınının içerisine yerleştirilen metal, ergitme sıcaklığının 40-50⁰C üzerinde ısıtılmaktadır. Isıtma işlemi sırasında sıcaklığın homojen olması ve bu homojenliğin korunarak matris malzemesinin sıcaklığı kontrollü bir şekilde düşürülmesi sağlanmaktadır. Sıvı metal %40-50 katı hale geldiğinde takviye malzemesi karıştırılarak eklenmekte, eklenme sırasında sıcaklık yükselttilerek takviye malzemesinin ıslatılması sağlanmaktadır. Düşük viskoziteli karışım doğrudan basit kütük şeklinde dökülmesi durumunda yöntem “Rheocasting (karıştırımlı döküm)” olarak adlandırılmakta, ergime sıcaklığının üzerinde karıştırılarak döküm yapılırsa bu seferde “Compocasting (karma döküm)” olarak isimlendirilmektedir.

3.1.3.2. Vidalı ekstrüzyon yöntemi

Bu yöntem Magnezyum (Mg) matrisli metal matrisli kompozit malzeme üretimi için kullanılmaktadır. Magnezyum küçük parçacıklar halinde takviye malzemesi ile bir hazne içerisine doldurularak, karışım hem ısıtma hem de karıştırma işlemine tabi tutularak, hazne içerisinde ilerletilir. Ergime sıcaklığı civarında karışım yarı katı yarı sıvı halde iken karışım sistem sonundaki kalıba dökülerek soğuması sağlanır. Uygulanan bu yöntemle homojen yapıda kompozit malzeme üretimi yapılabilmektedir.

3.1.3.3. In-Situ tekniği

Metal matrisli kompozit üretiminde yaşanan en büyük problem, takviye malzemesinin sıvı metal matris tarafından tam olarak ıslatılamaması sonucu ara yüzeylerde oluşan problemlerdir. In-Situ (yerinde) tekniği, takviye malzemelerinin sıvı metal içerisine yerleştirilerek katılaşmaya bırakılması işlemidir. Bu yöntemle arayüzeylerde oluşan problemler minimize edilerek, mikroyapıları kararlı MMK'ler elde edilmektedir (Dikici, Bedir ve Gavgalı, 2009).

3.1.3.4. XD Tekniği

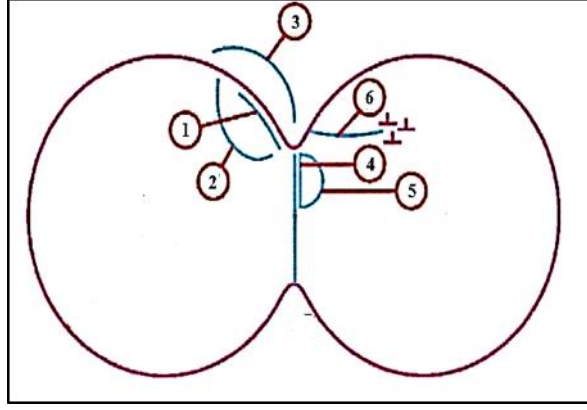
XD tekniğinde takviye malzemesi sıvı metal matris içerisine bir bileşik ilavesi ile yerleştirilmektedir. Takviye malzemeleri sıvı matris içerisinde yerleştirildiğinden ara yüzeylerde oksitlenme problemine rastlanılmamakla birlikte tek kristalli yapılar elde edilmektedir (Görener, 2011; Nazik, 2013).

4. SİNERLEME

Tozlar farklı basınçlarda sıvı malzemeler gibi davranış sergilerler. Bu özellikleri sayesinde otomobil parçalarından seramiklere kadar birçok ürün elde edilebilmektedir. Ancak hangi şekillendirme işlemi (ekstrüzyon, serbest döküm, presleme v.b.) uygulanırsa uygulansın şekillendirilen parçada arzu edilen mukavemet, yoğunluk v.b. değerleri elde edebilmek için sinterleme yapılması gerekmektedir.

Sinterleme, birbiriyle temas halindeki parçacıkların/tozların mutlak ergime sıcaklığının yarısının biraz üzerindeki bir sıcaklığa çıkartılarak parçacıklar/tozlar arasında bağ oluşmasını sağlamaktır. Sinterleme, küçük parçacıkların yüzey enerjisinin azalması ve yüksek sıcaklıklarda atomların yayılımı ile gerçekleşmektedir. Toz üretimi malzemeye enerji vererek, yüzey alanı veya yüzey enerjisi yaratma bunun sonucunda kompozit malzeme üretme işlemidir. Sinterleme ile bu yüzey enerjisi giderilir. Birim hacimdeki yüzey enerjisi, parçacık boyutu azaldıkça artmaktadır. Dolayısıyla küçük ölçüdeki parçacıkların sinterlenmesi daha kısa sürede gerçekleştirilebilmektedir. Sinterleme işlemi ile şekillendirilmiş parçalara mukavemet kazandırılmaktadır. Kısacası sinterleme işlemi, birbiriyle temas halindeki tozların/parçacıkların mukavemet artışı, yüzey alanında küçülme ve genellikle yoğunluğun artmasıyla sonuçlanan ısı işlem çeşidir.

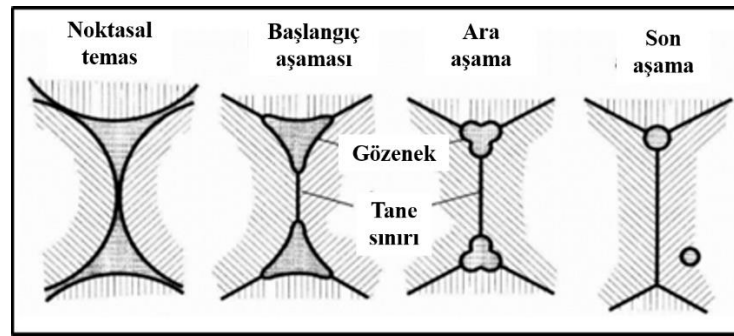
Sinterlemede ana husus, ısı ve kütle taşınması olayıdır. Sinterleme aşamasında kütle taşınımı hızlandırmak için, çıkılabilecek en yüksek sıcaklıklara çıkılıp, bu sıcaklıklarda çalışmayı devam ettirilmekle mümkün olabilmektedir (Şahin, 2015). Yapılan araştırmalar neticesinde sinterleme esnasında atomlar arasında oluşan kütle taşınımı 6 bölgeden oluştuğu belirtilmektedir (Şekil 4.1.). Bu bölgeler; 1- Yüzey difüzyonu 2- Yüzeyden kafese difüzyon 3- Buhar taşınımı 4- Temas noktası difüzyonu 5- Temas noktasından kafese doğru difüzyon 6- Plastik akma bölgeleridir.



Şekil 4.1. Sinterleme esnasında taneler arasında meydana gelen mekanizmalar (Yıldırım, 2003; Kaya, 2016)

Yoğunlaşma olmadan boyun oluşumu 1,2 ve 3 numaralı bölgelerde gerçekleşmektedir. Temas noktası difüzyonu (4) ve temas noktasından kafese doğru ilerleyen difüzyon (5) sinterleme işleminde gerçekleşen en önemli yoğunlaşma mekanizmalarıdır. Şekil üzerinde 6 numara ile gösterilen, genelde metallerin sinterlemesinde etkin olan, dislokasyon hareketi ile gerçekleşen plastik akma boyun oluşumu ve yoğunlaşma ile sonuçlandığı bölgedir (Kaya, 2016).

Difüzyon, basınç ve ısıнын etkisiyle parçacıklar/tozlar arasında bulunan boşlukların giderilmesi sinterleme işleminin yapılmasındaki en temel amaçtır.



Şekil 4.2. Sinterleme işlemi sırasında gözenek yapısının değişimi

Şekil 4.2’te sinterleme aşamaları ve bu aşamalar sırasında gözenek yapısında meydana gelen değişim gösterilmiştir. Başlangıç aşamasında, parçacıkların/tozların temas noktaları artarak boyun oluşumu sağlanmaktadır. Malzeme taşınımı temas eden yüzeylerde daha kolay gerçekleşmektedir. Bunun sebebi temas noktalarında yüzey

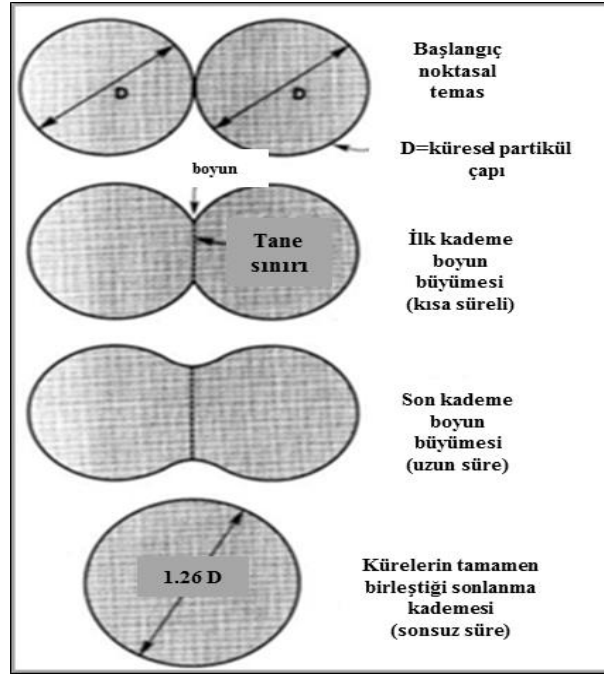
enerjisinin daha fazla olmasıdır. Ara aşamasında boyun bölgesi artarak boşluklar azalmakta ve parçacıkların/tozların temas yüzeyleri daha da artmaktadır. Sinterleme sırasında görülen en fazla çekilme bu aşamada olmaktadır. Azalan boşluk miktarı çekilmenin artmasının başlıca sebebidir. Son aşamada ise tane sınırlarında meydana gelen difüzyon ile boşluklar tamamen kapanmaktadır. Boşlukların kapanması, tane sınırlarının hareketi ve kontrollü tane büyümesinin yardımı ile oluşmaktadır. Tane büyümesinin hızlı oluşması durumunda gözenekler kapanmamakta aksine tane sınırları arasında izole olmuş boşlukların kalmasına neden olmaktadır.

4.1. Sinterleme Çeşitleri

Katı, sıvı ve basınç destekli olarak üç gruba ayrılan sinterleme işlemi, malzemenin cinsi, numunenin şekli ve numunenin büyüklüğüne bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

4.1.1. Katı Faz Sinterlemesi

Katı faz sinterlemesi, metal parçacıkların/tozların sinterleme için gerekli olan sıcaklıkta ve katı halde iken yoğunlaşması sağlanması olayıdır. Isıtılan parçacıkların/tozların kendi arasında bağ kurması sağlanır. Tanelerde büyüme görülür. Büyümenin etkisi ile tane sınırları ve serbest yüzeyler azalarak yüzey enerjisi düşmesine sebep olur. Hacim korunur ve yüzey enerjisi en alt seviyeye düşürülür. Bu da parçacığın/tozun son şeklini belirler. Parçacıklar üzerindeki temas noktaları genişler ve parçacıklar birleşir. Sürenin sonunda birleşen parçacıklar daha büyük boyutlu tek bir parçacık oluşturur. Şekil 4.3'te iki kürenin sinterleme aşamaları gösterilmektedir. Şekilde uzun süreli sinterleme işlemine tabi tutulan küreler tamamen birleştiği, sonuçta başlangıç çapının 1.26 katı büyüklüğünde tek bir küre oluştuğu görülmektedir (Çivi, 2016).



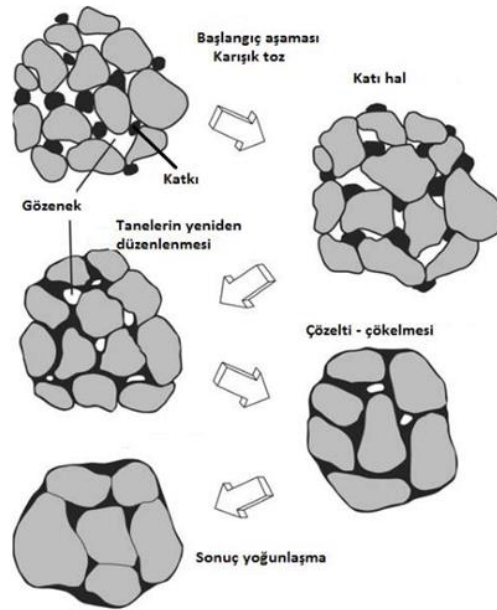
Şekil 4.3. İki kürenin sinterleme aşamaları

Sinterleme sonucunda yoğunluğu ve mukavemeti artmış, gözenekleri(boşlukları) azalmış yapılar elde edilmektedir. Ancak boşluklar, sinterleme işlemi süresince 3 farklı etkileşimde bulunabilirler. Bunlardan birincisinde boşluklar tane sınırında kalır ve tanelerin birleşerek büyümesini engelleyebilir, dolayısıyla yoğunlaşma meydana gelmez. İkinci etkileşimde hareket eden tane sınırları tarafından boşluklar sürüklenir, buda tane büyümesini yavaşlatabilir. Üçüncüsünde ise tane sınırları boşluklardan koparak ayrılabilme ihtimalidir. Bu nedenle işlemler süresince sinterleme sıcaklığı çok iyi ayarlanmış olmalıdır. Ayrıca parçacıkların/tozların ham yoğunluğu da dikkat edilmesi gerek hususlardandır (Çivi, 2016).

4.1.2. Sıvı Faz Sinterlemesi

Eski çağlardan beri uygulanmakta olan sıvı faz sinterlemesi, 1920'lerden sonra gelişme sağlanarak günümüzde birçok malzemenin üretilmesinde kullanılmıştır. Dış porselenleri, sementit karbür kesici takımlar, otomobillerin piston kolları gibi birçok malzeme bu yöntemle üretilmektedir (German, 2014). Katı faz sinterlemelerinde karşılaşılan tane büyümesinin yoğunlaşma sürecini yavaşlatması dolayısıyla yüksek yoğunluklu malzemelerin elde edilmesinin zorluğu sıvı faz sinterlemesini gerekli kılmıştır (Çelik, 2010). Geniş aralıklarda ergiyen katı eriyiklere ve kompozit

malzemelere uygulanan sıvı faz sinterlemede katı taneler sıvı faz içerisinde kısmi olarak çözünme göstererek sıvının katı malzemeyi ıslatmasını sağlamaktadır. Islanma sonucu taneler arasındaki sıvının sayesinde taneleri bir arada tutan kapiler kuvvet oluşur. Sıcaklık arttıkça katı malzemede yumuşama başlamaktadır. Küçük boyutlu tanelerin büyük boyutlu taneler üzerinde çökelmeleri ile oluşan katı ergiyikten tekrar çökmesi ile tane büyümesi gerçekleşir. Tane büyümesinin yanında süreç sırasında kalan gözenekler dolmaya devam eder. Böylece katı malzeme daha iyi paketlenir ve kalan diğer boşluklar sıvı ile daha iyi kaplanır. Sonuç ürün istenen özellikte bir kompozittir ve sıvı faz sinterleme sayesinde daha etkin bir sinterleme sağlanır (Şekil 4.4.). Bu yöntemle düşük sinterleme sıcaklıklarında, hızlı sinterleme işlemi gerçekleşmektedir. Bunun nedeni de sıvının katı içerisindeki üstün hareketliliği ve kapiler (kılcallık) etkinin tüm yapıda oluşmasıdır (Cengiz, 2016)



Şekil 4.4. Sıvı faz sinterleme mekanizmasının aşamaları (Cengiz, 2016)

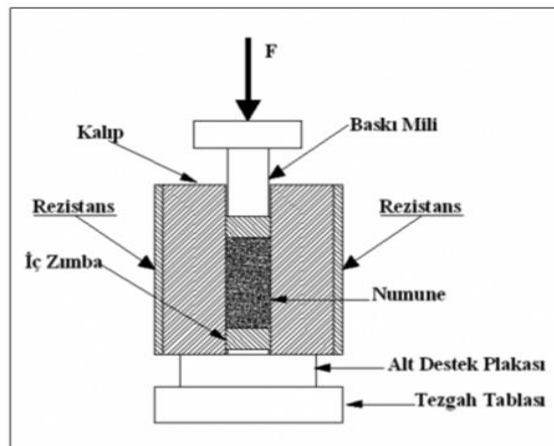
4.1.3. Basınç Destekli Sinterleme

Basınç destekli sinterleme teknikleri, katı ve sıvı faz sinterleme sonunda istenilen yoğunluk değerlerinin ulaşılamaması neticesinde uygulamaya başlanılmıştır. Basınç destekli sinterlemede malzemeye dışarıdan bir basınç uygulanır. Dışarıdan uygulanan bu basınç ile amaç, tane büyümesi hızını etkilemeden yoğunlaşma için itici güçlerin

arttırılmasıdır. Fakat üretim maliyetlerindeki artış, basınç destekli sinterlemenin dezavantajındandır. Bu yöntemler, genel olarak basınç uygulanmayan diğer sinterleme yöntemlerine göre daha iyi sonuç verir ve yeni malzemelerin araştırmaları ve geliştirilmeleri için kullanılan bir metottur (Çelik, 2010). Basınç yardımı ile sinterleme sıcak presleme, sıcak izostatik presleme ve spark plazma sinterleme olarak 3 farklı yöntemle gerçekleştirilmektedir.

4.1.3.1. Sıcak Presleme

Sinterleme performansı düşük olan ve üstün nitelikli malzeme üretilmesinde kullanılan bu yöntem, sıvı faz ile üretilmeyen malzemelerin üretilmesinde kullanılmaktadır. Birçok oksit ve karbür seramiklerinin (Al_2O_3 , SiC, B_4C) sinterlemesinde kullanılmaktadır. Bu işlemden presleme işlemi tek veya çift hareketli zımba ile yapılabilmektedir. İşlem tek eksenli basınç kullanılarak kalıp içerisinde gerçekleştirilir. Şekil 4.5'te tek eksenli basınç kullanılarak kalıp içerisinde sıcak presleme işlemi gösterilmektedir. İlk yoğunlaşma kalıp içerisinde parçacıkların temas noktalarında plastik akış ile gerçekleşmektedir. Sinterleme için uygulanması gereken sıcaklık bu teknikte kritik bir faktördür. Kullanılacak olan kalıbın malzemesi bu yöntemde kullanılabilecek maksimum sıcaklığı belirlemektedir. Ayrıca bu yöntemde fazla 10MPa basınç uygulanabilmektedir. Yüksek sertlik ve toklukta malzeme üretme amaçlı kullanılan sıcak presleme işleminde kullanılan ekipmanlar pahalı olması bu tekniğin dezavantajlarındandır (Nas, Gökkaya ve Sur, 2013; Sepin, 2004).



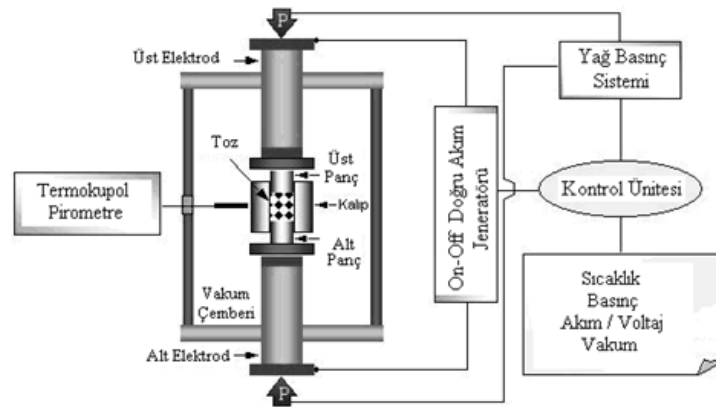
Şekil 4.5. Sıcak presleme sisteminin şematik gösterimi (Şahin, 2015)

4.1.3.2. Sıcak izostatik presleme (HIP)

Sıcak izostatik presleme metallerdeki döküm hatalarını azaltmak ve seramiklerde yoğunluğu arttırmak amaçlı uygulanan bir işlemdir. HIP yönteminin sıcak preslemeden farkı, tozlara uygulanan basıncın tek yönden değil her yönden uygulanmasıdır. Bu yöntemde tozların sıkıştırılıp şekillendirilmesi ve sinterlenmesi bir arada gerçekleşmektedir. Kısaca sıcak izostatik presleme, aynı eksen üzerinde uygulanan basınç ile basınç kabının ısıtılmasıyla tozların daha az kuvvetle daha fazla yoğunlukta elde edilmesi işlemidir. Sıcak izostatik preslemede basınçlandırma işlemi ağırlıklı olarak argon gazı atmosferi altında olsa da diğer soy gaz ortamlarında da basınçlandırma yapılmaktadır (Aybarç, Kara, Çubuklusu ve Çe, 2017)

4.1.3.3. Spark plazma sinterleme (SPS)

Spark plazma sinterleme tekniği ile çeşitli malzemeler (kompozitler, metaller, seramikler, polimerler v.b.) sinterlenebilmektedir. Bu teknikte grafit kalıp içerisinde sinterlenmek istenen malzemeye elektrik akımı verilir. Bu şekilde dakikada 600°C gibi yüksek ısıtma ve soğutma hızlarına çıkılabilmektedir. Bu da sinterleme süresinin kısa sürede tamamlanmasını sağlamaktadır. SPS tekniğinde malzeme içeriden ısınması, SPS tekniğini diğer tekniklerden ayıran bir husustur. Yine SPS tekniğinin diğer yöntemlere göre kolay olması, düşük maliyetli oluşu ve yüksek hızda sinterleme imkânı sağlaması, bu yöntemin ön plana çıkan özellikleri arasındadır. Ayrıca bu yöntemde ısıtıcıya gerek duyulmamaktadır. Kalıp içerisine elektrik akımını gönderen jeneratör, bu sistemde ısıtıcı görevini görmektedir (Şekil 4.6.) (Uygun, 2010).



Şekil 4.6. SPS sisteminin şematik gösterimi (Gençkan, 2009)

4.2. Sinterlemeyi etkileyen faktörler

Sinterlenecek olan parçacıkların/tozların karakteristik özellikleri (boyutu ve dağılımı, tanelerin şekli, tane aglomerasyonu), kullanılan ilave maddeler ve sinterleme atmosferi sinterlemeyi etkileyen faktörlerden başlıcalarındandır (Gençkan, 2009).

4.2.1. Parçacık/Toz Karakteristikleri

4.2.1.1. Toz boyutu ve dağılımı

Toz boyutu sinterleme aşamasında oluşan boyun büyümesinde etkin bir faktördür. Yüzey difüzyonu ve tane sınırı difüzyonu toz boyutundan çok etkilenmektedir. Yüksek yüzey alanı nedeniyle düşük tane boyutlu parçacıklar/tozlar birim hacim başına yüksek ara yüzey içeriğine sahiptir. Bu da sinterleme aşaması için yüksek itici gücü sağlamaktadır.

Toz boyutu dağılımı sinterlemenin son adımında etkin bir parametredir. Düşük tane boyutlu dağılımlarda sinterleme sonunda yüksek sinterleme yoğunlukları elde edilmektedir. Sonuçta tüm bu etmenler sinterleme aşamasının hızlanmasını sağlamaktadır (Gençkan, 2009; Palacı, 2001).

4.2.1.2. Tane şekli

Küresel taneli tozlar/parçacıklar birim hacimde düşük yüzey alanına sahiptir. Düşük yüzey alanına sahip küresel taneli tozların sinterlemesi yavaş olmaktadır. Yoğunlukta arzu edilen sonuca ulaşmak için tozların/parçacıkların tane şekillerinin aynı olmasına dikkat edilmelidir (Gençkan, 2009).

4.2.1.3. Tane aglomerasyonu

Toz parçacıkları her zaman tek bir yapıda olmayabilirler. Bazı zamanlarda toz taneleri amorf yapıda bulunabilmektedir. Amorf yapı, katı atomların kararsız bir kristal yapıya sahip olmasıdır. Amorf yapı olarak oluşan tane bileşenlerine “aglomerasyon” denilmektedir. Tek yapıda birden çok parçacığın katı halde bulunması olarak ta

nitelendirilmektedir. Yapılar birbirine zayıf bağlanmışsa “aglomere” olarak isimlendirilmekte, aradaki bağ güçlü ise “agreget (sert aglomere)” adını almaktadır. Aglomerasyon yapı kompozit malzeme üretiminde istenmeyen bir durumdur. Çünkü bu yapılarda gözenekler fazla olduğundan sinterleme süresinin artmasına sebep olur (Gençkan, 2009; URL-3, 2018).

4.2.2. İlave Maddeler

Sinterleme esnasında katkı maddelerinin kullanılmasında çeşitli amaçlar bulunmaktadır. Sıvı faz oluşturmak, tane büyümesini engellemek, tane sınırlarını ayırmak, serbest yüzey enerjisiyle tane sınır enerjisinin oranını değiştirmek bu amaçların başlıcalarıdır (Gençkan, 2009).

4.2.3. Sinterleme Atmosferleri

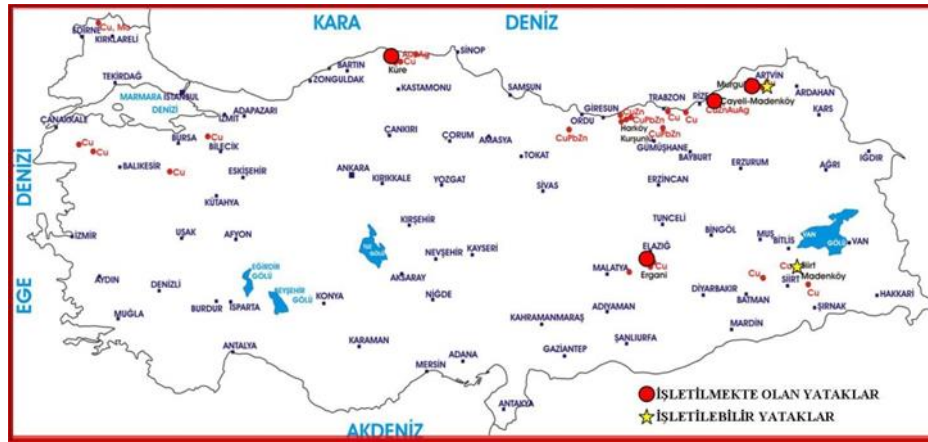
Sinterleme esnasında kullanılacak atmosfer dikkat edilmesi gerek hususlardan birisidir. Boyun oluşmasında ve tane bilişiminde dolayısıyla yoğunlaşma ve mikroyapı üzerine etkisi gaz çözünürlüğü, katkı maddeleri ve toz ile reaksiyonu ile ilgili sinterleme atmosferi önemli bir etkiye sahiptir. Kullanılacak olan atmosferlerde en önemli husus sinterlemede kullanılacak ürünün sinterleme sıcaklığındaki kısmi basıncıyla dengeli olmasıdır. Bu amaçla oluşturulan toz/parça karışımlarının sinterlemesi esnasında en uygun atmosfer seçilmelidir. Genel olarak kullanılan yedi çeşit sinterleme atmosferi vardır. Bunlar: hava, atıl (inert) gaz, hidrojen, parçalanmış amonyak, azot esaslı ortam, doğalgaz esaslı ortam ve vakumdur. Hava atmosferi, azot, argon, oksijen ve hidrojen sinterleme atmosferi olarak kullanılan saf gazlardır. Endüstriyel amaçlı yapılan sinterlemede kullanılan atmosferler ağırlıklı olarak bu saf gazların karışımı yada yanma ürünü gazlardandır. Seçilecek olan atmosferin sinterleme esnasındaki etkilerine ait örneklendirme yapılacak olursa en güzel örnekler biri Al_2O_3 'dur. Alümina, O_2 ve H_2 atmosferi altında sinterlendiğinde teorik yoğunluğa ulaşabilmektedir. Ancak N_2 , He, Ar atmosferi altında sinterlendiğinde yoğunluk istenilen düzeyde olmamaktadır. N_2 , He, Ar alümina ile tam olarak çözünme sağlanmamaktadır. Dolayısıyla sinterleme esnasında yapı içerisinde gözenekler kalır, hapsolür. Dolayısıyla sinterleme işlemi sonrasında istenilen yoğunlaşma elde

edilememektedir. Ar ve He gibi soygazlar buharlaşmayı azaltma ve yüksek düzeylere saflaştırılabildiği için reaktif malzemelerin sinterlemesi aşamasında daha çok kullanışlıdır (German, 2014).

5. BAKIR (Cu)

5.1. Bakırın Üretimi ve Tarihçesi

Günümüzde geniş bir kullanım alanına sahip bakırın tarihi onbin yıl öncesine kadar dayanmaktadır. Bilinen en eski bakır yatakları Kıbrıs adasında bulunmaktadır. Şili, Peru, ABD, Avustralya, Çin, Rusya, Alaska, Kongo, Zambiya ve Kanada’da bulunan yataklar da dünyadaki bakır yataklarındandır. Ülkemizde, içerisinde MTA’da olmak üzere 650 civarında yerli ve yabancı şirketler tarafından çalıştırılan bakır madeni bulunmaktadır. Küre (Kastamonu), Murgul (Artvin), Çayeli-Madenköy (Rize), Lahanos (Giresun), Ergani (Elazığ), Madenköy (Siirt), Cerattepe (Artvin), Bakırçay (Merzifon/Amasya), Dereköy (Kırklareli), Keban (Elazığ) ülkemizdeki başlıca maden yataklarındandır. Şekil 5.1’de ülkemizde işletilmekte olan ve hali hazırda işletilebilir durumda olan bakır madeni yatakları mevcuttur.

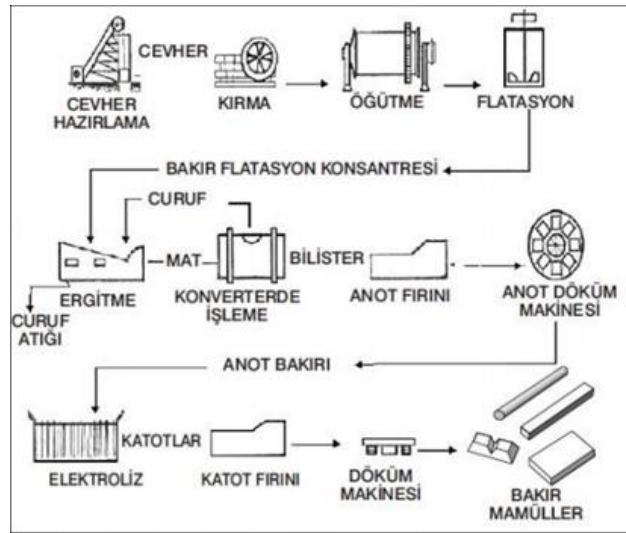


Şekil 5.1. Türkiye’de bulunan bakır madeni yatakları (URL-5,2018)

Kuprit(Cu_2O), tenorit(CuO), kalkosit(Cu_2S), kovellit(CuS), bornit(Cu_5FeS_4), malahit($\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$), azurit($\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$), tennantit ($((\text{Cu},\text{Fe})_{12}\text{As}_4\text{S}_{13})$), tetrahedrit ($((\text{Cu},\text{Fe})_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13})$) ve kalkopirit(CuFeS_2) bakırın üretimi yapılan başlıca mineralleridir (Ünal, Tuncel, Yücel, Yoleri ve Arslan, 2016). Ülkemiz sınırları içerisinde yapılan arkeolojik kazılarda bakırın soğuk işlenmesiyle elde edilmiş, 9000 yıl öncesine ait ürünler bulunmuştur. Dünyanın hemen hemen tüm bölgelerinde bulunması dolayısıyla üretim alanının geniş olması; pirinç, bronz gibi alaşımlar

yapması; endüstrideki öneminin yüksek olması ve iletkenlik özellikleri bakırın önemli bir metal sayılmasının başlıca sebepleridir (URL-4, 2018)

Bakır üretimi, bakır cevherinin hazırlanması ile başlar. Hazırlanan cevher sırasıyla öğütme, zenginleştirme işlemlerine alınır. Ergitme yoluyla mattan, sonrasında da konvertörde bilister olarak üretimi yapılır. Anot fırınında anota bakır dönüştürülürken sonrasında elektrolizde katot bakır üretimi yapılır. Son olarakta ergitilerek külçe halinde getirilen bakır, istenilen ölçülerde işlenerek kullanıma alınır. Şekil 5.2.'de bakır cevherinin üretim aşaması gösterilmektedir (Taşdemir, 2017).



Şekil 5.2. Bakır cevherinin üretim aşamaları (Taşdemir, 2017; URL-1, 2018)

5.2. Bakırın Fiziksel, Kimyasal ve Mekanik Özellikleri

Çelik ve alüminyumdan sonra en çok kullanım alanına sahip bakır elementinin kimyasal simgesi Cu'dur. Gümüşten sonra en iyi ısı ve elektrik iletkenliğe sahiptir. Gümüş, en iyi iletkenliğe sahip element olma özelliğinde olsa da üretim zorluğu ve pahalı olması bakırın endüstrideki önemini ön plana çıkarmıştır (Rüşen, 2013). Gümüş, altın, platin ve civadan daha aktif olan bakır elementi hidrojenen daha pasiftir. Oksijene karşı duyarlı bir element olması sebebiyle atmosferik ortamlara yüzeyinde ince bir oksit tabakası oluşur. Oluşan bu tabaka sayesinde korozyona karşı daha dirençli olmaktadır. Ancak aynı zamanda oluşan bu yeşil renkli oksit tabakası insan sağlığını tehdit etmektedir. Gıda endüstrisinde kullanılan bakır malzemelerinin

üzerinin kalayla kaplanması oluşan bu tehdidi en aza indirmek amaçlıdır. Kübik yüzey merkezli bir kristal yapıya sahiptir. Bu yapısal özelliği sayesinde soğuk şekillendirilebilmektedir. Ancak mukavemeti düşük, döküm ve kaynak kabiliyeti düşüktür. Kırmızı ve kahverengi görünümlüdür. Tablo 5.1’de bakır elementi ile ilgili temel özellikler verilmiştir.

Tablo 5.1. *Bakır(Cu) elementinin fiziksel ve kimyasal özellikleri (Rüşen, 2013)*

Atom numarası	29	Ergime noktası	1357,77 °K 1084,62°C	Elektronegatifliği	1,90 Pauling ölçeği
Element serisi	Geçiş metalleri	Kaynama noktası	2835°K 2562°C	İyonlaşma enerjisi	745,5kJ/mol
Grup, periyot, blok	11,4,d	Ergime ısısı	13,26 kJ/mol	Atom yarıçapı	132±4
Görünüş	Metalik kahverengi, açık kırmızı	Buharlaştırma ısısı	300,4 kJ/mol	Elektrik direnci	16,78 nΩ.m (20°C’de)
Maddenin hali	Katı	Isı kapasitesi	24,440J/(mol. K)	Isıl iletkenlik	401 W/(m.K)
Yoğunluk	8,96 g/cm ³	Kristal Yapısı	Kübik	Isıl genleşme	16,5 μm/(m.K) (25°C’de)
Sıvı haldeki yoğunluğu	8,02 g/cm ³	Yükseltgenme seviyeleri	(2+), (1+)	Brinell sertliği	874 MPa

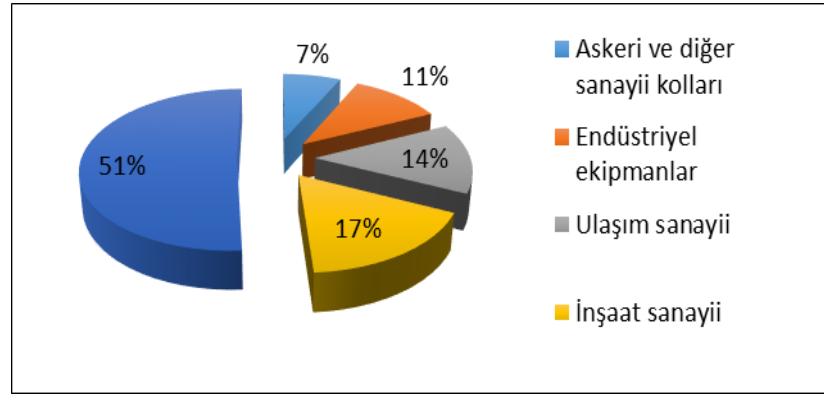
Saf bakıra ilave edilen alaşım elementleri ile bakırın olumsuz bazı özellikleri iyileştirilebilmektedir. Cr, Al, P, Fe, Si, Mn, Zn, Zr, Sn, Ni, Be, Co saf bakırın mukavemetini arttırmak amaçlı katılan elementlerdendir. Pb, Te, S, Zn işlenebilirliğini; Si, Ag, Cd, Sn, Al aşınma dayanımını; Ni, Al, Sn, Mn, As, Fe, Si korozyona dayanımını arttıran elementler iken Zn, Sn, Ni bakırın renk değişimine neden olan alaşım elementleridir.

Bakır matrisli kompozitler üretilirken dikkat edilmesi gereken en önemli husus homojen karışım elde etmektir. Bu şekilde bakırın mekanik özellikleri iyileştirilebilmektedir. Yapılan literatür incelemelerinde bakır matrisli kompozitler oluşturulurken içerisine ağırlıklı olarak Al₂O₃, SiC, B₄C, TiB₂ ve WC takviye edildiği görülmüştür (Islak, Akkaş, Kaya ve Güleç, 2017)

5.3. Bakırın Kullanım Alanı

Bakır ve bakır alaşımlarının 3 önemli özellikleri endüstride yaygın olarak kullanılmasına sebep olmaktadır. Birinci ve en önemli özelliği yüksek elektrik iletkenliğidir. İkincisi ısı geçirgenliğidir. Üçüncüsü ise korozyona karşı dayanıklılığıdır.

Gümüş ve altından sonra en iyi ısı ve elektrik iletkenliğe sahip olması bakırın elektrik ve elektronik teknolojisinde yaygın kullanılmasına sebep olmuştur (Çallı, 2010; Evin, 2006). Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırma Kurumunun (USGS) 2016 yılına ait bakır ve alaşımlarının kullanım alanlarına ait çalışma Şekil 5.3'te verilmiştir.



Şekil 5.3. Bakır ve bakır alaşımlarının sektörlere göre kullanımı (USGS, 2016)

Bakır alaşımları arasında bronz (bakır-kalay) ve pirinç (bakır-çinko) endüstride yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Bronz (Cu-Sn) saf bakır ile kıyaslandığında daha sert ve daha dayanıklı bir malzemedir. Bakıra göre daha kolay döküm özelliği bulunmaktadır. Bakıra göre daha pahalı olması bronzun, kıymetli süs eşyaları, para, anıt yapımında kullanılmasına neden olmuştur. Mangan karışımı bronzlar deniz suyuna dayanıklı olma özelliğini kazanmakta, dolayısıyla gemi yapımında, korozyon ve ısıya dayanıklı makine parçalarında kullanılmasına olanak vermektedir. Pirinç bakıra nazaran daha dayanıklı ve ucuz bir alaşımdır. Kolay eriyebilme ve iyi işlenebilir özelliği bulunmaktadır. Cıvata, pim, vida, musluk vanası, kapı kolu pirinçten yapılan ürünlerdir.

Yukarıda belirtilen ürünler haricinde bakır ve alaşımlarının kullanıldığı başlıca ürünler;

- Orta ve düşük voltaj güç kabloları
- Motor bobini
- Jeneratör
- Transformatör
- Ulaşım endüstrisi (otomobil, gemi, uçak v.b.)
- Sıhhi tesisat
- Soğutucu akışkan devrelerinde bakır boru olarak
- Çatı kaplama
- Veri transferi sağlanması açısından tel olarak
- Cep telefonları, bilgisayarlar v.b. olarak sıralanabilmektedir.

5.4. Literatürde Bakır Üzerine Yapılan Çalışmalar

Bakırın yüksek elektrik ve ısı iletkenliğe sahip olmasına rağmen, çekme, sertlik v.b. mekanik özelliklerinin düşük olması bakır matrisli kompozit malzeme oluşturulmasını veya yaşlandırma ısı ışılemi uygulamasını gerekli kılmıştır. Kompozit malzeme oluşturulurken bakır matris içerisine sert parçacıklı malzeme ilavesi yapılmakta ve bu yönde araştırmalar yapılmaktadır.

Ulutaş, Turhan ve Çinici (2016) yaptıkları literatür araştırmalarında bakır matris içerisine FeB takviyesinin yapılmadığını belirlemişler ve çalışmalarını bu yönde yapmışlardır. 35µm boyutunda Cu tozlarını, ortalama boyutları 50µm olan FeB ile karıştırmışlardır. FeB takviyesini %1 ila % 3,5 arasında seçmişlerdir. Karıştırdıkları tozları 600MPa basınç altında preslemiş akabinde argon gazı atmosferi altında 800°C, 850°C ve 900°C sıcaklıklarında 1 saat süreyle sinterlemişlerdir. Hazırladıkları numuneleri Arşimed prensibine göre yoğunluklarını ölçmüş sonrasında da çapraz kırılma testi uygulamışlardır. Wickers sertlik yöntemi ile sertlik değerlerini ölçtükleri numuneleri metalografik incelemeler yapılmak üzere SEM ve optik mikroskoplarında görüntülerini almışlardır. Sonuç olarak yaptıkları deneyler neticesinde takviye oranı arttıkça yoğunluk değerlerinde düşüş olduğunu belirlemişlerdir. En iyi yoğunluk

değerini 900°C’de %2 ile %2,5 FeB takviyesi olan numunelerden elde ettiklerini ifade etmişlerdir. Sinterleme sıcaklığı arttıkça boşluklarda azalma olduğunu belirlemişlerdir. Yoğunluktaki düşüşün ara yüzeylerden uzaklaştırılamayan boşluklardan kaynaklandığını düşündüklerini belirtmişlerdir. Kırılma enerjisinin takviye oranı arttıkça düştüğünü belirlemişlerdir. En iyi mukavemet değerlerini ise 900°C’de sinterlenmiş %2,5 FeB içeren numuneden elde etmişlerdir.

Ulutaş ve Turhan (2017) yine aynı çalışma üzerinde numunelerin elektrik iletkenlik değerlerini incelemişlerdir. İncelemelerinde takviye oranı %2’ye kadar olan numunelerde elektriksel iletkenlik değerlerinin artışlarında çok küçük direnç farklılıkları ortaya çıktığını belirlemişlerdir. Elektrik iletkenlik değerlerinde, %2,5 FeB ilavesinden sonra kayıpların azaldığı, %2’ye kadar bu değerlerin sabit kaldığını gözlemlediklerini belirtmişlerdir. Sinterleme sıcaklığının arttıkça elektrik iletkenlik değerlerinde kayda değer bir düzeyde etkilenmediğini, takviye oranı artışına bağlı sinterleme sıcaklığı artışının, numunelerin iletkenlik değerlerini iyileştirdiğini tespit etmişlerdir.

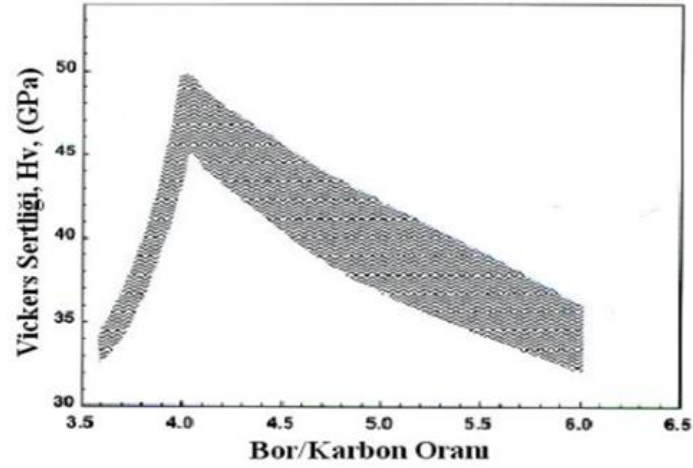
İpek, Çuvalcı ve Çelebi (2017) bakır matris içerisine B₄C ilave ederek Cu’nun mekanik özelliklerini iyileştirmeye çalışmışlardır. Yaptıkları çalışmada bakır matris içerisine %2, 4, 6, 8 ve 10 oranlarında B₄C ilave etmişlerdir. Toz metalurjisi yöntemiyle hazırladıkları numuneleri argon atmosferi altında 900°C’de 735MPa basınçta 1 ila 3 saat arasında sinterleme işlemine tabi tutmuşlardır. Ürettikleri numuneleri SEM-EDS yöntemi ile içeriklerini incelemişler, optik mikroskopunda mikroyapılarını görüntülemişlerdir. Sertlik ölçümleri için Brinell sertlik yöntemini kullanmışlardır. Aşınma kaybını ise pim-on-disk yöntemi kullanılarak ölçmüşler, elde ettikleri verilerle çalışmalarını sonlandırmışlardır. Yaptıkları metalografik incelemelerde takviye oranı arttıkça gözeneklerin arttığını görmüşlerdir. Sertlik ölçümlerinde artan takviye oranına bağlı olarak sertlik değerlerinde de artış olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca sinterleme süresinin artmasıyla aşınma kaybının azaldığını da gözlemlemişlerdir.

Son yıllarda üretilen bakır matrisli kompozitlerde, takviye elemanı olarak SiC, TiB₂ ve Al₂O₃ üzerinde yoğunlaştığı, silikat grubu seramiklerle ilgili üretimin sınırlı olduğu

görülmektedir. Özay ve Haşçalık (2004) bu hususu dikkate alarak bakır matris içerisine karbon ve alüminyum silikat ilave ederek, ürettikleri numunelerde farklı oranlarda ilave ettikleri takviye malzemelerinin abrasiv aşınma davranışlarına etkilerini araştırmışlardır. Başlangıç aşamasında 43µm boyutunda Cu tozlarının içerisine 60 µm %5, 10 ve 15 oranlarında alüminyum silikat ve karbon tozları ilave ederek karıştırma işlemi sonrasında 600MPa soğuk pres uygulayarak numuneler elde etmişlerdir. Elde ettikleri numuneleri 900°C'de 60dk sinterleme işlemine tabi tutmuşlardır. Sinterleme işlemi sonrasında numuneleri optik ve elektron mikroskopunda görüntüleyebilmek amacıyla yüzey parlatma işlemi uygulamışlardır. Pim-disk aşınma cihazında aşınma deneyi uyguladıkları numunelerden elde ettikleri verileri değerlendirerek çalışmalarına son vermişlerdir. Elde ettikleri optik ve elektron mikroskobu görüntülerine göre farklı oranlarda ürettikleri numunelerde homojen yapı oluştuğunu belirtmişlerdir. X-Ray cihazından elde ettikleri verilere göre, bileşiklerin oluştuğunu ancak karbonun bakır matris içerisinde çözünmediğini dolayısıyla metalurjik bağlanmanın oluşmadığını, Cu ve C arayüzey mukavemetinin yeterli olmadığını belirlediklerini ifade etmişlerdir. Fark yük altında yaptıkları abrasiv testlerine göre ise hacim oranı arttıkça ağırlık kaybının arttığını ölçtüklerini belirtmişlerdir.

Karakulak (2017) yaptığı çalışmada Cu matris içerisine ağırlıkça %5 ilavesine kadar Titanyum tozları ilave ederek Cu-Ti kompozitinin aşınma dayanımını incelemiştir. Amacı Cu'nun olumsuz mekanik özelliklerini iyileştirmek, ihtiyaç duyulan yüksek aşınma dayanımına sahip malzeme üretmektir. Hazırladığı Cu-Ti tozlarını mekanik karıştırıcıda 4 saat süreyle karıştırmış, ardından sıcak preste grafit kalıplarda 9000C sıcaklıkta 45MPa basınç altında 15dk süreyle sinterlemiştir. Arşimed prensibi ile ölçmüş olduğu yoğunluk değerlerinde, tüm numunelerin bağıl yoğunluklarının teorik yoğunluğun %95'ine ulaştığını görmüştür. Malzemelerin mikroyapılarında Ti partikülleri etrafında 4 katmanlı intermetalik fazların oluştuğunu, bunların Cu matrise gidildikçe azaldığını, Vickers yöntemi ile ölçtüğü sertlik deneyleri sonucunda malzemelerin artan takviye oranına bağlı olarak sertlik değerlerinde de artış olduğunu belirlemiştir. Ball-on-disc yöntemi kullanarak yapmış olduğu aşınma testleri sonucunda saf Cu malzemesinde plastik deformasyon oluştuğu, %5 Ti ilaveli kompozitte ise abrasiv aşınma etkilerinin görüldüğünü belirlemiştir.

Ticari bor karbürün bileşiminin 4:1 bor:karbon stokiyometrisine yakın yapıda olması istenmektedir (Çağlar, 2015). Bor karbür bileşiklerinde yüksek verim, B/C oranının kontrol altında tutulmasıyla sağlanabilmektedir. Sertlik değeri, B/C oranının 4 olduğu durumda en yüksek değerlere ulaşmaktadır. B/C oranında bor oranı arttıkça sertlik değerinde düşüş gözlenmektedir (Şekil 6.3.).



Şekil 6.3. Bor/karbon oranının sertlik üzerine etkisi (Alkan, 2008)

6.2. Bor Karbürün Fiziksel, Kimyasal Ve Mekanik Özellikleri

Bor karbür metal olmayan ağır malzemeler içinde (alümina, silikon karbit, silikon nitrit, elmas yada kübik bor nitrit v.b.) özel bir yer tutmaktadır (Thévenot, 1990). Kimyasallara karşı yüksek kararlılığı, iyi mukavemet özellikleri, nötron emme kabiliyeti, düşük yoğunluğu gibi birçok üstün özelliğiyle endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Kübik bor nitrür (cBN) ve elmastan sonra sertlikte üçüncü sırada borkarbür yer almaktadır (Alp, Karaçay ve Cabbar, 2013). Artan sıcaklığa rağmen borkarbürün sertliğinde ki düşüş miktarı azdır. Bu da bor karbürün en önemli özelliklerinden birisidir (Karaçay, Alp ve Cabbar, 2011; Ergün, 2006).

Bor karbür bilinen en kararlı bileşiklerdendir. Asit ve bazlarla kolaylıkla tepkimeye girmeme özelliği de bu kararlı yapısından ileri gelmektedir. HF-H₂SO₄ (Hidroflorik asit – sülfürik asit) veya HF-HNO₃ (Hidroflorik asit – nitrik asit) asit karışımlarında çok uzun süre bekletildiğinde çok az çözünme gösterirler. Çok ufak tane boyutlarına

sahip bor karbür tozları nemli havalarda bir miktar oksitlenir ve yüzey tabakasında bor oksit, borik asit filmi oluşabilmektedir (Alkan, 2008).

Bor Karbürün bazı fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 6.1. B_4C ’ün fiziksel ve mekanik özellikleri (Alkan, 2008)

Mol Ağırlığı (g/mol)		55,25
Renk		Siyah
Teorik Yoğunluğu ($kg/m^3 \cdot 10^{-3}$)		2,52
Ergime Sıcaklığı ($^{\circ}C$)		2470
Kristal Yapısı		Rhombohedral
Latis Parametreleri	a (nm)	0,561
	b (nm)	-
	c (nm)	1,212
Termal Genleşme Katsayısı α ($10^{-6}/K$)	298-773 K	4,78
	773-1273 K	5,54
	1273-1773 K	6,02
	1773-2273 K	6,53
Termal İletkenlik Katsayısı κ (W/m.K)	298-773 K	28
	773-1273 K	16
Mikro sertlik (1N) (GPa)		31,5
Young Modülü, E (GPa)		427
Poisson Oranı, ν		0,17-0,21
Eğme Mukavemeti, $\sigma_{eğme}$ (MPa)		340
Basma Mukavemeti, σ_{basma} (MPa)		1660
Çekme Mukavemeti, σ_c (MPa)		73
Kırılma Tokluğu ($MPa \cdot m^{1/2}$)		2,9-3,7
Elektriksel Direnç, $\rho \times 10^8$ ($\Omega \cdot m$)		~ 1000

6.3. Bor Karbürün Üretim Yöntemleri

Literatürde bor karbürün üretimi ile ilgili pek çok üretim tekniği mevcuttur. Sol-jel yöntemi, Karbotermal indirgeme tekniği, metalotermik redüksiyon, kimyasal buhar biriktirme (CVD) ve kendiliğinden ilerleyen yüksek sıcaklık (SHS) yöntemleri bu üretim yöntemlerinden bazılarıdır (Alp, Karaçay ve Cabbar, 2013).

6.4. Bor Karbürün Kullanım Alanları

Bor karbür, makine, kimya ve nükleer sanayilerinde doğrudan kullanılmaktadır. Günümüz nükleer teknolojinin vazgeçilmez bir unsuru olmuştur. Üstün fiziksel ve mekanik özellikleri sayesinde bisiklet iskeletinden golf sopasına, termokupllardan jet motorlarına kadar geniş bir kullanım alanına sahiptir.

Bor karbürün başlıca kullanım alanları;

- Askeri araçlarda zırh plakaları,
- Uzay mekiklerinde kimyasal korozyon ortamlarında dış yüzey koruyucu,
- Regülasyon, Kontrol ve zırhlama amacıyla nükleer reaktörlerde,
- Nükleer sanayinde nötron absorblayıcı,
- Serbest partiküllü aşındırıcılar,
- Kumlama nozülleri,
- Su jeti nozülleri,
- Tel hadde lokmaları,
- Ekstrüder memeleri,
- Otomatik havanlar,
- Tekstilde iplik yönlendiriciler,
- Filtreler, Bujiler,
- Tesviye aksamaları,
- Yüzey Polisaj Pastaları,
- Transformatörlerde silisli saç yerine,
- Kesme ekipman bileycileri,
- Endüstriyel yataklar,
- Çok yüksek sıcaklıklarda korozyon ve oksitlenme direnci gerektiren ekipmanlar,
- Refrakter malzeme olarak sıralandırılabilir (Öğünç, 2006)

6.5. Literatürde Bor Karbürün Kullanıldığı Çalışmalar

6.5.1. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımlarında B₄C Kullanılarak Kompozit Malzeme Üretimi

Alüminyum matrisli kompozitler özellikle son yıllarda hafiflikleri, yüksek mukavemetleri, düşük ısıl genleşme katsayıları ve iyi aşınma dirençleri gibi özellikleriyle ön plana çıkmaktadır. Alüminyum matrisli kompozitlerde takviye olarak Al₂O₃, SiC, TiC ve B₄C gibi malzemeler kullanılmaktadır. Bu takviyeler arasında yüksek sertlik, düşük yoğunluk (2,52 g/cm³), yüksek rijitlik, iyi değerlerdeki ısıl kararlılık ve kimyasal inertliği (kimyasal tepkime vermeye yatkın olmama) gibi özellikleri nedeniyle B₄C, alüminyum ve alaşımları için cazip bir takviye malzemesidir. B₄C'nin bu özelliklerini Al matrisli kompozitlerin diğer üstün özellikleriyle birleştiren Al-B₄C kompozitleri, özellikle havacılık, uzay ve otomotiv gibi alanlarda kullanılmak üzere üretilmektedir.

Al tozunun matris, B₄C tozunu ise takviye elemanı olarak kullanıldığı kompozitlerin toz metalürjisi yöntemiyle üretimi yapılabilmektedir. Orhan, Gür ve Çalığülü (2007) yaptıkları çalışmada %99 saflıktaki Al tozunu matris, %99 saflığa sahip B₄C tozunu ise takviye elemanı olarak kullanıp, ağırlıkça farklı oranlara sahip metal matrisli kompozit malzemeler üretmişlerdir. Takviye malzemesi olan B₄C ağırlıkça %10, %20 ve %30 oranlarında seçmişlerdir. Toz metalürjisi yöntemiyle ürettikleri kompozitlerdeki gözenek miktarının minimuma indirmek ve takviye malzemesinin homojen dağılım sergilemesi amaçlı olarak sinterleme işlemi uygulamışlardır. Çalışmalarının sonucunda Al matrisli B₄C takviyeli kompozitlerde homojen bir dağılım sergilediğini ve ağırlık oranlarına paralel olarak mikrosertliklerde değişimin olduğunu saptadıklarını belirtmişlerdir. En yüksek sertlik değerini %30 B₄C ilaveli kompozitten elde etmişler, yaptıkları çalışmada 550⁰C sinterleme sıcaklığında ürettikleri kompozitlerde takviye oranı arttıkça numunelerin yoğunluklarında düşüş olduğunu belirtmişlerdir.

Yapılan literatür incelemesinde gaz atomizasyonu yöntemiyle üretilen AA7075 matrisi içerisine B₄C ilavesi yapılarak mekanik alaşımlama yöntemiyle kompozit

malzeme üretilmektedir. Nazik (2013) yapmış olduğu yüksek lisans tez çalışmasında ilk olarak gaz atomizasyonu yöntemiyle AA7075 metal tozu üretmiş, sonrasında mekanik alaşımlama yöntemiyle AA7075 metal matris içerisine %5, %10, %15 ve %20 oranlarında B₄C parçacık takviyeleri katmıştır. Oluşan karışımları öğüttükten sonra sıcak presleme yaparak kompozit malzemeler üretmiştir. Üretim aşaması sonrasında yaptığı deney ve analizler neticesinde kompozitlerde homojen bir yapı oluştuğunu; sertliğin artan takviye oranına bağlı olarak arttığını belirtmiştir.

Literatürde, toz metalürjisi yöntemiyle üretilen Al matrisli B₄C takviyeli kompozitlerin yapı, mekanik ve abrasif aşınma özelliklerinin takviye hacim oranına bağlı olarak meydana gelen değişimleri incelenmektedir. Hasırcı ve Ferhat (2010) hazırladıkları saf Al matrisli B₄C takviyeli kompozitlerde bu değişimleri incelemişlerdir. Kompozitlerin üretimi için saf alüminyum ve %5, %10 ve %20 oranlarında B₄C tozları kullanmışlardır. Parçacıkları ilk olarak bir karıştırıcı içerisinde karıştırmış, ardından preslemiş ve sonrasında da sinterlemişlerdir. Hazırladıkları numunelerin mikro yapıları ve sertlik değerlerini ölçtükten sonra aşınma testlerine tabi tutmuşlardır. Abrasif aşınma testlerini, disk üzerinde pim aşınma test cihazında Al₂O₃ zımparalar kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Testler sırasında meydana gelen ağırlık kaybı değerlerini ölçerek tespit etmişler ve aşınan yüzeyleri görüntüleyerek numunelerin aşınma karakteristiklerini belirlemişlerdir. Sonuç olarak ürettikleri numuneleri incelediklerinde, Al matris içerisine ilave ettikleri B₄C parçacıklarının homojen bir şekilde dağıldığını, ancak bu homojenliğin takviye malzemesi arttıkça azaldığını gözlemlediklerini, takviye malzemesinin kompozitin sertliğinde artış meydana getirdiğini belirtmişlerdir. Genel olarak, en iyi aşınma direncini %10 B₄C parçacık takviye edilmiş kompozit malzemede elde ettiklerini, yük miktarının 10N'dan 20N'a artışı sonucunda aşınma miktarı oransal olarak; 180Mesh zımparada %135, 400Mesh zımparada ise %47 oranında arttığını tespit ettiklerini belirtmişlerdir.

Gaz atomizasyonu yöntemiyle üretilen AA2014 metal tozu ile farklı ağırlık oranlarda B₄C takviyesi kullanılarak toz metalürjisi (TM) yöntemiyle kompozit malzemeler üretilmektedir. Taşcı, Gökmeşe ve Bostan (2013) yaptıkları çalışmada AA2014 toz metal alaşımına, ağırlıkça %1, %2, %4 ve %8 oranlarında B₄C parçacık takviyesi yaparak, kompozit numuneler üretilmişlerdir. Matris/takviye toz karışımları ilk önce

karıştırmış, sonrasında preslenmiş ve akabinde sinterleme işlemine tabi tutmuşlardır. Ürettikleri kompozitlerin yoğunluk, gözeneklilik, sertlik değişimlerini ve aşınma özelliklerini incelemişler, artan takviye oranına bağlı olarak sertlik değerinde artış olduğunu tespit ettiklerini belirtmişlerdir. Mikro yapı görüntülerinde sinterleme mekanizmasının işleyişi açısından, gözeneklerin tane sınırlarında daha yoğun, kapalı küresel şeklinde bulunduğunu ve aynı zamanda tane içlerine doğru ilerlediğini gördüklerini ifade etmişlerdir. Aşınma testleri sonrasındaki ağırlık kayıplarının, artan parçacık hacim oranı ile birlikte azalma gösterdiğini tespit ettiklerini belirtmişlerdir.

6.5.2. Silisyum ve Silisyum Alaşımlarında B₄C Kullanılarak Kompozit Malzeme Üretimi

Silisyum karbürün özellikle üstün termal şok dayanımı, oksidasyon dayanımı, yüksek kırılma tokluğunun; bor karbürün sertlik, aşınma dayanımı ve düşük yoğunluk gibi özelliklerin birleştirilmesi amaçlı olarak silisyum karbür ve bor karbür tozları farklı oranlarda karıştırılarak kompozit malzeme üretimi yapılmaktadır.

Turan (2004) hazırlamış olduğu tez çalışmasında B₄C tozlarına hacimce %10, %20 ve %30 SiC ilave ederek mekanik karıştırıcılarda karıştırmış sonrasında elde ettiği numuneleri değişik sıcaklıklarda sıcak presleme yöntemiyle kompozit malzeme üretmiştir. Ürettiği kompozitlerin yoğunluk, sertlik ve eğme mukavemetlerini ölçmüştür. Numunelerin mikroyapılarına ait SEM görüntülerinde artan sıcaklık ile porozite miktarının azaldığını ve daha kompakt bir yapının oluştuğunu gözlemlediğini belirtmiştir. 2100⁰C ve 2200⁰C'ler için ilave edilen SiC ve artan sıcaklıkla birlikte kompozitlerin yoğunluklarının artmış olduğunu ancak %30 SiC içeren numunede 2250⁰C'de rölatif yoğunluğunda düşüş meydana geldiğini, yoğunlukta meydana gelen bu düşüşün, söz konusu sıcaklıkta silisyum karbürün bor karbür ile düşük yoğunluklu ötektik oluşturmamasından kaynaklandığını tespit ettiğini ifade etmiştir. Sertlik artışında SiC miktarındaki artıştan çok, sıcaklığın etkin parametre olduğunu saptamıştır. Silisyum karbür (SiC) ilavesinin B₄C'ün mukavemetini arttırıcı bir etkisinin bulunmadığını gördüğünü bildirmiştir.

6.5.3. Bakır ve Bakır Alaşımlarında B₄C Kullanılarak Kompozit Malzeme Üretimi

Son yıllarda bakır, yüksek elektriksel ve termal iletkenlikleri, altın (Au) ve gümüş (Ag) ile karşılaştırıldığında düşük maliyetli oluşu ve kolay imalat nedeniyle endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak mekanik özelliklerinin istenilen seviyede olmaması, B₄C'nin yüksek mekanik özellikleri, iyi aşınma ve korozyon direnci gibi üstün özelliklerinden faydalanma düşüncesini doğurmuştur.

Özel, Çelik ve Turhan (2009) yaptıkları çalışmada Cu-Al-B₄C metal matrisli kompoziti (MMK), toz metalurjisi (TM) yöntemi kullanılarak sıcak presleme ile üretmiş, oluşan numunelerin mikroyapı ve sertlik değerlerini incelemişlerdir. Cu-%5 Al toz karışımının içerisine %5, %10 ve %20 oranında B₄C ilave ederek toz karışımları hazırlamışlardır. Toz metalurjisi yöntemi ile ürettikleri Cu esaslı Cu-Al-B₄C kompozitlerinin homojen bir dağılım sergilediğini gördüklerini belirtmişlerdir. Deneyler sonucunda, farklı oranlarda ilave ettikleri B₄C'nin mikro yapı ve sertliği etkilediğini, en yüksek sertlik değerininin %20 B₄C ilaveli numunede edildiğini, takviye malzemesi ilavesi olmayan numunede en düşük sinterleme boşluğu tespit edildiğini ifade etmişlerdir. Sinterleme boşluğu, B₄C ilavesinin artmasıyla kısmi olarak arttığını saptamışlardır. Bunun nedeni olarak B₄C partiküllerinin ilavesi ile Cu matriste sıcak presleme sonrasında B₄C partikülleri gözeneklerin presleme esnasında Al partiküllere doğru ilerlemesini engellemiş, B₄C partiküllerinin etrafında gözeneklerin toplanmasının söz konusu olduğu tespitine varmışlardır. Hazırladıkları kompozitlerde en yüksek yoğunluk miktarının B₄C ilavesi olmayan numunede, en düşük yoğunluk miktarının ise %20 B₄C ilavesi olan numunede olduğu sonucuna varmışlardır. Matris içerisinde oluşan sinterleme boşluğundaki artışın yoğunluk miktarının da düşmesine sebep olduğunu saptamışlardır.

Cu/B₄C kompozitleri üretim sonrasında çeşitli deneylere tabi tutulurlar. Bu deneylerden bazıları sertlik, yoğunluk ve elektriksel iletkenliktir. Yener ve vd., (2014) yaptıkları çalışmada soğuk preslenmiş Cu/B₄C kompozitlerinde bulunan B₄C oranlarının, nispi yoğunluk, mikro sertlik ve elektriksel özellikleri gibi bazı mekanik

ve fiziksel özelliklere etkisini araştırmışlardır. 40 µm parçacık boyutlu ticari bakır tozları, elektrik iletken olarak kullanılan bakırın mekanik özelliklerinin geliştirilmesi için, ağırlıkça % 1, %2 ve %3 oranlarında 40 µm parçacık boyutlu B₄C ile takviye etmişlerdir. Cu/B₄C kompozitleri sinterleme işlemi sonrasında kompozitlerin baskın bileşenleri olan Cu ve B₄C'nin varlığı X ışını kırınımı analizi tekniği ve SEM-EDS ile kontrol etmişlerdir. Numunelerin mikro yapılarında B₄C parçacıklarının bakır matriste homojen bir dağılım sergilediğini gördüklerini ifade etmişlerdir. Soğuk presledikleri Cu-%1 B₄C kompozitlerin umut verici fiziksel özellikleri ortaya çıkardığını gözlemlediklerini belirtmişlerdir. Cu/B₄C kompozit malzemenin elektriksel iletkenlik ölçüm sonuçlarında %96'nın üzerinde genel doğruluk seviyesi elde ettiklerini bildirmişlerdir.

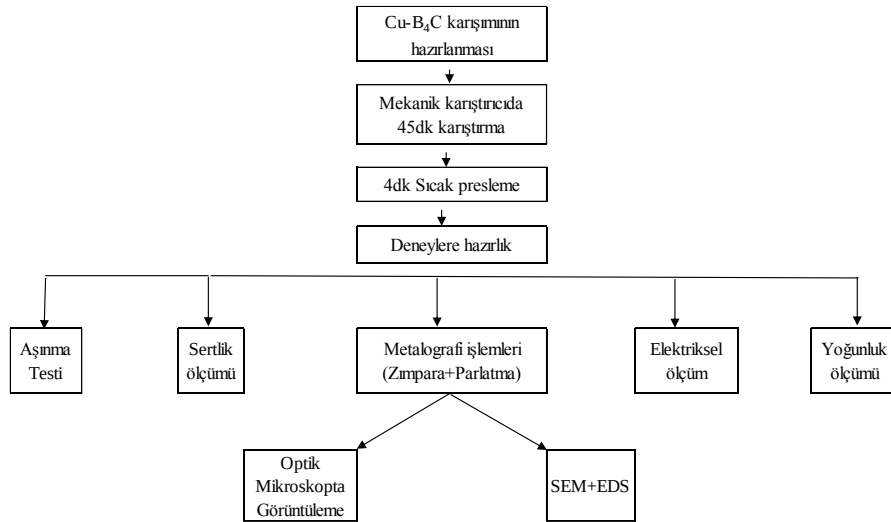
Cu-B₄C kompozitlerinin sertlik, yoğunluk ve elektriksel iletkenlik gibi özelliklerinin araştırılmasına yönelik çalışmalar günümüzde kısıtlıdır. Bunun başlıca sebebi B₄C'ün yüksek maliyetli oluşu gösterilebilmektedir.

Altınsoy ve vd., (2013) yaptıkları çalışmalarında 40µm parçacık boyutundaki ticari bakır tozlarını yine aynı boyutlardaki %1, %2 ve %3 ağırlık oranlarında B₄C ile toz metalürjisi yöntemiyle imal etmiş ardından sinterleme işlemine tabi tutmuşlardır. Sinterleme işleminin sonunda numuneler soğuk preslemeye tabi tutularak kompozit malzemeler üretmişlerdir. Ürettikleri numunelerin mikroyapıları, sertlikleri, yoğunlukları ve elektriksel iletkenliklerini ölçüp çalışmalarında belirtmişlerdir. Ürettikleri numunelerin optik mikroskop görüntülerinde Cu-B₄C kompozitlerinin yapı içerisinde homojen dağıldığını tespit ettiklerini belirtmişlerdir. Sinterlenmiş ve soğuk preslenmiş ticari saf bakır ve Cu-B₄C kompozitlerinin yoğunluklarını, sertliklerini ve elektriksel iletkenlik değerlerini incelendiklerinde artan takviye oranına paralel olarak kompozitin sertliğinde de artış olduğunu, yoğunluğun ise artan takviye oranına bağlı olarak azalma gösterdiğini belirlemişlerdir. Elektriksel iletkenlik değerlerinde soğuk preslenmiş %1 B₄C takviyeli kompozitlerinin gelecek teknoloji açısından ümit verici oranlarda olduğunu tespit ettiklerini ifade etmişlerdir.

7. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmada sıcak preslenmiş bakır matrisli bor karbür takviyeli (Cu/B₄C) kompozitlerinin mikroyapı, sertlik ve yoğunlukları gibi mekanik ve fiziksel özelliklerine, sinterleme sıcaklığının ve bor karbür (B₄C) ilavesinin etkileri araştırılmıştır. 40µm partikül boyutuna sahip olan ticari bakır (Cu) tozlarının mekanik özelliklerini iyileştirmek için ağırlıkça %2,5, %5, %7,5 ve %10 oranlarında 40µm parçacık boyutuna sahip B₄C ilave edilmiştir. Cu/B₄C kompozitleri 650°C, 750°C ve 850°C sıcaklıkta argon atmosferinde 35MPa basınç altında 4dk süreyle sinterlenmiştir. Sinterlenen ürünler içeriğindeki B₄C'nin varlığının tespiti için optik mikroskobu, SEM-EDS analizi ile incelendikten sonra yoğunlukları ve elektrik iletkenlik değerleri ölçülmüş, sonrasında da sertlik ve aşınma testlerine tabi tutulmuştur.

Bakır (Cu) tozları ve borkarbür (B₄C) parçacıklarının karışımlarından elde edilen kompozit malzemelerinin üretim şeması Şekil 7.1'de gösterildiği gibidir.



Şekil 7.1. Üretim ve deney aşamalarını gösteren iş akışının şematik gösterimi

7.1. Kullanılan Hammaddeler

Başlangıç olarak bu çalışmada 99,9 saflıkta ve 40µm çapında bakır tozları ile %99,5 saflıkta ve 40µm çapında borkarbür (B₄C) parçacığı kullanılmıştır. Cu tozlarının içerisine ağırlıkça %2,5 , %5, %7,5 ve %10 oranlarında B₄C ilave edilmiştir. Mekanik

toz karıştırma yöntemi ile Cu/B₄C tozları 45dev/dak hızında ve 45dk süreyle karıştırma işlemine tabi tutulmuşlardır.

7.2. Sıcak Presleme

Cu/B₄C toz karışımları sıcak presleme makinasında argon atmosferi altında 35MPa yük basıncı altında 4dk boyunca 650⁰C, 750⁰C ve 850⁰C derecelerde sinterlenerek 3 farklı sıcaklık grubunda 5'er adet olmak üzere toplamda 15 farklı parametrede numune elde edilmiştir. Tablo 7.1.'de farklı sinterleme sıcaklıklarında üretilen kompozit malzemelerinin ağırlıkça karışım oranları ve üretim parametreleri verilmiştir.

Tablo 7.1. *Farklı sinterleme sıcaklıklarında ve oranlarda hazırlanan Cu/B₄C toz karışımlarına uygulanan sıcak presleme parametreleri*

Numune no	Ağırlıkça % Cu Miktarı	Ağırlıkça % B ₄ C Miktarı	Hacimce % Cu Miktarı	Hacimce % B ₄ C Miktarı	Presleme Basıncı (MPa)	Sinterleme Süresi (dak)	Presleme Sıcaklığı (°C)
N01	100	0	100	0	35	4	650
N02	97,5	2,5	91,646	8,354	35	4	650
N03	95	5	84,238	15,762	35	4	650
N04	92,5	7,5	77,624	22,376	35	4	650
N05	90	10	71,683	28,317	35	4	650
N06	100	0	100	0	35	4	750
N07	97,5	2,5	91,646	8,354	35	4	750
N08	95	5	84,238	15,762	35	4	750
N09	92,5	7,5	77,624	22,376	35	4	750
N10	90	10	71,683	28,317	35	4	750
N11	100	0	100	0	35	4	850
N12	97,5	2,5	91,646	8,354	35	4	850
N13	95	5	84,238	15,762	35	4	850
N14	92,5	7,5	77,624	22,376	35	4	850
N15	90	10	71,683	28,317	35	4	850

7.3. Metalografik Çalışmalar

Üretilen 15 farklı numune uygun ölçülerde kesilerek Hardway marka ZXQ-1 tip cihazında bakalite alınmıştır. Bakalite alınan numuneler içyapılarının incelenebilmesi için Hardway marka MT2 tip zımparalama ve parlatma cihazında sırasıyla 220, 320, 400, 600, 800, 1200, 1500 ve 2000 mesh'lik su zımparaları ile yüzeyleri temizlemiştir.

ardından 3 μ m ve 1 μ m'lik elmas solüsyon ile yüzeyleri parlatılmıştır. Parlatma işleminin akabinde numuneler %90 su + %10 HNO₃ (nitrik asit) karışımı ile dağlanmışır.



Şekil 7.2. Bakalite alma cihazı



Şekil 7.3. Zımparalama ve parlatma cihazı

7.5. Parçacık Morfolojisi

Başlangıç tozlarının ve TM yöntemi ile üretilen kompozitlerin; farklı sinterleme sıcaklıklarında ve takviye oranlarında, morfolojilerindeki değişim ve üretilen kompozitlerin mikroyapıları, taramalı elektron mikroskopunda (SEM) ve Nikon Eclipse MA100 marka optik mikroskoplarında incelenmiştir.



Şekil 7.4. SEM cihazı



Şekil 7.5. Optik mikroskop

7.6. Yoğunluk ve Yapı İçerisindeki Gözenek Boşluğu Tayini

Kompozitlerin yoğunlukları Kastamonu Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezinde ölçülmüştür. Ölçümler 24°C sıcaklık ve helyum

gazı ortamında, her numune üzerinde 10 adet çalışma yapılarak Arşimed prensibine göre yapılmıştır.

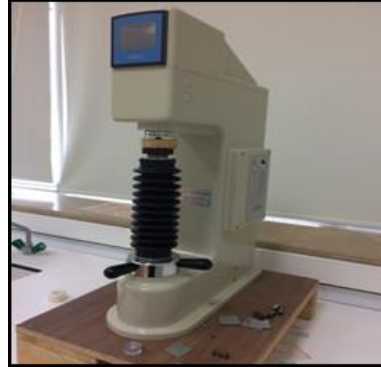
Elde edilen yoğunluk verilerinden yola çıkılarak numunelerin teorik yoğunlukları ile kıyaslanarak numune yapısında meydana gelen gözenek (porozite) yüzdesi hesaplanmıştır. Ağırlıkça eklenen takviye oranına göre gözenek yüzdesi aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$\%Gözenek\ Boşluğu = \frac{\rho^T - \rho^D}{\rho^T} \times 100 \quad (1)$$

Yukarıdaki denklemde ρ^T ile gösterilen karışımlar kuralına göre hesaplanan teorik yoğunluk, ρ^D ile gösterilen ise deneysel yoğunluktur.

7.7. Sertlik

Saf bakırın ve kompozitlerin sertliği, Bulut Makine markalı Brinell Sertlik test cihazında 2,5mm çapında çelik bilye ile 62,5kg'lık bir yük altında HB10 cinsinden ölçülmüştür. Numune üzerinde 5 ölçüm yapılarak elde edilen değerlerin ortalaması ile sertlik değeri alınmıştır.



Şekil 7.6. Sertlik cihazı

7.8. Elektriksel İletkenlik

Elektriksel iletkenlik değerleri TUBİTAK'ta Institut Dr Foerster marka Sigmatest 2.067 model cihazla ölçülmüştür.

7.9. Aşınma Testi

Numunelerin aşınma deneyleri Karabük Üniversitesi Demir Çelik Enstitüsü MARGEM Laboratuvarlarında ASTM-G133 standardına göre ileri-geri hareketinde yaptırılmıştır. Deneyler UTS Tribometer T10 test cihazında 4Hz frekansında 100mm/s hızında AISI 52100 çelik bilyeleri ile her numunede kayma mesafesi 300m yol alınarak yaptırıldı. Deney öncesi ve sonrasında numuneler tartılarak ağırlık kayıpları belirlenmiştir. Aşınma oranlarının hesaplanması ve kıyaslanabilmesi amacıyla malzeme içerisine katılan B₄C oranı arttıkça numunelerin yoğunlukları değişeceğinden ağırlık kayıpları değerleri kullanılmıştır. Deneylerin yapıldığı test cihazı Şekil 7.7.'de gösterilmektedir.

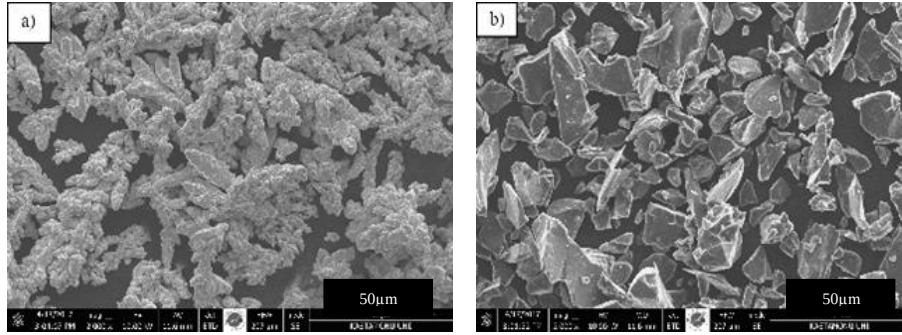


Şekil 7.7. Aşınma deney cihazı

8. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

8.1. Mikroyapı İncelemeleri

Bu çalışmada kullanılmış olan Cu tozu ve B₄C parçacıklarına ait SEM görüntüleri Şekil 8.1.a. ve b’de verilmektedir. Cu tozu küresel, B₄C parçacığı ise köşeli yapıdadır.

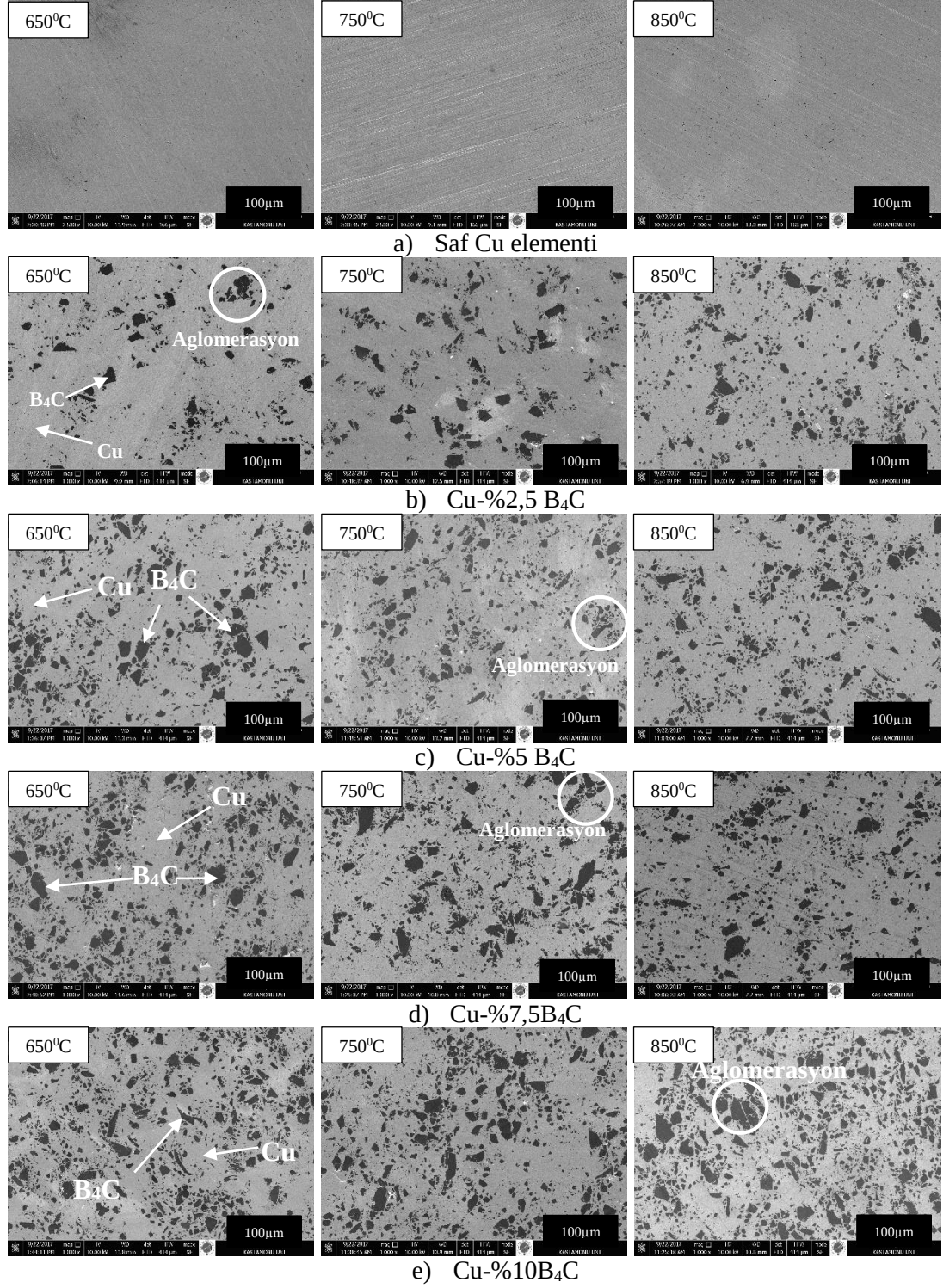


Şekil 8.1. SEM Görüntüleri a) Cu, b) B₄C tozları

Şekil 8.2.a,b,c,d,e’de 650⁰C, 750⁰C ve 850⁰C’de sinterlenen, saf Cu ve Cu matris içerisine %2,5, %5, %7,5 ve %10 B₄C takviye edilmiş kompozitlere ait SEM görüntüleri verilmiştir. SEM görüntülerinde karanlık, köşeli şekiller B₄C’yi, gri renkli bölgelerin bakır matrisini işaret ettiğini göstermektedir.

Şekil 8.2.a.’da farklı sinterleme sıcaklıklarında sinterlenen saf Cu elementine ait görüntüler incelendiğinde numunelerin içinde takviye malzemesinin görünmediği açıkça görülmektedir.

Şekil 8.2.b,c,d,e,f’de 650⁰C, 750⁰C ve 850⁰C sinterleme sıcaklıklarında, %2,5, %5, %7,5 ve %10 takviyeli Cu/B₄C kompozitler incelendiğinde B₄C oranı arttıkça yapı içerisindeki partiküllerin sayısının arttığı net bir şekilde görülmektedir. Bakır matris içerisine ilave edilen bor karbürün homojen bir dağılım sergilediği ancak parçacıkların kendi içinde homojen yapıda olmadığı, farklı ölçülerde olduğu görülebilmektedir. Kompozitlerde parçacık-parçacık topaklamasının (aglomerasyon) ve parçacık-gözenek topaklamasının B₄C miktarı arttıkça arttığı, sinterleme sıcaklığı arttığında ise aglomerasyon yapıda azalma meydana geldiği görülmektedir.

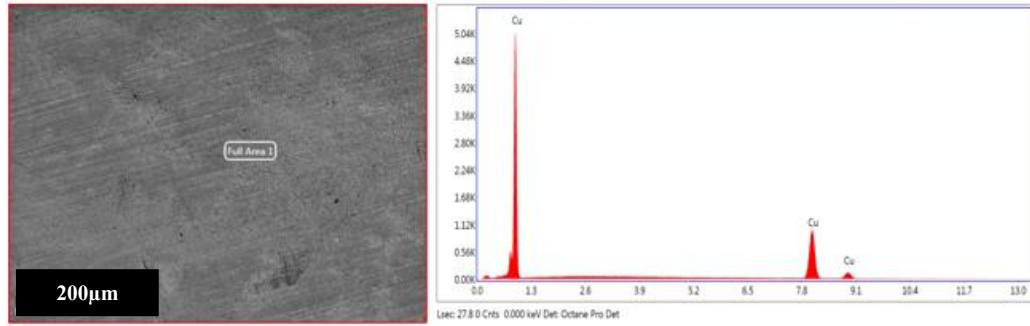


Şekil 8.2. Cu/B₄C kompozitlerinin sinterleme sıcaklığına bağlı mikroyapı değişimleri

- %0 B₄C takviyeli 650°C, 750°C ve 850°C’de sinterlenmiş kompozitler
- %2,5 B₄C takviyeli 650°C, 750°C ve 850°C’de sinterlenmiş kompozitler
- %5 B₄C takviyeli 650°C, 750°C ve 850°C’de sinterlenmiş kompozitler
- %7,5 B₄C takviyeli 650°C, 750°C ve 850°C’de sinterlenmiş kompozitler
- %10 B₄C takviyeli 650°C, 750°C ve 850°C’de sinterlenmiş kompozitler

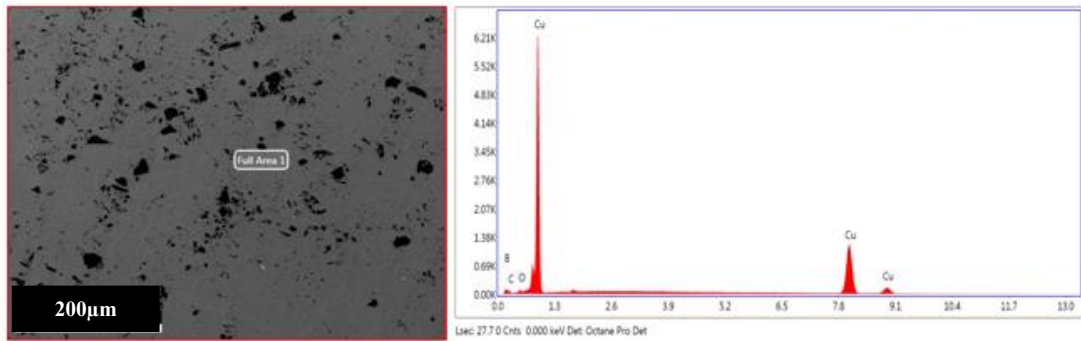
8.2. EDS Analizi

Üretilen 15 farklı kompozitten biri olan, 750⁰C’de sinterlenen %100 Cu içeren N06 numunesine ait SEM görüntüsü ve EDS analizi şekil 8.3.’te verilmiştir. SEM görüntüsü ve EDS analizi incelendiğinde numune içyapısında başka bir elementin varlığına rastlanılmadığı görülmektedir. EDS verilerinde ağırlık olarak %100 Cu elementi çıkmaktadır.



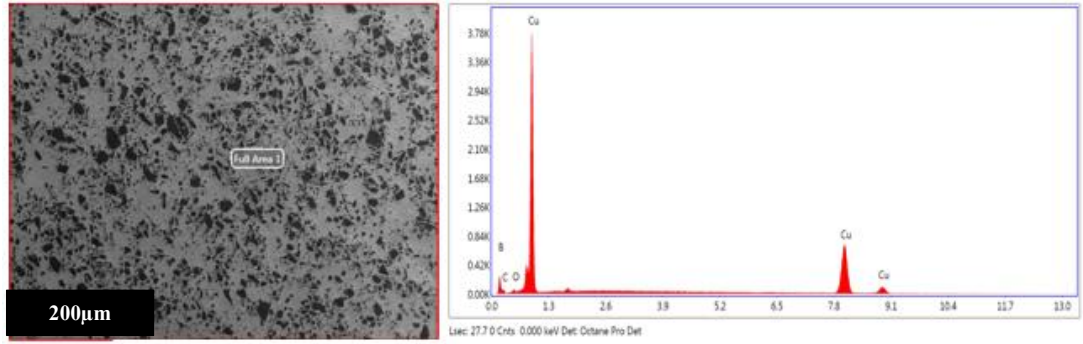
Şekil 8.3. 750⁰C’de sinterlenmiş %100 Cu içeren N06 numunesine ait SEM ve EDS verileri

Şekil 8.4.’te 650⁰C’de sinterlenen N02 numunesine ait SEM görüntüsü ve EDS analizinde yapı içerisinde, bor (ağırlıkça %32,66) ve karbon (ağırlıkça %8,61) elementlerinin varlığına rastlanıldığı görülmektedir. Bu da kompozit yapısında bor karbürün varlığını kanıtlamaktadır. SEM görüntüsünde koyu renkli alanlar B₄C’yi, geri kalan gri alan ise Cu matrisi işaret etmektedir. EDS analizinde, N06 numunesinde ağırlık olarak %1,96 O₂ bulunmuştur. Yüzeyde meydana gelen bu oksidasyonun, B₄C tozlarının işlem hazırlık aşamasında havadaki nemden etkilendiği düşünülmektedir.



Şekil 8.4. 650⁰C’de sinterlenmiş %2,5 B₄C içeren N02 numunesine ait SEM ve EDS verileri

850°C’de sinterlenen %10 B₄C ihtiva eden N15 numunesine ait SEM görüntüsü ve EDS grafiği Şekil 8.5.’te verilmiştir. Bu numunede de bor ve karbon elementlerinin varlığına rastlanılmıştır. Numune içyapısında B₄C’nin varlığını kanıtlayan bu durum SEM görüntüsünde koyu renkli olarak görünmektedir. EDS analizinde bulunan oksijenin, B₄C tozlarının işlem hazırlık aşamasında havadaki nemden etkilendiği düşünülmektedir.



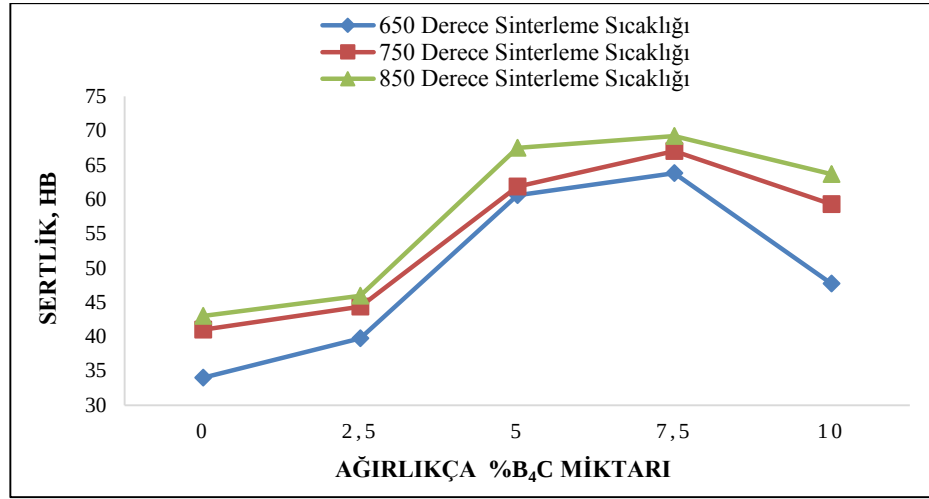
Şekil 8.5. 850°C’de sinterlenmiş %10 B₄C içeren N15 numunesine ait SEM ve EDS verileri

Ek-1’de üretilen bütün kompozitlere ait SEM görüntüleri ve EDS analizleri mevcuttur. Ek-1 incelendiğinde saf bakır içeren N01, N06, N11 numunelerinde başka elementlere rastlanılmadığı, %2,5 B₄C içeren N02, N7 ve N12 numunelerinde bor ve karbon elementlerine rastlanıldığı, %5 B₄C içeren N03, N08, N13 numunelerinde yine bor ve karbon elementlerine, aynı şekilde %7,5 B₄C içeren N04, N09 ve N14 numunelerinde bor ve karbon elementlerine rastlanıldığı ve son olarak %10 B₄C içeren N05, N10 ve N15 numunelerinde de bor ve karbon elementlerine rastlanıldığı görülmektedir. Bor ve karbon içeren numunelerde B₄C’nin varlığı hem EDS analizi ile hem de SEM görüntüsü ile ispatlanabilmektedir. Oksijen elementinin varlığı B₄C tozlarının işlem hazırlık aşamasında havadaki nemden etkilendiği düşünülmektedir.

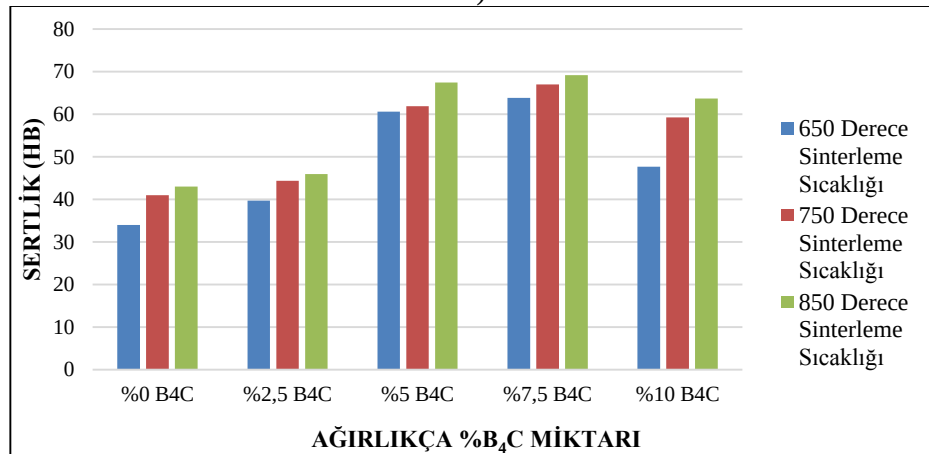
8.3. Sertlik

Sinterleme işlemine tabi tutulmuş saf bakır (Cu) ve farklı karışım oranlarında üretilen Cu/B₄C kompozitlerinin sertlik grafikleri Şekil 8.6.a. ve Şekil 8.6.b.’de gösterilmektedir. Grafikler incelendiğinde en yüksek sertlik değerleri 850°C sinterlenmiş kompozitlerden elde edilirken, en düşük sertlik değerlerine 650°C’de sinterlenen numunelerden elde edilmiştir. 650°C’de üretilen kompozitlerde takviye

oranı %7,5 B₄C ilavesine kadar artış göstermektedir. %7,5 B₄C ilavesinden sonra kompozitin sertliğinde azalma meydana gelmektedir. %10 B₄C ilavesinde sertlik değerleri %5 B₄C ilavesinden daha düşük değerde olduğu ölçülmüştür. 750⁰C ve 850⁰C’de üretilen kompozitlerde de %7,5 B₄C takviyesine kadar sertlik değerlerinde artış olduğu, %7,5 B₄C ilavesinden sonra azalma olduğu ancak bu azalmanın N05 numunesinde olan düşüş kadar fazla olmadığı belirlenmiştir. En yüksek sertlik değeri 850⁰C’de sinterlenen N14 numunesinden elde edilirken, en düşük sertlik değerleri B₄C ilavesi olmayan ve sinterleme sıcaklığı en düşük olan N01 numunesinden elde edilmiştir. İçerisinde B₄C ilavesi olup en düşük sertlik değerine sahip olan numune 650⁰C’de sinterlenmiş %2,5 B₄C katkılı kompozittir.



a)



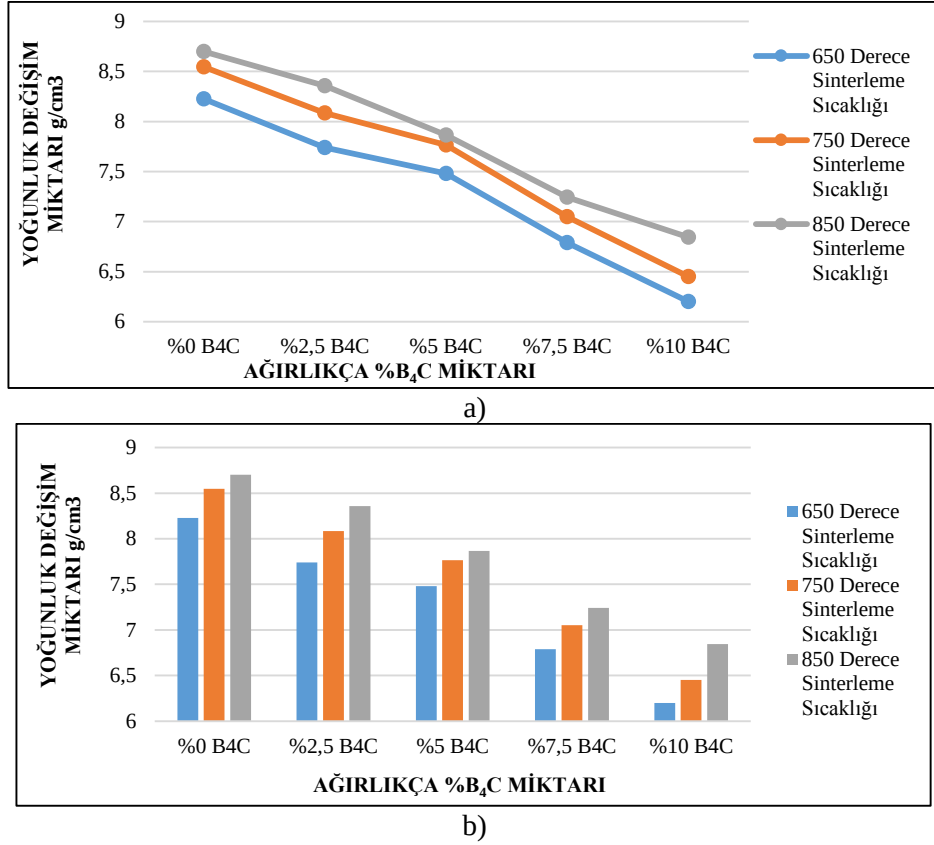
b)

Şekil 8.6.İçerdiği B₄C oranına bağlı olarak farklı sinterleme sıcaklıklarında Cu/B₄C kompozitlerinin sertliklerinde meydana gelen değişim a)Sertlik değerlerinin çizgisel grafikte gösterimi b) Sertlik değerlerinin sütun üzerinde gösterilmesi

8.4. Yoğunluk Ve Gözenek Oranı

8.4.1. Yoğunluk

Şekil 8.7.a. ve b’de üretilen Cu/B₄C kompozitlerinin artan sinterleme sıcaklıklarında ve B₄C oranında yoğunluklarında meydana gelen değişim görülmektedir.



Şekil 8.7.İçerdiği B₄C oranına bağlı olarak farklı sinterleme sıcaklıklarında Cu/B₄C kompozitlerinin yoğunluklarında meydana gelen değişimin çizgisel grafikte (a) ve sütun grafikte (b) gösterimi

Şekil 8.7.a. ve şekil 8.7.b.’deki grafikler incelendiğinde Cu matris içerisine B₄C ilave edildikçe yoğunlukta azalma meydana gelmektedir. En düşük yoğunluk verileri 650°C’de sinterlenen N05 numunesinden elde edilirken en yüksek yoğunluk değeri 850°C’sinterlenen B₄C ilavesiz N11 numunesinden elde edilmiştir. Sinterleme sıcaklığı malzeme içyapısındaki gözenek miktarını azalttığı için, sinterleme sıcaklığı arttıkça yoğunluk değerlerindeki azalma miktarı sinterleme sıcaklıkları düşük numunelerden daha iyi durumda olmaktadır.

8.4.2. Gözenek Oranı

Üretilen kompozitlerin içyapılarındaki gözenek miktarı, takviye oranına ve sinterleme sıcaklıklarına bağlı olarak değişmektedir. Bu değişimi SEM ve optik mikroskop görüntülerinden görülebildiği gibi hesaplama yoluyla da bulunabilmektedir.

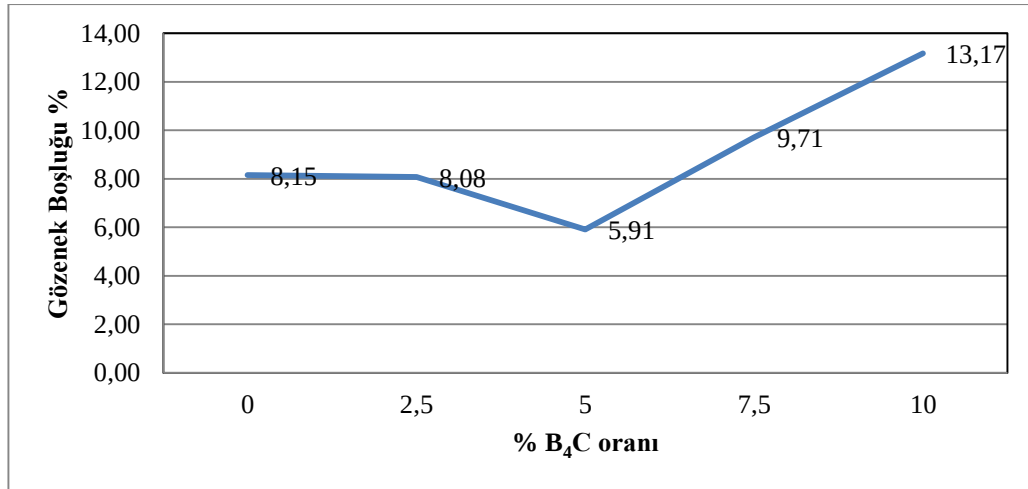
Farklı sinterleme sıcaklıklarında ve farklı % ağırlık oranlarında takviye edilen Cu/B₄C metal matrisli kompozitlerin yoğunlukları ölçülmüş, elde edilen değerlerle birlikte hesaplanan teorik yoğunluk değerleri Tablo 8.1.'de verilmiştir. Deneyler sonucunda elde edilen veriler birbirleri ile kıyaslandığında malzeme içerisinde oluşmuş olan gözenek miktarları yüzde oranında hesaplanabilmektedir.

Tablo 8.1. *DeneySEL ve teorik yoğunluk ölçümleri*

	Yoğunluk Değeri		DeneySEL Yoğunluk Değeri ρ_D (g/cm ³)	Teorik Yoğunluk Değeri ρ_T (g/cm ³)	Yoğunluk Değeri Farkı (g/cm ³)	Gözenek Miktarı %
	Cu 8,96g/cm ³	B ₄ C 2,52g/cm ³				
Sinterleme Sıcaklığı	Numune no	Hacimsel oran				
650°C	N01	%0 B ₄ C + %100 Cu	8,23	8,96	0,73	8,15
	N02	%2,5 B ₄ C + %97,5 Cu	7,74	8,42	0,68	8,08
	N03	%5 B ₄ C + %95 Cu	7,48	7,95	0,47	5,91
	N04	%7,5 B ₄ C + %92,5 Cu	6,79	7,52	0,73	9,71
	N05	%10 B ₄ C + %90 Cu	6,2	7,14	0,94	13,17
750°C	N06	%0 B ₄ C + %100 Cu	8,55	8,96	0,41	4,58
	N07	%2,5 B ₄ C + %97,5 Cu	8,09	8,42	0,33	3,92
	N08	%5 B ₄ C + %95 Cu	7,77	7,95	0,18	2,26
	N09	%7,5 B ₄ C + %92,5 Cu	7,05	7,52	0,47	6,25
	N10	%10 B ₄ C + %90 Cu	6,45	7,14	0,69	9,66
850°C	N11	%0 B ₄ C + %100 Cu	8,7	8,96	0,26	2,90
	N12	%2,5 B ₄ C + %97,5 Cu	8,36	8,42	0,06	0,71
	N13	%5 B ₄ C + %95 Cu	7,87	7,95	0,08	1,01
	N14	%7,5 B ₄ C + %92,5 Cu	7,24	7,52	0,28	3,72
	N15	%10 B ₄ C + %90 Cu	6,85	7,14	0,29	4,06

Tablo 8.1. incelendiğinde deneysel ve teorik yoğunluk değerleri arasında en fazla fark olan $0,94\text{g/cm}^3$ değeri 650°C 'de sinterlenen %10 B_4C takviyeli N05 numunesinde oluşmuştur. Bu da en fazla gözenek miktarının bu numunede oluştuğunu göstermektedir. Yoğunluk değerleri arasındaki en düşük fark ($0,06\text{g/cm}^3$) 850°C sinterleme sıcaklığında üretilmiş olan %2,5 B_4C ilavesi olan N12 numunesinde oluşmuştur.

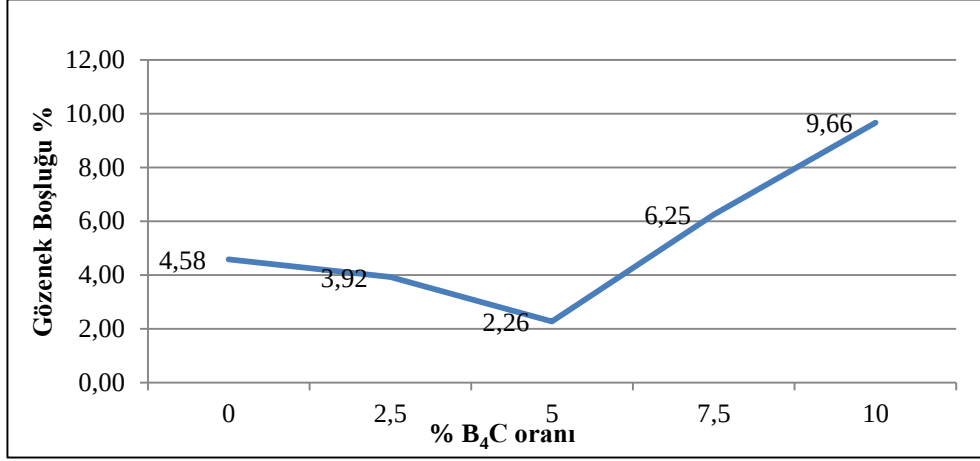
650°C sinterleme sıcaklığında artan takviye malzemesine göre gözenek miktarlarındaki değişim Şekil 8.8.'te gösterilmektedir. Grafiğe göre gözenek miktarı %5 B_4C ilavesine kadar azaldığı, bu değerden sonra artış olduğu görülmektedir. Gözenek boşluğu açısından 650°C 'de sinterlenen numunelerde %5 B_4C katkısının ideal seviyede olduğu görülmektedir. Bu sıcaklıkta üretilen numuneler için %5 B_4C ilavesinden sonra parçacık miktarı arttığından gözeneklerin sıkışıp yapı içerisinde kaldığından, gözenek miktarında belirli bir değerden sonra azalma olamadığı kanaatine varılmıştır.



Şekil 8.8. 650°C 'de sinterlenmiş numunelere ait gözenek boşluğu değişimi

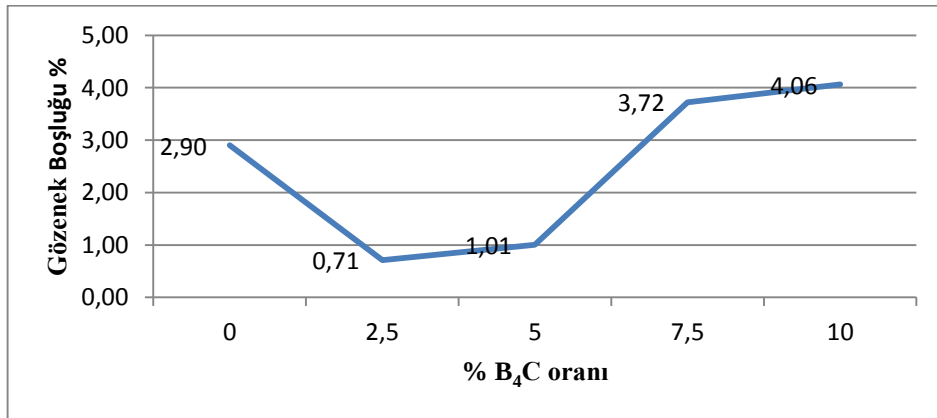
750°C 'de sinterlenen numunelere ait, takviye oranı arttıkça gözenek miktarındaki yüzdesel değişimi veren grafik incelendiğinde, 650°C 'de karşılaşılan sonuçlarla paralellik gösterdiği söylenebilmektedir (Şekil 8.9.). Bu sıcaklıkta sinterlenen numunelerde de %5 B_4C ilavesine kadar % gözenek miktarında düşüş olduğu, %5'ten sonra gözenek miktarında diğer oranlara göre artış olduğu görülmektedir. Yoğunluk değerlerinde azalma olmasına rağmen % gözenek miktarının artış göstermesi yapı

içerisinde artan takviye oranı ile birlikte gözeneklerin yapı içerisinde hapsolmuş olabileceği kanaatine varılmıştır.



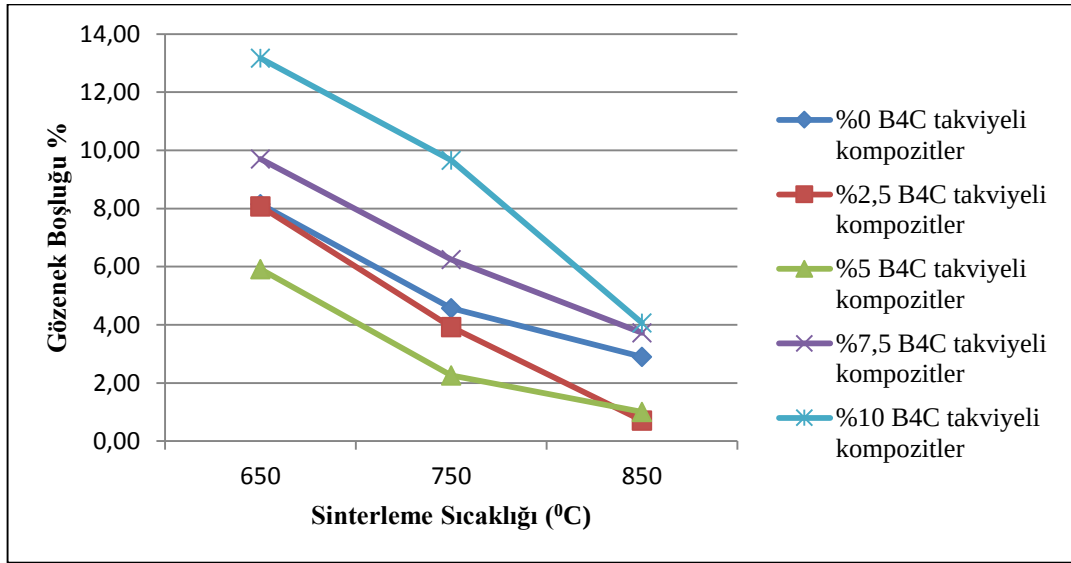
Şekil 8.9. 750⁰C’de sinterlenmiş numunelere ait gözenek boşluğu değişimi

Şekil 8.10’da 850⁰C sinterleme sıcaklığında sinterlenmiş numunelere ait % gözenek miktarındaki değişim grafiği verilmiştir. Grafikte takviye oranı %2,5 B₄C ilavesine kadar gözenek miktarında azalma olduğu, bu değerden sonra gözenek miktarında artış olduğu görülmektedir. %2,5 ile %5 B₄C ilavesi ile %7,5 ile %10 B₄C ilavesi arasında olan kompozitlerdeki gözenek miktarında ki artış, %5-%7,5 B₄C ilavesi olan kompozitteki artıştan daha düşük eğilimdedir. %5 ile %7,5 B₄C ilavesinde artış oranı yüksektir. Bunun yapı içerisinde hapsolmuş gözeneklerden kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 8.10. 850⁰C’de sinterlenmiş numunelere ait gözenek boşluğu değişimi

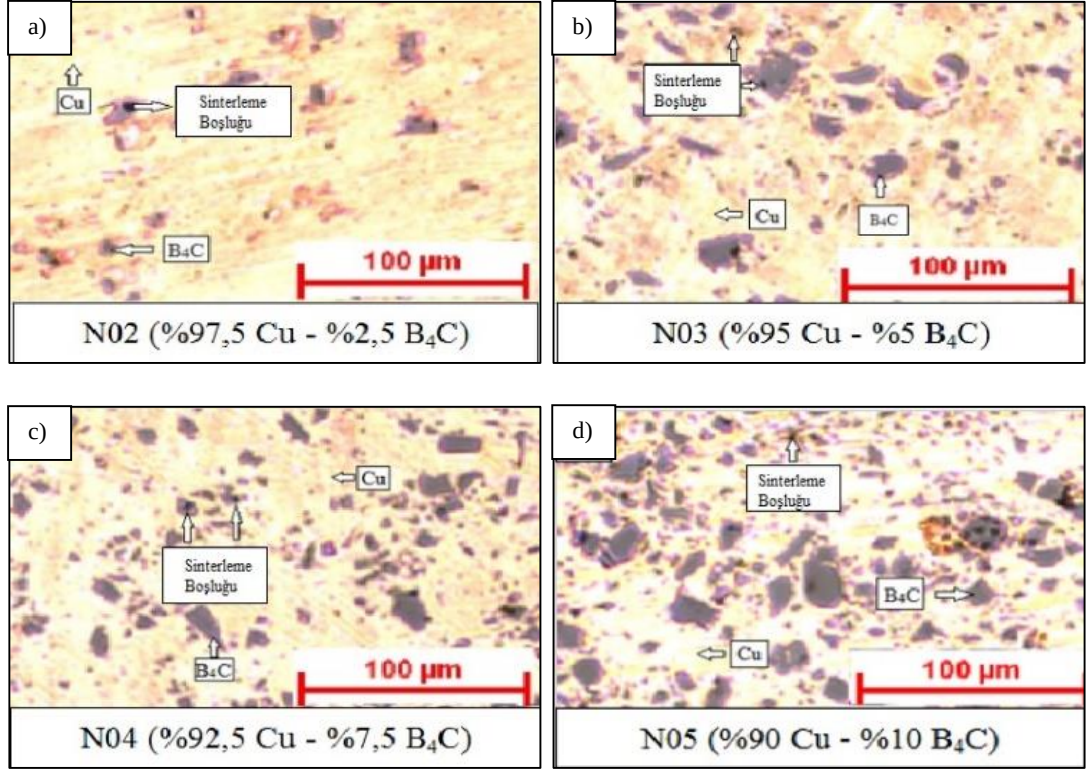
Tablo 8.1.'den yola çıkarak kompozitlerin artan takviye malzemesine göre gözenek boşluğundaki değişim tek bir grafik üzerinde değerlendirilmiştir (Şekil 8.11.). Mevcut grafikte en düşük gözenek miktarı %5 B₄C takviyeli kompozitlerde olduğu, en yüksek gözenek boşluğu %10 B₄C ilaveli kompozitlerde olduğu görülebilmektedir. En düşük gözenek miktarının 850⁰C'de sinterlenmiş %2,5 B₄C katkılı N12 numunesinde iken en yüksek gözenek miktarının da 650⁰C'de sinterlenmiş %10 B₄C ilaveli N05 numunesinde olduğu görülmektedir.



Şekil 8.11. Artan takviye malzemesine göre kompozitlerde oluşan sinterleme boşluğunun değişimi

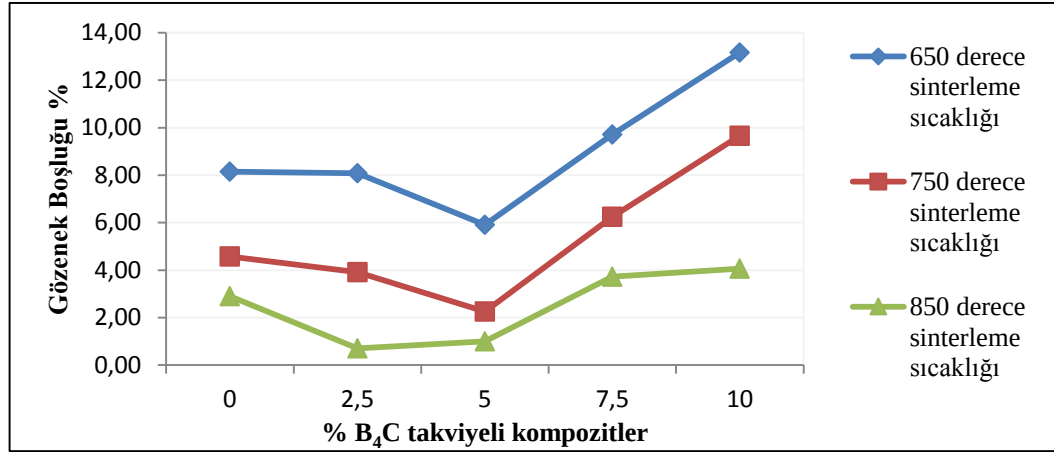
Şekil 8.12.'de en yüksek gözenek miktarının bulunduğu 650⁰C sinterleme sıcaklığında üretilmiş kompozitlerin artan takviye oranına bağlı olarak içyapılarında meydana gelen gözeneklerdeki değişimi gösteren optik mikroskop görüntüleri mevcuttur. Görüntülerde kırmızı olan bölge Cu matrisini, gri renkli bölüm B₄C partiküllerini, koyu renkli yerler ise sinterleme boşluklarını göstermektedir.

Sinterleme boşluğunun artan takviye malzemesine göre artışı grafiklerde görülebildiği gibi bu görüntülerde de açıkça görülebilmektedir. %2,5 B₄C takviyesi olan N02 numunesinde gözenek miktarı minimum iken takviye malzemesi en yüksek olan N05 numunesinde bu miktar maksimum seviyededir.



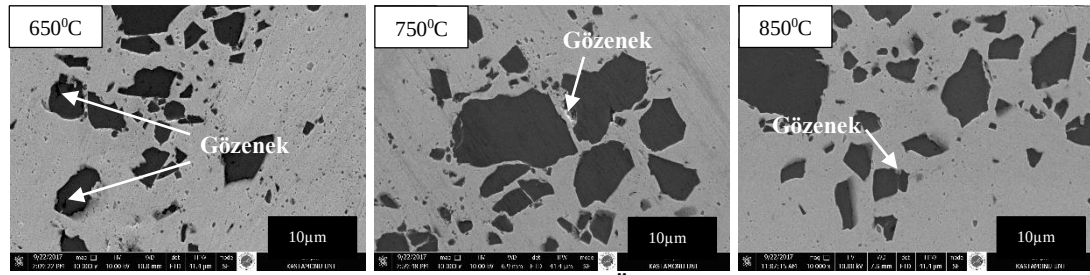
Şekil 8.12. 650⁰C sinterleme sıcaklığında artan takviye malzemesine göre kompozitlerde oluşan sinterleme boşluğunun değişimini gösteren optik mikroskop görüntüleri

Artan sinterleme sıcaklığının gözenek yapı üzerine etkisi şekil 8.13'te bulunan grafikte gösterilmiştir. Grafik üzerinde bulunan sıcaklık gruplarına bakıldığında, en düşük gözenek miktarı 850⁰C sinterleme sıcaklığında üretilmiş olan kompozitlerde elde edilmektedir. En yüksek sinterleme boşlukları da 650⁰C'de üretilen kompozitlerde oluşmuştur. 650⁰C sıcaklıkta en düşük gözenek miktarı %5 B₄C ilaveli kompozitte oluşurken, en yüksek değer olan %13,12'lik boşluk miktarı %10 B₄C ilaveli kompozitte elde edilmiştir. 750⁰C sıcaklıkta üretilen kompozitler gözenek miktarı en düşük %5 B₄C katkılı kompozitte, en yüksek değer ise %10 B₄C katkılı kompozitte mevcuttur. 850⁰C'de sinterlenen numunelerde %2,5 B₄C katkılı N12 numune numaralı kompozitte %0,71 hesaplanan düşük gözenek miktarı iken %10 B₄C kompozitte en yüksek değerdedir.

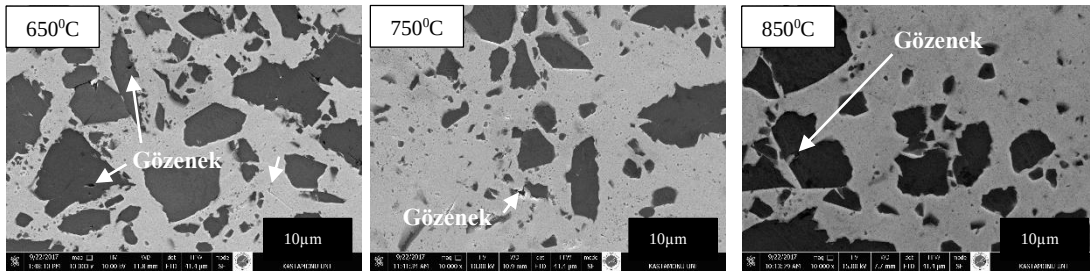


Şekil 8.13. Sinterleme sıcaklığının gözenek boşluğu üzerine etkisi

Şekil 8.14'te artan sinterleme sıcaklığında malzeme içyapısındaki sinterleme boşluklarının durumu incelenmiştir. SEM görüntüleri artan takviye oranı ile birlikte malzemenin yapısındaki gözenek miktarında da artış olduğu görülmektedir. Sinterleme sıcaklığı arttıkça artan bu gözenek boşlukları kapanmakta, malzeme daha yoğun bir yapıya dönüştüğü görülebilmektedir.



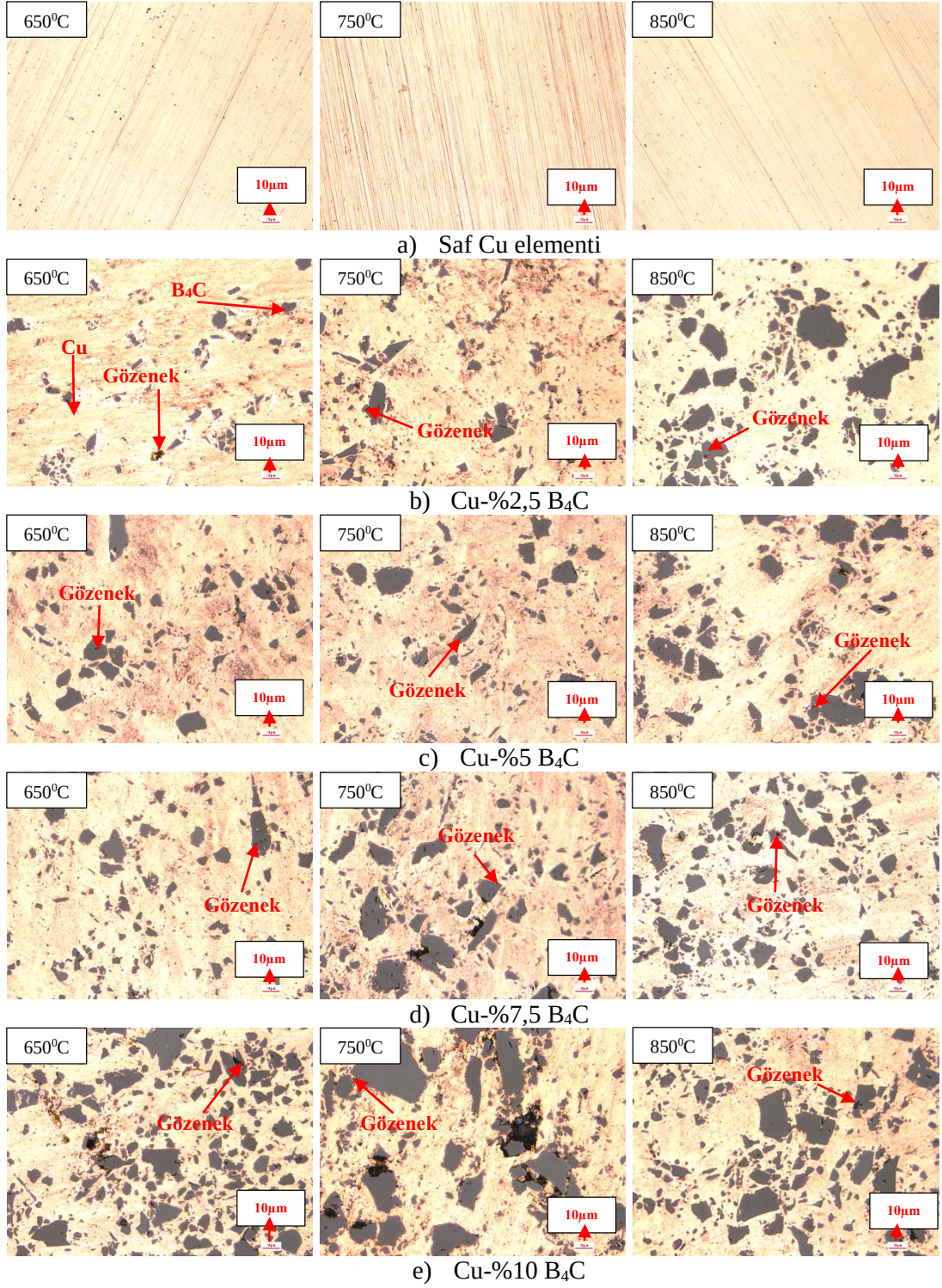
a) Cu-%2,5 B₄C (Ölçek:10µm)



b) Cu-%10 B₄C (Ölçek:10µm)

Şekil 8.14. Cu/B₄C kompozitlerinin sinterleme sıcaklığına bağlı gözeneklerin değişimini gösteren SEM görüntüleri a)%2,5 B₄C takviyeli b)%10 B₄C takviyeli kompozitler

Şekil 8.15.'te tüm numunelerin gözenek boşluklarını gösteren optik mikroskop görüntüleri mevcuttur.

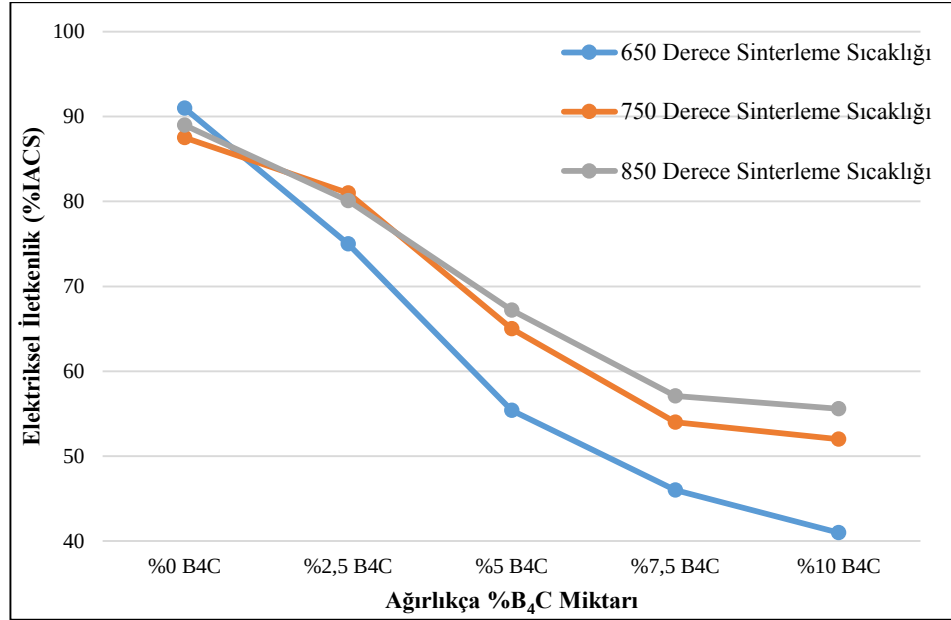


Şekil 8.15. Cu/B₄C kompozitlerinin gözenek boşluklarının optik mikroskop görüntüleri

- %0 B₄C takviyeli 650°C, 750°C ve 850°C’de sinterlenmiş kompozitler
- %2,5 B₄C takviyeli 650°C, 750°C ve 850°C’de sinterlenmiş kompozitler
- %5 B₄C takviyeli 650°C, 750°C ve 850°C’de sinterlenmiş kompozitler
- %7,5 B₄C takviyeli 650°C, 750°C ve 850°C’de sinterlenmiş kompozitler
- %10 B₄C takviyeli 650°C, 750°C ve 850°C’de sinterlenmiş kompozitler

8.5. Elektriksel İletkenlik

Şekil 8.10’da farklı sinterleme sıcaklıkları ve B₄C oranlarında kompozitlerin elektrik iletkenliğinde meydana gelen değişim görülmektedir. Elektriksel iletkenlik değeri takviye oranı arttıkça azalma eğilimi göstermektedir. 650⁰C’de sinterlenen kompozitlerdeki düşüş değeri, 750⁰C ve 850⁰C’de üretilen numunelere göre daha fazladır. 650⁰C sinterleme sıcaklığındaki bu düşüşün, B₄C oranının sinterleme boşluğuna bağlı olarak elektriksel iletkenlikte daha fazla bir düşüş meydana getirdiği belirlenmiştir. 750⁰C ve 850⁰C’de üretilen kompozitlerin elektriksel iletkenliklerinde de düşüş meydana gelmiştir. 750⁰C ve 850⁰C’de üretilen kompozitlerin elektriksel iletkenliklerinde belirgin bir fark ortaya çıkmamaktadır.



Şekil 8.16. Farklı sinterleme sıcaklığında Cu/B₄C kompozitlerinin elektrik iletkenliğinde meydana gelen değişim

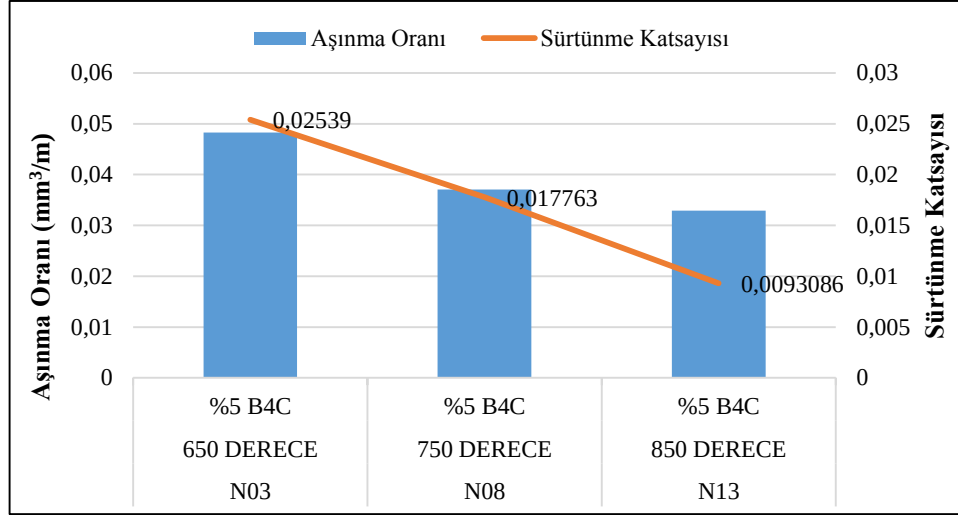
8.6. Aşınma Testi

AISI 52100 çelik bilyeleri 10N kuvvet uygulanarak her numunede 300m kayma mesafesinde yapılan aşınma deneylerinin değerlendirilmesi gruplandırılmıştır. İlk grup %5 B₄C ihtiva eden numunelerin sinterleme sıcaklıklarındaki değişimleri irdelenmiş, ikinci grupta %7,5 B₄C ihtiva eden numunelerin aşınma hızları ve ağırlık kayıpları sinterleme sıcaklığına bağlı olarak değerlendirilmiştir. Üçüncü grupta ise

8.6.1. %5 B₄C Takviyeli Cu/B₄C Kompozitlerin Artan Sinterleme Sıcaklığındaki Aşınma Davranışı

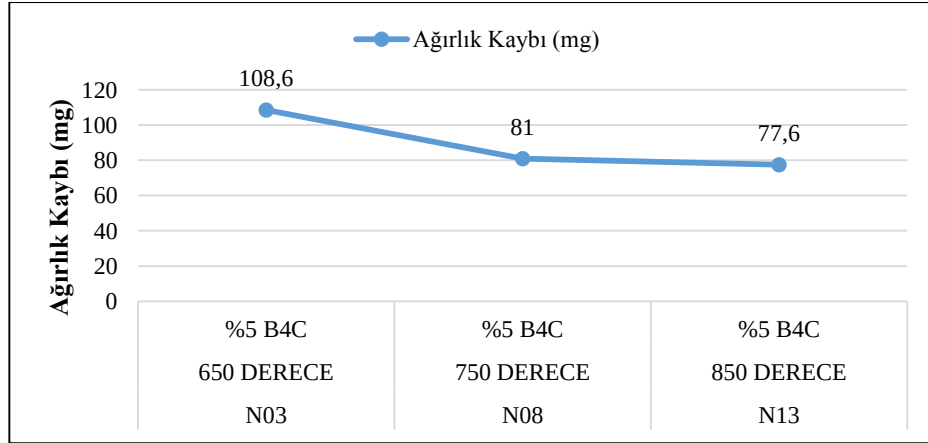
Figure 10 consists of two SEM images, (a) and (b), showing the surface of the B₄C-coated Ti-6Al-4V substrate. Image (a) is labeled N03 and shows the surface after 1000 cycles. An arrow points to a region labeled B₄C. Image (b) is labeled N08 and shows the surface after 2000 cycles. An arrow points to a region labeled B₄C. Both images include a 1μm scale bar and technical data at the bottom.

57



Şekil 8.18. %5 B₄C ilaveli kompozitlerin aşınmaya bağlı aşınma oranı ve sürtünme katsayısını veren grafik

%5 B₄C ilaveli sinterleme sıcaklıkları farklı N03, N08 ve N13 numaralı kompozitlere ait aşınma oranı ve sürtünme katsayıları Şekil 8.18'te verilmiş olan grafikte görülebilmektedir. Aşınma oranı ve sürtünme katsayıları sinterleme sıcaklığı arttıkça azalmıştır. En düşük aşınma oranı ve sürtünme katsayısı 850°C'de sinterlenen N13 numunesinden elde edilmiştir.



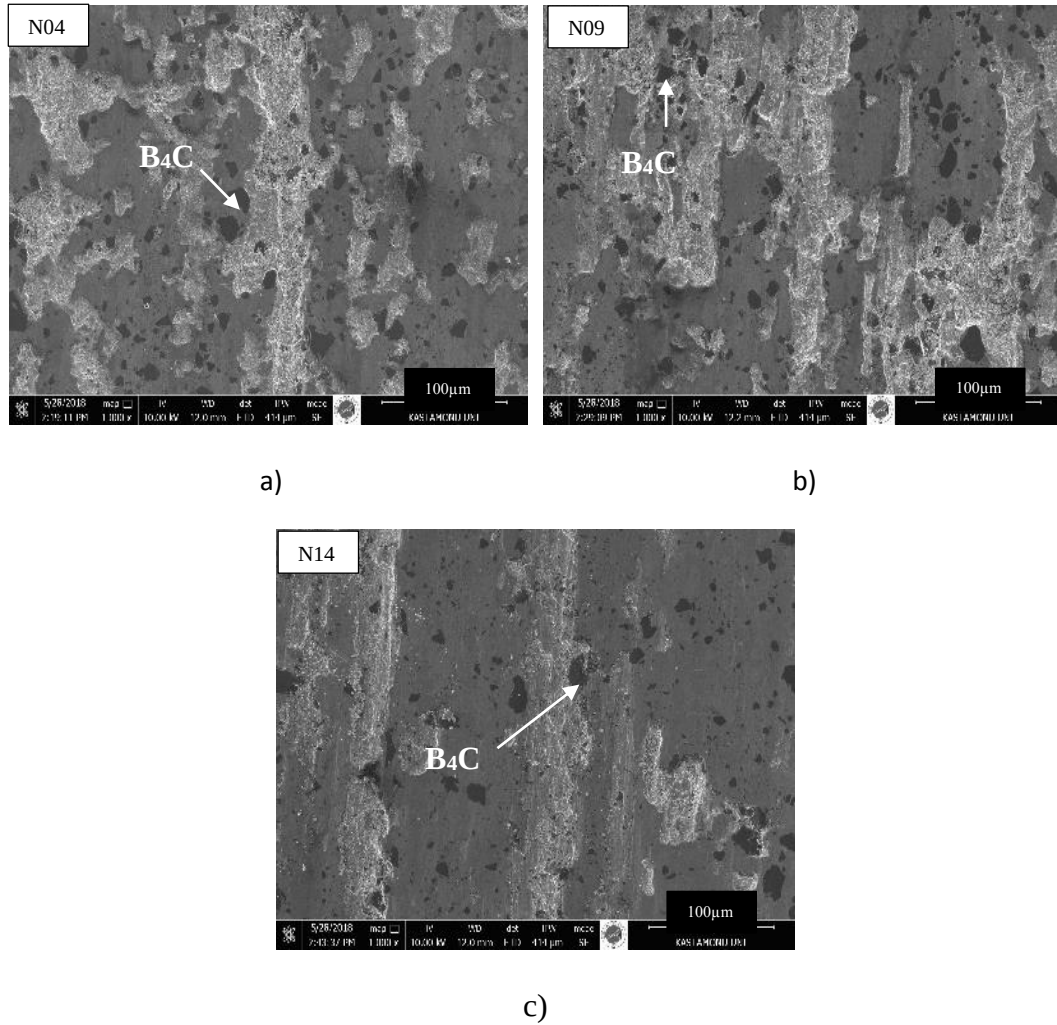
Şekil 8.19. %5 B₄C ilaveli kompozitlerin ağırlık kaybı grafiği

Deney öncesi ve sonrası not edilen ağırlık miktarları ile kompozitlerin aşınma deneyi esnasında ne kadar ağırlık kaybına uğradığı belirlenmiştir. Şekil 8.19.'ta %5 B₄C ilaveli kompozitlerdeki ağırlık kayıpları verilmiştir. Grafiğe göre sinterleme sıcaklığı

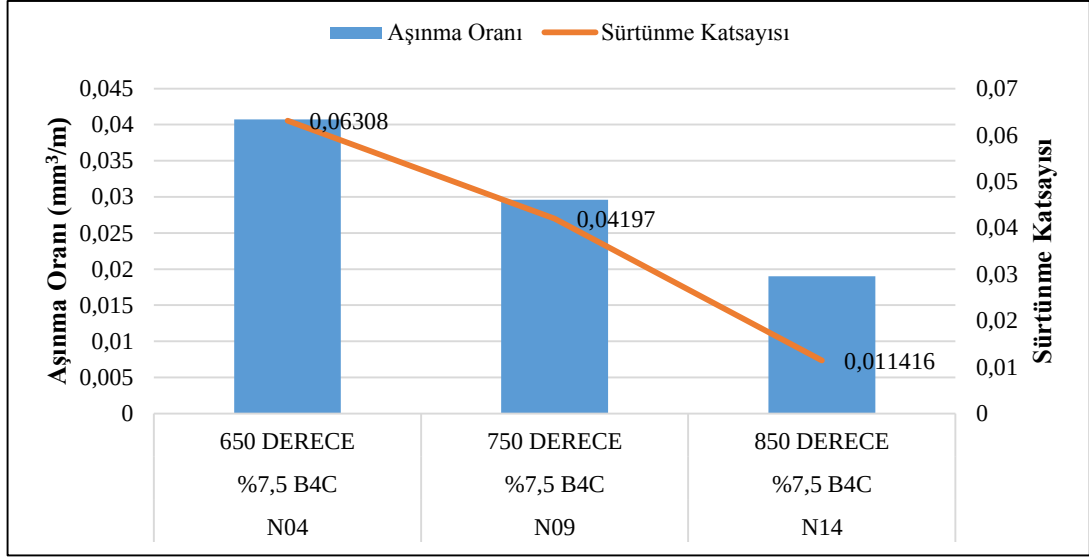
arttıkça ağırlık kayıpları azalmıştır. Bu sonuç, malzemelerin sinterleme sıcaklığı yüzünden artan sertlik değerlerinin, aşınmaya karşı etkisini göstermektedir.

8.6.2.%7,5 B₄C Takviyeli Cu/B₄C Kompozitlerin Artan Sinterleme Sıcaklığındaki Aşınma Davranışı

Şekil 8.20.'te artan sinterleme sıcaklığına bağlı olarak %7,5 B₄C içeren kompozitlerin aşınma yüzeyi görüntüleri verilmiştir. Sinterleme sıcaklığı arttıkça numunenin aşınma dayanımının artmış olduğu görülmüştür. Sinterleme sıcaklığı 650⁰C olan N04 numunesinde aşınma oranı en yüksek iken, bu sıcaklık 750⁰C'ye geldiğinde azalmakta, 850⁰C sinterleme sıcaklığında ise çok daha fazla azalma eğilimi göstermektedir.

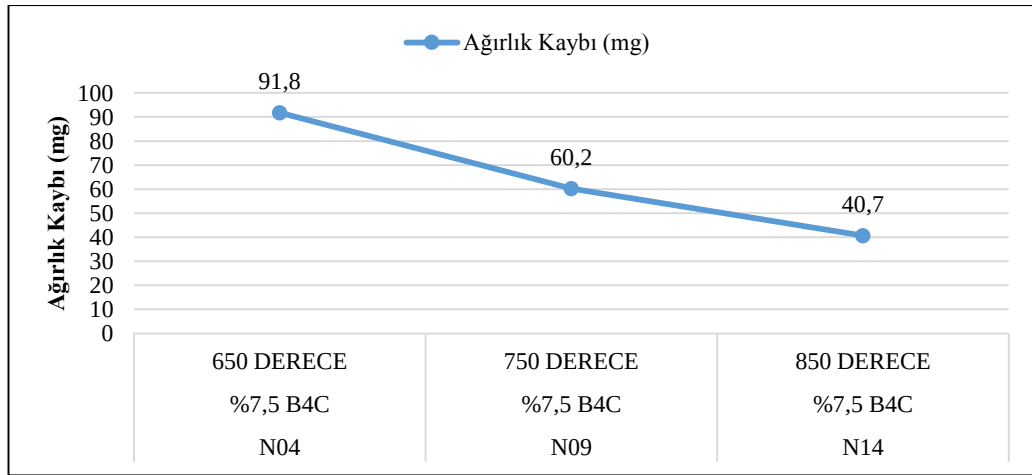


Şekil 8.20. Farklı sinterleme sıcaklıklarında üretilmiş olan %7,5 B₄C takviyeli kompozitlerin aşınma görüntüleri a)650⁰C b)750⁰C c)850⁰C



Şekil 8.21. %7,5 B₄C ilaveli kompozitlerin aşınmaya bağlı aşınma oranı ve sürtünme katsayısını veren grafik

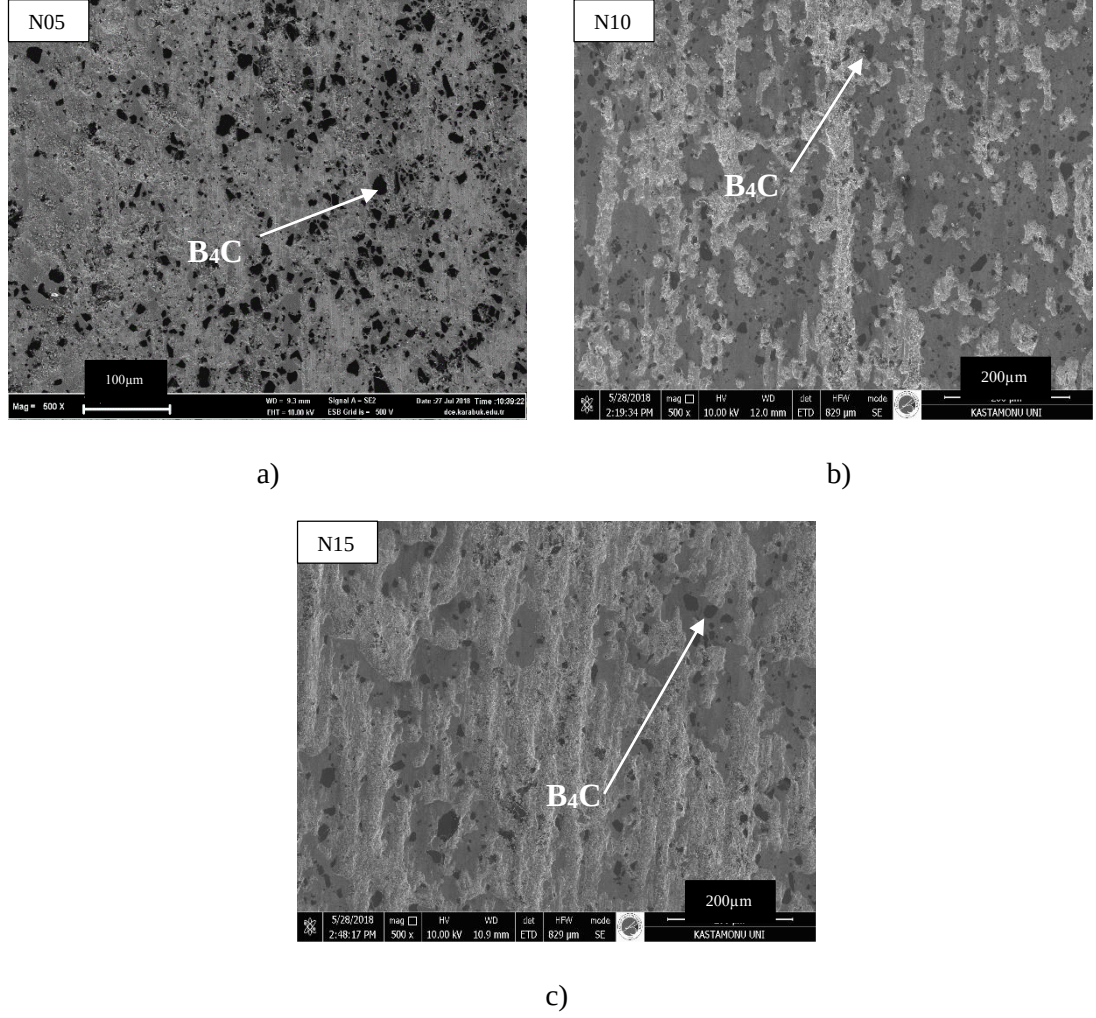
Şekil 8.21.'deki grafik incelendiğinde sinterleme sıcaklığı arttıkça %7,5 B₄C takviyeli kompozitlerin aşınma oranlarında ve sürtünme katsayılarında azalma olduğu görülmüştür. En düşük aşınma oranı ve sürtünme katsayısı 850⁰C sinterleme sıcaklığına sahip N14 numunesinde mevcuttur.



Şekil 8.22. %7,5 B₄C ilaveli kompozitlerin ağırlık kayıp grafiği

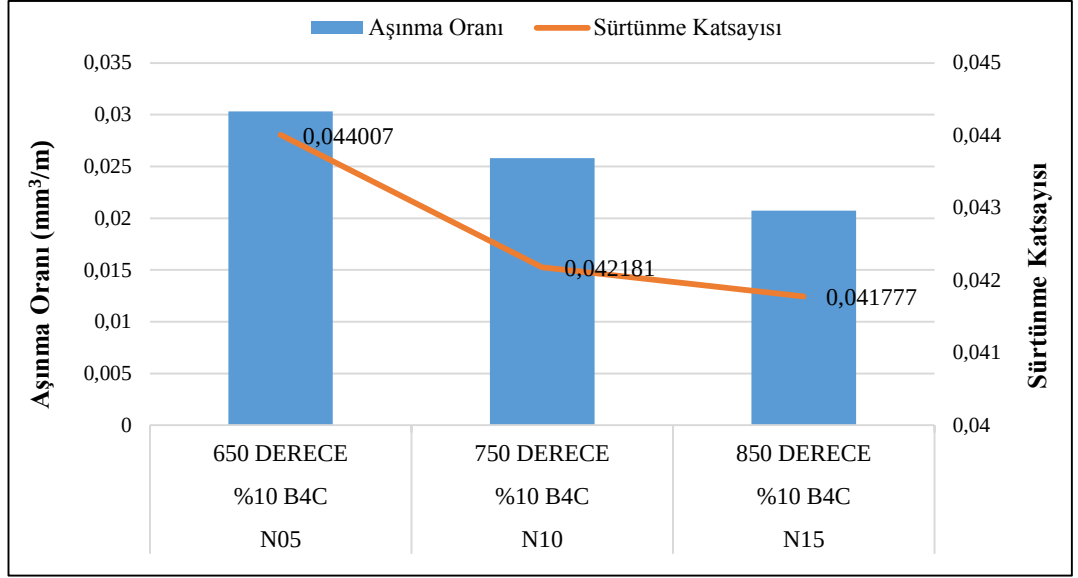
%7,5 B₄C takviyeli kompozitlerin sinterleme sıcaklıkları arttıkça ağırlık kayıplarında azalma söz konusudur (Şekil 8.22.). Sinterleme sıcaklığı arttıkça malzemenin daha homojen bir yapıya dönüşmesi, sertliğin artması, malzemeyi aşınmaya dayanıklı bir duruma getirmektedir.

8.6.3.%10 B₄C Takviyeli Cu/B₄C Kompozitlerin Artan Sinterleme Sıcaklığındaki Aşınma Davranışı



Şekil 8.23. Farklı sinterleme sıcaklıklarında üretilmiş olan %10 B₄C takviyeli kompozitlerin aşınma görüntüleri a)650°C b)750°C c)850°C

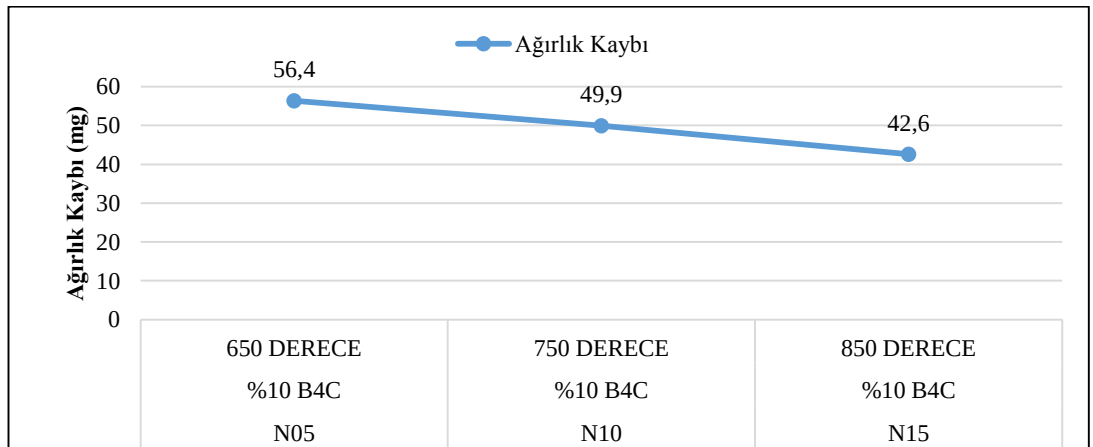
Şekil 8.23.'te 650°C, 750°C ve 850°C'de üretilmiş olan %10 B₄C katkılı Cu/B₄C kompozitlerine ait aşınma görüntüleri mevcuttur. Sinterleme sıcaklığı arttıkça malzemelerin aşınmaya karşı dayanımı artmaktadır. %10 B₄C katkılı kompozitlerin aşınmaya karşı dayanımı en çok 850°C sinterleme sıcaklığında üretilmiş olan N15 numunesinde iken en az dayanım değerlerine ise 650°C sinterleme sıcaklığında üretilmiş olan N05 numunesinden elde edilmiştir.



Şekil 8.24. %10 B₄C ilaveli kompozitlerin aşınmaya bağlı aşınma oranı ve sürtünme katsayısını veren grafik

%10 B₄C katkılı Cu/B₄C kompozitlerine ait Şekil 8.24.'te gösterilmekte olan sürtünme katsayısı ve aşınma oranını veren grafik incelendiğinde, sinterleme sıcaklığı arttıkça aşınma oranında ve sürtünme katsayılarında azalma olduğu görülmektedir.

%10 B₄C ilaveli kompozitlerde sinterleme sıcaklığı arttıkça ağırlık kayıplarında azalma olduğu Şekil 8.25.'te grafik üzerinde gösterilmiştir. Malzemenin sinterleme sıcaklığı arttıkça aşınmaya karşı dayanımının, malzemenin daha kararlı bir içyapıya dönüştüğünün göstergesidir.

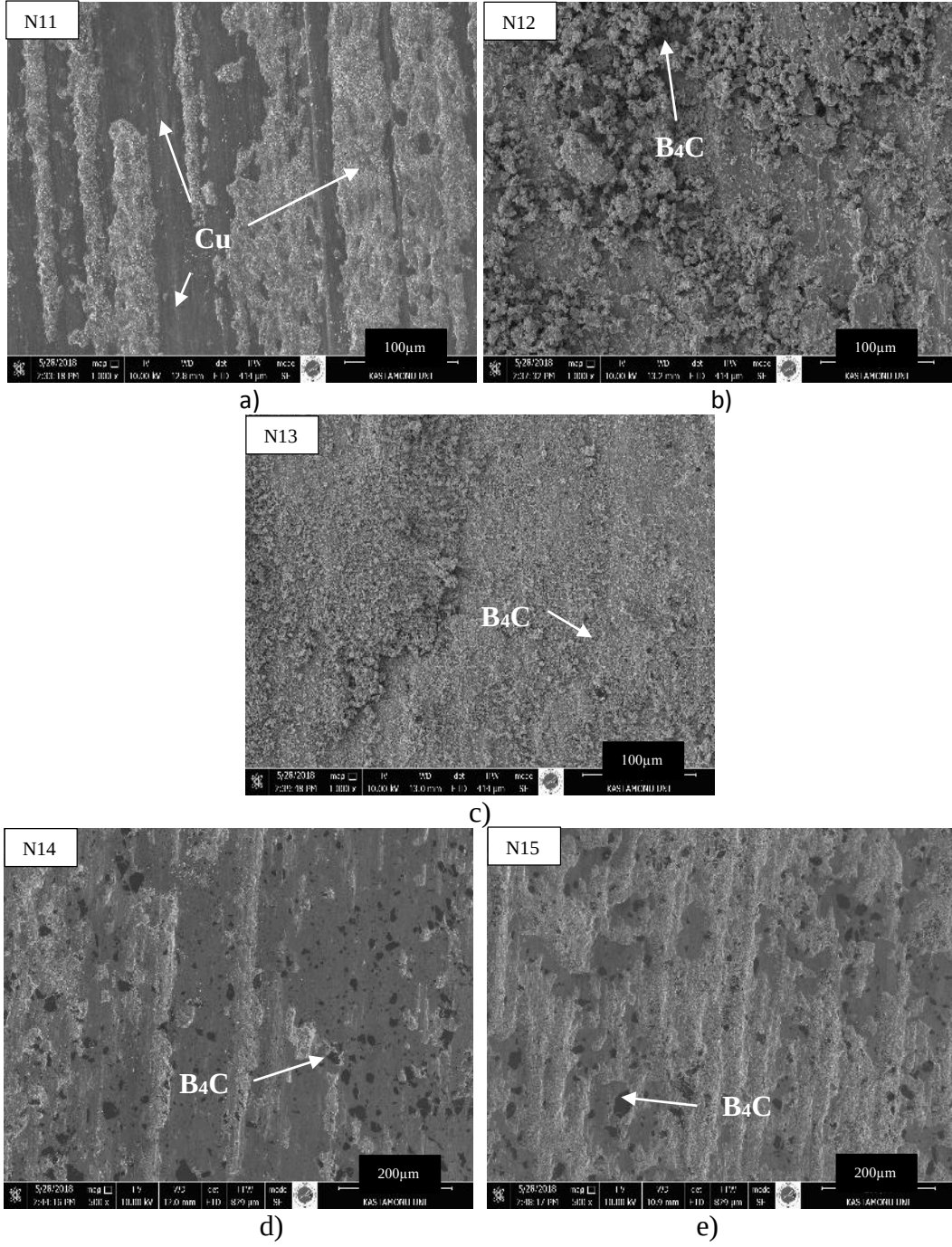


Şekil 8.25. %10 B₄C ilaveli kompozitlerin ağırlık kaybı grafiği

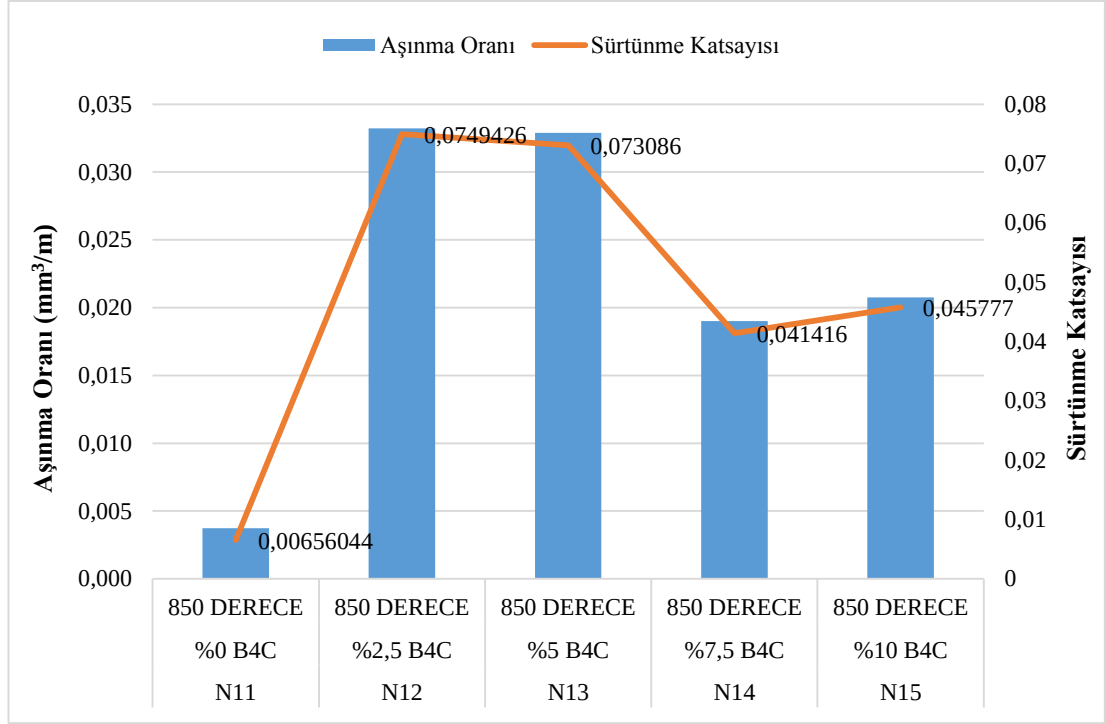
8.6.4. 850⁰C Sinterleme Sıcaklığında Üretilen Cu/B₄C Kompozitlerinin Artan Takviye Malzemesinin Aşınma Davranışı Üzerine Etkisi

Şekil 8.26.'te 850⁰C sinterleme sıcaklığında sinterlenmiş farklı takviye oranlarına sahip numunelere ait aşınma görüntüleri verilmiştir. Görüntüler incelendiğinde saf bakır olan N11 numunesinde malzeme aşınmaya karşı plastik deformasyona uğramış, ağırlık kaybı çok fazla olmamıştır (Şekil 8.26.a.). %2,5 B₄C ilaveli N12 ve %5 B₄C ilaveli N13 numunelerinde abrasiv aşınma etkilerinin diğer numunelere kıyasla çok daha fazla olduğu görülmektedir (Şekil 8.26.b,c). Bu kompozitlerde aşınan yüzeylerden kopan parçacıklar malzemenin aşınma hızını arttırmış, dolayısıyla daha fazla hacimsel ağırlık kayıplarına neden olmuştur. %7,5 B₄C ilavesi olan kompozitte aşınma izlerinde abrasiv aşınma etkileri nispeten daha düşüktür (Şekil 8.26.d.). Malzemenin %7,5 B₄C ilavesinde daha kararlı bir yapıya dönüştüğünü kanıtlamaktadır. Takviye oranı %10 B₄C olan kompozitte malzeme %7,5 B₄C ihtiva eden N14 numunesinden daha fazla aşınmaya maruz kalmıştır (Şekil 8.26.d,e.). Bu durumun yapı içerisindeki gözenek boşluklarından kaynaklandığı, gözenek miktarı en yüksek seviyede olan %10 B₄C takviyeli N15 numunesinde sertliğin azalması aşınmaya karşı dayanımını düşürmektedir.

Şekil 8.27'te 850⁰C'de sinterlenen farklı takviye oranlarına sahip kompozitlerin aşınma deneyi sırasında uğradıkları aşınma oranları ve sürtünme katsayıları verilmektedir. Aşınma oranı N11 numunesinde en düşük seviyededir. Ağırlık kaybına uğramayan numunede aşınma fazladır. Buda bakırın mekanik özelliklerinden ileri gelmektedir. Aşınma oranı, %2,5 B₄C ilavesinden %7,5 B₄C ilavesine kadar azalan değerlerde olurken, %7,5 B₄C ilavesinden sonra artış görülmektedir. Aşınma oranının %10 B₄C takviyeli kompozitlerde artış eğilimi göstermesinin nedeni yapı içerisindeki gözenek boşluklarından ileri geldiği kanaatine varılmıştır. Aşınma oranı saf bakır numunesinde oluşan plastik deformasyon nedeniyle düşük değerlerde çıkmıştır. %2,5 B₄C ve %5 B₄C ilaveli kompozitlerde abrasiv aşınmanın fazla olması nedeniyle aşınma hızı yüksek değerler çıkmıştır. %7,5 B₄C ilavesinde abrasiv aşınma etkilerinin azalması ve malzemenin daha kararlı bir yapıya dönüşmüş olması umut vericidir. %10 B₄C takviyeli kompozitte ise aşınma hızı tekrar artmıştır.

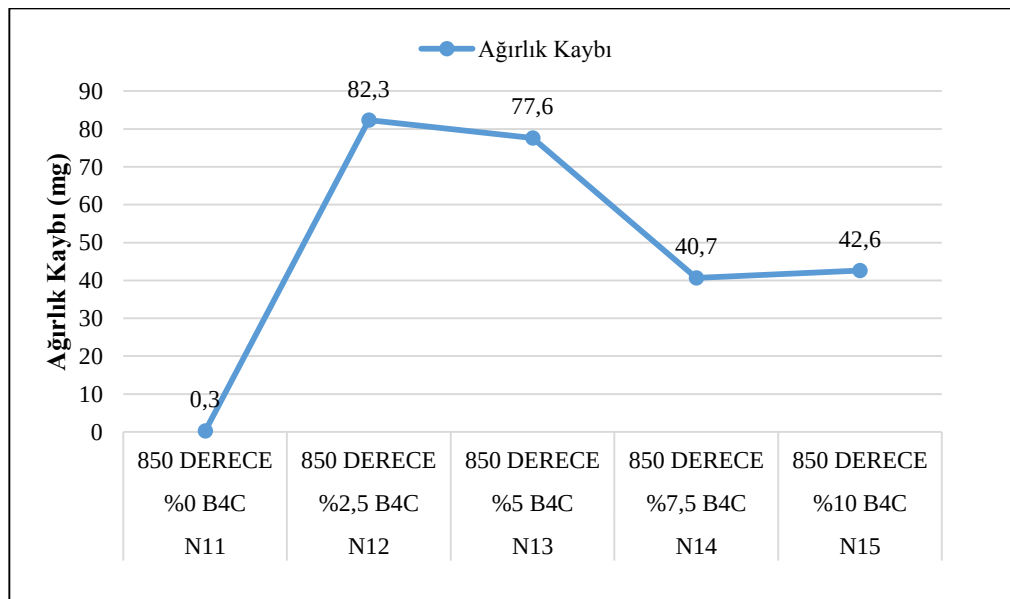


Şekil 8.26. 850⁰C’de sinterlenen farklı takviye oranlarına sahip kompozitlerin aşınma görüntüleri a) Saf bakır b) %2,5 B₄C c) %5 B₄C d) %7,5 B₄C e) %10 B₄C



Şekil 8.27. 850°C’de sinterlenen numunelere ait aşınma oranı ve sürtünme katsayısını veren grafik

Şekil 8.28.’te 850°C’de sinterlenen numunelere ait ağırlık kayıpları incelendiğinde, N11 numunesinde ağırlık kaybı minimum seviyededir. %2,5 B₄C takviyesinden %7,5 B₄C takviyesine kadar azalma görülen ağırlık kayıplarında %10 B₄C takviyesinde artış göstermiştir.



Şekil 8.28. 850°C’de sinterlenen numunelere ait ağırlık kaybı grafiği

9. SONUÇ

Geleneksel toz metalürjisi yöntemi ile elde edilen ve sıcak presleme işlemi ile sinterlenen ağırlıkça %2,5, %5, %7,5 ve %10 B₄C karışım oranlarına sahip Cu/B₄C kompozitlerinde yapılan deneyler sonucunda elde edilen veriler iki kategoride değerlendirilmiştir. Birinci kategoride sinterleme sıcaklığı sabit tutularak Cu matris içerisinde artan B₄C oranının yapı içerisindeki etkileri, ikinci kategoride ise takviye oranı sabit tutularak artan sinterleme sıcaklığının yapı içerisinde oluşturduğu etkiler değerlendirilmiştir.

9.1. B₄C Oranının Malzeme Özellikleri Üzerine Etkisi

Üretilen farklı ağırlık yüzdelerine sahip Cu-B₄C kompozitlerinin artan takviye oranına göre elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanmaktadır;

- B₄C arttıkça yoğunluk değerleri tüm numuneler için değerlerde azalma görülmüştür.
- B₄C oranı arttıkça kompozit yapısındaki gözenek (boşluk) miktarında da artış olmuştur. 650⁰C ve 750⁰C’de sinterlenen numuneler %7,5 B₄C ilavesine kadar düşüş olduğu, %7,5 B₄C ilavesinden sonra boşluk oranında artış olduğu hesaplanmıştır.
- Yapılan deneyler sonucu tüm sinterleme sıcaklıklarında üretilen numuneler için sertlik değeri %7,5 B₄C ilavesine kadar artış gösterdiği, sonrasında düşüş gösterdiği belirlenmiştir.
- Elektriksel değerleri artan B₄C ilavesi ile azalma eğilimi göstermiştir.
- B₄C oranı arttıkça numunelerin aşınmaya karşı dayanımı %2,5-%7,5 B₄C takviyesine kadar artmıştır. %7,5 B₄C ilavesinden sonra gözenek boşluklarının malzemenin sertliğini düşürmesi neticesinde kompozitlerin aşınmaya karşı dayanımı da azalmaktadır.
- Saf bakır malzemesi aşınma deneyi esnasında plastik deformasyona uğramıştır.

9.2. Farklı Sinterleme Sıcaklıklarının Malzeme Özelliklerine Etkisi

Farklı sinterleme sıcaklıklarında sinterlenen Cu/B₄C takviyeli kompozitlerin yapılarında sinterleme sıcaklığına bağlı olarak elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmaktadır.

- Farklı sinterleme sıcaklıklarında sinterlenen numunelerin hepsinin yoğunluklarında artan takviye oranına bağlı olarak düşüş olduğu belirlenmiştir.
- Bütün numunelerde sinterleme sıcaklığı arttıkça yapısındaki sinterleme boşluğunda azalma görülmüştür. En düşük gözenek miktarı 850⁰C’de sinterlenen %2,5 B₄C takviyeli Cu-B₄C kompozitte görülmüştür.
- Bütün kompozitlerde sertlik değerlerinde %7,5B₄C ilavesine kadar artış görülmüştür. Sıcaklık değişimi kompozitlerin sertliklerinde kısmen etkili olmuştur.
- Tüm numunelerde elektriksel iletkenlik değerleri düşüş eğilimi göstermiştir. 650⁰C sinterleme sıcaklığında B₄C oranının sinterleme boşluğuna bağlı olarak elektriksel iletkenlikte daha fazla bir düşüş meydana geldiği belirlenmiştir. 750⁰C ve 850⁰C’de üretilen kompozitlerin elektriksel iletkenliklerinde belirgin bir fark ortaya çıkmamaktadır.
- Sinterleme sıcaklıkları arttıkça malzemelerin aşınmaya karşı dayanımı artmakta, aşınma hızları ve ağırlık kayıpları azalmaktadır.

Bu tez çalışmasında elde edilen sonuçlar ve bilgiler neticesinde aşağıda belirtilen öneriler uygulanabilir;

- Aşınma deneyi farklı uygulama teknikleri kullanılarak Cu-B₄C kompozitlerinin aşınmaya karşı dayanımı karakterize edilebilir.
- Sinterleme sıcaklığı artırılarak aynı takviye oranları için deneyler tekrarlanılabilir.
- Sinterleme süresi artırılarak Cu-B₄C kompozitlerin üretiminde sinterleme sıcaklıklarının etkisi araştırılabilir.
- Özellikle çalışma esnasında aşınma, sertlik, yoğunluk umut verici özellikler sergileyen %7,5 B₄C takviyeli kompozitin artan sinterleme sıcaklığında

ve/veya sinterleme süresinde deneyler tekrarlanarak sonuçlar değerlendirilebilir.

- Aşınma özelliklerinin olumlu olması ve bakırın yüksek ısı iletkenliği nedeniyle abrasiv ortamlarda ısı geri dönüşümünde kullanılabilirliği düşündürmüştür. Bu amaçla da Cu-B₄C kompozitlerinde takviye oranlarının ve üretim parametrelerinin ısı iletim özelliklerinin etkisi araştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Akın, G. (2006). Toz Metalurjisi Yöntemiyle Alüminyum Matrisli Bor Karbür Takviyeli Kompozitlerin Üretilmesi Ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul.
- Alkan, M. (2008). Kendiliğinden İlerleyen Yüksek Sıcaklık Sentezi Yöntemi İle Bor Karbür Tozu Üretimi. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul.
- Alp, E., Karaçay, E., Cabbar, H.C. (2013). Düşük Sıcaklıkta Bor Karbür Üretimi ve Karakterizasyonu. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28(2), 293-302.
- Altınsoy, İ., Çelebi Efe, F.G., Aytaş, D., Kılıç, M., Özbek, İ., Bindal, C. (2013) Some Properties of Cu-B₄C Composites Manufactured by Powder Metallurgy. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*,1(1), 34-38.
- Aybarç, U., Kara, A., Çubuklusu, H.E., Çe, Ö.B. (2017). Sıcak izostatik preslemenin A356 alaşımının metalürjik ve mekanik özelliklerine etkisi. *Journal Of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 32(4), 1327-1335.
- Büyükuncu, G. (2000). Bor Karbür / Silisyum Karbür Kompozitlerinin Üretimi. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul.
- Cengiz, M. (2016). B₄C Esaslı Kompozitlerin B₄C/Me Başlangıç Tozlarından Hareketle Spark Plazma Sinterleme (SPS) Yöntemi İle Üretilmesi Ve Karakterizasyonu. Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul.
- Çağlar, E. (2015). Bor Karbür / Bor Karbür Silisyum Tabakalı Kompozitlerin Spark Plazma Sinterleme Tekniği İle Üretimi Ve Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul.
- Çallı, Ç. (2013). Farklı Seramik Takviyeli Bakır Matrisli Kompozit Kaplamalar İle Elektrik Kontak Malzemelerinin Yüzey Özelliklerinin Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul.
- Çanakçı, A. (2006). AA2024 Matrisli B₄C Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Vorteks Yöntemiyle Üretimi Ve Özelliklerinin İncelenmesi. Doktora Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Trabzon.
- Çelik, Y. (2010). Bor Karbür'ün Spark Plazma Yöntemiyle Sinterlenmesi, Çeşitli Sinterleme Katkılarının Sinterleme Ve Malzeme Özelliklerine Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul.

- Çivi, C. (2016). Toz Metal Parçaların Orta Ve Düşük Frekanslı İndüksiyon İle Sinterlenmesinde Sinterleme Parametrelerinin Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi. Doktora Tezi, *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Manisa.
- Dikici, B., Bedir, F., Gavgalı, M. (2009). Al/TiC In-Situ Nano Kompozitlerin Sıcak Presleme Yöntemiyle Üretilmesi. *5.Uluslararası ileri teknolojiler sempozyumu*, Karabük.
- Dutdibi, C. (2011). Mekanik Alaşımlama Ve Sinterleme Süreçleriyle Al₁₂Si-xSiC Ve Al₁₂Si-xB₄C(X=Ağırlıkça %5, %10 Ve %15) Kompozitlerin Geliştirilmesi Ve Karakterizasyon Çalışmaları. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul.
- Ergün, N. (2006). Borkarbür-Silisyumkarbür Kompozitlerinin Reaktif Sıcak Presleme İle Üretilmesi. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul.
- Evin, E. (2006). Oksit Takviyeli Bakır Kompozitin Mekanik Alaşımlama Yöntemi İle Üretilmesi Ve Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Elazığ.
- Gençkan, H.D. (2009). Reaktif Spark Plazma Sinterleme Yöntemi İle B₄C/SiC Kompoziti Eldesi. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul.
- German, M.R. (2014). Sinterleme Bilimine Giriş, T.Aydemir, *Sinterleme teorisi ve uygulamaları* (syf. 117-142). Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic.Ltd.Şti.
- Görener, A. (2011). AHP ve TOPSIS Yaklaşımlarıyla Metal Matrisli Kompozit İmalat Makinelerinin Seçimi. *Mühendis ve Makine Dergisi*, 52(613), 59-71.
- Hasırcı, H., Ferhat, G. (2010). B₄C/Al Kompozitlerin Takviye Hacim Oranına Bağlı Olarak Abrasif Aşınma Davranışlarının İncelenmesi. *SDU International Technologic Science*, 2(1), 15-21.
- Islak, S., Akkaş, M., Kaya, Ü., Güleç, H.G. (2017). Cu-TiC kompozitlerin mekanik ve fiziksel özelliklerinin yapay sinir ağları (YSA) modeli ile tahmini. *Technological Applied Sciences (NWSATAS)*, 12(3), 122-129. doi:10.12739/NWSA.2017.12.3.2A0119
- İpek, H., Çuvalcı, H., Çelebi, C. (2017). Tribological properties of boron carbide reinforced copper based composites. *European Journal of Engineering and Natural Sciences*, 2(1), 102-107.
- Karabaş, K. (2006). Bor Karbür Üretimi. Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İzmir.

- Karabulut, H. (2011). Toz Metalurjisi Yöntemiyle Al_2O_3 , SiC Ve B_4C Takviyeli Al Matrisli Kompozit Üretiminde Mekanik Alaşımlama Süresinin Kompozit Özelliklerine Etkisi. Doktora Tezi, *Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Ankara.
- Karaçay, E., Alp, E., Cabbar, H.C. (2011). Sol-jel yöntemiyle bor karbür üretimi ve karakterizasyonu. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 27(2), 417-428.
- Karadağ, H.B. (2012). Çelik/Bronz Talaş Kompozitin Üretimi Ve Mekanik Özellikleri. Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Konya.
- Karakulak, E. (2017). Toz metalürjik Cu-Ti malzemelerin sinterlenmesi ve karakterizasyonu. *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 13(1), 245-250.
- Kaya, Ö. (2016). Silisyum Karbür Ve Grafen Nano Plaka (GNP) Takviyeli Titanyum Diborür Seramiklerin Spark Plazma Sinterleme Yöntemi İle Üretimi Ve Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul.
- Köksal, F. (2004). Al-Cu-SiC Ve Al-Cu- B_4C Kompozitlerin Sıcak Presleme Yöntemiyle İle Üretimi Ve Aşınma Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Isparta.
- Meydanoğlu, O. (2006). Wear And Corrosion Behaviors Of Aluminum Matrix Boron Carbide Reinforced Composites. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul.
- Mohanty, R.M., Balasubramanian, K., Seshadri, S.K., et al. (2007). Multiphase formation of boron carbide in B_2O_3 -Mg-C based micropyretic process. *Journal of Alloys and Compounds*, 441, 85-93
- Nas, E., Gökkaya, H., Sur, G. (2013). Sıcak presleme yöntemi kullanılarak kompozit malzemelerin üretilebilirliği üzerine bir değerlendirme. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 3(2), 56-65.
- Nazık, C. (2013). Alüminyum Matrisli B_4C Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretimi Ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Konya.
- Orhan, A., Gür, A.K., Çalığülü, U. (2007). Al Matrisli B_4C Takviyeli Kompozitlerin Sıcak Presleme Yöntemiyle Üretimi, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, (4), 8-13.
- Öğünç, H. (2006). Sıcak Presleme İle Sinterlenmiş α -SiC Matrisli B_4C Kompozitlerinin Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul.

- Özay, Ç., Hasçalık, A. (2004). T/M yöntemi ile üretilen Cu-C-Al₂SiO₅ kompozitinin abrasiv aşınma dayanımı. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6, 175-184.
- Özel, S., Çelik, E., Turhan, H. (2009). Sıcak Presleme ile Üretilen Cu-Al/B₄C Kompozit Malzemenin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. *Journal of New World Sciences Academy*, 4(1), 106-112.
- Özkavak, H. (2014). Dikdörtgen Kesitli Kompozit Malzemeler İçin Eğilme Yorulması Test Cihazının Tasarımı Ve Örnek Uygulama. Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Isparta.
- Palacı, Y. (2001). Alüminanın Özelliklerine, Şekillendirme Yönteminin, Katkıların Ve Sinterleme Sıcaklığının Etkisi. Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul.
- Rüşen, A. (2013). Usage Of Boron Compounds In Copper Production. Doktora Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Ankara.
- Sepin, O.A. (2004). Bor Karbür-Titanyum Diborür Kompozitlerinin Sıcak Presleme İle Üretimi. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul.
- Smith, W.F. (2001). Karma Malzemeler. Saadet Özkal, *Malzeme bilimi ve mühendisliği* (pp. 117-142). İstanbul: Literatür Yayıncılık, Dağ. Paz. San. Ve Tic.Ltd.Şti.
- Sönmez, A. (2017). Alüminyum Esaslı B₄C Takviyeli Kompozit Malzemenin Aşınma Davranışlarının Araştırılması Ve Deneysel Sonuçlarının Yapay Sinir Ağlarında Modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Ankara.
- Sur, G. (2008). Karma Takviyeli Alüminyum Matriksli Kompozitlerin Üretimi, Mekanik Özellikler Ve İşlenebilirliklerinin İncelenmesi. Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Ankara.
- Şahin, U. (2015). Bor Karbür Ve Titanyum Tozlarından Hareketle Spark Plazma Sinterleme Tekniği İle Bor Karbür Esaslı Kompozit Üretimi Ve Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul.
- Taşcı, U., Gökmeşe, H., Bostan, B. (2013). AA 2014 Al Matrisli B₄C Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Mikro Yapı ve Aşınma Davranışının İncelenmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 1(4), 161-168.
- Taşdemir, F. (2017). Toz Metalurjisi İle Üretilen Cu Matrisli Nano Kompozitlerin Elektrik İletkenliği Ve Aşınma Dirençlerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Karabük.

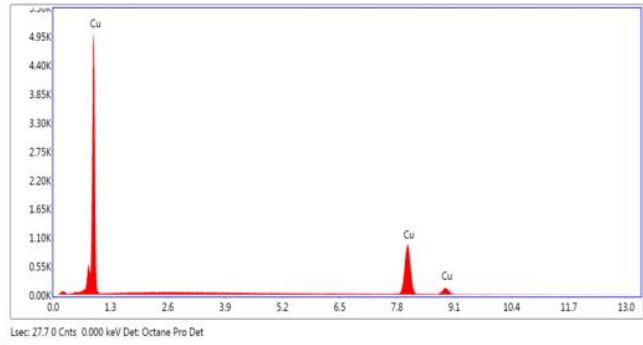
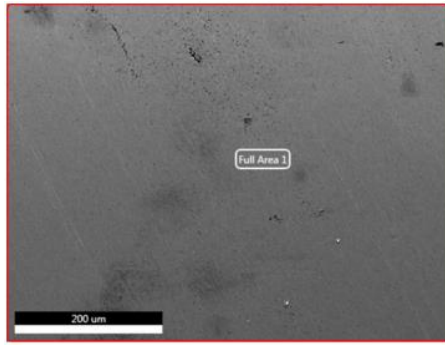
- Thévenot, F. (1990). Boron Carbide – A Comprehensive Review. *Journal of the European Ceramic Society*, (6), 205-225
- Turan, E. (2004). Bor Karbür-Silisyum Karbür Kompozitlerinin Sıcak Presleme İle Elde Edilmesi. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul.
- Ulutaş, A., Turhan, H. (2017). Toz metalürjisi ile üretilen Cu-FeB kompozit malzemelerin mikroyapı ve elektriksel özelliklerinin incelenmesi. *Technological Applied Sciences (NWSATAS)*, 12(2), 43-52. doi:10.12739/NWSA.2017.12.2.2A0111
- Ulutaş, A., Turhan, H., Çinici, H. (2016). Toz metalurjisi yöntemi ile üretilen ferrobor takviyeli bakır kompozitinin mekanik özelliklerinin belirlenmesi. *BAUN Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 18(1), 10-20.
- URL-1. Eker A. Bakır ve Bakır Alaşımları, 03/02/2018 tarihinde www.yildiz.edu.tr/~akdogan/lessons/malzeme2/Bakir_ve_Bakir_Alasimleri.pdf adresinden alınmıştır.
- URL-2. Ünal O. Kompozit Malzemeler, 12/01/2018 tarihinde www.haddemetal.com/tr/download/kompozit%20malzemeler.pdf adresinden alınmıştır.
- URL-3. Kurt, A.O. Toz üretim yöntemleri ve sinterleme, 14/05/2018 tarihinde http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/48939/27958/1_toz_uretim_yonemleri_ve_sinterleme_ders_notlari.pdf adresinden alınmıştır.
- URL-4. Bakır. 12/11/2017 tarihinde <http://www.wiki-zero.net/m/index.php?q=aHR0cHM6Ly90ci5tLndpa2lwZWVpYS5vcmcvd2lraS9CYWslQzQlQjFy> adresinden alınmıştır.
- URL-5 Bakır Yatakları Haritası, 29/04/2018 tarihinde http://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/images/b_h/bakir.jpg adresinden alınmıştır.
- Yazan, A.H., Akar, A.U., Özmerih, L. Bakır ve bakır ürünleri kullanım alanları. Toz üretim yöntemleri ve sinterleme, 14/05/2018 tarihinde www.maden.org.tr/resimler/ekler/fe473396242072e_ek.pdf adresinden alınmıştır.
- Uygun, B. (2010). Bor Karbür-Titanyum Diborür Seramiklerinin Spark Plazma Sinterleme Yöntemiyle Üretilmesi Ve Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul.
- Ünal, İ.H., Tuncel, S., Yücel, M.B., Yoleri, B., Arslan, M. (2016). Türkiye ve Dünyada Bakır. *Maden Teknik ve Arama Genel Müdürlüğü Fizibilite Etütleri Dairesi Başkanlığı*. <https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgi-merkezi/maden-serisi/Bakir.pdf>, Erişim tarihi: 03/02/2018.

- Yener, T., Altınsoy, I., Yener, S.C., Çelebi Efe, G.F., Özbek, I., Bindal, C. (2014). An Evaluation of Cu-B₄C Composites Manufactured by Powder Metallurgy. *Proceedings of the International Congress APMAS2014*, 1045-1047, Fethiye.
- Yıldırım, İ. (2003). Alumina Ve Silisyum Karbür'ün Mukavemet Özellikleri Üzerine Üretim Şartları Ve Bileşimin Etkisi. Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul.

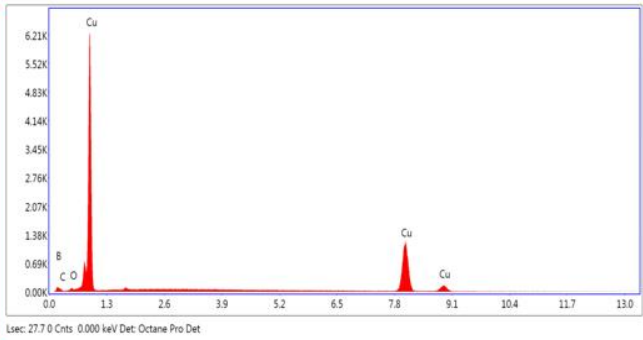
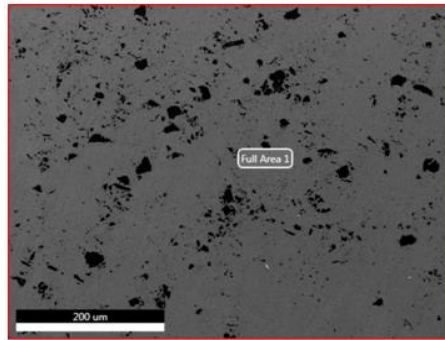
EKLER

EK 1	Cu-B₄C Kompozitlerine Ait Mikroyapı Görüntüleri ve EDS Analizleri
-------------	---

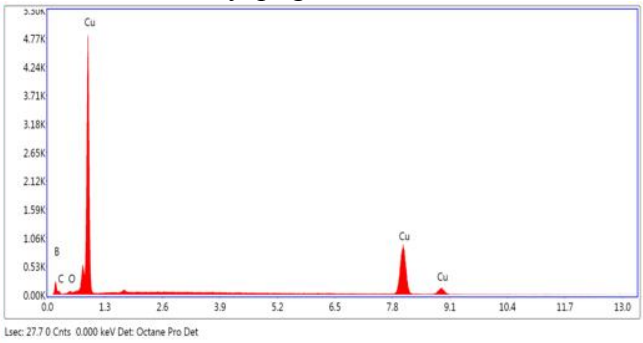
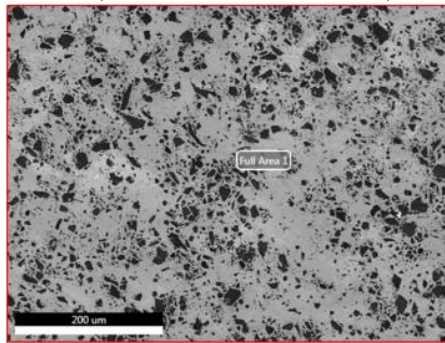
EK 1- Cu/B₄C Kompozitlerine Ait Mikroyapı Görüntüleri Ve EDS Analizleri



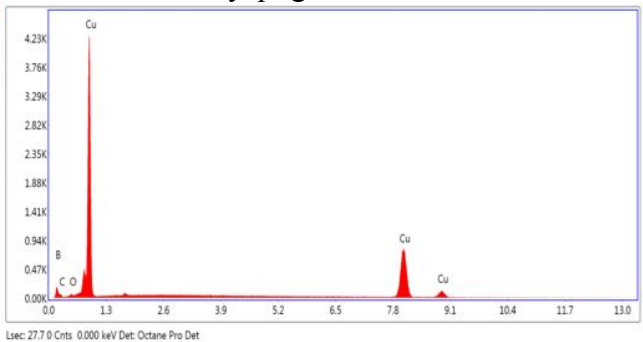
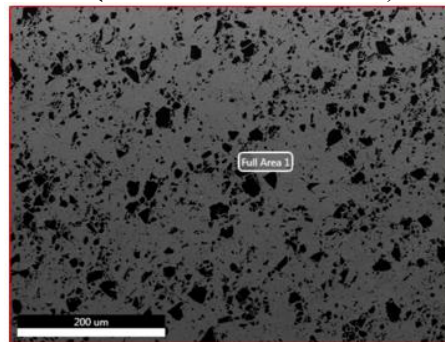
N01 (%100 Cu - %0 B₄C) numunesine ait mikroyapı görüntüsü ve EDS analizi



N02 (%97,5 Cu - %2,5 B₄C) numunesine ait mikroyapı görüntüsü ve EDS analizi

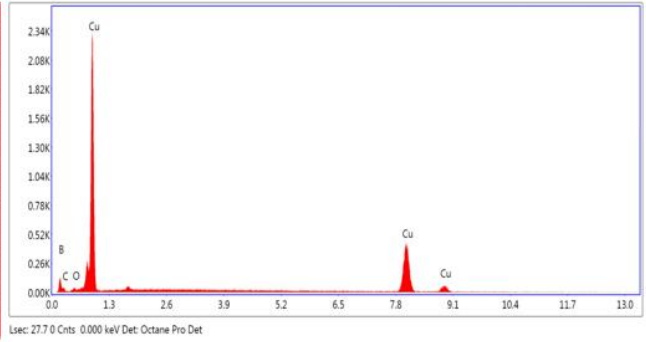
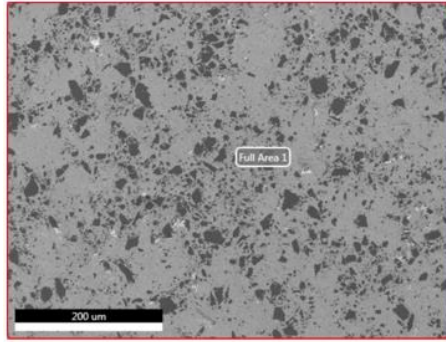


N03 (%95,0 Cu - %5,0 B₄C) numunesine ait mikroyapı görüntüsü ve EDS analizi

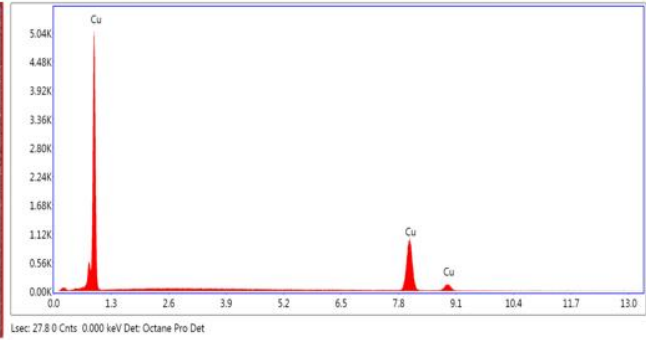
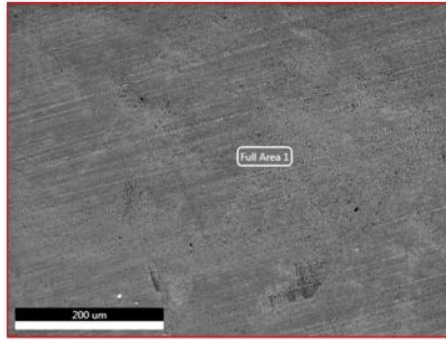


N04 (%92,5 Cu - %7,5 B₄C) numunesine ait mikroyapı görüntüsü ve EDS analizi

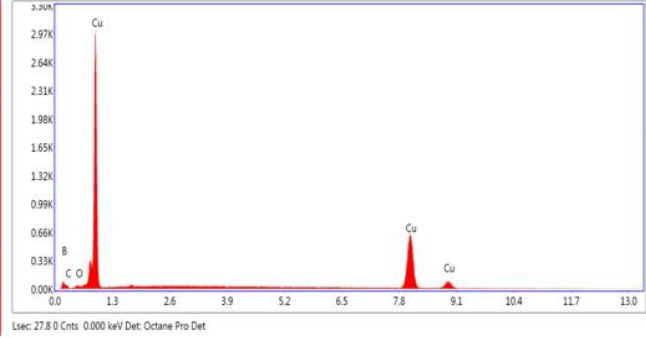
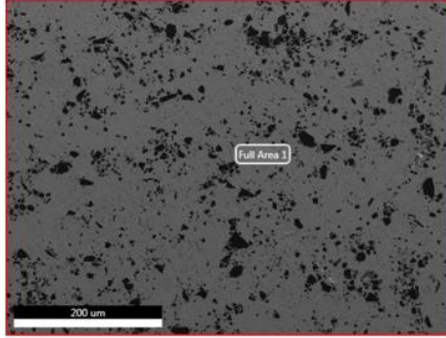
EK 1'in devamı



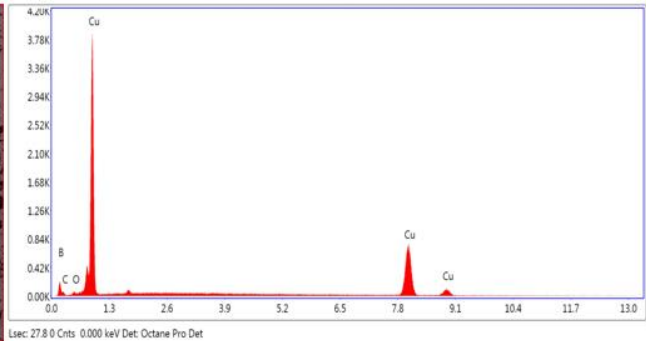
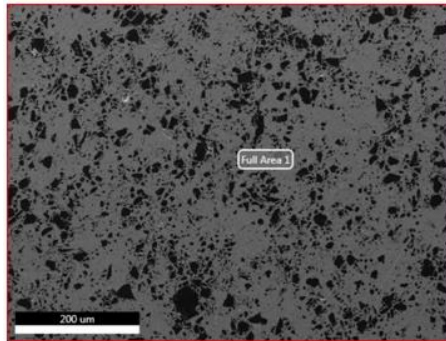
N05 (%90 Cu - %10 B₄C) numunesine ait mikroyapı görüntüsü ve EDS analizi



N06 (%100 Cu - %0 B₄C) numunesine ait mikroyapı görüntüsü ve EDS analizi

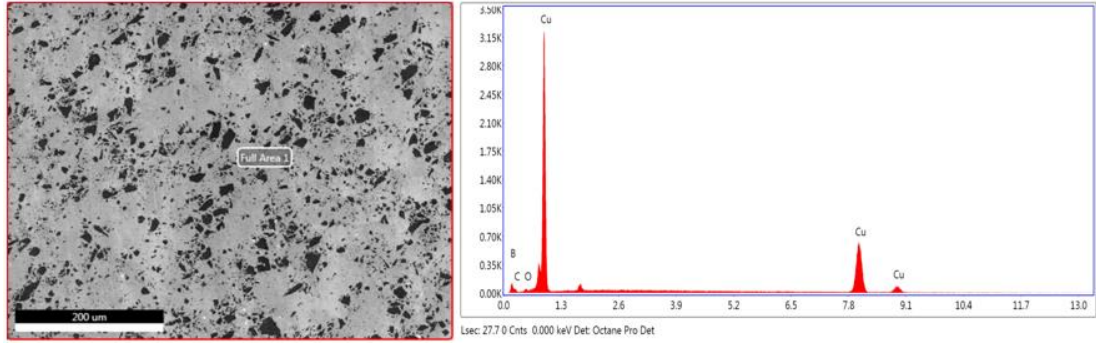


N07 (%97,5 Cu - %2,5 B₄C) numunesine ait mikroyapı görüntüsü ve EDS analizi

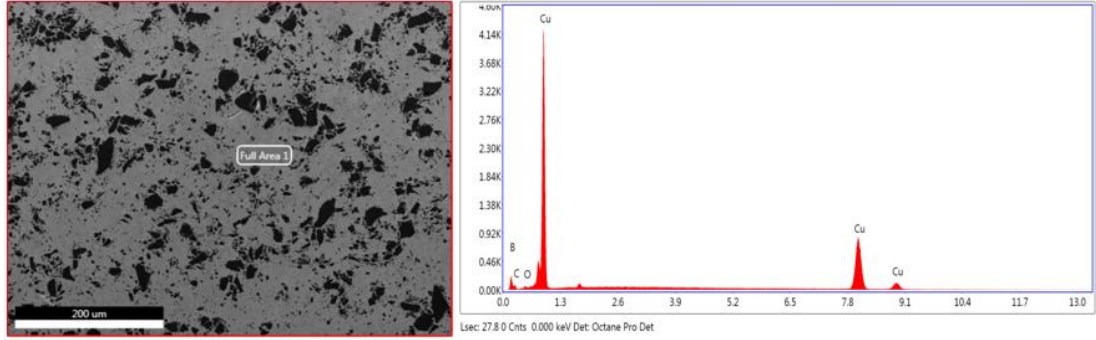


N08 (%95,0 Cu - %5,0 B₄C) numunesine ait mikroyapı görüntüsü ve EDS analizi

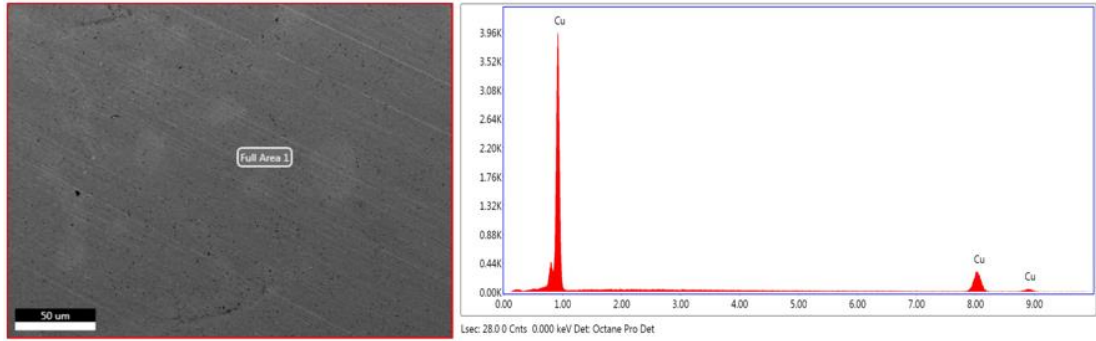
EK 1'in devamı



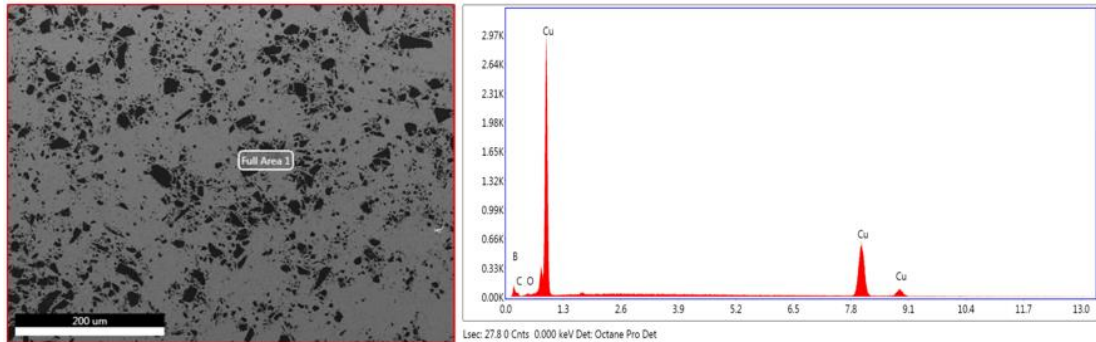
N09 (%92,5 Cu - %7,5 B₄C) numunesine ait mikroyapı görüntüsü ve EDS analizi



N10 (%90 Cu - %10 B₄C) numunesine ait mikroyapı görüntüsü ve EDS analizi

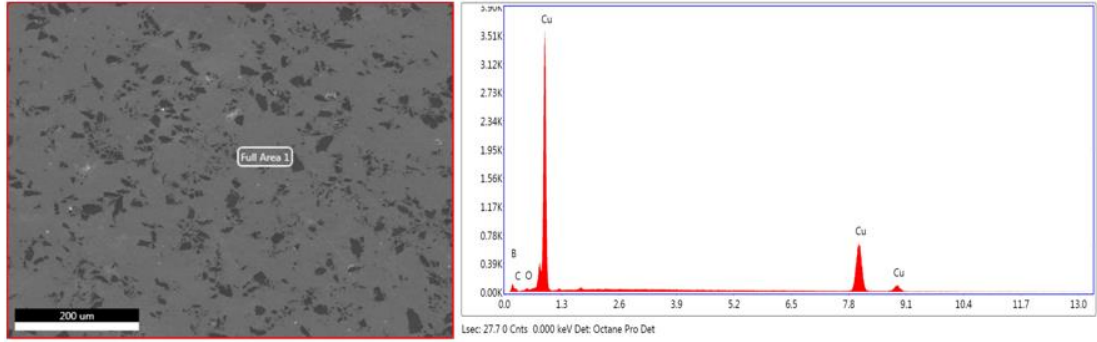


N11 (%100 Cu - %0 B₄C) numunesine ait mikroyapı görüntüsü ve EDS analizi

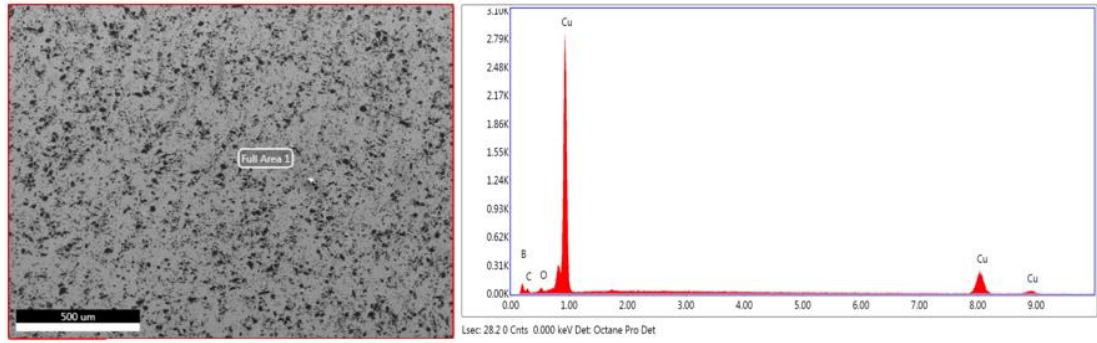


N12 (%97,5 Cu - %2,5 B₄C) numunesine ait mikroyapı görüntüsü ve EDS analizi

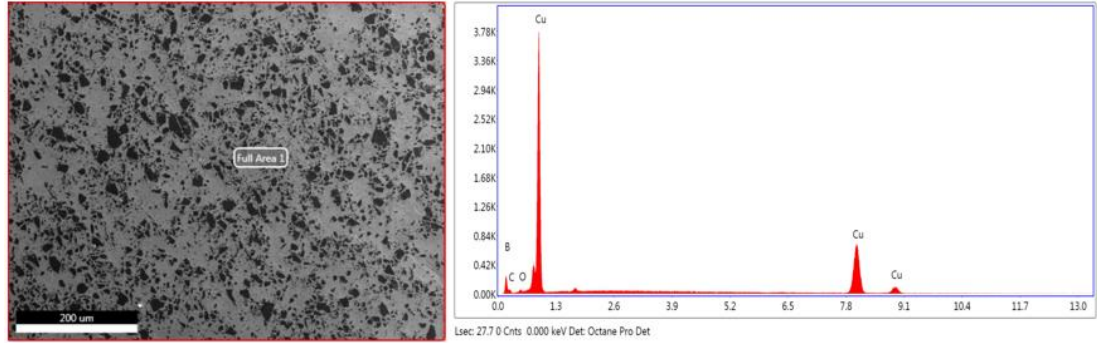
EK 1'in devamı



N13 (%95,0 Cu - %5,0 B₄C) numunesine ait mikroyapı görüntüsü ve EDS analizi



N14 (%92,5 Cu - %7,5 B₄C) numunesine ait mikroyapı görüntüsü ve EDS analizi



N15 (%90 Cu - %10 B₄C) numunesine ait mikroyapı görüntüsü ve EDS analizi

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Çiğdem URAYLI
Doğum Yeri ve Yılı : Frankfurt/B.Almanya – 17.04.1983
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce, Almanca
E-posta : uraylicigdem@gmail.com



Eğitim Durumu

Lise : İnebolu Yabancı Dil Ağırlıklı Lisesi /1997-2001
Lisans : Atatürk Üniversitesi /2001-2005
Yüksek Lisans : Kastamonu Üniversitesi / 2015 – (halen)

Mesleki Deneyim

İş Yeri : Makine Mühendisleri Odası / 2005 - 2016
İş Yeri : Türk Standartları Enstitüsü /2016 – (halen)

Yayınları

Eski, Ö., Islak, S., Uraylı, Ç. (2017). The effect of boron carbide amount of microstructure and electrical properties of Cu-B₄C composite materials. *1.Uluslararası ileri malzeme ve imalat teknolojileri konferansı*, Karabük.