



**TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİYLE  
ÜRETİLEN Fe-B ALAŞIMLARININ AŞINMA VE  
KOROZYON DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

**Melih YILMAZ**

**2022  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı  
Prof. Dr. Dursun ÖZYÜREK**

**TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN Fe-B ALAŞIMLARININ  
AŞINMA VE KOROZYON DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

**Melih YILMAZ**

**T.C.  
Karabük Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı  
Prof. Dr. Dursun ÖZYÜREK**

**KARABÜK  
Kasım 2022**

Melih YILMAZ tarafından hazırlanan “TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN Fe-B ALAŞIMLARININ AŞINMA VE KOROZYON DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Dursun ÖZYÜREK

.....

Tez Danışmanı, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 17/11/2022

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Tansel TUNÇAY (KBÜ)

.....

Üye : Prof. Dr. Dursun ÖZYÜREK (KBÜ)

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Bekir YAVUZER (BU)

.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Doç. Dr. Müslüm KUZU

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

*“Bu tezdeki kullanılan tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*

Melih YILMAZ

## ÖZET

**Yüksek Lisans Tezi**

### **TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİYLE OLUŞTURULAN Fe-B ALAŞIMLARININ AŞINMA VE KOROZYON DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

**Melih YILMAZ**

**Karabük Üniversitesi**

**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

**İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Prof. Dr. Dursun ÖZYÜREK**

**Kasım 2022, 44 sayfa**

Bu çalışmada, bir toz metalurjisi yöntemi olan mekanik alaşımlama ile üretilen Fe-B alaşımlarının korozyon ve aşınma davranışları incelenmiştir. Elementel tozlar kullanılarak üretilen Fe-B alaşımlarının yapısında oluşturulan Fe-B ve Fe<sub>2</sub>B tozlarının alaşımların mikroyapısındaki etkileri SEM, EDS, XRD, yoğunluk ve sertlik ölçümleri yapılarak incelenmiştir. Mekanik alaşımlanan tozlar sıcak (350 °C de 20 dk.) preslenerek (500 MPa) şekillendirilmiştir. Sinterleme işlemi 10<sup>-6</sup> milibar vakum altında 1200°C de 1 saat olarak yapılmıştır. Elektrokimyasal korozyon testinde 3,5 g/l NaCl solüsyon kullanılmıştır. Üretilen Fe-B alaşımlarının korozyon davranışları total ekstropolasyon ve elektrokimyasal empedans spektroskopisi yöntemleri yardımıyla alaşımların korozyon davranışları incelenmiştir. Aşınma testlerinde standart pin-on disk tipi aşınma cihazı kullanılmıştır. Aşınma testlerinde 15N- 30 N farklı yük, her biri 500 m olan 4 farklı mesafede kayma hızı kullanılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda SEM-EDS analizlerine göre mikroyapı

incelemelerinde Fe<sub>2</sub>B alaşımlarının tane sınırlarının ve tane boyutlarının Fe-B alaşımlarına göre daha belirgin olduğu görülmüştür. XRD analizlerine göre yapıda Fe-B ve Fe<sub>2</sub>B (44,45) fazların meydana geldiği belirlenmiştir. Sertlik incelemelerinde Fe<sub>2</sub>B alaşımlarının Fe-B alaşımlarına göre daha sert yapıda olduğu belirlenmiştir. Yoğunluk lm sonuçlarında Fe<sub>2</sub>B alaşımlarının Fe-B alaşımlarına göre yoğunluğunun yüksek olduğu belirlenmiştir. Yapılan aşınma test analizlerinde ktlice daha fazla Fe içeren Fe-B (%0,5- %1,5 B ilaveli) alaşımlarının ktlice kayıplarının daha az olduğu belirlenmiştir. Yapılan korozyon testlerinde elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS) verilerine göre; korozyon dayanımı en yüksek %1,5 B ilaveli Fe-B alaşımlarında, en düşük korozyon dayanımının %0,5 B ilaveli Fe-B alaşımlarında elde edilmiştir.

**Anahtar Sözcükler :** Toz metalurjisi, demir, bor, alaşım, mikroyapı, aşınma, korozyon.

**Bilim Kodu** : 91514

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **INVESTIGATION OF THE WEAR AND CORROSION BEHAVIOR OF Fe-B ALLOYS MADE BY POWDER METALLURGY**

**Melih YILMAZ**

**Karabük University  
Institute of Graduate Programs  
Department of Manufacturing Engineer**

**Thesis Advisor:**

**Prof. Dr. Dursun ÖZYÜREK**

**November 2022, 44 pages**

In this study, corrosion and wear behavior of Fe-B alloys produced by mechanical alloying, a powder metallurgy method, were investigated. The effects of Fe-B and Fe<sub>2</sub>B powders formed in the structure of Fe-B alloys produced using elemental powders on the microstructure of the alloys were investigated by making SEM, EDS, XRD, density and hardness measurements. Mechanically alloyed powders were shaped by pressing (500 MPa) hot (20 min at 350 °C). The sintering process was carried out under a vacuum of 10<sup>-6</sup> millibars at 1200°C for 1 hour. 3.5 g/l NaCl solution was used in the electrochemical corrosion test. Corrosion behaviors of the produced Fe-B alloys were investigated with the help of total extrapolation and electrochemical impedance spectroscopy methods. A standard pin-on disc type wear device was used in the wear tests. In the wear tests, different loads of 15N-30N and sliding speed at 4 different distances, each of which is 500 m, were used. As a result of the studies, it was observed that the grain boundaries and grain sizes of Fe<sub>2</sub>B alloys were more distinct than Fe-B alloys in microstructure examinations according

to SEM-EDS analyzes. According to XRD analysis, it was determined that Fe-B and Fe<sub>2</sub>B (44,45) phases occurred in the structure. In the hardness examinations, it was determined that Fe<sub>2</sub>B alloys were in a harder structure than Fe-B alloys. In the density measurement results, it was determined that the density of Fe<sub>2</sub>B alloys was higher than Fe-B alloys. In the wear test analysis, it was determined that Fe-B alloys containing more Fe by mass (with 0.5% - 1.5% B added) had less mass losses. According to the electrochemical impedance spectroscopy (EIS) data in the corrosion tests; The highest corrosion resistance was obtained in Fe-B alloys with 1.5% B addition, and the lowest corrosion resistance was obtained in Fe-B alloys with 0.5% B addition.

**Key Word** : Powder Metallurgy, iron, bor, alloy, microstructure, wear, corrosion.

**Science Code** : 91514



## TEŞEKKÜR

Yaptığım alıŐma boyunca bilgi ve tecrübeleri ile bana destek olan, bilgi ve birikimleriyle yaptığım çalıŐmamı bilimsel temellere dayanarak Őekillendiren danıŐman hocam sayın Prof. Dr. Dursun ÖZYÜREK'e sonsuz teŐekkürlerimi sunarım. Yaptığım alıŐma boyunca her zaman yardımcı olan hocam sayın Doç. Dr. Tansel TUNÇAY, ArŐ. Gör. Talha SUNAR ve ArŐ. Gör. Öznur DİNÇEL'e teşekkür ederim.

Sevgili eŐime ve aileme desteklerinden ve hep yanımda olduklarından dolayı teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiv
BÖLÜM 1.....	1
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.....	3
TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİ.....	3
2.1. ATOMİZASYON YÖNTEMİ.....	4
2.2. ELEKTROLİZ YÖNTEMİ.....	5
2.3. KİMYASAL İNDİRGEME YÖNTEMİ.....	6
2.4. MEKANİK ALAŞIMLAMA/ÖĞÜTME YÖNTEMİ.....	7
BÖLÜM 3.....	9
3.1. BOR ELEMENTİ (B).....	9
3.1.1. B Minerallerinden Üretilen Ürünler.....	11
3.1.1.1. Borik Asit.....	11
3.1.1.2. Boraks Pentahidrat.....	11
3.1.1.3. Boraks Dekahidrat.....	11
3.1.1.4. Susuz Boraks.....	12
3.1.2. Diğer Bor Bileşikleri.....	12
3.1.2.1. Boridler.....	12

	<b><u>Sayfa</u></b>
3.1.2.2. Bor Nitrür.....	12
3.2. DEMİR ELEMENTİ.....	13
3.2.1. Kimyasal Özellikler.....	14
3.2.2. Fiziksel Özellikler.....	15
3.3. DEMİR-BOR DENGİ DİYAGRAMI.....	15
3.4. TOZLARIN ŞEKLİ.....	17
3.5. TEORİK VE GÖRÜNÜR YOĞUNLUK.....	17
3.6. TOZLARIN KARIŞTIRILMASI.....	18
3.7. YAĞLAYICILAR.....	18
3.8. METAL TOZLARININ SIKIŞTIRILMASI.....	19
3.9. SİNERLEME.....	20
3.10. T/M MALZEMELERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ.....	22
3.11. TOZ METALURJİSİ UYGULAMA ALANLARI.....	22
3.12. AŞINMA.....	23
3.13. KOROZYON.....	24
BÖLÜM 4.....	26
MALZEME VE METOT.....	26
4.1. FEB TOZLARIN HAZIRLANMASI, ALAŞIMLANMASI VE ÖN ŞEKİLLENDİRİLMESİ.....	26
4.2. SİNERLEME İŞLEMİ.....	28
4.3. METALOGRAFİK İŞLEMLER VE KARAKTERİZASYON.....	29
4.4. SERTLİK VE YOĞUNLUK.....	30
4.5. AŞINMA TESTİ.....	30
4.5. KOROZYON TESTİ.....	30
BÖLÜM 5.....	31
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR.....	31
5.1. FE-B ALAŞIMLARI MİKROYAPISAL İNCELEMELERİ.....	31
5.2. SERTLİK VE YOĞUNLUK ÖLÇÜMLERİ.....	33
5.3. AŞINMA TEST SONUÇLARI.....	35

	<b><u>Sayfa</u></b>
5.4. KOROZYON TEST SONUÇLARI .....	38
BÖLÜM 6 .....	39
SONUÇ VE ÖNERİLER .....	39
KAYNAKLAR .....	41
ÖZGEÇMİŞ .....	44

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2.1. Toz metalurjisi ile dişli çark üretimi şematik görsel.....	3
Şekil 2.2. Gaz atomizasyonu ile toz üretimi .....	4
Şekil 2.3. Elektroliz ile toz üretim aşama şeması.....	4
Şekil 2.4. Cevherden toz üretim aşamaları ve kimyasal yöntemler .....	5
Şekil 2.5. Demir Tozu kimyasal indirgeme yöntemiyle üretimi .....	6
Şekil 2.6. Mekanik Alaşımlama esnasında bilya-toz-bilyaetkileşimi gösterimi .....	7
Şekil 2.7. Mekanik alaşımlama esnasında tozlar arasındaki etkileşim ve deformasyonlar .....	7
Şekil 3.1. 1. Bölüm de anlatılan B moleküler görünüşleri .....	9
Şekil 3.2. Fe-B denge diyagramı.....	15
Şekil 3.3. Toz Metalurjisi Kullanım Alanları.....	16
Şekil 3.4. Tek eksenli preslemeyle ham parça üretim aşamaları .....	18
Şekil 3.5. Yoğunluğa bağlı Sinterleme süresi değişimi .....	20
Şekil 3.6. Sinterleme işlemi aşamaları .....	21
Şekil 4.1. Fritsch Pulversisette planeter tipi öğütme/alaşımlama cihazı.....	27
Şekil 4.2. Çelik sıkıştırma kalıbı.....	28
Şekil 4.3. Çalışmada kullanılan 50 Tonluk pres. ....	28
Şekil 4.4. Çalışmada kullanılan ısıtma işlemi (sinterleme) fırını.....	29
Şekil 4.5. Korozyon ünitesi.....	31
Şekil 5.1. TM ile üretilen Fe-B alaşımları SEM görüntüleri, %0,5 B (a ve b) ve %1,5 B (c ve d). ....	32
Şekil 5.2. Fe-B alaşımları EDS analizi SEM görüntüleri %0,5 B (a) ve %1,5 B (b).....	33
Şekil 5.3. Üretilen Fe-B alaşımlarının XRD sonuçları. ....	33
Şekil 5.4. Üretilen Fe-B alaşımlarının mikrosertlik sonuçları. ....	34
Şekil 5.5. Üretilen Fe-B alaşımlarının yoğunluk sonuçları.....	34
Şekil 5.6. Aşınma testlerinde meydana gelen ağırlık kayıpları, 15 N (a), 30N (b)....	35
Şekil 5.7. Aşınma testlerinde meydana gelen sürtünme katsayıları, 15 N (a), 30N (b).....	35
Şekil 5.8. %0,5 B Fe-B alaşımı 30 N yük sonrasında SEM görüntüsü.....	36

**Sayfa**

Şekil 5.9. %1,5 B Fe-B alaşımı 30 N yük sonrasında SEM görüntüsü.....	36
Şekil 5.10. Fe-B alaşımları aşınma sonrası SEM görüntüleri %0,5 B (a) ve %1,5 B (b). .....	37
Şekil 5.11. Üretilen Fe-B Alaşımlarının Korozyon Testi Veri Grafiği.....	38

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1. B elementi genel özellik gösterimi .	10
Çizelge 3.2. Demir elementinin genel başlıca özellikleri	13
Çizelge 3.3. Demir borürlerin özellikleri	16
Çizelge 4.1. Hazırlanan Fe-B alaşımları miktarları.	26
Çizelge 5.1. Fe-B alaşımları EDS analizi sonuçları.	32
Çizelge 5.2. Fe-B alaşımları EDS analizi sonuçları.	37

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

Fe	: demir
B	: bor
FeB	: demir borür
Fe <sub>2</sub> B	: demir di-borür
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	: borik asit
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	: bor oksit
H <sub>2</sub> O	: su
B(OH) <sub>4</sub> <sup>-</sup>	: tetrahidroksborat
BCl <sub>3</sub>	: bor triklorür
BF <sub>3</sub>	: bor triflorür
HCl	: hidroklorik asit
BBr <sub>3</sub>	: bor tribromid
Ar	: argon
C	: karbon
O	: oksijen

### KISALTMALAR

AISI	: AmericanIronAnd Steel Institute (Amerikan Demir Çelik Enstitüsü)
EDS	: Enerji Dağılımlı X Işınları Spektroskopisi
MAP	: Mapping (Haritalama)
SEM	: ScanningElectronMicroscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)
TM	: Toz Metalurjisi
XRD	: X-Işınları Difraktometresi
MAX	: Maksimum
MİN	: Minimum



## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Toz metalurjisi (TM), metal veya seramik toz parçacıkların üretimi ve toz parçacıklarını preslenerek sinterlemesi ile parça haline getirilmesi işlemidir. Toz metalurjisi yöntemiyle üretilen parçalar endüstriyel alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Toz metalürjisi yöntemi sıvı fazda hiçbir şekilde çözünemeyen elementlerin mekanik alaşımlama ile istenilen bileşimlerin üretimine olanak sağlamaktadır. Ayrıca bu yöntem, genellikle her çeşit metal ve alaşımlarının üretiminde kullanılabilir. Geleneksel ergitme yöntemiyle alaşımlandırılması zor olan paslanmaz çelikler, yüksek hız çelikleri, bor, titanyum, demir esaslı malzemeler, refrakter malzemeler ve sert madenler gibi malzemelerin üretimi mümkündür. Bu yöntemle üretilen parçaların özelliklerinin belirlenmesinde üretim yönteminin ve üretilen tozların parçacık şekli ve boyutunun önemi büyüktür. Son yıllarda özellikle otomotiv endüstrisinde kullanılan parçaların büyük bir bölümünün üretiminde bu yöntemden faydalanılmaktadır. TM ile parça üretiminde; toz tanelerinin üretim yöntemi, toz şekli, toz boyutu, bileşimi, presleme de kullanılan yağlayıcı tipi, presleme basıncı, sinterleme sıcaklığı ve sinterleme süresi gibi çok sayıda değişken söz konusudur. Toz metalurjisi yöntemi ile üretilen Fe-B alaşımlarının üretimlerinde son zamanlarda kullanılmaya başlanmıştır. Fe-B alaşımlarının toz metalurjisi yöntemiyle üretimi aşamalarında B elementinin oldukça sert bir yapıya sahip olması sebebi ile yüzde olarak düşük oranlarda kullanılması öngörülen bir durumdur. Bunun nedeni ise, yapıda oluşturulan dayanıklı Fe-B ve Fe<sub>2</sub>B fazlarıdır. Demir elementi karbon elementi ile birlikte 1420–1470 K ısıya ulaştığında oluşan sıvı eriyik yapıda %96,5 demir ve %3,5 karbon elementi içeren bir alaşımdır ve bu alaşıma dökme demir veya pik denir. Üretilen ürün şekil verme açısından ne kadar iyi olsa bile içeriğindeki karbon oranı düşürülmediği takdirde kırılğan yapıya sahiptir. Bor(B) elementi, periyodik sistemde üçüncü grubunun başında yer almaktadır. “Atom sayısı 5 ve atom ağırlığı 10.82, özgül ağırlığı ise 2.84,

Ergime noktası da 2300°C' dir. Kendi grubunun tek nonmetalik elementi olan borun üç tane dış bulunmaktadır ve Si ile benzerlik göstermektedir. B doğada iki farklı hal de bulunur. İlk olarak parlak ve siyah renkli kristal yapıdadır. Henüz bu kristal yapının nasıl olduğu tespit edilememiştir. Varsayımlara ve araştırmalara göre birbirine kenetlenmiş üç boyutlu B atomlarından meydana gelmiştir. İkinci olarak şekilsiz sarı veya yeşilimsi tonda bir tozdur.

B doğada amorf ve kristal olan farklı iki şekilde bulunmaktadır. Bu kristalik bor ortorombik (Fe-B) ve hacim merkezli tetragonal (Fe<sub>2</sub>B) sistemler de kristalleşir. (Sinha, 1991). Bor minerali birçok alanda kullanılmaktadır. Bu alanlara örnek olarak; cam sanayi, seramik sanayi, askeri-zırhlı araçlar ve metalurji sanayinde enerji sektöründe kullanılmaktadır.

Makina parçalarının ve mekanizmaların ömrü ve güvenilirliği yüzey özellikleri ile doğrudan ilişkilidir. Korozyon, aşınma ve yorulma kırılmasının oluşumu yüzeyden baslar. Aşınma dayanımı ve sürtünme katsayısı bir sistem özelliği olmakla beraber malzeme sertliği ile doğrudan ilgilidir. Borlanmış tabakanın aşınma dayanımı, tabakanın tek veya çift fazlı oluşumuna ve oluşum biçimine bağlıdır. En az aşınma Fe<sub>2</sub>B fazında, en fazla aşınma ise daha sert olan Fe-B fazında olmaktadır. Çünkü daha sert olan Fe-B fazı, Fe<sub>2</sub>B fazından daha gevrekler. (Sizov, I. G. , 2001).

## BÖLÜM 2

### TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİ

Toz Metalurjisi günümüz teknolojisine uygun malzemelerin üretimi için oldukça uygundur. Genel olarak daha küçük yapılı parçacıkların üretiminde kullanılmaktadır. Diğer üretim yöntemlerine nazaran parçaların daha kolay ve yüzeylerinin daha pürüzsüz olarak üretildiği bir yöntemdir.

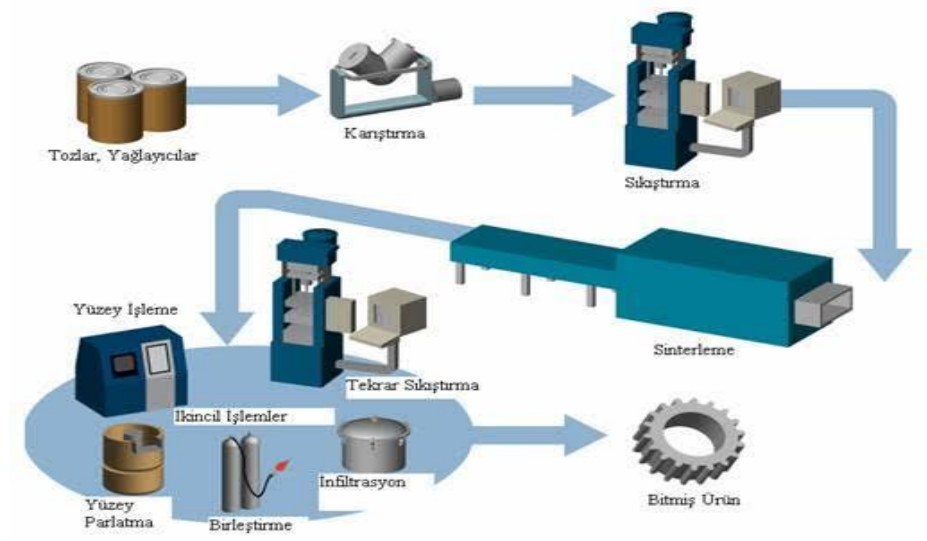
Üretim mühendisliğinde daha çok kullanılan üretim yöntemlerine nazaran seri üretim kolaylığı olan yöntemlerin kullanımı önemlidir. Genellikle otomotiv yan sanayi parça imalatında, çeşitli motor ve mekanik aksamların imalatında TM yöntemi ile üretilen parçalar hem fiziksel hem mekanik açıdan daha düzgün yapıya sahiptir (Lawley,1978)

Bu yönteminin avantajları;

1. Çok düşük maliyet
2. Seri üretim kolaylığı
3. Çok daha düzgün yüzey
4. Üretimi zor parçaların imalatı
5. Ergime sıcaklığı yüksek metallerin alaşım üretimi
6. Yoğunluğu yüksek parça üretimidir.

Toz metalurjisinin uygulama alanları oldukça fazladır. Otomotiv endüstrisinde büyük bir çoğunluk ile yan sanayi ve yedek parça üretiminde kullanılmaktadır. Çarklar, bilyalar, fren balataları, tungsten malzemeler, makine ve motor parçaları gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Bu malzemelerin yanı sıra patlayıcılar, egzoz katalizörleri bazı levhalar, metal tozlu boyalar vb. gibi alanlarda kullanılmaktadır. (Kurt,2004).

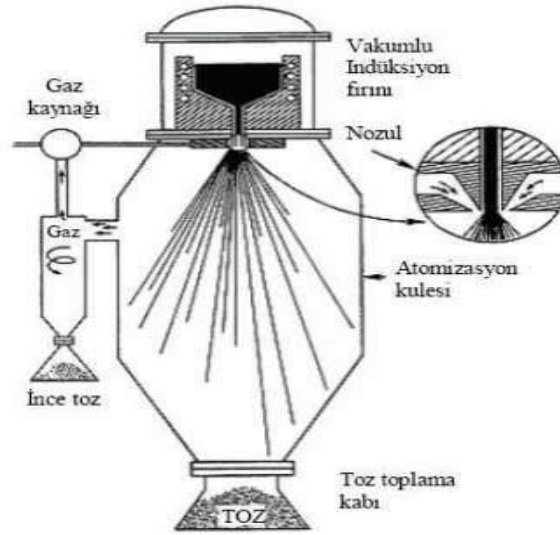
Şekil 2.1’de Toz metalurjisi ile dişli çark üretimi ile ilgili şematik görsel verilmektedir.



Şekil 2.1. Toz metalurjisi ile dişli çark üretimi şematik gösterimi (Ünal ,2006).

## 2.1. ATOMİZASYON YÖNTEMİ

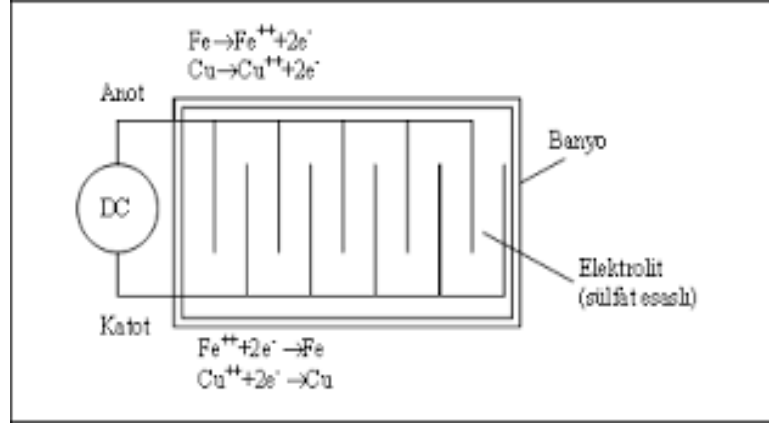
Atomizasyon, sıvı halde olan ergimiş metalin su veya gaz ile soğutularak toz haline getirilmesi işlemidir. Bu yöntemle ön alaşımli basınçlı tozlar çok daha kolay üretilebilir. Birçok alaşımın üretiminde kullanılabilir. Ayrıca alaşım içeriğinde yer alan metallerin ve kimyasal bileşimleri de kontrol edilebilmektedir. Genellikle su ve gaz atomizasyonu olarak ikiye ayrılmaktadır. Şekil 2.2 ‘de gaz atomizasyon ile toz üretimi verilmektedir.



Şekil 2.2. Gaz atomizasyonu ile toz üretimi (Ünal, 2006).

## 2.2. ELEKTROLİZ YÖNTEMİ

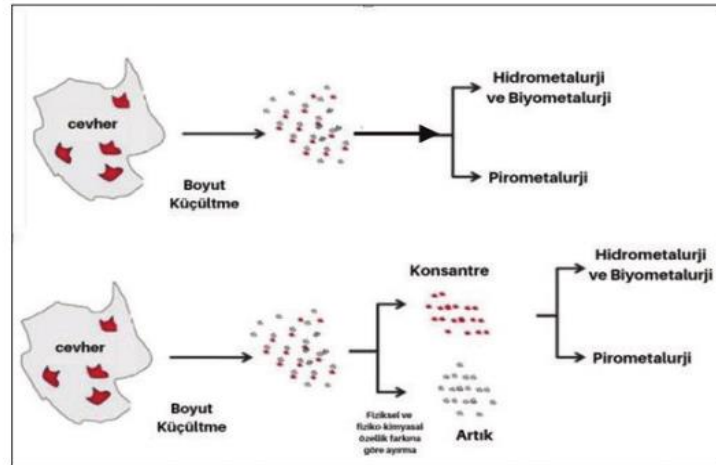
Ortam sıcaklığı, metal bileşimi, çözelti konsantrasyonu, metaller arasındaki akış vb. şartlarla metalik yapı veya toz tanecik yapısında katot kutupta depolayabilir. Elde edilen ürün sırasıyla yıkama – kurutma- redüklenme- tavlama işlemleri ile yapılmaktadır. Şayet istenen ürün oluşmaz ise, öğütme yapılabilir. Üretilen tozlar kırılabilir bir yapıya sahiptir. Kırılabilir yapı da olması sebebiyle öğütme işlemine de başvurulabilir. Demir de elektroliz ile üretilebilir ve bu yöntemle kıyasla diğer yöntemlerin maliyetlerinin daha düşük olması sebebiyle tercih edilmemektedir. Üretilen tozların saflığı yüksektir. Yöntemin üretim aşamaları şematik olarak Şekil 2.3'te gösterilmiştir (İncekara, 2008).



Şekil 2.3. Elektroliz ile toz üretim aşama şeması (Kuşoğlu , 2005).

### 2.3. KİMYASAL İNDİRGEME YÖNTEMİ

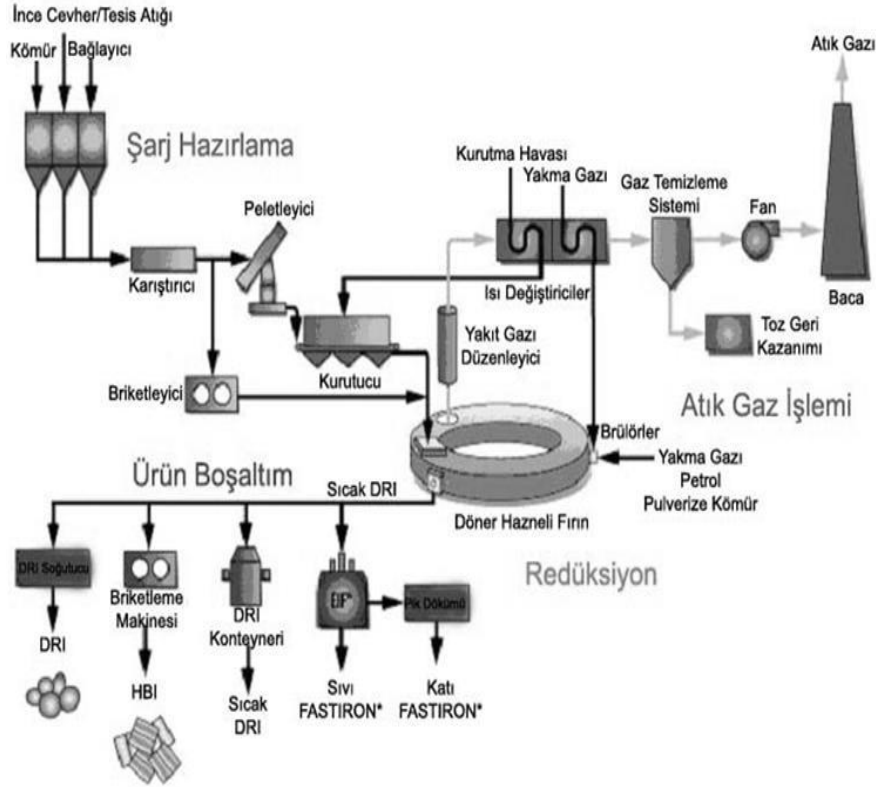
Metallerin cevher üretiminde çeşitli koruma ve daha zengin olması için uygulanır. Bu yüzden, fiziksel yöntemler yetersiz kalmaktadır ve kimyasal yöntemlerle üretilmektedir. Genellikle ana metaller, oksitlerin işlenmesiyle üretilir. (Örnek olarak verilirse Fe, Cr, Mn, Sn vb. metaller). Şekil 2.4’de cevherden toz üretimi ve kimyasal yöntemler şematik olarak verilmektedir.



Şekil 2.4. Cevherden toz üretim aşamaları ve kimyasal yöntemler (Bulut , 2020).

Demir tozlarının en çok yaygın üretimi kimyasal indirgeme yöntemi ile yapılmaktadır. Kimyasal indirgeme yöntemi ile alınan ham cevher öğütüldükten sonra sırasıyla kok ile karıştırılır oluşan karışım bu yöntemin olduğu sürekli olan

fırın içerisinde geçirilir ve süngerimsi demir üretilir. Oluşan sünger demir öğütme işlemi sonrası diğer metal olmayan malzemeler ile ayrıldıktan sonra elekten geçirilerek toz elde edilir. Demir tozları üretilirken sünger demir çeşitli kimyasal tepkimelerden geçirilerek kok ve kireç taşı kullanılarak karışım yapıldıktan sonra seramik kaplara doldurma işlemi yapılır. Şekil 2.5’de şematik olarak kimyasal indirgeme yöntemi ile üretim aşamaları verilmektedir.

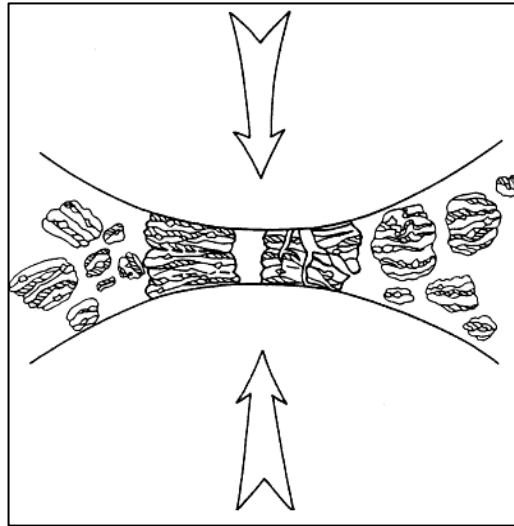


Şekil 2.5. Demir Tozu kimyasal indirgeme yöntemiyle üretimi (McClelland, J , 2002).

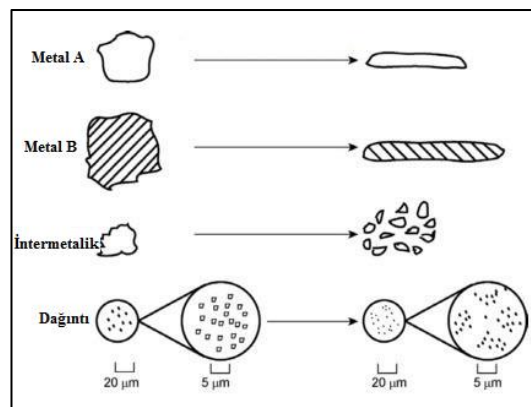
## 2.4. MEKANİK ALAŞIMLAMA/ÖĞÜTME YÖNTEMİ

MA yani mekanik alaşımlama yöntemi, tozların katı halde iken öğütülerek soğuk bir şekilde kaynaklanması ile sertleşerek kırılmasında kullanılan bir yöntemdir. MA, alaşımlanan tozların kırılması ve karıştırılması ile farklı elementel tozların alaşımlanması işlemidir (Newkirk, 2004, Özyürek, 2002, Suryanarayana, 2001).

Yüksek enerjili öğütme işlemi yapılırken, toz taneciklerinde ezilmeler, soğuk şekilde kaynaklanma, yüksek hız ve döndürme devrinde kırılmalar da meydana gelmekte ve bu işlem sırasında toz taneciklerinde deformasyon oluşmaktadır. Oluşan bu deformasyona işlem öncesi tozlar-hücre-bilya, tozlar-bilya-hücre arasındaki çarpışmalar neden olmaktadır (Suryanarayana, 2001). Şekil 2.6'da Mekanik alaşımlama yöntemi esnasında bilya-toz-bilya etkileşimi ve Şekil 2.7'de MA esnasında tozlarda oluşan deformasyona uğradığı görülmektedir.



Şekil 2.6. Mekanik Alaşımlama esnasında bilya-toz-bilya etkileşimi gösterimi (Suryanarayana, 2001).



Şekil 2.7. Mekanik alaşımlama esnasında tozlar arasındaki etkileşim ve deformasyonlar (Suryanarayana ve Al-aqeli, 2013).



## BÖLÜM 3

### BOR VE DEMİR ELEMENTLERİ

#### 3.1. BOR ELEMENTİ (B)

B elementi yeryüzünde borat ve borosilikat halinde bulunmaktadır. Konsantrasyonu yaklaşık olarak 3 ppm değerindedir. Periyodik cetvelde yer aldığı grupta metal olmayan tek elementtir ve sembolik olarak “B” ile gösterilir. B elementi yeryüzünde oksit halinde bulunmaktadır. Bor elementinin atom ağırlığı 10,81, atom numarası 5, ergime noktası yaklaşık 2300°C ve özgül ağırlığı 2.30-2.46 g/cm<sup>3</sup> dür . Genellikle rengi koyu kahverengidir. Daha kristal ve sert yapılı olan B doğa da sarımsı-kahverengi şeklinde bulunmaktadır. Oldukça sert yapı da olan B elementi elmadan sonra en sert elementlerden biridir (Smith A.R., 1995; Baudis ve Fichte, 1995).

Son yıllardaki araştırmalarda B elementi çok fazla ilgi görmektedir. Araştırmalara göre B elementinin moleküler sentez ile yakıt sentezi için daha küçük moleküllerde aktive edilmesi, hidrojen gibi oldukça önem arz eden uygulama alanlarında kullanılmaktadır. Bor birçok alanda kullanıma uygun olduğu için çeşitliliği çok fazladır ve ayrıca yapı olarak elektronik yapıda olması kendine has özellikleri ile çok daha yakından bağlantılıdır.

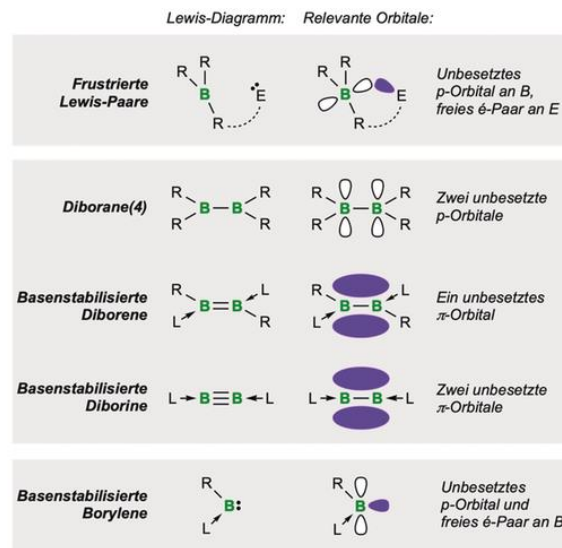
B esnek yapıya müsait olması ve daha özel ayarlanabilen uygulamalar için özellikleri sayesinde çeşitlilik imkânı sağlamaktadır. Hidrojen elementi ile birleşerek çok daha yüksek hidrojen içerikli boran ve anyon oluşumuna olanak sağlamaktadır. Bu özelliği sayesinde yüksek hidrojenli yapılarda kullanılması uygulama alanlarını genişletmektedir.

Bor elementinin doğada bulunan şekliyle borat ve anyonları elektrokimyasal cihazlar için önemlidir. Bunun sebepleri ise simetrik ve hacimli olmasına rağmen, düşük katyonlara sahip olmalarıdır (Huang, 2019). Bor yapısal özellikleri bakımından ve doğada bulunma özelliği açısından oldukça değerli bir elementtir. B sertlik yönünden bileşiklerine değer kazandırır. Aşınma ve korozyona etkisi Fe ile beraber oldukça fazladır.

Çizelge 3.1’de Bor elementinin genel özellikleri ve Şekil 3.1’de bor moleküllerinin görüntüsü verilmektedir.

Çizelge 3.1. B elementi genel özellik gösterimi (Komisyon, 2003).

BOR ELEMENTİ	
Atomik Kütle	2,84 g/cm <sup>3</sup>
Elektronegatiflik	2.04
Elektriksel İletkenlik	1,0E - 12 106/cm
Spesifik Isı	1,02 J/gK
Yoğunluk	2,84 g/cm <sup>3</sup>
Sertlik	Vickers:49000 MN m <sup>-2</sup>
Kaynama noktası	2550 °C
Atomik Kütle	10,811



Şekil 3.1. 1. Bölüm de anlatılan B moleküler görünüşleri (Huang, 2019).

Günümüzde kullanım alanları bakımından B minerali ve üretilen ürünlerinin çeşitliliği, sertliği, yapısal özellikleri ile kullanılmaktadır. Başlıca kullanım alanları ise;

1. Seramik
2. Deterjan
3. Cam
4. Kimya sanayisi
5. Tarım
6. Hidrolik sistemlerdir.

### **3.1.1. B Minerallerinden Üretilen Ürünler**

Bor ürünleri oldukça geniş bir yelpaze de incelenebilir. Bu ürünlerden bazıları borik asit, boraks pentahidrat, boraks dekahidrat ve susuz borakstır.

#### **3.1.1.1. Borik Asit**

Sülfürik aside muadil olarak üretimi olan borik asit, aynı zamanda borasis asit, bir çok tarım ilacında, koku giderici malzemelerde susa çözünebilir organik olmayan bir asittir. Geliştiricisi ve aynı zamanda bulan kişi Wilhelm Hombergd tir.

#### **3.1.1.2. Boraks Pentahidrat**

Genel özelliklerinde molekül ağırlık olarak 292 g/mol, ısınım ısı katsayısı 0,317 kcal g/°C, üretim ısı değeri 1144 kcal/mol ile özgül ağırlık olarak 1,90 g/cm<sup>3</sup> bilinen boraks pentahidrat, mineral adı olarak datinkalkonit diye adlandırılır. 60 °C'ın üzerinde çözümlenip kristalleşerek oluşmaktadır (Patnaik, 2002).

#### **3.1.1.3. Boraks Dekahidrat**

Boraks dehidrat doğa da tinkal minerali olarak bulunmakla birlikte alkali metal boratların en önemlisidir. Genel özellikleri molekül ağırlığı olarak 381,4 gr/mol,

özgül ağırlık olarak 1,71 (20°C), özgül ısı 0,385 kcal/gr/°C (25-50°C), oluşma ısı derecesi -1497,2 kcal/mol 'dür. Aslında bu mineral tuz olarak da bulunabilir. PH derecesi yüksek olan bu mineral bazik özelliktedir. Kaynama noktası 105°C'dir(Ediz, 2001).

#### **3.1.1.4. Susuz Boraks**

600-700 °C sıcaklık seviyesinde hidratların kimyasal tepkimeleri sonucunda üretimi yapılabilmektedir. Ergime sıcaklığı oldukça yüksektir. Doğada bulunan adıyla Disodyumtetraborat ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ) oldukça sert bir yapıdadır. Genellikle kristal yapıya sahiptir. Genel özellikleri açısından kristal yapılı, ergime sıcaklığı 741 °C, özgül ağırlık 2,5, moleküler ağırlığı 202,3 g/mol ile oluşma ısı 784 kcal/mol olarak bilinmektedir (Patnaik, 2002).

#### **3.1.2. Diğer Bor Bileşikleri**

##### **3.1.2.1. Boridler**

Metal bileşiklerinin B ile kimyasal reaksiyonundan meydana gelmektedir. Genel özellikleri itibari ile yüksek sertlik, yüksek ergime sıcaklığına sahiptir ve oldukça kuvvetli oksidasyona sahiptirler. Üretimi B elementi ile metal oksitlerden Mg,Al, C kimyasal indirgenmesiyle meydana gelmektedir. Korozyona karşı oldukça dirençli olan malzemelerin yapımından kullanılmakla birlikte üretimi zor olan ve geniş hacimli olan birçok malzeme yapımında kullanılmaktadır (Patnaik, 2002).

##### **3.1.2.2. Bor Nitür**

Sağlam ve oldukça iyi bir yapı da olan bor nitür elektrik izolatör kısımlarında kullanılmaktadır. Yoğunluğu 2,27 g/cm<sup>3</sup> dür. Yapı olarak hegzagonaldır. Sertlik derecesi çok yüksek olan bor nitrit, kübik yapılıdır. Bornitrit oldukça iyi bir aşındırıcıdır. Bununla beraber bor nitür de sert bir mineral olduğu için özellikle çok sert alaşımlarda kullanıma uygundur (Patnaik, 2002).

### 3.2. DEMİR ELEMENTİ

TM yöntemiyle üretimi yapılan demir tozları bilinen en eski tozdur. Tarihsel olarak ilk toz üretimi Höganäs firması tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu yapılan toz üretimi endüstriyel olarak kullanılır. Saflık derecesi ve incelik açısından demir tozları birçok alanda kullanılmaktadır. Kaplama ürünleri, kaynak ürünleri, kimyasal polimer filtre üretimleri ile sinterleme işlemi yapılmış malzemelerin üretimi safhasında kullanılmaktadır. Bu kullanım sebeplerinde Fe genel özelliklerinin uygulama alanlarının neredeyse her bölümünde var olmaktadır. Yoğunluğunun yüksek olması, ergime sıcaklığının yüksek olması, iletken yapıda olması önemli etkenlerdendir. Ayrıca sert malzemelerin üretimlerinde kullanılmaktadır. Aşınma ve korozyon incelemelerinde özellikle B elementi ile oldukça uyum sağlamaktadır. (Höganäs Handbook, 2013). Çizelge 3.2.'de Demirin genel özellikleri verilmektedir.

Çizelge 3.2. Demir elementinin genel başlıca özellikleri (Höganäs Handbook, 2013).

<b>Fe ELEMENTİ</b>	
<b>Yoğunluk</b>	7,86 g/cm <sup>3</sup>
<b>Erime Noktası</b>	1535 °C
<b>Elektriksel İletkenlik</b>	0,0993x10 <sup>6</sup> /cm ohm
<b>Termal İletkenlik</b>	0,802 W/cmK
<b>Elektronegatiflik</b>	1,83
<b>Özgül Isı</b>	0,44 J/gK
<b>Sertlik</b>	Mohs:4
<b>Manyetik Yapı</b>	Ferromanyetik yapı

Birçok alaşımın üretilmesinde demir tozları kullanılmaktadır. Fe tozu ile B tozunun karıştırılmasında yapısal niteliklerine göre 1200- 1400 °C sıcaklık aralıklarında 4-20 saat süren öğütme, presleme ve sinterleme işlemi uygulanmaktadır (Çalık & Özsoy, 2002).

TM işlemiyle üretilen birçok özelliklerinin uygulanan işlemlere göre farklılık göstermesiyle birlikte, üretilen parçaların özellikleri tane boyutu, presleme,

sinterleme sıcaklığı (veya ortam sıcaklığı) üretilen parça büyüklüğü, kalıp, kalıp çapı, yağlayıcı tipi gibi parametreler önemlidir. Bu önemli özelliklere göre toz miktarı yüzde olarak belirlenerek pres basıncı ve sinterleme sıcaklığı, alaşımın özelliğine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Dayanıklılığı yüksek işlem görmemiş tozlar sıkıştırılma işlemi sırasında birbirine homojen karışması, tozların işlem sırasındaki deformasyonu ile ilgilidir. Bu işlemlerin parça boyutuna bağlı olarak belirlenen miktarlardaki alaşım tozlar, bazı yağlayıcılar ilave edildikten sonra alaşımın özelliğine uygun basınç uygulanarak (genelde soğuk presleme) olarak üretilebilir. Fakat bazı tozların sertlikleri fazla olmasından dolayı soğuk presleme işlemiyle şekillendirilmeleri zordur. Tozların birbiriyle homojen bir şekilde karışması dayanıklılığı artırmaktadır (Tunay, 2002; Yılmaz, 2005).

Metal tozların nitelikleri, üretimin yöntemlerine göre belirlenir. Bu nedenle TM parçaların kullanım koşullarına farklı yöntemlerle üretilmiş alaşım tozları tercih edilmektedir. Örnek olarak; elektrolitik ve indirgenmiş bakır tozlarının bronz yataklarda kullanılması verilebilir. Genellikle uygulamalarda, farklı yöntemle üretilmiş belli özellikleri bulunan tozlar kullanılmalıdır. Bu metal tozların nitelikleri fiziksel ve kimyasal olarak iki başlıkta incelenmektedir (Kurt, 1992).

### **3.2.1. Kimyasal Özellikler**

Metal tozların bileşimi ve saflığı kimyasal özelliklerinden anlaşılmaktadır. Üretim sırasında tozların içine genellikle yabancı parçacıklar da karışmaktadır. Tozları yeteri kadar indirgenmemiş olması nedeniyle, oksit kalıntılarına rastlanabilir ve oksidasyon görülebilir. Bu tozların atmosferle temas etmesi neticesinde de oksitlenmeler oluşur. Bu tozların preslenme aşamasında Zr, Cr, Mg, Al, Sn, Pb gibi alaşımlarda kullanılan metallerin kararlı oksitlerinin kalarak düzgün yüzeylerde olumsuz bir etki oluşturmaktadır.

Metal ile tozların kimyasal özelliklerini tespit etmek için belirli analiz yöntemleri uygulanır. Örnek olarak; bulunan oksijenin belirlenmesi için (belli ağırlıkta olan kurutulmuş tozun) yaklaşık 1 saat civarında hidrojen etkisinde 550-1150 °C sıcaklıkta indirgendikten sonra tartılarak oksidasyon hesaplanmaktadır (Kurt, 1992).

$$A_i - A_s \text{ Burada; } \% O_2 = \frac{A_i - A_s}{A_i} \times 100 \quad A_i = \text{İlk ağırlık} \quad A_s = \text{Son ağırlık} \quad (3.1)$$

Eşitlik 1' de verilen denklem, sadece indirgenebilen bileşiklerde kullanılmaktadır. İndirgenemeyen bileşikler olan SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, BeO, TiO<sub>2</sub>, gibi dengeli oksitlere farklı testler yapılmaktadır. Maddelerin asit ile çözünmeyenlerinin tespit edilmesi için ise, belirli ağırlıktaki tozun örnek asit içinde kaynatıldıktan sonra çözünmemiş olan maddeler filtrelenerek 980 °C de yakılıp en son oluşan ağırlığın, ilk oluşan ağırlığına bölünmesiyle hesaplanmaktadır. CuO, MgO, MnO<sub>2</sub>, vs. HCl bileşikleri, asitle çözünebilir olduklarından, çözücü asit olarak HCl asiti kullanılırsa elde edilen değere belirtilen oksitler dahil değildir.

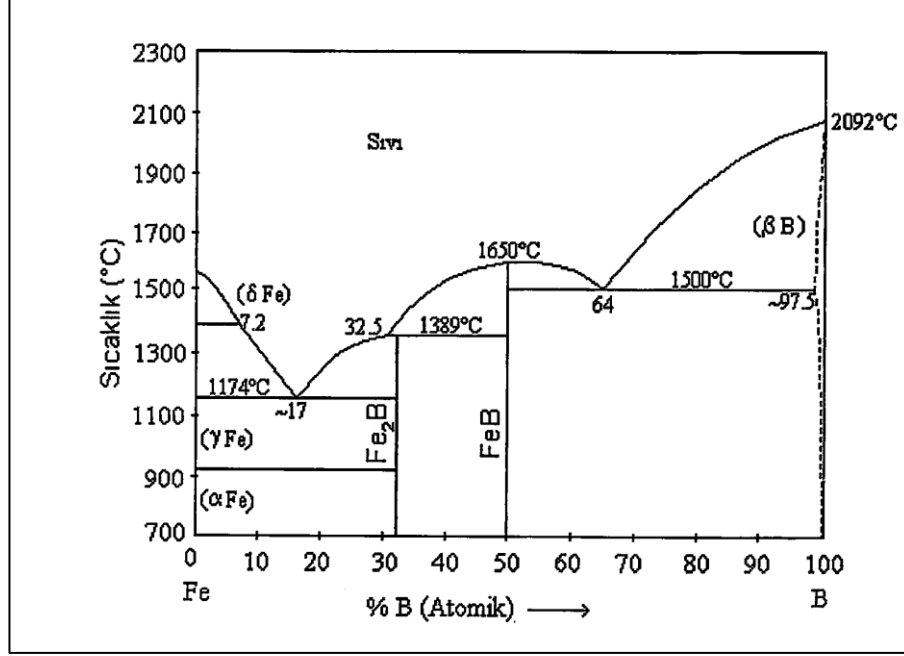
### 3.2.2. Fiziksel Özellikler

Üretilen tozların parçacık şekli, boyutu, yapısı ve özgül yüzeyi, yoğunluğu ve akış hızı tozların fiziksel özelliklerini ifade etmektedir. Fiziksel özellikleriyle presleme ve sinterleme işlemleri yakından ilişkilidir. Tek parçacık boyutunu belirlemek genellikle o parçacığın geometrik yapısının görüntüsünden hareketle mümkündür. (Kousaka, 1997) Elek yardımıyla veya diğer metotlarla toz parçacıklarının boyutu tespit edilir. Tozların tamamının aynı boyuta sahip olması her zaman mümkün değildir. Fakat ortalama bir tane boyutundan bahsedilebilir. Tozun şekli de parçacık şeklinin karmaşıklığıyla parçacık boyutu ölçüm yöntemleri değişmektedir. Küresel bir tozda bir tek çapının ölçülmesi yeterken, pul şeklinde olan tozların pul kalınlığıyla düzlemdeki boyunun da ölçülmesi gerekmektedir.

### 3.3. DEMİR-BOR DENGE DİYAGRAMI

Borun atom çapı, demire göre %25 daha küçüktür. Bu nedenle demir ve bor katı eriyik yapı oluşmaktadır. Demir içindeki bor elementinin erimesi, sıcaklıkla beraber östenit safhasında oluşuyorsa 55-260 ppm, ferrit safhasında oluşuyor ise 20-80 ppm'dir. Şekil 3.2' de Fe-B denge diyagramı verilmektedir. Fe-B denge diyagramı verilerine göre, Fe<sub>2</sub>B ağırlıkça % 8.83 oranında bor içermektedir. Yine % 16.23 bor içermektedir (Matuschka, 1980). Yapılan çalışmaların genelinde, FeB alaşımının ergime sıcaklığı 1550-1657 °C olurken, Fe<sub>2</sub>B'nin ise 1389-1410 °C olduğu ifade

edilmektedir. (Liao ve Spear, 1974). Kubaschewskiise yapmış olduğu bir araştırmada, Fe<sub>2</sub>B ergime noktasının 1407 °C olarak gözlemlendiği belirtilmiştir (Kubaschewski, 1982). Çizelge 3.3 ' de demir borürlerin özellikleri verilmektedir. Şekil 3.3'te toz metalurjisi kullanım alanları verilmiştir (Högenas , 1996).

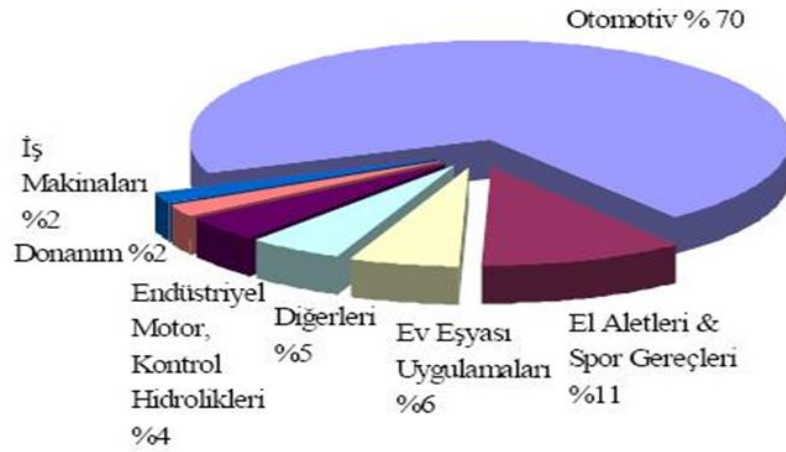


Şekil 3.2. Fe-B denge diyagramı (Massalski, 1986).

Çizelge 3.3. Demir borürlerin özellikleri (Matuschka, 1980; Selçuk, 1994).

ÖZELLİK	Fe <sub>2</sub> B	FeB
Bileşim (%B ağı.)	0,5	1,5
Ergime noktası (°C)	1390	1550
Teorik yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	7,45	6,80
Kafes yapısı ve parametreleri (°C)	Tetragonalh.m a=5,066, c=4,238	Ortorombik a=4.033, b=5,475, c=2,926
Isıl iletkenlik katsayısı (w/cm°C)	0,2 - 0,3	0,1 - 0,2
Isıl genleşme katsayısı (K <sup>-1</sup> ) 200 - 600°C 100 - 800°C	7,90.10 <sup>-6</sup> 9,2.10 <sup>-6</sup>	23.10 <sup>-6</sup>
Young modeli (kg/mm <sup>2</sup> )	30000 29000	60000
Özdirenç (20°C)	38	80
Curie sıcaklığı	742	325





Şekil 3. 3. Toz Metalurjisi Kullanım Alanları (Högenas , 1996).

### 3.4. TOZLARIN ŞEKLİ

Tozların akışı, görünürdeki yoğunluğun sıkıştırılabilirliği, ham dayanıklılığı, gerginliği ve sinterlenebilirliği parçacıkların şeklinde önemli etkindir. (Kurt, 1992). Toz metal parçalarında bulunan gözeneklerin sayısı, tipi, büyüklüğü, dağılımı ve şekli mekanik özelliklerini etkilemektedir. Gözeneklilik sayısı azaldıkça toz metal parçalarında mekanik nitelikleri iyileşir. Toz metalürjisi metoduyla üretilen parçalarda gözenek miktarı, makine parçalarının dayanımlarını etkilemektedir (Douib 1989; Tunay 2002).

### 3.5. TEORİK VE GÖRÜNÜR YOĞUNLUK

Parçaların gözeneklilik oranının %18-60 arasında olması toz metal parçaların düşük yoğunluklu yani fazla gözenekli olduğunu göstermektedir. Gözeneklilik oranı %30-60 olan parçalardan genel olarak metalik filtreler üretilmektedir. Bu filtreler, saf demir, paslanmaz çelik ve bronz temelli yapılabilir ve su, hava, yakıt ya da yağ devrelerinde kullanılmaktadır. Parçaların gözeneklilik oranının %18-50 olanları ise yeterli ve uygun yağ emdirilmesiyle birlikte kendinden yağmalı yataklarda kullanılmaktadır. (Meriç ve diğ., 2005).

### 3.6. TOZLARIN KARIŞTIRILMASI

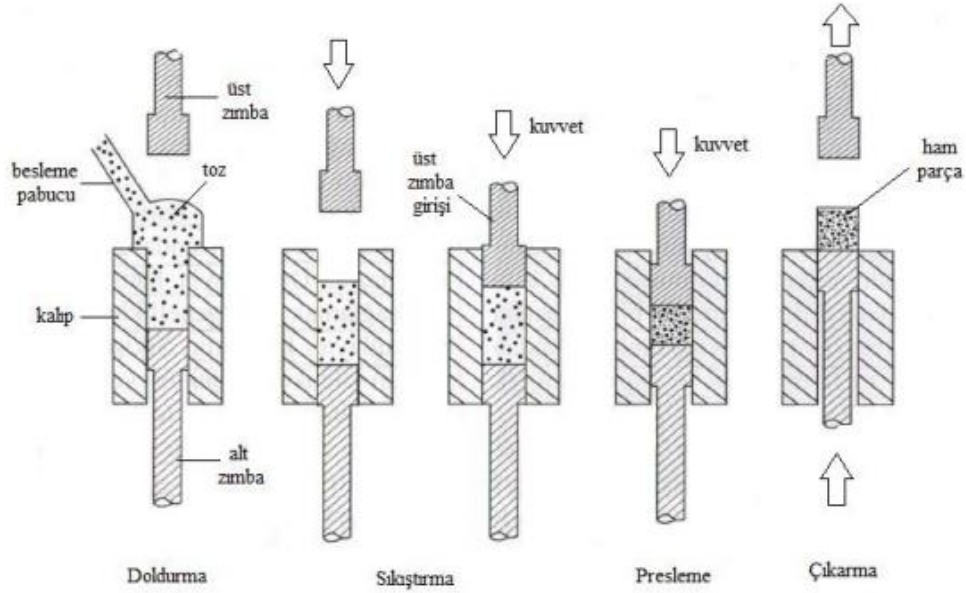
Çift konili karıőtırıcılar ile tozların karıştırılması işlemi yapılmaktadır. Karıőtırma işlemi aynı Őekilli bir toz elde etmek için yapılmaktadır. Tanenin boyutu ve Őekiline göre birikimlerin önüne geçmek amacıyla yapılır. Bu karıőtırma sresinin uzun tutulmasında toz taneciklerinin kırılarak küresel hale gelmesi, sıkıştırma zelliğinide azaltacaktır.

### 3.7. YAğLAYICILAR

Şekillendirme aşamasında yaŐanan enerji kayıplarını telafi etmek veya azaltabilmek için tozlara belli oranlarda yağlayıcı eklenmektedir. Bunlar toz grafit, MoS<sub>2</sub>, stearik asit, Lityum, inko stearat, stearat, acrawaxdır. Stearik asit ve metal stearit bileşiklerinin ergime noktası düŐüktür. Bu yağlayıcıların yoğunluklarının düşük olmasından dolayı, ağırlığınca küçük bir miktar eklendiğinde bile hacimsel olarak daha fazla yer iŐgal eder. Metal tozlara yağlayıcı olarak grafit tozu %1-1,5 oranında katılırsa iyi sonuçlar elde edilmektedir. Sıyırma basıncı, Şekillendirme basıncı ve buna bağlı olarak yoğunluğun artmasıyla doğru orantılı bir Şekilde artmaktadır. Sıyırma basıncı, ŐekillendirmiŐ bir parçanın kalıbından çıkarılmasını sağlayan basınçtır ve bu yağlayıcının özelliğine de bağlıdır. Yağlayıcının görevini yapması o sıyırma basıncını düşük tutmasından anlaŐılır. Yani sıyırma basıncı düşük ise, o yağlayıcı iyi yağlayıcıdır. Sıyırma basıncını, kalıp malzemelerinin bileşimi, yüzey özellikleri ve sertliği olumlu veya olumsuz etkileyebilir. Metal tozlara yağlayıcı katıldığında homojen bir karıŐımı elde etmek için, toz ile yağlayıcının yeterli miktarda ve derece katılmalıdır. Oranın düşük olması yağlayıcıdan istenilen özelliği göstermesini engellerken, fazla karıőtırma yapılması da düşük ergime derecesi olan yağlayıcının ısınıp yapıŐkan hale gelmesine sebep olabilir. Bu tür durumların olmaması için karıőtırma süresi çok önemlidir. Metal tozlara eklenen bu yağlayıcılar yapıŐtırıcı görevi üstlenerek parçanın dayanıklılığını artırmakla birlikte, ergime derecesi düşük olan yağlayıcılar da sinterleme aşamasında yanarak yapıda gzeneklerim oluŐmasına sebep olmaktadır. Sinterleme sonrası dayanıklılık ve yoğunluk artması gerekirken, azalması, bu yağlayıcıların yanmasından kaynaklanmaktadır (Kurt, 1992).

### 3.8. METAL TOZLARININ SIKIŞTIRILMASI

Metal tozlarıyla karıştırılan yağlayıcılar, üretilen olan parçanın boyutuna ve şekline uygun olarak hazırlanan kalıpların içinde konularak, preslenir. Metal tozlara istenen şekli vermek ve beklenen oranda gözeneklilik sağlayabilmek için sıkıştırma işlemi yapılmaktadır. Tozların sıkıştırılma işleminde kullanılan kalıp ve zımbaların kusursuz olması gerekmektedir. Bu aşamada kalıp ve piminin tungsten karbürden, üst ve alt zımbaların yüksek kaliteye sahip olan takım çeliğinden yapılmış olması gerekir. Toza şekil vermek ve daha yüksek yoğunluk elde etmek amacıyla yapılan şekillendirme işlemi sırasında bir basınç uygulanır. Şekil 3.4’de tozların sıkıştırılması şematik olarak verilmektedir. Şekil 3.4, sıkıştırma basamaklarının işleyişini göstermektedir. Basıncın uygulanması sırasında ilk aşamada gevşek olan tanecik düzeninden daha sıkı bir paketlenme yönündedir. Uygulanan bu basıncın artırılmasıyla tanecikler arasındaki temas bozulur (Kurt, 1992).



Şekil 3.4. Tek eksenli preslemeyle ham parça üretim aşamaları (German, 2007).

Başlangıçta temas sayıları, toz tanelerinin yeniden kalıba doldurulduğunda artmaktadır. Uygulanan basıncın artmasıyla plastik deformasyon etkisiyle ve artışıyla temas yoğunluk artmaktadır. Bu şekilde basınç, temas bölgelerinde bir deformasyona neden olmaktadır. Toz taneleri arasındaki mesafenin azalmasından dolayı yeni

temasların oluşma imkanı olmaktadır ve buna bağlı olarak da gerilme sertleşme meydana gelmektedir. Deformasyon sırasında tozlar arasındaki temasların, soğuk kaynaklanmalarına da neden olur. Presleme işleminden sonraki dayanıklılık ham dayanıklılık olarak ifade edilir. Sıkıştırma işleminde de basınç arttırıldıkça, plastik deformasyona uğramış olan toz miktarı da artmaktadır. Yeteri kadar sıkıştırma uygulandığında gözeneklilik miktarı da azaldığı için, iç gerilme haline artmaktadır.

### **3.9. SİNERLEME**

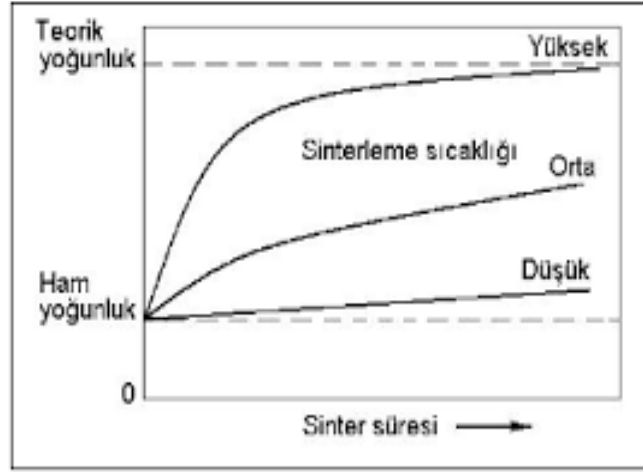
Toz metalürjisinin esas sorunlarından birisi de sinterleme işlemi sırasında parçacıkların arasındaki fiziksel bağların güçlenmesidir. Sinterleme işleminde, sinterlenen parçayı oluşturan tozlar arasında mekanik bir bağ oluşturmaktadır (Narva 1988).

Dayanımı arttırmak amacıyla toza veya sıkıştırılmış olan kütleyle, temel bileşenin ergime noktasının altındaki bir sıcaklığın uygulanması sinterleme işlemidir. Tek bileşenli sistemlerin sinterleme işlemlerindeki sıcaklığı genellikle, metalin ergime sıcaklığının 4/5'i veya 2/3 olarak belirlenir. Ancak çok bileşenli olan sistemlerde ise, ergime sıcaklığı düşük olan metalin, ergime sıcaklığının üstünde, ergime sıcaklığı yüksek metalin ergime sıcaklığının altında yapılmaktadır. Demir grubundaki metal alaşımları 1000-1300 °C, sert alaşımlar ise 1400-1600 °C arasında refrakter metaller yani molibden, tantal, wolfram gibi metaller 2000 °C ile 2900 °C arasındadır.

Gözenekli bronzlar, bronz alaşımları ise 600°C - 800 °C arasında sinterlenirler. Sinterleme işlemin süresi kullanılan malzemenin özelliklerine göre değişiklik göstermektedir. Sinterleme süresiyle sinterleme sıcaklığı arasında bir ilişki bulunmaktadır. Sinterleme sıcaklığı arttıkça sinterleme süreside azalmaktadır. Ancak sinterleme süresi uzun olursa sıcaklığı düşürmek gerekmektedir (Kurt, 1992).

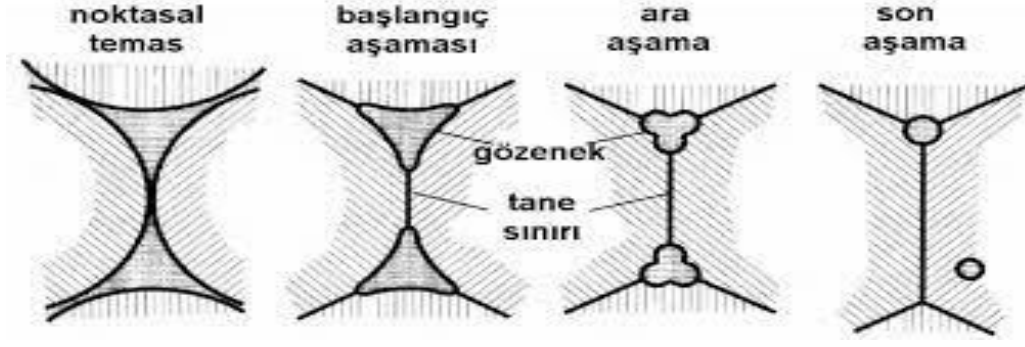
Sinterleme işlemi yapılmış parçalar, istenilen mekanik niteliklere ve yüzey kalitesine sahiptirler. Genellikle sinterleme işlemi sonrasında ek bir işleme ihtiyaç yoktur. Üretimde kullanılan hammadde ortalama %100 değerlendirilerek en düşük seviyeye indirilmektedir. Daha fazla hassasiyet veya dayanıklılığa ihtiyaç duyulursa, parçalara

ilave işlemlerde uygulanabilir. Toz metalürjisi metodu düşük enerji ile fazla üretim yapılmasına olanak sağladığından dolayı zaman içerisinde sürekli olarak gelişmekte gösteren ve birden çok alanda da geleneksel metal şekillendirmelerin yerini almaktadır (German, 1997). Sinterleme süresi, sıcaklığı ve atmosferi toz metalürjisinde önemli bir parametredir. Üretilmesi istenen parçanın özelliklerine göre sinterleme sıcaklığı ve süresi belirlenir. Parçaların yoğunluğunun düşüklüğü mekanik dayanım değerlerinin istenen seviyede olmamasının nedeni sinterleme sıcaklığı ve süresi ile ilişkilidir. Sinterlemede sıcaklık, toz bileşenin ergime sıcaklığına mümkün olduğu kadar çok yakın olmalıdır. Şekil 3.3 'de yoğunluk ve sinterleme süresi ilişkisi verilmektedir.



Şekil 3.5. Yoğunluğa bağlı Sinterleme süresi değişimi (Canikoglu, 2016).

Sinterleme sırasında yüksek sıcaklıklarda tozun atmosferdeki bazı gazlarla reaksiyona girmesi mümkündür. Bu sebeple sinterleme yapılırken koruyucu atmosfer ortamında yapılır. Koruyucu atmosfer olarak koruyucu gazlar ya da vakum kullanılmaktadır. İki küresel toz parçasının genellikle temas ettiği kabul edilerek, sinterleme işlemi esnasında parçacıklarda ilk olarak boyun büyümesi ve devam eden sinterleme süresiyle birlikte gözeneklerinde de büzülme meydana gelir. Gözeneklerin kanalları kapanır ve gözenek küreselleşme gösterirken, gözeneklerde tane sınırları tarafından çevrelenirler. Şekil 3.4 'de sinterleme işlemi aşamaları verilmektedir.



Şekil 3. 6. Sinterleme işlemi aşamaları (German , 1984 ).

### 3.10. T/M MALZEMELERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ

T/M malzemelerin mekanik dayanıklılıkları şekillendirme sonrasında uygulanan ısı işlem ile kazandırılmaktadır. Oda sıcaklığında sıkıştırılan T/M parçaları zayıf bir mekanik bağ ile bağlanmaktadır. Daha sonra sinterleme ile güçlü bir bağa dönüşmektedir. Bu nedenle de üretilen parçaların mekanik özellikleri artmaktadır. T/M ile üretilen parçalar ergitilerek üretilen parçaların arasındaki en önemli fark, T/M parçalarda gözenekli yapının oluşmasıdır. Gözenekli yapı, sinterleme sıcaklığına ve atmosfere, presleme basıncına, tane büyüklüğüne göre değişiklik göstermektedir. T/M parçaların nitelikleri, ergitilerek yapılan metallerin niteliklerine göre daha iyidir (Yılmaz v.d. 2009). Birçok metal ve alaşımlarda olduğu gibi toz metalurjisi malzemelerin mekanik özelliklerinin geliştirilmesi yönünde alaşım tasarımı önemlidir (Gething 2005). Bu açıdan farklı parçaların üretimiyle birlikte tasarımı yönünden de büyük önem taşımaktadır (Yılmaz v.d. 2009).

### 3.11. TOZ METALURJİSİ UYGULAMA ALANLARI

Çağımızın ekonomik düzeni yeni malzeme, nükleer, enformasyon, uzay ve havacılık teknolojileri ve biyoteknoloji üzerinde kurulmuştur. İleri veya yeni malzeme teknolojisi diğer teknolojilerinde temelini oluşturmaktadır. Nitekim teknolojilerin tümünün gelişmesi, yeni üretilmiş olan malzemelerin nitelikleri ve performansı üstüne kurulmuştur. Diğer teknolojiler ile birlik içerisindeki malzeme teknolojisinde temel hamle, doğal kaynaklarla yarış yapan sentetik malzeme kaynaklarının bulunmasıdır. Maddelerin moleküler halde kontrol edilme niteliği yeni özellikleri

bulunan malzemeler ortaya çıkmıştır. İleri veya yeni malzeme teknolojisinin de esası toz metalürjisidir. Sebebi ise, çok fazla özellikleri bulunan sentetik malzeme üretimi sadece metal tozlarının karışım teknolojisiyle mümkündür (Tanberk, 1997).

T/M ilk parça üretiminde 1900' lü yılların ilk başlarından beri bir artış olmuştur. T/M metodu, endüstride çok önemli sektörde kullanım alanı bulmaktadır. T/M parçaları otomobillerin hareket sistemlerinde, fotokopi, çamaşır ve bulaşık makinelerinde, güç makinelerinde, spor malzemelerinde, yol yapım ekipmanlarında, av malzemelerinde, hidrolik sistemlerde, x ışınlarının korunma sistemlerinde, petrol ve gaz kuyularının kapama sistemlerinde ve daha birçok alanda da kullanılmaktadır. İmalat endüstrisinde kullanılan T/M parçaları ise demir, çelik ve alaşımları, bakır ve bakır esaslı alaşımlar prınç, tunç ve nikel, gümüş gibi, alüminyum, paslanmaz çelik, nikel ve kalay temelli tozlardan yapılan alaşımlardır (Boz, 1999).

Şekil 3.3 'da toz metalurjisi kullanım alanları verilmektedir.

### **3.12. AŞINMA**

Aşınma kömür işleme makineleri, öğütücüler, kırıcılar, deliciler ve değirmenler vb. gibi ağır şartlarda kullanılan ve devamlı oldukça sert malzemeler ile temas halinde olan makine parçalarının kullanım ömrünün azalmasıdır. Bu ortam koşullarında çalışacak olan makine parçaları bir tek aşınma mekanizması sonucu hasara uğramayıp korozyon, erozyon, adhezyon ve oksidasyon vb. gibi çeşitli deformasyon mekanizmaları da söz konusudur. Zorlu çalışma koşullarına bağlı olarak kullanılan malzemelerin aşınmaya karşı direnci ısıtma işlemi veya malzeme yüzeylerine uygulanan aşınmaya daha dayanıklı bir kaplama malzemesi ile üretimi yapılabilir. Sert dolgu kaplama işlemlerine ana metalin bazı tribolojik özelliklerini yükseltmede kullanılan ve ekonomik bir yöntemdir (Lad, V.I., Menghani, J. V., Channiwala ,2014).

Örnek verilmek gerekirse Lazic ve çalışma arkadaşlarının kepçe tırnağına sert dolgu kaplaması yöntemi ile uygun olan en iyi kaynak teknoloji seçimi için yapılan çalışmada, kepçe tırnağında oluşan aşınma miktarını yaklaşık 4 kat azaltıldığı ve deforme olan parçanın yenisi ile değiştirilmesine nazaran %300 kar elde ettiği belirtilmiştir (Lazić, V., A. Sedmak, 2015 ).

Benzer bir çalışma yapan Singla ve arkadaşları, dört farklı sert dolgu alaşımı kullanarak kaplama yaptıkları kepçe tırnağının aşınmaya karşı direnç davranışını incelemiş ve HCR33 sertlikte kaplamanın sert dolgu kaplanmamış kepçe tırnağına nazaran aşınma direncinin 16 kat daha fazla rapor etmişlerdir (Singla, S., Kang, A.S., 2014). Bayhan yaptığı bir çalışmada, üç farklı sert dolgu elektrotu kullanarak kaplama yaptığı pulluğu, kaplama yapılmayan pulluk ile karşılaştırmıştır. Çalışmada kullanılan EH-600 kodlu sert dolgu elektrotu ile gerçekleştirdiği kaplamanın normal pulluğa göre %39,6 oranında daha az aşınmaya maruz kaldığı saptanmıştır (Bayhan, Y., 2006). Günümüzde daha sert dolgu kaplamalar ile kaplanan malzemelerin aşınma direncinin arttırıldığı benzer olarak çok fazla sayıda uygulamanın oluştuğunu görmek mümkündür. Bu nedenle sert dolgu kaplamalar, malzemelerin aşınma dayanımını arttırmada ve aşınma hasarının en aza indirilmesi için kaplama teknolojilerinde kullanılan önemli bir teknik olarak dikkat çekmektedir. Aşınma genel olarak bir yüzey ile temas halinde olan katı sıvı veya gazın sebep olduğu mekanik etki ile yüzeyde meydana gelen hasar olarak tanımlanabilir. Burada temastan kasıt sürtünme, yuvarlanma ve malzemelerin birbiri yüzeyinde kaymasıdır. Temas sonucu mikro çatlaklar, kimyasal çözünme ve temas yüzeyinden fiziksel olarak malzemenin uzaklaşması sonucu malzeme hasara uğrar. Bir malzemenin aşınma oranı malzemenin çeşidine ve aşınma ortamına göre 10-15 ile 10-1 mm<sup>3</sup>/Nm arasında değişebilir. Aşınma iki yüzeyin çok az temas ettiği noktada, çok hafif yüklerde ve çok iyi yağlanan sistemlerde bile meydana gelebilir.

### **3.13. KOROZYON**

Sert dolgu yapılan kaplamalar her ne kadar aşınma direncinin artırılmak amacıyla kullanılsa da genellikle makine parçalarının tek bir hasar türü sonucu çalışma dışı kalmadığı bilinmektedir. Sert dolgu kaplamaların kullanıldığı tarım makineleri, madencilik, hafriyat, kırıcı ve öğütücü gibi ağır çalışma koşulları genellikle nemli ve korozif ortamlardır. Ayrıca gıda işleme bıçakları, valfler ve pompalar gibi sert dolgu kaplamanın kullanıldığı uygulamalarda, kaplama tabakası korozif ortam ile ısı çevrime de maruz kalmaktadır. Bu tip ortamlar, korozyon hasarının daha kısa sürede meydana gelmesine neden olmaktadır. Malzemedeki oluşacak korozyon hasarı, doğal olarak bir malzemenin ilk etkileşimde bulunduğu yer olan yüzeyinde başlar. Bu



sebeple, sert dolgu kaplama gibi yüzey koruma yöntemleri sadece aşınma değil, korozyon hasarının engellenmesi veya en aza indirilmesi için kullanılan yöntemlerden biridir. Nicholls tarafından dizel motorlar üzerinde gerçekleştirilen bir çalışmada, sert dolgu kaplama alaşımlarının dizel motorlardaki korozyonu önemli seviyede azaltılabileceği rapor edilmiştir (Nicholls J.R. 1994). Yine çok sayıda yüksek sıcaklık korozyonuna maruz kalan parçanın bulunduğu enerji santrallerinde sert dolgu alaşımları korozyondan korunma amacıyla kullanıldığı bildirilmiştir (Kawara Y. 2016 ). Endüstride sert dolgu kaplamaların korozyon hasarının engellenmesinde veya azaltılmasında uygulandığı çok sayıda örneğe rastlanabilir. Bu sebeple, sert dolgu kaplamalar için korozyon ve hasarının anlaşılması önem arz etmektedir (Vasilescu M , 2015 ). Korozyon deprem kasırga, sel ve volkanik patlama gibi doğal ve maliyetli bir yıkım sürecidir. Korozyon genel olarak malzemelerin bulunduğu ortam içerisinde oluşan kimyasal veya elektrokimyasal reaksiyonlar neticesinde bozulması olarak tanımlanabilir (Ahmad Z. 2006).

Doğada altın, platin gibi soy metaller dışında kalan metaller sülfat, oksit veya karbonat halindeki bileşiklerine yani en kararlı hallerine dönme eğilimi gösterirler. Metallerin kararlı hallerine dönmesi sırasında elektrokimyasal reaksiyonlar gerçekleşir. Bu reaksiyonlar, ise anodik ve katodik bölgeler arasındaki serbest enerji farkına bağlı olarak gelişir. Elektrokimyasal olarak korozyonun devam etmesi anot, katot, elektrolit ve bunları birbirine bağlayan iletkenin oluşturduğu hücreye bağlıdır. Sistemde yükseltgenme reaksiyonu neticesinde metalin iyonlaştığı, yani elektron kaybettiği taraf anodu temsil eder. Öte yandan açığa çıkan bu elektronları tüketen, yani indirgeyen taraf katodu temsil etmektedir. Anotta açığa çıkan elektronlar katot tarafına taşınmıyorsa veya iletim kesilmişse korozyon yavaşlar ve durur. Yani korozyonun devamı anotta ve katotta meydana gelecek reaksiyonlara bağlıdır.

## BÖLÜM 4

### MALZEME VE METOT

#### 4.1. FEB TOZLARIN HAZIRLANMASI, ALAŞIMLANMASI VE ÖN ŞEKİLLENDİRİLMESİ

Bu çalışmanın ilk aşamasında, Fe tozları ve farklı miktarda (%0,5 ve %1,5 ağırlıkça) B tozları, Karabük Üniversitesi İmalat Mühendisliği Laboratuvarlarında bulunan Precisa marka XB200h model hassas terazide (hassasiyeti 0,1 miligram) tartılmıştır. Çizelge 4.1’de Fe-B alaşımları ağırlıkça verilmiştir.

Çizelge 4.1. Hazırlanan Fe-B alaşımları miktarları.

Alaşım Grupları	Alaşım Toz Ağırlıkları (g)	
	Fe	B
FeB Alaşımı %0,5	6,15	0,05
FeB Alaşımı %1,5	6,15	0,2

Hazırlanan Fe-B tozları Karabük Üniversitesi İmalat Mühendisliği Laboratuvarlarında bulunan Fritsch Pulversisette planeter tipi öğütme/alaşımlama cihazında alaşımlanmıştır. Şekil 4.1’ de öğütme/alaşımlama cihazı verilmiştir. Fe-B alaşımları çelik kap içine 8 mm çapında bilya (500 gr.) ve 10 gr Fe-B alaşımı tozu (10:1 oranı), 1 saat öğütme süresinde 300 dev/dk. hızda alaşımlanmıştır.



Şekil 4.1. Fritsch Pulversisette planeter tipi öğütme/alaşımlama cihazı.

Daha sonra ön şekillendirme için tozlar yine hassas terazi ile tartılmış Şekil 4.2'deki çelik sıkıştırma kalıp içine konulmuştur. Fe-B alaşımlı toz malzemeler çelik sıkıştırma kalıp içine konulup, çelik sıkıştırma kalıbı ve tozlar 350°C de 20 dakika bekletilmiştir. Bu ön ısıtmada toz parçacıkların ısıtılmasının sebebi toz parçacıkların alaşımlama sırasındaki oluşan deformasyonu azaltmak ve sıkıştırılabilirliği sağlamaktır. Isıtılan çelik sıkıştırma kabı ve toz Fe-B alaşımları daha sonra Karabük Üniversitesi İmalat Mühendisliği Laboratuvarlarında bulunan Şekil 4.3'te verilen pres altında 700 MPa preslenmiş ve ön şekillendirilmiştir. Ön şekillendirme sonrasında Fe-B toz bulk numunelerin boyutları 12 mm çapında 8-10 mm yüksekliğindedir.



Şekil 4.2. Çelik sıkıştırma kalıbı.



Şekil 4. 3. Çalışmada kullanılan 50 Tonluk pres.

#### 4.2. SİNERLEME İŞLEMİ

TM için sinterleme işlemi önemli bir parametredir. Karabük Üniversitesi İmalat Mühendisliği Laboratuvarlarında bulunan atmosfer kontrollü ısıl işlem fırınında 1200 °C 'da 1 saat  $10^{-6}$  milibar vakum altında sinterleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Oksidasyonu minimize etmek için ön şekillendirilmiş Fe-B numuneleri fırına şarj edildikten sonra vakum öncesinde ortama argon gazı verilmiş ve oksijen süpürülmüştür. Şekil 4.4'te sinterleme fırını verilmiştir.



Şekil 4.4. Çalışmada kullanılan ısıtım işlemi (sinterleme) fırını.

### 4.3. METALOGRAFİK İŞLEMLER VE KARAKTERİZASYON

Ön şekillendirme ve sinterleme işlemi sonrasında elde edilen Fe-B alaşımı numuneler önce bakalite alınıp, 180-1200 zımparalar ile sırasıyla zımparalanmıştır (Karabük Üniversitesi İmalat Mühendisliği Laboratuvarlarında bulunan Pressi Mecapol P262 polisaj cihazında). Zımpara işlemi sonrası parlatma işlemi uygulanmıştır. Parlatma işlemi sonrasında %4 nital ile Fe-B alaşımları 45 saniye dağlanmış ve temizlenmiştir. Yüzeyleri hazırlanan Fe-B alaşımları yapısal incelemeleri için SEM cihazında görüntüleri alındı ve noktasal/ alansal EDS analizi yapılmıştır. SEM analizi Karabük Üniversitesi Demir Çelik Enstitüsünde bulunan Carl Zeiss Ultra Plus Gemini Fesem cihazında karakterize edilmiştir. Daha sonra Fe elementine ilave edilen B elementinin fazlar üzerine etkisini belirlemek amacı ile Karabük Üniversitesi Demir Çelik Enstitüsünde bulunan Rigaku Ultima IV -X-Ray Kırınım Spektrometresi ile 2 derece tarama hızında analiz edilmiştir.

#### 4.4. SERTLİK VE YOĞUNLUK

Üretilen Fe-B alaşımların mikrosertlik ölçümleri, Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği bölümünde bulunan Shimadzu marka mikro sertlik ölçüm cihazında HV 0.1 değerinde 4.980 N yük altında 10 sn test edilmiştir. Farklı oranlarda B ilavesi bulunan Fe-B alaşımlarının 3 adet mikro sertlik ölçümleri yapılmış ve ortalaması alınmıştır. Yoğunluk testleri Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği bölümünde bulunan Precisa marka XB200h model yoğunluk kitine sahip cihaz ile gerçekleştirilmiştir.

#### 4.5. AŞINMA TESTİ

Üretilen Fe-B alaşımların aşınma testleri, Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği bölümünde bulunan Pin-On disk tipi aşınma cihazında 15 ve 30 N yük altında, 500-1000-1500-2000 m. Aşınma mesafesinde 1m/sn hızda test edilmiştir. Aşınma testinde numunelerin ağırlık kayıpları ve sürtünme katsayıları ile değerlendirme yapılmıştır.

#### 4.5. KOROZYON TESTİ

Üretilen Fe-B alaşımlarının korozyon testleri, Karabük Üniversitesi Demir Çelik Enstitüsünde bulunan PARSTAT 4000 (Potansiyostat-Galvanostat-EIS Analizörü) cihazında %3,5 NaCl çözeltisinde 300 sn 1,5 mV/sn ile gerçekleşmiştir. Referans elektrodu olarak Ag/AgCl kullanılmıştır. Şekil 4.5'te korozyon ünitesi verilmiştir.



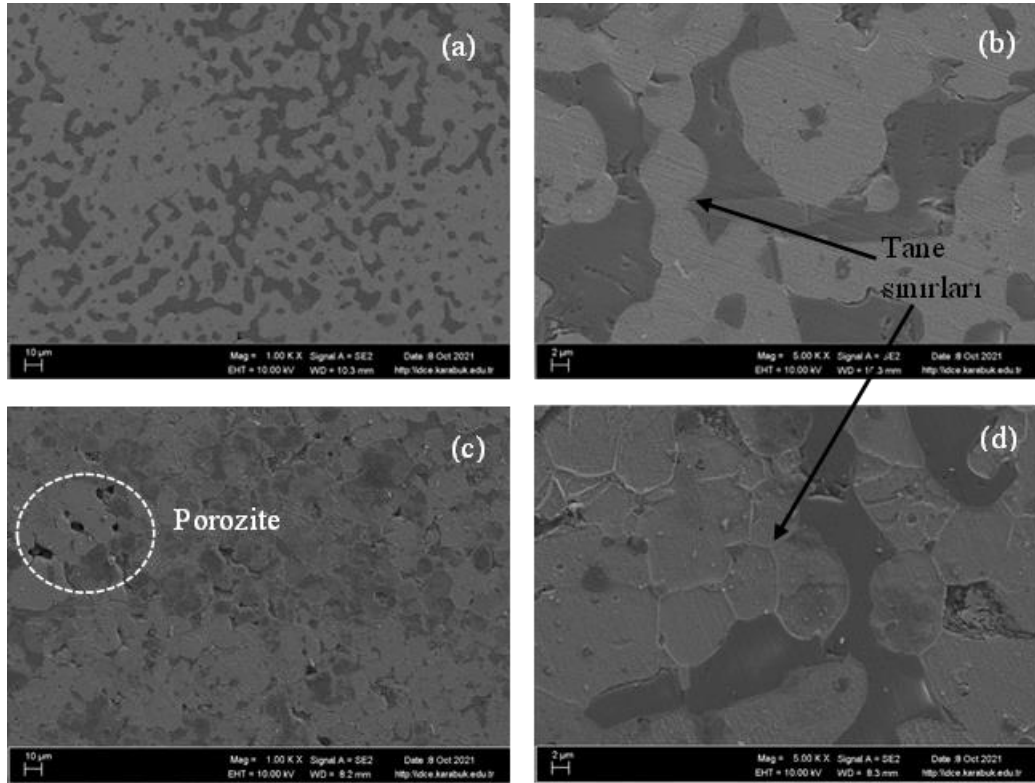
Şekil 4.5. Korozyon ünitesi.

## BÖLÜM 5

### DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

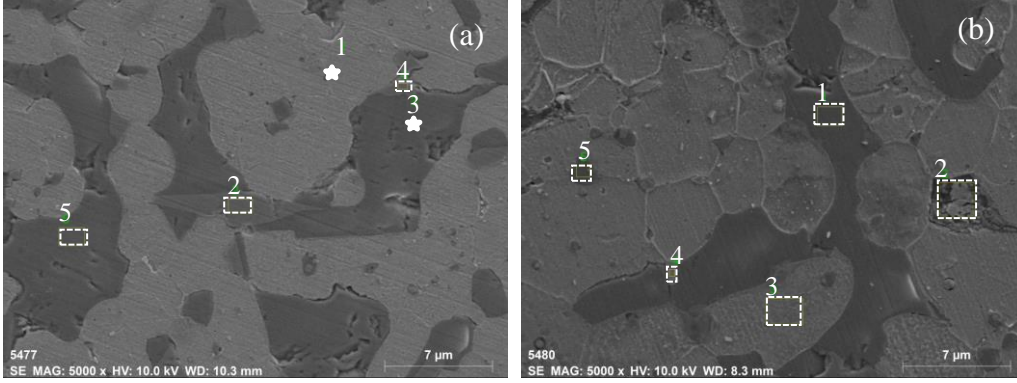
#### 5.1. FE-B ALAŞIMLARI MİKROYAPISAL İNCELEMELERİ

Toz metalurjisi mekanik alaşımlama metodu ile üretilen % 0,5-1,5 B ilaveli, Fe-B alaşımları mikroyapısal incelemeler için çekilen SEM görüntüleri Şekil 5.1’de verilmiştir. Şekil 5.1. a ve b’ de %0,5 B ilaveli Fe-B alaşımı SEM görüntüleri ile Şekil 5.1. c ve d’ de %1,5 B ilaveli Fe-B alaşımı SEM görüntüleri karşılaştırıldığında %0,5 B ilaveli alaşımın %1,5 B ilaveli alaşıma nazaran daha iri taneli olduğu fakat daha az porozite içeriğine sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca %1,5B ilaveli Fe-B alaşımında tane sınırlarının daha belirgin olarak oluştuğu görülmektedir.



Şekil 5.1. TM ile üretilen Fe-B alaşımları SEM görüntüleri, %0,5 B (a ve b) ve %1,5 B (c ve d).

Şekil 5.2. a ' da %0,5 B ilaveli Fe-B alaşımı EDS analizi SEM görüntüsü ve Şekil 5.2. b' de %1,5 B ilaveli Fe-B alaşımı EDS analizi SEM görüntüsü verilmiştir.



Şekil 5.2. Fe-B alaşımları EDS analizi SEM görüntüleri %0,5 B (a) ve %1,5 B (b).

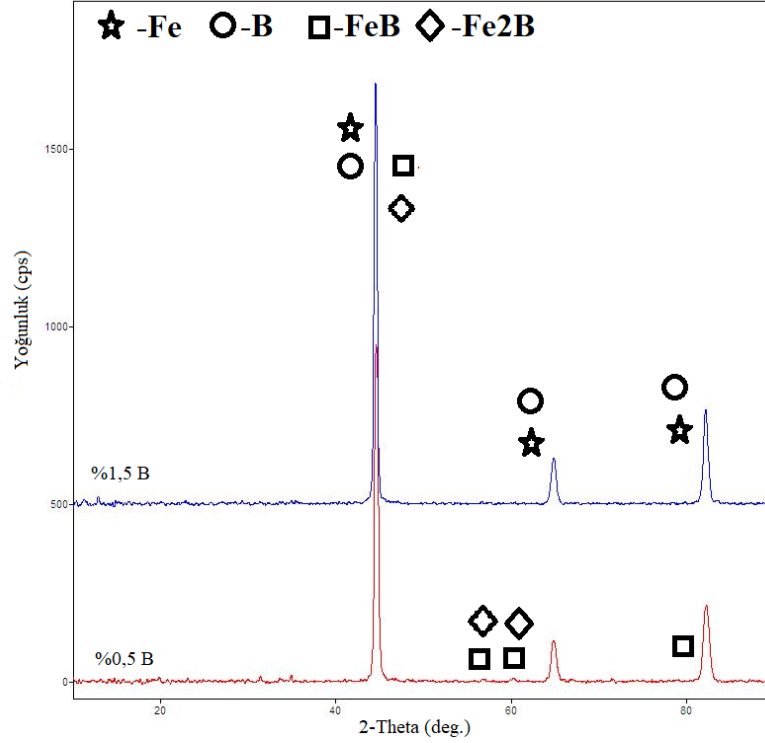
Şekil 5.2 ve Çizelge 5.1 beraber incelendiğinde oksijen içeriğinin 4- 52 oranında (ağırlıkça %) olduğu görülmektedir. Sinterleme işlemi atmosfer kontrollü olarak gerçekleştirilse bile alaşımlama sırasında oksitlenmenin olduğu görülmektedir. Shaoming vd. tarafından oluşumu yapılan bir çalışma esnasında, Fe-B tozlarının oldukça düzensiz yapı ve şekle sahip olduğu bilinmektedir. (Shaoming vd., 2016). Sonuçlara göre bakıldığında SEM mikroskobu görüntü analizinde %1,5 B ilaveli Fe-B alaşımlarındaki tane sınırlarının çok daha belirgin olduğu ve tane sınırlarında bir miktar oksidasyon olduğu da görülmektedir.

Çizelge 5.1. Fe-B alaşımları EDS analizi sonuçları.

Alaşımlar	Konum	Fe	B	O
%0,5 B (Şekil 5.2. a)	1	54,57	12,36	33,07
	2	46,16	8,52	45,31
	3	38,49	11,91	49,60
	4	48,18	6,33	45,49
	5	34,31	13,66	52,03
%1,5 B (Şekil 5.2. b)	1	35,78	12,36	51,86
	2	65,34	7,01	27,64
	3	79,76	10,21	10,04
	4	84,65	10,61	4,75
	5	37,40	11,82	50,78



Bununla birlikte Fe-B alaşımlarında oluşan fazların belirlenmesi için XRD analizi yapılmış ve Şekil 5.3'te verilmiştir. Özelikle 44-45 2-teta açısında Fe-B ve Fe<sub>2</sub>B intermetaligi yüksek oranda belirlenmiştir. XRD analizi sonuçlarına göre; Fe için JSPDS kart no: 00-006-0696, B için JSPDS kart no: 00-023-0063 , Fe-B için JSPDS kart no: 00-032-0463 ve Fe<sub>2</sub>B için JSPDS kart no: 00-039-1314 kullanılmıştır.

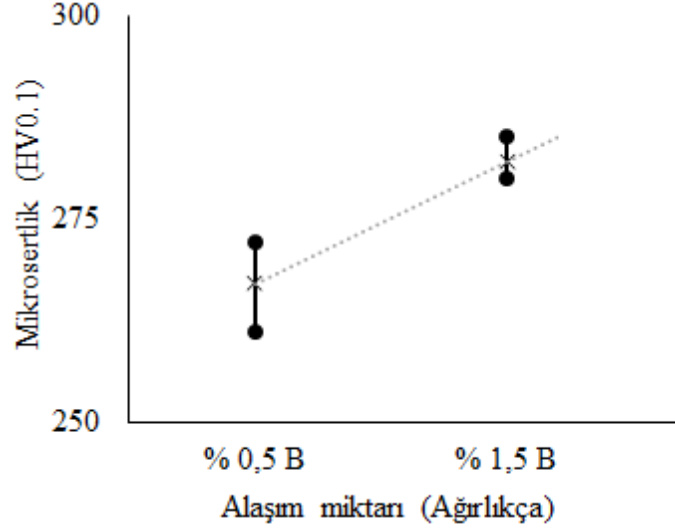


Şekil 5.3. Üretilen Fe-B alaşımlarının XRD sonuçları.

## 5.2. SERTLİK VE YOĞUNLUK ÖLÇÜMLERİ

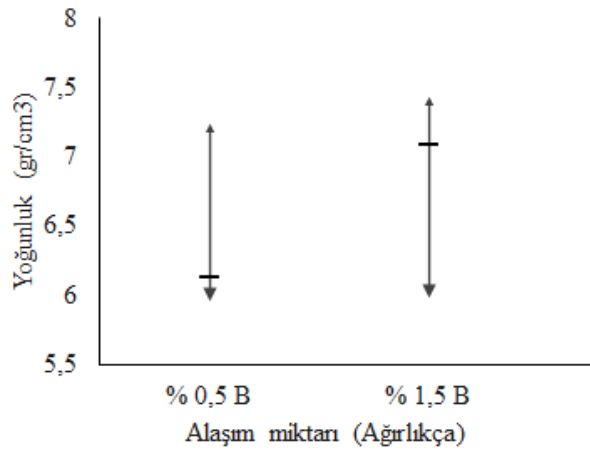
Üretilen %0,5 B ve %1,5 B ilaveli Fe-B alaşımlarının sertlik incelemesi Shimadzu marka mikro sertlik ölçüm cihazında HV 0.1 değerinde test edilmiştir. Her alaşım grubundan 3 numunede 3'er adet mikrosertlik değeri alınmış ve aritmetik ortalamaları kullanılmıştır. Yoğunluk testlerinde de yine her alaşım grubundan 3 numunenin yoğunluk değerleri elde edilmiş ve aritmetik ortalamaları alınmıştır. Şekil 5.4'te üretilen Fe-B alaşımlarının mikrosertlik sonuçları ve Şekil 5.5'te üretilen Fe-B alaşımlarının yoğunluk sonuçları verilmiştir. Mikro sertlik sonuçlarına göre alaşıma ilave edilen B miktarındaki artışa bağlı olarak mikrosertliğin artığı

görülmektedir. Ortalama mikrosertlik değerleri %0,5 B ilaveli Fe alaşımı için 267 HV0.1 %1,5 B ilaveli Fe alaşımı için 282 HV0.1 elde edilmiştir.



Şekil 5.4. Üretilen Fe-B alaşımlarının mikrosertlik sonuçları.

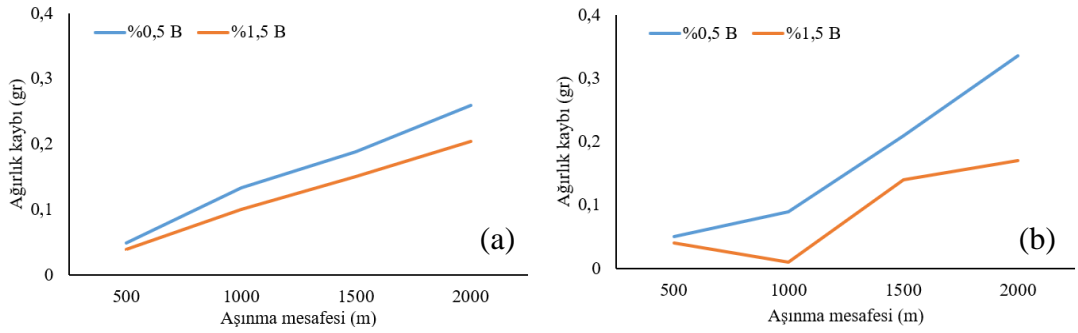
Şekil 5.5'te üretilen Fe-B alaşımlarının yoğunluk sonuçlarına göre ortalama yoğunluğun arttığı görülmektedir. Şekil 5.1'deki SEM görüntülerinde porozite görülmüş olsa da yoğunluğun artmasının sebebinin mikro yapıyı oluşturan tanelerin daha düzenli ve homojen boyutta, küresel olması yoğunluktaki bu artışın sebebi olarak görülmektedir.



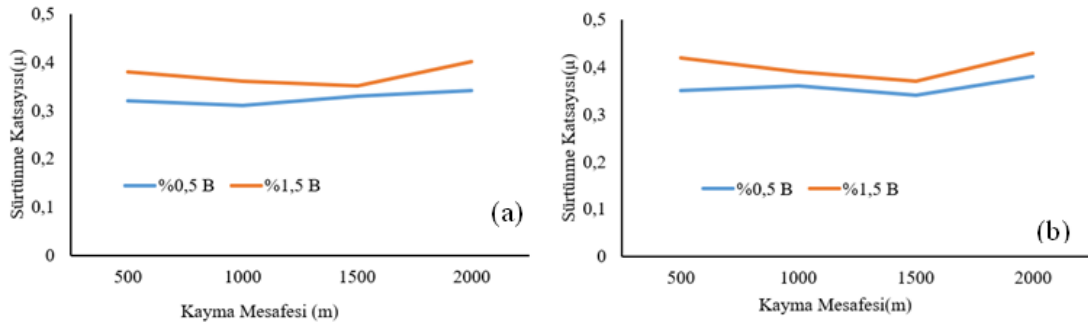
Şekil 5.5. Üretilen Fe-B alaşımlarının yoğunluk sonuçları.

### 5.3. AŞINMA TEST SONUÇLARI

TM yöntemi ile üretilen Fe-B alaşımlarının aşınma testlerinden 15 ve 30 N kuvvete 500, 1000, 1500 ve 2000 m aşınma mesafelerinde ağırlık kayıplarına ve sürtünme katsayıları elde edilmiştir. Fe-B alaşımlarının Şekil 5.6'da ağırlık kayıpları, Şekil 5.7 'de sürtünme katsayıları verilmiştir. Ayrıca 30 N yük sonrasında aşınma yüzeylerindeki aşınmadan kaynaklı deformasyonu anlayabilmek için SEM ve EDS analizleri tekrar gerçekleştirilmiştir. Aşınma testinden elde edilen sonuçlara göre 15 ve 30 N yük altında en az aşınma miktarı %0,5 B içeren Fe-B alaşımında elde edilmiştir. Bunun tam tersine olarak sürtünme sırasında meydana gelen sürtünme katsayısının da 15 ve 30 N yük altında en düşük sürtünme katsayısı %0,5 B içeren Fe-B alaşımında elde edilmiştir.



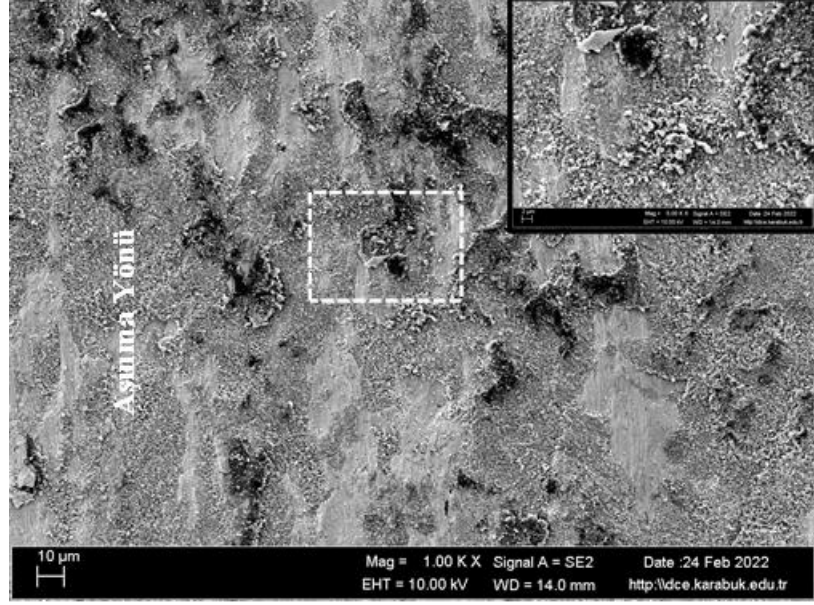
Şekil 5.6. Aşınma testlerinde meydana gelen ağırlık kayıpları, 15 N (a), 30N (b).



Şekil 5.7. Aşınma testlerinde meydana gelen sürtünme katsayıları, 15 N (a), 30N (b).

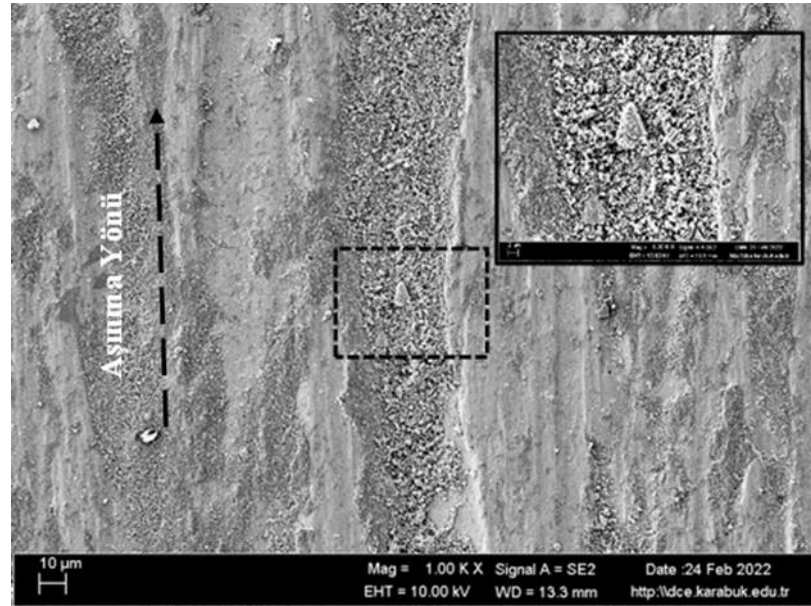
%0,5 B miktarına sahip Fe-B alaşımı 30 N yük sonrasında aşınma yüzeylerin çekilen SEM görüntüleri Şekil 5. 8'de verilmiştir. Aşınma sırasında meydana gelen

sürtünmeden oluşan aşınma yönü ve numune yüzeyinden kopan parçacıklar görülmektedir.

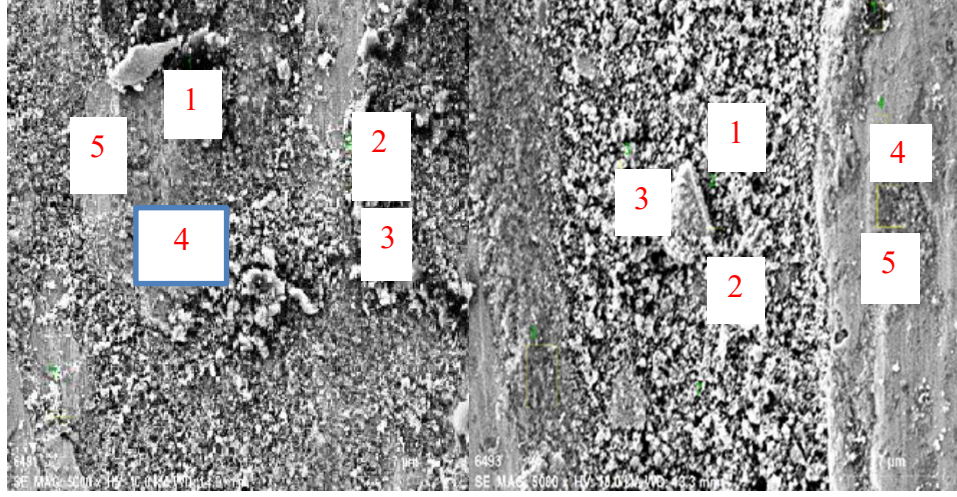


Şekil 5.8. %0,5 B Fe-B alaşımı 30 N yük sonrasında SEM görüntüsü.

% 1,5 B miktarına sahip Fe-B alaşımı 30 N yük sonrasında aşınma yüzeylerin çekilen SEM görüntüleri Şekil 5. 9’da verilmiştir.



Şekil 5.9. % 1,5 B Fe-B alaşımı 30 N yük sonrasında SEM görüntüsü.



Şekil 5.10. Fe-B alaşımları aşınma sonrası SEM görüntüleri %0,5 B (a) ve %1,5 B (b).

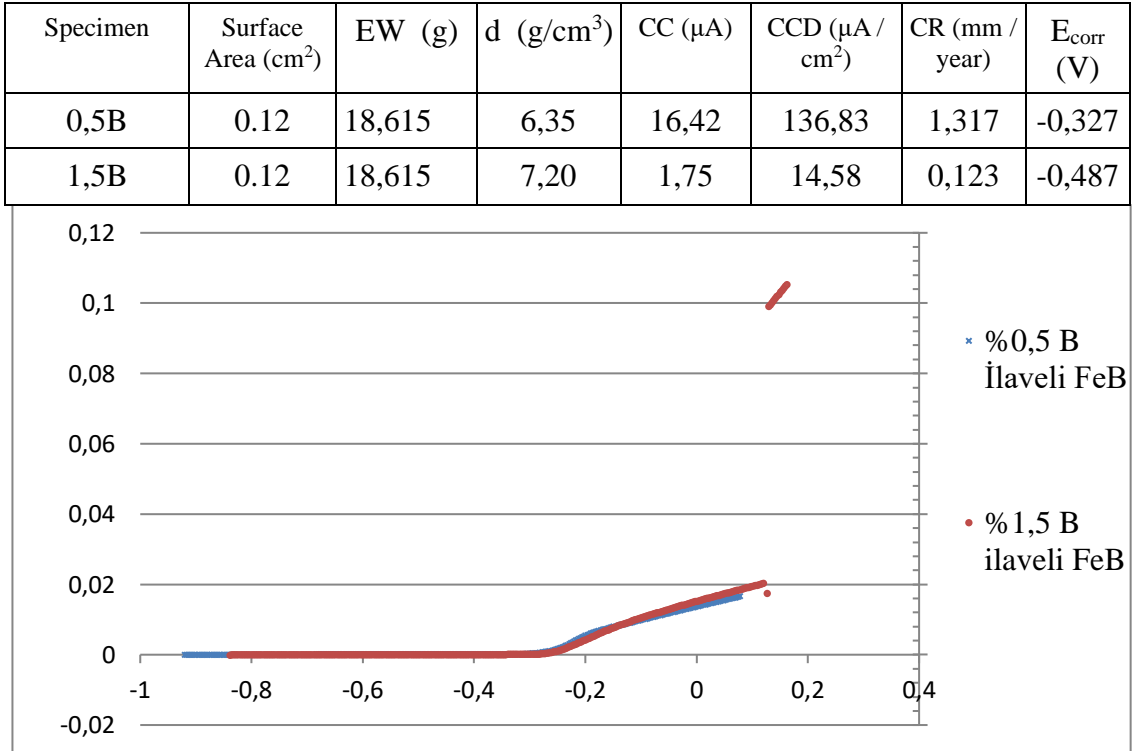
Çizelge 5.2. Fe-B alaşımları EDS analizi sonuçları.

Alaşım	Konum	Fe	B	O
%0,5 B	1	10,32	45,25	44,43
	2	56,71	7,51	35,78
	3	38,21	15,36	46,43
	4	54,79	6,92	38,29
	5	80,67	7,39	11,94
%1,5 B	1	63,33	8,01	28,66
	2	74,28	2,34	23,37
	3	74,48	-	25,52
	4	81,17	5,74	13,09
	5	58,39	2,37	39,24

Şekil 5.10' da verilen SEM analizine bakıldığında numune yüzeylerinin katmanlarında oluşan aşınma miktarı görülmektedir. Verilere göre ağırlıkça daha düşük olan (%0,5 B içeren ) Fe-B alaşımlarının, ağırlıkça daha yüksek olan (%1,5 B içeren) Fe-B alaşımlarına göre aşınmaya karşı olan davranışlarının daha yüksek olduğu görülmüştür. Bunun nedeni ise daha yüksek miktarda B içeren Fe-B alaşımlarının sertlik değerlerinin yükselmesi ile daha gevrek bir yapıda olmalarıdır.

#### 5.4. KOROZYON TEST SONUÇLARI

Korozyon testi rafine olan bir metali, oksit ve hidroksit gibi kimyasal olarak daha düzenli bir yapı oluşturulması işlemidir. Korozyon metallerin alaşımlarında kimyasal tepkime ve indirgemeler sonucunda yapısını bozmaya yönelik bir testtir. Bu testin uygulama alanlarında metalin saflık özelliği, ortam sıcaklığı, kullanılan kimyasal tepkimeler, elektrot yapısı, uygulanan alan, süre gibi bir çok farklı sonuçlar çıkarabilir. Fe-B alaşımı için ise sonuçlara bakıldığında korozyon testi sonrasında ortaya çıkan sonuç şekil 5.10 da verilmektedir.



Şekil 5.11. Üretilen Fe-B alaşımlarının korozyon testi veri grafiği.

Şekil 5.10 incelendiğinde %0,5 B ilaveli Fe-B alaşımının %1,5 B ilaveli Fe-B alaşımına göre daha az korozyona maruz kaldığı anlaşılmıştır. Kütlece daha fazla B bulunan Fe-B alaşımlarının daha gevrek bir yapıya sahip olduğu görülmektedir.

## BÖLÜM 6

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Fe-B ve Fe<sub>2</sub>B alaşımları TM yöntemi ile üretilmiştir. Üretilen alaşımların aşınma ve korozyon testleri incelenmiştir. Üretilen alaşımların karakterizasyonu SEM&EDS – XRD analizleri ile aşınma ve korozyon test incelemeleri yapılmıştır.

Bu işlemlerin dışında önce öğütme işlemi 4 saat 10:1 bilya oranında alaşım tozları karıştırılmıştır. Karışım yapılan bu tozlar 45 bar basınç altında soğuk presleme işlemine tabi tutulmak istenmiştir ancak Fe tozları ile B tozlarının sertlik dereceleri ile ergime dereceleri yüksek olduğundan presleme işlemi için kalıp sıcaklığı 200°C olarak 45 bar basınç altında yapılmıştır. Preslenen numuneler literatür değerlerine göre 1200°C sıcaklıkta toplam soğuma süreleri ile beraber 18 saat yapılmıştır. Sinterleme işleminden sonra oluşan numunelerde zımparalama ve parlatma işlemi yapılmıştır. Parlatma yapılan numunelerin yüzeyine bakıldığında mikroyapı incelemesinde sonuçlarda da görüleceği üzere tane sınırlarının belirginliği gözlemlenmektedir.

TM yöntemi ile üretilen numunelerin yapısında literatür de bilinen yoğunluk değerlerine yakın değerler sonuçlanmıştır. Yoğunluk değerlerine bakıldığında B tozlarının Fe tozlarına etkisi net bir şekilde görülmüştür. Alaşım oranının az olmasına rağmen B tozları yapısal özellikler bakımından aşınma ve korozyon testlerinde etkili olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada, SEM&EDS ile XRD sonuçlarına bakıldığında SEM mikroyapı incelemesinde tane sınırları ve tane boyutları istenen şekilde gözlemlenmiştir. Mapping analizinde Fe-B ve Fe<sub>2</sub>B alaşımlarının incelenmesinde literatür de istenen şekilde elementlerin oluştuğu görülmüştür.

XRD analizine bakıldığında Fe-B, Fe<sub>2</sub>B, B, Fe, Fe<sub>γ</sub> ve Fe<sub>σ</sub> faz analizleri yapılmıştır. Faz analizlerine bakıldığında yapısında Fe<sub>2</sub>B (2θ açısı 25-27) fazı, B elementi (2θ açısı 21-23), Fe-B ve Fe<sub>2</sub>B (2θ açısı 51-53) fazları, Fe, Fe-B ve Fe<sub>2</sub>B (2θ açısı 44-45 ) fazları, Fe, Fe-B ve Fe<sub>2</sub>B (2θ açısı 51-52) fazları, Fe-B ve Fe<sub>2</sub>B(2θ açısı 58-59 ) fazları, Fe-B (2θ açısı 81-82) fazı, Fe-B ve Fe<sub>2</sub>B (2θ açısı 59) fazları görülmüştür.

Aşınma sonuçlarına bakıldığında Fe-B alaşımlarının %0,5 ve %1,5 ilaveli B sonuçlarında B oranının daha düşük olduğu alaşımlarda üretilen numunelerin kütle kaybının daha yüksek olduğu görülmüştür. Sonuçlara göre B oranının daha yüksek olduğu numunelerde aşınma dayanımı daha yüksek yapıdadır.

Her biri 500 m olan 4 yolda yapılan ölçüm sonuçlarına bakıldığında 15 N yük için %0,5 B ilaveli Fe-B alaşımlarının %1,5 B ilaveli Fe-B alaşımlarına göre aşınma dayanımının daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Yine sonuçlar da 30 N yük için %0,5 B ilaveli Fe-B alaşımlarının %1,5 B ilaveli Fe-B alaşımlarına göre aşınma dayanımının daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuca göre B ilavesinin daha fazla olduğu Fe-B alaşımlarının aşınma dayanımının daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Oluşan kütle kaybı % 2 oranında olduğu tespit edilmiştir.

Korozyon sonuçlarına göre %0,5 B ve %1,5 B ilaveli Fe-B alaşımlarında benzer sonuçlarda ilerleyen grafiğe göre aşınma test sonuçlarının aksine %0,5 B ilaveli Fe-B alaşımlarının korozyon dayanımlarının daha yüksek olduğu saptanmıştır. %1,5 B ilaveli Fe-B alaşımlarında B ilavesinin daha düşük oranda olması korozyon dayanımının daha yüksek olduğu görülmüştür.

Analiz verisi incelendiğinde %0,5 B ilaveli Fe-B alaşımının %1,5 B ilaveli Fe-B alaşımına göre korozyon dayanımının daha yüksek olduğu anlaşılmıştır.



## KAYNAKLAR

Ahmad, Z., CHAPTER 1 - Introduction To Corrosion. In: Ahmad ZBT-P of CE and CC, editor. **Oxford: Butterworth-Heinemann;** (2006)

ASM International Handbook Committee, "ASM Handbook, Powder Metal Technologies and Applications", **ASM International**, 7: 1854-1968 (1998)

Avcı A. U., "Toz metalürjisi ders notları." **İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi.**(1993)

Bayhan, Y., Reduction of wear via hardfacing of chisel ploughshare 39 570-4,(2006)

Boz Mustafa, " Toz Metalürjisi Yöntemiyle Üretilmiş Bronz Esaslı Fren Balata Malzemelerinin Sürtünme-Aşınma Davranışlarının İncelenmesi ", Yüksek Lisans Tezi , **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara (1999)

Bulut G, " Cevher Hazırlama ve Kimyasal Zenginleştirme Yöntemleri" **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü** (2020)

Çelik,Ü.A. "Mekanik Alaşım Yöntemi İle Demir Bor Alaşımlarının Üretimi ve Karakterizasyonu" **Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü** (2020)

Douib, N., Mellanby, I.J., Moon, J.R., "Fatigue of inhomogeneous low alloy PM steels" **Journal of Powder Metallurgy**, 32(3) 209 - 212. 113 (1989)

Ediz, N., Seyfettinoğlu, M. A. ve Özdağ, H., "Kil minerallerinin Tügsaş-Kütahya azot fabrikası baca gazlarının filtrasyonunda kullanımının araştırılması", **8.Ulusal Kil Sempozyumu**, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, 315-325 (1997).

German, R.M., "Powder metallurgy&particulate materials processing 1st ed." Çeviri Editörleri, Sarıtaş, S., Türker, M., Durlu, N., **Türk Toz Metalürjisi Derneği**, Ankara, 59-94 (2016).

Gething, B. A., Heaney, D. F., Koss, D. A., Mueller, T.J., "The effect of nickel on the mechanical behavior of molybdenum P/M steels " **Materials Science and Engineering**A 390, p.19-26. (2005)

Höganäs Handbook for Sintered Components, **Handbook 1 Material and Powder Properties**, 114 (2013).

HÖGANAS - A.B., "Höganäs handbook for machining guidelines", 65-70, (1996)

Huang.M. “**Transactions of Nonferrous Metals Society of China** “Elsevier Volume 29, Issue 10, October 2019, Pages 2222-2228 (2019)

IncekaraM. “Elektrolizyöntemiilebakırtozuüretilebilirliğininaraştırılması” **KarabükÜniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü** (2008)

Kawara, Y., An Overview on Corrosion-Resistant Coating Technologies in Biomass/Waste-to-Energy **Plants in Recent Decades. Coatings**, 6 (3)(34), 1–24,(2016)

Komisyon, “Bor raporu”, **TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası** (2003).

Kousaka, Y., Particle Size, Japan Powder Technology Handbook Second Edition Chemical Engineering Department, **Osaka Prefecture University**, Sakai, Osaka, p.3 Newyork Basel (1997)

Kubaschewski, O., “Iron binary phase diagrams”, **Springer, Verlag**, 15 (1982).

Kurt, Adem, Toz Metal Bronz Yatak Malzemelerinin Özellikleri, Yüksek LisansTezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara s. 1-57 (1992)

Kusoglu, I. M., Çelik, E., Çetinel, H., Özdemir, I., Demirkurt , O., Onel, K., “Wear Behavior Of Flame-Sprayed Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub> Coatings On Plain Carbon Steel Substrates” **Surface & Coating Technology** 200, Sayfa 1173-1177, (2005)

Lad, V.I., Menghani, J. V., Channiwala, S.A., Studies on the Effect of Alloying Element in Iron Base Hardfacing Alloy. **Trans Indian Inst Met**, 67(3), 343–9,(2014)

Lazić, V., A. Sedmak, R. R. Nikolić, M. Mutavdžić, S. Aleksandrović, B. Krstić, D.M., Selection of the most appropriate welding technology for hardfacing of bucket teeth. **Mater Technol Tehnol**, 49(1), 165–72,(2015)

McClelland, J. M., Jr., Proven Process for Steel Mill Waste Recovery, Ironmaking Conference Proceedings **2002. FASTMET®**:

Massalski, B., “Binary alloy phase diagrams”, **ASM, Metals Park**, Ohio (1986).

Matuschka, A.G., “Boronizing”, **Carl HanserVerlag**, München, 100 (1980).

Meriç, C., Atik, E., Türüdü, T.,Kaynakla birleştirilmiş demir esaslı toz metal parçaların kaynak bölgesinin incelenmesi, **Makin Teknolojileri Elektronik Dergisi**, ISSN:1304-4141, (4) 1-11,(2005)

Narva, V.K., Laşkareva, N.C., Pavlov, S.A., Bataşev, K.V. Poluçenieisvakvaporos kovoystali şx15 izstruj kovıxotxodov. **PoroskovayaMetallurgiya**, (8) 20-23 (1988)

Newkirk, J.W. and Kosher, R.A.,“Designing with powder metallurgy alloys, in handbook of mechanical alloy design”, **Eds. Totten, G.E., Xie, L. andFunatani, K.M., Dekker**, New York (2004).

Özyürek, D., “Mekanik alaşımlama yöntemi ile titanyum bazlı metal matris kompozit malzemelerin üretimi ve karakterizasyonu”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 20-40 (2002).

Patnaik, P., “Handbook of inorganic chemicals”, *Mc. Graw-Hill Handbooks*, New York, 119-120 (2002).

Selçuk, B., “Borlanmış AISI 1020 ve AISI 5115 Çeliklerinin sürtünme ve aşınma davranışlarının incelenmesi”, Doktora Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri (1994).

Singla, S., Kang, A.S., Grewal, J.S., Cheema, G.S., Wear Behavior of Weld Overlays on Excavator Bucket Teeth. *Procedia Mater Sci*, 5 256–66,(2014)

Smith R., “Boric Oxide, Boric Acid, and Borates”, *Ullmann’s Encyclopedia of Industrial Chemistry*, Vol A4, pp 263-280.(1995)

Suryanarayana, C., “Mechanically alloying and milling”, *Progress in Materials Science*, 46(1-2): 1-184 (2001).

Suryanarayana, C. and Al-aqeeli, N., “Mechanically alloyed nanocomposites”, *Progress in Materials Science*, 58(4): 383-502 (2013).

Tanberk, O. Toz Metalurjisinde Türkiyenin Yeri, *9. Uluslararası Metalurji Ve Malzeme Kongresi*, 229-247, İstanbul (1997)

Tunay, R.F., Varol, R. ve Yılmaz, S.S., “Borlamanın T/M çeliklerin mekanik özelliklerine etkisi.” *3. Uluslararası Toz Metalürjisi Konferansı*, 4-8 Eylül, Ankara, s.1221-1228.(2002)

Unal R, “Effects of Gas Pressure and Protrusion Length of Melt Delivery Tube on Powder Size and Powder Morphology of Nitrogen Gas Atomised Tin Powders”, *Powder Metallurgy*, **49**, No.4, 349-354 (2006)

Yılmaz Fe-Nb-B esaslı kompozitlerin üretimi ve özelliklerinin incelenmesi”(2009)

## ÖZGEÇMİŞ

Melih YILMAZ, 2013 yılında Karabük Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği bölümünde öğrenime başlamıştır. 2016 yaz stajını ELRING KLINGER AG de, 2017 stajını ise ASKAR OTOMOTİV Mitsubishi yetkili servis işletmesinde yaptı. 2018 yılında lisans öğrenimi tamamladı. 2019 yılında Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı 'nda başladığı Lisansüstü öğrenimini 2022 yılı Ağustos tarihinde tamamladı.