

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BAKIR ESASLI KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİ  
VE  
TRİBOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Maden Müh. Cemal ÇELEBİ**

**HAZİRAN 2013  
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BAKIR ESASLI KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİ**  
**VE**  
**TRIBOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**Maden Müh. Cemal ÇELEBİ**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde**  
**"YÜKSEK LİSANS (METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ)"**  
**Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 14.05.2013**  
**Tezin Savunma Tarihi : 17.06.2013**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Hamdullah ÇUVALCI**

**Trabzon 2013**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında  
Cemal ÇELEBİ tarafından hazırlanan**

**BAKIR ESASLI KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİ  
VE  
TRIBOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunu 28/05/ 2013 gün ve 1507 sayılı  
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
olarak kabul edilmiştir.**

**Jüri Üyeleri**

**Başkan : Doç. Dr. Hamdullah ÇUVALCI .....**

**Üye : Doç. Dr. M. Vefa AKPINAR .....**

**Üye : Yrd. Doç. Dr. Aykut ÇANAKÇI .....**

**Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ**

**Enstitü Müdürü**

## ÖNSÖZ

Bakır esaslı kompozit malzeme üretimi ve tribolojik özelliklerinin incelenmesi adlı tez konum kapsamında yürütülen ve tamamlanan bu çalışmada, bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, bu çalışmaların her aşamasında yardımlarını esirgemeyen, başta danışman hocam sayın Doç. Dr. Hamdullah ÇUVALCI' ya

Çalışma kapsamında birlikte çalıştığımız ve büyük emekleri olan bölümümüz Arş. Gör. Temel VAROL, Arş. Gör. Hüseyin İPEK, Arş. Gör. Serdar ÖZKAYA'ya

Teknik destek ve yardımlarını Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünde bulunan bütün arkadaşlarıma, teknisyenlere ve tüm KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsünde bulunan personele,

Eğitimim süresince maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme, çok sevdiğim babam ve annem Enver ve Atiye ÇELEBİ 'ye, kardeşlerim Mehmet ve Gökhan ÇELEBİ'ye sonsuz ve yürekten teşekkür ederim.

Cemal ÇELEBİ

Trabzon 2013

## **TEZ BEYANNAMESİ**

Bu tez çalışmasının KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzu standartlarına uygun olarak yazıldığını, tezin akademik ve etik kurallara bağılı kalınarak gerçekleştirilmiş özgün bir bilimsel araştırma eserim olduğunu, tezde yer alan ve bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen tüm bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve kaynakların kaynaklar listesinde yer aldığını, tezin çalışılması ve yazımı aşamalarda patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim. 14/05/2013

Cemal ÇELEBİ

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET.....	VIII
SUMMARY.....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
TABLolar DİZİNİ.....	XIII
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XIV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.1.1. Kaymalı Yataklar.....	1
1.1.1.1 Kaymalı Yatakların Avantajları.....	3
1.1.1.2. Kaymalı Yatakların Dezavantajları.....	3
1.1.2. Yatak Malzemesinden Beklenen Özellikler.....	4
1.1.3. Yatak Üretiminde Kullanılan Malzemeler.....	4
1.1.3.1. Bakır Alaşımları.....	5
1.1.3.2. Sinterlenmiş (Toz Metal) Malzemeler.....	5
1.1.4. Kaymalı Yatakların Sınıflandırılması.....	5
1.1.5. Yatakların Yağlanması.....	6
1.1.5.1. Yatakları Yağlama Sistemleri.....	7
1.2. Kompozit Malzemeler.....	8
1.2.1. Metal Matrisli Kompozitlerin Üretimi.....	9
1.2.1.1. Sıvı Hal Üretim Yöntemi.....	9
1.2.1.2. Katı Hal Üretim Yöntemi.....	9
1.2.1.2.1 Toz Metalurjisi Yöntemi.....	9
1.2.2. Kompozit Malzemelerin Özellikleri.....	10
1.3. Toz Metalurjisi Ve Toz Üretim Teknikleri.....	11
1.3.1. Toz Metalurjisi ve Tarihçesi.....	13
1.3.2. Tozların Özellikleri.....	14

1.3.2.1.	Tozların Kimyasal Özellikler.....	14
1.3.2.2.	Tozların Fiziksel Özellikler.....	14
1.3.3.	Tozların Üretim Şekillerine Göre Tane Şekilleri.....	15
1.3.4.	Teorik ve Görünür Yoğunluk.....	16
1.3.5.	Tozların Sıkıştırılabilirliği.....	16
1.3.6.	Metal Toz Üretimi Yöntemleri.....	17
1.3.7.	Tozların Kalıplanması ve Preslenmesi.....	19
1.3.7.1.	Presleme.....	20
1.3.7.2.	Sinterleme.....	20
1.3.8.	Toz Metalurjisinin Avantajları ve Dezavantajları.....	22
1.3.9.	Dünyada ve Türkiye 'de Toz Metalurjisi.....	24
1.3.10.	Dünya' da Yaygın Kullanılan Metal Tozları ve Kullanım Alanları.....	26
1.4.	Bor Karbür.....	29
1.4.1.	Metal Matrisli Kompozitlerde Kullanılan Takviye Malzemeleri.....	29
1.4.1.1.	Bor Karbür.....	29
1.4.1.2.	Bor Karbürün Fiziksel Özellikleri.....	30
1.4.1.2.1	Sertlik.....	30
1.4.1.2.2	Aşınma Direnci.....	30
1.4.1.2.3	Yoğunluk.....	31
1.4.1.2.4	Elektriksel Direnç.....	31
1.4.1.3.	Bor Karbürün Kimyasal Özellikleri.....	31
1.4.1.4.	Mekanik Özellikler.....	32
1.4.1.5.	Bor Karbürün Kullanım Alanları.....	32
1.4.1.5.1	Aşınmaya Dayanıklı Malzeme Olarak.....	32
1.4.1.5.2	Zırh Yapımında.....	33
1.4.1.5.3	Nükleer Reaktörlerde.....	33
1.4.1.5.4	Refrakter Malzeme Olarak.....	33
1.4.2.	Literatür Özeti ve Çalışmanın Amacı.....	33
2.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	35
2.1.	Numunelerin Hazırlanması.....	35
2.2.	Numunelerin Sinterlenmesi.....	38
2.3.	Numunelerin Zımparalanması ve Parlatılması.....	39
2.4.	Numunelerin İç Yapısının Optik Mikroskopta İncelenmesi.....	40

2.5.	Numunelerin Sertlik Deneyleri.....	41
2.6.	Numune Yoğunluklarının ve Porozitelerinin Ölçülmesi.....	42
2.7.	Aşınma Deneyleri.....	43
2.8.	Numunelerin Aşınma Yüzeylerinin SEM’ de İncelenmesi.....	45
3.	BULGULAR.....	46
3.1.	Numunelerin Optik Mikroskopta İncelenmesi.....	46
3.2.	Numunelerin Sertliklerinin İncelenmesi.....	49
3.3.	Numunelerin Yoğunluk ve Porozitelerinin İncelenmesi.....	51
3.4.	Numunelerin Aşınma Dayanımı Bulguları.....	54
3.5.	Numunelerin Aşınma Yüzeylerinin SEM de İncelenmesi.....	62
4.	İRDELEME.....	66
5.	SONUÇLAR.....	69
6.	ÖNERİLER.....	70
7.	KAYNAKLAR.....	71
	ÖZGEÇMİŞ.....	



Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

BAKIR ESASLI KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİ VE TRİBOLOJİK  
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Cemal ÇELEBİ

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği  
Danışman: Doç. Dr. Hamdullah ÇUVALCI  
2013,73 sayfa

Bu çalışmada toz metalurjisi yöntemi (T/M) ile ağırlıkça % 2, % 4, % 6, % 8, % 10 oranlarında B<sub>4</sub>C içeren bir seri bakır esaslı kompozit malzeme üretildi. Üretilen bu kompozit malzemeler ile karşılaştırma yapmak amacıyla T/M yöntemi ile üretilen bronz malzemelerin yoğunluk, sertlik, % porozite değerleri belirlendi. Ayrıca üretilen kompozit malzemelerin, bronzun ve piyasadan tedarik edilen dökülmüş durumdaki bronzun aşınma performansları laboratuardaki mevcut bir pin on disk aşınma makinası yardımı ile belirlendi. Aşınma testine tabi tutulan malzemelerin aşınma yüzeyleri SEM de incelendi. Deneysel sonuçlarda kompozit malzemelerin yoğunluk değerlerinin B<sub>4</sub>C içeriği ile birlikte azaldığı, % porozite değerlerinin ise arttığı gözlemlendi. Bunun yanında üretilen kompozitlerin sertlik ve aşınma direncinin artan B<sub>4</sub>C içeriği ile birlikte arttığı belirlendi. Presleme basıncı ve sinterleme süresinin alaşımların yoğunluk sertlik ve aşınma direnci üzerinde etkili olduğu tespit edildi. Yapılan deneyler sonucunda düşük oranlarda B<sub>4</sub>C içeren bakır esaslı yatak malzemelerinin geleneksel olarak kullanılan dökülmüş durumdaki bronz malzemelere alternatif olabileceği belirlendi.

**Anahtar Kelimeler:** Yatak malzemesi, Bakır esaslı kompozit malzeme, Bor karbür

Master Thesis

SUMMARY

PRODUCTION of COPPER BASED COMPOSITES MATERIALS AND  
INVESTIGATION OF THEIR TRIBOLOGICAL PROPERTIES

Cemal ÇELEBİ

Karadeniz Technical University  
The Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Metallurgy and Materials Engineering  
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Hamdullah ÇUVALCI  
2013, 73 pages

In this study a series of copper based composite materials having in the range of 2.4.6.8.10 % B<sub>4</sub>C in weight were produced by using powder metallurgy technique. Density, hardness and porosity % of these composite materials and bronze materials were determined. Bronze materials were produced by using powder metallurgy technique and they were used as a comparison material for developed B<sub>4</sub>C composites. Further, tribological properties of composites, bronze and cast bronze were determined by using a pin-on disc type wear testing machine in the laboratory. In addition to that, wear surfaces of samples tested in wear test were examined by scanning electron microscopy. As a result of this study, it was found that density of composite materials decreased and porosity % of materials increased with increasing of B<sub>4</sub>C content in the materials. However, hardness and wear resistance of composite materials increased with increasing of B<sub>4</sub>C content in the composite materials. It was also found that powder compacting pressure and sintering time were effective parameters on the hardness, density and wear resistance of composite materials. Finally, it was shown that copper based composite materials having low content of B<sub>4</sub>C can be substituted for conventional cast bronze used in plain bearing applications.

**Key Words:** Plain bearing, Copper based composite material, Boron carbide

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Kaymalı yatak ve elemanları.....	2
Şekil 1.2. MMK malzemelere örnek .....	9
Şekil 1.3. Çeşitli motor malzemelerinin kullanım sıcaklığı ve mukavemet/ağırlık oranına göre performans haritaları.....	11
Şekil 1.4. Günlük hayatta sıkça görülen tozlar ve mühendislik seramiği, metal ve plastik tozları boyut aralıklarının kıyaslanması.....	12
Şekil 1.5. Endüstriyel firmaların tercih ettiği üretim yöntemleri .....	12
Şekil 1.6. Endüstriyel firmaların tercih ettiği ikincil işlemlerin oranları .....	13
Şekil 1.7. Üretim metotlarına göre tane şekilleri.....	15
Şekil 1.8. Hall akış aparatı ve Scott hacim aparatları.....	16
Şekil 1.9. Presleme işleminin akım şeması.....	20
Şekil 1.10. Küresel bakır parçacıkları arasında sinterleme sonucu zamana bağlı boyun oluşumu.....	21
Şekil 1.11. T/M yöntemi ile parça üretimi akım şeması.....	22
Şekil 1.12. T/M yöntemiyle parça üretimi akım şeması.....	26
Şekil 2.1. Hidrolik pres kalibrasyon doğrusu.....	36
Şekil 2.2. Sıkıştırma işleminin gerçekleşmesi için kullanılan soğuk takım iş çeliğinden yapılmış kalıp.....	36
Şekil 2.3. Sıkıştırma işleminin gerçekleşmesi için kullanılan soğuk takım iş çeliğinden yapılmış kalıp.....	37
Şekil 2.4. Sinterleme işleminin gerçekleştirildiği fırın ve argon tüpünün genel görünümü.....	38
Şekil 2.5. Sinterleme işleminden çıkan numunelerin görünümü.....	39
Şekil 2.6. Sinterleme ünitesi ve elemanları .....	39
Şekil 2.7. Yarı otomatikzımparalama makinası.....	40
Şekil 2.8. Yarı otomatikparlatma makinası.....	40
Şekil 2.9. Aşınma ve optik mikroskop inceleme yüzeyleri.....	41
Şekil 2.10. Brinell sertlik ölçme deney cihazı ve elemanları.....	42
Şekil 2.11. Pin on disk esaslı aşınma deney cihazının genel görünümü.....	44
Şekil 3.1. Bronz tozu tane boyut dağılımı.....	46
Şekil 3.2. % 2 B <sub>4</sub> C içeren numunenin içyapı görüntüsü (x10).....	47
Şekil 3.3. % 4 B <sub>4</sub> C içeren numunenin içyapı görüntüsü (x10).....	47
Şekil 3.4. % 6 B <sub>4</sub> C içeren numunenin içyapı görüntüsü (x10).....	47

Şekil 3.5.	% 8 B <sub>4</sub> C içeren numunenin içyapı görüntüsü (x10).....	48
Şekil 3.6.	% 10 B <sub>4</sub> C içeren numunenin içyapı görüntüsü (x10).....	48
Şekil 3.7.	(a) 736 MPa da preslenip 900 °C de 1 saat sinterlenen bronz numunesinin içyapı görüntüsü (x10), (b) 736 MPa da preslenip 900 °C de 3 saat sinterlenen bronz numunesinin içyapı görüntüsü (x10).....	49
Şekil 3.8.	(c) 736 MPa da preslenip 900 °C de 3 saat sinterlenen bronz numunesinin içyapı görüntüsü (x10), (d)319 MPa da preslenip 900 °C de 3 saat sinterlenen bronz numunesinin içyapı görüntüsü (x10).....	49
Şekil 3.9.	Sinterleme süresinin numunelerin sertliğine etkisi.....	51
Şekil 3.10.	Bor karbürün gerçek yoğunluğa etkisi.....	52
Şekil 3.11.	Bor karbürün poroziteye etkisi.....	53
Şekil 3.12.	B <sub>4</sub> C içeren numuneler ile bronzda aşınma miktarının zamanla değişimini gösteren eğriler .....	55
Şekil 3.13.	B <sub>4</sub> C içeren numuneler ile bronzda aşınma miktarının zamanla değişimini gösteren eğriler.....	57
Şekil 3.14.	Presleme basıncının bronz numunelerin aşınma dayanımına etkisi..	58
Şekil 3.15.	% 2 B <sub>4</sub> C içeren numunelere ait sinterleme süresinin aşınma dayanımına etkisi.....	58
Şekil 3.16.	% 4 B <sub>4</sub> C içeren numunelere ait sinterleme süresinin aşınma dayanımına etkisi.....	59
Şekil 3.17.	% 6 B <sub>4</sub> C içeren numunelere ait sinterleme süresinin aşınma dayanımına etkisi.....	59
Şekil 3.18.	% 8B <sub>4</sub> C içeren numunelere ait sinterleme süresinin aşınma dayanımına etkisi.....	60
Şekil 3.19.	% 10 B <sub>4</sub> C içeren numunelere ait sinterleme süresinin aşınma dayanımına etkisi.....	60
Şekil 3.20.	Sinterleme süresinin bronz numunelerine ait aşınma dayanımı üzerinde ki etkisi.....	61
Şekil 3.21.	T/M ile ve döküm yöntemi ile üretilen bronz numunelerin aşınma dayanımlarının karşılaştırılması.....	61
Şekil 3.22.	% 2 B <sub>4</sub> C içeren numunenin aşınma yüzeyinin SEM de 1000x ve 5000x görüntüsü.....	62
Şekil 3.23.	% 4 B <sub>4</sub> C içeren numunenin aşınma yüzeyinin SEM de 500x ve 5000x görüntüsü.....	62
Şekil 3.24.	% 6 B <sub>4</sub> C içeren numunenin aşınma yüzeyinin SEM de 500x ve 5000x görüntüsü.....	63
Şekil 3.25.	% 8 B <sub>4</sub> C içeren numunenin aşınma yüzeyinin SEM de 500x ve 5000x görüntüsü.....	63
Şekil 3.26.	% 10 B <sub>4</sub> C içeren numunenin aşınma yüzeyinin SEM de 1000x ve 5000x görüntüsü.....	63
Şekil 3.27.	Döküm bronz numunesinin aşınma yüzeyinin SEM de 100x ve 5000x görüntüsü.....	64

Şekil 3.28.	736 MPa da preslenmiş 900 derecede 1 saat sinterlenmiş bronz numunesinin aşınma yüzeyinin SEM de 500x ve 5000x görüntüsü.	64
Şekil 3.29.	736 MPa da preslenmiş 900 derecede 3 saat sinterlenmiş bronz numunesinin aşınma yüzeyinin SEM de 100x ve 5000x görüntüsü.	64
Şekil 3.30.	319 MPa da preslenmiş 900 derecede 3 saat sinterlenmiş bronz numunesinin aşınma yüzeyinin SEM de 1000x ve 5000x görüntüsü.....	65

## TABLORAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Kaymalı yatak elemanları ve özellikleri.....	2
Tablo 1.2. Yatak üretiminde kullanılan malzemeler.....	4
Tablo 1.3. Çeşitli metallere ait tozların üretim yöntemleri.....	18
Tablo 1.4. Yıllara göre demir ve bakır esaslı tozların kullanımı.....	25
Tablo 1.5. Yıllara göre ülkelerin bakır tozu tüketim miktarları.....	25
Tablo 1.6. T/M'nin ana uygulama alanları.....	27
Tablo 3.1. Sertlik değerleri .....	50
Tablo 3.2. Bronz numunelerinin BSD değerleri.....	50
Tablo 3.3. 900°C de 1 saat sinterlenen B <sub>4</sub> C içeren numunelerin teorik ve gerçek yoğunluk ile porozite değerleri.....	52
Tablo 3.4. 900°C de 3 saat sinterlenen B <sub>4</sub> C içeren numunelerin teorik ve gerçek yoğunluk ile porozite değerleri.....	52
Tablo 3.5. Bronz ve bakır numunelerinin yoğunluk ve porozite değerleri.....	53
Tablo 3.6. B <sub>4</sub> C içeren numunelerin ve bronz numunesinin aşınma deney sonuçları (736 MPa, 900 °C de 1 saat sinterleme) .....	54
Tablo 3.7. B <sub>4</sub> C içeren numunelerin ve bronz numunesinin aşınma deney sonuçları (736 MPa, 900 °C de 1 saat sinterleme).....	54
Tablo 3.8. B <sub>4</sub> C içeren numunelerin ve bronzun aşınma deney sonuçları (736 MPa, 900 °C de 3 saat sinterleme ) *bronz (319 MPa, 900 C ve 3 saat).....	56
Tablo 3.9. Bor karbür içeren numunelerin ve bronzun kümülatif aşınma deney sonuçları.....	56

## SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

TM	: Toz metalurjisi
SEM	: Scanning Electron Microscope
HIP	: Sıcak izostatik sıkıştırma
BSD	: Brinell sertlik değeri
$\mu\text{m}$	: Mikrometre
MPa	: Mega paskal
Al	: Alüminyum
Sn	: Kalay
Pb	: Kurşun
Ti	: Titanyum
Co	: Kobalt
Ag	: Gümüş
W	: Volfram
Zr	: Zirkonyum
Cr	: Krom
Mg	: Magnezyum
TOBB	: Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği
GPa	: Giga paskal
gt	: Teorik yoğunluk
gh	: Gerçek yoğunluk

MMK	: Metal matrisli kompozit
HF	: Hidroflorik Asit
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	: Sülfürük Asit
HNO <sub>3</sub>	: Nitrik Asit
HIP	: Hot isostatic press
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	: Borik Asit
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	: Bor Oksit
USD	: United States Dollars



## **1.GENEL BİLGİLER**

### **1.1. Giriş**

Dönel ve doğrusal hareketlerini bir yerden başka bir yere iletmek için üzerlerine dişli çark, zincir, kayış-kasnak ve kavramalara bağlanan makine elemanlarına mil denir. Yataklarda millerin bu görevlerini rahat ve verimli bir şekilde yerine getirmelerini sağlamak amacıyla kullanılan elemanlardır. Bir başka ifadeyle; Dönel ve doğrusal hareket altında kuvvet ve hareket ileten mil, aks ve tabla gibi elemanların aksinel ve radyal yöndeki kuvvetleri taşıyan ve destekleyen elemanlara yatak denir. Yataklar çalışma şekillerinin ve şartlarının farklı olması nedeniyle çok değişik biçimlerde yapılırlar. Yatakları, dönme olayının meydana geldiği kayma yüzeyinin cinsine ve dönme hareketine gösterdiği dirence göre iki ana gruba ayırmak mümkündür [1].

1. Kaymalı yataklar
2. Yuvarlanmalı yataklar

Yuvarlanmalı yataklar, alaşımlı çelik veya sert karbon çeliğinden yapılır, bunun amacı üzerlerine gelen yükleri taşıyabilmek, aşınmayı azaltmak ve paslanmayı önlemektir [1].

#### **1.1.1. Kaymalı Yataklar**

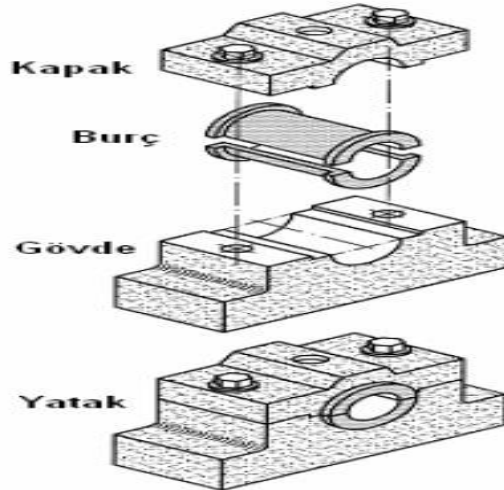
Kaymalı yataklara ait gövdeler genellikle dökme demirden yapılır. Güç ve hız gerektiren yerlerde kullanılacak yatak gövdeleri ise çelik dökümden yapılır. Yatak gövdesi kaymalı yatak tercih edilen yerlerde mil uçları doğrudan gövde elemanı olan dökme demir üzerinde çalışır. Yağlamanın önemi bu durumda çok açık ve net bir şekilde görülmektedir.

Yumuşak malzemelerden yapılan alaşımlar kaymalı yatak elemanı olarak kullanılır. Tablo 1 de kaymalı yatak elemanları ve özellikleri verilmiştir.

Tablo 1.1. Kaymalı yatak elemanları ve özellikleri [1]

Yatak elemanı	Özellikleri
Dökme demir	Dönme hareketinin düşük hızda olduğu yerlerde
Çelik döküm	Büyük hız ve güç ileten yataklarda
Bronzlar	Yüksek hızlarda büyük güçlerin iletildiği yerlerde
Beyaz metal	Dayanımları düşük olduğundan bazı hallerde bakır ve antimuan kullanılarak üçlendirilerek kullanılırlar
Alüminyum	Yüksek yük ve korozyon dayanımı yüksek yerlerde
Gözenekli metal	Metal tozlarının preslenmesi ve sinterlenmesi sonucu elde edilen geçirgen gereçlerdir.

Aşağıda Şekil 1.1' de kaymalı bir yatak ve elemanları gösterilmektedir [1].



Şekil 1.1. Kaymalı yatak ve elemanları [1]

Şekil 1.1. de kaymalı yataklarda kullanılan burç malzemesi de görülmektedir. Bu malzemelerin çalışma yüzeyinde ısı iletimi ile sürtünmenin dengeli olması ve kayganlığın

sağlanması çok önemlidir. Bu özelliğın sağlanması bakımından burç yapımında bronz kullanımı çok fazladır.

Bu yatakların bir diğeri özelliğı de titreşimli ve sarsıntılı yerlerde eğer yağlama düzenli yapılırsa uzun ömürlü olmaları ve çok kullanılmalarıdır. Ayrıca bu yataklar ucuz ve sessiz bir çalışma ortamı sağlarlar. Büyük güç ve kuvvet iletimi gerektiren yerlerde bu yataklar çok sık kullanılırlar [1].

#### **1.1.1.1. Kaymalı Yatakların Avantajları**

Aşağıda maddeler halinde kaymalı yatakların avantaj ve dezavantajları verilmiştir [2].

- Titreşimi, darbeyi ve gürültüyü iyi sönümleme özelliğı
- Titreşimlere hassas olmaması
- Doğru yağlama ve yağlayıcı seçiminin iyi olması halinde toza karşı korumalı olması
- Kolay montaj
- İki parçaya ayrılabilme
- Basit tasarıma sahip olması
- Radyal yönde az yer kaplaması
- Büyük çaplara sahip olduğı durumlarda rulmanlı yataklardan daha ekonomik olması
- Doğru yağlama ile yüksek hız kapasitesi
- Doğru yağlama ile aşınmanın çok az olması.

#### **1.1.1.2. Kaymalı Yatakların Dezavantajları**

- Yeterli yağ olmaması halinde çok ani hasarlar meydana gelmesi
- Pahalı ve karmaşık yağlama sistemleri gerekebilir
- Çok fazla yağ tüketimi
- Yağ filmi oluşumu için zaman gerekmesi
- Milin yüzey kalitesinin çok önemli olması

### 1.1.2. Yatak Malzemesinden Beklenen Özellikler

- Taşıma yeteneği (basma mukavemeti) iyi olmalıdır
- Yorulma mukavemeti
- Aşınma ve korozyona karşı dayanıklı olmalıdır
- Yağsız çalışma koşullarına maruz kaldığı zaman mil malzemesi ile kaynamamalıdır

- Dışarıdan gelen emprütelere bünyesine alabilmelidir.
- Sürtünme katsayısı düşük olmalıdır
- İyi bir ıslanma yeteneğine sahip olmalıdır
- Düşük bir ısıl genleşme katsayısına sahip olmalıdır
- Kolay işlenebilmelidir
- Ekonomik olmalıdır.

### 1.1.3. Yatak Üretiminde Kullanılan Malzemeler

Yatak üretiminde kullanılan malzemeler madensel yatak malzemeleri ve madensel olmayan yatak malzemeleri olarak iki gruba ayrılmaktadır. Yatak üretiminde kullanılan malzemeler Tablo 1.2.'de detaylı olarak verilmiştir.

Tablo 1.2. Yatak üretiminde kullanılan malzemeler

Yatak Üretiminde Kullanılan Malzemeler	
Madensel yatak malzemeleri	Madensel olmayan yatak malzemeleri
Dökme demir	Plastik malzemeler
Beyaz metal (kalay alaşımları)	Diğer malzemeler
Bakır alaşımları	
Kadmiyum alaşımları	
Alüminyum alaşımları	
Sinterlenmiş (toz metal) malzemeler	

### **1.1.3.1. Bakır Alaşımaları**

En çok kullanılanlardan biri bronzdur. Bronz kolaylıkla işlenebilen, korozyona karşı iyi bir dayanıklılık gösteren, nispeten küçük bir sürtünme katsayısı yaratan ve oldukça sert bir malzemedir. Bakır esasına dayanan yatak malzemelerinin ana kütlelerini sert bakır oluşturur. Diğer alaşım elementlerinin ( Sn ve Pb ) yumuşak kristalleri ise bu sert kütle içinde yayılmış durumdadır [3].

### **1.1.3.2. Sinterlenmiş (Toz Metal) Malzemeler**

Özel işlemler sonucunda toz haline getirilmiş maden veya maden alaşımı bir kalıp içinde istenilen şekli almak üzere preslenir. Bu şekilde elde edilen toprak ocakta sinterlenerek birbirinden ayrı olan parçacıkların birbirine kaynamaları sağlanır.

Alt basınçta yüksek basınçlı yağa doyurulur. Bu işlem sonucunda içinde çok küçük mikroskobik boşluklar bulunan bir malzeme oluşur. Bu boşluklardan dolayı sinterlenmiş malzemeler, hacimlerinin % 20 - % 35'ine kadar yağ emebilirler.

Çalışma sırasında sürtünmenin bir sonucu olarak oluşan sıcaklığın etkisiyle malzemenin parçacıkları genişler ve bunların arasında bulunan boşluklar küçülür. Boşluklarda bulunan yağ çalışma yüzeyine iletilir. Böylece kendi kendini yağlayabilen ve gözenekli yatak denilen bir sistem ortaya çıkar. Genellikle sinterlenmiş malzemelerin mukavemeti, döküm yoluyla elde edilmiş yatak malzemelerinkinden daha düşüktür. Ev cihazları, büro makinaları, pompalar, pikap ve teyplerde kullanılır [3].

### **1.1.4. Kaymalı Yatakların Sınıflandırılması**

Çeşitli durumlar göz önüne alınarak bu tür yataklarda sınıflandırma yapılmıştır. Kuvvet doğrultularına göre aksel ve radyal, yağlama bakımından ise kuru ve sıvı sürtünmeli yataklar olarak sınıflandırılmıştır [1].

Kaymalı yatakların çok geniş bir uygulama alanı vardır. Bir otomobil motorunun krank mili ve biyel kolu arasındaki yataklar, değişken yükler altında ve yüksek sıcaklıklarda binlerce kilometre çalışmalıdırlar. Güç üretim istasyonlarının buhar türbinlerinde kullanılan kaymalı yatakların yaklaşık olarak %100 güvenilirliğe sahip

oldukları söylenir. Diğer taraftan servisin nispeten önemsiz olduğu ve yüklerin hafif olduğu binlerce uygulama vardır. Bazen pek az yağlama yapılarak veya hiç yağlama yapılmadan kolayca monte edilen basit bir yatağa da gereksinim duyulur. Böyle durumlarda, yüksek hız veya eylemsizliği artırıcı etkiler, radyal boşluk gereksinimi, toleranslar, ayrıntılı muhafazalar ve maliyet gibi nedenlerden dolayı rulmanlı yataklar iyi bir seçenek değildir. Bunun yerine yağlama gerektirmeyen naylon bir yatak, kendinden yağlamalı toz metalürjik bir yatak veya bilezik yağlamalı, fitil beslemeli, katı yağ veya gres yağlı bronz bir yatak daha iyi bir çözüm olabilir. Son zamanlarda metalurjide meydana gelen yüksek gelişmeler ve yeni kullanılmaya başlanan yatak malzemeleri güvenilirliği hat safhada ve yeterli mukavemete sahip kaymalı yatak dizayn etmeye olanak sağlar [4].

#### **1.1.5. Yatakların Yağlanması**

Birbiriyle kombine (birlikte) olarak çalışan makine elemanlarının yüzeyleri arasında sürtünmeden dolayı ısınma ve aşınma kuvvetleri oluşmaktadır. Bu nedenle kombine çalışan makine parçalarında yağlama çok önemlidir. Birbiri üzerinde çalışan makine elemanları arasında aşınma ve ısınmayı minimize edecek şekilde bu yüzeyler arasında film tabakası oluşturma işlemine yağlama denir. Yağlama işleminin aşağıda verilen özelliklerden bir ya da bir kaçını gerçekleştirilmesi gerekir [1, 4, 5, 6].

- İnce bir film tabakası oluşturmak ve sürtünme kuvvetini azaltmak
- Aşınmayı en aza indirmek
- Yüzeyler arasında ki sıcaklığı istenen derecede tutmak
- Parçaları korozyondan korumak
- Sürtünen yüzeyler arasına giren parçaları ve tozları uzaklaştırmak
- Gürültüyü en aza indirmek
- Parçaların ömrünü uzatmak
- Takma ve sökme sırasında kolaylık sağlamak
- Güç kaybını önlemek

### 1.1.5.1. Yatakları Yağlama Sistemleri

Sürtünme ve aşınmayı azaltmak ve yukarıda maddeler halinde verilen özellikleri yerine getirmek amacıyla uygulanan yağlama işlemi değişik şekillerde uygulanabilir. Sadece uygun ve iyi bir yağ kullanılarak yağlama işlemi gerçekleştirilmiş olmaz, bu durumun gerçekleşmesi için uygun yağın uygun bir şekilde uygulanması gerekir. Yağlama yöntemini etkileyen pek çok parametre vardır. Bunlar;

- Yağlayıcı tipi
- Yağlayıcı miktarı
- Yağlama periyodu
- Yağlanacak yüzeylerin tasarımı gibi parametrelerdir.

Başlıca yağlama sistemleri şunlardır;

**1** - El ile yağlama; bu yöntem düşük hızlarda ve yüklerde çalışan yüzeyleri yağlamada kullanılan bir yöntemdir.

**2** - Fital ile yağlama; keçe, yün veya pamuk gibi emme kabiliyeti yüksek malzemelerin bir ucunun yağ haznesine diğer ucunun ise yağlanacak bölgeye yerleştirilmesiyle yapılan yağlamadır.

**3** - Damlalık ile yağlama; yağın haznedan doğrudan yağlanacak yüzeye damlalar halinde akmasıyla gerçekleştirilen yöntemdir.

**4** - Halka zincir ve bilezik ile yağlama; bu tür bir yağlama yatay durumdaki yatakları yağlamak için kullanılır.

**5** - Dalma ve ya banyo yağlama; sürtünen yüzeyler tamamen yağ haznesine daldırılmış bir şekilde çalışır.

**6** - Sıçratma yağlama; dönen parçalar yeterli seviyede yağ bulunan yağ haznesine çarpar ve etrafa sıçrayan yağlar ile kendini yağlar. Krank biyel mekanizmalı içten yanmalı motorlarda olduğu gibi.

**7** - Pompalı (basınçlı) yağlama; çok fazla kullanılan bir yöntemdir. Yağlanacak bölgeye yağ pompalanarak yağlama gerçekleştirilir.

**8** - Hava - yağ karışımı ile yağlama; sıvı yağ çok küçük tanecikler halinde hava ile birlikte gönderilir. Yüksek hızda çalışan makinalarda kullanılan bir yöntemdir.

**9** - Gres ile yağlama; ağır yük, düşük hız ve yüksek sıcaklık nedeniyle sıvı yağın yüzeyde tutunmasının zor ve yeterli bir film kalınlığı oluşturamadığı yerlerde kullanılan bir yöntemdir [4, 5, 6, 7].

## **1.2. Kompozit Malzemeler**

Gelişen teknolojinin ve insanoğlunun ihtiyaçlarının her geçen gün artması, farklılaşması, çeşitlenmesi ve bununsonucunda malzeme bilimi, farklı pek çok malzemeyi kombine etmekte ve istenilen özellikteki yeni malzemeleri üretmektedir [8, 9, 10].

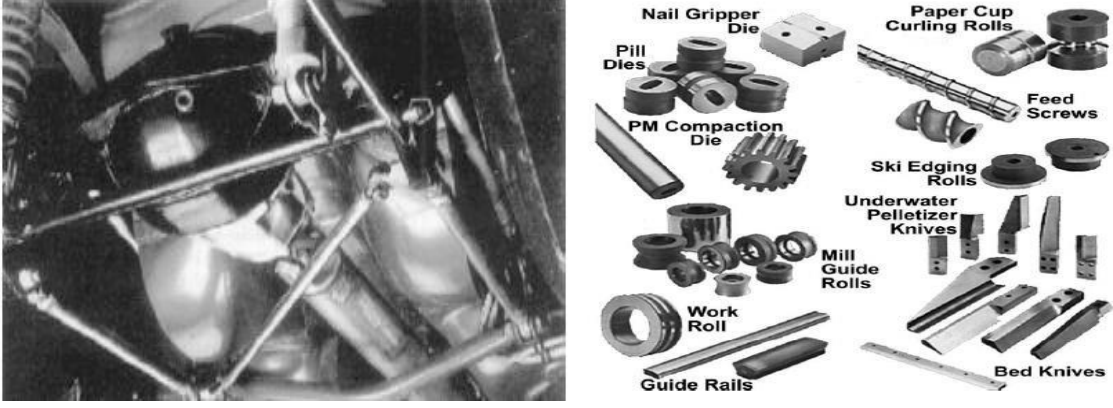
Bir malzemenin kompozit malzeme olarak değerlendirilmesi için kabaca su özellikleri taşıması gerekmektedir:

- Kimyasal olarak birbirlerinden farklı en az iki bileşenin kombinasyonu ile üretilmesi,
- Kompozit malzemeyi oluşturan bileşenlerin üç boyutlu olarak birleşmeleri,
- Nihai malzemenin, bileşenlerinin tek baslarına sahip olamayacağı özellikleri göstermeleri [8].

Metal matrisli kompozit (MMK) malzemeler, farklı özelliklerin bir araya gelmesi ile farklı gereksinimleri karşılaya bilmesinden dolayı özellikle otomotiv, uçak ve uzay endüstrilerindeki birçok mühendislik uygulamalarında geniş bir şekilde kullanılmaktadır.

MMK'ler 20 yıldır otomobil parçası üretiminde kullanılıyor olmasına rağmen, özellikle hafiflikleri nedeniyle bu malzemelere olan ilgi son yıllarda bir hayli artmıştır. 1999 yılında MMK'lerin ulaşım uygulamalarındaki üretim hacmi 1600 ton ve pazar payı 7 milyon USD' dir. Bu rakam toplam MMK üretim hacminin %62'sini oluşturmaktadır. Kısa vadede, alüminyum bazlı MMK'lerin otomotiv endüstrisindeki uygulamaları, halen çelik ve dökme demirden üretilen motor parçaları ve fren sistemi parçaları üzerine devam edecektir. Uzun vadede ise, yüksek rijitlik gerektiren uygulamalarda çelik ve alüminyum yerine alüminyum bazlı MMK sacların kullanımı potansiyel uygulamalar olarak görülmektedir [11]. Şekil 1.2. de MMK malzemelere örnekler görülmektedir.





Şekil 1.2. MMK malzemelere örnek

### 1.2.1. Metal Matrisli Kompozitlerin Üretimi

Metal matrisli kompozitlerin üretimi genel olarak iki gruba ayrılmaktadır. Bu yöntemler;

- Sıvı hal üretim yöntemi
- Katı hal üretim yöntemi

#### 1.2.1.1. Sıvı Hal Üretim Yöntemi

Sıvı faz üretim yöntemlerinde seramik partiküller, sıvı metalik matris ile çeşitli yöntemlerle karıştırılır. Bu işlem, karıştırmayı takip eden ya kompozite son şeklini kazandıran ya da ikinci bir işleme tabi tutulacak kompozitin billet şeklinde dökümü ile son bulan bir süreçtir [12].

#### 1.2.1.2. Katı Hal Üretim Yöntemi

##### 1.2.1.2.1. Toz Metalurjisi Yöntemi

Sürekli takviyeli MMK malzemelerin üretilmesinde kullanılan en yaygın metotlardan birisidir. Bu süreçte matris malzemesinin tozları ve takviye elemanı öncelikle karıştırılır ve istenen şekildeki bir kalıp içerisine konularak preslenir. Presleme işlemi

soğuk ve ya sıcak olarak yapılabilir. Fakat ara yüzey bağımlılığını iyileştirmek ve parçacık kırılmasını azaltmak için sıcak preslemeden daha iyi sonuç elde edilebilir. Birleştirilmiş ürün ikinci bir işleme operasyonundan sonra MMK malzeme olarak kullanılır.

Seramik tozlarının sıvı metal tarafından ıslatılması problemi ilk olarak toz metalurjisi yöntemi sayesinde çözülmüştür. Toz metalurjisinde ara yüzey reaksiyonları kontrol altında olduğundan, birçok alaşım ve takviye malzemesinin kullanımı için uygundur. Ayrıca bu yöntem kullanılarak yüksek hacim oranında takviye malzemesi matris alaşımı içine verilebilir. Bu sayede termal genleşme katsayısı düşürülür ve elastik modülün geliştirilmesi sağlanır.

Bu uygulamayı zamanda, matris alaşımlarının bileşimlerinin sağlanmasını ve yalnızca hızlı katılaştırma tozların kullanımı ile elde edilebilen mikro yapısal arıtların sağlanmasını mümkün kılar. Toz metalurjisinin dezavantajı ise üretiminde yüksek oranda reaktifler ve patlatıcı tozların bulunmasıdır ve bu yöntemi daha karmaşık ve sınırlayıcı hale getirir. Üretim maliyeti olarak da döküm alüminyum alaşımlarına kıyasla daha pahalıdır. Toz ekstrüzyonu, diğer metotlarla üretilmeyen şekil ve ya forma sahip parçaları elde etmek için kullanılan bir katı faz üretim metodudur [12, 13].

### **1.2.2. Kompozit Malzemelerin Özellikleri**

**1-Hafiflik:**Polimer kompozitler genelde  $1,5 - 2 \text{ gr / cm}^3$  yoğunluğundadır. Metal kompozitler,  $2,5 - 4,5 \text{ gr / cm}^3$  olmakla beraber özelliklerde sıçrama görülebilir. Seramik kompozitler ise ikisi arasındadır.

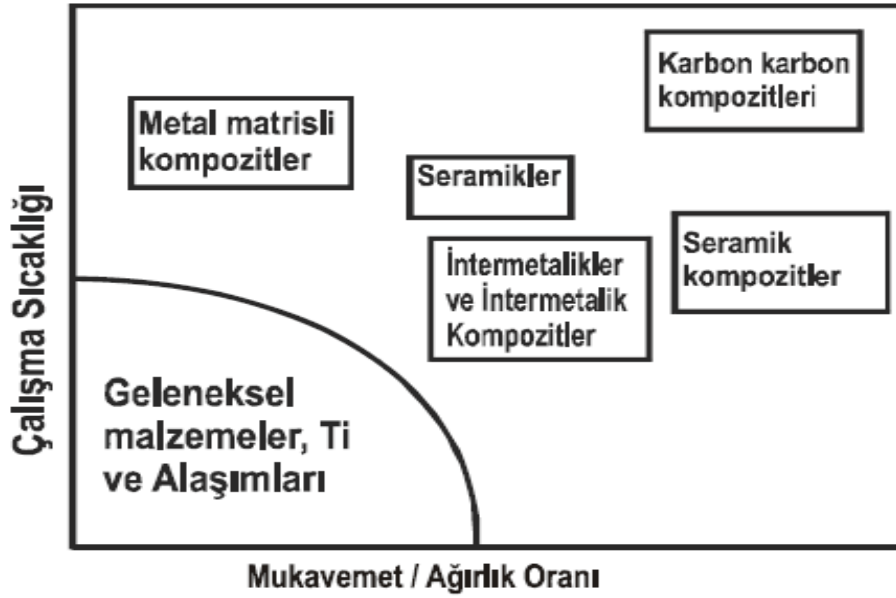
**2-Rijitlik Ve Boyut Kararsızlığı:**Genleşme katsayıları nispeten düşük olup sert, sağlam bir yapı ve büyük bir boyut kararlılığı gösterir.

**3-Yüksek Mekanik Özellikler:**Çekme, basma, darbe, yorulma dayanımları çok yüksektir.

**4-Yüksek Kimyasal Direnç:**Kompozitler birçok kimyasal maddelere, bu arada asitler, alkaliler, çözücüler ve açık hava şartlarına karşı son derece direnç gösterirler. Kimya tesisleri için çok kullanılan malzemelerdir.

**5-Yüksek Isı Dayanımı:**Kompozitlerin ısı dayanımı sıradan plastıklere göre yüksektir.

**6-Elektriksel Özellikler:**Elektriksel özellikler kompozitlerde isteğe göre ayarlanabilir.Metal Matrisli kompozit malzemeler (MMK) iletkenlerdir [14]. Şekil 1.3.de motor malzemelerinin kullanım sıcaklığı ve mukavemet/ağırlık oranına göre performans görülmektedir.



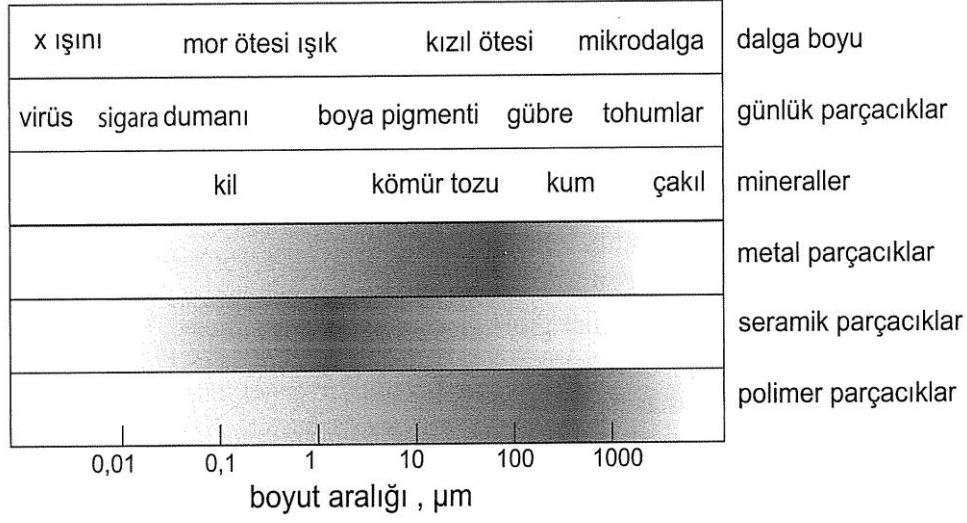
Şekil 1.3.Çeşitli motor malzemelerinin kullanım sıcaklığı ve mukavemet/ağırlık oranına göre performans haritaları [15].

### 1.3. Toz Metalurjisi Ve Toz Üretim Teknikleri

Toz metalurjisi; metalurjinin metalik toz üretimi, bu tozların şekillendirilmesi ve sinterlenmesiyle yapılan ürünlerin imalatı ile ilgilenen bölümüdür. Daha açık bir ifadeyle toz metalurjisi; uygun yöntemler kullanılarak elde edilen metal tozlarının elde edilmek istenilen özellikleri gerçekleştirecek biçimde karıştırılıp şekillendirildikten sonra preslenip, sinterlenmesiyle elde edilen malzemenin makine parçası üretilen bir üretim tekniğidir [16].

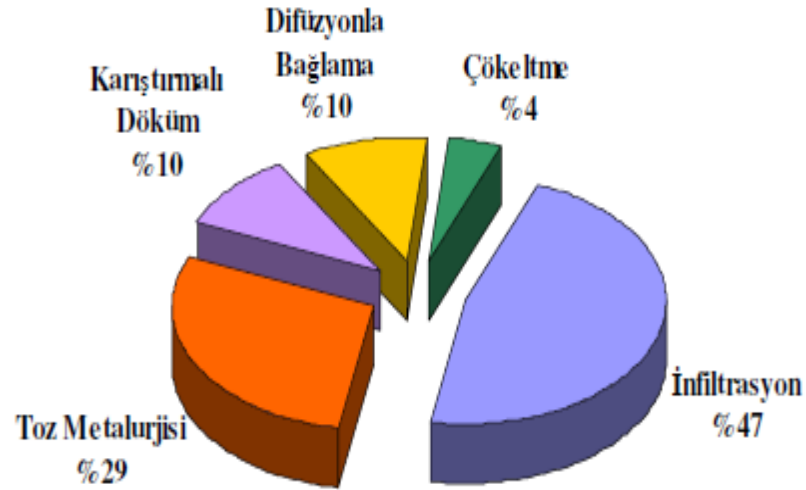
T/M düşük enerji tüketimi, düşük maliyet ve yüksek verimde seri bir şekilde üretim süreçlerinden yararlanır. Bu özelliklerinden dolayı toz metalurjisi verimlilik, enerji ve hammadde gibi önem arz eden özellikler ile uyum içerisindedir. Şekil 1.4. de günlük

hayatta sıkça görülen tozlar ve mühendislik seramiği, metal ve plastik tozları boyut aralıklarının kıyaslanması gösterilmektedir.

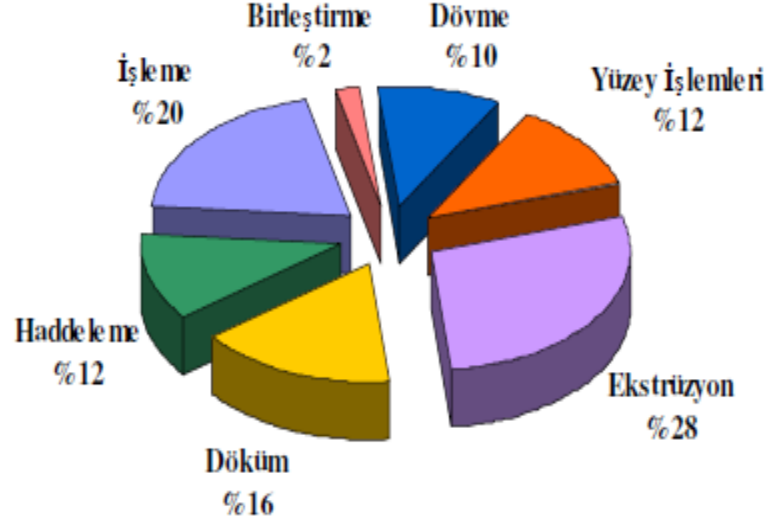


Şekil 1.4.Günlük hayatta sıkça görülen tozlar ve mühendislik seramiği, metal ve plastik tozları boyut aralıklarının kıyaslanması [17]

MMK'lerin üretiminde endüstriyel firmaların tercih ettiği üretim yöntemlerinin oranları aşağıdaki Şekil 1.5 de verilmiştir. Ayrıca, firmaların üretilen kompozit malzemelere uyguladıkları ikincil işlemlerin oranları Şekil 1.6 da verilmiştir.



Şekil 1.5.Endüstriyel firmaların tercih ettiği üretim yöntemleri [18]



Şekil 1.6.Endüstriyel firmaların tercih ettiği ikincil işlemlerin oranları [18]

### 1.3.1. Toz Metalurjisi ve Tarihçesi

Günlük hayatta kullandığımız ve hatta hayatımızın olmazsa olmazı pek çok şey aslında tozdur, un, şeker, tuz, tahıllar bunların hepsi tozdur. Pek çok tarihi eski veri olmasına rağmen teknik ürünlerde tozların kullanılması ancak 20. Yüzyılın ikinci yarısından sonra gerçekleşmiştir. Yunanca da ‘keramos’ günümüzde kullanılan seramikten gelmekte ve kil esaslı sinterlenmiş çömlek anlamına gelmektedir. Tarihin eski dönemlerinde bile toz ile yapılmış pek çok eşya bulunmaktadır. Örneğin; eskiden de tuğlalara pişirilerek mukavemet kazandırılıyordu. Bu yöntem tarihte metale ilk olarak İnkalar tarafından uygulanmış, daha sonra M.Ö 3000’li yıllarda Mısırlılar demir tozlarını kullanmışlardır [17].

M.S 400 yıllarında da Hindistan da bir demirci ustası günümüzde ki toz metalurjisine benzer bir yöntemle 6500 kg ağırlığında bir kütle elde etmiştir. 1892 yılında W.H Wolaston platini toz metalurjisi yöntemiyle elde ederek toz metalurjisinin uygulayıcısı ismini almıştır. 1826 yılında Rusya da tedavüle çıkarılan platin para toz metalurjisinin ilk endüstriyel tatbikatı olmuştur [16].

### 1.3.2. Tozların Özellikleri

Üretim teknikleri metal tozlarının kullanım alanlarını sınırlamaktadır çünkü metal tozlarının birçok özellikleri üretim yöntemlerine göre belirlenmektedir. Bazı istisnai durumlar da farklı imal yöntemleriyle hazırlanan tozlar aynı tür parçanın imalinde eşdeğer olarak kullanılabilir. Örneğin; elektrolitik ve indirgenmiş bakır tozlarının bronz yataklarda kullanılması gibi [16].

Metal tozlarının özellikleri iki ana başlık altında incelenebilir.

- Tozların kimyasal özellikleri
- Tozların fiziksel özellikleri

#### 1.3.2.1. Tozların Kimyasal Özellikler

Kimyasal özellikleri kullanılarak tozun bileşimi ve saflığı anlaşılmaktadır. Genellikle tozların içerisine üretim esnasında kimyasal indirgenme sonucu yabancı parçacıklar karışır. Yeterli indirgenmemiş toz taneciklerin de oksit kalıntılarına rastlanabileceği gibi tane sınırlarında da oksitlenme görülür. Tozların hava ile teması sonucu bir süre sonra tozlar oksitlenebilir. Tozların preslenmesi esnasında Cr, Zr, Al, Mg, Pb, Sn gibi metalleri kararlı oksitlerinin kalıp ve zımba yüzeylerinde olumsuz etkileri gözlenmiştir [16].

#### 1.3.2.2. Tozların Fiziksel Özellikler

Tozların fiziksel özellikleri, ölçülebilen özelliklerinden oluşur.

- Parçacık boyutu
- Parçacık şekli
- Parçacık yapısı
- Özgül yüzey
- Görünür yoğunluk
- Akış hızı

- Yığılma açısı gibi özellikler tozların fiziksel özellikleridir.

Presleme ve sinterleme özellikleri de bu özelliklerle yakından ilgilidir [16].

### 1.3.3. Tozların Üretim Şekillerine Göre Tane Şekilleri

Tozları oluşturan partiküllerin şekli, tozların akış, görünür yoğunluk, sıkıştırılabilirlik, ham mukavemet gerginlik sinterlenebilirlik gibi özelliklerini önemli ölçüde etkileyen önemli bir etkidir. Toz parçacık şekilleri yukarıda görüldüğü gibi homojen bir şekilde değildir. Tek boyutlu (iğne) iki boyutlu (dentritik) pul ve üç boyutlu (küresel) olarak sınıflandırılırlar.

Tane şekli küresel ve bu şekle yakın şekillere sahip tozlar kolay akış şekli sergilerken kübik, süngerimsi gibi şekilli tozlar daha zor akış sergiler. Gözenekli tozlar ve köşeli tozlar daha düşük yoğunluğa sahiptirler. Bunun yanı sıra düzgün şekilli tozları preslemek daha kolay ve presledikten sonra sinterlemek daha kolaydır bu tür tozlarda sıkışma daha iyi olur ve difüzyon daha hızlı olur [16]. Şekil 1.7. de üretim metotlarına göre tane şekilleri verilmektedir.

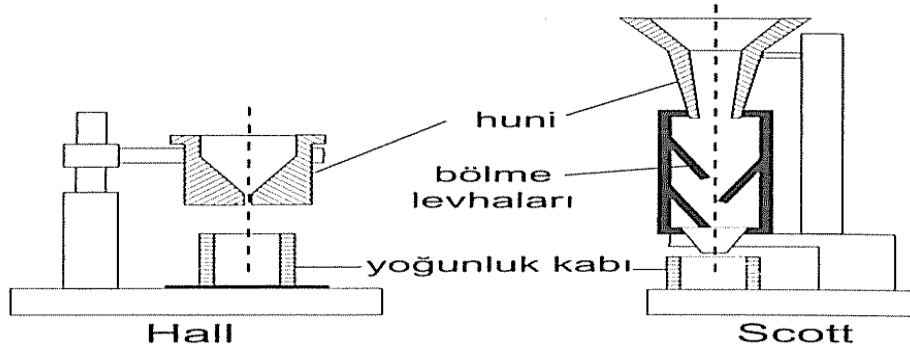


Şekil 1.7. Üretim metotlarına göre tane şekilleri [7]

### 1.3.4. Teorik ve Görünür Yoğunluk

Hall akış aparatı ile ölçülen görünür yoğunluk, parçacık şekli, boyutu, yüzey alanı ve parçacıkların düzeni gibi faktörlerle yakından ilgilidir. Hall akış aparatı aşağıda görüldüğü gibidir [16].

Hall akış aparatının standart yükseklikteki hunisinden, 25 cm<sup>3</sup>'lük hacme sahip kabına toz doldurulur. Toz huniden akarak alttaki kabı doldurur, kap dolunca toz ağırlığı tartılarak toz yoğunluğu bulunur. Görünür yoğunluk belirli şartlar altında dökülerek elde edilen yoğunluktur. Başka bir ifadeyle görünür yoğunluk sıkıştırılmamış tozun yoğunluğudur. Teorik yoğunluk ise eğritilerek bir kaba dökülmüş malzemenin yoğunluğudur [16]. Şekil 1.8. de Hall akış aparatı ve Scott hacim aparatı gösterilmektedir.



Şekil 1.8.Hall akış aparatı ve Scott hacim aparatları [17]

### 1.3.5. Tozların Sıkıştırılabilirliği

Tozların sıkıştırılabilirliği, uygulanan basınç ile kolay sıkışabilme ve yüksek yoğunluk sağlama kabiliyetidir. Başka bir deyişle tozların sıkıştırılabilirliği; sıkıştırma işleminden sonra malzemede ölçülen porozite oranını düşük olması demektir. Sıkıştırılabilirlik yoğunlaştırma parametresi ile tanımlanır.

Yoğunlaştırma parametresi =  $\frac{gh - gg}{gt - gg}$  dir.

Burada; gh: ham yoğunluk

gg: görünür yoğunluk

gt: teorik yoğunluk



Ham yoğunluk sıkıştırılmış tozun sinterlemeden önceki yoğunluğudur. Yani tozun sıkıştırma sonrası sinterleme öncesi yoğunluğudur. Yoğunlaşma parametresi tozların yoğunlaşma oranını tespit eder ve bu yoğunluk teorik yoğunluğa yaklaşıncaya bir, görünür yoğunluğa yaklaşıncaya sıfır olur. Sıkıştırma oranı ise; tozun sıkıştırılmadan önceki hacminin, sıkıştırıldıktan sonraki hacmine oranıdır. Tozun sıkıştırılabilirliği, toz şekline, tane büyüklüğüne ve dağılımına, tozun sertliğine ve kullanılan yağlayıcılara bağlıdır [18].

### 1.3.6. Metal Toz Üretimi Yöntemleri

Metal tozlarının üretiminde çeşitli yöntemler vardır. Tozların imalinde kullanılan yöntemler tozlara ait bazı özellikleri de tespit eder. Bu yöntemlerin bazıları şunlardır [17];

- Mekanik toz üretim yöntemleri
  - 1 – Talaşlı imalat
  - 2 – Öğütme
  - 3 – Aşındırarak öğütme ve mekanik alaşımlama
  - 4 – Diğer darbeli teknikler
- Elektrolizle üretim teknikleri
- Kimyasal üretim teknikleri
  - 1 – Katının gazla bozunması
  - 2 – Isıl bozulma
  - 3 – Sıvıdan çökeltme
  - 4 – Gazdan çökeltme
  - 5 – Katı – katı tepkime sentezi
- Atomizasyon yöntemleri
  - 1 – Gaz atomizasyonu
  - 2 – Sıvı ve su atomizasyonu

3 – Savurmalı atomizasyon

4 – Plazma ve diğer atomizasyon yöntemleri

- Buharlaştırma yöntemleri
- Mikron altı ve nano ölçekli tozların üretim yöntemleri
- Özel tozların üretim yöntemleri

Aşağıdaki verilen Tablo 1.3. de çeşitli metallere ait tozların üretim yöntemleri verilmiştir.

Tablo 1.3. Çeşitli metallere ait tozların üretim yöntemleri [17]

<b>Malzeme</b>	<b>Kullanılan yaygın yöntemler</b>
Alaşım çelikleri (takım çeliği)	Su atomizasyonu, gaz atomizasyonu, savurmalı atomizasyon
Alümina	Öğütme
Alüminyum	Hava atomizasyonu, gaz atomizasyonu, öğütme
Bakır	Elektrolitik, gaz atomizasyonu, su atomizasyonu, kimyasal çökeltme, oksit indirgeme, tuz bozunması
Bakır alaşımları (pirinç, bronz)	Su atomizasyonu, hava atomizasyonu
Altın	Elektroliz, hava atomizasyonu, kimyasal çökeltme
Demir	Oksit indirgeme, su atomizasyonu, elektroliz, karbonil bozunma, gaz atomizasyonu, savurmalı atomizasyon
Nikel alaşımları	Asal gaz atomizasyonu, su atomizasyonu, savurmalı atomizasyon
Değerli metaller (Ag)	Hava atomizasyonu, elektrolitik biriktirme, kimyasal çökeltme

Tablo 1.3.'ün devamı

Reaktif metaller (Ti)	Klorür indirgeme, savurmalı atomizasyon, kimyasal çökeltme, hidrojenleme – hidrojen giderme
Isıya dayanıklı metaller (W)	Oksit indirgeme, kimyasal çökeltme, savurmalı atomizasyon, plazma atomizasyonu
Özel alaşımlar (Co - Cr)	Gaz atomizasyonu, su atomizasyonu, savurmalı atomizasyon, plazma atomizasyonu
Süper alaşımlar	Gaz atomizasyonu, savurmalı atomizasyon, mekanik alaşımlama

### 1.3.7. Tozların Kalıplanması ve Preslenmesi

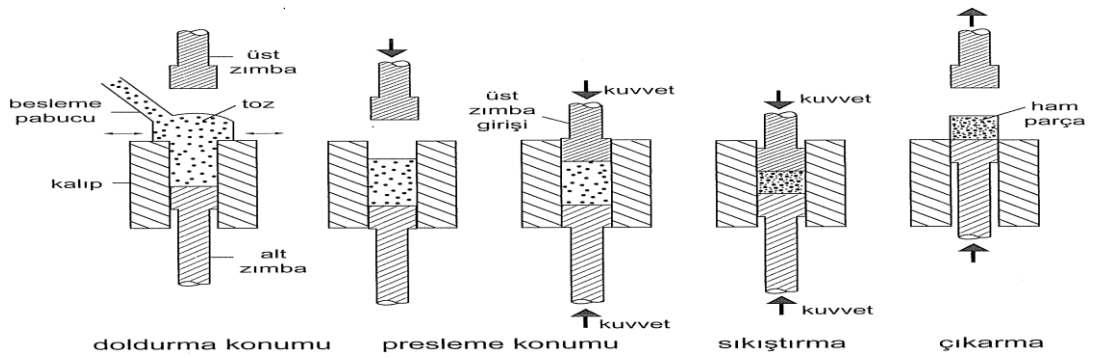
Toz metalurjisinde tozların şekillendirilmesi ve preslenmesi önemli bir adımdır. Metal tozları üretilip karıştırıldıktan sonra sıra bu malzemenin kullanılacağı yere göre şekillendirilmesindedir. Preslemede asıl amaç, toz partiküllerinin istenilen şekle dönüştürülmesi için, yapıya kendi ağırlığını taşıyabilecek kadar yoğunluk kazandırılmasıdır. Presleme, aksel, izostatik ve hacim deformasyonu olarak üç farklı yöntemde gerçekleştirilir. Aksel sıkıştırma; tek ve çift etkili olabildiği gibi soğuk, sıcak ve ılık sıkıştırma şeklinde de olabilmektedir. İzostatik sıkıştırma soğuk ve sıcak olmak üzere iki farklı şekilde uygulanabilir. Hacimsel deformasyon işlemleri ise, toz dövme, toz ekstrüzyon ve toz haddeleme olarak uygulanmaktadır [20].

Şekillendirme işleminde dikkat edilmesi gereken iki önemli husus bulunmaktadır bunlar; kritik katı yükleme ve esnekliktir. Kritik katı yükleme viskozitenin akmayacak kadar yüksek olduğu noktaya denmektedir. Bu nokta toz için genellikle vurgu yoğunluğudur. Yüksek viskoziteye sahip malzeme genellikle zorlukla şekillenirken, viskozitenin düşük olması toz bağlayıcı ayrışmasına ve bundan kaynaklı çatlama ve çarpılmaya neden olur. Esneklik ise düşük gerilmeye maruz bırakılan malzemenin şekil hafızası denilen bir özelliği bulunmaktadır. Şekil hafızası üzerindeki gerilme kalktıktan sonra malzemenin ilk şekline dönmesi demektir [17].

Viskozite de toz metalurjisinde ayrıca dikkat edilmesi gereken bir husustur. Yüksek viskoziteye sahip malzemeler şekillendirme hızına karşı duyarlıdırlar ve mümkünse bu tür malzemelerden kaçınılmalıdır. Bu nedenle yüksek viskoziteye sahip malzemeler sadece sabit kalınlıktaki şekiller için kullanılmalıdır. Aynı şekilde düşük viskoziteli karışımlarda düşük kayma hızlarında şekillendirilmelidir. Aksi halde toz ve bağlayıcı ayrışır ve malzemede önemli derecede gradyan ve bozukluklara neden olmaktadır [17].

### 1.3.7.1. Presleme

Bir tozu istenilen şekle getirmek ve taneler arası boşluğu gidermek amacıyla uygulanan bir yöntemdir. Tozların şekillendirilmesinde ve yoğunluğunun artırılmasında en yaygın kullanılan yöntem budur. Bu yöntemden sonra parçada gözle görülür bir mukavemet artışı meydana gelse de asıl mukavemet artışı sinterlemeden sonra meydana gelmektedir. Bu yöntemde kullanılan kalıplar pres ve parça şekli göz önüne alınarak tasarımlanır. Bu yöntemde kalıp yüzeyinde meydana gelen sürtünmeyi engellemek ve preslemeden sonra malzemeyi rahat ve düzgün bir şekilde çıkarmak amacıyla kalıp yağlanır. Aşağıda Şekil 1.9.' da bu işlemin akım şeması verilmektedir.

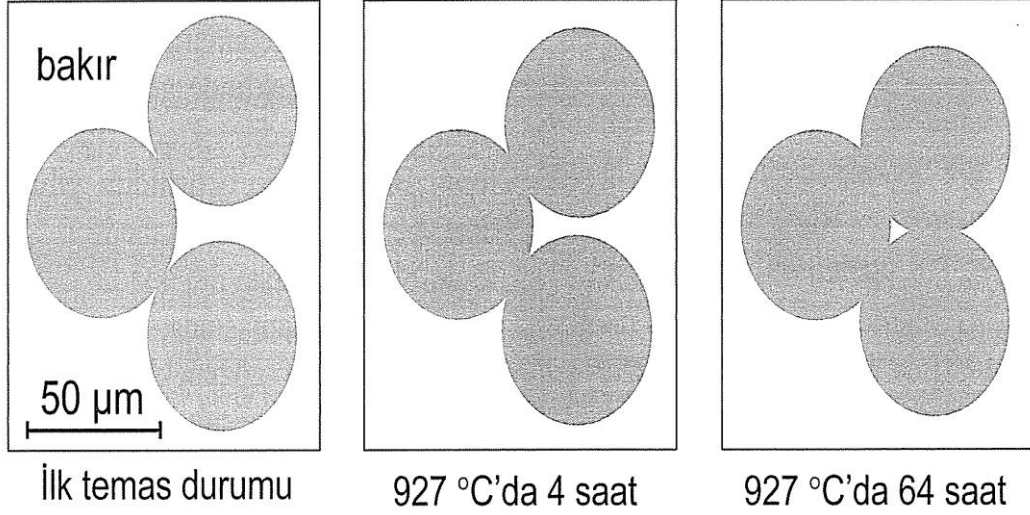


Şekil 1.9. Presleme işleminin akım şeması [17]

### 1.3.7.2. Sinterleme

Sinterleme işlemi birbirine presleme sonucu iyice temas eden parçacıkların arasında ki tutunma mukavemetini arttırmak ve malzemenin bütününde mukavemeti arttırmak amacıyla yüksek sıcaklıklarda uygulanan bir ısıl işlemdir. Bu mekanizma ancak eğrime sıcaklığının altında bir sıcaklıkta katı halde atom hareketleriyle olur. Fakat pek çok

durumda sıvı faz oluşumu ile birlikte gerçekleşir. Mikro yapı boyutunda, bağlanma ancak temas eden parçacıklar arasında boyun oluşumu ile gerçekleşir. Bu boyun oluşumu malzemenin pek çok mekanik özelliğinin ham mukavemetle oranla artmasına neden olur. Aşağıda Şekil 1.10'da sinterleme mekanizmasında bakır malzemeye ait durum zamanla bağlı olarak gösterilmektedir.

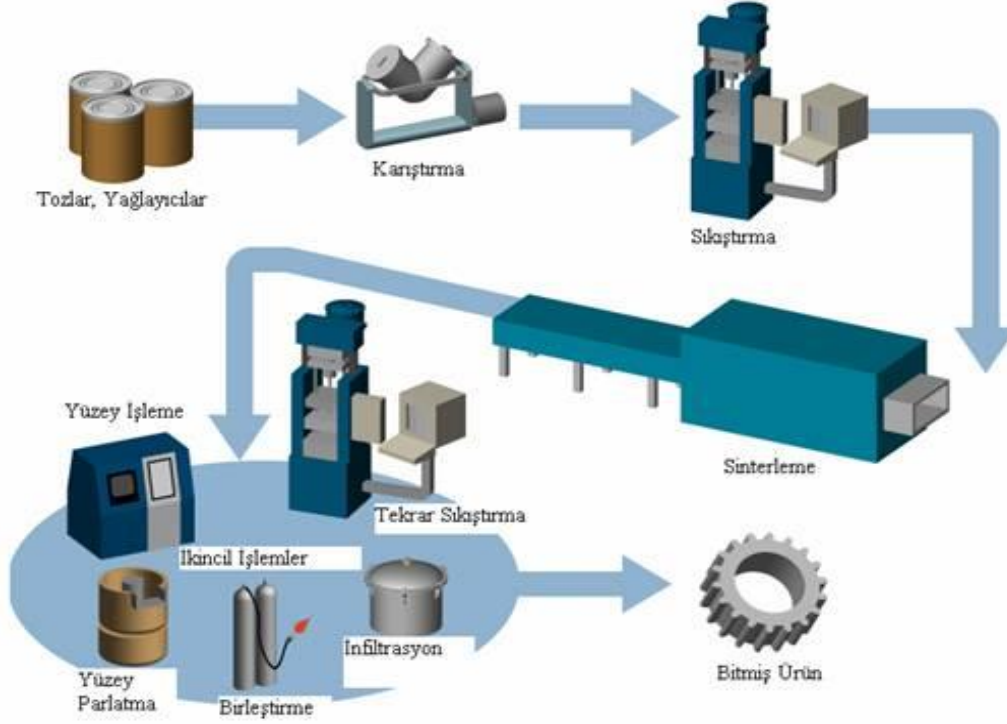


Şekil 1.10. Küresel bakır parçacıkları arasında sinterleme sonucu zamana bağlı boyun oluşumu[17]

Sinterleme Atmosferi Gereksinimleri: Sinterlemede kullanılan atmosferler, aşağıdaki fonksiyonları sağlamalıdır, [17]

- Havanın fırın içine girmesini engellemelidir.
- Nemlenmeyi önleyebilmelidir.
- T/M ürün üzerinde oluşabilecek oksitlenmeyi azaltmalıdır.
- Çelik parçalardaki karbon miktarını koruyabilmelidir.
- Özel uygulamalarda karbonu çıkarabilmelidir.
- Özel uygulamalarda soğutma esnasında oksidasyonu kontrol edebilmelidir.

Isıl verimi üniform olarak taşıyabilmelidir. Şekil 1.11. de T/M yöntemi ile parça üretimi akım şeması verilmektedir.



Şekil1.11.T/M yöntemi ile parça üretimi akım şeması [21]

### 1.3.8. Toz Metalurjisinin Avantajları ve Dezavantajları

Toz metalurjisi yöntemi ile parça üretiminin avantaj ve sınırlamalarının anlaşılabilmesi bazı önemli durumların gözden geçirilmesi gerekmektedir. Bunlar, şekil boyutları, şekil karmaşıklığı, toleranslar, malzeme sistemleri, mekanik ve fiziksel özellikler, kalite ve maliyet olarak nitelendirilebilir. Bu durumlar değerlendirildiğinde, toz metalurjisi teknolojisinin döküm ve plastik şekil verme gibi üretim yöntemlerine kıyasla birçok avantajı olmakla birlikte bazı dezavantajlara da sahip olduğu görülmektedir. Bunlar, aşağıdaki gibi ekonomiklik ve özellik avantajı olarak nitelendirilmektedir [20].

Mekanik özellikler ve ekonomiklik avantajları;

➤ Döküm ve plastik şekil verme gibi üretim yöntemlerine kıyasla daha karşılaştırılabilir kalitede ve ekonomik bir yöntem olma özelliğine sahiptir, başlangıçtaki tüm ham malzemelerinin %99' un kullanılması ile ergime kayıplarının ortadan kaldırılması,

➤ İstenilen gözenekli yapının sağlanmasıyla kendinden yağlamalı yatakların imal edilebilmesi, gözenekli kemik yapısına uygun implant malzemelerin üretilmesi,

- Talaş kaldırma gibi ikincil operasyonu en aza indirerek malzeme sarfiyatını azaltma,
- Küçük ve karmaşık şekilli parçaların diğer metotlara nazaran yüksek verimlikte seri imal edilebilmesi,
- Hemen hemen diğer yöntemlerle imal edilmesi imkânsız olan, ergime sıcaklığı yüksek refrakter metallerin (tungsten, tantalyum, molibden vs) ve sert metallerin imalatında tek ekonomik metottur,
- Yüksek mukavemet, süneklik ve termal dayanıma sahip mikro kristal ve amorf yapılar yalnızca bu yöntemle imal edilebilirler (Konstrüktif ağırlığını önem arz eden uçak parçalarında),
- İyi yüzey kalitesi ve dar boyutsal tolerans,
- İstenilen mekanik ve fiziksel özelliğe göre kontrollü olarak gözenekli yapının oluşturulabilmesi, gözeneklerin infiltrasyonu,
- Kompozit malzeme üretebilme.

Yukarıda bahsedilen avantajlar, özellikle kaliteli ve hızlı parça imalatının gerçekleştirilmesinde ve gereksinimleri karşılama da toz metalurjisi tekniğini diğer klasik yöntemlere nazaran tercih edilir hale getirmiştir. Ancak her imalat yönteminin kendine özgü kullanım alanı olmasından dolayıyla, toz metalurjisi tekniğinin de avantajlarının yanı sıra bazı dezavantajları bulunmaktadır [20, 22].

- Seri imalat yapılmaz ise, sıkıştırma ve sinterleme üniteleri gibi ilk yatırım maliyetini ve ikincil yatırım maliyeti olarak tanımlanan gözenek doldurma donanımı, kalıpların tasarımı ve imalatı maliyetlerinin yüksek olması,
- Metal tozların maliyeti ingot haldeki malzemedenden daha pahalıdır,
- Mukavemet gerektiren parçalarda gözenek doldurma ve infiltrasyonu gibi ikincil işlem uygulanmaz ise, diğer yöntemlere nazaran kötü mekanik özellikler ve değişken yoğunluk değerleri,
- Gözenekten kaynaklanan düşük korozyon dayanımı ve düşük plastisite özellikleri,
- Büyük hacimdeki parça imalatının yapılamaması, tasarım sınırlılıkları veya yüksek maliyetteki yeni toz metalurjisi tekniklerinin kullanılması [20, 22].

### 1.3.9. Dünyada ve Türkiye' de Toz Metalurjisi

Kullanılan toz miktarı ve cinsi bu alanda gelişmiş ülkeleri göstermektedir. Tablo 1.4.'de yıllara göre demir ve bakır tozlarının kullanım miktarları verilmiştir. Veriler incelendiğinde her geçen yıl toz metalurjisine ve bakır tozuna olan ihtiyacın arttığını görürüz.

Türkiye'de toz metalurjisinin başlangıcı 1960'lı yılların sonlarına dayanmaktadır. Türkiye de toz metalurjisi üzerine çalışan 3 büyük ve 15 orta ölçekli fabrika bulunmaktadır. Türkiye'de 6 firma toz üretimini gerçekleştirmektedir. Türkiye de uygulanan toz metalurjisi yöntemi genellikle otomotiv parçalarının ve kesici takımların üretiminde kullanılmaktadır. Bu alan üzerine Türkiye de başta Karadeniz Teknik Üniversitesi olmak üzere Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Gazi Üniversitesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Kocaeli Üniversitesi, TOBB Üniversitesi, Dumlupınar Üniversitesi, Fırat Üniversitesi, Marmara Üniversitesi, Yıldız Teknik Üniversitesi gibi Türkiye'nin önde gelen üniversiteleri bu alanda aralıksız çalışmalarına devam etmektedirler [23].

Tablo 1.4. de yıllara göre demir ve bakır esaslı tozların kullanım miktarları verilmektedir. Tablo 1.5 de yıllara göre ülkelerin bakır tozu tüketim miktarları verilmiştir. Şekil 1.12. de T/M yöntemiyle parça üretimi akım şeması gösterilmiştir.

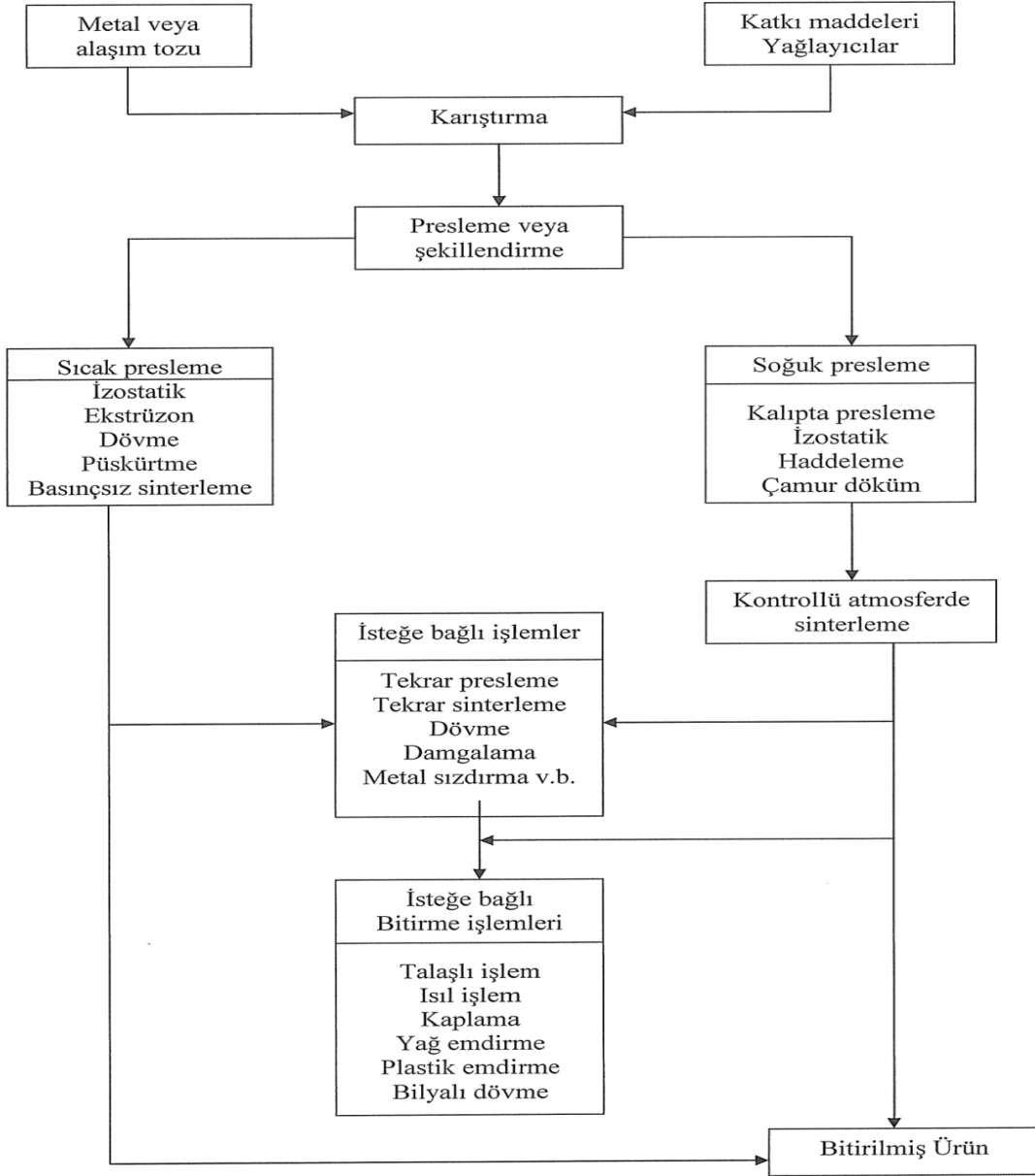


Tablo 1.4. Yıllara göre demir ve bakır esaslı tozların kullanımı [23]

Yıllar Bölge	2001	2005	2010
	Ton		
Kuzey Amerika			
Demir esaslı	350000	420000	480000
Bakır esaslı	19000	23000	27000
Avrupa			
Demir esaslı	183000	200000	230000
Bakır esaslı	18000	18000	21000
Japonya			
Demir esaslı	160000	185000	210000
Bakır esaslı	6000	7500	9000
Asya ve Diğer			
Demir esaslı	150000	255000	310000
Bakır esaslı	12000	15000	23000

Tablo 1.5. Yıllara göre ülkelerin bakır tozu tüketim miktarları (ton) [23]

Yıllar	2001	2005	2010
Amerika	18886	23000	27000
Avrupa	18000	18000	21000
Japonya	18200	24500	32300
Toplam	55000	65500	80000



Şekil 1.12. T/M yöntemiyle parça üretimi akım şeması [24]

### 1.3.10. Dünya' da Yaygın Kullanılan Metal Tozları ve Kullanım Alanları

Aşağıda verilen tablo'da yaygın olarak kullanılan metal tozları ve bu metal tozlarını nerelerde kullanıldığı hakkında bilgiler verilmiştir. Tablo 1.6.'deki metaller ve kullanım alanları incelendiğinde T/M yönteminin günlük hayatımızda, havacılıkta, savunma sanayisinde, uzay sanayisinde, ağır sanayide yani kısacası hayatımızın her alanında

kullanıldığını göreceğiz. Tablo 1.6. da toz metalurjisi yönteminin ana uygulama alanları verilmiştir.

Tablo 1.6.T/M'nin ana uygulama alanları [20]

<b>UYGULAMA ALANI</b>	<b>KULLANILAN TOZ</b>
<b>HAVACILIK</b>	
Frenleme yüzeyleri	Bakır, kurşun, kalay, yüksek nikel alaşımları, grafit, demir
Balans ağırlıkları	Tungsten, bakır, nikel, demir
Yakıt, hidrolik ve hava filtreleri	Bronz, paslanmaz çelik, nikel
Dış çerçeveler	Alüminyum, berilyum, titanyum, demir
Isı tutucular	Berilyum, tungsten
Isı tutucu kaplamalar	Alüminyum
Jet motor komponentleri	Süper alaşımlar
Roket yakıtları	Alüminyum
Kompenent tamiri	Nikel-krom, Ni-Al, Paslanmaz çelik
<b>OTOMOBİL</b>	
Klima	Demir, çelik
Alternatör regülâtörleri	Platinyum alaşımları, demir
Yataklar	Bakır, kurşun, kalay, demir, alüminyum, grafit, bronz
Filtreler	Paslanmaz çelik, bronz
Yakıt pompa parçaları	Demir, bakır, takım çeliği
Şok sönümleyiciler	Demir, alüminyum
Buji gövdeleri	Demir
Aktarma parçaları	Demir, bakır, çelik
Fren balataları	Bakır, demir, kurşun, kalay, grafit, çinko
<b>KARPİTLER</b>	Tungsten, titanyum, tantalyum, niobiyum
<b>DİFÜZYON KAPLAMALARI</b>	Alüminyum-titanyum alaşımları, krom, çinko, hafniyum
<b>ELEKTRİK ve ELEKTRONİK</b>	
Bataryalar	Nikel, çinko, gümüş, demir, kurşun, grafit

Tablo 1.6.'nın devamı

Fırçalar	Bakır, gümüş, grafit
Motor kutup parçaları	Demir, silikon- demir
Baskı devreler	Bakır, gümüş, paladyum, altın, platinyum
Yarı iletkenler	Kurşun
<b>EROZYONTEZGÂHLARI</b>	
Elektrot	Bakır, gümüş, tungsten
<b>ISIL İŞLEM</b>	
Fırın ısıtma elemanları	Platinyum alaşımları, tungsten, molibden
Fırın ısı koruma kalkanları	Alüminyum, tungsten
Yüzey sıvama	Bakır, pirinç, gümüş, manganez
Thermocapuls	Platinyum alaşımları, tungsten, molibden
<b>GENEL SANAYİ</b>	
Yataklar	Bakır, kalay, kurşun, bronz
Kesici takımlar	Tungsten, kobalt
Filtreler (sıvı-gaz)	Bronz, nikel, paslanmaz çelik, süper alaşımlar, titanyum
Alevle kesme	Demir, alüminyum
Sürtünme malzemeleri	Bakır, kurşun, kalay, demir, çinko, grafit
<b>BİRLEŞTİRME</b>	
Sert lehim	Bakır, nikel, gümüş, kobalt, altın, alüminyum, nikel-kobalt-demir-krom alaşımları, nikel-silikon-bronz alaşımları
Ark kaynak elektrot örtüleri	Demir, nikel, krom
Direnç kaynağı elektrotları	Tungsten, bakır, gümüş, molibden, manganez
Lehimleme	Kurşun, kalay, lehim alaşımları
<b>YAĞLAYICILAR</b>	
Kaynaşmayı önleyici malzeme	Bakır, kalay, kurşun, grafit
Bakırlı yağlayıcılar	Bakır
Gresler	Kurşun, grafit
Yüksek sıcaklık yağlayıcıları	Alüminyum, grafit

## **1.4.Bor Karbür**

### **1.4.1. Metal Matrisli Kompozitlerde Kullanılan Takviye Malzemeleri**

MMK malzemelerin elde edilmesinde kullanılan takviye malzemelerinin, temin edilebilmelerindeki kolaylık, matris malzemesi ile uyumluluk, elastiklik modülü, çekme dayanımı, yoğunluk, ergime sıcaklığı, ısıl kararlılık, ısıl genleşme katsayısı, boyut ve şekil, kimyasal bileşim, kristal yapı gibi özellikler göz önünde tutularak, kimyasal yapılarına göre a) oksitler, b) karbürler, c) nitrürler ve d) diğer (paslanmaz çelik, karbon vs.) olmak üzere dört ana grupta incelenebilecek takviye malzemeleri kullanılmaktadır [25].

#### **1.4.1.1. Bor Karbür**

Yüksek eğrime sıcaklığı, yüksek sertlik, düşük yoğunluk, kimyasal maddelere karşı üstün direnç ve yüksek mekanik özelliklerinden dolayı bor karbür ileri teknolojinin önemli bir malzemesidir. Bor karbürün ileri teknolojik özelliklere sahip malzeme yapımında önemli bir yere sahiptir. Hafif olması, mekanik özelliklerinin iyi olması ve yüksek sertliğinden dolayı hafif zırh üretiminde ve yüksek sıcaklık malzemesi yapımında kullanılmaktadır [26].

Bor karbür kimyasal bileşiminden dolayı çok kararlı bir bileşiktir, bu nedenle asit ve bazlar ile tepkimeye girmez. Bor karbür dışındaki karbürler ve nitrürler süblimleşme (erimeden buharlaşma) yoluyla bozulma gösterirken, bor karbür 2450 °C' de eriyerek sıvı hal oluşumu gösteren nadir karbürlerden biridir [26].

Bor-karbon sistemindeki tek bileşik olan bor karbür, genellikle katı olarak elde edilir. Masif ürün olarak elde edilmek istendiğinde, 1800 -2000 °C'de grafit kalıplarda preslenir. Saf bor karbür kristalleri hafif parlak görünümündedir. Yoğunluğu 2,52 gr/cm<sup>3</sup>, ergime sıcaklığı 2450 ° C 'dir. Sıcak preslenmiş bor karbür, aşındırıcı parçalarda, contalarda, seramik zırhlı yüzeylerin yapılmasında kullanılır. 2000 ° C nin üzerindeki sıcaklıkların ölçülmesinde termo çift olarak kullanılır. Sertliği nedeniyle abrasif malzeme yapımında kullanılır.

### 1.4.1.2. Bor Karbürün Fiziksel Özellikleri

#### 1.4.1.2.1. Sertlik

Yazılı kaynaklarda bor karbür bileşikleri için belirtilen sertlik değerleri 20 GPa ila 78 GPa arasında değerler sergilemektedir, ama B<sub>4</sub>C bileşiği için Vickers sertlik değeri 32 GPa civarındadır .Kıyaslama yapılabilmesi ve sertliği hakkında bir tahmin yapılabilmesi açısından; nitrülenmiş çeliğin sertliği 21 GPa' dır .

Mohs sertlik skalasına göre en sert malzeme olan elmas ve bor nitrürden sonra gelen en sert malzeme bor karbürdür. Bor karbürün bünyesinde ihtiva ettiği yani kimyasal yapısında bulunan karbon miktarının sertliğine olan etkileri konusunda farklı görüşler ileri sürülmektedir.

Bor karbüre ait sertlik değerlerinde, yüksek sıcaklık sertlik ölçümlerinde 1300 °C' ye kadar olan sıcaklıklar için sertlikte bir azalma gözlenmemiştir. Yine bor karbüre ait sertlik ölçümlerinde, basınçsız şartlar altında sinterlenmiş numunelerde 200 gr yükü yapılan sertlik ölçümleri ortalama 25,5 GPa sertliğe sahipken, sıcak presleme ile üretilmiş bor karbür numunelerinde ortalama 29 GPa sertlik değeri elde edilmiştir [26].

Mohs sertlik skalasında en yüksek sertlik değerine sahip elmasın sertliği 10 iken borun sertliği 9,3 ve bor karbürün sertliği 9,32 sertlik değerine sahiptir [27].

#### 1.4.1.2.2. Aşınma Direnci

Bor karbürün sahip olduğu yüksek sertlikten dolayı aşınma direncide oldukça düşüktür. Bor karbürün sahip olduğu aşınma direnci hakkında bir fikir sahibi olmamız açısından diğer sert malzemeler ile bor karbürün aşınma direnci kıyaslandığı zaman elmasın aşınma direnci 0,613 ile en yüksek aşınma direncine sahipken bor karbür 0,422 silisyum karbür 0,314 aşınma direnci değerlerine sahiptirler [26].

### 1.4.1.2.3. Yoğunluk

Bor ve karbondan meydana gelen bazı kimyasal bileşikler için yoğunluk değerleri;  $B_4C$  için  $2,52 \text{ gr/cm}^3$ ,  $B_{13}C_2$  için  $2,488 \text{ gr/cm}^3$ ,  $B_{10,5}C$  için ise  $2,465 \text{ gr/cm}^3$  yoğunluk değerleri elde edilir. Kimyasal bileşimde bor miktarı arttıkça yoğunlukta bir miktar azalma görülmesi bor atom ağırlığının karbona göre daha küçük olmasından kaynaklanmaktadır [26,28].

### 1.4.1.2.4. Elektriksel Direnç

Bor karbürün elektriksel direnci, grafit ve silisyum karbüre benzer değişimler göstermektedir. Oda sıcaklığında  $SiC$  için kendine has elektrik direnci  $0,2 - 10 \text{ ohmxc}$  aralığında değişirken,  $B_4C$  için  $0,1 - 10 \text{ ohmxc}$  aralığında değişmektedir. Oda sıcaklığında  $10 \text{ ohmxc}$  elektriksel direnç gösteren saf  $B_4C$ 'nin direnci  $1600 \text{ }^\circ\text{C}$  civarında  $0,2 \text{ ohmxc}$  değerine kadar bir düşüş gösterir. Bor karbür, silisyum karbür ile kıyaslandığında daha yüksek akım geçirebilme özelliğine sahiptir. Yoğunluk ve diğer özelliklere benzer şekilde elektriksel özellikte bor/karbon oranına bağlı olarak değişiklik gösterir [26].

### 1.4.1.3. Bor Karbürün Kimyasal Özellikleri

Bilinen en kararlı bileşiklerden birisi bor karbürdür.  $9,3$  ile  $17,1 \text{ kcal/mol}$  arasında standart oluşum entalpisine sahiptir. Asit ve bazlardan etkilenmeyen dolayısıyla asit ve bazlarla kimyasal reaksiyona girmeyen bir bileşiktir. Ancak,  $HF - H_2SO_4$  ve  $HF - HNO_3$  karışımlarında çok uzun sürede yavaşça çözünme gösterir. Çok küçük taneli bor karbür partikülleri rutubetli havada veya oksijen ile oksitlenebilir ve parçacık yüzeyinde zamana bağlı olarak  $B_2O_3 - HBO_3 - H_3BO_3$  filmi oluşur. Bor karbür  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$  den başlayarak; demir, titanyum, zirkonyum, nikel, alüminyum, silisyum gibi metallerle reaksiyona girerek borür ve karbürlerin oluşmasına neden olur [26].

#### 1.4.1.4. Mekanik Özellikler

Bor karbür, yüksek sertlik ve eğrime noktasının yanı sıra bor karbürün mekanik özellikleri de çok önemlidir. Özellikle düşük yoğunluğa sahip olmasına rağmen yüksek mukavemet göstermesi bor karbürü ideal bir malzeme yapmaktadır. Bor karbürün yüksek mukavemet göstermesi kristal yapıdaki atomların kuvvetli kovalent bağlarla birbirine bağlanmasındandır. Belirlenen mukavemet değerleri sıcak presleme sıcaklığı ile mikro yapı stokiometrisi ile ilişkilidir. Karışıma eklenen az miktardaki bor, mikro yapıdaki karbonu elimine ederek mukavemette artışa neden olur. Sıcak preslenmiş numuneler 300 – 500 MPa eğme mukavemetine sahipken, sinterleme sonrası HIP işlemine maruz bırakılmış numunelerde ise bu değerler 150 – 350 MPa aralığına denk gelmektedir. Bu değerlerin sadece basınçsız sinterleme işlemi uygulanmış numunelerdekinden daha fazla olması doğaldır. Yüksek sıcaklıklarda sertlik düşmesine rağmen azot gazı altında 1500 °C'ye kadar mukavemette herhangi bir değişme gözlenmez. Ancak, havada 600 – 1000 °C arasında yapılan eğme deneyleri B<sub>4</sub>C'nin oksitlenmesinden dolayı mukavemetinin düşmesine sebep olmaktadır. Bor karbüre, Si ve Al katkıları yapılması oksitlenmesini önleyerek, havadaki yüksek sıcaklık mukavemet değerinin iyileştirilmesine yardımcı olur [26, 28].

#### 1.4.1.5. Bor Karbürün Kullanım Alanları

##### 1.4.1.5.1. Aşınmaya Dayanıklı Malzeme Olarak

Bor karbür; fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerine bağlı olarak pek çok alanda sıklıkla kullanılmaktadır. Bor karbür sertliğinin çok yüksek ve buna bağlı olarak aşınma mukavemetinin yüksek olmasından dolayı aşındırıcı olarak kullanılmaktadır. Bor karbürün başka bir yaygın kullanım alanı da aşınmaya dayanıklı makine elamanları üretimidir. Bunlara örnek olarak; kumlama ve su – jeti ile kesmede kullanılan nodullar [26].



#### **1.4.1.5.2. Zırh Yapımında**

Bor karbürün sahip olduğu, yüksek sertlik, yüksek mukavemet ve düşük yoğunluk özelliklerine sahip olmasından dolayı zırh malzemesi yapımında sıkça kullanılmaktadır. Bor karbür ile yapılmış bir zırha sahip tank veya helikopter geleneksel yöntemlerle güçlendirilmiş zırh sisteminden % 20 daha hafif olması bu araçlara daha hızlı hareket ve manevra kabiliyeti kazandırmaktadır [26].

#### **1.4.1.5.3. Nükleer Reaktörlerde**

Bor karbürün pek çok kullanım alanı bulunmaktadır bunlardan biriside nükleer enerji santrallerinde radyasyondan korunma amaçlı ve yakıt yükleme çubuğu olarak kullanımındır. Günümüzde, mevcut nükleer santrallerin % 95'inde kontrol çubuğu olarak Ag – In – Cd alaşımı ve bor karbürden yapılmış malzemeler kullanılmaktadır. Bor karbürün nötron emme yeteneği yapısında ki bor izotopundan kaynaklanmaktadır. Bu nedenle nükleer amaca yönelik kullanılan bor karbürün yapısında yüksek miktarda bor ihtiva etmesi gerekir.

Bu sınırlar içerisine düşen bor karbür tozları tane boyutuna göre sınıflandırmaya sokulur ve - 16 + 20 mesh, - 6 +80 mesh ve – 200 + 325 mesh gruplarına ayrıldıktan sonra her bir gruptan %40 - %20 - %40 oranında karıştırılarak toz yoğunluğu  $1.6 \text{ gr/cm}^3$  olacak şekilde hazırlanır. Bu yoğunluğa sahip malzeme kontrol çubuğu üretimine uygun bir boyut dağılımına sahip olur [18].

#### **1.4.1.5.4. Refrakter Malzeme Olarak**

Magnezya – karbon refrakterinde antioksidant katkı olarak kullanılmaktadır [23].

#### **1.4.2. Literatür Özeti ve Çalışmanın Amacı**

Yataklar; makinalarda hareket ve yük iletimini aynı anda sağlayan makine elamanlarıdır. Aynı zamanda yatakların bir diğer görevi de, makinalarda hareketli ve sabit

parçalar arasında yük iletimini sağlamak ve bu parçaları birbirine göre sabit bir konumda tutmaktır. Yatakta zamanla meydana gelen yüksek aşınma bakım maliyetlerini arttırmakta aynı zamanda sistemde arzu edilmeyen hasarlara sebebiyet vermektedir. Yıllardır kaymalı yatak uygulamalarında yaygın olarak kullanılan bronz malzeme de kullanılan kalay elementi bu malzemenin maliyetini arttırmaktadır.

Bunun yanında bronz malzeme bazı uygulamalarda yetersiz kalmaktadır. Bu sebeple araştırmacılar bronz malzeme yerine aşınma direnci daha yüksek ve maliyeti daha ucuz yatak malzemeleri geliştirmeye yönelmişlerdir. Araştırmamızın amacı; kaymalı yatak uygulamalarında yaygın olarak kullanılan bronz malzemeye alternatif bakır esaslı yeni bir kompozit yatak malzemesi geliştirerek bu malzemenin tribolojik özelliklerini incelemektir.

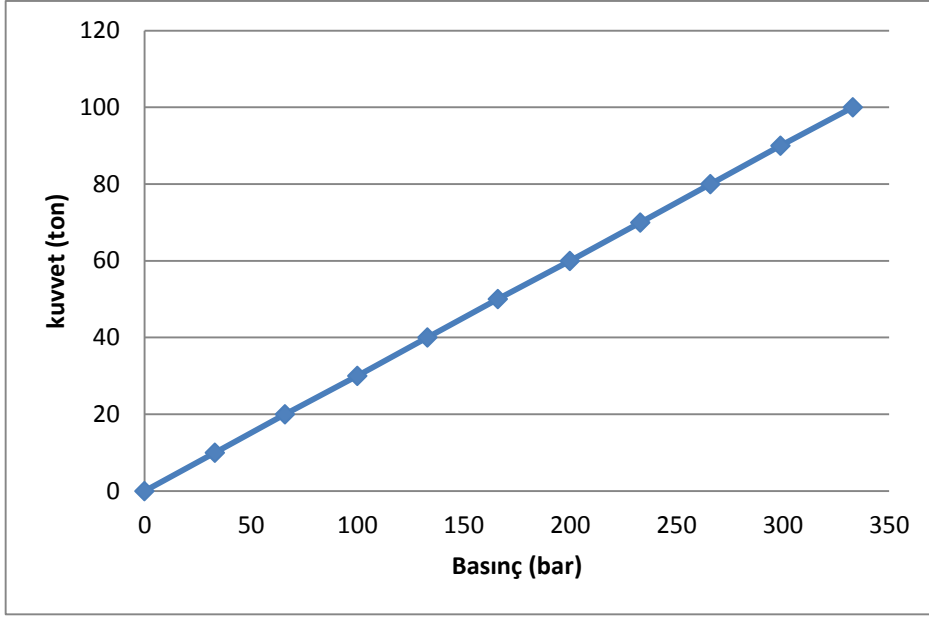
## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 2.1. Numunelerin Hazırlanması

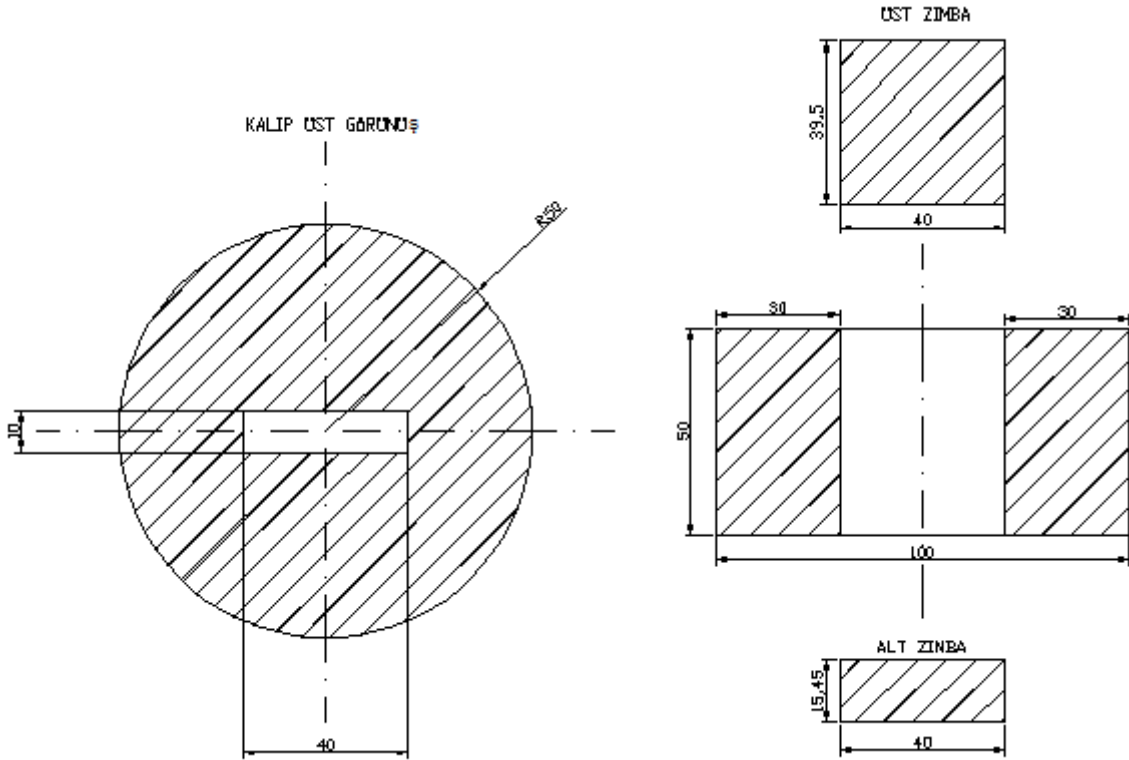
Deneyde kullanmak amacıyla hazırlanmış olduğumuz numuneler, bakır tozu ve bor karbür tozlarının karıştırılmasıyla elde edilmiş olan karışımlardan ve yatak malzemesi olarak kullanılan bronz toz malzemelerden oluşmaktadır. Üretmiş olduğumuz numuneler ağırlıkça %2 - %4 - %6 - %8 - %10 bor karbür ihtiva etmektedir. 0.0001gr hassasiyetli terazi kullanılarak elde edilen bu oranlarda bor karbür içeren bakır – bor karbür karışımları elde edildikten sonra kıyaslama yapılabilmesi açısından ayrıca tedarik edilen bronz tozlarından numuneler de hazırlanmıştır.

Tartılan tozlar daha sonra el ile yaklaşık 7 – 10 dakika karıştırıldıktan sonra daha önceden yağlayıcılarla yağlanmış kalıplara boşaltıldı. Yağlamadaki amaç numunenin belirli basınçta preslendikten sonra kalıptan rahat ve dağılmadan çıkmasını sağlamak ve bu sayede numunede meydana gelebilecek herhangi bir iç kusuru en aza indirmektir. Numune üretiminde aşağıda Şekil 2.2 ve 2.3’de teknik resimleri verilen kalıplar kullanıldı. Bu kalıplar soğuk iş takım çeliğinden imal edilmiş olup basınca dayanıklı malzemedan yapılmışlardır.

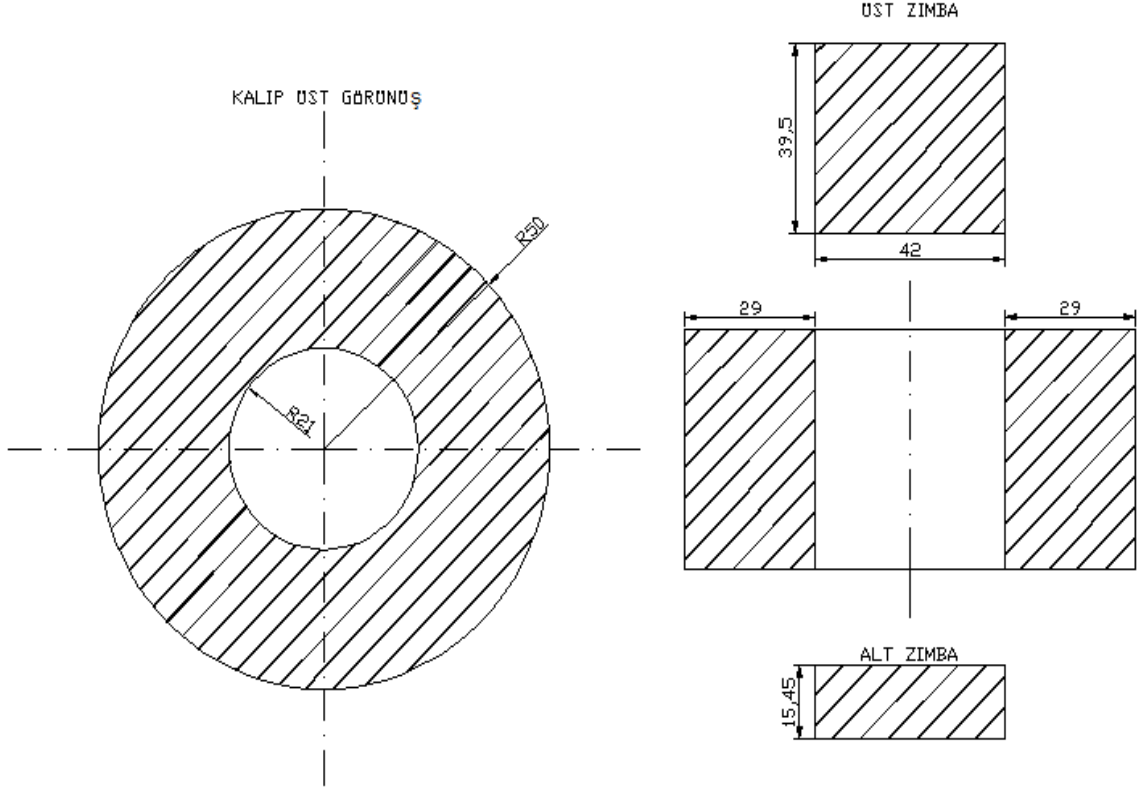
Presleme işleminin gerçekleşmesi için kullanılan kalıplara ait zımbalar karıştırılan tozlar kalıba konulmadan önce iyice temizlendi ve yağlayıcılarla yağlandıktan ve alt zımba kalıba yerleştirildikten sonra kalıp boşluğu da yağlanmıştır. Hazırlanmış olan kalıba toz karışımı konularak üzeri düzlendi. Karışımın kalıba düzgün bir şekilde dağılması ve yüzeyinin düz olmasına özellikle dikkat edilmelidir. Daha sonra üst zımba kalıba yerleştirildikten sonra kalıp tek eksenli pres makinasına yerleştirildi. Kullanılan prese ait yağ basıncı(MPa)-uygulanan yük (ton) kalibrasyon eğrisi aşağıda verilmiştir. Uygulanacak yük bu kalibrasyon doğrusu yardımı ile 30 ton olarak belirlendikten sonra yük üst zımbaya direk uygulandı.



Şekil 2.1.Hidrolik pres kalibrasyon doğrusu



Şekil 2.2.Sıkıştırma işleminin gerçekleşmesi için kullanılan soğuk takım iş çeliğinden yapılmış kalıp



Şekil 2.3.Sıkıştırma işleminin gerçekleşmesi için kullanılan soğuk takım iş çeliğinden yapılmış kalıp

İki farklı kalıp kullanıldığından her iki kalıpta da aynı presleme basıncını elde etmek için aşağıdaki hesaplamalar yapılmıştır.

Şekil 2.2'deki kalıpta üretilen numuneler için basınç;

$$P = \frac{F}{A} \Rightarrow P = 30000 \text{ (kg)} \times 9.81 / (40 \times 10) \Rightarrow P = 735,75 \text{ MPa}$$

Şekil 2.3'deki kalıp için uygulanması gereken yük değeri:  $30 \times 3.46 = 103.875$  ton yük uygulamamız gerekir.

Bu kalıp yardımıyla kuvvet uygulanarak numunelere 104 ton basınç uygulanarak iki adet bronz numunesi hazırlandı.

Bu koşullarda hazırlanan bronz numuneleri sinterleme süresinin, aşınma oranına etkisini incelemek amacıyla inert gaz ortamında yine aynı koşullarda 1 saat, diğer numune ise aynı koşullarda ve 3 saat sinterlendi. Presleme kuvvetinin aşınma direncine olan etkisini incelemek amacıyla 42mm'lik kalıp boşluğu çapına sahip kalıptan farklı

preslemebasıncına sahip bronz numuneler hazırlandı ve diğere numunelerle aynı işlemlere tabi tutuldu. Bu numunelerin presleme basıncı ise;

Kalıp boşluğunu yüzey alanı ( $A$ ) =  $\pi \cdot r^2$  den  $\Rightarrow A = \pi \cdot 21^2 = 1385 \text{ mm}^2$  dir.

Uygulanan yük ( $F$ ) = 45 ton  $\Rightarrow$  seçildiğinde Basınç ( $P$ ) =  $\frac{F}{A} \Rightarrow$

$P = 45000 \text{ (kg)} \times 9,81 / 1385 \Rightarrow P = 319 \text{ MPa}$  dır.

## 2.2. Numunelerin Sinterlenmesi

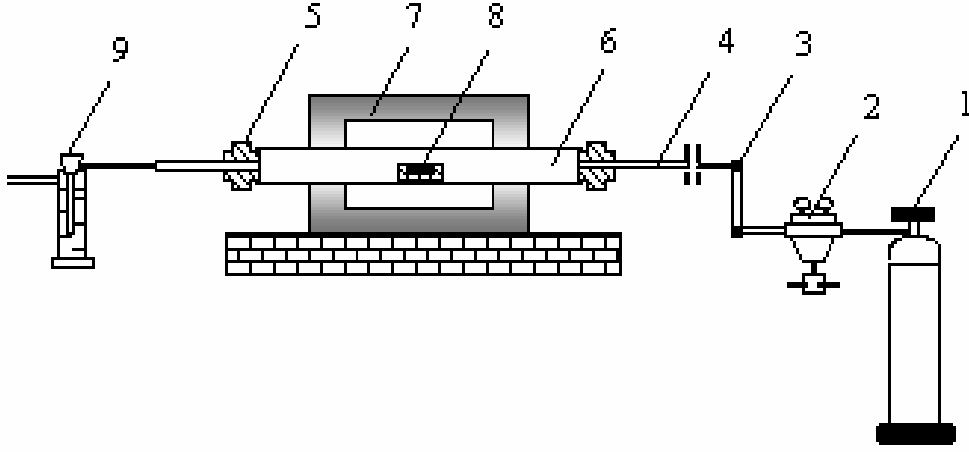
Üretmiş olduğumuz numuneler fırında inert gaz ortamında  $900 \text{ }^\circ\text{C}$  de 1 saat sinterlendi. Sinterleme işlemi yapılırken, numuneler fırın içindeyken sıcaklık  $200 \text{ }^\circ\text{C}$  ye ulaşınca numunelerin oksitlenmesini önlemek için argon gazı fırın içine gönderildi. Sıcaklık  $900 \text{ }^\circ\text{C}$  ye ulaşınca kronometre vasıtasıyla bir saat beklenip fırın kapatıldı. Tamamen oda sıcaklığına kadar soğuyan numuneler fırından alındı ve numune hazırlama işlemlerine tabi tutuldu. Aşağıda Şekil 2.4’de verilen resimde sinterlemenin gerçekleştiği fırın düzeneğinin görünümü ve Şekil 2.5’de sinterlemeden çıkmış numuneler verilmektedir. Şekil 2.6’da ise sinterleme ünitesi ve elemanlarının şematik görüntüsü verilmiştir.



Şekil 2.4. Sinterleme işleminin gerçekleştirildiği fırın ve argon tüpünün genel görünümü



Şekil 2.5.Sinterleme işleminden çıkan numunelerin görünümü



Şekil 2.6.Sinterleme ünitesi ve elemanları (1. Argon tüpü, 2. Regülatör, 3.akış ölçer, 4. Plastik hortum, 5. Grafit başlık, 6. Alümina tüp, 7. Fırın gövdesi, 8. Numune kayığı, 9. Gaz çıkış kabı)

### 2.3. Numunelerin Zımparalanması ve Parlatılması

Zımparalama kaba ve ince zımparalama olmak üzere iki aşama da gerçekleştirilir. Zımparalama işleminde aşındırıcı olarak zımpara kâğıtları kullanılmıştır. 80 – 120 – 240 – 400 – 600 – 800 – 1000 – 1200 (inch<sup>2</sup> ye düşen tane sayısı) lük zımparalama kâğıtlarında sırasıyla 80' lik zımpara kâğıdından başlanarak kalından inceye doğru numuneler zımparalanmıştır.

Parlatma; kaba ve ince zımparalama işleminden sonra, optik mikroskopta net bir görüntü elde etmek amacı ile numune yüzündeki çizikleri  $Al_2O_3$  solüsyonu kullanılarak kaldırılmasını sağlayan bir işlemdir.

Aşağıda Şekil 2.7 ve Şekil 2.8’de verilen resimlerde zımparalamanın ve parlatmanın gerçekleştirildiği yarı otomatik düzenekler verilmektedir.



Şekil 2.7. Yarı otomatik zımparalama makinası

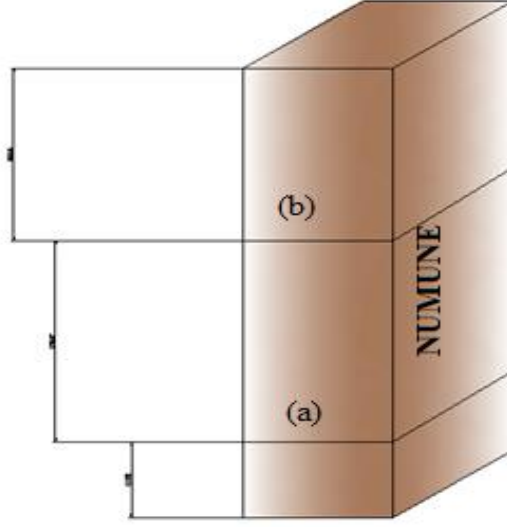


Şekil 2.8. Yarı otomatik parlatma makinası

#### 2.4. Numunelerin İç Yapısının Optik Mikroskopta İncelenmesi

Numunelerin iç yapılarının tam ve düzgün bir şekilde incelenebilmesi için numuneler, önceden aşındırma deneyleri için kesilen yüzeyin yukarısından tekrar kesilerek yüzey hazırlama işlemine tabi tutuldu. Bu işlemlerde diğer hazırlama yöntemleri gibi zımparalama ve parlatma işlemlerinden oluşmaktadır. Yüzey hazırlama işlemleri bittikten sonra numune kurutularak optik mikroskopta (x10) büyütme oranında yüzeyler incelendi ve yüzey resimleri alındı. Aşağıda Şekil 2.9’da verilen aşındırma numunesinde iç yapı incelemeleri için örnek alınan yer görülmektedir.



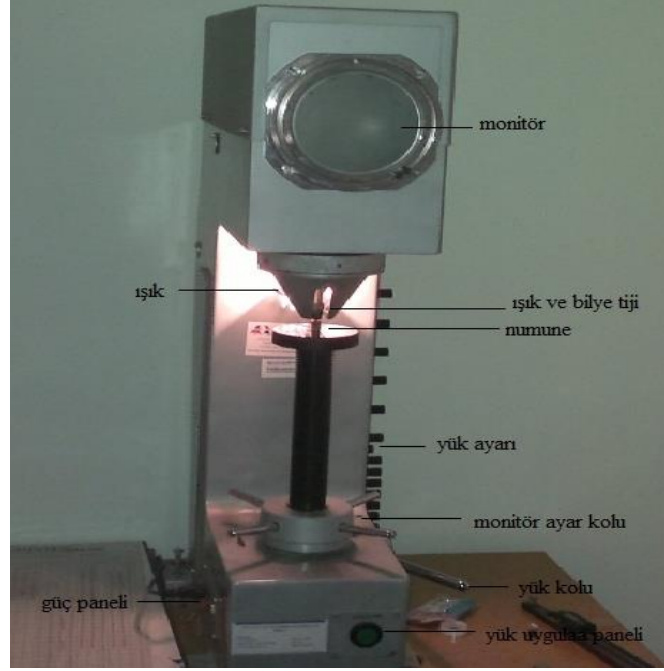


Şekil 2.9. Aşınma (a) ve optik mikroskop inceleme (b) ve c) başlangıçta kesilip atılan kısım

## 2.5. Numunelerin Sertlik Deneyleri

Numuneler aşındırma cihazında aşındırıldıktan sonra yukarıda verilen şekilde gösterilen bölgelerden kesilerek Brinell sertlik belirleme deneyine tabi tutulmuşlardır. Numuneler kesildikten sonra sertlik deneyi yapılmadan önce yine yüzey hazırlama (zımparalama ve parlatma) işlemlerine tabi tutulmuşlardır.

Numunelerin sertlik ölçme deneyinde aşağıdaki şekilde gösterilen Brinell sertlik deney cihazı kullanılmıştır. Numuneler cihaza yerleştirilmeden yük, 900 °C de 1 saat sinterlenen numuneler için 30 kg, 900 °C de 3 saat sinterlenen numuneler için 50 kg olarak belirlenmiş ve bilye çapı (D) 2 mm olarak seçilmiştir.



Şekil 2.10.Brinell sertlik ölçme deney cihazı ve elemanları

Aşağıdaki bağıntıdan Brinell sertlik değerleri belirlendi.

$$BSD = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Burada; F: yük (kg)

D: Bilye çapı (mm)

d: İz çapı (mm) olarak hesaplamalarda kullanılır.

Üretilen numune üzerinde 10 sertlik değeri ölçülmüş ve bu değerlerin ortalaması alınmıştır.

## 2.6. Numune Yoğunluklarının ve Porozitelerinin Ölçülmesi

Bu deney yapılmadan önce numuneler kurutma makinesinde 10 dakikalık bir süre zarfında iyice kurutuldu. Burada kurutulmanın yapılmasının amacı daha önceki deneylerden sonra numunenin bünyesine almış olduğu suyun ve nemin uzaklaştırılmasıdır. Numuneler iyice kurutulduktan sonra hassas terazide ağırlıkları tartıldı. Daha sonra kumpas yardımıyla numunelerin boyutları ölçülerek, bu değerlerin ortalaması alındı ve ortalama değerler üzerinden numunenin hacmi hesaplandı. Yoğunluk hesaplanırken tartılan ağırlıklar ölçülen hacimlere bölünerek malzemelerin gerçek yoğunlukları hesaplandı.

Buhesaplamalar yapılırken bronzun teorik yoğunluğu  $8,7 \text{ gr/cm}^3$ , bor karbürün  $2,52 \text{ gr/cm}^3$  ve bakırın ise  $8,8 \text{ gr/cm}^3$  olarak alınmıştır.

Burada yapmış olduğumuz yoğunluk ve porozite hesaplamalarında karışımlarında yoğunluğunu hesaplayacağımızdan bu hesaplamalar için öncelikle teorik yoğunluklarını daha sonra gerçek yoğunluklarını hesaplayacağız ve bu değerlerin yüzde olarak oranları malzeme içinde ki karışımın oranını verecektir. Yüzde değerden bu değer çıkarıldığı zaman porozite miktarını hesaplamış olacağız.

Karışımın teorik yoğunluğu ( $\rho_t$ ); aşağıdaki formülden hesaplanmaktadır.

$$[ (\% \text{ ağırlık}) \times \text{teorik yoğunluk}] + \dots + [ (\% \text{ ağırlık}) \times \text{teorik yoğunluk}]$$

## 2.7. Aşınma Deneyleri

Bu deneyde üretilen ve yüzeyi metalografik tekniklerle hazırlanan numuneler aşınma cihazı üzerinde bulunan ve soğuk iş takım çeliğinden yapılmış sert ve mukavemeti yüksek, levha disk şeklinde olan aşındırıcı yüzey üzerine temas edecek şekilde monte edildi. Aşınma deneylerine başlamadan önce numune yüzeyinin disk yüzeyine tam temas etmesinisağlamak için cihaz rodaj olarak adlandırılan alıştırma devresinde belli bir süre çalıştırıldı. Bu süre numune bileşimine göre farklılık göstermektedir.

Örneğin % 2 B<sub>4</sub>C içeren numunede rodaj süresi yaklaşık 10 saat sürerken %10 B<sub>4</sub>C içeren numunede bu süre 35 saate kadar çıkabilmektedir. Bu süre tamamlandıktan sonra numune tekrar cihaza yerleştirildi ve cihazın üzerinde bulunan yarıçap ölçerden numunenin disk merkezine olan uzaklığı ölçüldü. 736 Mpa da preslenen %2, %4, %6, %8 ve %10 B<sub>4</sub>C içeren numunelerin ağırlık kaybı deneyleri için bu yarıçap değeri 10 cm olarak kaydedildi. Bu yarıçap değerinin belirlenmesi diğer numunelerin de aynı şartlarda aşınmasını sağlamak amacıyla çok önemlidir. Daha sonra disk hızı 100 devir/dak olarak ayarlandı. Bu veriler yardımıyla numunelerin dakikada kat ettikleri mesafeler hesaplandı. Bu hesaplamada alınan mesafe;

$x = (2 \cdot \pi \cdot r) \cdot n$  formülünden hesaplanır. Burada;

x: alınan mesafe (m)

r: numunenin diskin merkezine olan uzaklığı (m)

n: diskin dönme hızı (dev/dak)

=>100 dev/dak için 1 dakikada alınan yol;

$x=(2.\pi.0,05).100 =31,41$  m/dak olarak hesaplanır.

Bu deneyde kullandığımız yük 5 kg olarak seçilmiş olup bu durumda numune üzerinde oluşan temas basıncı aşağıdaki formül yardımı ile hesaplanır:

Basınç (P) =  $\frac{F}{A}$  => burada;

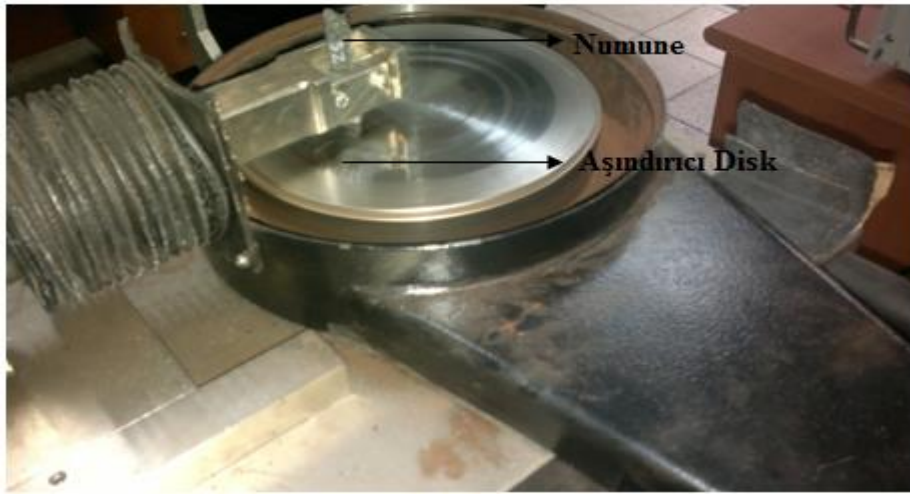
F: numuneye uygulanan yük (kg)

A: numunenin disk üzerine temas ettiği alan

Numunelerin yüzey alanları kumpasla ölçüldü ve alanlar yaklaşık olarak ortalama: (9,5 x 9,5= 90,25)mm<sup>2</sup> olarak ölçülmüştür.

Basınç (P) =  $\frac{F}{A}$  => P= 5x9,81/90,25 => P=0,543 MPa olarak bulunmuştur.

Bu değer (0,543 MPa) tüm numunelerde sabit olarak alınmıştır. Üretilen kompozit numunelerin boyutları bir miktar farklılık gösterdiğinden sahip oldukları kesit alanları da farklı olacaktır.Bu sebeple aynı yüzey basıncını (0,543 MPa ) elde etmek için numunelere uygulanan yük farklı seçilmiştir.Aşınma deneylerinde kullanılan Pin on disk cihazının resmi Şekil 2.11’de verilmiştir.



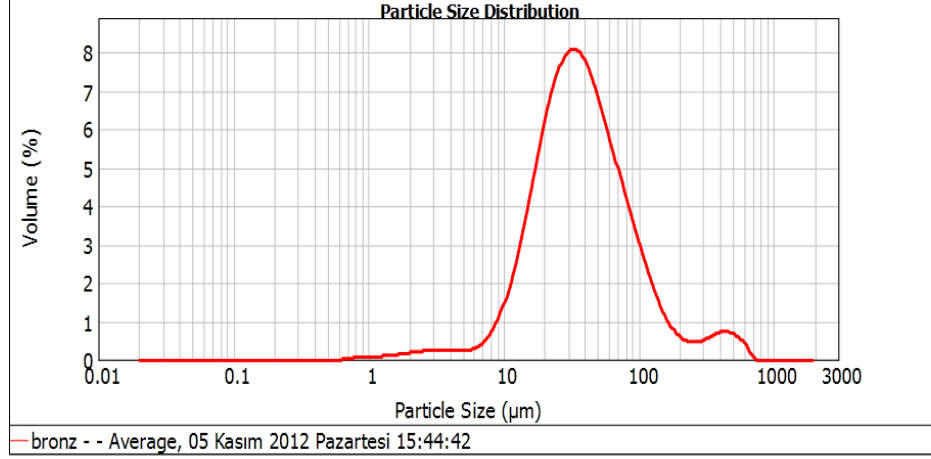
Şekil 2.11.Pin on disk esaslı aşınma deney cihazının genel görünümü

## **2.8. Numunelerin Aşınma Yüzeylerinin SEM' de İncelenmesi**

Aşınma deneyinden sonra numunelerin aşınma yüzeyleri taramalı elektron mikroskopunda incelenmiştir. Her numuneye ait aşınma yüzeyleri 100, 500, 1000 ve 5000 büyütmeleerdeincelelenerek yüzeylerin fotoğrafı çekilmiştir.

### 3.BULGULAR

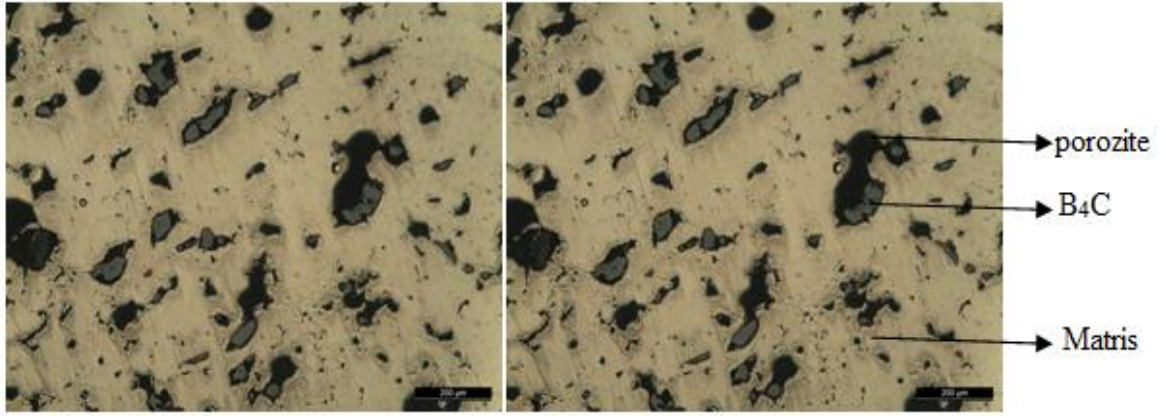
Piyasadan tedarik edilen bronz tozunun Master sizer cihazı kullanılarak elde edilen tane boyutu dağılımı Şekil 3.1.'de verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi hacimce % 35 oranında bronz tozunun 30 mikronun altında olduğu görülmektedir.



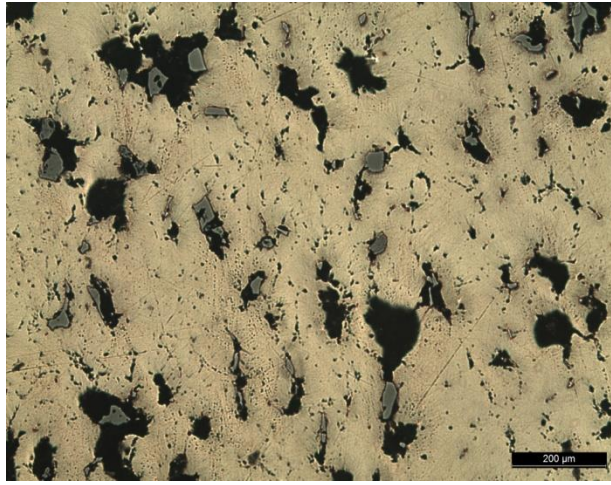
Şekil 3.1.Bronz tozu tane boyut dağılımı

#### 3.1. Numunelerin Optik Mikroskopta İncelenmesi

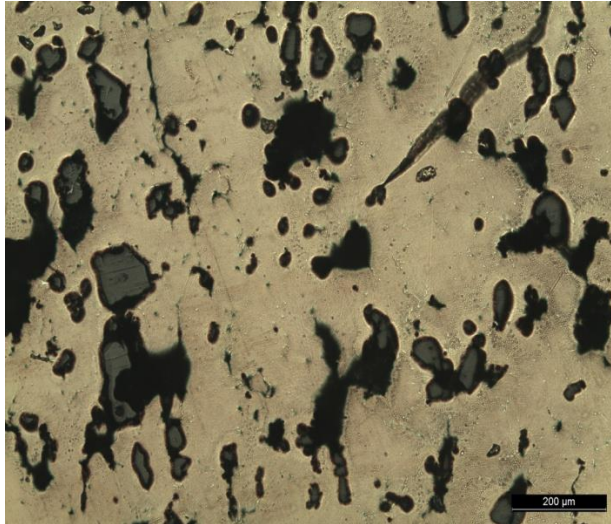
Farklı oranlarda (%2, %4, %6, %8, %10) B<sub>4</sub>C içeren kompozit malzemelere ait içyapılarının optik mikroskopta çekilen görüntüleri sırası ile Şekil 3.2, Şekil 3.3, Şekil 3.4, Şekil 3.5 ve Şekil 3.6.' da verilmiştir. Şekillerden de açıkça görüleceği gibi B<sub>4</sub>C oranı arttıkça içyapıda porozitenin arttığı (siyah bölgeler) gözlenmiştir.



Şekil 3.2. % 2 B<sub>4</sub>C içeren numunenin içyapı görüntüsü (x10)

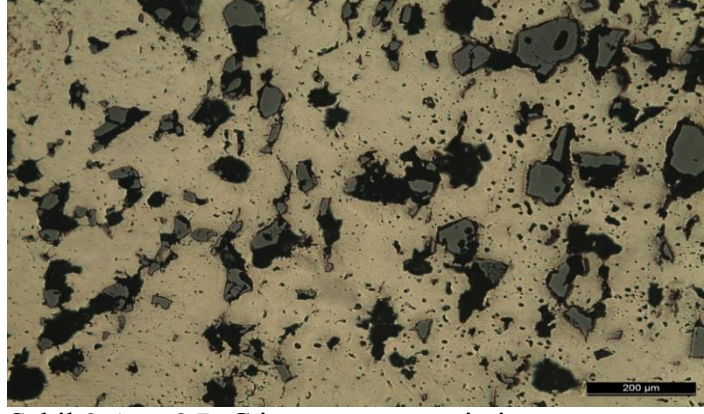


Şekil 3.3.% 4 B<sub>4</sub>C içeren numunenin içyapı görüntüsü (x10)

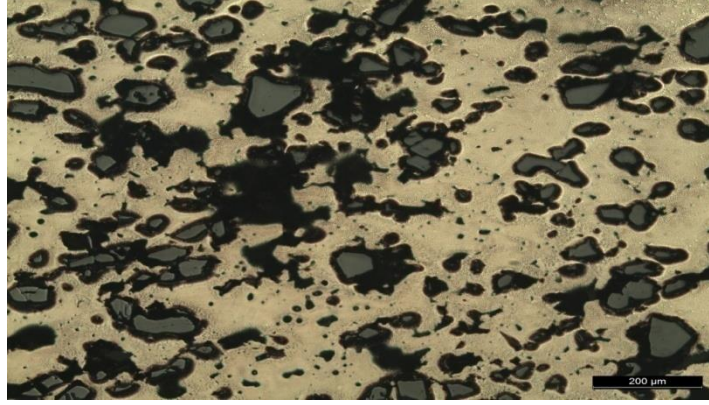


Şekil 3.4. % 6 B<sub>4</sub>C içeren numunenin içyapı görüntüsü (x10)



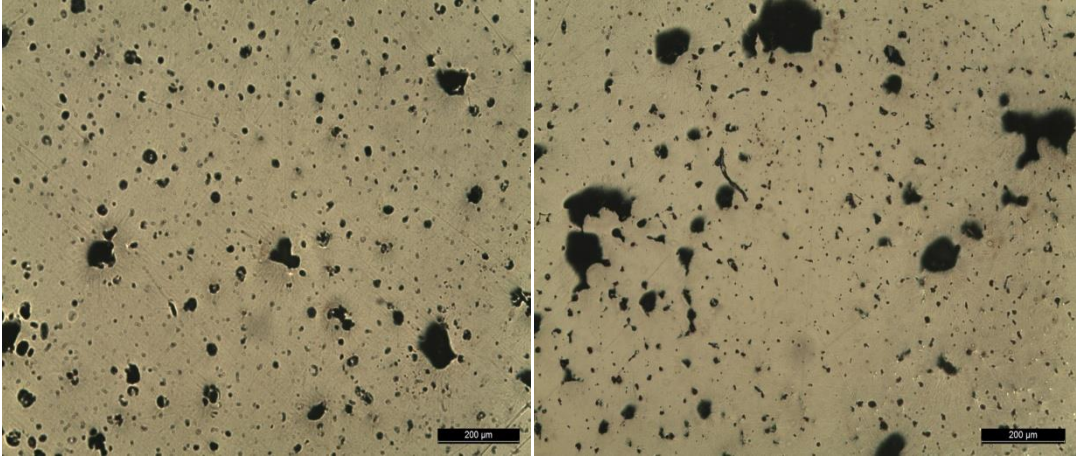


Şekil 3.5. % 8 B<sub>4</sub>C içeren numunenin içyapı görüntüsü (x10)



Şekil 3.6.% 10 B<sub>4</sub>C içeren numunenin içyapı görüntüsü (x10)

Farklı sürelerde sinterlenen bronz numunelerin içyapı görüntüleri aşağıda Şekil 3.7 ve 3.8.'de verilmiştir.



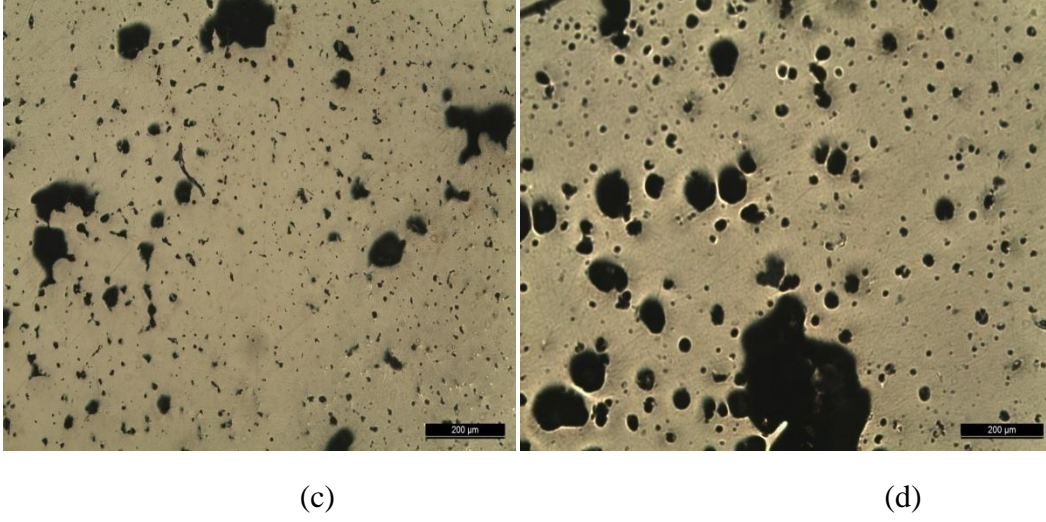
(a)

(b)

Şekil 3.7.(a) 736 MPa da preslenip 900 °C de 1 saat sinterlenen bronz numunesinin içyapı görüntüsü (x10), (b) 736 MPa da preslenip 900 °C de 3 saat sinterlenen bronz numunesinin içyapı görüntüsü (x10)



Presleme basıncının üretilen bronz malzemenin içyapısına etkisi Şekil 3.8'de verilmiştir.İçyapı fotoğrafları incelendiğinde düşük basınçta (319 MPa) üretilen bronz malzemede daha fazla ve büyük porozitelerin oluştuğu gözlenmiştir.



Şekil 3.8.(c) 736 MPa da preslenip 900 °C de 3 saat sinterlenen bronz numunesinin içyapı görüntüsü (x10), (d)319 MPa da preslenip 900 °C de 3 saat sinterlenen bronz numunesinin içyapı görüntüsü (x10)

### 3.2. Numunelerin Sertliklerinin İncelenmesi

900 °C de 1 ve 3 saat sinterlenen numunelerin ortalama Brinellsertlik değerleri aşağıda Tablo 3.1.'de verilmiştir. Benzer şekilde sertliğin B<sub>4</sub>C oranına göre ve sinterleme süresine göre değişimini gösteren grafik ise Şekil 3.9.'da verilmiştir. Tablo3.1.'den görüldüğü gibi B<sub>4</sub>C oranı arttıkça sertlik değerlerinin arttığı gözlenmiştir. Bunun yanında 3 saat sinterlenen numunelerin 1 saat sinterlenen numunelere göre daha yüksek sertlik değerleri sergilediği gözlenmiştir. Nitekim % 10 B<sub>4</sub>C içeren numunede 1 saatlik sinterleme sonrasında 57 BSD değeri elde edilirken aynı numunede 3 saat sinterleme sonucunda 86 BSD değeri elde edilmiştir.

Bronz numunelerin presleme basıncı ve sinterleme süresine göre elde edilen sertlik değerleri Tablo 3.2.'de verilmiştir. Presleme basıncı arttıkça sertlik değerinin azaldığı tablodan görülmektedir.736 MPa'da 3 saat sinterlenen numunede 37 BSD değeri elde edilirken 319 MPa'da preslenen numunede bu değer 55 BSD olarak ölçülmüştür.

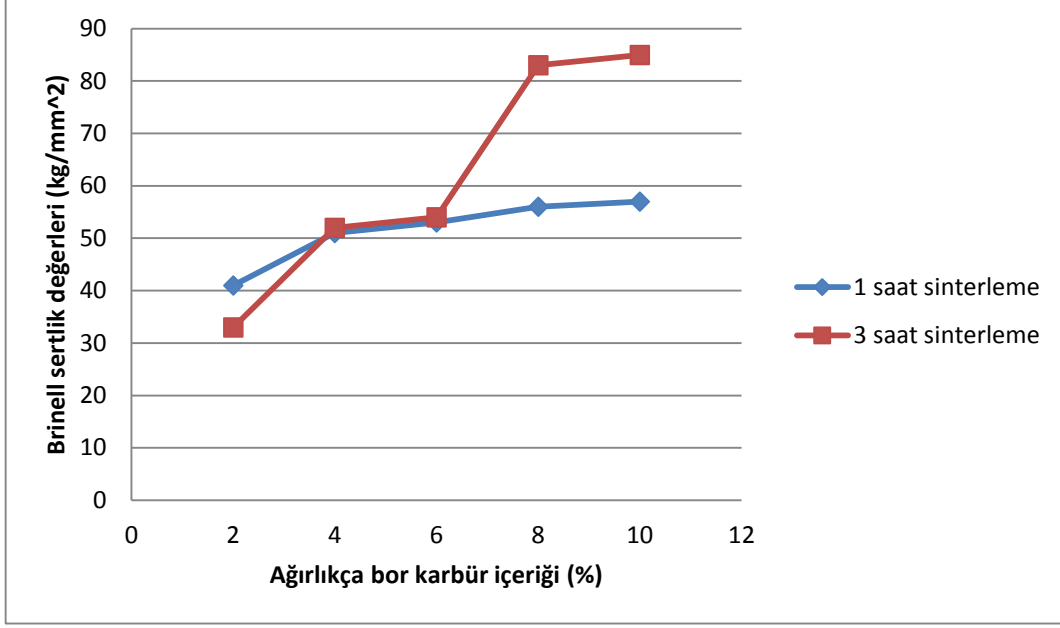
Sinterleme basıncına benzer olarak aynı basınçta sinterleme süresi arttıkça sertlik değerinin azaldığı belirlenmiştir. Nitekim 736 MPa’da 1 saatlik sinterleme sonucunda 48 BSD değeri elde edilirken aynı basınçta 3 saatlik sinterleme sonrası 37 BSD değeri elde edilmiştir.

Tablo 3.1.Sertlik değerleri

Numune	BSD değeri (kg/mm <sup>2</sup> )	
	1 saat sinterleme	3 saat sinterleme
Saf bakır	32	
% 2 B <sub>4</sub> C içeren numune	42	33
% 4 B <sub>4</sub> C içeren numune	51	53
% 6 B <sub>4</sub> C içeren numune	53	55
% 8 B <sub>4</sub> C içeren numune	56	84
% 10 B <sub>4</sub> C içeren numune	57	86

Tablo 3.2.Bronz numunelerinin BSD değerleri

Numune	Presleme basıncı (MPa)	Sinterleme süresi (saat)	Sertlik (kg/mm <sup>2</sup> )
Bronz	736	1	48
	736	3	37
	319	3	55



Şekil 3.9.Sinterleme süresinin numunelerin sertliğine etkisi

### 3.3. Numunelerin Yoğunluk ve Porozitelerinin İncelenmesi

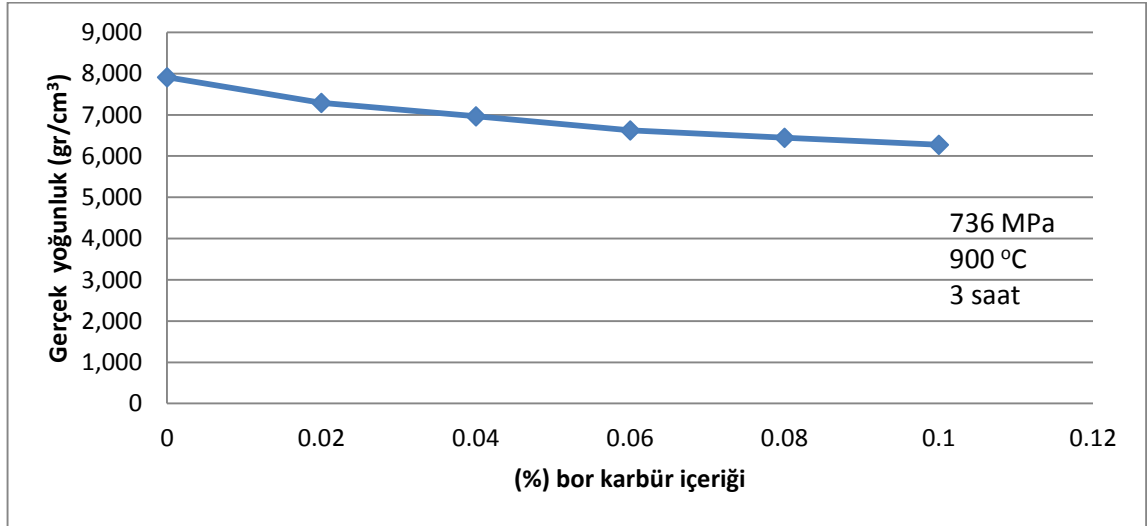
736 MPa da preslenip 900 °C de 1 ve 3 saat sinterlenen numunelerin hesaplanan teorik ve gerçek yoğunluk değerleri ile porozite değerleri Tablo 3.3 ve Tablo 3.4 te gerçek yoğunluğun ve % porozitenin  $B_4C$  oranına göre değişimini gösteren grafikler sırası ile Şekil 3.10 ve Şekil 3.11.'de verilmiştir. Tablodan  $B_4C$  oranı arttıkça teorik ve gerçek yoğunluk değerlerinin azaldığı görülmektedir. Nitekim 3 saat sinterlenen, %2  $B_4C$  içeren numunede teorik ve gerçek yoğunluk sırası ile 8.674 gr/cm ve 7.292 gr/cm iken bu değerler % 10  $B_4C$  içeren numunede sırası ile 8.172 ve 6.278 olarak elde edilmektedir. Bunun yanında % 2  $B_4C$  içeren numunede %porozite değeri 15.9 olarak hesaplanırken % 10  $B_4C$  içeren numunede bu değer 23.17 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3.3. 900°C de 1 saat sinterlenen B<sub>4</sub>C içeren numunelerin teorik ve gerçek yoğunluk ile porozite değerleri

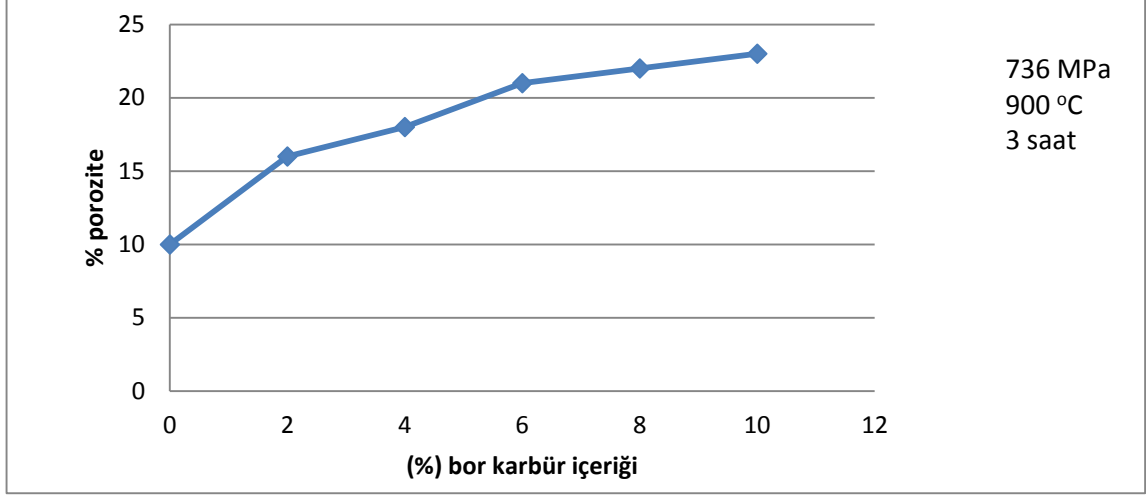
Numune	% B <sub>4</sub> C İçeriği	Ağırlık (gr)	Hacim (cm <sup>3</sup> )	qt (gr/cm <sup>3</sup> )	gh (gr/cm <sup>3</sup> )	Porozite (%)
Kompozit	2	25.1384	3.454	8.674	7.277	16.1
	4	23.2042	3.343	8.549	6.942	18.8
	6	24.7961	3.746	8.423	6.619	21.41
	8	21.1627	3.290	8.297	6.432	22.47
	10	22.2069	3.560	8.172	6.237	23.68

Tablo 3.4.900°C de 3 saat sinterlenen B<sub>4</sub>C içeren numunelerin teorik ve gerçek yoğunluk ile porozite değerleri

Numune	% B <sub>4</sub> C İçeriği	Ağırlık (gr)	Hacim (cm <sup>3</sup> )	qt (gr/cm <sup>3</sup> )	gh (gr/cm <sup>3</sup> )	Porozite (%)
Kompozit	2	22.0138	3.019	8.674	7.292	15.9
	4	18.2072	2.613	8.549	6.968	18.5
	6	18.7981	2.837	8.423	6.626	21.34
	8	17.1027	2.652	8.297	6.449	22.27
	10	17.2017	2.740	8.172	6.278	23.17



Şekil 3.10. Bor karbürün gerçek yoğunluğa etkisi



Şekil 3.11. Bor karbürün poroziteye etkisi

Saf Bakır tozu ve CuSn10 bronz tozundan değişik şartlarda elde edilen numunelerde hesaplanan teorik ve gerçek yoğunluk ile % porozite değerleri Tablo 3.5.'de verilmiştir. Bakır numunede bronz numunelere göre daha düşük porozite değeri (%10) elde edilmiştir. Bronz numunede ise sinterleme süresi 1 saatten 3 saate çıkarıldığında gerçek yoğunluğun arttığı ve % porozite oranının azaldığı tablo'dan görülmektedir. Nitekim 1 saatlik sinterleme sonucunda 7.115 gr/cm gerçek yoğunluk ve %18.21 oranında porozite hesaplanırken 3 saatlik sinterleme sonucunda bu değerler sırası ile 7.551 gr/cm ve %15.51 olarak hesaplanmıştır. Bunun yanında presleme basıncı 736 MPa'dan 319 MPa'ya düşürüldüğünde gerçek yoğunluk ve % porozite değerlerinin azaldığı tablodan açıkça görülmektedir.

Tablo 3.5. Bronz ve bakır numunelerinin yoğunluk ve porozite değerleri

Numune	Basınç (MPa)	Sıcaklık (°C)	Sinterleme süresi(saat)	Ağırlık (gr)	Hacim (cm <sup>3</sup> )	qt (gr/cm <sup>3</sup> )	qh (gr/cm <sup>3</sup> )	Porozite (%)
Bakır	736	900	1	29.0124	3.665	8.8	7.916	10.05
Bronz	736		1	17.7092	2.489	8.7	7.115	18.21
	736		3	21.1201	2.797	8.7	7.551	13.21
	319		3	15.5897	2.483	8.7	6.279	27.83

### 3.4. Numunelerin Aşınma Dayanımı Bulguları

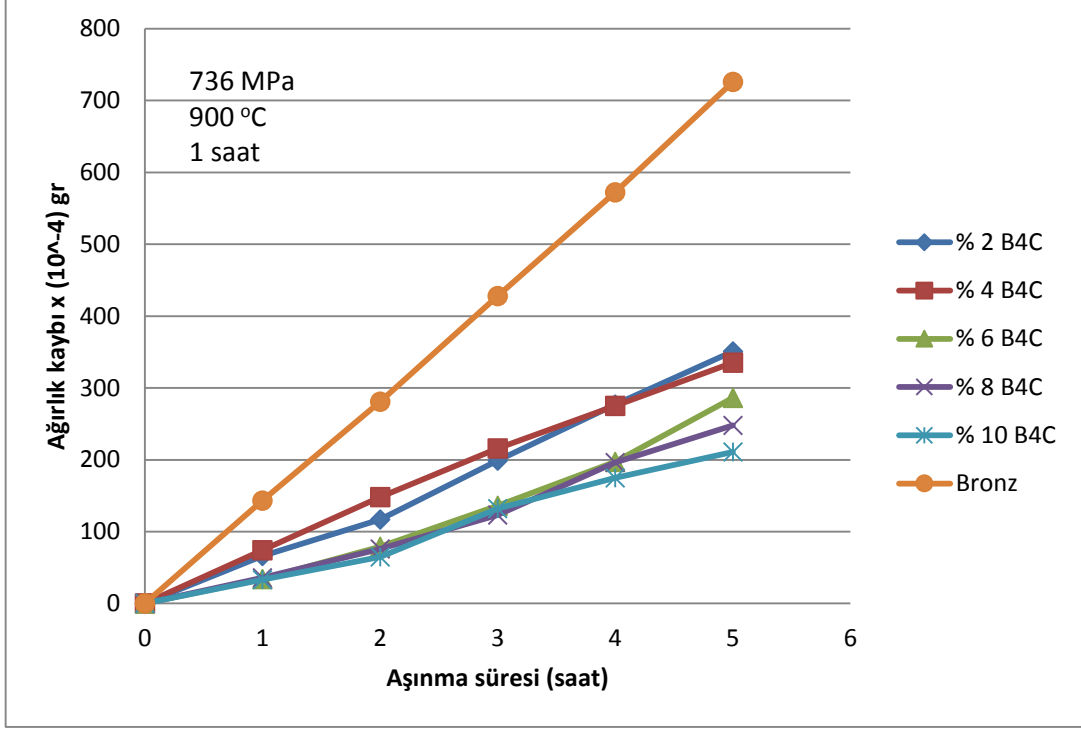
Farklı oranlarda BC içeren numuneler ile bronz numunesinin aşınma deney sonuçları Tablo 3.6.'de zamana göre numunelerde meydana gelen toplam ağırlık değişimlerini gösteren grafik ise Şekil 3.12.'de verilmiştir.

Tablo 3.6. B<sub>4</sub>C içeren numunelerin ve bronz numunesinin aşınma deney sonuçları (736 MPa, 900 °C de 1 saat sinterleme)

Aşınma süresi(saat)	B <sub>4</sub> C içeriği (%)					Bronz
	%2	%4	%6	%8	%10	
0	27.9055	22.7872	25.1238	24.5638	23.8964	19.3139
1	27.8989	22.7798	25.1204	24.5602	23.8931	19.2996
2	27.8938	22.7724	25.1159	24.5562	23.8899	19.2858
3	27.8856	22.7656	25.1102	24.5515	23.8832	19.2711
4	27.8778	22.7597	25.1041	24.5442	23.8789	19.2567
5	27.8704	22.7537	25.0952	24.539	23.8753	19.2413

Tablo 3.7. B<sub>4</sub>C içeren numunelerin ve bronz numunesinin aşınma deney sonuçları (736 MPa, 900 °C de 1 saat sinterleme)

Aşınma süresi (saat)	Toplam ağırlık kaybı (gr.10 <sup>-4</sup> )					
	% 2	% 4	% 6	% 8	% 10	Bronz
1	66	74	34	36	33	143
2	117	148	79	76	65	281
3	199	216	136	123	132	428
4	277	275	197	196	175	572
5	351	335	286	248	211	726



Şekil 3.12. B<sub>4</sub>C içeren numuneler ile bronzda aşınma miktarının zamanla değişimini gösteren eğriler

Şekilden açıkça görüleceği gibi tüm numunelerde ağırlık kaybı değerleri aşınma süresi arttıkça artmaktadır. Örneğin %2 BC içeren numunede 1 saatlik çalışma sonucunda 6.6 mg.'lik bir aşınma meydana gelirken 5 saatlik çalışma sonucunda toplam 35.1 mg.'lik bir aşınma meydana geldiği gözlenmiştir. Öte yandan şekilden BC oranı arttıkça numunelerin aşınma dirençlerinin arttığı ve dolayısı ile aşınma miktarlarının azaldığı görülmektedir. Nitekim % 2 BC içeren numunede 5 saatlik çalışma sonucunda toplam 35.1 mg.'lik bir aşınma meydana gelirken % 10 BC içeren numunede aynı çalışma sonucunda toplam 21.1 mg.'lik bir aşınma meydana gelmektedir. Bunun yanında aynı şartlarda deneye tabi tutulan bronz numunede ise aşınma miktarı çok fazla artarak 72.6 mg. değerine ulaşmaktadır.

Farklı oranlarda B<sub>4</sub>C içeren numuneler ile bronzun 736 MPa'lık presleme basıncı ve 900 C'lık sinterleme sıcaklığında 3 saatlik sinterleme sonrasında elde edilen aşınma miktarı değerleri Tablo 3.8.'de verilmiştir. Aynı tabloda ayrıca 319 MPa'da 900 °C'de 3 saat sinterlenen bronz numuneye ait aşınma miktarı değerleri de verilmiştir. BC içeren numuneler ile bronzun aşınma miktarlarının zamana göre değişimini gösteren toplu grafikler ise Şekil 3.13.'de verilmiştir.

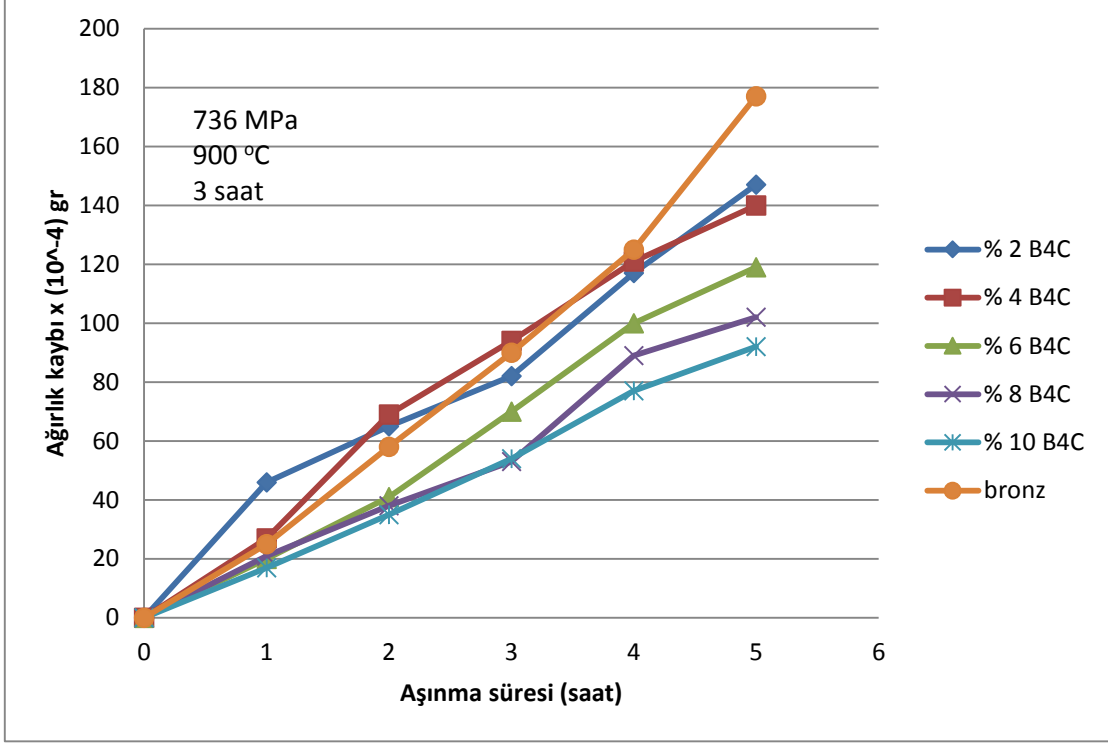
Tablo 3.8.B<sub>4</sub>Ciçeren numunelerinve bronzun aşınma deney sonuçları (736 MPa, 900 °Cde 3 saat sinterleme ) \*bronz (319 MPa, 900 C ve 3 saat)

Aşınma süresi (saat)	B <sub>4</sub> C içeriği (%)					Bronz	
	%2	%4	%6	%8	%10	736 MPa	319*MPa
0	22.0203	18.2328	26.6498	18.1867	18.9973	23.0519	22.006
1	22.0157	18.2301	26.6478	18.1846	18.9956	23.0494	21.9935
2	22.0138	18.2259	26.6457	18.1829	18.9938	23.0461	21.8641
3	22.0121	18.2234	26.6428	18.1814	18.9919	23.0429	21.7531
4	22.0086	18.2207	26.6398	18.1778	18.9896	23.0394	21.6403
5	22.0056	18.2188	26.6379	18.1705	18.9881	23.0342	21.5144

Tablo 3.9.Bor karbür içeren numunelerin ve bronzun kümülatifaşınma deney sonuçları

Aşınma süresi (saat)	Toplam ağırlık kaybı (gr.10 <sup>-4</sup> )						
	% 2	% 4	% 6	% 8	% 10	736 MPa	319*MPa
1	46	27	20	21	17	25	125
2	65	69	41	38	35	58	1419
3	82	94	70	53	54	90	2529
4	117	121	100	89	77	125	3657
5	147	140	119	102	92	177	4916

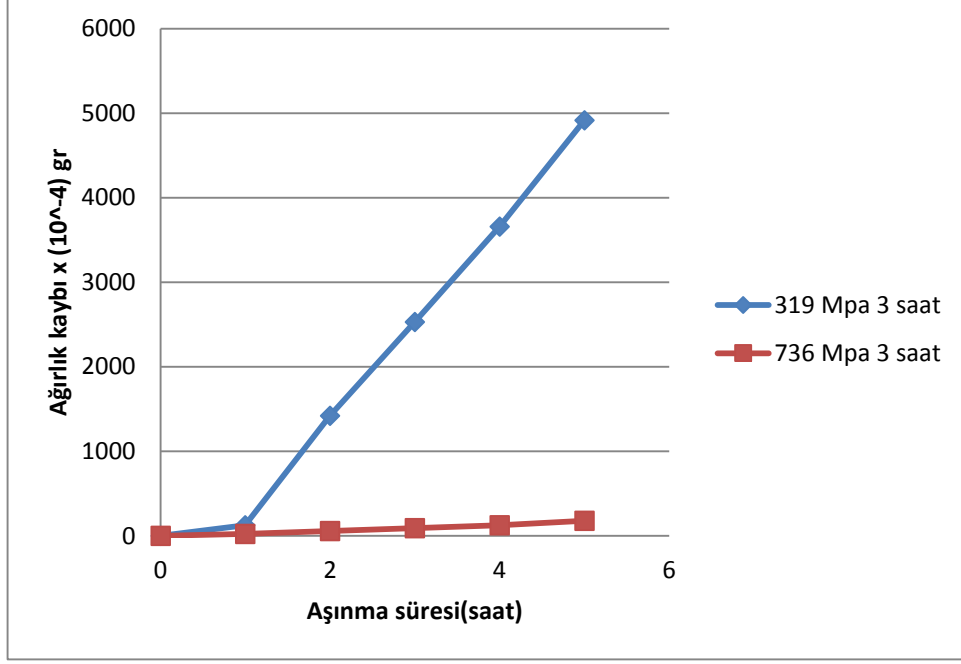




Şekil 3.13. B<sub>4</sub>C içeren numuneler ile bronzda aşınma miktarının zamanla değişimini gösteren eğriler

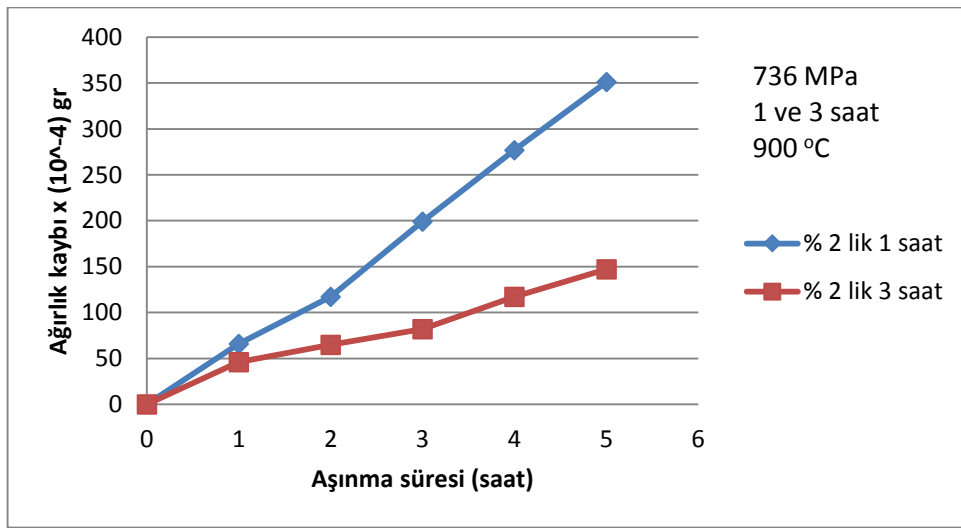
Şekilden açıkça görüleceği gibi tüm numunelerde ağırlık kaybı değerleri aşınma süresi arttıkça artmaktadır. Örneğin %2 B<sub>4</sub>C içeren numunede 1 saatlik çalışma sonucunda 4.6 mg.'lik bir aşınma meydana gelirken 5 saatlik çalışma sonucunda toplam 14.7 mg.'lik bir aşınma meydana geldiği gözlenmiştir. Öte yandan şekilden B<sub>4</sub>C oranı arttıkça numunelerin aşınma dirençlerinin arttığı ve dolayısı ile aşınma miktarlarının azaldığı görülmektedir. Nitekim % 2 BC içeren numunede 5 saatlik çalışma sonucunda toplam 14.7 mg.'lik bir aşınma meydana gelirken % 10 B<sub>4</sub>C içeren numunede aynı çalışma sonucunda toplam 9.2 mg.'lik bir aşınma meydana gelmektedir. Bunun yanında aynı şartlarda deneye tabi tutulan bronz numunede ise aşınma miktarı 17.7 mg. değerine çıktığı gözlenmiştir.

Şekil 3.14 de farklı basınçlarda (736, 319 MPa) preslenen ve 900 derecede 3 saat sinterlenen bronz numunelerde zamanla meydana gelen aşınma miktarlarının değişimi görülmektedir. Grafikten presleme basıncının bronzun aşınma miktarı üzerinde çok etkin bir rol oynadığı açıkça görülmektedir. Presleme basıncının 736 MPa dan 319 MPa a düşürülmesi aşınma miktarı değerlerini yüksek oranda arttırmaktadır. Nitekim 5 saatlik toplam aşınma süresi sonunda 736 MPa da toplam 17.7 mg. lik bir aşınma meydana gelirken 319 MPa da bu değerın aşırı miktarda artarak 491.6 mg. değerine ulaştığı gözlenmiştir.

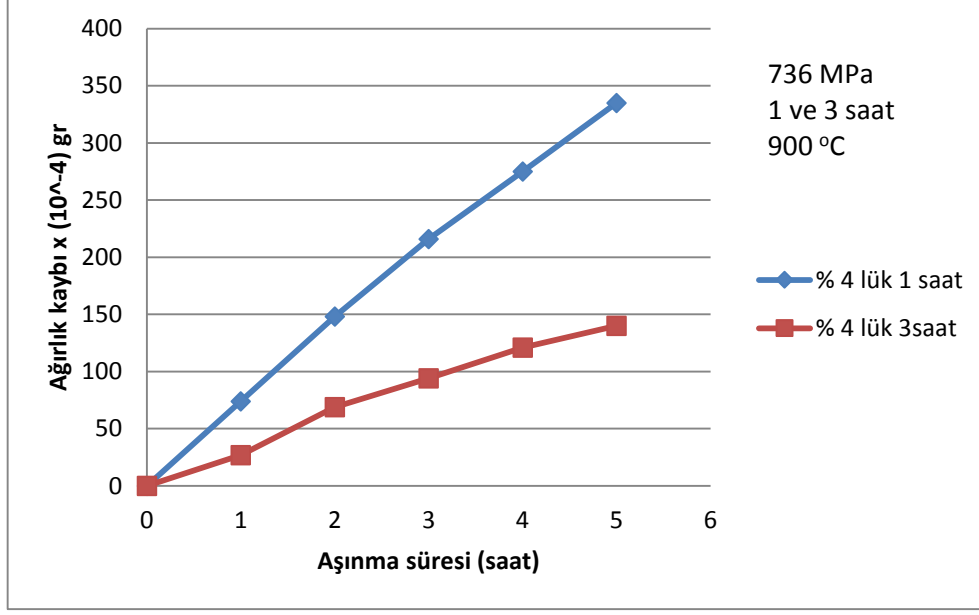


Şekil 3.14.Presleme basıncının bronz numunelerin aşınma dayanımına etkisi

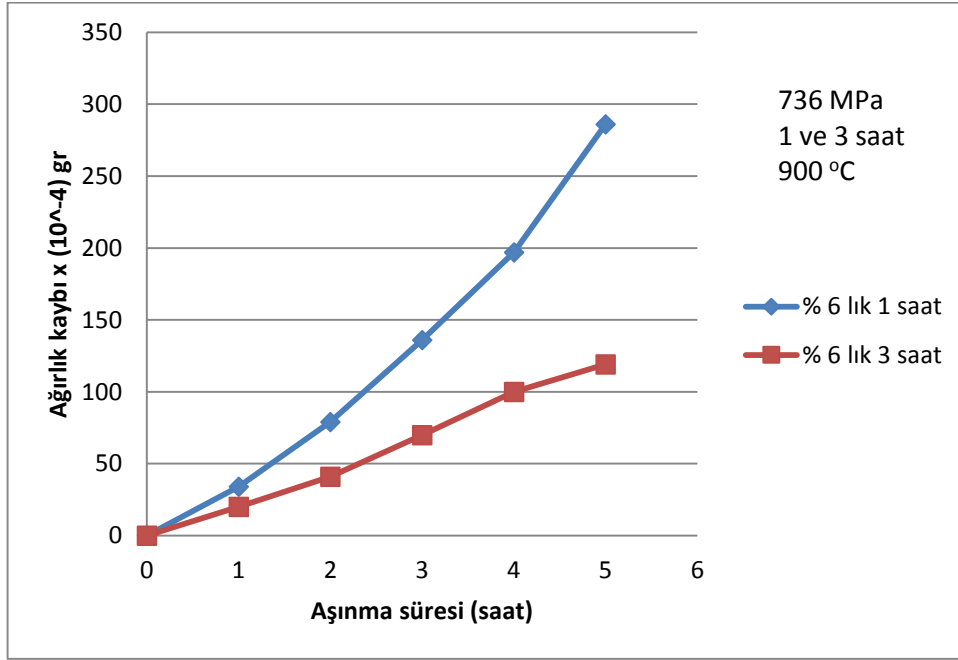
Farklı oranlarda B<sub>4</sub>C içeren numuneler ile bronzun 736MPa'lık presleme basıncı 900 derece sinterleme sıcaklığı, 1 ve 3 saatlik farklı sinterleme sürelerinde elde edilen aşınma eğrileri sırasıyla Şekil 3.15, Şekil 3.16, Şekil 3.17, Şekil 3.18, Şekil 3.19 ve Şekil 3.20'de verilmiştir. Tüm aşınma eğrileri incelendiğinde sinterleme süresi arttıkça aşınma miktarlarının azaldığı gözlenmiştir.



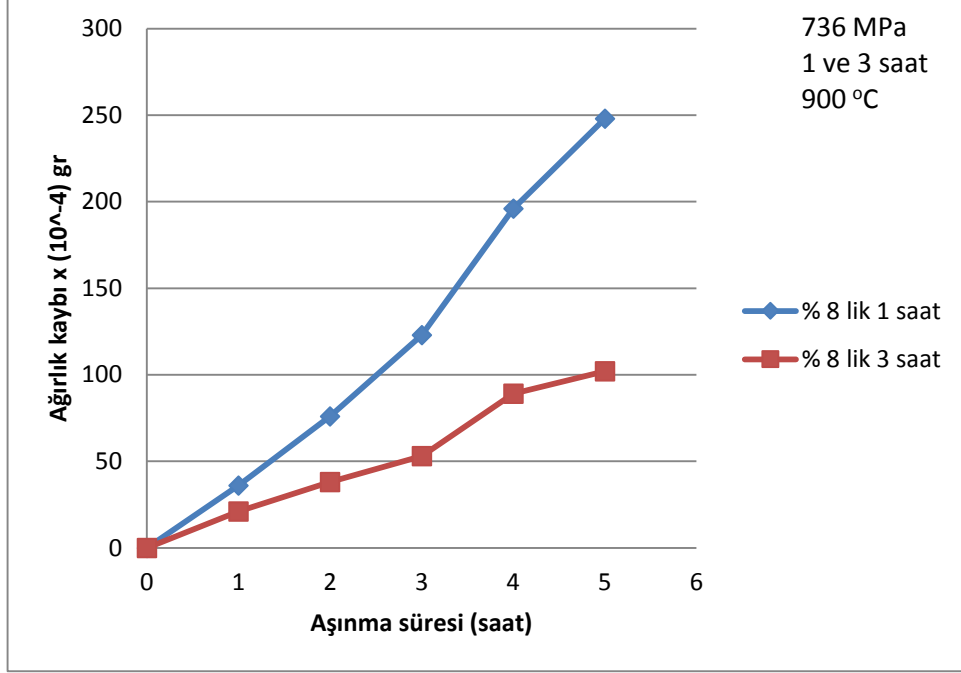
Şekil 3.15.% 2 B<sub>4</sub>C içeren numunelere ait sinterleme süresinin aşınma dayanımına etkisi



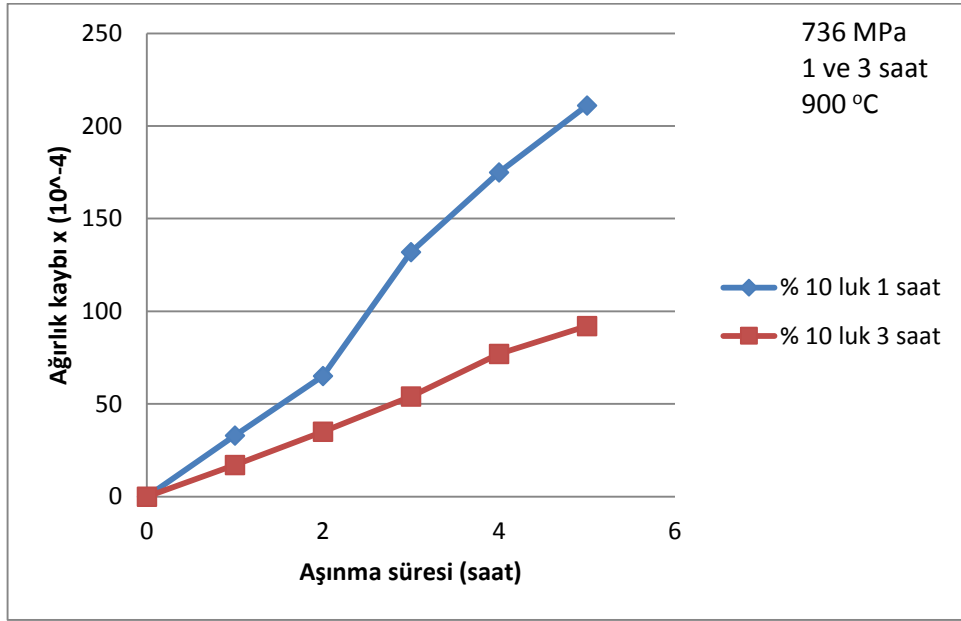
Şekil 3.16.% 4 B<sub>4</sub>C içeren numunelere ait sinterleme süresinin aşınma dayanımına etkisi



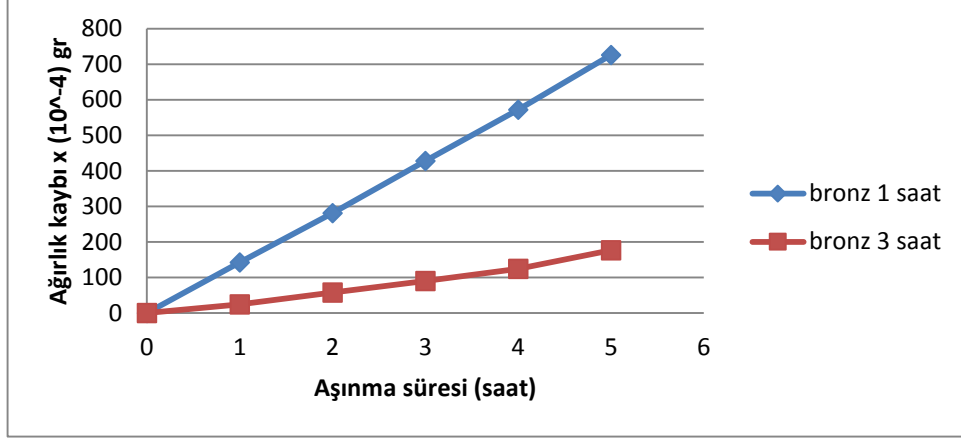
Şekil 3.17.% 6 B<sub>4</sub>C içeren numunelere ait sinterleme süresinin aşınma dayanımına etkisi



Şekil 3.18.% 8B<sub>4</sub>C içeren numunelere ait sinterleme süresinin aşınma dayanımına etkisi

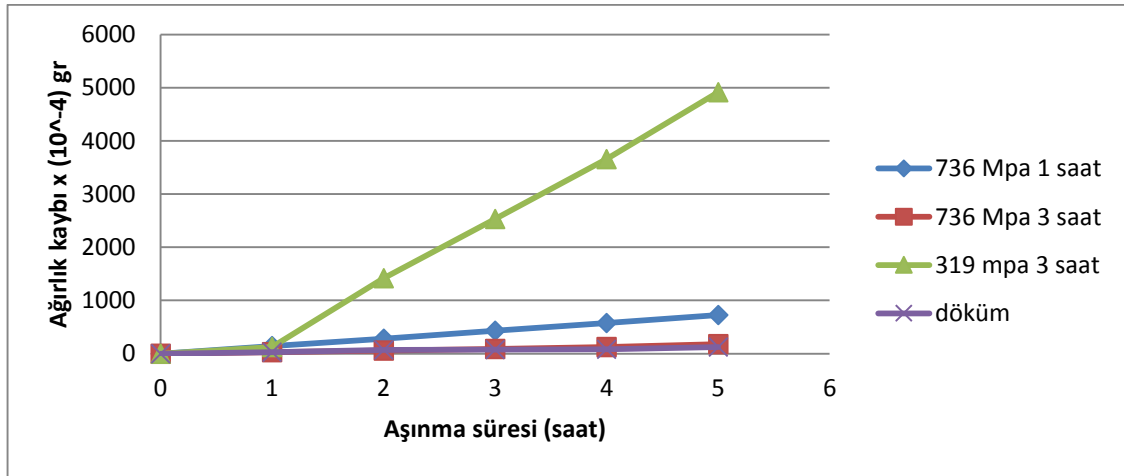


Şekil 3.19.% 10 B<sub>4</sub>C içeren numunelere ait sinterleme süresinin aşınma dayanımına etkisi



Şekil 3.20.Sinterleme süresinin bronz numunelerine ait aşınma dayanımı üzerindeki etkisi

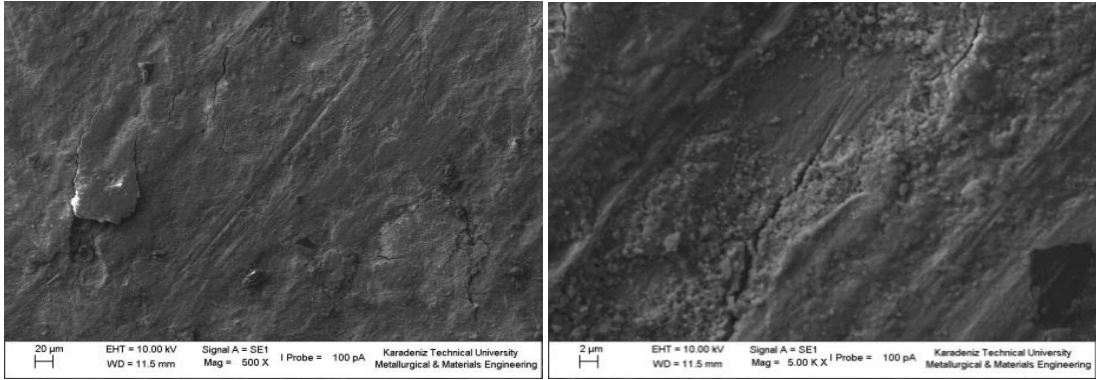
Farklı şartlarda T/M yöntemiyle üretilen bronz numuneler ile piyasadan tedarik edilen ve döküm yöntemi ile üretilmiş olan bronzun aşınma dayanımları karşılaştırmalı olarak aşağıda Şekil 3.21.' de verilmiştir. Düşük basınçta (319 MPa) preslenen numunenin en yüksek aşınma miktarı sergilediği görülmektedir. Yüksek basınçta (736 MPa) preslenerek üretilen bronz numunelerin ise daha az aşınma miktarı sergilediği gözlenmiştir. Ancak bu basınçta 3 saatlik sinterlemeye tabi tutulan bronzun 1 saatlik sinterlemeye tabi tutulan bronzdan daha az aşınma sergilediği grafikten görülmektedir. Bunun yanında döküm yöntemiyle üretilen bronz numunenin aşınma direncinin yüksek olduğu ve 736 MPa 3 saatlik sinterlenen bronzun aşınma performansına eşit bir aşınma direnci sergilediği gözlenmiştir.



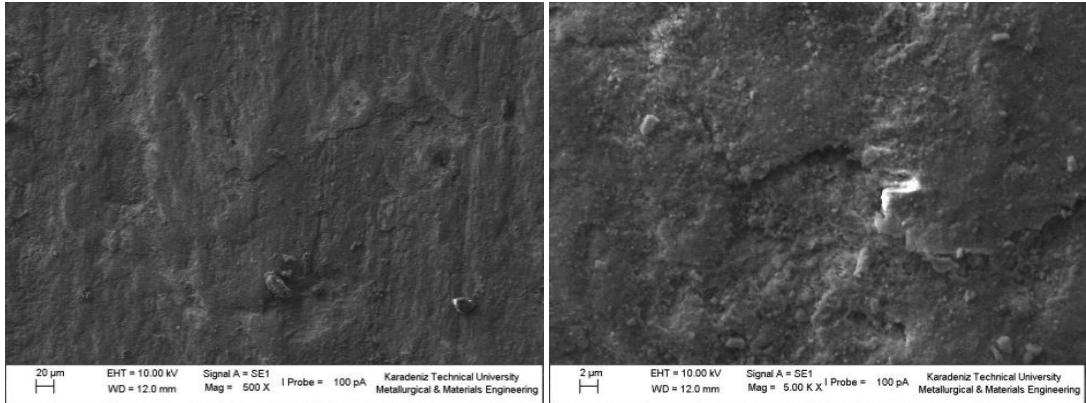
Şekil 3.21.T/M ile ve döküm yöntemi ile üretilen bronz numunelerin aşınma dayanımlarının karşılaştırılması

### 3.5. Numunelerin Aşınma Yüzeylerinin SEM de İncelenmesi

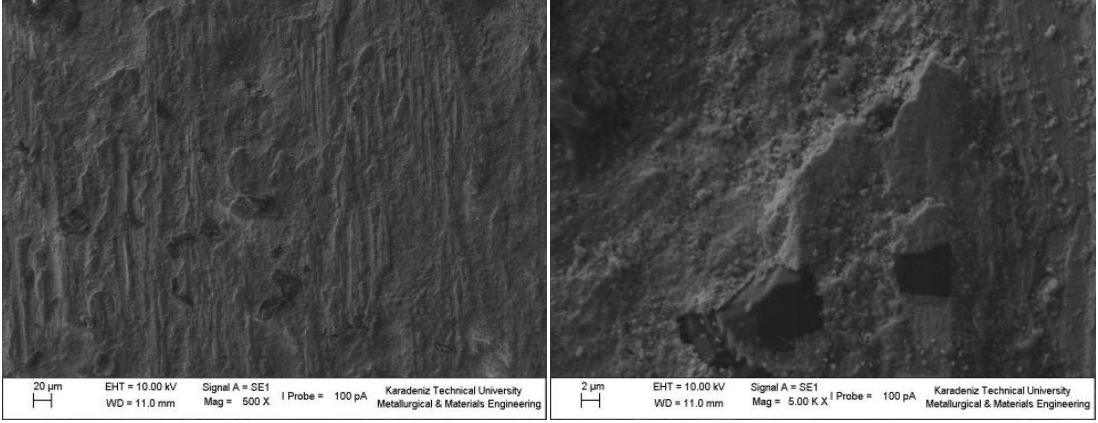
Toplam 5 saatlik aşınma deneyi sonucunda B<sub>4</sub>C içeren kompozit malzemeler ile bronzların aşınma yüzeyleri SEM 'de incelenmiş ve elde edilen yüzey görüntüleri farklı büyütmelerde aşağıda Şekil 3.22, Şekil 3.23, Şekil 3.24, Şekil 3.25, Şekil 3.26, Şekil 3.27, Şekil 3.28 Şekil 3.29 ve Şekil 3.30'da verilmiştir. Yüzeylerden açıkça görüleceği gibi B<sub>4</sub>C oranı arttıkça yüzeyde çizilme sıvama şeklinde ki aşınma belirtilerinin azaldığı gözlenmiştir. Bunun yanında aşınma yüzeylerinde çatlak ve abrasif aşınma mekanizmasının varlığı gözlenmiştir. Şekli 3.22.'de 5000x de çatlakların varlığı bariz olarak görülmektedir. Döküm bronz yüzeyi incelendiğinde (Şekil 6.27) derin abrasif aşınma ile birlikte yoğun aşınma parçacıklarının yüzeye sıvanması görülmektedir. Bunu yanında serbest kalan B<sub>4</sub>C parçacıklarının yüzeyde abrasif aşınmaya sebep olduğu gözlenmiştir (Şekil 3.23. 500x görüntüsü).



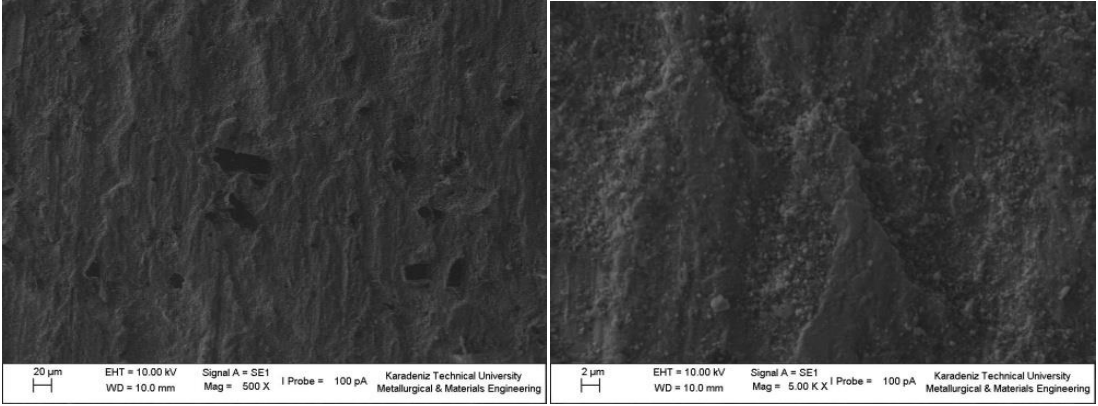
Şekil 3.22. % 2 B<sub>4</sub>C içeren numunenin aşınma yüzeyinin SEM de 1000x ve 5000x görüntüsü



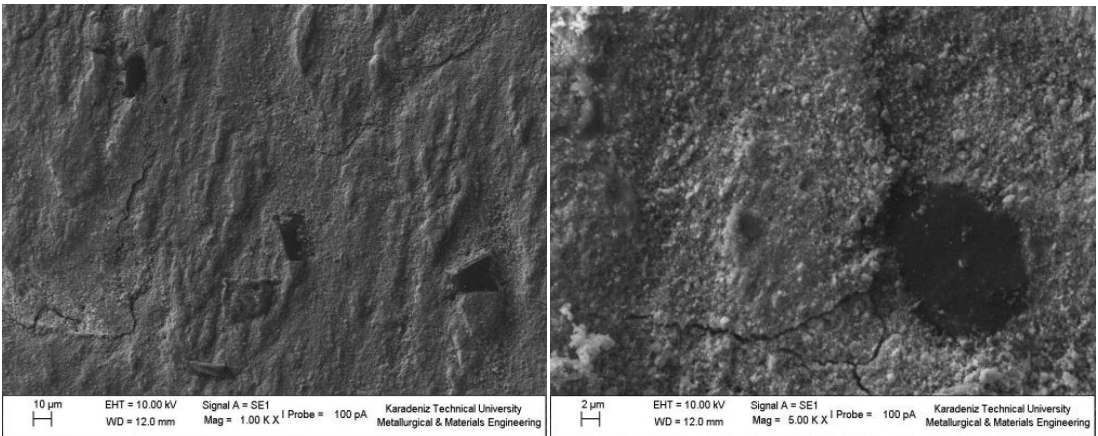
Şekil 3.23. % 4 B<sub>4</sub>C içeren numunenin aşınma yüzeyinin SEM de 500x ve 5000x görüntüsü



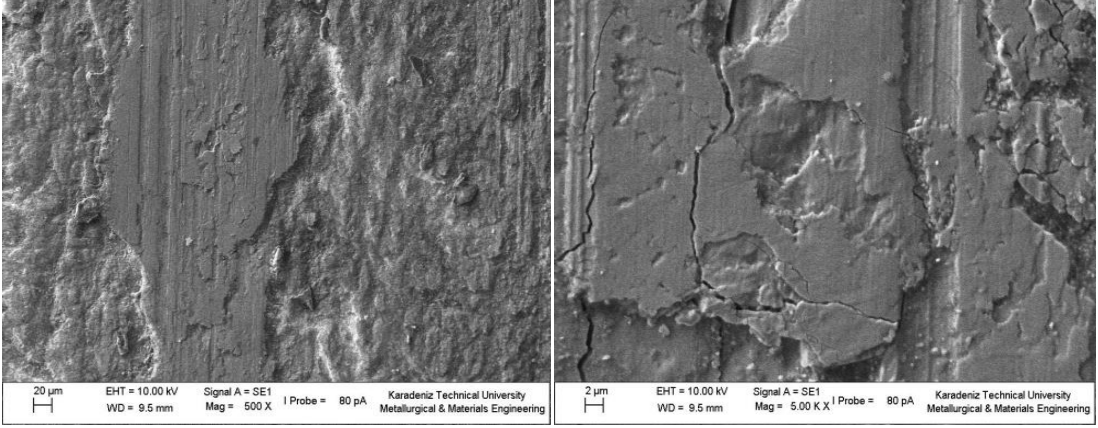
Şekil 3.24. % 6 B<sub>4</sub>C içeren numunenin aşınma yüzeyinin SEM de 500x ve 5000x görüntüsü



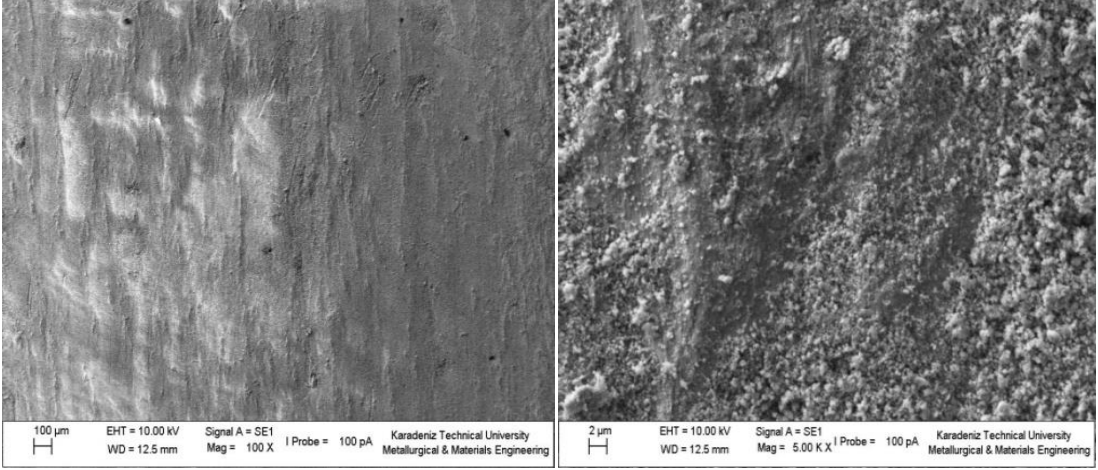
Şekil 3.25. % 8 B<sub>4</sub>C içeren numunenin aşınma yüzeyinin SEM de 500x ve 5000x görüntüsü



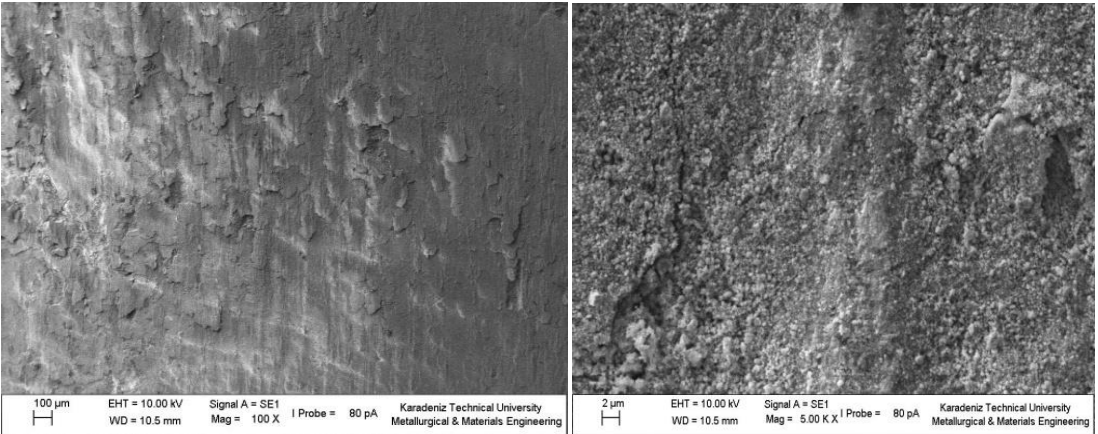
Şekil 3.26. % 10 B<sub>4</sub>C içeren numunenin aşınma yüzeyinin SEM de 1000x ve 5000x görüntüsü



Şekil 3.27. Döküm bronz numunesinin aşınma yüzeyinin SEM de 100x ve 5000x görüntüsü



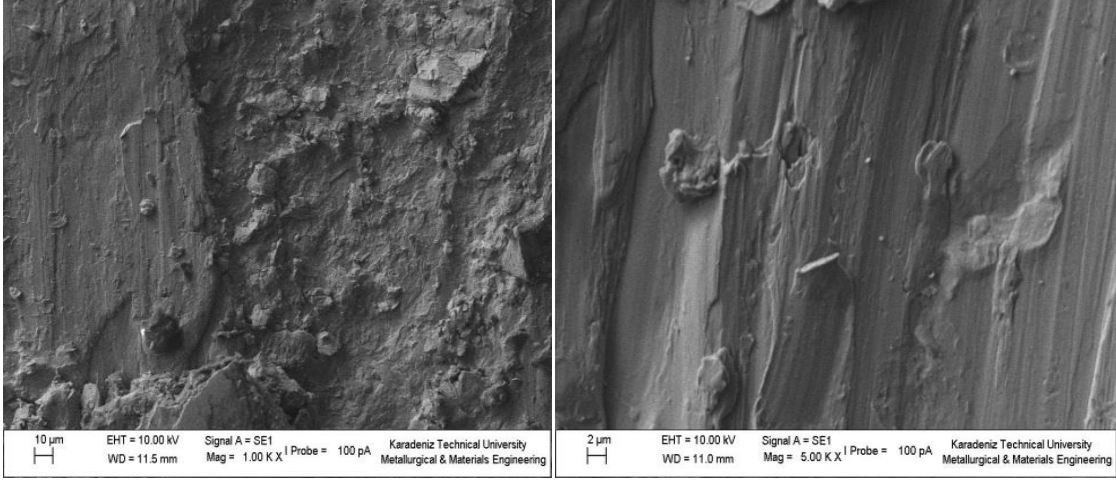
Şekil 3.28.736 MPa da preslenmiş 900 derecede 1 saat sinterlenmiş bronz numunesinin aşınma yüzeyinin SEM de 500x ve 5000x görüntüsü



Şekil 3.29.736 MPa da preslenmiş 900 derecede 3 saat sinterlenmiş bronz numunesinin aşınma yüzeyinin SEM de 100x ve 5000x görüntüsü



319 MPa da preslenip 900 °C de 3 saat sinterlenen bronz numune yüzeyinde Şekil 3.30.'da 5000x de yoğun aşınma belirtilerinin varlığı açıkça görülmektedir.



Şekil 3.30.319 MPa da preslenmiş 900 derecede 3 saat sinterlenmiş bronz numunesinin aşınma yüzeyinin SEM de 1000x ve 5000x görüntüsü

#### 4.İRDELEME

B<sub>4</sub>C içeren numunelerin metalografik görüntüleri incelendiğinde B<sub>4</sub>C parçacıklarının içyapıda homojen olarak dağıldığı gözlenmiştir. Bunun yanında B<sub>4</sub>C parçacıklarının partikül boyutu dağılımına uygun olarak içyapıda iri ve ince partiküller halinde yer aldığı gözlenmiştir. Metalografik görüntülerde aynı zamanda koyu siyah renkte görülen bölgelerin porozite olduğu belirlenmiştir. Porozitenin yapıda B<sub>4</sub>C parçacıklarının etrafında ve matris içinde dağıldığı gözlenmiştir.

Sertlik deneyleri sonucunda B<sub>4</sub>C oranı arttıkça üretilen kompozitlerin sertliklerinin arttığı tespit edilmiştir. Bu sonuç beklenen bir durumdur çünkü B<sub>4</sub>C elmasan (7000) sonra (2750 knoop sertliği) en sert bileşiktir. Saf bakıra ağırlıkça % 10 oranında B<sub>4</sub>C katılması ve 900 °C’de 3 saat sinterleme işlemi sertliği 32 BSD değerinden 86 BSD değerine çıkarmaktadır. Benzer şekilde saf bakıra ağırlıkça % 10 oranında B<sub>4</sub>C katılması ve 900 °C’de 1 saat sinterleme işlemi sertliği 32 BSD değerinden 57 BSD değerine çıkarmaktadır. Bu durum sinterleme süresinin üretilen kompozitlerin sertlik değeri üzerinde etkin olduğunu göstermektedir. Sinterleme süresinin 1 saatten 3 saate çıkarılması numunelerin sertliğini % 55 oranında arttırmaktadır. Bu durum sinterleme süresinin artması sonucunda porozitenin azalmasından kaynaklanmıştır. Nitekim 1 saat sinterleme sonucu elde edilen % porozite oranı 25 iken 3 saatlik sinterleme sonucunda bu değer % 22 olmaktadır.

Üretilen kompozit numunelerde B<sub>4</sub>C oranı arttıkça numunelerin yoğunluklarının azaldığı belirlenmiştir. Bu durum 900 °C’de 1 ve 3 saat sinterlenen numunelerin tamamı için geçerlidir (Tablo 3.3 ve Tablo 3.4).% 2 oranında B<sub>4</sub>C içeren ve 3 saat sinterlenen numunenin yoğunluğu 7.292 gr/cm<sup>3</sup> iken bu değer % 10 B<sub>4</sub>C içeren numunede 6.278 gr/cm<sup>3</sup> değerine düşmektedir. Bu düşüş 2 farklı durumdan kaynaklanmaktadır. Birincisi, B<sub>4</sub>C nin yoğunluğunun (2.52 gr/cm<sup>3</sup>) bakırdan (8.8 gr/cm<sup>3</sup>) düşük olmasıdır. Diğer durum ise, B<sub>4</sub>C oranı arttıkça numunelerde porozite oranının artışıdır. Nitekim % 2 oranında B<sub>4</sub>C içeren numunede porozite oranı % 15.9 iken % 10 B<sub>4</sub>C içeren numunede %23.17 porozite bulunmaktadır. B<sub>4</sub>C oranının artışı ile % porozite değerlerinin artışı B<sub>4</sub>C’nin sıkıştırılabilirliğinin düşük olması ile açıklanabilir. Bakır malzeme basınç altında sünek olması sebebi ile kolaylıkla şekil değiştirirken gevrek olan B<sub>4</sub>C de bu durum meydana gelmemektedir.

Şekil 3.12' deki aşınma eğrilerinin incelenmesi sonucunda toplam 5 saatlik çalışma süresi sonucunda numunelerin içerisindeki B<sub>4</sub>C oranı arttıkça aşınma miktarı değerlerinde bir düşüş meydana gelmektedir. Nitekim % 2 B<sub>4</sub>C içeren numunede 5 saatlik çalışma sonucunda toplam 35.1 mg.'lik bir aşınma meydana gelirken % 10 B<sub>4</sub>C içeren numunede aynı çalışma sonucunda toplam 21.1 mg.'lik bir aşınma meydana gelmektedir. Bu sonuç beklenen bir durumdur çünkü sert olan B<sub>4</sub>C parçacıklarının artışı numunelerin sertliği arttırmakta bu durum da söz konusu numunelerin aşınma direncini arttırmaktadır. Genelde sert malzemelerin aşınma direncinin düşük olduğu bilinmektedir [ 29 ]. Aşınmadeneyleri sonucunda bronz malzemenin aşınma miktarının diğer tüm deneye tabi tutulan numunelerden daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu sonuç B<sub>4</sub>C takviyesinin aşınma direncini arttırmada önemli bir takviye malzemesi olduğunu ortaya koymaktadır.

900 °C de 3 saat sinterleme sonucu üretilen numunelerin Şekil 3.13. verilen toplam 5 saatlik aşınma deneyleri sonucunda B<sub>4</sub>C içeren numunelerin bronz malzemedan daha üstün aşınma davranışı sergilediği tespit edilmiştir. 1 saatlik sinterleme sonucunda elde edilen aşınma eğrilerine benzer olarak 3 saatlik sinterleme sonucunda da numunelerdeki B<sub>4</sub>C oranı arttıkça aşınma dirençlerinin arttığı belirlenmiştir. Aynı oranda B<sub>4</sub>C içeren numunelerde sinterleme süresinin arttırılması sonucunda daha yüksek aşınma performansı sergilendiği tespit edilmiştir. Nitekim % 10 B<sub>4</sub>C içeren ve 1 saat sinterlenen numunede 5 saatlik çalışma sonucunda 21.1mg.lık bir aşınma meydana gelirken aynı malzemenin 3 saat sinterlenmesi ve aynı aşınma zamanı sonucunda 9.2 mg.lık bir aşınma meydana gelmektedir. Bu durum büyük oranda 3 saatlik sinterleme sonucunda malzemenin sertliğinin artması ile açıklanabilir.

Piyasadan tedarik edilen dökülmüş durumdaki bronzun ve bu çalışma kapsamında T/M yöntemi ile farklı şartlarda üretilen bronz numunelerin Şekil 6.21 'de verilen aşınma eğrileri incelendiğinde düşük basınçta (319 MPa) üretilen bronz numunenin en yüksek aşınma sergilediği belirlenmiştir. Yüksek basınçta (736 MPa) preslenen ve 3 saat sinterlenen numunenin aşınma direnci ile dökülmüş durumdaki bronz numunenin aşınma direncinin hemen hemen aynı olduğu tespit edilmiştir. Söz konusu bu durum farklı presleme basınçları ve sinterleme süresinden kaynaklanmış olabilir. Şöyle ki yüksek basınçta preslenen bronz tozlarında daha fazla soğuk deformasyon ve dolayısıyla daha yüksek miktarda depo edilen iç enerji oluşmaktadır. Söz konusu bu iç enerji tozların sinterlenmesi için gerekli aktivasyon enerjisini düşürmektedir. Diğer bir değişle fazla

deforme olan tozlarda tozların bir birine bağlanması için gerekli olan sıcaklık düşük seçilmeli veya sinterleme süresi kısaltılmalıdır. Benzer durum soğuk deforme edilen çeliklerin rekristalizasyon sıcaklığında ortaya çıkmaktadır. Fazla miktarda deforme edilen çeliklerde deformasyondan dolayı depo edilen iç enerji sebebi ile rekristalizasyon sıcaklığının düştüğü bilinmektedir [ 30].

Üretilen kompozitlerin aşınma deneyleri sonrası yüzeylerinin SEM' de incelenmesi sonucunda yüzeyde derin çizik şeklindeki aşınma belirtileri ile sıvama şeklinde yüzeye yapışan aşınma ürünlerinin varlığı tespit edilmiştir. Aşınma yüzeyi görüntülerinden derin çiziklerin bakır matristen kopan ve ara yüzeyde serbest hale gelen B<sub>4</sub>C parçacıkları tarafından oluşturulduğu belirlenmiştir. Bunun yanında sürtünme sebebi ile aşınan bakır malzemenin bir kısmının yumuşak olması sebebi ile tekrar yüzeye yapıştığı gözlenmiştir. SEM görüntülerinden B<sub>4</sub>C oranı arttıkça yüzeyde daha az aşınma belirtisinin mevcut olduğu belirlenmiştir. Bu durum ise B<sub>4</sub>C oranı arttıkça aşınma direncinin artması sonucuyla uyum içerisindedir.

## 5. SONUÇLAR

1. Üretilen numunelerde B<sub>4</sub>C oranı arttıkça yoğunluğun düştüğü, bununla birlikte porozite oranının arttığı belirlendi.

2. Kompozitlerin içindeki B<sub>4</sub>C oranı arttıkça sertliğin arttığı en yüksek sertliğin % 10 B<sub>4</sub>C içeren numunede olduğu tespit edildi.

3. Presleme basıncı ve sinterleme süresinin bakır esaslı kompozit malzemelerin sertliği üzerinde etkili olduğu belirlendi. Yüksek basınç (736 MPa) ve uzun sinterleme süresinin (3 saat) söz konusu kompozit malzemelerin sertliğini arttırdığı tespit edildi.

4. 736 MPa presleme basıncında ve 900 °Csinterleme sıcaklığında, B<sub>4</sub>C oranı arttıkça üretilen kompozitlerde aşınma direncinin arttığı ve en yüksek aşınma performansı % 10 oranında B<sub>4</sub>C içeren numunede gözlemlendi.

5. Sinterleme süresinin üretilen B<sub>4</sub>C içeren bakır esaslı kompozit malzemelerin aşınma direnci üzerinde etkili olduğu belirlendi. 3 saat süreyle sinterlenen numunelerin 1 saat sinterlenen numunelerden daha üstün tribolojik davranış sergilediği tespit edildi.

6. Üretilen numunelerin tümü aynı şartlarda üretilen bronz numunelerden daha iyi aşınma performansı sergilediği tespit edildi.

7. 736 MPa da preslenen 900 °C de 3 saat süreyle sinterlenen numunenin piyasadan tedarik edilen dökülmüş durumdaki bronz numune ile aynı aşınma performansını sergilediği belirlendi.

8. Numunelerde görülen aşınma mekanizmasının abrasif aşınma ile birlikte adesif aşınma olduğu ve matrise ait aşınma parçacıklarının bazılarının yüzeye sıvandığı tespit edildi.

9. Yapılan bu çalışma sonucunda düşük oranlarda (% 2) B<sub>4</sub>C içeren bakır esaslı kompozit yatak malzemesinin dökülmüş durumdaki bronz malzemelere alternatif bir malzeme olabileceği belirlendi.

## 6. ÖNERİLER

1.) Farklı presleme basınçları ve sinterleme sürelerinde kompozit malzemeler üretilerek bu parametrelerin sertlik, porozite ve aşınma dayanımına etkisi incelenebilir.

2.) Söz konusu numunelerin sürtünme katsayıları belirlenebilir.

3.) Daha düşük veya daha yüksek toz boyutunun tribolojik davranışa etkisi araştırılabilir.

4.) Grafit,  $\text{MoS}_2$  (molibdendisülfid) ve hekzagonal  $\text{B}_4\text{N}$  (bor nitrür) gibi katı yağlayıcılar  $\text{B}_4\text{C}$  ile birlikte matrise katılarak söz konusu bu malzemelerin aşınma performansına etkisi incelenebilir.

## 7. KAYNAKLAR

1. T.C Milli Eğitim Bakanlığı, Yataklar, Makine Teknolojisi. Mesleki Eğitim ve Öğretimi Sistemini Güçlendirme Projesi, Ankara, 2006.
2. <http://web.itu.edu.tr/temizv/VTDN/Kaymalı%20yatak.pdf>13 Ocak 2013
3. <http://kisi.deu.edu.tr//melih.belevi/Kaymal%C4%B1%20Yataklar.pdf>15 Ocak 2013.
4. Shigley J.E.,Mechanical Engineering Design (First Metric Edition), McGraw-Hill Book Company, 1986.
5. Cerit, A. M. Üretim ve Tasarım, Makine Mühendisliği El Kitabı, TMMOB, Makine Mühendisleri Odası, 2. Baskı, Cilt 1, Yayın No:169, Ankara, 1994.
6. Koç, E. ve Yıldızlı, K., Hidrodinamik Radyal Kaymalı Yatak Performans Deneyi Föyü, Makine Mühendisliği Bölümü, On Dokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun, 2011.
7. Koç, E.ve Kurban, A. O.,Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 7, 1 (1991). 1064 – 1074.
8. Toptan, F. Alüminyum Matrisli B<sub>4</sub>C Takviyeli KompozitlerinDöküm Yöntemi İle Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2006.
9. Güleşen, M. Fiber Takviyeli Termoplastik Kompozit Malzeme Üretimi ve Mekanik Özelliklerinin Bulunması, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi,Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya, 2005.
10. <http://www.belgeler.com/blg/2d31/kompozit-malzemeler> 21 Şubat 2013
11. Tekmen, Ç. Metal Matrisli Kompozitleri Sıkıştırılmalı Döküm Yöntemi ile Üretilmesi, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2006.
12. <http://www.belgeler.com/blg/33hu/si-c-takviyeli-alminyum-matriksli-metal-kompozitler>14 Mart 2013
13. Ayas E., Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> TiC/TiCN Kompozit Malzemelerinin Üretim Yöntemleri, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Anadolu Üniversitesi, 2003.
14. Ünal, O. Yapı Malzemeleri Ders Notları

15. Mertgenç, E., Savurma Döküm Yöntemiyle Metal Matrisli Kompozit Malzeme Üretiminin Araştırılması, Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocatepe Üniversitesi, Afyon, 2004.
16. Kurt, A., Toz Metal Bronz Yatak Malzemelerinin Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, 1992.
17. Sarıtaş, S., Türker, M. ve Durlu, N., Toz Metalurjisi ve Parçacıklı Malzeme İşlemleri, Türk Toz Metalurjisi Derneği Yayınları: 05, Ankara, 2007.
18. Tekmen, Ç. Metal Matrisli Kompozitlerin Sıkıştırılmalı Döküm Yöntemiyle Üretimi, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 2006.
19. Kurt, A. O., Toz Üretim Yöntemleri ve Sinterleme Ders Notları, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 2010.
20. Alev, E., Otomobil Endüstrisinde Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretilen Parça Kullanımı ve Performansının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 2011.
21. <http://www.belgeler.com/blg/30gc/toz-metalurjsi> 14 Aralık 2012
22. <http://metalurji.kocaeli.edu.tr/files/DersNotlari/mmt423-02.pdf> 7 Temmuz 2012.
23. Karabaş, K., Bor Karbür Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 2006.
24. Aslan, F. ve Öztürk, S., Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Deney Föyü, Mühendislik Fakültesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 2009.
25. Varol, T., AA2024 Matrisli B<sub>4</sub>C Parçacıklı Takviyeli Metal Matrisli Kompozitlerin Toz Metalurjisi Yöntemi İle Üretimi ve Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 2012.
26. Uzun, H. A., Borlama İle Yüzeyleri Sertleştirilen Çeliklerin Aşınma ve Korozyona Karşı Dayanımları, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 2002.
27. Özer, M., Üç Farklı Çeliğe Katı Borlama İşleminin Yapılması ve Sertlik Üzerine Etkisinin İncelenmesi, Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, 2011.
28. Yılmaz, O., Gözenekli Malzemelerin Soğuma Eğrilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi, Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2006.



29. Gahr, H.Z.,K.,Micro structure and Metarials, Tribology Series 10, Instituty of MetarialsTechnology, Universty of Siegen, Germany, 1987.
30. Avner, S.H.,IntroductiontoPhysicalMetalurgy, Mcgraw – HillBookCompany, Ankara Üniversitesi Basım Evi, Ankara,1986.

## **ÖZGEÇMİŞ**

Cemal ÇELEBİ 1984 Kilis' te doğdu. 2003 yılında Kilis (Süper) Lisesinden mezun oldu. 2005 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği bölümünde lisans eğitimine başladı. 2009 yılında mezun oldu ve 2009 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans eğitimine başladı. İyi derecede İngilizce bilmektedir.