

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

**TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİ İLE KROM KARBÜR  
TAKVİYELİ BAKIR MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELERİN  
ÜRETİLMESİ VE AŞINMA DAVRANIŞLARININ  
İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**MEHMET MEHDİ MUNİS**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**TEZ DANIŞMANI  
Yrd. Doç. Dr. Mahir UZUN**

**BİNGÖL-2017**

T.C.  
BİNGÖL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİ İLE KROM KARBÜR TAKVİYELİ  
BAKIR MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELERİN ÜRETİLMESİ  
VE AŞINMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Mehmet Mehdi MUNİS**

**Enstitü Anabilim Dalı: Makine Mühendisliği**

**Bu tez 21.08.2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile kabul edilmiştir.**

**Doç. Dr.  
Uğur ÇALIGÜLÜ  
Jüri Başkanı**

**Yrd. Doç. Dr.  
Emine ŞAP  
Üye**

**Yrd. Doç. Dr.  
Mahir UZUN  
Üye**

**Yukarıdaki sonucu onaylarım**

**Prof. Dr. İbrahim Y. ERDOĞAN  
Enstitü Müdürü**

## ÖNSÖZ

Yüksek lisansa başladığımdan bu yana eğitimimin her aşamasındaki pusulam, bana bilimi sevdiren, gerekli cihazlarda deneyler yapmam için Bingöl Üniversitesi, Munzur Üniversitesi ve Selçuk Üniversitesi'nin ilgili laboratuvarlarını kullanmamı sağlayan ve tezimin her aşamasında desteklerini esirgemeyen değerli hocam ve tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Mahir UZUN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Selçuk Üniversitesi'nde yaptığım aşınma testlerinde desteklerini esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Hayrettin DÜZCÜKOĞLU ve Arş. Gör. Usame Ali USCA'ya, Munzur Üniversitesi'nde yaptığım sertlik ölçme deneylerinde desteklerini esirgemeyen değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Erdem IŞIK'a teşekkürlerimi sunarım.

MMF.3.16.001 numaralı proje ile tezime vermiş olduğu destekten dolayı BÜBAP'a (Bingöl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi) teşekkür ederim. Tez süresince beni motive eden amcamın oğlu Mehmet Mürşid MUNİS'e, Munzur Üniversitesi'ndeki çalışmalarımda bana eşlik eden Aziz MALKOÇ'a teşekkür ederim.

Beni maddi ve manevi destekleriyle bugünlere getiren sevgili annem ve sevgili merhum babama teşekkür ederim. Yüksek lisans süresince aksattığım ailevi sorumluluğuma rağmen benden desteklerini esirgemeyen sevgili eşim Keziban MUNİS'e, ve çalışmalarımda dağıttığım bilimsel araştırmaları hergün tek tek toplayan sevgili kızlarım Aleyna MUNİS'e, İrem Reyda MUNİS'e, Rüveyda MUNİS'e, neşe kaynaklarım kızım Sara MUNİS'e ve oğlum Muhammed Macid MUNİS'e teşekkür ederim.

**Mehmet Mehdi MUNİS**

**Bingöl 2017**

# İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ .....	ii
İÇİNDEKİLER .....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ .....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	vii
TABLolar LİSTESİ .....	x
ÖZET .....	xi
ABSTRACT .....	xii
1. GİRİŞ .....	1
2. KOMPOZİT MALZEMELER .....	4
2.1. Kompozit Malzemelerin Tarihsel Gelişimi .....	4
2.2. Kompozit Malzemelerin Tanımlanması .....	6
2.3. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması .....	6
2.3.1. Matris Malzemesine Göre Kompozit Malzemeler .....	6
2.3.1.1. Metal Matrisli Kompozit Malzemeler .....	6
2.3.1.2. Polimer Matrisli Kompozit Malzemeler .....	7
2.3.1.3. Seramik Matrisli Kompozit Malzemeler .....	7
2.3.2. Takviye Çeşidine Göre Kompozit Malzemeler .....	7
2.3.2.1. Partikül Takviyeli Kompozit Malzemeler .....	7
2.3.2.2. Fiber Takviyeli Kompozit Malzemeler .....	8
2.3.2.3. Tabakalı Kompozit Malzemeler .....	8
2.4. Metal Matrisli Kompozitler Malzemeler .....	9
2.4.1. Metal Matrisli Kompozitlerde Kullanılan Matris Malzemeleri .....	12
2.4.1.1. Alüminyum ve Alaşımları .....	12
2.4.1.2. Magnezyum ve Alaşımları .....	12
2.4.1.3. Titanyum ve Alaşımları .....	13

2.4.1.4. Bakır ve Alaşımları .....	13
2.4.2. Metal Matrisli Kompozitlerde Kullanılan Takviye Elemanları .....	14
2.4.2.1. Bor.....	15
2.4.2.2. SiC.....	15
2.4.2.3. C (Karbon) .....	15
2.4.2.4. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Alümina).....	15
2.4.2.5. TiC .....	16
2.5. Metal Matrisli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri.....	16
2.5.1. Katı Faz Üretim Yöntemleri .....	16
2.6. Katı Faz Üretim Yöntemleri .....	17
2.6.1. Toz Metalurjisi Tekniği .....	17
2.6.2. Difüzyon Bağı Yöntemi.....	18
2.7. Sıvı Faz Üretim Yöntemleri.....	19
2.7.1. Sıvı Metal İnfiltrasyon Yöntemi .....	19
2.7.2. Sıkıştırma Döküm Yöntemi .....	19
2.7.3. Plazma Püskürtme Yöntemi.....	20
2.7.4. Sıvı Metal Karıştırma Yöntemleri .....	21
2.8. Takviye Elemanı ve Matris Ara Yüzey Bağı .....	21
3. TOZ METALURJİSİ .....	22
3.1. Toz Üretimi .....	24
3.1.1. Mekanik Alaşımlama .....	26
3.2. Üretim Ekipmanları.....	29
3.3. Metal Tozlarının Sıkıştırılması .....	32
3.3.1. Sıkıştırma Teorisi.....	33
3.3.2. Sıkıştırma Yöntemleri .....	33
3.3.2.1. Kalıpta Sıkıştırma .....	33
3.3.2.2. İzostatik Sıkıştırma .....	34
3.3.2.3. Yüksek Enerjili sıkıştırma.....	35
3.3.2.4. Ekstrüzyon Yöntemi ile Sıkıştırma.....	35
3.3.2.5. Titreşim ile Sıkıştırma.....	36
3.4. Sinterleme .....	36
3.4.1. Katı Hal Sinterlemesi .....	37

3.5. Sinterleme Teorisi .....	39
3.6. Sinterleme Atmosferi ve Etkisi .....	39
4. MATERYAL VE METOD .....	40
4.1. Toz Malzemelerin Temini ve Hazırlanması.....	40
4.2. Hazırlanan Numunelerin Preslenmesi.....	42
4.3. Numunelerin Sinterlenmesi.....	42
4.4. Üretilen Numunelerin Mikroyapı ve Sertlik Analizi .....	43
4.5. Aşınma Deneyinin Yapılması .....	45
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	48
KAYNAKLAR LİSTESİ.....	67
ÖZGEÇMİŞ .....	74

## **SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ**

Al	: Alüminyum
CrC	: Krom karbür
EDX	: Enerji dağılımı spektrometresi
HP	: Sıcak pres
MPa	: Mega paskal
MMK	: Metal matrisli kompozit
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
SiC	: Silisyum karbür
TiC	: Titanyum karbür
XRD	: X-ışınları difraksiyon analizi

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Taneli kompozit .....	8
Şekil 2.2.	Lifli kompozit .....	8
Şekil 2.3.	Tabakalı kompozit .....	9
Şekil 2.4.	(a) Partikül takviyeli kompozitler, (b) Kısa fiber takviyeli kompozitler, (c) Sürekli fiber takviyeli kompozitler .....	10
Şekil 2.5.	Toz Metalurjisi prosesinin şematik gösterimi (a) Karıştırma, (b) Presleme, (c) Sinterleme .....	17
Şekil 2.6.	Sıkıştırma döküm yöntemi .....	20
Şekil 2.7.	(a) Püskürtme tekniği şematik gösterimi, (b) Püskürtme tabancası .....	20
Şekil 3.1.	Toz Metalurjisi tekniğiyle MMK Malzeme Üretim aşamaları .....	24
Şekil 3.2.	Su atomizasyonu .....	25
Şekil 3.3.	Su atomizasyonu ile elde edilen bakır tozu şekilleri .....	25
Şekil 3.4.	Gaz atomizasyonu .....	25
Şekil 3.5.	Gaz atomizasyonu ile elde edilen yüksek hız çeliği tozu şekilleri .....	26
Şekil 3.6.	Mekanik alaşımlama yöntemi .....	27
Şekil 3.7.	Mekanik alaşımlamada kavanoz sisteminin şematik gösterimi .....	27
Şekil 3.8.	Bilyelerin tozlarla çarpışmasının şematik gösterimi .....	28
Şekil 3.9.	Mekanik alaşımlama sürecinde tozlarda gerçekleşen deformasyon .....	28
Şekil 3.10.	Mekanik alaşımlamanın en sonunda meydana gelen yapı .....	29
Şekil 3.11.	Spex tipi öğütücü, (a)spex bilyalı değirmen, (b) spex 8000 tipi karıştırıcının; öğütme kabı, kapak, conta ve bilyelerden oluşan öğütme seti .....	30
Şekil 3.12.	Öğütme elemanları a) Fritsch pulveristte Premium 7 gezegen tipi öğütücü b).Öğütücü hazne ve tungsten karbür bilyeler .....	30
Şekil 3.13.	Atritör tipi (dikey) bilyeli değirmen .....	31
Şekil 3.14.	Kalıpta sıkıştırma yöntemi .....	34
Şekil 3.15.	(a) İzostatik sıkıştırma, (b) Sıcak presleme cihazı .....	35



Şekil 3.16.	Sinterleme kademeleri .....	36
Şekil 3.17.	Sinterleme sürecinde partiküller arası boyun oluşumu .....	37
Şekil 3.18.	Boyun büyümesi ile iki tozun birleşerek önceki çapın 1,26 katı olan yeni ve tek bir toz oluşumu .....	38
Şekil 3.19.	Sinterlemede gözenek yapısındaki değişim .....	39
Şekil 4.1.	Toz malzeme presleme kalıbı .....	40
Şekil 4.2.	Toz karışımın tartımı aşaması .....	41
Şekil 4.3.	Analizde kullanılan taramalı elektron mikroskobu .....	41
Şekil 4.4.	Preslenmiş toz numune .....	42
Şekil 4.5.	Sinterleme esnasında kullanılan Protherm GSL-1500X marka tüp fırın .....	43
Şekil 4.6.	Zımparalama cihazı .....	43
Şekil 4.7.	XRD cihazı .....	44
Şekil 4.8.	Numunelerin sertliğinin ölçülmesi .....	45
Şekil 4.9.	Aşınma deneyinin yapıldığı pin-on disk cihazı .....	45
Şekil 4.10.	Numunelerin Aşınma deneyine hazırlanması .....	46
Şekil 4.11.	Talaşlı imalat sonrası R4 radyusa sahip olan numune .....	46
Şekil 5.1.	Ağırlıkça; %5 CrC içeren Cu-CrC tozunun SEM görüntüsü .....	48
Şekil 5.2.	Ağırlıkça; %10 CrC içeren Cu-CrC tozunun SEM görüntüsü .....	48
Şekil 5.3.	Ağırlıkça; %15 CrC içeren Cu-CrC tozunun SEM görüntüsü .....	49
Şekil 5.4.	Ağırlıkça; %20 CrC içeren Cu-CrC tozunun SEM görüntüsü .....	49
Şekil 5.5.	Ağırlıkça %5 CrC içeren Cu-CrC tozunun EDX analizi grafiği .....	49
Şekil 5.6.	Ağırlıkça %10 CrC içeren Cu-CrC tozunun EDX analizi grafiği .....	50
Şekil 5.7.	Ağırlıkça %15 CrC içeren Cu-CrC tozunun EDX analizi grafiği .....	51
Şekil 5.8.	Ağırlıkça %20 CrC içeren Cu-CrC tozunun EDX analizi grafiği .....	51
Şekil 5.9.	Sinterleme sonunda saf Cu numunesi SEM görüntüsü .....	52
Şekil 5.10.	Sinterleme sonunda %5 CrC içeren Cu-CrC numunesi SEM görüntüsü .....	53
Şekil 5.11.	Sinterleme sonunda %10 CrC içeren Cu-CrC numunesi SEM görüntüsü .....	53
Şekil 5.12.	Sinterleme sonunda %15 CrC içeren Cu-CrC numunesi SEM görüntüsü .....	53

Şekil 5.13.	Sinterleme sonunda %20 CrC içeren Cu-CrC numunesi SEM görüntüsü .....	54
Şekil 5.14.	Sinterleme sonunda %5 CrC içeren Cu-CrC numunesi EDX görüntüsü .....	54
Şekil 5.15.	Sinterleme sonunda %10 CrC içeren Cu-CrC numunesi EDX görüntüsü .....	55
Şekil 5.16.	Sinterleme sonunda %15 CrC içeren Cu-CrC numunesi EDX görüntüsü .....	55
Şekil 5.17.	Sinterleme sonunda %20 CrC içeren Cu-CrC numunesi EDX görüntüsü .....	56
Şekil 5.18.	Sinterleme sonunda saf Cu numunesi XRD pikleri .....	57
Şekil 5.19.	Sinterleme sonunda %5 CrC içeren Cu-CrC numunesi XRD pikleri .....	57
Şekil 5.20.	Sinterleme sonunda %10 CrC içeren Cu-CrC numunesi XRD pikleri ...	57
Şekil 5.21.	Sinterleme sonunda %15 CrC içeren Cu-CrC numunesi XRD pikleri ...	58
Şekil 5.22.	Sinterleme sonunda %20 CrC içeren Cu-CrC numunesi XRD pikleri ...	58
Şekil 5.23.	CrC partikül takviye oranına göre bağıl yoğunluk değişimi .....	59
Şekil 5.24.	CrC partikül takviye oranına göre sertlik değerleri .....	60
Şekil 5.25.	50 N yük altında aşındırılan numunelerin sem görüntüsü a) %5 CrC partikül takviyeli, b) %10 CrC Partikül takviyeli, c) %15 CrC Partikül takviyeli, d) %20 parikül takviyeli numuneler .....	61
Şekil 5.26.	75 N yük altında aşındırılan numunelerin sem görüntüsü a) %5 CrC partikül takviyeli, b) %10 CrC Partikül takviyeli, c) %15 CrC Partikül takviyeli, d) %20 parikül takviyeli numuneler .....	61
Şekil 5.27.	CrC partikül takviye oranına göre aşınma çapı değişimi .....	62
Şekil 5.28.	CrC partikül takviye oranına göre aşınma derinliği değişimi .....	62
Şekil 5.29.	CrC partikül takviye oranına göre numunelerde ağırlık kaybı değişimi .....	63
Şekil 5.30.	CrC partikül takviye oranına göre numunelerde sürtünme katsayısı değişimi .....	64
Şekil 5.31.	Optik mikroskop aşınma yüzeyi görüntüsü .....	64
Şekil 5.32.	Aşınma yüzeyi SEM görüntüsü .....	65

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Havacılık endüstrisinde kullanılan MMK malzemeler ve özellikleri .....	4
Tablo 2.2.	Otomotiv endüstrisinde kullanılan MMK malzemeler ve özellikleri .....	5
Tablo 2.3.	Bazı MMK malzemelerin mekanik özellikleri .....	11
Tablo 2.4.	MMK'lerde kullanılan bazı takviye malzemelerinin özellikleri .....	14
Tablo 5.1.	Ağırlıkça %5 CrC içeren Cu-CrC tozunun EDX analiz tablosu .....	50
Tablo 5.2.	Ağırlıkça %10 CrC içeren Cu-CrC tozunun EDX analiz tablosu .....	50
Tablo 5.3.	Ağırlıkça %15 CrC içeren Cu-CrC tozunun EDX analiz tablosu .....	51
Tablo 5.4.	Ağırlıkça %20 CrC içeren Cu-CrC tozunun EDX analiz tablosu .....	52
Tablo 5.5.	Sinterleme sonunda %5 CrC içeren Cu-CrC numunesi EDX analiz tablosu .....	54
Tablo 5.6.	Sinterleme sonunda %10 CrC içeren Cu-CrC numunesi EDX analiz tablosu .....	55
Tablo 5.7.	Sinterleme sonunda %15 CrC içeren Cu-CrC numunesi EDX analiz tablosu .....	56
Tablo 5.8.	Sinterleme sonunda %20 CrC içeren Cu-CrC numunesi EDX analiz tablosu .....	56

# TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİ İLE KROM KARBÜR TAKVİYELİ BAKIR MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELERİN ÜRETİLMESİ VE AŞINMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

## ÖZET

Teknolojik gelişmeler arttıkça endüstride kullanılan geleneksel malzemeler ve üretim yöntemleri, ihtiyacı karşılamadığından farklı özelliklere sahip malzemelere ihtiyaç duyulmuştur. Bu ihtiyaçları karşılamak için de geleneksel yöntemlerden daha farklı üretim yöntemleri geliştirilmiştir. Toz metalürjisi ile üretim yöntemi, geliştirilmiş olan bu yöntemlerden biridir. Toz metalürjisi yönteminde bileşenler mekanik özelliklerini kaybetmezler. Kompozit malzemeler, birden fazla malzemenin en iyi özelliklerinin daha üstün özellikli tek bir malzemede toplanmasıyla ortaya çıkan malzemelerdir. Metal esaslı kompozitler, aşınma direncinin iyi olması, sünekliğin yüksek olması ve yüksek sıcaklıklarda çalışma olanağına sahip olduklarından endüstride çok yaygın olarak kullanılan malzemelerdir.

Bu çalışmada, CrC parçacık takviyeli bakır matrisli kompozitler toz metalürjisi tekniği ile üretilmiştir. Bakır matrisli kompozitlerin üretiminde, CrC takviye oranları ağırlıkça %5, %10, %15 ve %20 olarak kullanılmıştır. Numuneler 450 MPa yük altında 1 dakika bekletilerek preslenmişlerdir. Presleme aşamasından sonra elde edilen 15 adet numune, Protherm GSL-1500X Marka Tüp fırın kullanılarak sinterlenmişlerdir. Sinterleme işlemi 950 °C sıcaklıkta koruyucu atmosfer olarak argon gazı kullanılarak yapılmıştır. Sıcaklık 950 °C'ye 1 saat sürede çıkarılmış ve 950 °C'de numuneler 1 saat bekletilmiş ve daha sonra 1 saat soğuma süresi bittikten sonra numunelerin sinterleme aşaması tamamlanmıştır. Böylelikle 12 mm çapında metal matrisli kompozit malzemeler üretilmiştir. Sinterleme aşaması tamamlanan numunelerin mikroyapı analizi yapılmıştır. Numuneler, SEM cihazına yerleştirilerek mikroyapı fotoğrafları alınmış ve elementer dağılım analizi yapılmıştır. Daha sonra numuneler Rigaku Marka cihaza konularak XRD patternleri oluşturulmuştur. Numuneler Mitutoyo marka sertlik ölçüm cihazında sertlik deneyine tabi tutulmuşlardır. Bu aşamadan sonra aşınma testi Pin-on disk cihazında yapılmıştır. Hazırlanmış olan toplam 30 adetten 15 adedine 50 N ve diğer 15 adedine de 75 N yük uygulanmış ve her bir numunenin 2m/sn'lik sabit hızda 1000 m yol sonunda aşınma verileri alınmıştır. Bu deney sonucunda, numuneler AND HR-250AZ marka terazide tartılarak ağırlık kayıpları bulunmuştur. Daha sonra numuneler SEM cihazına konularak, aşınma sonucu numunede oluşan aşınma yüzeyi çapı ölçülmüştür, aşınma derinliği ve sürtünme katsayısı verileri alınarak, bu değerlere göre değerlendirmeler yapılmıştır. Sonuç olarak, presleme basıncının artmasıyla yoğunluğun arttığı, porozitenin azaldığı, numunelerin sertlik değerlerinin arttığı ve aşınma direncinin artış gösterdiği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Aşınma, bakır, krom, karbon, kompozit, sinterleme, toz metalürjisi.

# **PRODUCTION OF CHROMIUM CARBIDE-REINFORCED COPPER MATRIX COMPOSITE MATERIALS WITH POWDER METALLURGY METHOD AND INVESTIGATION OF WEARNESS BEHAVIORS**

## **ABSTRACT**

As technological developments have increased, traditional materials and production methods used in the industry have required materials with different characteristics as they did not meet their needs. In order to meet these needs, different production methods have been developed than traditional methods. The method of production by powder metallurgy is one of these improved methods. In powder metallurgy the components do not lose their mechanical properties. Composite materials are materials that result from the collection of the best properties of two or more materials together into a new and superior single material. Metal matrix composites are materials that are widely used in industry as they have high modulus of elasticity and abrasion resistance, high yield strength and temperature resistance.

In this study, CrC particle reinforced copper matrix composites were produced by powder metallurgy technique. In the production of copper matrix composites, CrC reinforcement ratios were used as 5%, 10%, 15% and 20% by weight. The samples were pressed under 450 MPa load for 1 minute. The 15 samples obtained after the pressing step were sintered using a Protherm GSL-1500X Brand Tube oven. Sintering was carried out at 950 °C using argon gas as the protective atmosphere. The temperature was removed at 950 °C for 1 hour and the samples at 950 °C were allowed to stand for 1 hour and then the sintering stage of the samples was completed after 1 hour of cooling down. Thus, metal matrix composite materials with a diameter of 12 mm were produced. Microstructure analysis of sintering stage completed samples was done. Samples were placed on a SEM device and microstructure photographs were taken and elementary dispersion analysis was performed. The samples were then placed on the Rigaku Brand device and XRD patterns were created. The samples were subjected to hardness test on the Mitutoyo brand hardness tester. After this step the wear test was carried out on the Pin-on disc device. A total of 30 specimens were loaded with 50 N loads for 15 specimens and 75 N loads for the other 15 specimens, and each specimen received wear data at a constant speed of 2 m / s at the end of 1000 m. As a result of this experiment, the samples were weighed on a scale of AND HR-250AZ and weight loss was found. The specimens were then placed in a SEM device and the diameter of the wear surface formed in the wear sample was measured, and wear depth and friction coefficient data were taken and evaluated according to these values. As a result, it was seen that as the pressing pressure increased, density increased, porosity decreased, hardness values of samples increased and wear resistance increased.

**Keywords:** Wear, copper, chrome, carbon, composite, sintering, powder metallurgy.

## 1. GİRİŞ

İnsanoğlu yüzyıllar boyunca daima daha iyi ve kaliteli ürünler elde etmek için hep arayış içerisinde girmiştir. Elde edilen ürünler zamanının en iyisi şeklinde değerlendirilerek teknoloji gelişmelere ışık tutmuştur.

Teknolojideki gelişmeler, endüstride kullanılan malzemelere kıyasla daha iyi özelliklere sahip yeni malzemelerin geliştirilmesi ihtiyacını doğurmuştur. Daha üstün özelliklere sahip malzemelerin ortaya çıkarılması için pek çok araştırmalar yapılmış ve neticede “Kompozit Malzemeler” adıyla yeni malzemeler üretilmiştir (Bolay 2013).

Kompozit malzemeler endüstride kullanılan malzemelere oranla dayanıklı ve ağırlıkça hafiftirler. Araştırmalar sonucu kompozit malzemelerin mekanik, iletkenlik v.b. özellikleri iyileştirilmiştir. Kompozit malzemeler en çok havacılık, otomotiv, uzay teknolojisi ve inşaat alanında kullanılmaktadır.

Kompozit malzemelerle ilgili maliyet, hafiflik, mükemmel mekanik ve termal özelliklerinden dolayı sürekli araştırma yapılmaktadır (Nazik 2013).

Kompozit malzemeler, birden fazla sayıda malzemenin üstün niteliklerinin bir araya getirilmesiyle ortaya çıkan yeni malzemedeki birleştirmek gayesiyle meydana getirilen malzemelerdir (Bolay 1998).

Metal matrisli kompozitler, metallerin yüksek süneklik ve tokluk, seramiklerin yüksek sertlik ve dayanım özelliklerini bir arada bulundurduğundan yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Durmuş 2006).

Metal matrisli kompozitlerin üretilmesinde toz metalürjisi ile üretim tekniği son yıllarda ciddi bir ivme kazanmıştır. Toz metalürjisi, tam anlamıyla metal tozlarının istenen

oranlarda karıştırılarak, oda sıcaklığında hassas kalıplarda uygun basınçlarda preslenmesi ve kontrollü sıcaklıklarda sinterlenmesiyle parça üretme tekniğidir.

Toz metalürjisi, metal tozlarının farklı yöntemlerle, küçük, hassas ve karmaşık olan, diğer klasik yöntemlerle üretilemeyen parçaların üretilmesine imkân sağlayan toz malzeme teknolojisidir (Ulutaş 2014).

Demir ve Bakır esaslı malzemeler kıyaslandığında, bakır esaslı malzemelerin daha iyi ısı iletkenlik ve sürtünme direnci gibi özellikleri vardır (Xiong 2007). Yüksek iletkenlik özelliği gösteren saf bakır, düşük mekanik özellikler göstermektedir. Bu yüzden bakırın mekanik özelliklerinin iyileştirilerek, daha iyi mekanik özellikler gösteren bakır esaslı malzemeler geliştirilmelidir. Saf bakırın içine iyi mekanik özellik partiküller takviye edilerek mekanik özellikler iyileştirilebilir (Ulutaş 2014).

Özay ve Hasçalık (2004), Cu tozu içerisine değişik oranlarda C ve %5  $Al_2SiO_5$  ekleyerek toz tekniğiyle üretilen Cu-C- $Al_2SiO_5$  kompozitin aşınması üzerinde C'nin etkisini araştırmış ve C partiküllerinin hem hacimce artırılması hem de uygulanan yükün artırılmasıyla, ağırlık kaybının arttığını belirlemişlerdir.

Dong vd. (2001), bakır matrise nano boyutlu karbon ekleyerek, ortaya çıkan kompozit malzemenin sürtünme ve aşınmasını araştırmışlardır. C oranı arttıkça aşınma mukavemetinin de arttığını gözlemlemişlerdir. İzciler ve Muratoğlu (2002), Al esaslı matrise SiC katarak değişik aşındırıcıların aşınma üzerindeki tesirini araştırmışlardır. Yük artışı ile ağırlık kaybı arasında paralel bir ilişki olduğunu belirlemişlerdir.

Tjong and Lau (2000), izostatik sıkıştırma ile bakır matrise  $TiB_2$  takviyeli kompozitin aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Saf bakırda aşınma kaybının çok fazla olduğu ve  $TiB_2$  katılan kompozitin iyi bir aşınma direnci gösterdiğini belirlemişlerdir.

Tjong and Lau (1999), izostatik sıkıştırma ile bakır matrise SiC ekleyerek aşınma davranışlarını incelemiştir. Saf bakırda aşınma kaybının çok fazla olduğu ve SiC takviyeli kompozitin daha iyi bir aşınma direnci gösterdiğini belirlemişlerdir.

Moustafa vd. (2001), bakırla kaplı ve bakır ile kaplanmamış karbon tozundan üretilen kompozitlerin aşınma ve sürtünme davranışlarını incelemişlerdir. Bakır kaplı kompozit saf bakırla kıyaslandığında, bakır kaplı kompozitin sürtünme katsayısı ve aşınma oranının düşük çıktığını belirlemişlerdir.

Singh vd. (2002), döküm tekniğiyle ürettikleri alüminyum alaşımın ve %10 sillimanite takviyeli alüminyum alaşımını, değişik aşınma teknikleriyle aşındırmışlardır. Yükün arttırılmasının ve tane boyutunun artmasının aşınma mukavemetini düşürdüğünü belirlemişlerdir.

Bu çalışmada Cu matrise CrC takviyesi yapılan ve toz metalurjisi metoduyla üretilen kompozitin sertlik deneyi ve aşınma davranışları araştırılmıştır. Bu çalışma ile verilen literatür ışığında bakır matris içerisine CrC tasarlanan kompozit, toz metalurjisi yöntemi ile üretilmiştir. Hazırlanan kompozit numunelerinin, mekanik ve elektriksel özellikleri araştırılmış ve üretilen kompozitin metalürjik karakterizasyonu belirlenmiştir. Literatürde toz metalurjisi alanında bakır matrisli, CrC takviyeli bir kompozit üretimine dair herhangi bir veriye ulaşılamamıştır.



## 2. KOMPOZİT MALZEMELER

### 2.1. Kompozit Malzemelerin Tarihsel Gelişimi

1837 yılında Gize’de bulunan çelik incelendiğinde metal kompozitlerin ilk kullanımının M.Ö. 2750 yıllarına dayandığı öne sürülmektedir. Ayrıca tarihte Çin, Tayland, Almanya, Endonezya, İngiltere, Fransa, Belçika ve İran’da çeşitli kompozit malzemeler mevcuttur. Scala, 1950-1960 yılları arasında ABD’de kompozit malzemelere olan ilginin sebeplerini üç başlıkta toplamıştır.

1-Uzay, havacılık, spor ve elektronik alandaki ürünlerde ihtiyaç duyulan hafiflik

2-Yüksek direnç ve elastiklik

3-ABD ekonomisinin geliştirilmesi

1950-1960 yıllarında Metal matrisli kompozit malzemeler üzerinde çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. 1960-1970 yılları arası Bor ve SiC v.b. dayanımı yüksek fiber katkılı metal esaslı kompozitler üzeri çalışmalar hız kazanmıştır. Metal matrisli kompozit malzemeler özellikle havacılık ve otomotiv endüstrisinde geniş bir kullanım alanına sahip olmuştur (Kalaycıoğlu 2010). Tablo 2.1 ve Tablo 2.2’de havacılık ve otomotiv endüstrisinde kullanılan MMK ve kullanım alanları belirtilmektedir.

Tablo 2.1. Havacılık endüstrisinde kullanılan MMK malzemeler ve özellikleri (Akın 2006)

<b>Kompozit</b>	<b>Kullanım Alanı</b>	<b>Avantajları</b>
Al-SiC Partikül	Uçak omurga ve iskeleti	Aşınma direnci
Al-Karbon fiber	Uçak motorları	Termal kararlılık ve sürünmeye karşı direnç
Mg-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> fiber	Uçak motorları	Termal kararlılık Sürünmeye karşı direnç
Al-Ti / Be	Helikopter pervane shaftı	Mukavemet
Ti-Al / Karbon fiber	Roket motorları	Termal kararlılık
Ti / Mo fiberler	Set üstü uçak roketi fırlatıcısı	Yüksek servis sıcaklığı
Al-Ti-V Bor fiber	Türbin kanatları	Yüksek mukavemet, sürünme direnci
Ti-Al / SiC	Turbojet motor aksamları	Yüksek mukavemet, sürünme direnci

Tablo 2.2. Otomotiv endüstrisinde kullanılan MMK malzemeler ve özellikleri (Akın 2006)

<b>Kompozit</b>	<b>Uygulamalar</b>	<b>Avantajlar</b>
Al-SiC Partikül	Piston, fren balatası, şaftlar	Hafiflik, aşınma direnci
Al-SiC whisker	Bağlantı rotaları	Yüksek spesifik mukavemet ve direnç, düşük genleşme
Mg-SiC partikül	Makaralar, motor bloğu	Aşınma direnci ve termal direnç
Al-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kısa fiber	Piston halkası, yanma odası	Aşınma direnci, yüksek servis sıcaklığı
Al-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> uzun fiber	Bağlantı rotaları	Yüksek spesifik mukavemet ve direnç, düşük genleşme
Cu-Grafit	Elektrik Malzemeleri	Düşük sürtünme ve aşınma, düşük genleşme katsayısı
Al-TiC	Silindir, rulman	Düşük aşınma ve hafiflik
Al-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> C fiber	Motor bloğu	Hafiflik, yüksek mukavemet ve aşınma direnci

Teknoloji ve Endüstrideki gelişmeler daha üstün özellikli malzemelere olan ihtiyacı arttırmış, farklı ve üstün özellik gösteren yeni ürünler üzerine araştırmalar yoğunlaşmıştır.

Bu çalışmaların neticesinde kompozit malzemeler üretilmiştir. Yüksek direnç ve elastiklik modülü, ısıl genleşme katsayısı düşük olan üstün özellikler kompozit malzemelerin kullanım alanını yaygınlaştırmıştır (Ray and Kannikeswaran 1989). Hem katı toz tekniğinde hem de sıvı metal infiltrasyon teknikleri ile üretimde metal esaslı kompozitler başarılıdır. Kompozit malzemeler için hafif metaller ve bunların alaşımları en ideal matris malzemesidir. Bu özelliklerinden dolayı piyasada genelde tercih edilen matris malzemeleri Al, Ti, Mg, Ni, Cu ve Zn'dir (Taya and Arsenault 1987).

Kullanılacak alana göre malzemeye istenen özellikleri kazandırmak için birden fazla malzemenin bir araya getirilmesiyle üretilen yeni ve üstün özellikli malzemeler kompozit malzeme olarak adlandırılmaktadır (Hiçyılmaz 1999).

Kompoziti oluşturan bileşenler birbiri içinde çözülmez. Kompozit malzeme bileşenler kendi yapısal özelliklerini korudukları gibi ayrıca fiziksel özellikleri gözlemlenebilir ve ara yüzey rahatlıkla gözlemlenebilir (Şahin 1999).

## **2.2. Kompozit Malzemelerin Tanımlanması**

Kompozit malzemeler, matris malzeme ve takviye elemanı arasında kimyasal bir reaksiyon olmadan ve mekanik özelliklerini koruyan ve birbirinden farklı şekil ve özelliklere sahip birden fazla bileşenin karışımı veya birleşiminden meydana getirilen malzeme sistemi olarak adlandırılmaktadır.

Kompozit bir malzemenin taşınması gereken özellikler;

- a. Birbirinden farklı iki veya ikiden fazla bileşenin bir araya gelmesiyle üretilmesi
- b. Kompozitin bileşenlerinin prslmeme ve sinterleme sonrası tüm boyutlarıyla kaynaklaşması
- c. Kompozite, bileşenlerinde tek başına bulunmayan üstün özellikler sağlaması (Kalaycıoğlu 2010).

## **2.3. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması**

Kompozitler, takviye elemanı ve matris malzemesi göre iki grupta sınıflandırma yapılabilir.

### **2.3.1. Matris Malzemesine Göre Kompozit Malzemeler**

Matris malzemesine göre kompozit malzemeler;

- a. Seramik matrisli kompozitler
- b. Metal matrisli kompozitler
- c. Polimer matrisli kompozitler olarak üç sınıfta incelenmektedir (Ögel 1997).

#### **2.3.1.1. Metal Matrisli Kompozit Malzemeler**

Seramik malzemenin yüksek elastiklik ve yüksek mukavemet modülü özellikleri ile metallerin tokluk ve süneklik özelliklerinin biraraya gelmesiyle ortaya çıkan metal matrisli kompozitler yüksek sıcaklıklarda ve yüksek aşınma dirençlerinde kullanılacak özelliklere sahiptirler (Atik vd. 2006).

Hafif metaller matris malzemesi olarak metal matrisli kompozitlerde önemli bir tercih sebebidir. Alüminyum ve alaşımları ilk sıradadır. Alüminyumun tercih edilme sebebi yoğunluk ve ergime sıcaklığının düşük olması ve seramik takviye elemanlarını kolay ıslatmalarıdır (Hiçyılmaz vd. 1999).

### **2.3.1.2. Polimer Matrisli Kompozit Malzemeler**

Polimer esaslı kompozitler, diğer kompozitlere göre daha basit bir üretime sahip ve ucuz olduğundan kullanımı yaygındır. Polimer matrisli kompozitlerde, polyester, epoksi, poliamid, polietilen gibi plastikler kullanılmaktadır (Sınmazçelik 2003).

Polimer kompozitler uçak sanayi ve spor malzemeleri gibi üretim alanlarında cam, karbon ve aramid takviyeli polimer kompozitler kullanılmaktadır.

### **2.3.1.3. Seramik Matrisli Kompozit Malzemeler**

Yüksek sıcaklıklarda çalışacak malzemeler için genelde seramik matrisli kompozitler tercih edilirler. Sert ve kırılındırlar. Kopma uzaması ve tokluğu düşüktür. Yoğunluğu düşük olup yüksek elastiklik modülüne ve yüksek çalışma sıcaklığına sahiptir (Kalaycıoğlu 2010).

## **2.3.2. Takviye Çeşidine Göre Kompozit Malzemeler**

### **2.3.2.1. Partikül Takviyeli Kompozit Malzemeler**

Partiküller tek tip, kübik, küresel ve farklı tip şekillere sahip olup matris içerisine rastgele veya yönlendirilmiş şekilde eklenmektedir (Sınmazçelik 2003). Partikül takviyeli kompozit malzemeler performansları iyi ve maliyetleri düşüktür (Şekil 2.1).  $Al_2O_3$ , SiC kompozit malzemelerde en fazla kullanılan takviye partiküllerdir (Şahin 2000).



Şekil 2.1. Taneli kompozit (Deniz 2005)

### 2.3.2.2. Fiber Takviyeli Kompozit Malzemeler

Yük taşıma kapasitesinin yüksek olduğu malzemelerde matris içerisine elastiklik modülü ve mukavemeti yüksek olan fiberlerin takviyesiyle fiber takviyeli kompozit malzemeler oluşmaktadır (Şekil 2.2). Fiber takviyeli kompozit malzemelerde fiberlerin mukavemeti yüksek olduğundan matris malzemesine uygulanan yükü büyük ölçüde fiberlere transfer etmektedir. Fiberler kompozit içerisine sürekli tek yönlü, rastgele yerleştirilmiş, ortagonal ve açılı yerleştirilmiş olarak dağıtılmaktadır (Sınmazçelik 2003).

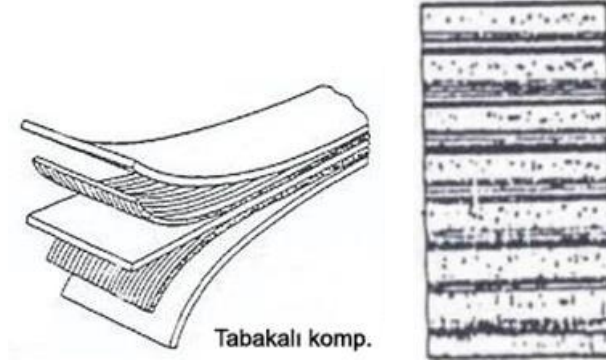


Şekil 2.2. Lifli kompozit (Deniz 2005)

### 2.3.2.3. Tabakalı Kompozit Malzemeler

Kullanım alanlarına göre farklı şekillerde tasarlanabilen tabakalı kompozit malzemeler (Şekil 2.3), farklı yapısal özelliklere sahip tabakaların yan yana veya üst üste getirilerek

hedeflenen yük taşıma kapasitesi, aşınma direnci ve korozyon dayanımı gibi özellikler kazandırılmaktadır.



Şekil 2.3. Tabakalı kompozit (Kalaycıoğlu 2010; Deniz 2005)

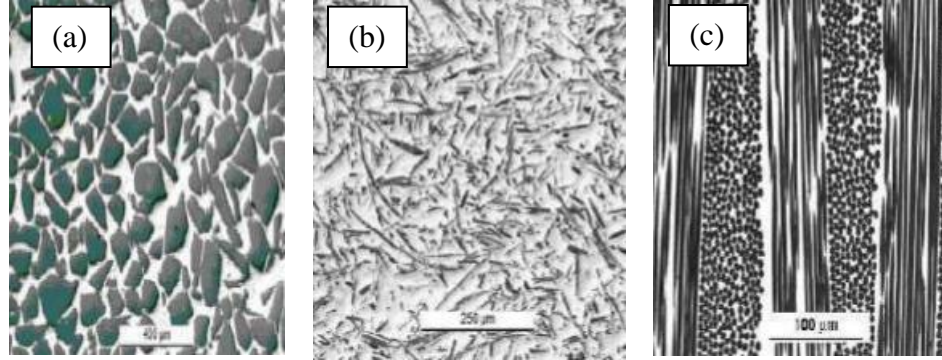
#### 2.4. Metal Matrisli Kompozitler Malzemeler

En az bir tanesi metal, birden fazla malzemenin karıştırılmasıyla ortaya çıkan yeni malzemeler metal matrisli kompozitler olarak adlandırılırlar. Metal matrisli kompozitler, tek başına sahip olmadığı özellikleri kazandırmak için, metal matris içerisine sürekli veya kısa fiber, whisker veya partikül şeklinde takviye edilen metal matrisli kompozitler 3 grupta toplanmaktadır.

1. Partikül takviyeli matrisli kompozitler
2. Whisker veya kısa fiber takviyeli MMK
3. Sürekli fiber takviyeli MMK (Şekil 2.4)

Söz konusu metal esaslı kompozit malzemelerin kendi başına farklı üstünlükleri ve zayıflıkları mevcuttur. partikül takviyeli metal matrisli kompozitlerin maliyetleri düşük olmakla beraber rijitlikte kayda değer gelişme ve izotropik özellikler gösterdiler fakat mukavemette sınırlılıkları vardır. Kopmadaki şekil değişikliği ve kırılma tokluğu, düşüklüğü zayıf yönleridir. Kısa fiber takviyeli metal matrisli kompozitler partikül takviyeli kompozitlere göre pahalı fakat yüksek mukavemetlidir. Sürekli fiber takviyeli metal matrisli kompozitlerin elastiklik modülü ve mukavemeti çok iyi olmakla beraber özellikleri anizotropiktir. Bu kompozitlerde fiber ve kompozitlerin üretim maliyetlerinin

yüksek olması tercih edilmesinde zayıflık olarak karşımıza çıkmaktadır (Cöcen ve Önel 1996).



Şekil 2.4. (a) Partikül takviyeli kompozitler, (b) Kısa fiber takviyeli kompozitler, (c) Sürekli fiber takviyeli kompozitler (Kalaycıoğlu 2010)

Tam olarak kullanılacak alandaki en iyi kompoziti elde etmek için metal matrisli kompozitteki bileşenlerle ilgili iyi bir bilgiye sahip olunmalıdır. Metal matrise eklenecek takviye elemanının kimyasal yapısı, boyutu, şekli gibi yapısal ve özgün özellikler önem arz etmektedir. Ayrıca metal matrisin taşıdığı özelliklerde çok önemlidir. Matris ve takviye alaşımının kimyasal uyumluluğu da ayrı bir öneme sahiptir (Akorald vd. 2002).

Geliştirilen ilk metal matrisli kompozit bor fiberleriyle takviyelendirilmiş alüminyum alaşımlardır. Tablo 2.3’de SiC ve bor takviyeli birkaç alüminyum kompozit malzemenin mekanik özellikleri verilmiştir. Hacim olarak %51 bor takviyesi, alüminyum alaşımının çekme dayanımını 310 MPa’dan 1417 MPa’a yükseltmiş ve çekme modülünü ise 69 GPa’dan 231 GPa’a yükseltmiştir. Yine Tablo 2.3’de %20 SiC partikül takviyeli alüminyum matrisli kompozitin çekme dayanımı 310 MPa’dan 496 MPa’a çekme modülünü de 69 GPa’dan 103 GPa’a yükselttiği görülmektedir. Döküm yöntemi ve toz metalürjisi ile üretilen kompozitler genelde otomotiv sanayiinde tercih edilmektedir (Cöcen ve Önel 1996; Smith 2001).

Tablo 2.3. Bazı MMK malzemelerin mekanik özellikleri (Smith 2001)

<b>Metal Matrisli Kompozit Malzeme</b>	<b>Çekme Dayanımı (MPa)</b>	<b>Elastiklik Modülü (GPa)</b>	<b>Kopmadaki Uzama Miktarı (%)</b>
Al2024-T6 (%45 Bor)	1458	220	0,810
Al6061-T6 (%51 Bor)	1417	231	0,735
Al6061-T6 (%47 Bor)	1462	204	0,89
Sürekli fiberli (fiber yönünde özellikleri)			
Al2124-T6 (%20SiC)	650	127	2,4
Al6061-T6 (%20SiC)	480	115	5
Süreksiz fiberli			
Al2124-F (%20SiC)	552	103	7,0
Al6061-F (%20SiC)	496	103	5,5
Partikül Takviyeli			
Al2124-F	455	71	9
Al6061-F	310	68,9	12
Güçlendirilmemiş			

Metallere nazaran metal matrisli kompozitler çok daha üstün özellikler taşırlar.

Metal matrisli kompozitlerin avantajları;

- Mukavemet / yoğunluk yüksektir.
- Elastiklik modülü / yoğunluk oranı yüksektir
- yüksek sıcaklıklarda mukavemetini iyi koruyabilme
- Sürünme oranı düşüklüğü
- Yüksek aşınma direnci
- Termal genleşme katsayısının düşük olması

Metal matrisli kompozitlerin dezavantajları

- Sürekli fiber takviyesinde (döküm yöntemleri hariç) karışık ve zor üretim aşamaları
- Süneklik olayının metallere göre az olması
- Yeni bir teknoloji olduğundan üreticilerin tecrübesizliği (Varol 2012).



### 2.4.1. Metal Matrisli Kompozitlerde Kullanılan Matris Malzemeleri

Metal matrise sahip kompozitlerde genel olarak hafif metaller matris olarak kullanılmaktadır. Matris malzemesi olarak alüminyum ve alaşımları en çok tercih edilendir. Alüminyum ve alaşımlarının tercih edilme sebebi yoğunluğun düşük olması, ergime sıcaklığının düşük olması ve seramik takviyeleri rahatlıkla ıslatmalarıdır (Hiçyılmaz vd. 1999; Şahin 2000).

Kompozit malzemelerin üretiminde yüksek performans elde etmek için matris, takviye elemanlarını iyi ıslatmalı, oluşan ara yüzey bağı iyi olmalı ve kısa sürede katılaşabilmelidir. Ayrıca matris malzemesi ve takviye elemanı arasında kimyasal bir reaksiyon olmamalı ve matris kararlı olmalıdır. Metal matrisli kompozitlerde genelde Ti, Al, Mg, Zn, Cu, Ni ve Co gibi metaller ve onların alaşımları matris malzemesi olarak kullanılır. Yaygın olanları Al, Ti, Mg ve alaşımlarıdır ( Ünlü vd. 2007).

#### 2.4.1.1. Alüminyum ve Alaşımları

Kompozitlerde Alüminyum ve alaşımları, metaller içerisinde en çok tercih edilen malzeme grubudur. Saf alüminyum, düşük mekanik özellikler göstermesi ve döküm kabiliyetinin kötü olması gibi istenmeyen özellikler taşır fakat alaşımlama yapıldığında bu özellikler iyileştirilebilmektedir.

Alüminyum alaşımlarının tercih sebebi

- a. Dayanım özgül ağırlık oranı yüksekliği
- b. Elektriksel iletkenlik-özgül ağırlık oranı yüksekliği
- c. Korozyona karşı dirençli olmaları
- d. Elastiklik durumunun daha iyi olması (Şahin 2000).

#### 2.4.1.2. Magnezyum ve Alaşımları

Magnezyum ve alaşımlarının hafif olması endüstriyel uygulamalarda ileride dah fazla yaygınlaşacağı öngörülmektedir. Buna paralel magnezyum matrisli kompozit malzemelerin kullanımı yaygınlaşacaktır. Magnezyum  $1.74\text{gr/cm}^3$  yoğunluğa sahip olup

ağırlıkça alüminyumun 2/3, demirin 1/4 ü bakır ve nikelin 1/5 i ağırlığındadır. Alüminyum alaşımlandırıldığında daha iyi mekanik özellikler gösterirler. Mg alaşımları yüksek özgül dayanım, iyi dökülebilme özelliği ve yüksek sönümlenme kapasitesi taşırlar. İyi kaynak kabiliyeti ve düşük ergime sıcaklığı (650 °C) olan Mg, doğada oldukça yaygın bir şekilde bulunmaktadır (Altun ve Şen 2006). Mg, alüminyuma oranla mukavemeti düşük fakat spesifik dayanımı daha iyidir. Mg alaşımlarının sertleşebilen ve sertleşmeyen türleri mevcut olup iyi dökülebilirlik özelliği taşırlar. Al ve Mg gibi aşınma direnci düşük metal esaslı partikül takviye edilmesi veya yağlayıcılar eklenerek aşınma mukavemetleri arttırılabilir (Cöcen ve Önel 1996; Şahin 2000).

#### **2.4.1.3. Titanyum ve Alaşımları**

Matris malzemesi olarak metal esaslı kompozitlerde geniş bir kullanım alanı vardır. Ti korozyona karşı yüzeyinde ince bir TiO<sub>2</sub> tabakası oluşturarak yüksek dayanım özelliği gösterir. Ti ve alaşımları bu özelliği sebebiyle vücut içerisine takılan medikal malzemelerde tercih sebebidir. Mukavemet/özgül ağırlık oranı çok iyi olduğundan uçak ve uzay endüstrisinde geniş bir uygulama alanına sahiptir (Varol 2012).

Pahalı olması ciddi bir dezavantajdır. Isıl genleşme katsayısı çok düşük olup yüksek sıcaklık uygulamalarında Ti ve alaşımları çok yüksek performans gösterirler. Metal matris malzemesi olarak Ti alaşımları kullanımında takviye malzemesi ile iyi bir kaynaklaşma sağladığında ara yüzey mukavemeti artar. Kompozit malzemelerde geniş kullanım alanı bulunan Ti alaşımlı matris malzemeleri, Ti-6Al-4V, Ti-15V-3Cr-3Sn-3Al ve Ti-17Mo alaşımlarıdır. Ti matrisli kompozitlerde en çok tercih edilen takviye malzemesi TiC ve SiC'dir (Cöcen ve Önel 1996; Şahin 2000).

#### **2.4.1.4. Bakır ve Alaşımları**

Bakır ve alaşımları elektrik iletkenliğinin çok iyi olması sebebi ile elektrik ve elektronik sanayiinde geniş bir uygulama alanına sahiptir. Bakır matrise grafit partikül takviyesi yapılarak düşük termal genleşme katsayısı ve iyi iletken malzemeler elde etme imkanı sağlar. Bakır yine iletken olan alüminyuma göre daha pahalı olması bakıra önemli bir dezavantaj sağlar. Bakır alaşımlı matrise grafit partikül takviye edilerek aşınma ve

sürtünme özellikleri geliştirilebilir. Bakır ve alüminyum alaşımlarının içerisine grafit eklendiğinde sönümlenme kapasitesi ciddi oranda artar (Cöcen ve Önel 1996).

#### 2.4.2. Metal Matrisli Kompozitlerde Kullanılan Takviye Elemanları

Tablo 2.4. MMK'lerde kullanılan bazı takviye malzemelerinin özellikleri (Toptan 2006)

Takviye Malzemesi	Yoğunluk ( $\times 10^3 \text{kgm}^{-3}$ )	Isıl Genleşme Katsayısı ( $10^{-6} \text{C}^{-1}$ )	Ergime sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ )	Mukavemet (MPa)	Elastiklik Modülü (GPa)
$\text{Al}_2\text{O}_3$	3,98	7,92	2100	221(1090 $^{\circ}\text{C}$ )	379(1090 $^{\circ}\text{C}$ )
SiC	3,21	5,40	2750	-	324(1090 $^{\circ}\text{C}$ )
C	2,18	-1,44		-	690
$\text{SiO}_2$	2,66	<1,08	1710	-	73
AlN	3,26	4,84	2375	2069(24 $^{\circ}\text{C}$ )	310(1090 $^{\circ}\text{C}$ )
$\text{B}_4\text{C}$	2,52	6,08	2420	2759(24 $^{\circ}\text{C}$ )	448(24 $^{\circ}\text{C}$ )

Metal matrisli kompozitlerin üretiminde takviye elemanı seçimi, takviye elemanının matris tarafında ıslatılabilmesi üretim yöntemi, ve takviye elemanının yapısal özelliği kompozitin mekanik ve fiziksel özelliğini belirler. Takviye elemanının seçimi ve özellikleri çok iyi bilinmelidir. Bazı takviye malzemelerinin özellikleri Tablo 2.4'de gösterilmektedir. Genelde MMK'da takviye malzemesinden istenen özellikler;

- Üretim kolaylığı
- Düşük maliyet
- Yüksek sıcaklıkta dayanım
- Matris ve takviye elemanının kimyasal uyumu
- Düşük yoğunluk
- Yüksek modül ve dayanım

Metal matrisli kompozitlerde takviye elemanı olarak  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , SiC, Bor, TiC ve C geniş kullanım alanına sahiptir (Şahin 2000). Metal matrisli kompozitlerde kullanılan sırasıyla Bor, SiC, C ve  $\text{Al}_2\text{O}_3$  en pahalı takviye elemanlarıdır.

#### 2.4.2.1. Bor

- a. Yeryüzündeki en hafif malzemelerden biridir.
- b. Bor fiberler çok yüksek elastiklik modülüne sahiptir
- c. Pahalıdır (Sınmazçelik 2003).

#### 2.4.2.2. SiC

- a. SiC malzemelerde kovalent bağlar olduğundan SiC fibere yüksek elastiklik modülü katar
- b. Yaklaşık 1400<sup>0</sup>C sıcaklıkta kullanılabilirler
- c. Yüksek sıcaklıklarda dahi özelliklerini muhafaza edebilirler.
- d. Borla kıyaslandığında daha ekonomiktir.
- e. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e oranla termal genleşme katsayısı daha düşüktür (Sınmazçelik 2003).

#### 2.4.2.3. C (Karbon)

- a. Düşük yoğunluk
- b. Yüksek çekme dayanımı ve elastiklik modülü
- c. Yüksek sıcaklıklara karşı dayanıklıdır
- d. Düşük ısıl genleşme katsayısı
- e. 1500<sup>0</sup>C ye kadar mekanik özelliklerini korurlar (Aran 1997).

#### 2.4.2.4. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Alümina)

- a. Yüksek sıcaklık dayanımı
- b. Yüksek modül ve rijitlik
- c. SiC ile kıyaslandığında daha yüksek yoğunluğa sahiptir.
- d. SiC ile kıyaslandığında dayanımı düşüktür.
- e. SiC ile kıyaslandığında maliyet açısından daha ekonomiktir (Kalaycıoğlu 2010).

#### **2.4.2.5. TiC**

Yüksek sıcaklıklarda mekanik özelliklerini korumasından dolayı Kompozitlerde tercih edilen TiC, aynı zamanda iyi sürünme dayanımı ve yüksek direnç gibi özelliğini korurlar. TiC'in yaygın kullanımını engelleyen en önemli husus yoğunluğunun fazla olmasıdır (Sınmazçelik 2003).

### **2.5. Metal Matrisli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri**

Geleneksel malzemelere oranla üstün mekanik özellikler göstermesi metal matrisli kompozit malzemelerin üretim tekniği açısından daha cazip kılmıştır. Fakat üretim maliyetleri geleneksel malzemelere göre hala yüksektir. Üretilecek parçanın şekli, istenen mekanik ve fiziksel özellikler, matris, takviye elemanı türü ve şekli metal matrisli kompozitlere üretim tekniğini belirler. Tüm üretim yöntemlerinin kendine has avantaj ve dezavantajları vardır. Metal matrisli kompozit malzemelerin üretim teknikleri;

1. Sıvı üretim yöntemleri
2. Katı üretim yöntemleri
3. Diğer yöntemler olarak sınıflandırılabilir.

#### **2.5.1. Katı Faz Üretim Yöntemleri**

1. Difüzyon bağı yöntemi
2. Toz metalurjisi tekniği

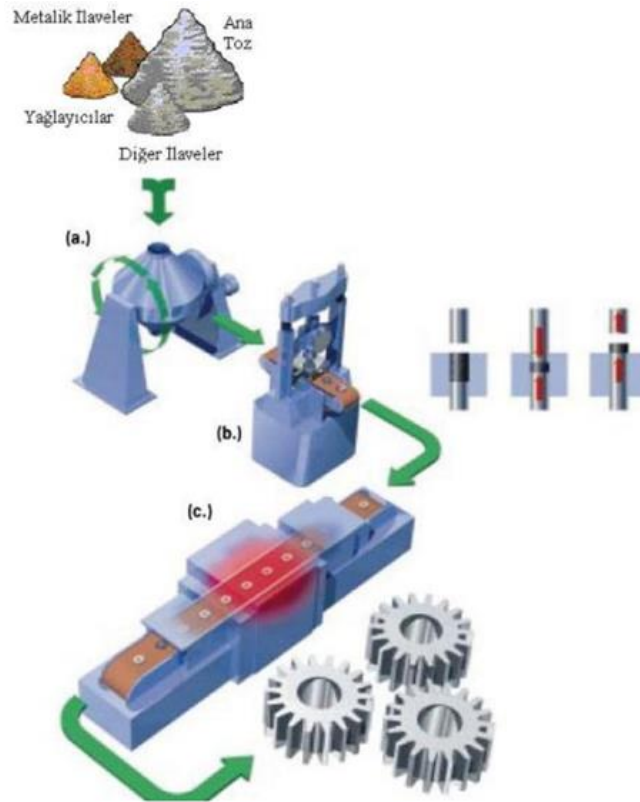
#### **2.5.2. Sıvı Faz Üretim Yöntemleri**

1. Sıvı metal karıştırma
2. Plazma püskürtme
3. Sıvı metal infiltrasyonu
4. Sıkıştırma döküm

## 2.6. Katı Faz Üretim Yöntemleri

### 2.6.1. Toz Metalurjisi Tekniği

Toz metalürjisi tekniği metal esaslı kompozitlerin üretilmesinde en çok tercih edilen yöntemdir. Bu üretim yönteminde toz halindeki metal ile partikül veya whisker takviye elemanları kullanılarak yeni bir malzeme olan metal matrisli kompozit malzeme üretilir. Al, Ti ve Cu ise en yaygın kullanılan matris malzemeleridir (Şahin 2000). Toz metalürjisi ile Metal esaslı kompozitlerin üretim işlem basamakları Şekil 2.5’de verilmiştir.



Şekil 2.5. Toz Metalurjisi prosesinin şematik gösterimi (a) Karıştırma, (b) Presleme, (c) Sinterleme (Tomruk 2010)

Toz metalürjisi yönteminde matris ve takviye elemanı tozları karıştırılarak homojen bir dağılım sağlanır ve istenen şekli verecek kalıbın içine boşaltılır. Kalıp içerisine boşaltılan toza basınç uygulanarak sıkıştırılır. Tozlar arasında birleşmeyi daha kolay hale getirmek için preslenmiş toz karışımı katı hal difüzyonu oluşturacağı şekilde ergime sıcaklığının altında fırınlanarak sinterlenir. Ayrıca yaygın olarak sıcak presleme (HP) de

kullanılmaktadır. Sıcak preslemede sinterleme ve toz sıkıştırma aynı anda yapılır. Sıcak preslemede yoğunluk artar ve matris-takviye ara yüzey bağı daha da kuvvetlenir. Bir diğeri ise izostatik sıcak sıkıştırma. Bu yöntemde yüksek yoğunluklu ve son şekle yakın malzeme üretilir. Fakat maliyetlidir (Akoral vd. 2002).

Toz metalurjisi yönteminde malzemeler sıvı faz üretim yöntemleri ile üretilen malzemelere oranla daha iyi mekanik özellikler gösterirler. Partikül takviyeli metal esaslı kompozit üretilirken toz metalurjisinin tercih edilme sebepleri; Toz metalurjisi tekniğinde kompozit malzeme üretilmesi işlemi düşük sıcaklıklarda gerçekleştiğinden takviye ve matris arasındaki etkileşim az olduğundan mekanik özelliklerin düşmesine sebep olan ve istemediğimiz ara yüzey etkileşimleri minimize edilmektedir.

Matris içerisinde takviye elemanının homojen dağılımı ancak toz metalurjisi tekniği ile geliştirilebilir. Döküm yöntemlerinde tam homojen olmayan parçacık dağılımı oluşur. Toz metalurjisi tekniği ile whisker veya parçacık katkılı kompozit üretimi, döküm yöntemine göre kolay ve homojen yoğunluğa sahip kompozit üretilmektedir. Toz metalurjisi tekniğinde takviye partiküllerinin kontrollü ve yapının kontrolü mümkündür.

Toz metalurjisinin bazı dezavantajları vardır. Toz formundaki matris ve kısa fiber takviyesinin karıştırılması esnasında kısa fiberlerin kırılması mümkündür. Sinterleme sonrası ekstrüzyon, haddeleme veya dövme gibi ikincil işlemler parçaya son şekli vermek için geçerlidir. Ayrıca toz kullanılması ciddi bir temizlik ister. Aksi durumda artıklar, yabancı madde vb. malzemenin içerisine karışarak mekanik özellikleri olumsuz etkilerler (Akoral vd. 2002).

### **2.6.2. Difüzyon Bağı Yöntemi**

Kompozit malzeme üretim yöntemlerinden en pratiğidir. Vakumda pres tekniği de denilmektedir. Bu teknikte matris, levha veya metal folyo şeklindedir. Bu yöntemde metal folyo üzerine takviye elemanları istenilen miktarda ve istenilen açıda yerleştirilerek ergime sıcaklığının hemen altında bir sıcaklıkta presleme veya haddeleme ile matris ve takviye arasında bir bağ oluşturularak kompozit üretilmektedir. Bu yöntemde kompozitin mukavemeti iyi bir difüzyon bağıyla alakalıdır. İyi bir bağ için takviye elemanı

ve matris malzeme yüzeyi oksitsiz ve temiz olmalıdır. Bu sebeple kimyasal bir temizlik işlemi yapılmalıdır.

Difüzyon bağı yönteminde işlemler sıvı faz üretim yöntemine göre daha düşük sıcaklıklarda gerçekleştiğinden sıvı faz üretim yönteminde karşılaşılan takviye malzemesinin ayrışma ve bozulmasıyla pek karşılaşılmamaktadır. Bu yöntem oldukça pahalı olup difüzyon bağı yönteminde takviye elmanı olarak SiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, B ile C matris malzemesi olarak Al ve Ti alaşımları kullanılmaktadır (Kalaycıoğlu 2010).

## **2.7. Sıvı Faz Üretim Yöntemleri**

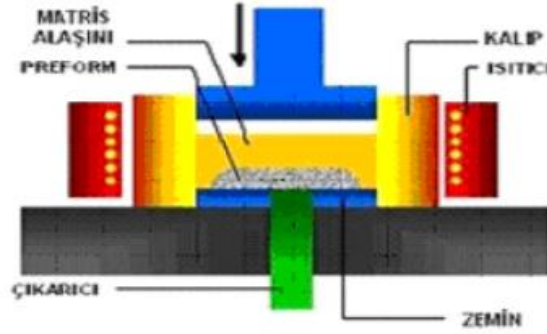
### **2.7.1. Sıvı Metal İnfiltrasyon Yöntemi**

Metal mesaslı kompozit malzemelerin üretiminde sık bir şekilde kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem bir kalıp veya başka bir şey içerisine önceden yerleştirilmiş fiberlerin arasına sıvı haldeki metal matrisin emdirilmesi işlemidir. Ergiyik metal kalıp içerisine emdirildikten sonra katılaşmaya bırakılır Fiberler arası mesafe az olduğunda ergiyik metal basınç altında yahut vakumla emdirilir. Bu şekilde matrisin fiberler arasına girerek açığa çıkabilecek atıl gazlar yapı içerisinde kalmayarak dışarı atılmış olurlar. Son ürün şekline yakın üretim, hızlı ve yüksek üretim kapasitesi gibi üstünlükleri nedeniyle metal matrisli kompozit malzeme üretim teknikleri içerisinde ciddi bir yere sahiptir. Vakum altında işlem görmesi fiberlerin yüzey aktivitesini arttırmasıyla ergiyik metalin ıslatabilirliği artmakta bu da metal matrisli kompozitin kalitesini arttırmaktadır (Ahlatçı vd. 2003; Akgün vd. 2004).

### **2.7.2. Sıkıştırma Döküm Yöntemi**

Sıkıştırma döküm yöntemi (Şekil 2.6), kalıp içerisine önceden yerleştirilen ve ön ısıtmaya maruz kalmış fiber, seramik veya başka bir takviye elemanından oluşturulan, istenen şekilde konumlandırılmış takviye elemanına ergimiş metalin emdirilmesi sonrası yüksek basınç uygulanarak katılaştırma tekniğidir (Şahin 2004).



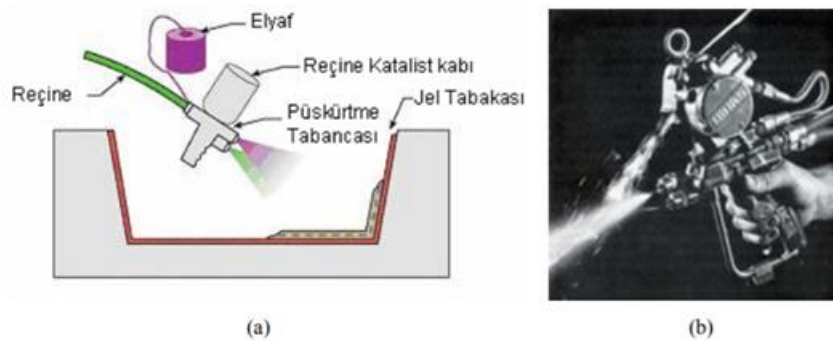


Şekil 2.6. Sıkıştırma döküm yöntemi (Kalaycıoğlu 2010)

Sıkıştırma döküm yönteminde uygulanan basınç miktarı ve kalıp ön ısıtma sıcaklığı üretilen kompozitin kalitesini etkileyen değişkenlerdir (Şahin 2004).

### 2.7.3. Plazma Püskürtme Yöntemi

Ergiyik metalin takviye elemanları üstüne üretilecek malzemenin durumuna göre istenilen kalınlıkta püskürtülmesi işlemine plazma püskürtme yöntemi denir (Şekil 2.7). Bu yöntemde püskürtülmüş ergimiş metal parçacıkların takviye elemanına yapışması sonrası hızlı bir şekilde katılaşma başlar. Bu teknik ergime sıcaklığı düşük alüminyum v.b. metallere uygulanır. Sıvı faz üretim yöntemlerinin dezavantajı olan matris-takviye arasında gerçekleşen ara yüzey reaksiyon problemleri plazma püskürtmede ergimiş metal parçacıkları takviye elemanına temas etmesiyle hemen katılaştığından minimum düzeydedir. Al-B kompozit malzemeler ve Al-SiC partikül takviyeli kompozitlerde plazma püskürtme tercih edilmektedir (Kalaycıoğlu 2010).



Şekil 2.7. (a) Püskürtme tekniği şematik gösterimi, (b) Püskürtme tabancası (Deniz 2005)

#### **2.7.4. Sıvı Metal Karıştırma Yöntemleri**

Bu teknikte ön ısıl işlem yapılmış ve ön işlemlerden geçerek hazırlanan takviye malzemelerin ergitilmiş metal içine farklı tekniklerle katılması ve döküm yapılması tekniğidir. Takviye elemanının ergitilmiş metal içerisine karıştırılması yöntemlerinden bazıları şunlardır;

1. Ergitilmiş metal içerisine takviye elemanının enjeksiyon tabancasıyla enjekte edilmesi
2. Ergitilmiş metalin kalıba dökülmesi esnasında takviye elemanının ilavesi
3. Ergitilmiş metal içerisinde mekanik bir karıştırıcı kullanılarak vorteks oluşturulması ve takviyenin vorteks içine katılarak karışımın sağlanması
4. Ergitilmiş metalin açık atmosferden gaz alma problemi oluşacağından karıştırma işleminin koruyucu gaz veya vakum altında yapılması önerilmektedir (Ürkmez 2004; Akdoğan 2005).

#### **2.8. Takviye Elemanı ve Matris Ara Yüzey Bağı**

Takviye elemanı ve matris ara yüzeyinde oluşan bağı kompozit malzemenin mekanik ve fiziksel özellikleri üzerinde büyük bir rolü olduğu bilinmektedir. Matris ve takviye elemanı elastik özellikleri farklarının büyük olması bazen ara yüzeyde oluşan bağı kuvvetini olumsuz etkilemektedir. Çünkü matris üzerine etki eden kuvvetler ara yüzey bağı aracılığıyla takviye elemanına iletilirler. Takviye elemanının yüksek mukavemet ve elastikliğinden istifade etmek için matrise kuvvetli olarak bağlanmalıdır. Matris ve takviye elemanı arasında oluşan zayıf ara yüzey bağı, kompozit malzemelerde düşük mukavemet ve elastiklik modülü olarak karşımıza çıkar. Ara yüzey bağı yüksek kompozit malzemelerin mukavemeti de yüksektir (Şahin 2000).

### 3. TOZ METALURJİSİ

Toz Metalurjisi tekniği oldukça eski metal bir Őekillendirme tekniğidir. Sumerler 4000 yıl önce alet ve silah yapımında toz üretim yöntemlerini kullanmışlardır. Toz Metalurjisi tekniğiyle uzun yıllardır platin üretilmektedir. İlk çağlarda metaller ergetilemediğinden çekiçle döverek birleştirmeyi başarmışlardır. M.Ö. 3000 yıllarında Mısırlılar demir tozlarını kullanmış yine İknalar altın tozlarından mücevherler yapmış ve M.S.300 yıllarında 6,5 ton demir tozu kullanılarak Hindistan'daki Delhi sütunu yapılmıştır (Kalaycıoğlu 2010). Geleneksel üretim yöntemleri ile üretilen malzemelerden istenilen özelliklerin hepsinin bir arada olmayışı, malzeme bilimcileri daha üstün özellikli ve aynı zamanda ekonomik malzeme arayışına yönlendirmiştir. Malzemedен istenilen değişik kimyasal, mekanik ve fiziksel özellikler, malzeme bileşenlerinin sahip olduğu özellikler tarafından belirlenir. Bu sebeple daha üstün özellikli malzemelere olan ihtiyacın artması neticesinde, metal esaslı tozlar gittikçe önem kazanmaktadır (Ozan vd. 2006).

Toz Metalurjisi, seramik veya metal tozların termik ve mekanik etkilerle birleştirilerek parça üretme tekniğidir. Tasarım mühendisliğinde, ağırlıkça hafif ve dayanımı yüksek malzemelerden yeni konstrüksiyon elemanlarının üretimi ve sanayiye uygulanabilirliği en önemli konuların başında gelmektedir. Özellikle otomotiv sektöründe kullanılan malzemelerin bir bölümü Toz metalurjisi tekniğiyle üretilen parçalardan oluşmaktadır. Toz metalurjisi ile üretilen parçaların kalitesi ve özelliklerini etkileyen parametreler; toz üretim tekniği, tozların boyut ve Şekli, kullanılan yağlayıcı tipi, preslemede uygulanan kuvvet, sinterleme sıcaklığı, sinterleme süresidir (Güven 2011). Toz Metalurjisi ile üretim yöntemlerinde küçük partiküller halindeki plastik malzemeler, karbon, saf metaller ve alaşımlar homojen olarak karıştırılıp presle sıkıştırılarak Şekil alırlar. Daha sonra sıkıştırılan malzeme, ana bileşenin ergime sıcaklığına yakın bir sıcaklıkta sinterlenerek bileşenlerin temas yüzeyleri arasında güçlü bir bağ oluşturularak hedeflenen özelliklerin elde edilmesi sağlanır (Yavuz ve Güner 2002).

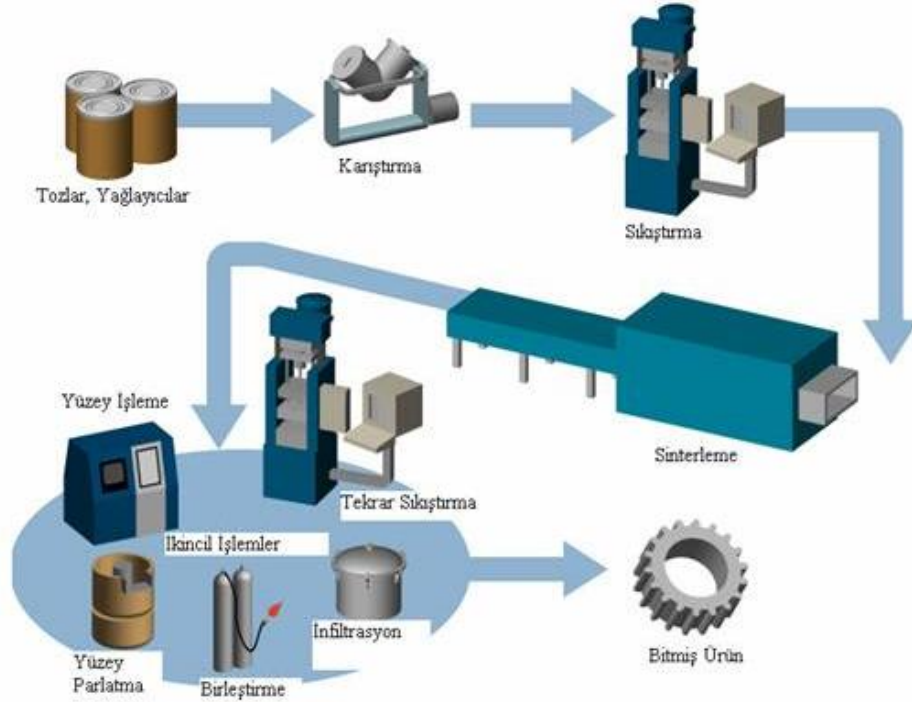
Toz metalürjisinde malzeme kaybı oldukça az olup, küçük, karmaşık ve boyutsal hassasiyeti yüksek parçaların üretilmesine olanak sağlar. Bu teknikte düzgün yüzeyler elde edilir. Fakat toz partiküllerinin kalıp içerisinde akıcılığının sınırlılığından dolayı üretilecek parçanın şekli kısıtlayıcı bir faktördür. İlk yatırım maliyetleri pahalı olup, seri üretim yapıldığında maliyetler oldukça düşmektedir (Yavuz ve Güner 2002).

Toz metalürjisi metal işleme teknikleri arasında farklı bir önem arz etmektedir. Toz metalürjisini cazip kılan özelliklerden bir tanesi yüksek kalite, karmaşık şekil ve küçük boyutlu metallerin maliyeti düşürülerek piyasaya sunulmasıdır. Toz metalürjisinde işlem basamakları tozların karıştırılması, sıkıştırılması ve sinterlenmesidir.

Toz metalürjisi yüksek enerji tasarruflu, az malzeme kaybı ve düşük maliyetlidir. Bu özellikler verim, hammadde ve enerji hususları göz önüne alındığında toz metalürjisini çok cazip hale getirmektedir.

Toz metalürjisi klasik üretim metodlarına alternatif olarak sürekli gelişmekte ve daha geniş alanlarda kendisine yer bulup metal işleme yöntemlerine büyük katkılar sağlanabilmektedir. Yüksek sıcaklıklara ihtiyaç duyulmadan üretim yöntemlerine gelişmiş ve böylece döküm yöntemlerine alternatif olarak da boy göstermiştir. Aynı dönemlerde kullanılan paralar da toz tekniği ile kurşun, gümüş ve bakır malzemesinin preslenip sinterlenmesiyle üretiliyordu. Ayrıca otomotiv, havacılık, elektrik ve elektronik endüstrisi içerisinde toz metalürjisi ciddi bir öneme sahiptir. İlk dönemlerde maliyetin düşüklüğünden hareketle toz metalürjisi ile üretilen malzemeler kullanılmış fakat bulunduğumuz çağda üretim kolaylığı ve esnekliği, yüksek kalite ve düşük maliyet toz metalürjisini çok cazip kılmıştır.

Toz metalürjisi bunların yanı sıra malzemenin kimyasal yapısını ve mikroyapısının da kontrolünü sağlamada önem arz etmektedir. Teknoloji her geçen gün gelişmekte ve daha mükemmel malzemelere ihtiyaç duyulduğundan toz metalürjisi her geçen gün daha da gelişmektedir. Toz metalürjisi üretim şeması Şekil 3.1'de gösterilmektedir (Kalaycıoğlu 2010).

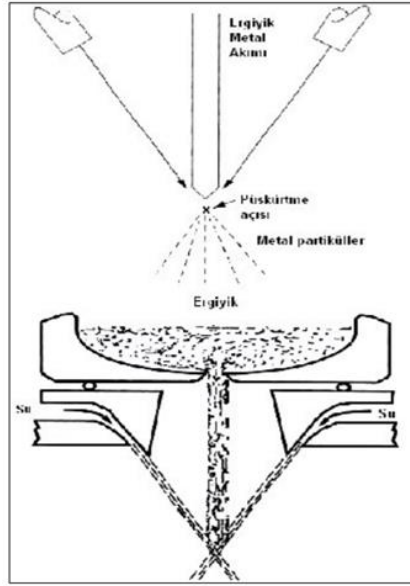


Şekil 3.1. Toz Metalürjisi tekniğiyle MMK Malzeme Üretim aşamaları (Kalaycıoğlu 2010)

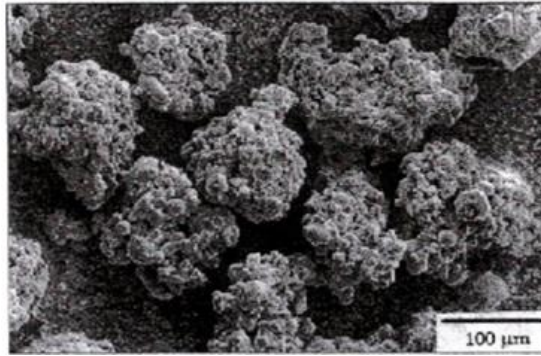
### 3.1. Toz Üretimi

Toz metalürjisinde ne tür bir parça üretilecekse hammadde olarak toz partikülleri kullanılmalıdır. Saf toz olmasının yanı sıra tozların kimyasal bileşimi, toz partiküllerinin şekli, boyutlarına da dikkat edilmelidir (Newkirk 2004).

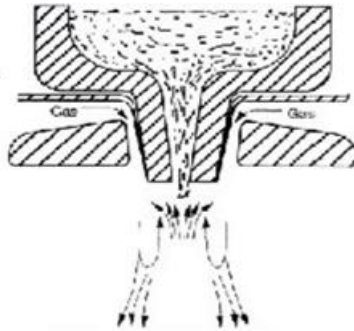
Toz metalürjisinde toz üretiminde genel olarak sıvı metal atomizasyonu, elektrolitik biriktirme, mekanik küçültme, kimyasal indirgeme olarak dört farklı yöntemle karşımıza çıkmaktadır (Lee 1998). Genelde en sık kullanılan yöntem atomizasyondur. Atomizasyon, ergitilmiş metalin spreyleme yöntemi ile ani bir şekilde soğutulmuş toz hale getirilmesi yöntemidir. Atomizasyonda spreyleme malzemesi olarak su (Şekil 3.2) ve inert gaz (Şekil 3.4) kullanılmaktadır. Su metali çabuk soğuttuğundan dolayı toz parçacıkları düzensiz şekilli olarak oluşurken (Şekil 3.3), gaz spreyleme kullanıldığında ise soğuma işlemi daha geç olacağından tozlar yuvarlak şekilde oluşmaktadır (Şekil 3.5). Diğer yöntem de ise ergitilmiş metalin döner bir disk üstüne dökülmesindedir, malzeme döner diskin üzerinden çarpmanın etkisiyle diskten fırlar ve kabın kenarlarına yapışarak toz meydana gelir (Clyne 2001).



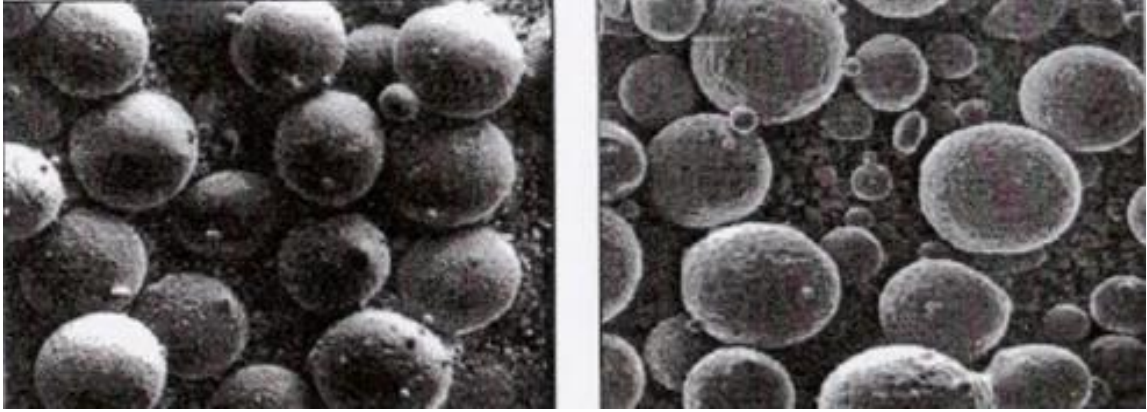
Şekil 3.2. Su atomizasyonu (Söyler 2007)



Şekil 3.3. Su atomizasyonu ile elde edilen bakır tozu şekilleri (Söyler 2007)



Şekil 3.4. Gaz atomizasyonu (Söyler 2007)



Şekil 3.5. Gaz atomizasyonu ile elde edilen yüksek hız çeliği tozu şekilleri (Söyler 2007)

Farklı kimyasal reaksiyonları kapsayan kimyasal indirgemedede metal elementel toz halini alır. Elektrik kullanılarak metali çok ince hale getiren elektroliz işleminde oldukça saf tozlar elde edilebilir. Elektrolizde anot, toz hale getirilecek malzemeden üretilerek, elektrik, toz hale getirilecek malzemeleri anotdan katoda taşır ve böylece kolay bir şekilde yıkanabilecek film üzerine yapıştırır. Filmden temizleme ve kurutma işlemi yapılarak hedeflenen toz üretilmiş olur (Newkirk 2004).

### 3.1.1. Mekanik Alaşımlama

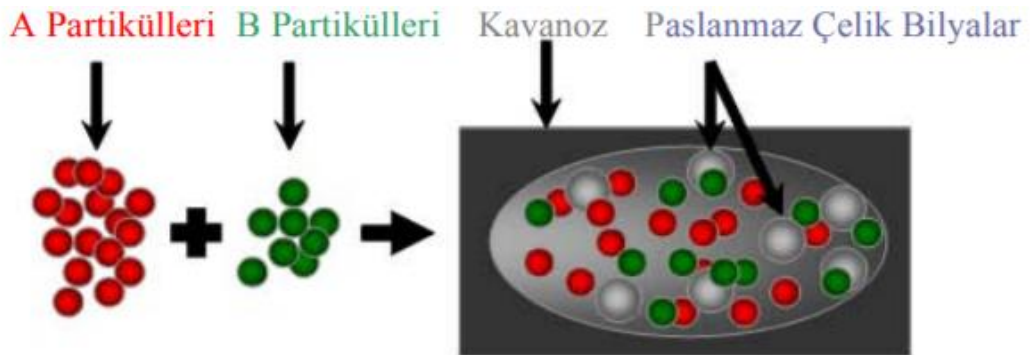
İdeal malzeme seçildikten sonraki aşama tozların karıştırılması aşamasıdır. Karıştırma işlemi farklı kimyasal bileşime sahip tozların karıştırılarak alaşımlanması işlemi, öğütme ise aynı kimyasal özelliği taşıyan tozların boyutlarının küçültülmesidir (Newkirk 2004).

Öğütme işlemleri içinde başarılı tekniklerden birisi mekanik alaşımlamadır. Bu işlem elementel tozların ve bir miktar bilyanın bir karıştırıcı içerisinde karıştırılması işlemidir. Şekil 3.6'da karıştırıcının şematik gösterimi verilmiş olup, hemen altında mikroskobik boyutlarda meydana gelen homojenizasyon verilmiştir.



Şekil 3.6. Mekanik alaşımlama yöntemi (German 1994)

Kirlenme olayı diğer alaşımlama işlemlerinde olduğu gibi burada da karşımıza bir sorun olarak çıkmaktadır. Fakat aynı malzemedен бilya, tank ve karıştırıcı kullanılarak kirlenme olayı minimize edilebilir. Organik bir sıvı ortam kullanılması, mekanik alaşımlamada öğütme ve kaynama işlemleri arasındaki denge için önem arz etmektedir (Kalaycıoğlu 2010).

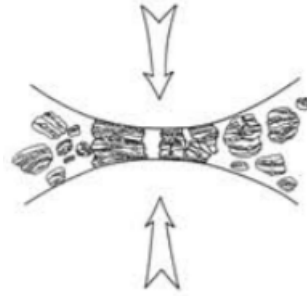


Şekil 3.7. Mekanik alaşımlamada kavanoz sisteminin şematik gösterimi (German 1994)

Şekil 3.7’de Mekanik alaşımlama işleminde kullanılan kavanoz sistemi gösterilmiştir. Mekanik alaşımlamadaki fiziksel değişimin anlaşılması amacıyla alaşımlama sürecinin aşama aşama incelenmesi faydalıdır (Keçeli 2007).

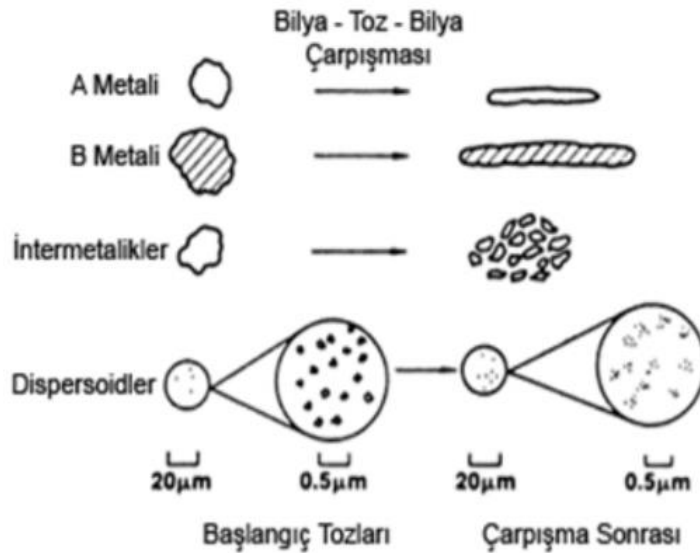


İlk aşamada tozlar biraz daha yumuşak olup, birbiri ile kaynaklaşarak biraz daha büyük parçaların oluşması eğilimi yüksektir. Bu kısımda ilk aşamadaki tozlara oranla daha büyük boyutlu parçalar oluşabilir. Bu aşamada Kompozit partikülleri karakteristik katmanlı bir görüntü meydana getirir.



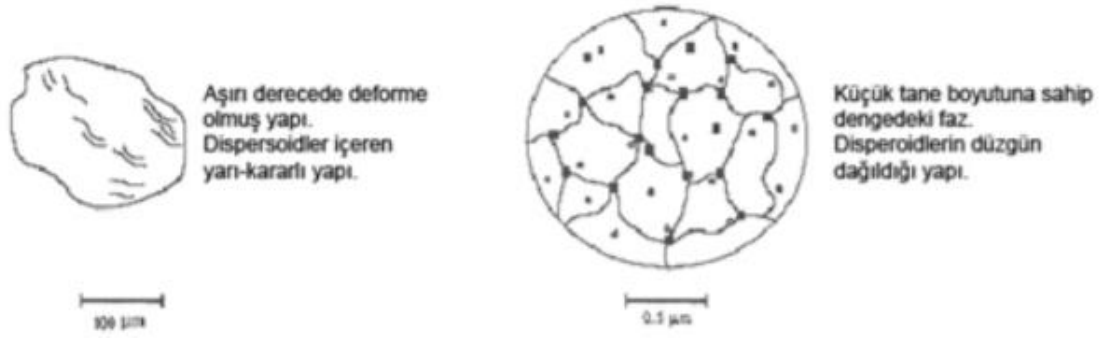
Şekil 3.8. Bilyelerin tozlarla çarpışmasının şematik gösterimi (Suryanarayana 2001)

Şekil 3.8’de toz ve bilyelerin çalışma durumları şemada gösterilmiştir. Bu aşamada metalik faz düzleşip üstüste biner ve atomik düzeyde yüzeylerin teması gerçekleşerek soğuk kaynak gerçekleşir. Kırılgan fazlar ise bu durumda kaynayan yüzeyler arasında sıkışır. Şekil 3.9’da ilk aşamadaki tozların mekanik alaşımlama esnasındaki deformasyonları gösterilmiştir (Suryanarayana 2001).



Şekil 3.9. Mekanik alaşımlama sürecinde tozlarda gerçekleşen deformasyon (Suryanarayana 2001)

Meydana gelen ısı artışı ve bilyalar tarafından absorbe edilen kinetik enerjinin etkisiyle metalik matriste çözülme oluşmasıyla difüzyonun artması neticesinde yeni fazlar da oluşabilmektedir (Keçeli 2007). Sonuç olarak büyük boyutlu partiküllerle küçük boyuta sahip partiküller birbirine karışıp homojen bir yapı meydana getirirler (Suryanarayana 2001). Şekil 3.10'da mekanik alaşımlamada ortaya çıkan en son yapı görülmektedir (Keçeli 2007).



Şekil 3.10. Mekanik alaşımlamanın en sonunda meydana gelen yapı (Keçeli 2007)

Bundan daha fazla alaşımlamanın homojen dağılıma etkisi olmayacaktır. Teknik üstünlükleri açısından mekanik alaşımlama değerlendirildiğinde oldukça verimli bir tekniktir. Geleneksel yöntemlerle alaşımlanamayan elementler alaşımlanmaktadır. Mekanik alaşımla tamamen katı halde yapılan bir yöntemdir (Suryanarayana 2001).

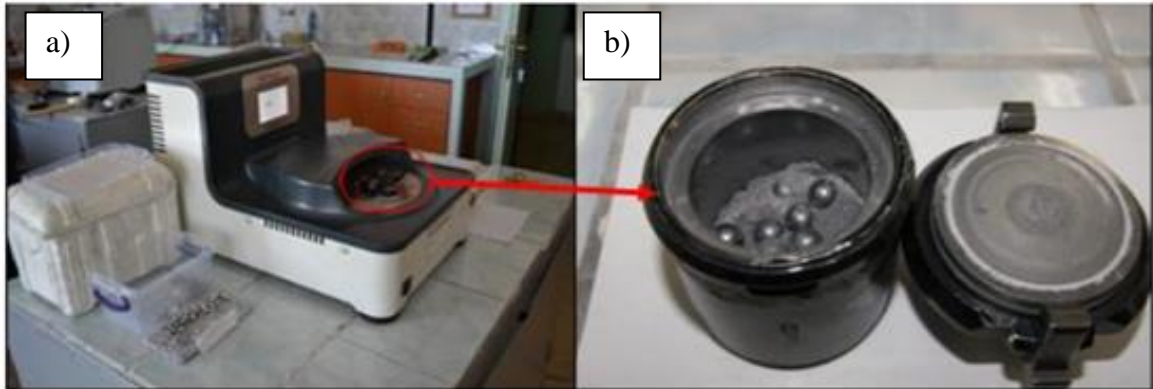
### 3.2. Üretim Ekipmanları

Mekanik alaşımlamada farklı tipte yüksek enerjiye sahip bilyeli öğütücüler kullanılmakta olup bunlar spex öğütücüler, gezegen tipi öğütücü ve çeşitli atritör olarak gruplandırılabilir. Bu öğütücülerin farklı kapasiteleri, öğütme verimleri ve ısıtma-soğutma düzenekleri mevcuttur. En çok kullanılan tip, spex öğütücülerdir. Bu cihaz malzeme ve bilyaların konacağı kavanoz, kilit mekanizması ve 1200dv/dk ile sarsıntı üretebilen karıştırma cihazından oluşmaktadır. Ayrıca kullanılacak malzemeye göre farklı tipte üretilen kavanozlar da mevcut olup, Şekil 3.11'de spex tipi öğütücüden bir örnek gösterilmektedir.



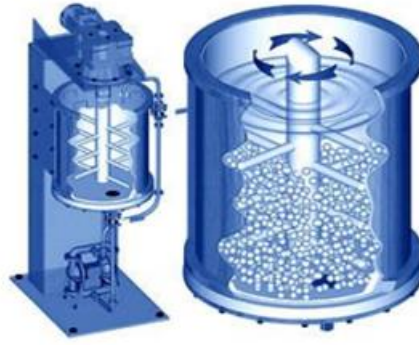
Şekil 3.11. Spex tipi öğütücü, (a)spex bilyalı değirmen, (b) spex 8000 tipi karıştırıcının; öğütme kabı, kapak, conta ve bilyelerden oluşan öğütme seti (Nazik 2013)

Diğer bir öğütücü cihaz gezegen tipi değirmen olarak adlandırılmıştır. Bu cihazda birkaç yüz gram toz öğütülebilir. Ancak spex tipi öğütücülerle kıyaslandığında düşük enerjiye sahip öğütücü olarak adlandırılırlar. Şekil 3.12’de gezegen tipi öğütücü gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Öğütme elemanları a) Fritsch pulveriste Premium 7 gezegen tipi öğütücü b) Öğütücü hazne ve tungsten karbür bilyeler (Nazik 2013)

Diğer bir öğütücü atritörlerdir. Bu tip öğütücülerde 0,5kg-40kg arası toz öğütülebilmektedir. Bu öğütücüde dikey bir şaft yardımıyla karıştırıcıların bir tank içerisinde 250 dv/dk ile dönmesiyle tozların öğütülmesi işlemidir. Şekil 3.13’de atritör tipi öğütücüye örnek gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Atritör tipi (dikey) bilyeli değirmen (Nazik 2013)

Mekanik alaşımlamada öğütücü cinsine göre prosesi etkileyen parametreler;

1. Toz-bilye oranı
2. Öğütmenin yapıldığı atmosfer
3. Öğütme ortamı
4. Kullanılan bağlayıcı cinsi
5. Öğütme kabının yapıldığı malzeme
6. Öğütme süresi olarak sıralanabilir.

Öğütme sırasında öğütücü haznesinin duvarında biraz aşınma meydana gelmekte ve aşınma sonucu kopan parçacıklar, tozu kirleterek kimyasal bileşimi etkileyebilmektedir. Öğütücü ve öğütülen malzeme aynı tip malzeme olarak seçilirse bir çözünme meydana gelse dahi sistemi çok fazla etkilemeyecektir. Bundan dolayı öğütme sistemi seçimi önemlidir.

Parametrelerden birisi de bilya-toz oranıdır. 1:1'den 22:1 gibi değişik oranlarda tercih edilebilmektedir. Spex öğütücülerde bu oran 10:1dir. İstedığımız sürede gerekli düzeyde bir öğütme gerçekleşmesi açısından bilya-toz oranı önemli bir parametredir. Öğütme atmosferi kirlenme açısından önemli bir parametredir. Öğütme kabındaki mevcut oksijen, malzemedeki oksitlenmeye yol açar. Bu sebeple tozların öğütücüye taşınması ve öğütücüden alınma işlemi koruyucu gaz altında gerçekleştirilir.

Malzeme iç yapısında meydana gelen partikül boyutu v.b durumlarda mekanik alaşımlama süresine ciddi bir etkisi olduğundan öğütme süresi de oldukça önemli bir

paratametredir. Tozun kırılma ve kaynaması sonucu kararlı bir faz ortaya çıkması için yeterince öğütme yapılabilirdir. Öğütme süresinin değişkenleri öğütücü cinsi, bilya-toz oranı, öğütme verimi ve öğütme sıcaklıklarıdır. Öğütme süresi bu değişkenlere bağlı olarak belirlenmelidir. Mekanik alaşımlama süresinin fazla olması sonucu kirlilik artar ve istemediğimiz fazlar oluşabilmektedir. Bu sebeple gerektiği kadar sürede öğütülmelidir.

Sünek malzemeler, meydana gelen yüksek plastik deformasyonun etkisi ile birbirine soğuk kaynarlar bu sebeple kullanılan bağlayıcıların ilave edilmesiyle soğuk kaynama miktarı düşürülmektedir. Bunlar katı, sıvı veya gaz olabilirler (Kalaycıoğlu 2010).

### **3.3. Metal Tozlarının Sıkıştırılması**

Toz tanelerinin tamamı aynı şekil ve boyutta olmadığından sıkıştırma öncesinde homojen bir dağılım oluşturmak maksadıyla tozlar yağlayıcılarla beraber belli bir süre karıştırılmalıdır. Yağlayıcı kullanılması maksat tozların kalıp çeperlerini aşındırmasını minimize etmek, kalıp içerisinden rahat çıkartmak ve toz taneciklerinin kendi aralarında oluşan sürtünmeyi azaltarak toz akışını kolay hale getirmek ve ortaya çıkabilecek enerji kayıplarını minimize etmektir (Kuşkonmaz vd. 1993; Ünal ve Kainer 1999).

Yağlayıcı ve toz karıştırma süresi optimum olmalıdır. Çünkü çok karışım neticesinde, ergime sıcaklığı düşük yağlayıcıların ısınması sonucunda yapışık bir hal alırken, karışım süresi az olan yağlayıcı istenen özellikleri yansıtmayabilir. Çeşitli yağlayıcı tipleri malzemenin dayanımına etki ederken bir kısmı da sinterleme anında yanma işlemine maruz kalarak gözenekliliğin artmasına sebebiyet verebilmektedir (Akbulut ve Durman 1995; Mabuchi and Higashi 2001).

Metal tozu ve yağlayıcı karıştırıldıktan sonra sinterleme öncesinde parçaya son şeklini vermek maksadıyla önceden üretilecek parçanın şekline göre hazırlanan kalıplar içerisine sıkıştırılırlar (Hanyaloğlu ve Colm 1999; Arık ve Bağcı 2003). Presleme sonucu basıncın artması neticesinde plastik deformasyonla beraber birbirine temas eden yüzeylerde bir yoğunluk artışı yaşanacaktır. Oluşan plastik deformasyon neticesinde gerçekleşen soğuk

kaynaklaşma, sıkışma sonrasında ham mukavemeti artırır. Temas sayısı artarken gözenek oranı azalır. Tüm toz tanelerinde soğuk deformasyon sertleşmesi gerçekleşir (Kurt 1992).

### **3.3.1. Sıkıştırma Teorisi**

Presleme esnasında sıkışma, sıkıştırma kuvvetleri doğrultusunda ve kalıp yan duvarlarına doğru gerçekleşir. Sıkıştırmada gözeneklilik azalır fakat yoğunluk artar. Presleme sonucu toz numunelerinin mikro sertliklerini artması plastik deformasyon sertleşmesinin neticesidir. Kütle içerisindeki hava boşluklarının yerini toz taneciklerinin alması ile yoğunluk artışı yaşanır. Fakat sıkışan havanın bir miktarı gözenekler içinde kalarak mukavemetin düşmesine sebep olur (Davidson 1996; Göktaş 1995).

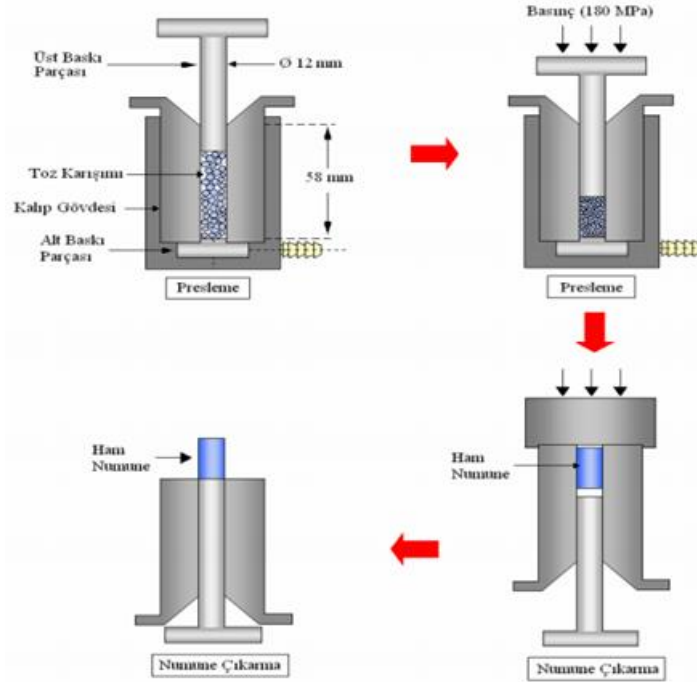
Toz ve kalıp duvarları arasındaki sürtünme sıkıştırmada önemli bir sorun teşkil etmektedir. Presleme sonucu toz ile kalıp arasındaki sürtünme yüzeyi arttığından sürtünme kuvveti de artacaktır. Kalıp duvarlarının yağlanmış olması, sürtünme direncini düşürerek tozların daha iyi sıkışmasını sağlar. Preslemeden kaynaklı tanecikler arasında gerçekleşen bağın iyi olması dayanıklılığı artırır (Sur 2002; Acılar 2002; Kurt 1992).

### **3.3.2. Sıkıştırma Yöntemleri**

Tozların sıkıştırılması işlemleri, ekstrüzyon ile sıkıştırma, yüksek enerjili sıkıştırma, izostatik sıkıştırma, titreşim ile sıkıştırma ve kalıpta sıkıştırma yöntemleridir (Feng et al. 2003).

#### **3.3.2.1. Kalıpta Sıkıştırma**

Bir yönden veya her iki yönden basınç uygulayarak yapılan kalıp içerisinde sıkıştırma oldukça tercih edilen toza şekil verme işlemidir. Bir yönden sıkıştırma işleminde alt zımba sabit üst zımba hareketli olup, üst zımbanın hareketi ile alt zımbaya doğru malzeme sıkıştırılmaktadır (Şekil 3.14). Sıkıştırılan parçadaki yoğunluk üst zımbadan hareketle alt zımba doğrultusunda gittikçe azalma eğilimi göstermektedir (Hanumanth and Irons 1993; Cöcen vd. 1997).

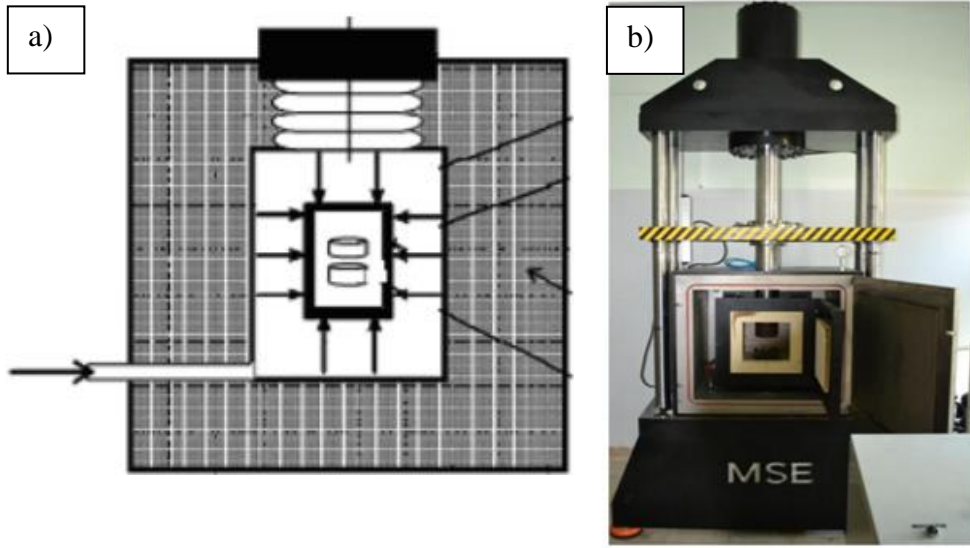


Şekil 3.14. Kalıpta sıkıştırma yöntemi (Ulutaş 2014)

Çift yönlü sıkıştırmada, üst ve alt zımbanın her ikisi de hareketli olup, toz üst ve alt zımbaların birbirine doğru hareketi ile her iki taraftan da sıkıştırıldığından parçaların yoğunluk dağılımı tek yönlüye göre daha homojendir (sur 2002; Hanyaloğlu ve Colm 1999).

### 3.3.2.2. İzostatik Sıkıştırma

İzostatik sıkıştırma (Şekil 3.15), homojen bir yapı elde etmek için kullanılan bir tekniktir. Sıvılarda herhangi bir yere etkiyen basıncın tüm yönlere eşit şekilde iletilmesinden yola çıkarak, izostatik sıkıştırma işleminde, presleme basıncı bir gaz veya sıvı yardımıyla malzemeye bütün yönlerden aynı şekilde iletilerek daha da homojen bir yoğun yapı sağlanır (Kurt 1992; Önel 1995).



Şekil 3.15. (a) İzostatik sıkıştırma, (b) Sıcak presleme cihazı (Tomruk 2010)

### 3.3.2.3. Yüksek Enerjili sıkıştırma

Yüksek enerjili sıkıştırmada, mekanik, havalı ve patlama v.b. basınçlar uygulanarak büyük bir basıncın, 50 milisaniye kadar bir zamanda uygulanmasıyla gerçekleşir (Önel 1995).

### 3.3.2.4. Ekstrüzyon Yöntemi ile Sıkıştırma

Toz şekillendirilmede çok fazla kullanılmakta olan bir tekniktir.. Bu teknikte toz kapalı kap içine konur. Daha sonra kapalı kap içerisindeki hava alınır. Kabın içerisindeki toz tanecikleri ısıtılır. Ekstrüzyon yolu ile malzeme üretilir. Ekstrüzyon yönteminde yüksek yoğunluklu parçalar üretilir. Ekstrüzyon öncesi tozlar ısıya maruz bırakılmışsa sinterlemeye işlemi gereksizdir. Ekstrüzyon, genelde önceden izostatik sıkıştırma ile yoğunlaştırılan metal toz malzemeye uygulanan bir tekniktir. Daha fazla takım çeliklerinin üretiminde tercih edilen bir yöntemdir (Ögel ve Kaya 1992; Önel 1995; Sümer 2003).



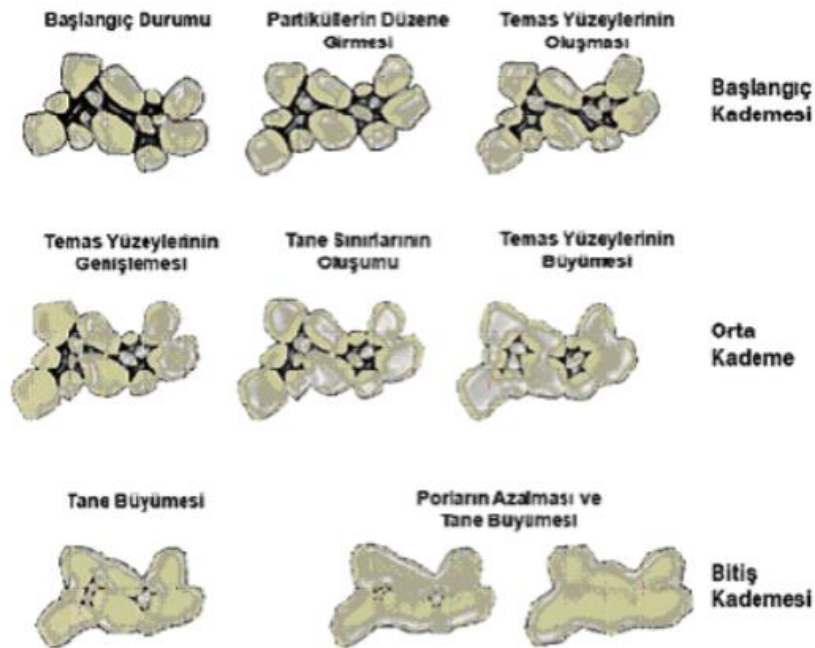
### 3.3.2.5. Titreşim ile Sıkıştırma

Bu yöntemde gaye düşük basınçla kalıp içerisinde son şekle yakın bir yoğun yapı sağlanması amaçlanmaktadır. Bu yöntemde kalıp içindeki toza basınç uygulanmasına paralel zamanlı ayarlanmış frekanslarda titreşim uygulanması tekniğiyle malzeme üretilir (Hanyaloğlu ve Colm 1999).

### 3.4. Sinterleme

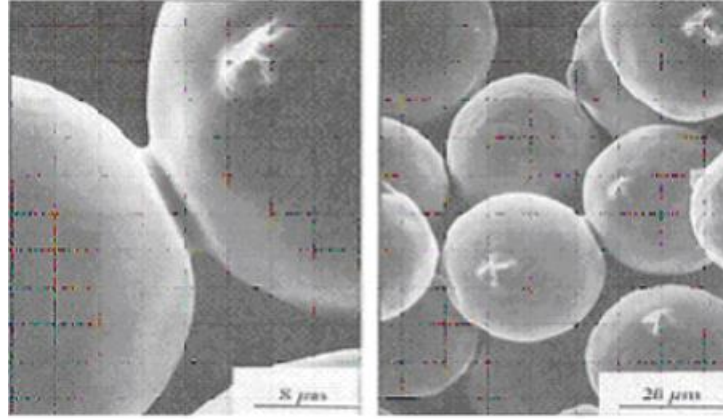
Sinterleme tarihi çok eski tarihlere, ilk çanak çömlek pişirilmesine dayanır. Sinterleme konusunun bilime araştırma konusu olması 1940 yılından sonra gerçekleşmiştir. Sinterleme teknolojisinde bu tarihten sonra kayda değer ilerlemeler olmuştur. Endüstride sinterlemenin en faydalı alanı toz metalürjisi veya seramik içerikli her türlü malzemenin üretimidir

Sinterleme, ısı enerjisi uygulanarak seramik veya metal tozlarından oluşan bileşimlerden yoğun bir malzeme elde etme tekniğidir. Sinterlemede amaç kompakt malzemedeki porozitelerin azaltılmasıdır (Şekil 3.16).



Şekil 3.16. Sinterleme kademeleri (Kang 2005)

Şekil 3.17’de sinterleme sürecinde partiküller arası boyun oluşumunun resimleri gösterilmektedir.



Şekil 3.17. Sinterleme sürecinde partiküller arası boyun oluşumu (Kalaycıoğlu 2010)

Sinterleme, katı ve sıvı hal sinterlemesi olarak iki gruba ayrılır.

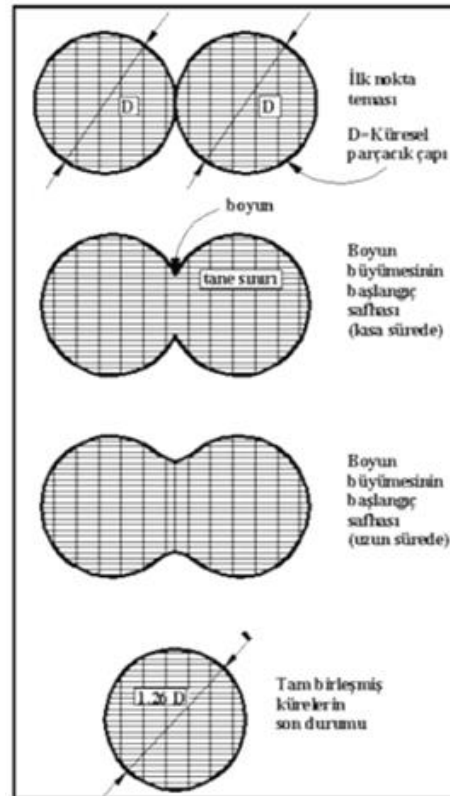
### 3.4.1. Katı Hal Sinterlemesi

Sinterleme sıcaklığında önceden sıkıştırılmış tozun katı bir halde iken yoğunlaşması yöntemidir. Sıvı hal sinterlemesi de sinterleme anında sıvı halin oluşmasıdır (Kang 2005). Genel olarak metaller ve alaşımlarında sinterlemede, ergime sıcaklığının %60-%90’ı arasında bir sıcaklık tercih edilir. Ergime sıcaklığı düşük malzemelerde sinterleme sıcaklığı, ergime sıcaklığının üstünde bir sıcaklıkta da gerçekleştirilebilir. Bu şekilde dolayısıyla sıvı faz sinterlemesi uygulanmış olacağından parça şeklini bozmamak amacıyla sıvı faz miktarı kontrol edilmelidir. Malzemeye yoğunluk kazandırmada sinterleme sıcaklığı önemli bir parametredir. Sinterleme, pek çok parametrenin göz önünde bulundurularak yapılması gereken bir yöntemdir (Kalaycıoğlu 2010).

Sinterleme, presle sıkıştırılmış toz metal parçalarının istenen özelliklerin kazandırılması amacıyla ergime sıcaklığının altında uygulanmakta olan bir ısı işlemidir. Tek bileşimli yapılarda uygulanacak olan sinterleme sıcaklığı, ergime sıcaklığının üçte ikisi veya 4/5’i olarak seçilir. İki veya daha çok boyutlu yapılara uygulanan sinterleme sıcaklığı, düşük ergime sıcaklığına sahip bir bileşenin ergime sıcaklığının üstünde bir sıcaklık, yüksek

ergime sıcaklığına sahip olan diğer bir bileşenin ergime sıcaklığından düşük bir sinterleme sıcaklığı seçilir.

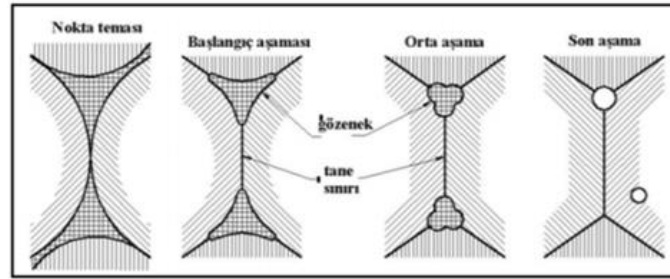
Sinterleme süresi, sinterlenecek parçaya göre değişecek olup, sinterleme zamanı ile sinterleme sıcaklığı arasında ters bir ilişki vardır. Sinterleme sıcaklığı arttıkça sinterleme süresi kısalmış, sinterleme sıcaklığı düşüktüğü sinterleme süresi artar (Akorall 2003). Presle sıkıştırılmış toz parçacıklar sinterlendiğinde mukavemet artacağı gibi diğer özelliklerde de iyileşmeler gerçekleşir. Katı hal sinterlemede ergime sıcaklığının altında bir sinterleme sıcaklığı tercih edilmesine rağmen pek çok durumunda sıvı faz oluşumu da gerçekleşir. Bu durumda toz parçacıkları kaynaşır. Kaynaklaşma, toz parçacıklarının temas eden yüzeylerinde yapışma, boyun büyümesi tarzında gerçekleşir. Boyunda oluşan büyüme tozların özelliklerinin değişimine sebep olur. Boyun büyümesi ile yeni bir tane sınırı oluşarak iki toz parçası ilk çapa göre 1,26 katı büyüyerek yeni çaplı bir toz parçası olacak halde birleşir (Şekil 3.18).



Şekil 3.18. Boyun büyümesi ile iki tozun birleşerek önceki çapın 1,26 katı olan yeni ve tek bir toz oluşumu (Tomruk 2010)

### 3.5. Sinterleme Teorisi

Presle sıkıştırma sonrası küresel şekildeki tozlar birbirine temas ederek, sinterleme işleminde temas eden parçacıklar arasındaki bağlar kuvvetlenerek kaynaklaşma meydana gelir. Sinterlemede temas eden toz parçalarında önce boyunda büyüme gerçekleşir ardından sinterleme süresi ilerledikçe gözeneklerin yapısında büzülme yaşanır. Sonrasında gözenek kanalları kapanarak kapalı gözenek şekline dönerler (Şekil 3.19).



Şekil 3.19. Sinterlemede gözenek yapısındaki değişim (Tomruk 2010)

Toz kütlelerinde, büyük yüzeylerde yüzey enerjisi vardır fakat fazla değildir. Sinterlemede tozlar birbirine bağlanarak toz yüzeylerinde gerçekleşen düzelmeye paralel yüzey enerjisinde de azalma görülür. Sinterlemenin gerçekleşmesi, atom taneciklerinin iyi seviyede akıcılığı ile alakalıdır. Atomal düzeyde akıcılık, sinterlemede ciddi anlamda sıcaklıkla ilişkilidir. Sinterleme, aynı zamanda yüzeyde oluşan enerjiyle de alakalı olup düzensiz şekilli ve ince toz parçacıkları için daha fazla enerji, kalın küresel tozlara ise daha az enerji harcanır (Akorall 2003) .

### 3.6. Sinterleme Atmosferi ve Etkisi

Sinterleme işleminde atmosfer, malzeme ve fırında oluşacak oksitlenmeyi önlemek, yüzeyel oksitlenmeyi minimize etmek, fırın içinde buharlaşacak yağlayıcıdan çıkan gazların dışarı atılması ve demir-karbon alaşımlarındaki blok parçaların bileşiminin kontrol edilmesi için sinterleme işlemi yapılacak parçaya uygun optimum sinterleme atmosferi seçilmelidir. Endüstride genelde Ar-H veya N gazları oksitlenmeyi minimize etmek için kullanılır (Okura et al. 1990).

## 4. MATERYAL VE METOD

### 4.1. Toz Malzemelerin Temini ve Hazırlanması

Cu matrisli kompozit malzeme üretimi için gerekli olan kalıp, Solid Works programı kullanılarak tasarlanmış ve 3D modeli oluşturulmuştur. Tasarlanan toz kalıp parçaları D2 takım çeliği kullanılarak tel erezyon tezgahında üretilmişlerdir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Toz malzeme presleme kalıbı

Daha sonra tane boyutu  $\leq 60$  mesh olan saf bakır tozları SIGMA-ALDRİCH firmasından temin edilmiştir. Yine tane boyutu  $\leq 60$  mesh olan CrC tozları SIGMA-ALDRİCH firmasından temin edilmiştir. Temin edilen tozlar, hassasiyet derecesi  $10^{-5}$  olan A&D HR-250AZ marka terazi kullanılarak tartılmış ve 20gr olan bakır tozuna ağırlıkça %5, %10, %15, %20 oranlarında CrC tozu tartılarak karıştırılmıştır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Toz karışımının tartımı aşaması

Saf bakır tozu başta olmak üzere her karışım oranından 3 adet olmak üzere toplam 15 adet numune hazırlanmıştır. Hazırlanan toz numuneler, turbula karıştırıcıya konularak 24 saat karıştırılarak hazırlanmışlardır. Hazırlanan karışımın homojenliğinin belirlenmesi için, toz numuneler, Bingöl Üniversitesi Merkezi Laboratuvarında bulunan JEOL JSM-6510 Scanning Electron Microscope marka SEM'e konularak (Şekil 4.3) tane boyutları fotoğraflanmış ve EDX analizleri yapılarak elementer dağılım grafikleri çıkarılmıştır.



Şekil 4.3. Analizde kullanılan taramalı elektron mikroskobu

## 4.2. Hazırlanan Numunelerin Preslenmesi

Toz numunelerin analizleri yapıldıktan sonra, numuneler Bingöl Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Laboratuvarında bulunan Alfa marka pres kullanılarak, üretilen kalıplar vasıtası ile preslenmişlerdir (Şekil 4.4). Numuneler 450 MPa yük altında 1 dakika bekletilerek preslenmişlerdir.



Şekil 4.4. Preslenmiş toz numune

## 4.3. Numunelerin Sinterlenmesi

Presleme aşamasından sonra elde edilen 15 adet numune, Bingöl Üniversitesi Merkezi Laboratuvarında bulunan Protherm GSL-1500X Marka Tüp fırın (Şekil 4.5) kullanılarak sinterlenmişlerdir. Sinterleme işlemi 950 °C sıcaklıkta koruyucu atmosfer olarak argon gazı kullanılarak yapılmıştır. Sıcaklık 950 °C'ye 1saat sürede çıkarılmış ve 950 °C'de numuneler 1 saat bekletilmiş ve daha sonra 1 saat soğuma süresi bittikten sonra numunelerin sinterleme aşaması tamamlanmıştır. Böylelikle 12 mm çapında metal matrisli kompozit malzemeler üretilmiştir.



Şekil 4.5. Sinterleme esnasında kullanılan Protherm GSL-1500X marka tüp fırın

#### 4.4. Üretilen Numunelerin Mikroyapı ve Sertlik Analizi

Sinterleme aşaması tamamlanan numunelerin mikroyapı analizi yapılmıştır. Bunun için numuneler, Bingöl Üniversitesi Merkez Laboratuvarında bulunan İmpro Marka Parlatma cihazı (Şekil 4.6.) kullanılarak parlatılmışlardır. Parlatma işlemi esnasında 400, 600, 800, 1000'lik zımpara ve 0,4  $\mu\text{m}$  lik elmas pasta kullanılmıştır.



Şekil 4.6. Zımparalama cihazı



Daha sonra parlatılan numuneler %5 Nital çözeltisi kullanılarak dağlama işlemi gerçekleştirildikten sonra etil alkolle temizlenip sıcak hava fırınında 50<sup>0</sup> C'deki sıcak hava ile yaklaşık 1 saat kurutulmaya tabi tutulmuştur ve numuneler elektron mikroskopunda incelenecek hale getirilmiştir. Numuneler, SEM cihazına yerleştirilerek mikroyapı fotoğrafları alınmış ve elementer dağılım analizi yapılmıştır. Daha sonra numuneler Rigaku Marka cihaza konularak XRD patternleri oluşturulmuştur (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. XRD cihazı

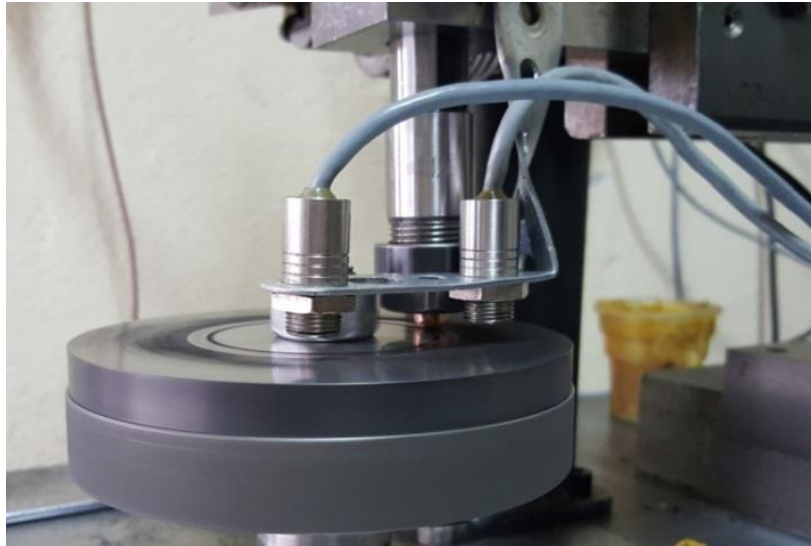
SEM, EDX ve XRD analizlerinden sonra numuneler, Munzur Üniversitesi Mühendislik laboratuvarında bulunan Mitutoyo marka sertlik ölçüm cihazında sertlik deneyine tabi tutulmuşlardır (Şekil 4.8). Bu deneyde her bir numune yüzeyinden 5 farklı noktadan brinell sertlik ölçüm metoduna göre sertlik değerleri alınmıştır. Sertlik deneyi yüzeye 10 saniye boyunca 200 gram yük uygulanarak yapılmıştır. Bu deney yapılmadan önce numune yüzeyleri iyi derecede parlatılmıştır.



Şekil 4.8. Numunelerin sertliğinin ölçülmesi

#### 4.5. Aşınma Deneyinin Yapılması

Aşınma deneyi Selçuk Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Laboratuvarlarında yapılmıştır. Deney Pin-on disk cihazında yapılmıştır (Şekil 4.9).



Şekil 4.9. Aşınma deneyinin yapıldığı pin-on disk cihazı

Deneye başlamadan önce numuneler deneye uygun hale getirilmiştir. Bunun için çapı 12 mm olan numuneler üniversal torna tezgahında çapı 10 mm'ye düşürülmüş (Şekil 4.10) ve numunelerin baş kısımları 5 mm radyüse tornalanmıştır.



Şekil 4.10. Numunelerin Aşınma deneyine hazırlanması

Bunun için HSS çeliğinden özel ağızlı çakı üretilmiş ve bu çakı ile numunelerin baş kısmı işlenmiştir (Şekil 4.11).

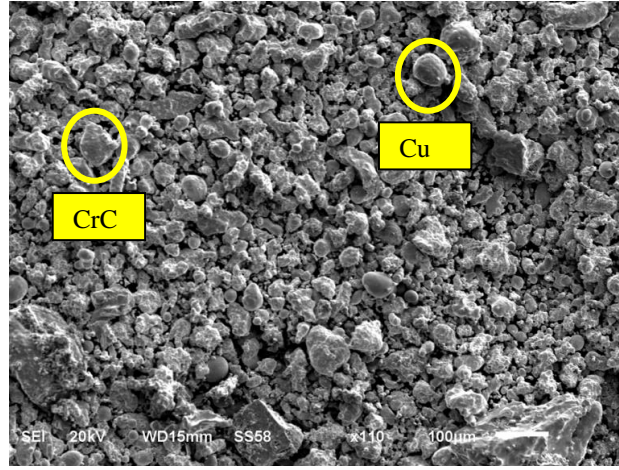


Şekil 4.11. Talaşlı imalat sonrası R4 radyusa sahip olan numune

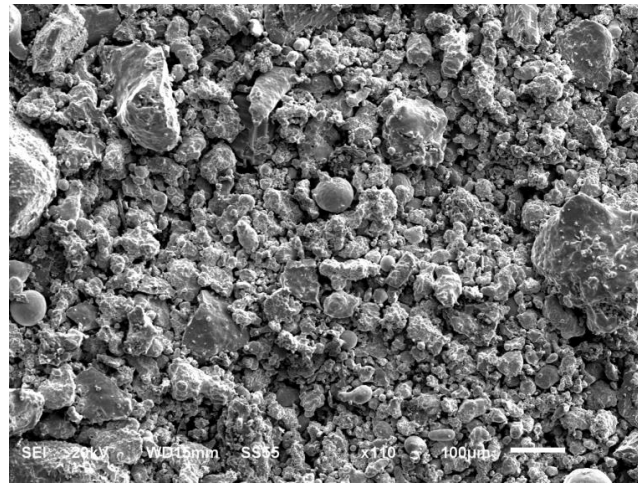
Disk malzemesi olarak 2080 takım çeliğinden 120 mm çapında 200 mm kalınlığında disk üretilmiş ve nitrasyon yüzey sertleştirme işlemine tabi tutularak yüzeyi 58 Rwc sertlik değerine getirilmiştir. Hazırlanmış olan toplam 30 adet numuneden 15 adedine 50 N ve diğer 15 adedine de 75 N yük uygulanmış ve her bir numunenin 0.6 m/sn'lik sabit hızda 1000 m yol sonunda aşınma verileri alınmıştır. Bu deney sonucunda, numuneler AND HR-250AZ marka terazide tartılarak ağırlık kayıpları bulunmuştur. Daha sonra numuneler SEM cihazına konularak, aşınma sonucu numunede oluşan aşınma yüzeyi çapı ölçülmüştür, aşınma derinliği ve sürtünme katsayısı verileri alınarak, bu değerlere göre değerlendirmeler yapılmıştır.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

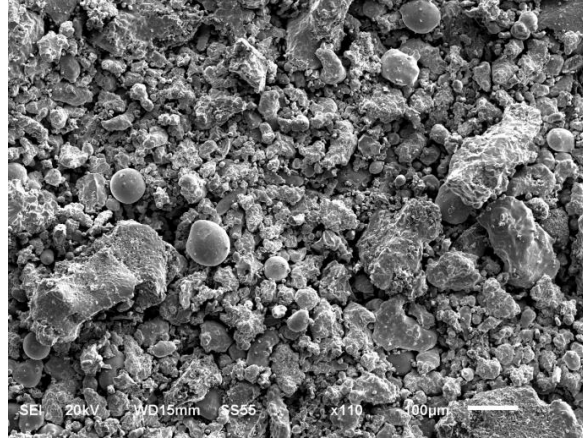
Toz numuneler karıştırıldıklarında SEM cihazına konulmuş, tane yapılarının homojen dağılımı fotoğraf (Şekil 5.1-5.4) ve EDX analiz grafiği (Şekil 5.5-5.8) ve EDX analiz tablosu (Tablo 5.1-Tablo 5.4) ile belirlenmiştir.



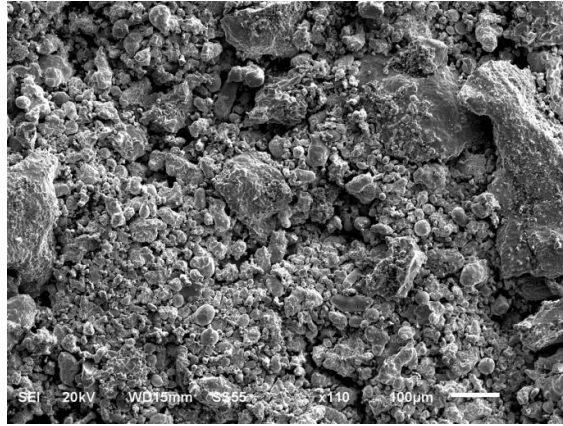
Şekil 5.1. Ağırlıkça; %5 CrC içeren Cu-CrC tozunun SEM görüntüsü



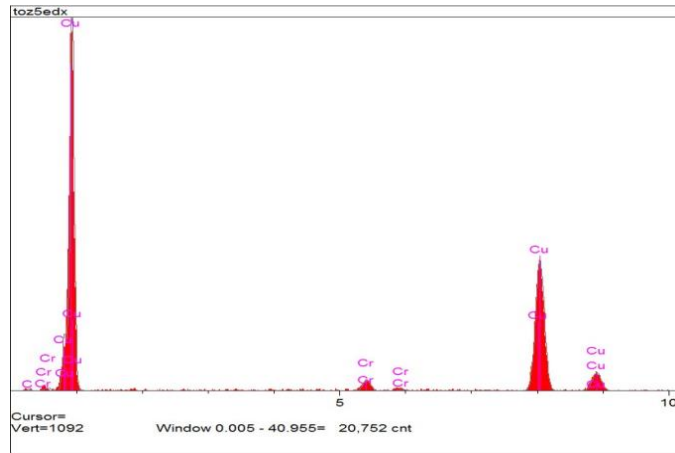
Şekil 5.2. Ağırlıkça; %10 CrC içeren Cu-CrC tozunun SEM görüntüsü



Şekil 5.3. Ağırlıkça; %15 CrC içeren Cu-CrC tozunun SEM görüntüsü



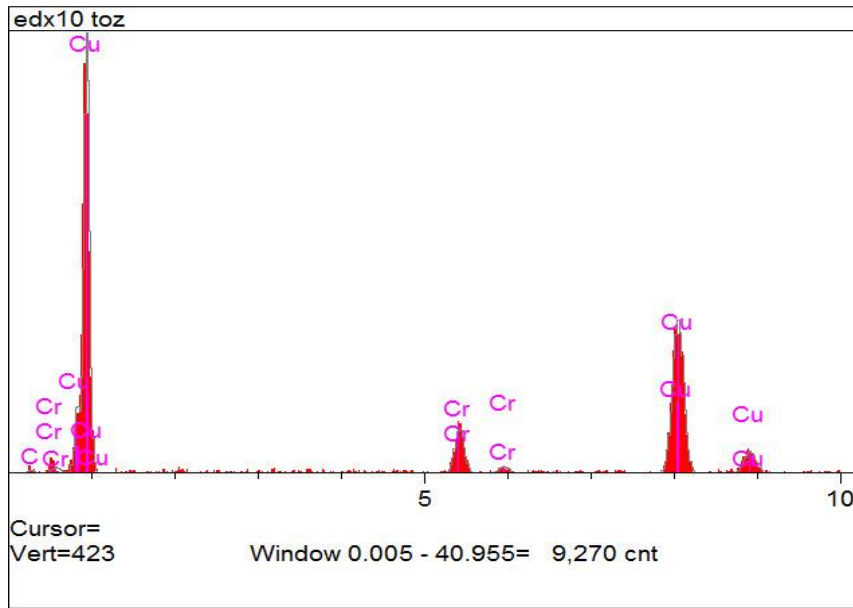
Şekil 5.4. Ağırlıkça; %20 CrC içeren Cu-CrC tozunun SEM görüntüsü



Şekil 5.5. Ağırlıkça %5 CrC içeren Cu-CrC tozunun EDX analizi grafiği

Tablo 5.1. Ağırlıkça %5 CrC içeren Cu-CrC tozunun EDX analiz tablosu

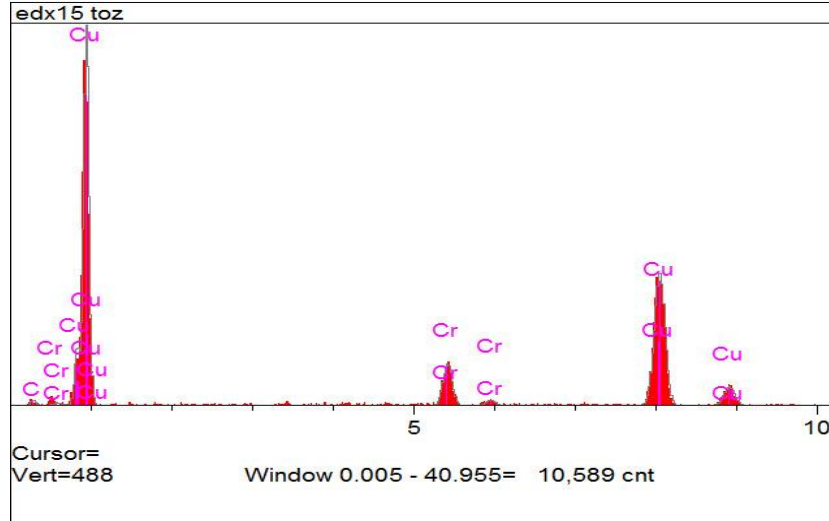
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units
C	Ka	9,16	6,134	2,579	wt. %
Cr	Ka	91,34	10,638	2,529	wt. %
Cu	Ka	1,271,99	32,555	94,892	wt. %
				100,000	wt. %



Şekil 5.6. Ağırlıkça %10 CrC içeren Cu-CrC tozunun EDX analizi grafiği

Tablo 5.2. Ağırlıkça %10 CrC içeren Cu-CrC tozunun EDX analiz tablosu

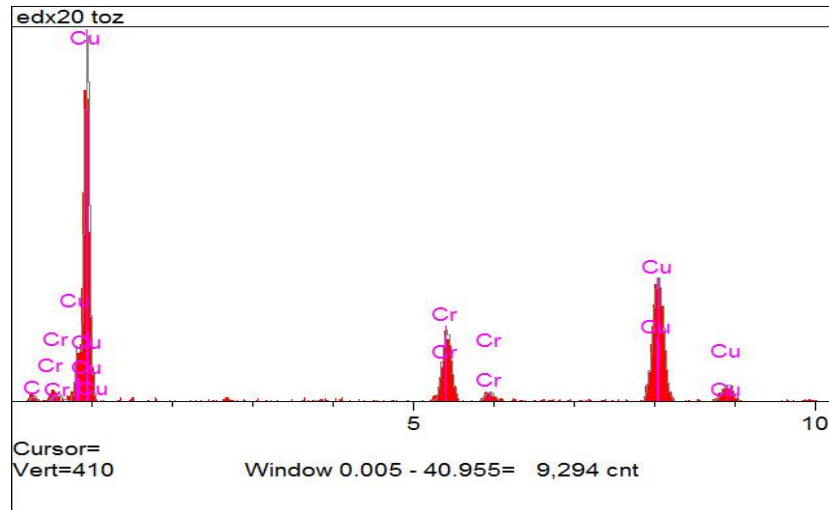
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units
C	Ka	6,86	5,732	3,499	wt. %
Cr	Ka	152,08	13,418	8,598	wt. %
Cu	Ka	620,21	25,536	87,903	wt. %
				100,000	wt. %



Şekil 5.7. Ağırlıkça %15 CrC içeren Cu-CrC tozunun EDX analizi grafiği

Tablo 5.3. Ağırlıkça %15 CrC içeren Cu-CrC tozunun EDX analiz tablosu

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
C	Ka	15,06	6,324	6,227	wt.%	
Cr	Ka	190,38	15,002	9,028	wt.%	
Cu	Ka	715,59	27,325	84,745	wt.%	
				100,000	wt.%	Total



Şekil 5.8. Ağırlıkça %20 CrC içeren Cu-CrC tozunun EDX analizi grafiği

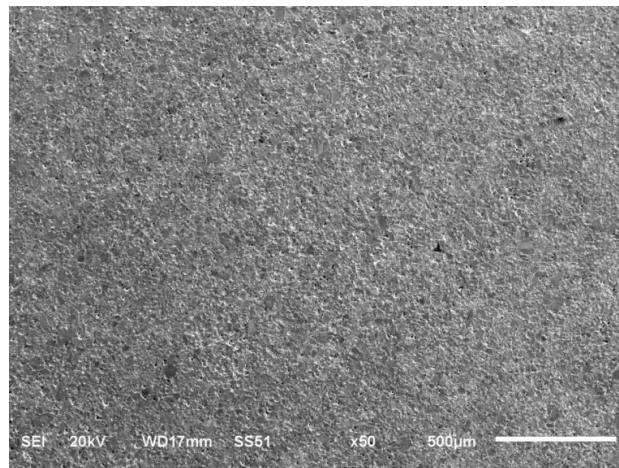


Tablo 5.4. Ağırlıkça %20 CrC içeren Cu-CrC tozunun EDX analiz tablosu

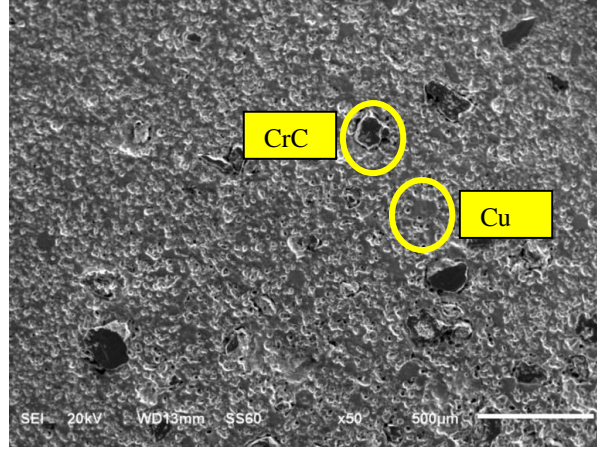
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
C	Ka	13,55	5,876	6,165	wt.%	
Cr	Ka	276,24	17,439	15,505	wt.%	
Cu	Ka	575,78	24,648	78,331	wt.%	
				100,000	wt.%	Total

Cu-CrC tozlarının Sem görüntüleri ve EDX analizi sonucunda karıştırma işleminin başarılı bir şekilde gerçekleştiği ve Cu numunelerinin içinde CrC tozlarının homojen dağıldığı görülmüştür. Ayrıca EDX analizinde de görüleceği üzere Cu partikülleri içerisindeki CrC partikül oranı arttıkça, ağırlıkça orana bağlı olarak Cr patternlerinin Cu patternleri içindeki miktarı da artmaktadır.

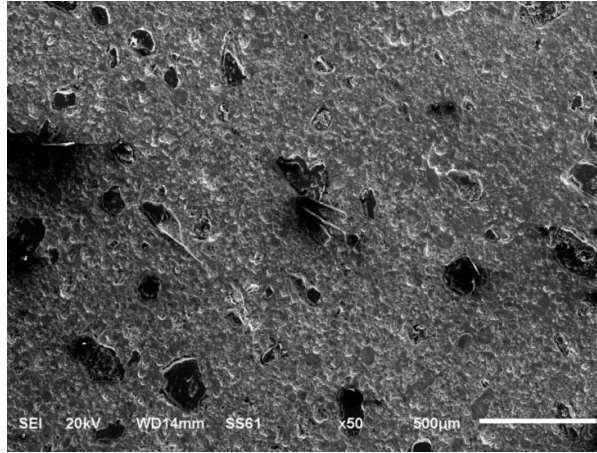
Daha sonra numuneler preslenmiş ve preslemeden sonra numuneler 950 °C de tüp fırında sinterlenmiştir. Sinerleme ve parlatma işleminden sonra numuneler SEM’de incelenmiş ve inceleme sonucunda elde edilen mikroyapı (Şekil 5.9-5.13) ve EDX analiz grafiği (şekil5.14-5.17), EDX analiz tablosu (Tablo 5.5-Tablo 5.8) ve XRD analizleri sunulmuştur (Şekil 5.18-Şekil 5.22).



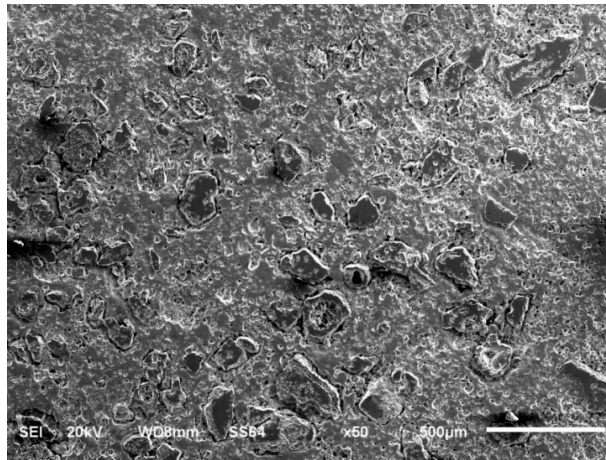
Şekil 5.9. Sinterleme sonunda saf Cu numunesi SEM görüntüsü



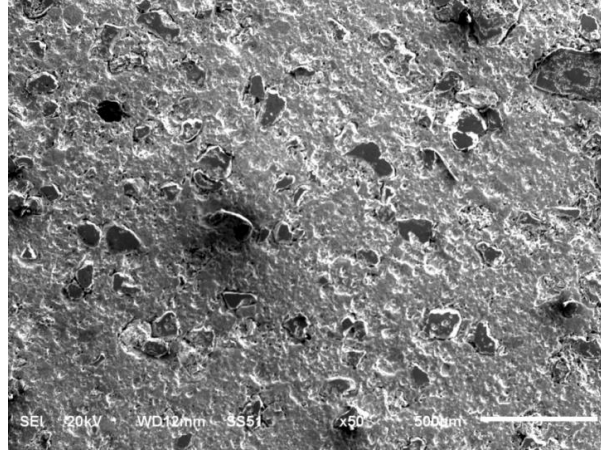
Şekil 5.10. Sinterleme sonunda %5 CrC içeren Cu-CrC numunesi SEM görüntüsü



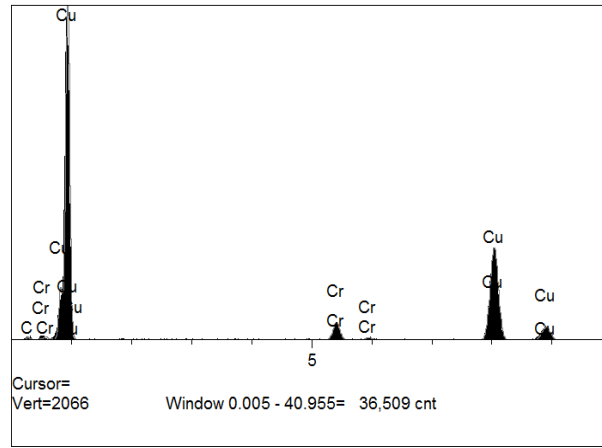
Şekil 5.11. Sinterleme sonunda %10 CrC içeren Cu-CrC numunesi SEM görüntüsü



Şekil 5.12. Sinterleme sonunda %15 CrC içeren Cu-CrC numunesi SEM görüntüsü



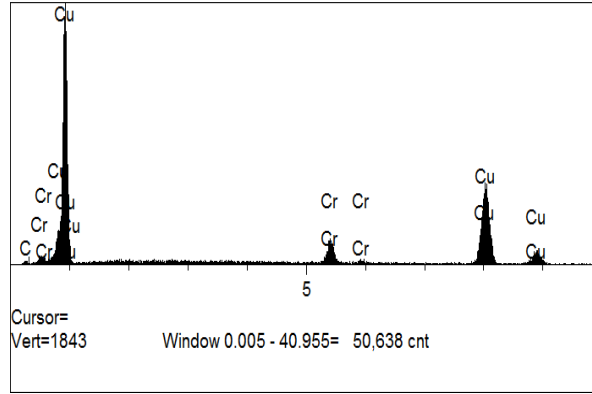
Şekil 5.13. Sinterleme sonunda %20 CrC içeren Cu-CrC numunesi SEM görüntüsü



Şekil 5.14. Sinterleme sonunda %5 CrC içeren Cu-CrC numunesi EDX görüntüsü

Tablo 5.5. Sinterleme sonunda %5 CrC içeren Cu-CrC numunesi EDX analiz tablosu

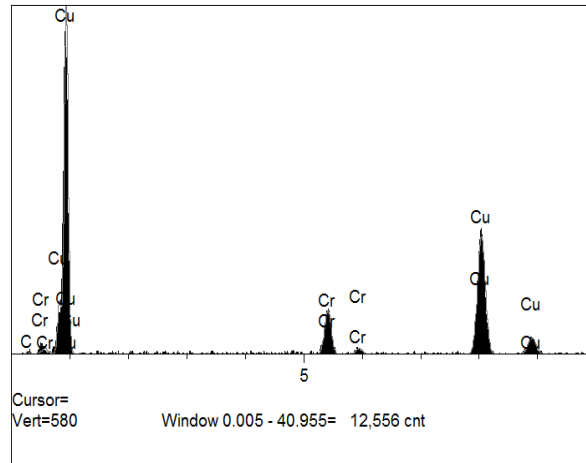
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units
C	Ka	8,47	4,182	2,102	wt. %
Cr	Ka	92,14	12,475	2,215	wt. %
Cu	Ka	1,102,99	30,583	95,683	wt. %
				100,000	wt. %



Şekil 5.15. Sinterleme sonunda %10 CrC içeren Cu-CrC numunesi EDX görüntüsü

Tablo 5.6. Sinterleme sonunda %10 CrC içeren Cu-CrC numunesi EDX analiz tablosu

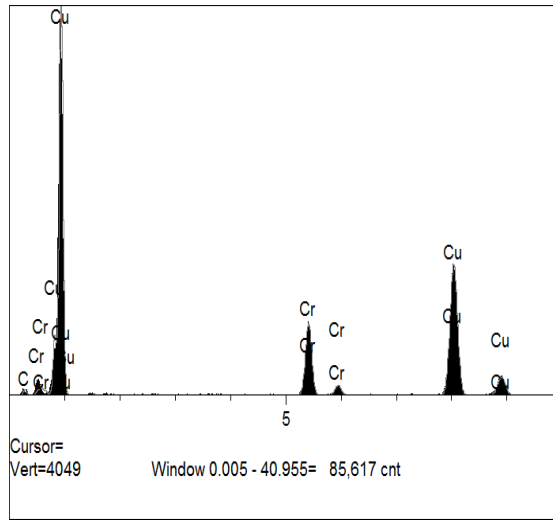
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units
C	Ka	27,07	8,572	4,662	wt. %
Cr	Ka	293,23	17,671	5,402	wt. %
Cu	Ka	1,896,23	39,919	89,936	wt. %
				100,000	wt. %



Şekil 5.16. Sinterleme sonunda %15 CrC içeren Cu-CrC numunesi EDX görüntüsü

Tablo 5.7. Sinterleme sonunda %15 CrC içeren Cu-CrC numunesi EDX analiz tablosu

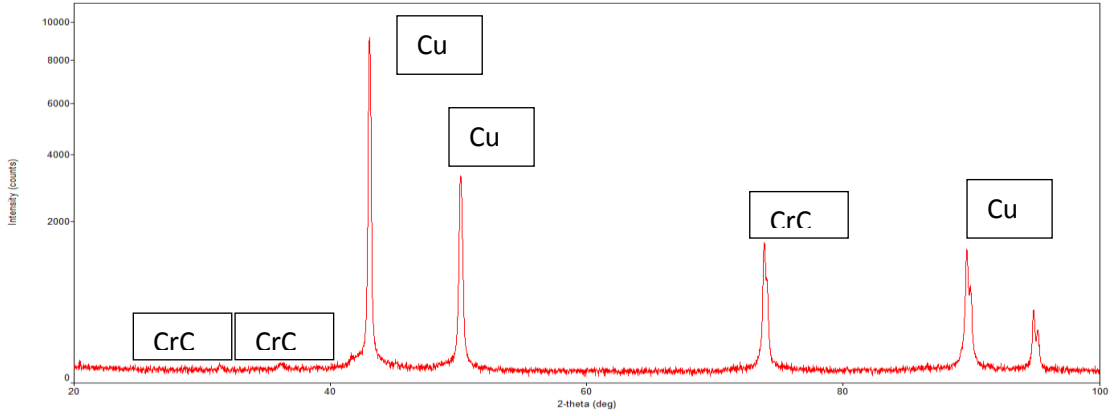
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units
C	Ka	3,93	2,343	3,659	wt.%
Cr	Ka	101,60	6,881	10,807	wt.%
Cu	Ka	325,02	11,733	85,534	wt.%
				100,000	wt.%



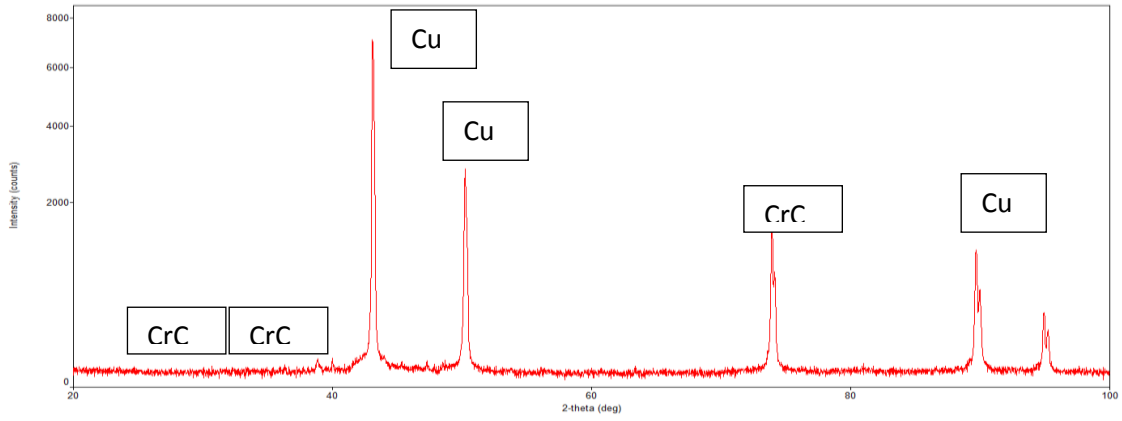
Şekil 5.17. Sinterleme sonunda %20 CrC içeren Cu-CrC numunesi EDX görüntüsü

Tablo 5.8. Sinterleme sonunda %20 CrC içeren Cu-CrC numunesi EDX analiz tablosu

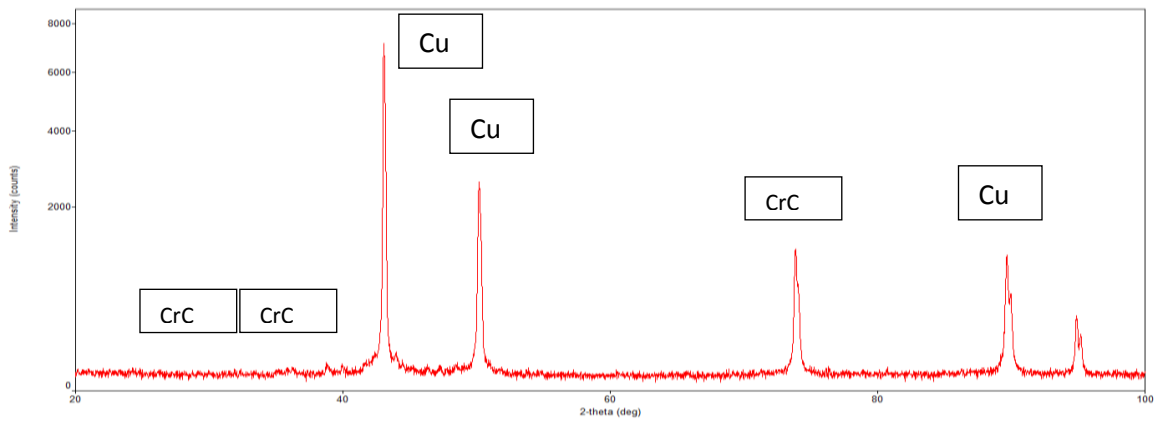
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units
C	Ka	50,81	6,893	5,946	wt.%
Cr	Ka	1,048,39	21,766	15,021	wt.%
Cu	Ka	2,271,73	30,790	79,032	wt.%
				100,000	wt.%



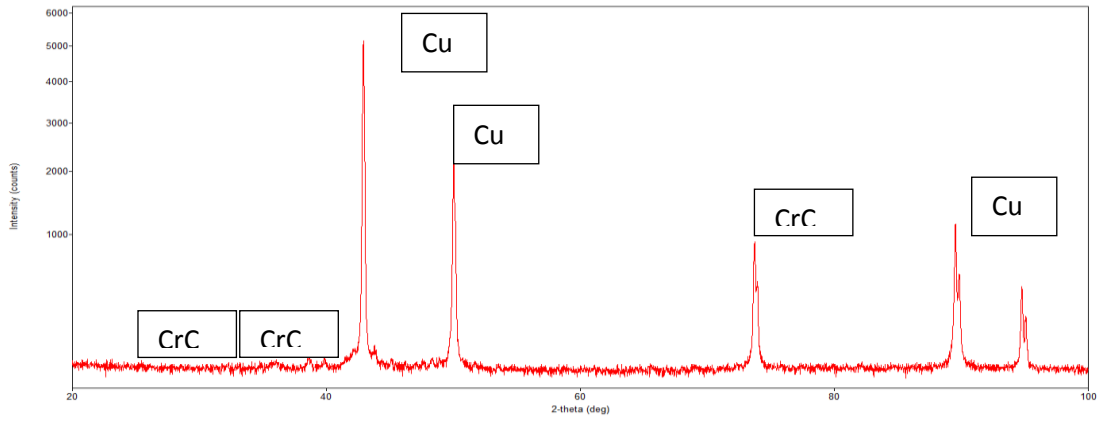
Şekil 5.18. Sinterleme sonunda saf Cu numunesi XRD pikleri



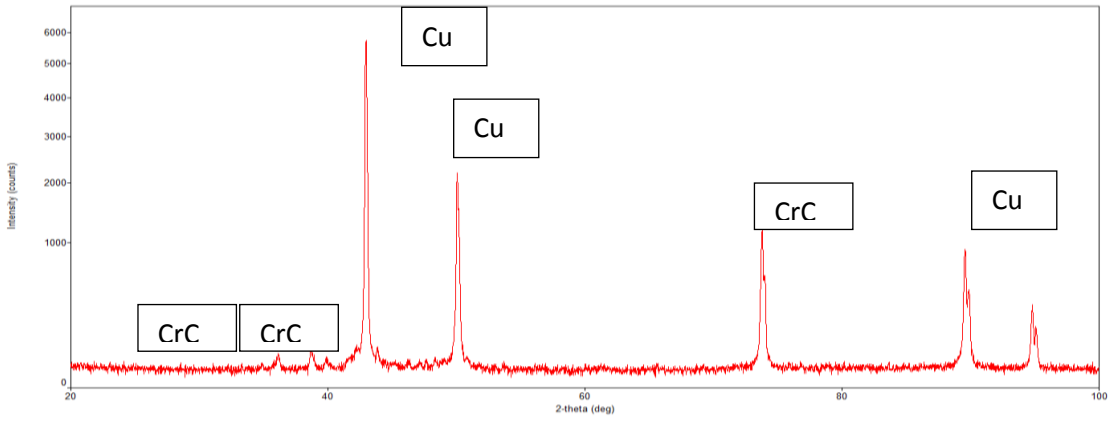
Şekil 5.19. Sinterleme sonunda %5 CrC içeren Cu-CrC numunesi XRD pikleri



Şekil 5.20. Sinterleme sonunda %10 CrC içeren Cu-CrC numunesi XRD pikleri

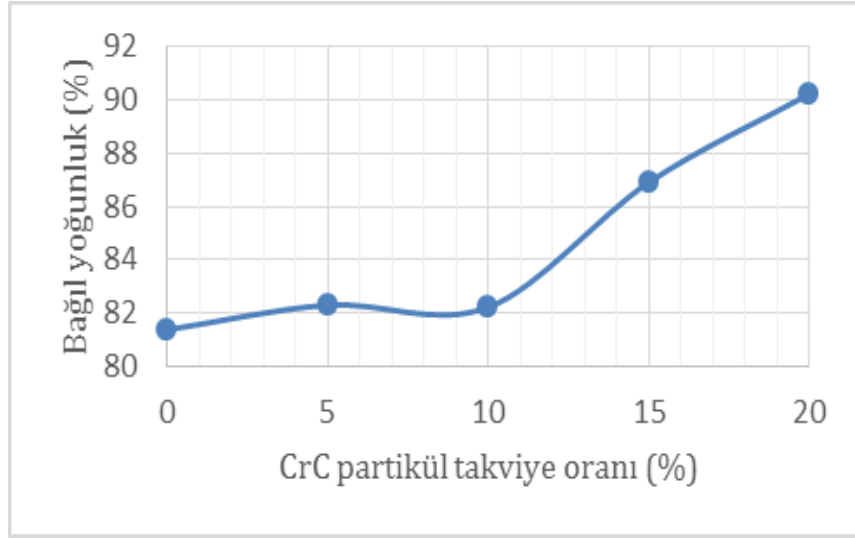


Şekil 5.21. Sinterleme sonunda %15 CrC içeren Cu-CrC numunesi XRD pikleri



Şekil 5.22. Sinterleme sonunda %20 CrC içeren Cu-CrC numunesi XRD pikleri

Elektron mikroskopunda yapılan EDX analizinde ve XRD cihazında yapılan analizlerde özellikle Cu içerisinde CrC oranı arttıkça Cr piklerinin yükseldiği gözlemlenmiştir. Numuneler üzerinde yapılan mikroyapı analizlerinden sonra, numunelerin teorik yoğunlukları hesaplanmış ve gerçek yoğunlukları, numuneler tek tek tartılarak  $d = \frac{m}{v}$  bağıntısı yardımı ile hesaplanmıştır. Bu değerler dikkate alınarak bağıl yoğunluk grafiği oluşturulmuştur (Şekil 5.23).

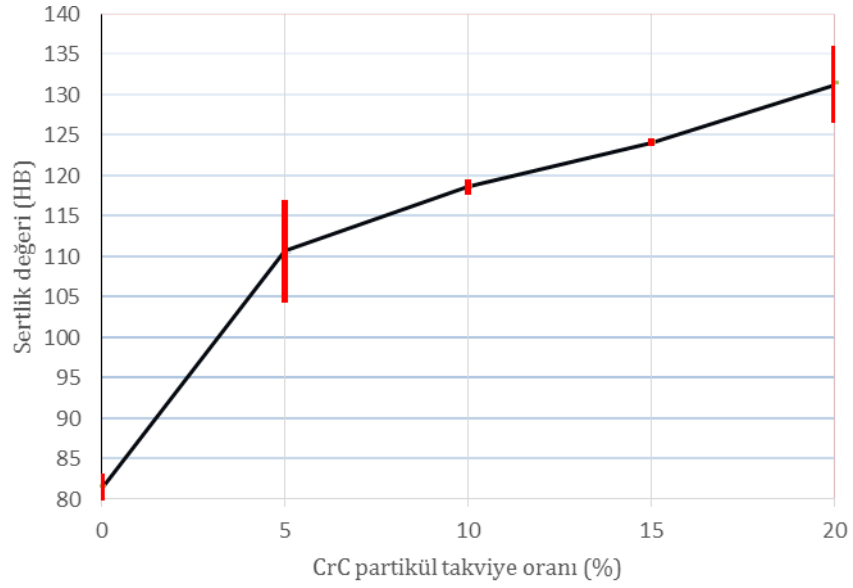


Şekil 5.23. CrC partikül takviye oranına göre bağıl yoğunluk değişimi

CrC yoğunluk değeri saf bakırın yoğunluk değerinden daha düşük olduğundan, CrC ilave oranı arttıkça numunelerin teorik yoğunluğu düşmektedir. Gerçek yoğunluk değerleri de ölçüldüğünde CrC partikül takviyesi ile birlikte gerçek yoğunluk değerinin düştüğü tespit edilmiştir. Her iki durum kıyaslandığında gerçek yoğunluk değerlerinin teorik yoğunluk değerlerinden düşük olduğu ve düşüş miktarı teorik yoğunluktan daha fazla olması sebebi ile bağıl yoğunluk grafiğinde, yukarı yönlü seyir oluşturmuştur. Toz malzemeler preslendikleri esnada oluşan kısmen gözenekli yapı yoğunluğun düşmesine sebep olmaktadır.

Sinterlenmiş ve yüzeyi parlatılmış olan her bir karışım oranından 3 adet olmak üzere toplam 15 adet numune, Munzur Üniversitesi'nde sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

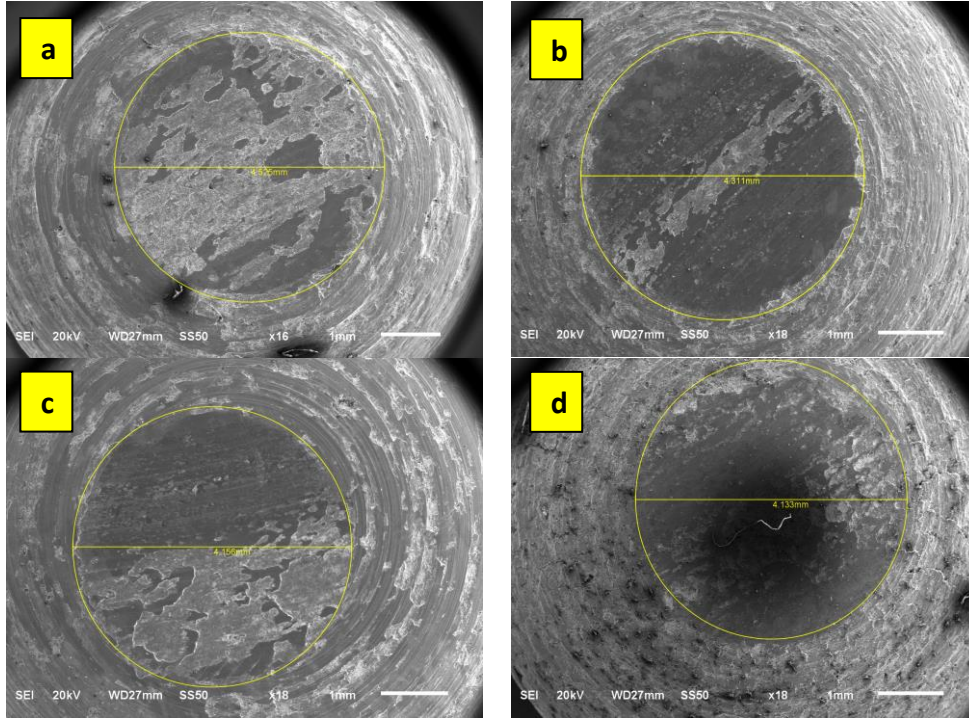




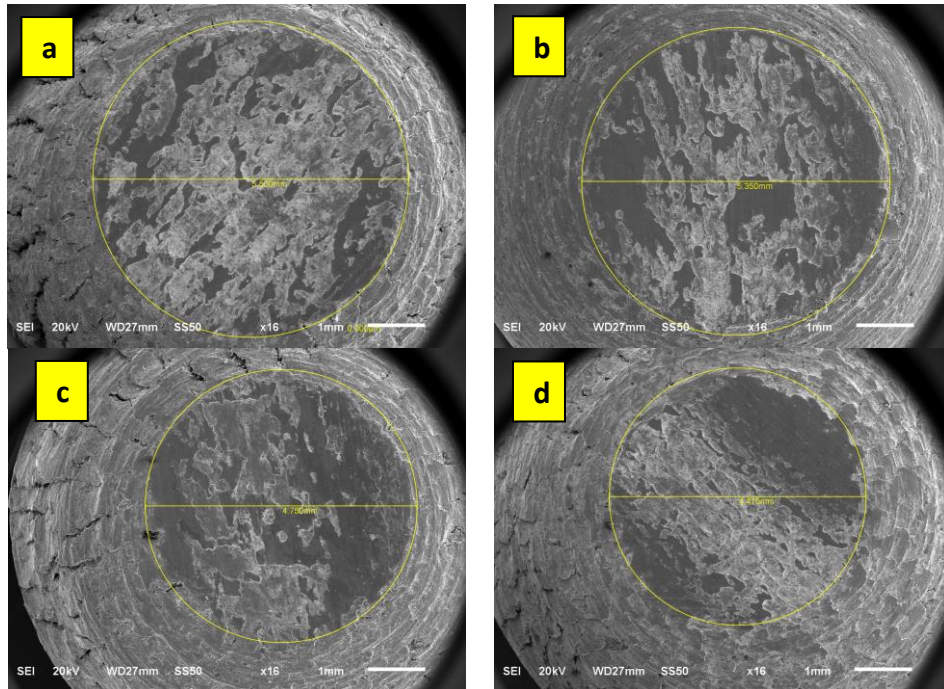
Şekil 5.24. CrC partikül takviye oranına göre sertlik değerleri

Sertlik ölçümleri sonucunda, Cu matrisli kompozit malzemeye CrC takviye oranı miktarı arttıkça sertliğinin de doğru orantılı olarak arttığı görülmüştür (Şekil 5.24).

Aşınma deneyi yapılırken Pin-on disk yöntemi kullanılmış ve numunelerde oluşan aşınma miktarı, ağırlık ölçümü ve aşınma derinliği ölçümü ile tespit edilmiştir. Aşınmadan dolayı silindirik numune uç kısmında oluşan aşınma çapları SEM’de ölçülmüş ve Şekil 5.25 ve Şekil 5.26’te verilmiştir.

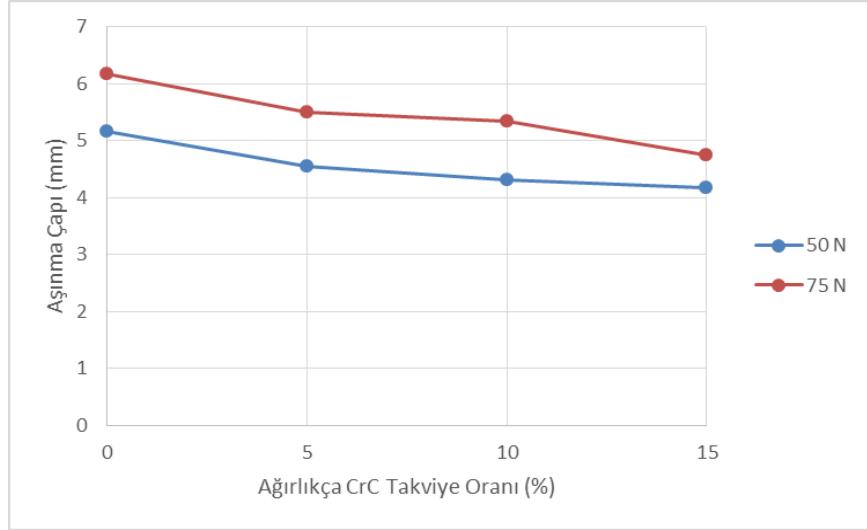


Şekil 5.25. 50 N yük altında aşındırılan numunelerin sem görüntüsü a) %5 CrC partikül takviyeli, b) %10 CrC Partikül takviyeli, c) %15 CrC Partikül takviyeli, d) %20 parikül takviyeli numuneler



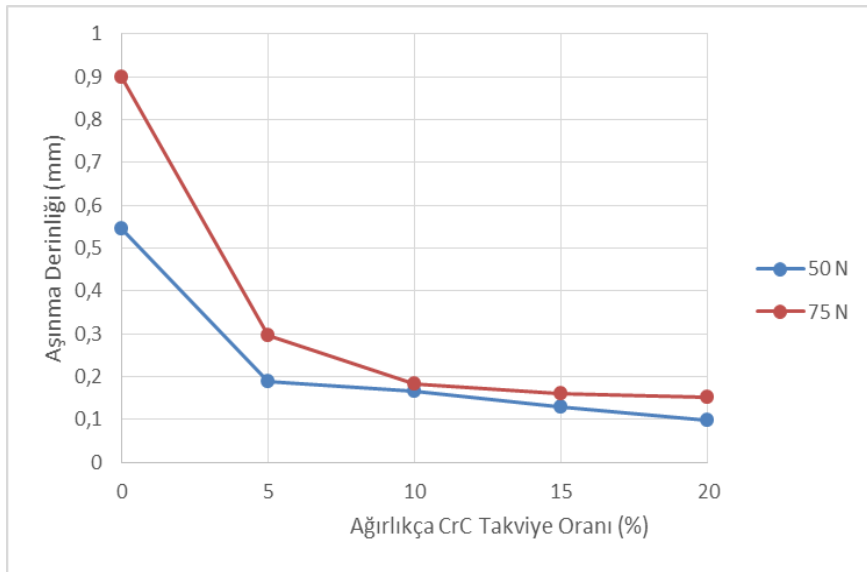
Şekil 5.26. 75 N yük altında aşındırılan numunelerin sem görüntüsü a) %5 CrC partikül takviyeli, b) %10 CrC Partikül takviyeli, c) %15 CrC Partikül takviyeli, d) %20 parikül takviyeli numuneler

SEM’de aşınmadan dolayı numune üzerinde oluşan çaplar ölçülmüş ve değerler Şekil 5.27’de grafik olarak verilmiştir.



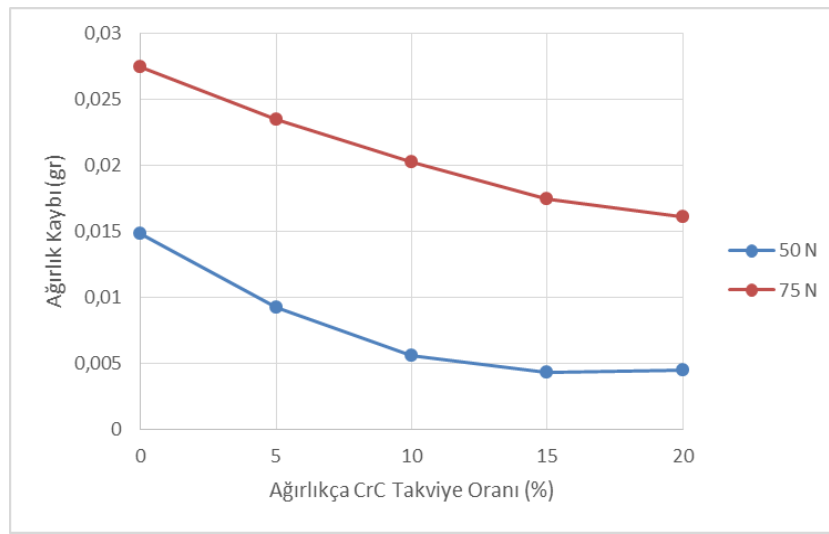
Şekil 5.27. CrC partikül takviye oranına göre aşınma çapı değişimi

Şekil 5.27 incelendiğinde, saf Cu aşınma çapının en büyük olduğu, en küçük aşınma çapının ise %20 CrC takviye oranına sahip numunede olduğu görülmektedir. Bu durum, Cu içerisinde CrC miktarı arttıkça, aşınma dayanımının yükseldiğini desteklemektedir.



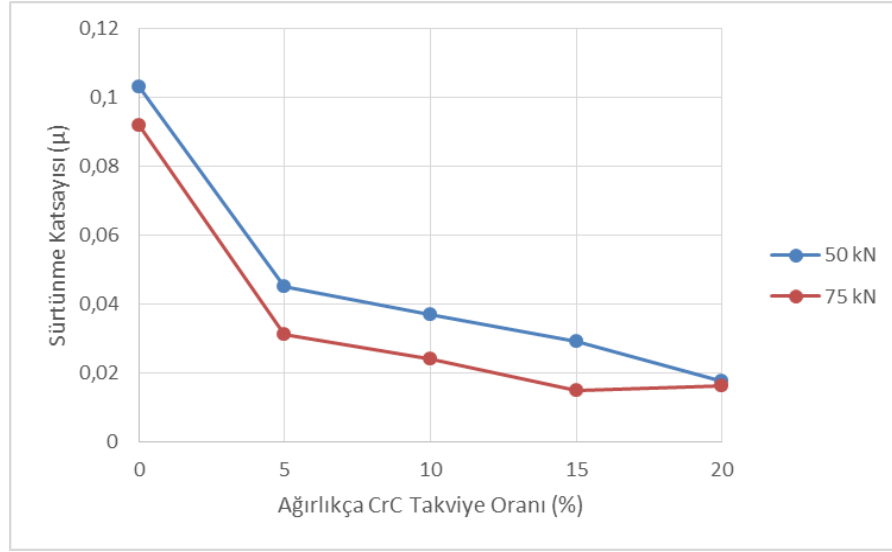
Şekil 5.28. CrC partikül takviye oranına göre aşınma derinliği değişimi

Ayrıca her bir numunede aşınma kısmının derinliği ölçülmüş ve sonuçlar Şekil 5.28’de grafik olarak verilmiştir. Çap ölçümüne paralel olarak aşınma derinliği saf numunede maksimum ve %20 CrC takviyeli numunede ise minimum olmuştur. Bu durumda CrC takviyesinin aşınma direncine pozitif katkı sağladığını göstermektedir. Ayrıca CrC partikül takviyesi yapıldığı andan itibaren Cu’nun aşınma direncinin pozitif olarak ciddi şekilde etkilendiği görülmüştür. Yine aynı şekilde bütün numunelerin, aşınma deneyinden önce ve deneyden sonra ağırlıkları hassas terazide ölçülmüş ve kütle kayıpları Şekil 5.29’da grafiğe dökülmüştür.

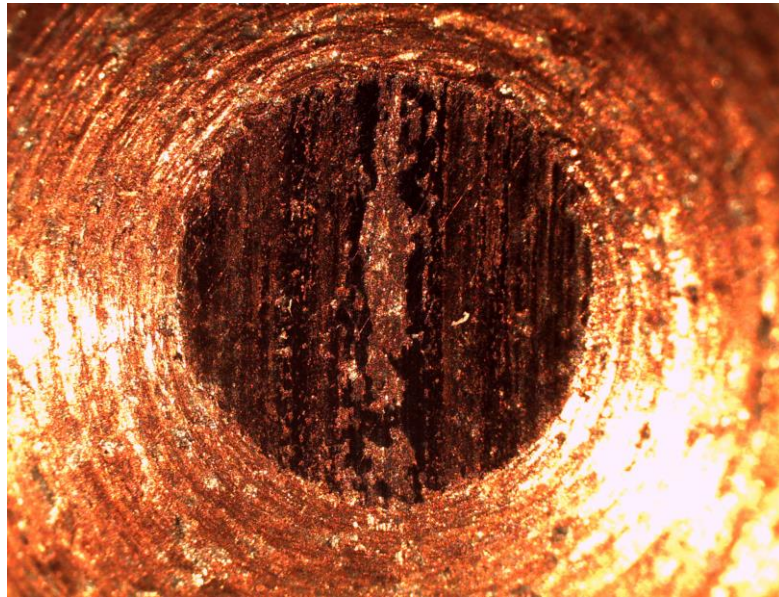


Şekil 5.29. CrC partikül takviye oranına göre numunelerde ağırlık kaybı değişimi

Kütle ölçümü sırasında en fazla kütle kaybının saf bakırda, en az kütle kaybının ise yine %20 CrC takviyeli numunede meydana geldiği görülmüştür. Ayrıca deneyde uygulanan 50 ve 75 N’luk kuvvetler sonucunda meydana gelen sürtünme katsayıları Şekil 5.30’daki grafiğe çıkarılmıştır. Sürtünme katsayısı Ağırlıkça CrC oranı arttıkça düşüş göstermiştir. Bu durum, aşınma dayanımının %CrC miktarına bağlı olarak arttığını desteklemektedir. Aşınma deneyinden sonra numunelerinin, optik mikroskop ve SEM altında incelemeleri yapılmıştır. Optik mikroskop altında numunelerin aşınma çapı gözlenmiştir (Şekil 5.31).

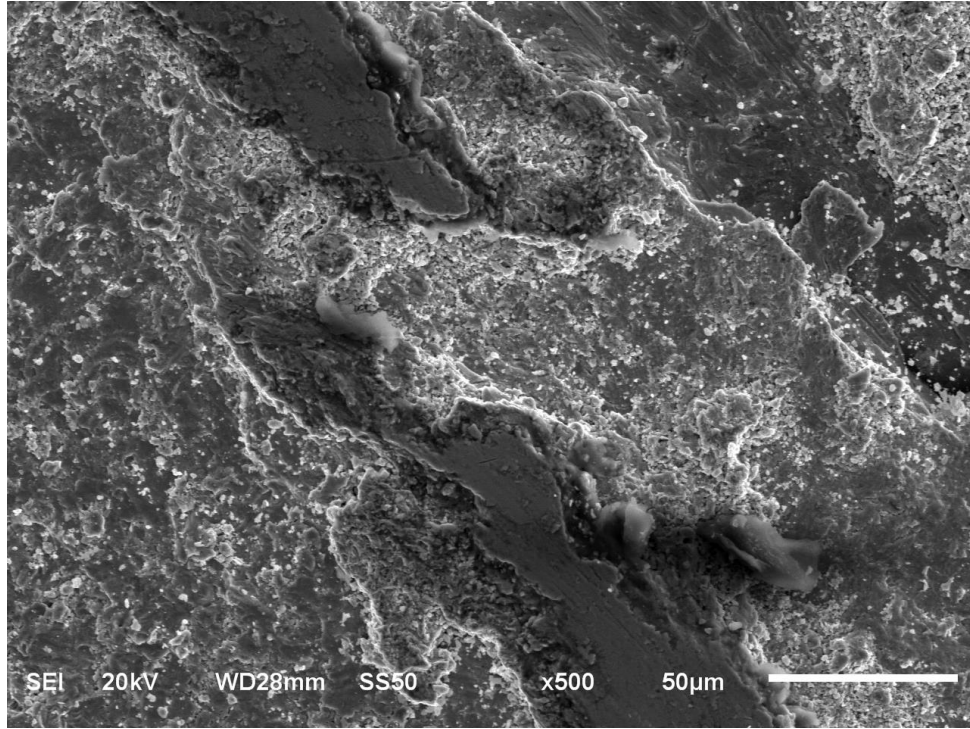


Şekil 5.30. CrC partikül takviye oranına göre numunelerde sürtünme katsayısı değişimi



Şekil 5.31. Optik mikroskop aşınma yüzeyi görüntüsü

Yapılan incelemede aşınma çapının saf bakırda en büyük olduğu ancak; en küçük çapına %20 CrC partikül takviye oranına sahip numunede görüldüğü tespit edilmiştir. CrC takviye oranının artmasıyla numunelerde aşınma direnci arttığından, numunelerde ağırlıkça partikül takviyesi yüzdesine bağlı olarak, aşınma yarıçapları küçülmüştür. Daha sonra numuneler SEM’de incelenmiş ve aşınma yüzeylerinin durumu Şekil 5.32’de verilmiştir.



Şekil 5.32. Aşınma yüzeyi SEM görüntüsü

Numunelerin SEM fotoğrafları üzerinde yapılan incelemede; aşınmaların genelde boyun kopmaları şeklinde olduğu gözlemlenmiştir. Tane kırılması şeklinde aşınma yok denecek kadar azdır.

1. Gerçekleştirilen bu çalışmalar rehberliğinde, Cu-CrC alaşımının içerisine farklı elementel tozların mikro düzeyde ilavesi ile farklı kompozisyonlara sahip bakır matrisli metal kompozitler üretilerek daha üstün mekanik özelliklere sahip olan malzemeler geliştirilebilir.
2. Sinterleme, toz işleminde temel bir basamaktır. Sinterlenmemiş üründen, sinterlenmiş ürüne geçişte mikro yapıda meydana gelen değişime etkiyen en önemli parametrelerden biri sinterleme sıcaklığı ve süresidir. Sinterleme sıcaklıkları ve sinterleme süreleri değiştirilerek bu malzemelerin mekanik ve aşınma dayanımları geliştirilebilir.
3. Tane büyüklükleri ve takviye oranları değiştirilerek malzemelerin dayanımları ve performans karakterleri incelenebilir.
4. Numunelerde uygulanan basınç artırılarak porosite azaltılıp yoğunluk artırılabilir.

5. Daha büyük kalıplar tasarlanıp üretilerek, bu kalıplar yoluyla büyük numuneler üretilip, Cu-CrC ve daha başka partikül takviyeli Cu matrisli kompozit malzemelerin talaş kaldırma yöntemleri uygulanarak, talaşlı imalat performansları incelenebilir.

## KAYNAKLAR LİSTESİ

Acılar M (2002) Al/SiC kompozitlerin vakum infiltrasyon yöntemi ile üretimi ve aşınma davranışlarının araştırılması. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara

Ahlatçı H, Candan E, Çimenoglu H (2003) % 60 SiC-Al Kompozitlerin Aşınma Davranışına SiC Partikül Boyutunun Etkisi. İTÜ Dergisi-D, 2, s. 2-3

Akbulut H, Durman M (1995) SiC partikül takviyeli Al-Si metal matrisli kompozitlerin santrifüj dökümü, 8. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, İstanbul, s. 687-692

Akdoğan A (2005) Makine Malzemelerinde Korozyon ve Yüzeysel Koruma. Yıldız Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Ders Notu, İstanbul

Akdoğan A (2005) İmalatta Kompozit Malzemeler. Yıldız Teknik Üniversitesi, Lisans Ders Notu, İstanbul

Akgün S, Şahin S, Ukzut M, Köksal S (2004) T/M Yöntemi ile Üretilmiş Al Esaslı SiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiC+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Takviyeli Kompozitlerin Aşınma Davranışlarının İncelenmesi. 10. Malzeme Sempozyumu Bildiriler Kitabı, s. 443-444.

Akın G (2006) Toz Metalurjisi Yöntemiyle Alüminyum Matrisli BorKarbür takviyeli Kompozitlerin Üretilmesi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul

Akoral E, Türker M, Özçatalbaş Y (2002) Al Matrisli SiC Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Toz Metalurjisi Yöntemi İle Üretimi. 3.Uluslararası Toz Metalurjisi Konferansı Bildirileri CD'si, s. 942-950

Akoral E (2003) Toz Metalurjisi Yöntemi ile Al-SiC Kompozit Malzeme Üretimi ve İşlenebilirliğinin İncelenmesi. Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Manisa



Altun H, Şen S (2006) PVD Tekniğiyle Yapılan Kaplamaların Magnezyum Alaşımlarının Yapısal, Mekanik ve Tribolojik Özelliklerine Etkisi. 11. Uluslararası Malzeme Sempozyumu Bildiriler Kitabı, s. 1002

Aran A (1997) Metal Matrisli Kompozit Malzemeler Alanında Yeni Gelişmeler

Arık H, Bağcı C (2003) Investigation of influences of pressing pressure and sintering temperature on the mechanical properties of Al-Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> composite materials. Turkish Journal of Engineering Environmental Sciences, 27 TÜBİTAK, Ankara, s. 53-58

ASM International Handbook Committee (2002) Composites. ASM Handbook Vol. 21

Atik E, Ünlü SB, Şen O, Çavdar U (2006) Partikül Takviyeli AlSi<sub>12</sub>CuNiMg Kompozitinin Aşınma Dayanımı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. C.B.Ü. Fen Bilimleri Dergisi, 2, s. 75-87

Bolay KA (1998) Microstructural Study of Hot Pressed PM Aluminum-Copper and Aluminum-Copper-Siliconcarbide Composites. M.Sc.Thesis, METU, Ankara

Clyne TW (2001) Metal Matrix Composites: Matrices and Processing, in Encyclopaedia of Materials. Science and Technology, Ed. Mortensen, A, Elsevier

Cöcen Ü, Önel K (1996) Metal Matrisli Kompozitler: Özellikleri ve Uygulamaları. Metalurji Dergisi, 20, 104: 18-31

Cöcen Ü, Önel K, Özdemir İ (1997) Microstructures and age hardenability of Al-%5Si-%0-2Mg based composites reinforced with particulate SiC. Composites Science and Technology, 139-147

Çıtak R (1998) Metalik Ba-Al Başlangıç Tozlarının Düşük sıcaklıklarda Oksidasyonu ile Al Matrisli Kompozit Üretimi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, Ankara

Davidson JE (1996) Compressibility of Metal Powders. Quebec Metal Powders Ltd., London 286-287

Deniz ME (2005) Kompozit Malzemelerin Üretim yöntemleri ve Isıl işlemle Presleme Tekniğini kullanarak Kompozit Malzeme Üretecek Bir Düzeneğin Tasarım ve İmalatı. Harran üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Şanlıurfa

Dong SR, Tu JP, Zhang XB (2001) An investigation of the sliding wear behavior of Cu-matrix composite reinforced by carbon nanotubes. *Materials Science and Engineering A*(313): 83-87

Durmuş H (2006) CO<sub>2</sub> Lazer Kaynağıyla Birleştirilmiş Alüminyum Matrisli Kompozitlerin Kaynak Bölgesinin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Celal Bayar üniversitesi, Fen Bilimleri enstitüsü, Doktora tezi, Manisa

Feng AH, Geng L, Zhang J, Yao CK (2003) Hot compressive deformation 117 behaviour of eutectic Al-Si alloy based composite reinforced with  $\alpha$ -Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> whiskers. *Materials chemistry and physics*, Chiana 82: 618-621

German RM (1994) *Powder Metallurgy Science*. 2nd edition, Metal Powder Industries Federation, USA, 58-64

Göktaş AA (1995) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-B<sub>4</sub>C kompozit seramiklerin sinterlenmesi ve karakterizasyonu. 8. Uluslar arası Metalurji ve Malzeme Kongresi, İstanbul, 1317-1321

Güven ŞY (2011) SDÜ Teknik Bilimler Dergisi. Isparta, Cilt 1, Sayı 2, s. 22

Hanumanth GS, Irons GA (1993) Partide incorporation by molt stirring for the production of metal-matrix kompozites. *Journal of Metarial Science*, 2459-2465

Hanyaloğlu SC, Colm IJ (1999) Alüminyum Nitrür/Nikel-Alüminyum kompozitlerin toz metalurjisi metoduyla üretimi. Uluslararası Katılımlı Toz Metalurjisi Konferansı, ODTÜ, Ankara, 653-659

Hiçyılmaz N, Aydın Ş, Sarıtaş S (1999) Toz Metalürjisi İle Üretilmiş Aluminyum Esaslı Tanecikli Kompozitlerin Mekanik Özellikleri. 2.Uluslararası Katılımlı Toz Metalurjisi Konferansı Bildiriler Kitabı, s. 621-629.

Hiçyılmaz N (1999) TM yöntemleri ile elde edilen seramik tanecik destekli alüminyum esaslı kompozit malzemelerin aşınma özellikleri. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ankara

İzciler M, Muratoglu M (2002) Wear behaviuor SiC reinforced 2124 Al alloy composite in RWAT system. Journal of Materials Processing Technology 132 p. 67-72.

Kalaycıoğlu AS (2010) SiC Tane Katkılı Alüminyum Kompozitlerin Toz Metalurjisi ile Üretimi ve Karakterizasyonu. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İzmir

Kang SJL (2005) Sintering: Densification, Grain Growth, and Microstructure. Elsevier, Butterworth-Heinemann, Amsterdam

Keçeli Z (2007) Characterization investigations of powder and sintered Al-SiC and Al-B<sub>4</sub>C composites developed via mechanical alloying. İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul

Kök M (2001) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Partikül Takviyeli 2024 Alüminyum Metal Matrisli Kompozitlerin Üretimi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniv. Fen ve Mühendislik Dergisi, 20, 2:131-142

Kurt A (1992) Toz metal bronz yatak malzemelerin özellikleri. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara

Kuşkonmaz N, Toy Ç, Apdemir O, Tekin A (1993) Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>'ün karbo termal sentezi sırasında oluşan visker morfolojisinin incelenmesi. 7.Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, Ankara, 625-634

Lee PW (1998) ASM Handbook: Powder Metallurgy Technologies and Applications. Volume 7, ASM International

Mabuchi M, Higashi K (2001) An experimental investigation of a superplastic constitutive equation in Al-Mg-Si alloy composites reinforced with Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> whiskers. International Journal of Plasticity, Japan, 17: 399-407

Moustafa SF, Abdel-Hamid Z, Abd-Elhay AM (2001) Friction and wear of copper-graphite composites made with Cu-coated and uncoated graphite powders. Wear 253 699-710

Nazik C (2013) Alüminyum Matrisli B<sub>4</sub>C Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Toz metalurjisi Yöntemiyle Üretimi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya

Newkirk JW, Kosher RA (2004) Designing with Powder Metallurgy Alloys, in Handbook of Mechanical Alloy Design. Eds. Totten GE, Xie L and Funatani KM, Dekker, New York

Okura T, Nomura S, Shikakura S (1990) Solid state powder processing, The Minerals, Metal and Materials Society, ed. Clouer, AH, De Barbadillo, J.J

Ozan S, Çaligülü Ü, Taşkin M, Gür AK, Dikbaş H, Ve Çay VV (2006) Sıcak Presleme Yöntemiyle imal edilmiş SiC Takviyeli Alüminyum Esaslı Kompozitlerin Difüzyon Kaynağında Sıcaklığın Birleşme Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi. 11. Denizli Malzeme Sempozyumu, 19-21 Nisan, Denizli, s. 233-236

Ögel B, Kaya G (1992) Alüminyum-SiC kompozitlerin konvensiyonel sıcak presleme yöntemi ile üretimi. 2.National PM Conference Ankara, Turkey, 631-635

Ögel B (1997) Kompozit Malzemelerde Son Gelişmeler ve İleriye Dönük Beklentiler. 9. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, 11-15. Haz. 1997, İstanbul, 639-649

Önel K (1995) Süreksiz SiC katkılı alüminyum matrisli kompozitler. (1 bölüm), Metalurji Dergisi, Ankara, 46-53

Özay Ç, Haşçalık A (2004) T/M Yöntemi ile Üretilen Cu-C-Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> Kompozitinde C Oranının Abrasiv Aşınma Dayanımına Etkisi. Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları Dergisi, s. 151-154

Ray Y, Kannikeswaran K (1989) İnter-facial Reaction Kinetics of Al/SiC Composite During Casting, Interfaces in Metal-Ceramic Composites. The Minerals, Metals &Materials Society, pp: 153-164

Sınmazçelik T (2003) Kompozit Malzemeler Ders Notları. Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli

Singh M, Mondal DP, Modi OP, JHA, AK (2002) Two-body Abrasive Wear Behaviour of Aluminium Alloy-sillimanite Particle Reinforced Composite. Wear, 253, 357-368, India

Smith WF (2001) Malzeme Bilimi ve Mühendisliği. (Çev. N.Kımkoğlu), İstanbul, Literatür Yayıncılık

Söyler M (2007) Toz Metalurjisi ve Uygulamaları. Gebze İleri teknoloji Enst. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Gebze

Sur G (2002) Alüminyum esaslı kompozitlerin üretimi ve işlenebilirliğinin incelenmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara

Suryanarayana C (2001) Mechanical alloying and milling. Progress in Materials Science, 46: 1-184

Sümer M (2003) Mekanik alaşımlama ile üretilen Fe-Fe<sub>3</sub>C kompozit malzemede mekanik özelliklerin araştırılması. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara

Şahin Y (2000) Kompozit Malzemelere Giriş 1. Ankara, Gazi Kitabevi, 3, 52

Şahin Y (1999) Kompozit Malzemelere Giriş. Ankara, Gazi Kitabevi, 43-55

Şahin Y (2004) Silisyum Karbür Takviyeli Al-Si Matrisli Kompozit Malzemelerin Mikro yapılarının ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Y.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü-Doktora Tezi ( Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ayşegül Akdoğan), İstanbul

Taya M, Arsenault RJ (1987) A Comparison Between a Shear Lag Type Model and an Eshelby Type Model in Predicting the Mechanical Properties of a Short Fiber Composite. Scripta Metallurgica, Volume: 21, Issue: 3, Pages: 349-354

Tjong SC, Lau KC (1999) Tribological behaviour of SiC particle-reinforced copper matrix composites. Materials Letters 43, Pages 274-280

Tjong SC, Lau KC (2000) Abrasive wear behavior of TBi<sub>2</sub> particle –reinforced copper matrix composite. Materials Science and Engineering A, volume 282, Issues12 Pages 183-186

Tomruk S (2010) Toz Metalurjisi Yöntemi ile Üretilmiş AA2014 Alüminyum Alaşımının Mikroyapısal Karakterizasyonu ve Aşınma Davranışlarının İncelenmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi,Ankara

Toptan F (2006) Alüminyum Matrisli B<sub>4</sub>C Takviyeli Kompozitlerin Döküm Yöntemi ile Üretimi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul

Ulutaş A (2014) Bor Takviyeli Bakır Kompozitin Toz Metalurjisi Yöntemi ile Üretimi ve Mekanik-Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Elazığ

Ünal R, Kainer KU (1999) Toz metalurjisi yöntemi ile Al-SiC alaşımı üretilmesi ve mekanik özellikleri. Uluslar arası Katılımlı 2. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı, ODTÜ, Ankara, 579-584

Ünlü SB, Durmuş H, Meriç C (2007) Metal Matrisli Kompozit Malzemeler ve Uygulamaları. Metalurji-Malzeme Dergisi, 9, 106-113

Ürkmez N (2004) AlMg<sub>3</sub> / SiCp Kompozitlerinin Üretimi ve Mekanik Özelliklerindeki Değişimlerin İncelenmesi. Y.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü-Doktora Tezi ( Tez Danışmanı: Prof. Mehmet Emin Yurci), İstanbul

Xiong X, Sheng HC, Chen J, Yao PP (2007) Effects of Sintering Pressure and Temperature on Microstructure and Tribological Characteristic of Cu-Based Aircraft Brake Material. Trans.Nonferrous Met, SCC, 17 p. 667-669

Varol T (2012) AA2024 Matrisli B<sub>4</sub>C Parçacık Takviyeli Metal Matrisli Kompozitlerin Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretimi ve Özelliklerinin İncelenmesi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Trabzon

Yavuz N, Güner R (2002) Demir Esaslı Toz Metal Parçaların Elektrik Direnç Kaynağından Optimum Kaynak Şartlarının Belirlenmesi. Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 7, Sayı 1, S. 221-228

## ÖZGEÇMİŞ

Mehmet Mehdi MUNİS, 1975 yılında Cizre’de doğdu. İlkokul öğrenimini Cizre Artukođlu ilkokulunda başlayıp Osmaniye Mithatpaşa ilkokulunda tamamlamıştır. Osmaniye İmam Hatip Ortakulu’nu bitirdikten sonra Lise öğrenimini Osmaniye Teknik ve Endüstri Meslek Lisesinde tamamlamıştır. 1995 yılında Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Öğretmenliği bölümünü kazanmış ve 1999 yılında mezun olmuştur. Yaklaşık iki yıl vekil öğretmenlik yapmış olup daha sonra değişik sektörlerde çalışmış, 2007 yılında Malta’da özel bir dil okulunda üç ay İngilizce eğitimi alarak yurda geri dönmüştür. Beş çocuk babası olup, 2008 yılından beri Cizre Tüvtürk Araç Muayene istasyonunda İstasyon Amirliği görevinde çalışmaktadır.