

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

**BAKIR MATRİSLİ BOR KARBÜR TAKVİYELİ
KOMPOZİTLERİN MİKROYAPI VE MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FURKAN GÜLAN

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**TEZ DANIŞMANI
Dr. Öğr. Üyesi Zülcüf BALALAN**

BİNGÖL-2018

ÖNSÖZ

Tez çalışmaları süresince yardımlarını ve bilgi birikimini esirgemeyen, çalışmaların tamamlanabilmesi için gerekli desteği veren değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Zülküf BALALAN'a teşekkür ederim. Desteklerinden dolayı Bingöl Üniversitesi hocalarından Prof. Dr. Aydın TURGUT ve Arş. Gör. Anıl İMAK'a teşekkür ederim.

Bende büyük emekleri olan, benim için hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan ve dualarını esirgemeyen anne ve babama, tezin hazırlanması sırasında gösterdikleri sabır, fedakârlık ve desteklerinden dolayı eşime özellikle teşekkürü bir borç bilirim.

BAP-SBF. 2017.00.001 numaralı proje, Bingöl Üniversitesi BAP Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiş olup, proje çalışmaları aşamasında gösterdikleri ilgi ve katkılarından dolayı BÜBAP personeline ve Merkezi Laboratuvar çalışanlarına teşekkürlerimizi sunarız.

Furkan GÜLAN
Bingöl 2018

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ	viii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Literatür Araştırması	2
2. METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELERİNİN TANITIMI	7
2.1. Kompozitlerin Yapısı	7
2.1.1. Matris malzemeleri	8
2.1.2. Magnezyum ve Alaşımları.....	8
2.1.3. Titanyum ve Alaşımları	8
2.1.4. Bakır ve Alaşımları.....	9
2.2. Takviye malzemeleri	9
2.2.1. Bor Karbür (B ₄ C).....	10
2.2.2. Alümina (Al ₂ O ₃).....	10
2.2.3. Silisyum Karbür (SiC).....	10
2.3. Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Uygulama Alanları	11
3. TOZ METALURJİSİ	13
3.1. Toz Metalurjisinin Tarihçesi	13
3.2. Toz metalürjisinin tanımı	13
3.2.1. Toz üretimi	14

3.2.1.1. Mekanik Üretim Yöntemleri	15
3.2.1.1.1. Darbe	16
3.2.1.1.2. Aşındırarak Öğütme	16
3.2.1.1.3. Kesme	17
3.2.1.1.4. Basma	17
3.2.1.2. Atomizasyon Teknikleri	18
3.2.1.2.1. Sıvı atomizasyonu	18
3.2.1.2.2. Gaz atomizasyonu	19
3.2.1.2.3. Savurmalı Atomizasyon	20
3.2.1.3. Elektroliz Üretim Teknikleri	21
3.2.1.4. Kimyasal yöntemler	21
3.2.2 Tozların karıştırılması	22
3.2.3 Sıkıştırma veya presleme	23
3.2.4 Sinterleme	23
3.2.4.1 Katı Hal Sinterlenmesi	26
3.2.4.2. Sıvı Faz Sinterlenmesi	27
3.3. Toz Metalürjisinin Uygulama Alanları	28
3.4. Toz Metalürjisinin Avantajları Dezavantajları	29
 4. MATERYAL VE METOD	 31
4.1. Kompozit Malzeme Üretimi	31
 5. BULGULAR VE TARTIŞMA	 34
 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	 47
 KAYNAKLAR	 48
ÖZGEÇMİŞ	54

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Ag	: Gümüş
Ag ₂ O	: Gümüş oksit
Al	: Alüminyum
Al ₂ O ₃	: Alüminyum oksit
B ₄ C	: Bor karbür
Cu	: Bakır
Fe	: Demir
Hip	: Sıcak izostatik presleme
Mg	: Magnezyum
MMK	: Metal Matrisli Kompozitler
Ni	: Nikel
SiC	: Silisyum karbür
SiO ₂	: Silisyum dioksit
T/M	: Toz metalürjisi
Ti	: Titanyum
Zn	: Çinko

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Uzay mekiğinin gövdesinde kullanılan alüminyum tüpler	11
Şekil 2.2.	Titanyum matrisli F-16 iniş takımları	11
Şekil 2.3.	Parçacık takviyeli fren elemanları	12
Şekil 3.1.	Parça üretiminin işlem basamakları	14
Şekil 3.2.	Endüstriyel uygulamalarda görülen toz şekilleri.....	15
Şekil 3.3.	Bilye dolu kavanozla öğütme işlemi	17
Şekil 3.4.	a) Halkalı değirmen b) Merdaneli öğütme şeması	18
Şekil 3.5.	Sıvı atomizasyon	19
Şekil 3.6.	Yatay gaz atomizasyonunun şematik gösterimi	19
Şekil 3.7.	Döner elektrot ile savurmalı atomizasyon şematik gösterimi	20
Şekil 3.8.	Savurmalı atomizasyon örnekleri a) döner disk, b) döner fincan, c)döner teker, d) döner elek.....	20
Şekil 3.9.	Elektrolizin şematik gösterimi	21
Şekil 3.10.	İki konili karıştırıcı.....	22
Şekil 3.11.	Toz taneciklerin birleşmesi	24
Şekil 3.12.	Mikroskopik ölçekte sinterleme: (1) parçacık bağları, temas noktalarında başlar; (2) temas noktaları “boyun” halinde büyür; (3) parçacıklar arasındaki gözenekler, boyut olarak küçülür ve (4) boyun oluşan bölgelerde tane sınırları oluşur	25
Şekil 3.13.	Katı hal Sinterlemenin aşamaları	27
Şekil 3.14.	Sıvı faz sinterleme Şematik gösterimi.....	28
Şekil 3.15.	T/M ile üretilmiş çeşitli ürünlerden bazıları.....	29
Şekil 4.1.	SEM fotoğrafları a) Cu tozu, b) B ₄ C takviye tozu	31
Şekil 4.2.	Kompozitler bileşenlerin boyutları.....	32
Şekil 4.3.	Üretilen kompozit eğilme deneyi makro fotoğrafı	33
Şekil 5.1.	Sıcak preste elde edilen bağıl yoğunluk değerleri.....	34
Şekil 5.2.	Kompozit malzemelerin XRD analizinden elde edilen paternler.....	35

Şekil 5.3. Kompozitlerin OM görüntüleri; a) Cu _{1.5} B ₄ C, b) Cu ₃ B ₄ C, c) Cu _{4.5} B ₄ C, d) Cu ₆ B ₄ C	36
Şekil 5.4. Kompozitlerin SEM görüntüleri; a) Cu _{1.5} B ₄ C, b) Cu ₃ B ₄ C, c) Cu _{4.5} B ₄ C, d) Cu ₆ B ₄ C	37
Şekil 5.5a S3 numunesinin SEM görüntüsü	37
Şekil 5.5b S4 numunesinin SEM görüntüsü	38
Şekil 5.6. S2 numunesinden alınan SEM/EDS nokta analizine ait görüntüler	39
Şekil 5.7. S3 numunesinden alınan SEM/EDS nokta analizine ait görüntüler	40
Şekil 5.8. Sıcak presle üretilen kompozitlerin mikrosertlik değerleri	41
Şekil 5.9. Sıcak presle üretilmiş olan numunelerin üç noktalı eğme grafiği	42
Şekil 5.10. Sıcak presle üretilmiş olan numunelerin darbe tokluğu deney grafiği	44
Şekil 5.11. Kompozitlerin kırık yüzey SEM fotoğrafları; a) Cu _{1.5} B ₄ C, b) Cu ₃ B ₄ C, c) Cu _{4.5} B ₄ C, d) Cu ₆ B ₄ C	45
Şekil 5.12. Kompozitlerin kırık yüzey SEM fotoğrafları; e) Cu _{1.5} B ₄ C, f) Cu ₃ B ₄ C ..	46

TABLÖLER LİSTESİ

Tablo 2.1. MMK’lerde kullanılan bazı takviye malzemelerinin özellikleri.....	9
Tablo 3.1. Tozların önemli özellikleri ve etki ettiği bazı faktörler	15

BAKIR MATRİSLİ BOR KARBÜR TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Bu araştırmada, toz metalurjisi (PM) prosesi olan sıcak presleme (HP) ile farklı oranlarda (ağırlıkça %1,5,%3,%4,5,%6) B₄C partikül takviyesi yapılmış ve Cu matrisli kompozit malzemeler üretilmiştir. Üretilen numuneler 230 kN sabit basınçta 880 °C’de 6 dakika bekletilerek gerçekleştirilmiştir. Bu kompozitlerin karakterizasyon çalışmaları için mikroyapı ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Mikroyapı incelemeleri; Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Optik Mikroskobu (OM), Enerji Dağılımı Spektrometresi (EDS) ve X-ışınları analizi (XRD) ile gerçekleştirilmiştir. Mekanik özellikleri, sertlik ölçümleri, üç noktalı eğme ve darbe deneyleri yapılmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda; artan B₄C takviye oranıyla birlikte, sertlik ve eğilme mukavemet değerleri artmış, fakat darbe enerjisi değerleri düşerek gevrek bir davranış sergilemiştir.

Ayrıca takviyenin matris içerisinde homojen bir şekilde dağılması ve takviye partikül boyutu da kompozitlerin bağl yoğunluk ve mekanik özellikleri üzerine önemli bir etkiye sahip olduğu düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Cu, B₄C, sıcak presleme, kırılma tokluğu, eğilme mukavemeti.

COPPER MATRIX MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF BORON CARBIDE REINFORCED COMPOSITES

ABSTRACT

This study, B₄C particle reinforcements were made with hot pressed (HP) powder metallurgy (PM) process at different ratios (1.5%,3%,4.5%,6% by weight) and Cu matrix composite materials were produced. The resulting samples were stored at 880 ° C for 6 minutes at a constant pressure of 230 kN. Microstructure and mechanical properties of these composites have been investigated for characterization studies. Microstructure studies; Scanning Electron Microscopy (SEM) and Optical Microscopy (OM), Energy Distribution Spectrometry (EDS) and X-ray analysis (XRD). Mechanical properties, hardness measurements, three point bending and impact tests were performed. As a result of the examinations made; With increasing B₄C reinforcement ratio, the values of hardness and bending strength increased but the impact energy values decreased and showed brittle behavior.

It is also believed that the reinforcement is distributed homogeneously in the matrix and the reinforcement particle size has an important influence on the relative density and mechanical properties of the composites.

Keywords: Cu, B₄C, hot pressing, fracture toughness, bending strength.

1. GİRİŞ

Metal matrisli kompozitler, metal ve/veya metalik alaşımlardan oluşan matris içine katılan seramik takviyeler sayesinde nitelikli mekanik özellikler gösteren ve başta havacılık ve otomotiv endüstrisi olmak üzere kendisine oldukça geniş uygulama alanı bulan ileri malzemelerdir. Metal matrisli kompozitlere mekanik özelliklerin iyileştirilmesi için yapılan takviyelerin başında SiC, Al₂O₃, TiC, MgO ve B₄C gibi seramikler gelmektedir. Bu ilaveler arasında B₄C, sahip olduğu üstün fiziksel ve kimyasal özellikleri nedeniyle son zamanlar da birçok çalışmaya konu olmakta ve zengin bor kaynaklarına sahip ülkemiz için son derece stratejik bir malzeme olarak göze çarpmaktadır. Toz metalurjisi, üretim para metrelerinin kolay kontrol edilebilir olması ve düşük operasyon masrafları sayesinde metal matrisli kompozitlerin üretim metotları içinde oldukça geniş yer bulan bir yöntemdir. Bu yöntemde, metalik toz ve/veya alaşımlar çeşitli bağlayıcı katkılarla birlikte karıştırılarak preslenmekte ve kompakt ara ürünler elde edilmektedir. Daha sonra bu ürünler mukavemet ve yoğunluklarının artırılması amacıyla sinterlemeye tabi tutulmaktadır. Sinterlemeyle kullanıma hazır hale gelen bu parçalara opsiyonel bazı ilave işlemler uygulanarak mekanik ve manyetik özelliklerinin artırılması mümkün olmaktadır.

Bu çalışmada; toz metalurjisi yöntemini kullanarak bakırın sahip olduğu tokluk, yüksek elektriksel ve ısı iletkenlik gibi üstün özelliklerini B₄C' ün sahip olduğu yüksek sertlik ile bir araya getirerek üstün fiziksel ve mekanik özelliklere sahip kompozit malzemeler üretmek ve bu kompozit malzemelerin özelliklerini karakterize ederek literatüre kazandırmaktır.

1.1. Literatür Araştırması

Orhan ve arkadaşları ağırlıkça farklı oranlarda %99 saflıkta Al ve B₄C tozuları kullanarak gaz atomizasyon tekniği ile kompozit malzemeler üretilmiştir. Takviye olarak B₄C tozu farklı oranlarda (%10 %20 ve %30) toz metalurjisi yöntemiyle yapılmıştır. Kompozitler soğuk izostatik presleme ve sonrasında sıcak preslemeyle porozite minimuma düşürülmeye çalışılmıştır. Sıcak presleme esnasında sıcaklık 500 ve 550 °C olarak seçilmiş ve kompozitlerin mikroyapı incelemeleri ve mikrosertlikleri değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda; Al matrisli B₄C takviyeli kompozitin homojen bir dağılım sergilediği ve takviye oranlarına paralel olarak mikrosertliklerde değişim olduğu gözlemlenmiştir (Orhan; Gür; Caligulu 2009).

Çelebi Efe Cu matris kompozitlerinin takviyeli SiC ile karakterizasyonu ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada, sementasyon yöntemiyle üretilen bakırın bazı özellikleri ve ağırlıkça %1, 2, 3 ve 5 SiC parçacıkları içeren kompozitleri incelmışler. Kompozitler, grafit tozu içine gömülü olarak 2 saat boyunca 280 MPa'lık tek eksenli basınç uygulanarak 700 °C'lik sıcaklıkta preslenmiş ve sinterlenmiştir. SEM/EDS sinterlenmiş kompozit bileşenlerde baskın olan Cu ve SiC'yi karakterize etmek için XRD teknikleri kullanmışlardır. Mikroyapı çalışmaları bakır parçacıkların etrafında SiC parçacıklarının bulunduğunu ortaya çıkarmışlar ve. Arşimed prensibi ile belirlenen Cu-SiC kompozitlerin bağıl yoğunlukları, artan takviye bileşenleri ile %98,11'den %90,93'e düşmüştür. Sinterlenmiş kompaktların ölçülmüş sertliği 127 ile 155 HVN arasında değişmiştir. Testin malzemelerinin maksimum elektriksel iletkenliği %80,17 IACS ile % 57,76 IACS arasında değişmiştir (Çelebi Efe 2010).

Ruifeng yaptıkları çalışmalarda mikroyapı ve mekanik özelliklerinin mikro nano-bimodal boyutu B₄C parçacıklar güçlendirilmiş alüminyum matris SPS tarafından hazırlanan kompozitleri incelemişlerdir. Mikro boyutlu ve nano boyutlu B₄C parçacıklarının avantajı ile mikro nano-bimodal boyut B₄C parçacıkları yüksek mukavemetli ve süneklik mükemmel kompozitler üretmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, üç farklı hacim fraksiyonlu (%3,5,7) mikro-nano-bimodal boyutlu B₄C partikülleri güçlendirilmiş alüminyum matriks kompozitler, sıcak ekstrüzyon ve haddeleme(HER) tarafından takip edilen kıvılcım plazma sinterlemesi (SPS) ile üretilmiştir. SPS'deki

partiküller arasındaki mikroskopik elektrik deşarjının, kompozitlerin yoğunlaşmasını arttırdığını göstermektedir. SPS kompozitlerin maksimum nispi yoğunluğu, HER sonra %99,21'den %99,65'e yükselmiştir. Nano-boyutlu B_4C partikülleri esas olarak 6061Al partiküllerini as-SPSed kompozitlerde dağıtırken, mikroyapı, HER'den sonra daha homojendir. Tüm deformasyon aşamalarında kompozitlerde yeni fazlar tespit edilmemiştir. As-SPSed kompozitlerin gerilme mukavemeti, 6061Al matrisi ile karşılaştırıldığında artmış ve sıcak haddelemeden sonra haddelenmiş kompozitlerin gerilme mukavemeti 305 MPa'a çıkmıştır. As-extruded ve haddelenmiş kompozitlerin kırılma mekanizmaları temel olarak 6061Al matris yırtığı, partikül matris arayüzey yırtığı ve mikro boyutlu B_4C partikül kırılmasıdır (Liu 2018).

Bedir yaptığı çalışmada Al-Cu-SiC_p ve AlCuB₄C_p kompozitlerin karakteristik özellikleri azot atmosferi altında sıcak presleme yöntemi ile üretilirken incelemiştir. Tozların sıcak preslenmesi, gözeneksiz ses parçalarını veren ıslanabilirliği arttırdığından dolayı partikül kompozit üretmek için diğer üretim tekniklerinden daha etkili bir konsolidasyon yöntemidir. Bu çalışmanın amacı sıcak presleme yöntemi ile AlCuSiC_p ve Al Cu-B₄C_p kompozitlerinin üretilmesi ve karakteristik özelliklerinin araştırılmasıdır. Takviye (SiC, B₄C) kompozitlerin hacimce 10, 20 ve 30'dur. Kompozitler 530 °C'de 24 saat çözelti ile kompozitlerde ısı işlem etkisini değerlendirdiler. Daha sonra çeşitli yaşlanma süreleri için 180 °C'de yağ banyosunda yaşlandırma yapılmıştır (Bedir 2006).

Mohammad Sharifi dökme Al-B₄C nano kompozitlerinin üretimi ve karakterizasyonu araştırılmıştır. B₄C nano partikülleri, Al-B₄C tozu elde etmek için bilyalı öğütme yoluyla saf Al tozu ile karıştırılmıştır. Farklı miktarlarda B₄C (ağırlıkça %5, 10 ve 15) içeren Al-B₄C tozları, daha sonra, yığın nano kompozit numuneler üretmek için sıcak preslemelere tabi tutuldu. Birleştirilmiş örnekler sertlik, sıkıştırma ve aşınma testleri ile karakterize edilmiştir. Sonuçlar, ağırlıkça %15 B₄C'ye sahip numunenin optimum özelliklere sahip olduğunu gösterdi. Aynı zamanda, numunenin nihai sıkıştırma mukavemeti, 485 MPa olacak şekilde ölçülmüş ve saf Al (130 MPa) için olandan çok daha yüksektir (Sharifi 2011).

Ruixiao Zheng hibrid yapılı B₄C partikülleri güçlendirilmiş Al2024 matriks kompozitleri toz metalurjisi yöntemi ile hazırlanmıştır. %100 mekanik öğütülmüş kompozit tozlardan

yapılan kompozitler, 670 MPa'lık kırılma mukavemetine sahiptir. Katkısız Al2024 tozu ilavesiyle hacimce %10 ile 40 arasında arttırıldığında, oda sıcaklığı sıkıştırma mukavemeti görünür plastik deformasyon olmaksızın 1115 MPa'dan 739 MPa'a düşmüştür. Bununla birlikte, öğütülmemiş Al2024 tozunun fraksiyonu %50 hacime yükseldiğinde, sıkıştırma mukavemeti 580 MPa'a düşürülürken, %10'a varan kayda değer bir kırılma gerilmesi elde edildi. Kompozitlerin farklı yapıdaki mikroyapıları, SEM ve TEM ile incelemişlerdir. Farklı güçlendirme mekanizmalarının katkısını tartışmışlardır. Karma yapıların kompozitlerin kırılma mekanizmasının dramatik değişimini açıkladığı kanıtlanmıştır (Zheng 2014).

K. Shirvanimoghaddam bor karbür takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin fiziksel, mekanik karakterizasyon ve matematiksel modellemelerini incelemişlerdir. Dökme ve karıştırma yöntemi kullanılarak alüminyum-bor karbür kompozitlerin üretimini araştırılmaktadır. Sertliği ve nihai gerilme mukavemetini (UTS) elde etmek için mekanik ve fiziksel özellik testleri yoğunluk numunelerin katılaşmasından sonra gerçekleştirilir. Sonuç olarak sertlik ve gerilmenin olduğunu göstermektedir. Alüminyum esaslı kompozitin mukavemeti monolitik metalden daha yüksektir. B₄C ün Hacim miktarının arttırılması, kompozitin gerilme mukavemetini ve sertliğini artırır, Ancak B₄C'ün aşırı yüklenmesine neden olur. Alüminyum esaslı kompozit numunelerin gerilme mukavemeti ve sertliği 800 °C'de dökülür. Al %15 voltluk B₄C numuneleri, en yüksek çekme mukavemeti ve Vickers sertliği 1000 °C, tüm kompozitler arasında en yüksek olanlardır. Alüminyum matrisin mekanik özelliklerini tahmin etmek Levenberg tarafından öğrenilen sinir ağı dahil olmak üzere iki anahtar öngörü de modelleme metodu vardır. Bunlar; Marquardt Algoritması (NN-LMA) ve ince plaka spline (TPS) modelleri bunlar zihinsel veriler deneyime dayanarak inşa edilmiştir. Ayrıca sonuçlar mekanik özelliklerin yanında matematiksel modelleri de ortaya çıkardı Al-B₄C yüksek hassasiyetle güvenilirdir, TPS modeli sertliği ve gerilimi tahmin eder. NN-LMA modeli ile karşılaştırıldığında güç değerlerinin daha az hata olduğu saptanmıştır (Shirvanimoghaddam 2016).

Chuandong Wu B₄C takviyesi ile partiküllerin etkisi ve şematik olarak uzaysal dağılımı, mekanik işleyişe uygunluk güçlendirilmiş Al alaşımlı matrisli kompozitler hakkında çalışmışlardır. Güçlendirme partikül büyüklüğünün mikroyapı üzerindeki etkisinin araştırılması ve Al metal matris kompozitlerin mekanik davranışları ve Al7075/B₄C

kompozitleri içerir. Üç çeşit olan B_4C partikül büyüklüğü (56,9 mm, 4,2 mm ve 2 mm) sentezlenmiş ve incelenmiştir. B_4C 'nin hacim fonksiyonunun sabit değeri, kaba takviye parçacıkları olan kompozit B_4C partiküllerinin nispeten homojen ve ayrık dağılımı ince kompozitlerle takviye B_4C parçacıklarının aglomerasyonunu sergiledi. En küçük B_4C kompozit en yüksek akma dayanımı ve kırılma mukavemetine sahipti. Ening mekanizmaları, daha küçük B_4C partiküllerinin gerinim gradyanı mukavemetinde daha büyük değerlere yol açtığını ortaya koymuştur. CTE uyumsuzluğu güçlendirmenin yanı sıra, geometrik olarak anlamlı bir şekilde ilişkili olan B_4C 'nin varlığından kaynaklanan gerekli dislokasyonlar, ayrıca farklı mekaniksel dağılımları kompozitlerde farklı kırılma mekanizmalarına B_4C partikülleri katkıda bulunmuştur (Wu 2016).

İpek çalışmasında 4147 Al/ B_4C 10, 15 ve 20 ağırlıkça B_4C parçacık ve Al/SiC metal matris kompozitlerin ağırlıkça %20 SiC ihtiva eden yapışma aşınma özellikleri sıvı metalurjisi ile üretilen kuru kayma koşulları altında incelenmiştir ve aşınma davranışları 4147 ile karşılaştırılmıştır. Al/SiC takviyeli ağırlıkça %20 SiC, Al/ B_4C matrisinin aşınma direncinin, ağırlığın artmasıyla önemli ölçüde arttığını gösterdi. Al alaşım matrisinde B_4C parçacık içeriği. Al alaşımlı matris malzemesi ciddi bir yapışkan-aşındırıcı aşınmaya sahip olduğunda, Al/ B_4C kompozitler; hafif aşınmaya dayanıklı, aynı aşınma durumunda aşınma aşaması. B_4C içeriği ve Al matris içindeki davranışı, aşınma oranı ve MMC mekanizması. Aşınma direnci ve aşınma mekanizması arasındaki ilişki de gözlenir ve bu ısınma durumuna bağlıdır. B_4C parçacığının matris tarafından Al/ B_4C aşınma davranışı Al/SiC MMC ile karşılaştırıldığında, Al/SiC aşınma direnci yüksektir ve aşınmış numune Al/SiC'nin sadece aynı koşullarda hafif bir yapışkan aşınma izleri göstermiştir (İpek 2005).

Wanga SiC partikül takviyeli Al kompozitler toz metalurjisi (PM) yöntemi ile hazırlandı ve alışlagelmiş atmosferik sinterleme, taramalı elektron mikroskobu (SEM), X-ışını kırınımı sinterlenmiş kompozitleri karakterize etmek için (XRD) teknikler kullanılmıştır. Kompozitlerin yoğunluğu, sertliği, dayanımı ve mikroyapısı üzerindeki sıcaklık araştırılmıştır. Ayrıntılı başarısızlık davranışı analiz edildi. SiC'nin ayrışması bulundu daha yüksek sıcaklıkta ortaya çıktı. 80 MPa'ın en yüksek mikrosertliği 700 °C'de meydana geldi. Kuvvet oluşumu nedeniyle artan sıcaklık ile artma eğilimi Al_2Cu . Hem sünek hem de gevrek kırılma özellikleri gözlenmiştir (Wanga 2007). B_4C parçacık

takviyeli Cu matris kompozitin mikroyapısal özellikleri ve mekanik özellikleri sürtünme karıştırma kaynağı (FSW) ile hazırlanmıştır. Bu amaçla, FSW süreci taşındı bor karbür (B_4C) partikülleri ile doldurulmuş, iki Cu plakaları arasında, 0,6 mm genişliğinde bir aralık boyunca dışarı karışım bölgesinde (SZ) alınan mikroyapısal gözlemler, B_4C partiküllerinin varlığına neden olduğunu ortaya çıkarıldı (Byung 2007) .

Zhou (6xxx serisi) alaşımlarında önemli bir mikro elementtir, ancak B_4C takviyeli Al-Mg-Si kompozitleri nadiren bilinmektedir. Bu çalışmada, en yeni Cs-düzeltilmeli şanzıman kullanılarak (TEM), bir $B_4C/6061$ Al kompozit Cu ile ilgili çökelti atomik seviyede farklı sıcaklıklar ortaya çıkar. $560\text{ }^{\circ}C$ 'de sıcak preslenmiş kompozitte, Q fazı Ana Cu içeren çökelti, presleme sıcaklığı $620\text{ }^{\circ}C$ 'ye yükseldiğinde, kimyasal B_4C takviyeleri ve alaşım matrisi arasındaki reaksiyonlar Al_3BC ve MgB_2 'yi üretir. Dahası, Cu çökelti ile matris arasındaki arayüzeylerde ayrıştığı ve artışa bağlı reaksiyon ürünlerinin çekirdeklenmesi tespit edilmiştir (Zhou 2017).

Alizadeh mekanik olarak hazırlanmış nano yapıları bir matrisin gerilme ve aşınma özellikleri B_4C 'nin dahil edilmesinden önce ve sonra öğütme ve sıcak ekstrüzyon incelenmiştir. Nano parçacıklar. Nano kompozit numuneler mekanik frezeleme kullanılarak hazırlandı. Matris içine ağırlıkça %2 ve 4 oranında B_4C nano parçacıklarının katılmasıyla ilişkili teknik Al B_4C içeriğindeki artışın dar bir boyut dağılımı verdiğini belirlemişlerdir (Alizadeh 2012).

Sreedharan Cu-4Cr-x B_4C nano kompozitlerin kuru kayma aşınma ve sürtünme davranışı bor karbür oranlarını değiştirerek toz metalurjisi yöntemiyle üretilmiştir ve incelemiştir. Sinterlenmiş numuneler $600\text{ }^{\circ}C$ 'de sıcak olarak ekstrüde edilmiş ve gözeneklilik %92 yoğunluk elde edilmiştir (Sreedharan 2006).

2. METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELERİNİN TANITIMI

Kompozit malzeme, birbirlerinden biçimleri ve kimyasal bileşimleriyle ayrılmış ve esas olarak birbiri içerisinde çözünmeyen, iki yada daha çok mikro ve/veya makro bileşenin karışımıyla oluşan malzemedir. Bugün istenilen özellikleri sağlamada ileri teknoloji malzemelerine duyulan ihtiyaç giderek artmakta olup tek bileşenli malzemeler ileri mühendislik uygulamalarının ihtiyaçlarını karşılayamamaktadır. Bu sebeple üstün özelliklere sahip kompozit malzemelere duyulan ihtiyaç günden güne artış göstermektedir (Varol 2012).

2.1. Kompozitlerin Yapısı

Kompozit malzemeler genellikle; matris ve takviye malzemesi olmak üzere iki bölümden meydana gelir. Kompozit içinde genellikle daha sert ve daha yüksek dayanıma sahip bileşen kısım takviye olarak kabul edilir. Kompozitin ana yapı malzemesi olarak da tanımlanan, nispeten daha düşük dayanıma sahip olan fakat genellikle sünekliği yüksek olan kısım matris olarak adlandırılır. Matris malzemesinin kompozit sisteminde, kompozit malzemeye gelen yükleri takviye malzemelerine iletmek, kompozit malzemenin tokluğunu artırmak, kırılan elyaflardan çatlağın yayılmasını önlemek, kompozit malzemenin mukavemetine katkıda bulunmak, takviye elemanlarını bir arada tutmak (bağlayıcı faz görevi yapmak), takviye malzemelerini ortamın etkilerinden ve darbelerden korumak gibi görevleri vardır. Kompozit malzemenin mekanik özellikleri üzerinde kompoziti oluşturan matris ve eklenen malzemelerinin özellikleri, matris ve eklenen malzemelerinin hacim oranları, matris takviye arasındaki bağın özellikleri, eklenen malzemesinin şekli, yapısı ve kompozit içerisindeki yönelmesi etkilidir.

2.1.1. Matris Malzemeleri

Matrisin gerçek görevi bağlayıcılara yükü gönderip, dağıtımını yapmaktır. Yükü göndermek matris ve bağlayıcılar arasındaki ara yüzey bağına bağlıdır (Şahin 2003). Matris seçimi; çekme dayanımı, yoğunluk, yüksek sıcaklık ve süneklik gibi faktörlere bağlıdır. Genelde Al, Ti, Mg, Ni, Pb, Fe, Sn, Zn, Ag, ve Si matris malzemesi ve düşük yoğunluğu düşük olan Al, Mg, Ti gibi matrisler sıkça kullanılırlar (Akın 2006).

2.1.2. Magnezyum ve Alaşımları

Magnezyum alaşımlarının sektördeki kullanım alanlarının gelecekte artacağı ve buna bağlı olarak da magnezyum esaslı kompozit malzemelerin de kullanımının artacağı beklenmektedir. Magnezyum yoğunluğu $1,74 \text{ gr/cm}^3$, yapısal uygulamalarda çok hafif metal olarak karşımıza çıkmaktadır. Ergime sıcaklığı $650 \text{ }^\circ\text{C}$ ve iyi kaynak yeteneğine sahip magnezyumun ağırlığı alüminyumun $2/3$ 'ü, demirin $1/4$ 'ü, bakır ve nikelin ise $1/5$ 'i kadardır. Magnezyum alaşımları, yüksek dayanıma dökülebilirlik özelliğinin iyi olması ve yüksek sönümlenme kapasitesine sahiptir. Bununla birlikte oksijene olan ilgisinin yüksek olması, düşük elastiklik modülü ve yorulma direncinin düşük olması ve yüksek sıcaklıklarda sürünme dayanımının düşük olması gibi nedenler kullanım alanlarını sınırlandırmıştır. Alaşım elementi olarak alüminyum (%2,5-8) ve çinko (%0,5-4) katılarak dayanımları arttırılabilmektedir (Eker 2008).

2.1.3. Titanyum ve Alaşımları

Ti ve alaşımları matris malzemesi olarak yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Bu malzemeler yüzeylerinde ince bir TiO_2 (titanyumdioksit) tabakası oluşturduğundan korozyon dirençleri çok iyidir. Çok pahalı bir malzemedir. Ancak ısıl genleşme katsayısı çok düşük olduğundan yüksek sıcaklık uygulamalarında tercih edilmektedir. Yüksek mukavemet oranına sahip olduğundan uzay ve uçak sanayinde kullanılmaktadırlar (Varol 2012).

2.1.4. Bakır ve Alaşımları

MMK malzemelerde bakırın kullanımı genellikle elektrik devre elemanları gibi elektronik sistemlerde görülmektedir. Genellikle bakır içeresine grafit parçacıklar takviye edilerek düşük termal genleşme katsayısının düşük, iletkenliği fazla olan malzemeler elde etmek mümkündür. Ayrıca yağlayıcı olarak grafitin kullanıldığı MMK malzemelerin yatak malzemesi olarak kullanımı kurşunun zehirleyici etkisini ortadan kaldırmaktadır (Varol 2012).

2.2. Takviye Malzemeleri

Kompozit malzemelerin üretiminde, elde edilmesindeki kolaylık, matris malzemesi ile uyumlu olması, elastiklik modülü, çekme dayanımı, yoğunluk, ergime sıcaklığı, ısıl kararlılık, ısıl genleşme katsayısı, boyut ve şekil, kimyasal bileşim, partikül yapı gibi özellikler dikkate alınarak, kimyasal yapılarına göre oksitler, karbürler, nitrürler ve diğer (paslanmaz çelik, karbon vs.) olmak üzere dört ana grupta incelenebilecek takviye malzemeleri kullanılmaktadır (Toptan 2006).

Metal matrisli kompozitteki temel amaç, düşük yoğunluklu dayanımı yüksek malzemeler üretmektir. Yapı içeresine katılan ve adı geçen seramik fazlarla sağlanmaktadır.

Tablo 2.1. MMK’lerde kullanılan bazı takviye malzemelerinin özellikleri (Toptan 2006)

Takviye Malzemesi	Yoğunluk ($\times 10^3 \text{kgm}^3$)	Isıl Genleşme Katsayısı	Ergime Sıcaklığı	Mukavemet (Mpa)	Elastiklik Modülü (GPa)
Al_2O_3	3,98	7,92	2100	221	379
SiC	3,21	5,40	2750	-	324
C	2,18	-1,44	-	-	690
SiO_2	2,66	<1,08	1710	-	73
AlN	3,26	4,84	2375	2069	310
B_4C	2,52	6,08	2420	2759	448

2.2.1. Bor Karbür (B_4C)

Sahip olduğu yüksek sertlik, mukavemet ve düşük yoğunluk özelliklerine rağmen yüksek maliyeti sebebiyle kompozit malzemelerdeki kullanımı henüz istenene seviyeye gelmemiştir. Çok az malzemede bulunan, sıcaklıkla çekme mukavemetinin artması da Bor Karbür'ü diğer takviye malzemelerine göre ön plana çıkarmaktadır. B_4C takviyeli kompozitin işleme problemleri ve mekanik özelliklerdeki sınırlamalar alüminyumun matris malzemesi olarak kullanımıyla önemli ölçüde azaltılabilmektedir (Kumdalı 2008). Yoğunluğu $2,52 \text{ g/cm}^3$, ergime sıcaklığı 2450°C , çekme dayanımı 155 N/mm^2 , (980°C)- 162 N/mm^2 (1425°C), Eğme dayanımı 345 N/mm^2 ve Basma Mukavemeti 2850 N/mm^2 olan bor karbür (B_4C) yalnızca HF, H_2SO_4 , HNO_3 karışımlarında az da olsa yavaşça çözünabilmektedir (TMMOB 2003).

2.2.2. Alümina (Al_2O_3)

Alüminyum oksitin takviye malzemesi olarak kullanıldığı matris malzemesi ise alüminyum ve alaşımlarıdır. Metal matrisli kompozit üretimi ile ilgili literatür araştırması yapıldığında bu durum net bir şekilde görülmektedir (Ying 2000). Alümina'nın yüksek sıcaklık dayanımı, modül ve rijitliğe sahip olması takviye elemanı olarak kullanılmasının önemli sebeplerinden biridir.

2.2.3. Silisyum Karbür (SiC)

MMK kullanılan önemli takviye elemanlarından biri de silisyum karbürdür. Parçacık ve whisker tipinde SiC takviyeleriyle üretilen metal matrisli kompozit malzemelere ekstrüzyon, haddeleme ve plastik şekil verme işlemleri rahatlıkla uygulanabilmektedir. SiC 'ün en önemli özelliği yüksek sıcaklık şartlarında özelliklerini iyi bir şekilde korumasıdır (Gan 2008).

2.3. Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Uygulama Alanları

Metal Matrisli Kompozitler, son yıllarda teknolojik uygulama alanlarında hızla artış göstermektedir.



Şekil 2.1. Uzay mekiğinin gövdesinde kullanılan alüminyum tüpler (Toptan 2006)



Şekil 2.2. Titanyum matrisli F-16 iniş takımları (Toptan 2006)



Şekil 2.3. Parçacık takviyeli fren elemanları (German 1998)

Özellikle uzay sanayisinde elektronik ve otomotiv endüstrilerinde yoğun bir biçimde kullanım alanı oluşturmuştur. MMK malzemelerini bu denli cazip olmasının nedeni malzemeyi istenilen özelliklerde tasarlanmasıdır. Metal matrisli kompozitlerin diğer kompozit malzemelerden üstünlükleri şunlardır;

- Yüksek mukavemet
- Düşük yoğunluk
- Biçimlendirilme özellikleri yüksektir
- Kaynak ve diğer yöntemlerle kolaylıkla birleştirilebilirler
- Sürtünmeye karşı yüksek dirençlidirler
- Elektriksel ve manyetik özellikleri yüksektir.
- Korozyon dayanımları yüksektir

Dezavantajları ise;

- Takviyenin fiber olduğu durumlarda karışık üretim prosesleri
- Metallere göre sünekliğin az olması
- Üretim yöntemlerinin pahalı olması

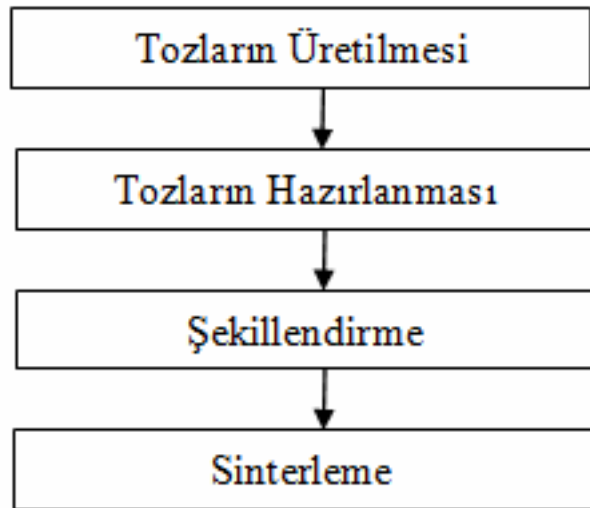
3. TOZ METALURJİSİ

3.1. Toz Metalurjisinin Tarihçesi

Günlük hayatta kullandığımız ve hatta hayatımızın olmazsa olmazı pek çok şey aslında tozdur, un, şeker, tuz, tahıllar bunların hepsi tozdur. Pek çok tarihi eski veri olmasına rağmen teknik ürünlerde tozların kullanılması ancak 20. Yüzyılın ikinci yarısından sonra gerçekleşmiştir. Yunanca da ‘keramos’ günümüzde kullanılan seramikten gelmekte ve kil esaslı sinterlenmiş çömlek anlamına gelmektedir. Tarihin eski dönemlerinde bile toz ile yapılmış pek çok eşya bulunmaktadır. Örneğin; eskiden de tuğlalara pışırılarak mukavemet kazandırılıyordu. Bu yöntem tarihte metale ilk olarak İnkalar tarafından uygulanmış, daha sonra M.Ö 3000’li yıllarda Mısırlılar demir tozlarını kullanmışlardır (Sarıtış 2007). M.S 400 yıllarında da Hindistan da bir demirci ustası günümüzde ki toz metalurjisine benzer bir yöntemle 6500 kg ağırlığında bir kütle elde etmiştir. 1892 yılında W.H Wolaston platini toz metalurjisi yöntemiyle elde ederek toz metalurjisinin uygulayıcısı ismini almıştır (Kurt 1992).

3.2. Toz Metalürjisinin Tanımı

Toz metalurjisi ile diğer üretim teknolojilerini karşılaştırdığımızda, talaşlı bir işlem gerektirmemesi, karışık şekilli olan parçaların kolay üretilmesi, çok geniş bir yelpazeye sahip parçaların imal edilebilmesi, istenilen mekanik özelliklere sahip parçaların kolaylıkla üretilmesi, malzeme deformasyonlarının az olması gibi sebeplerden dolayı günümüzde yoğun olarak kullanım alanı vardır. Üretim yöntemi, yatırım maliyetinin ucuz olması, Donanımlarının esnek ve verimli olması malzemelerin kolay imal edilebilmesi gibi avantajları vardır. Toz metalurjisi yöntemiyle üretilmiş malzemelerin birçok otomotiv sektöründe kullanılmakta olup, üretim şekli dünyada olduğu gibi ülkemizde de gün geçtikçe gelişme göstermektedir.



Şekil 3.1. Parça üretiminin işlem basamakları (Caldwell 1990)

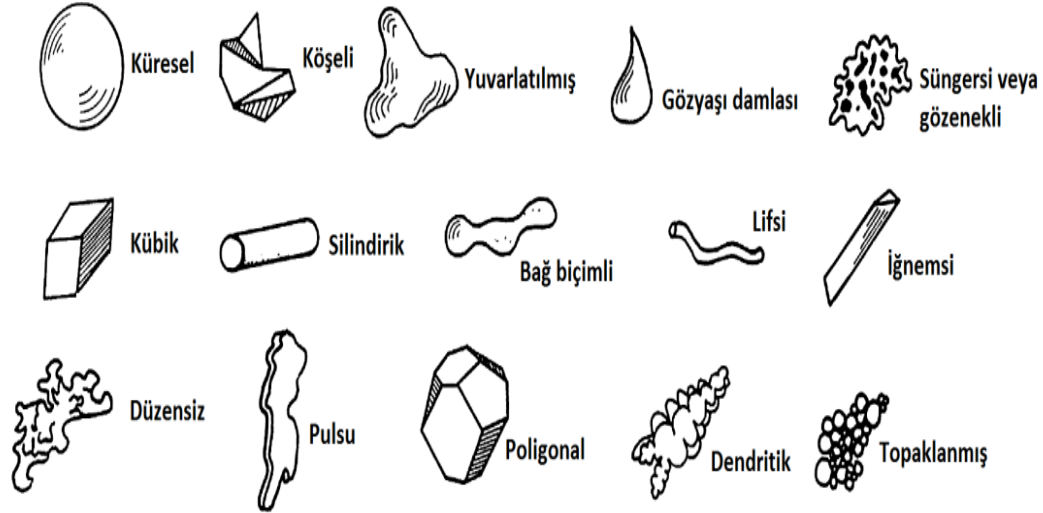
Toz metalürjisi üretim aşamaları yukarıda da görüldüğü gibi 4 safhadan oluşmaktadır.

1. Toz üretimi
2. Tozların karıştırılması
3. Sıkıştırma veya presleme
4. Sinterleme

3.2.1. Toz Üretimi

Günümüzde üretilen çoğu metal tozlarının boyutu 0,1-200 μm arasındadır. Daha önceki zamanlarda toz üretimi için kullanılan en yaygın olan üç yöntem mekanik, kimyasal ve elektrolitik yöntemlerdi. Günümüzde ise kullanım alanında ki tozların %60' tan fazlası atomizasyon yöntemi ile üretilebilmektedirler. Örneğin; küresel toz ihtiyacı için gaz atomizasyonu, karışık şekilde toz ihtiyacı için su atomizasyonu ve üretilecek tozların oksit istenmemesi halinde ise inert gaz veya yağ atomizasyonu tercih edilmektedir (Kurt 1992). Toz metalürjisi işlemlerinde akışkanlık ve sıkıştırılabilirlik yönünden kullanılan tozun ölçüleri çok önemlidir. T/M ile üretilen parçaların özelliklerini büyük oranda bu parçaların üretilmesinde kullanılan tozların özelliklerini belirlemektedir. Bundan dolayı tozların özelliklerinin önemi ve aldıkları rolün iyi anlaşılması ve bazı uygun niceleyici karakterizasyon şekillerinin uygulanması önem arz etmektedir. Toz üretimi için uygun

yöntemler üretim ihtiyaç oranlarına, toz özelliklerine ve malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlıdır (Ying 2000).



Şekil 3.2. Endüstriyel uygulamalarda görülen toz şekilleri (Sudduth 2008)

Tozların fiziksel ve mekanik özellikleri sıkıştırılabilirliği önemli ölçüde etkiler. Tablo 3.1 de tozların önemli özellikleri ve bunların etki ettiği faktörler verilmektedir.

Tablo 3.1. Tozların önemli özellikleri ve etki ettiği bazı faktörler (Sakarya Üniversitesi 2012)

Önemli Özellikler	Etkisi
Tozun Boyutu (parçacık Boyutu)	Görünen (ham) Yoğunluk
Boyut Dağılımı	Akış Davranışı
Toz Şekli (parçacık şekli)	Ham Dayanım
Kimyasal Kompozisyon	Sıkıştırılabilirlik
Yüzey Özellikleri	Sinterleme
Mikro Yapı	Şekillendirilebilirlik, Tokluk

3.2.1.1. Mekanik Üretim Yöntemleri

Mekanik öğütme yöntemleri dört farklı şekilde yapılmaktadır. Bunlar; darbe, aşındırarak öğütme, kesme ve basma şeklindedir. Darbe, malzemeye çekiç ve benzeri bir aletle vurma gibi çok hızlı uygulamaları içerir ve malzeme küçük parçalara ayrılır. Aşındırarak

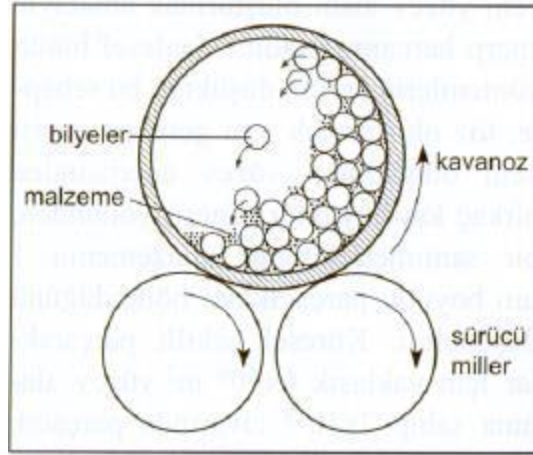
öğütme, aşındırıcının sürtünme hareketi neticesinde parçacık boyutunun küçülmesidir. Kesme işlemi talaşlı imalattaki gibi malzemenin parçalanması olayıdır. Basma işlemi, basma kuvvetleri ile bir malzeme kırılma noktasına kadar deformasyona uğratıldığında ufalanması işlemidir.

3.2.1.1.1. Darbe

Bu yöntemle çeneli kırıcılar yardımıyla gevrek malzemelerin parçacıklar bir hedefe çarpıtılarak üretilme işlemidir. Bu çeneler toz boyutunu 1 mm ile sınırlandırılmaya çalışılmış olsa bile üretilen parçalar düzensiz ve 10 μm 'ye kadar tozlar üretilebilir. Paslanmaz çelik tozların üretimi için iki farklı yönden tozların birbirleriyle çarpıştırarak tozların boyutlarının küçülmesini sağlayan varyasyonlarda vardır. Bu yöntemle üretimin hızlı olmasının yanında parça boyutunun belirli bir aralıkta ayarlanamaması dezavantaj yaratmaktadır.

3.2.1.1.2. Aşındırarak Öğütme

Bu yöntemde diğerlerine benzer özelliklerde malzemelerin (gevrek) parçacıklar haline getirilmesi için kullanılan yöntemdir. Bu yöntemle kapalı kova içerisinde farklı boyutlarda malzemesi sert olan birkaç bilye konularak döndürülme işlemi olarak bilinir. Bu dönme işlemi esnasında dönme hızının fazla oluşuyla merkez kaç kuvveti oluşup bilyelerin sabitleneceği gibi çok yavaş olmasıyla da bilyelerin kabın çevresinde gezinerek oluşturacağı darbenin küçük olacağı ve çok uzun zaman almasından dönme hızı çok uygun olması gerekmektedir. Bu yöntemle belirli bir süre sonra parçalar en küçük boyuta ulaşır bundan sonrası mümkün olmayacağı için diğer yöntem gibi toz boyut aralığı geniş kalmaktadır (Gökçe 2013).



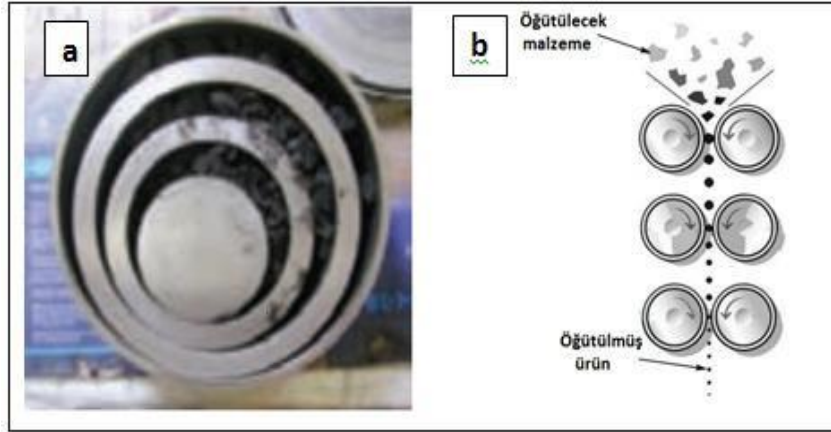
Şekil 3.3. Bilye dolu kavanozla öğütme işlemi (Gökçe 2013)

3.2.1.1.3. Kesme

Bu yöntem ile bir kesici uç yardımıyla genellikle haddelenmiş malzemelerin talaşlı üretiminden çıkan iri taneli düzensiz şekilli toz ve dökme parçalardan talaş üretme işlemidir. Bu yöntemin en büyük avantajı olan atıl talaşların kullanılması olmasına karşın talaş kaldırma işlemi sırasında soğutma sıvılarının parçacıklarda kirlilik yaratması dezavantaj olarak karşımıza çıkmaktadır. Genellikle bir işlemten sonra talaşların boyutunu küçültmek için öğütme işlemine tabi tutulurlar. Verimi düşük ve üretim hızı bakımından yavaş bir yöntemdir (German 2007).

3.2.1.1.4. Basma

Ezme, basma ile üretim yöntemi gevrek malzemelerin basınç daha küçük parçacıklar haline getirilmesi işlemidir. Aşağıda merdaneli öğütme ile halkalı değirmen örneklerinde verdiği gibi gevrek parçacıklar basınç altında tozların boyutu 5 μm ile 200 μm arasında ve keskin köşeli düzensiz şekiller oluşur (Thummler 1993).



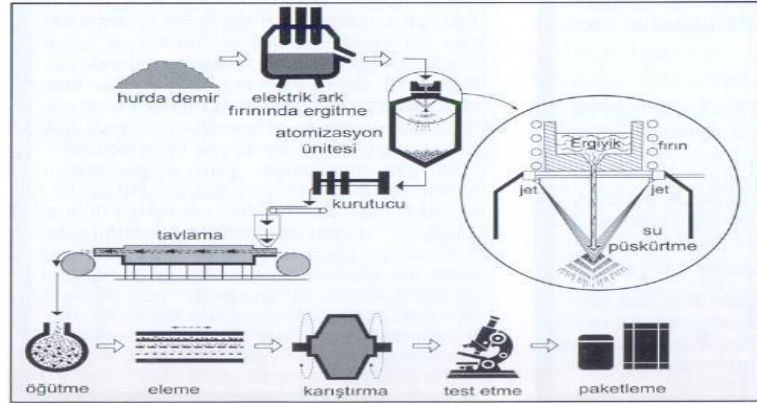
Şekil 3.4. a) Halkalı değirmen b) Merdaneli öğütme şeması (Ephraim and Roller 2006)

3.2.1.2. Atomizasyon Teknikleri

Bu yöntem ile toz üretimi; ergimiş metali küçük bir nüzulden püskürterek soğuk bir yüzeye çarptırarak veya sıvı ve gaz gibi jetlerin etkisiyle hızlıca soğutularak küçük damlacıklar halinde katılaştırıp toz oluşturulur. 1960'lı yıllara dayandırılan bu yöntem metaller ve alaşımlarda kullanılırken son zamanlarda polimer ve seramiklerde de kullanılmaya başlanmıştır. Bu yöntem sıvı, gaz, savurmalı ve diğer Atomizasyon olarak üç yöntem ile üretilir (Bocchini 1991).

3.2.1.2.1. Sıvı Atomizasyonu

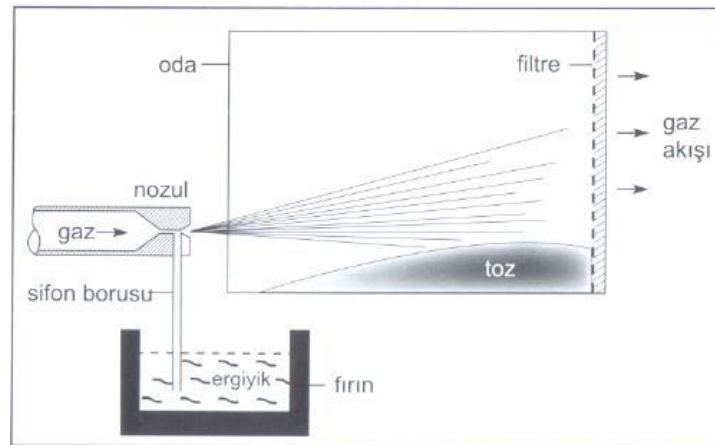
Adından da anlaşıldığı gibi metal ergiyeğin nüzulden basınçlı bir şekilde damlacıklar halinde püskürtülürken üzerlerine su veya gaz yağı püskürterek ergiyeğin damlacıklar halinde katılaşması sağlanır (Thummler 1993). Bu yöntem basınç ve hızlı soğutulmaya bağlıdır. Hızlı soğumayla düzensiz şekilli tozlar üretilir. Bunun yanında basınç arttıkça parçacıklar daha küçük ve daha çok küreselleşir. İşletme maliyeti düşük olduğundan toz üretim yöntemlerinin başında gelir (German 2007). Bunlarda genel olarak paslanmaz çelik, demir ve düşük alaşımlı çeliklerdir (Hamill 2007).



Şekil 3.5. Sıvı atomizasyon (Gökçe 2013)

3.2.1.2.2. Gaz Atomizasyonu

Bu yöntem de yüksek basınçla püskürtülen ergiyik malzemenin yere değmeden Hava, Azot ve Helyum gibi gazlarla soğutulurak toz üretimi yapılmaktadır. Kullanılan bu gazların soğuma hızlarının azlığı genellikle tozları küresel şekilli ve tozların tane boyut aralığı oldukça geniştir. Sıvı Atomizasyon ile kıyaslandığında belirgin bir şekilde işletme masrafı fazladır. Gazın türü, basıncı, gaz debisi, sıvı metal akış debisi gibi parametreler tozların boyutu, safiyeti ve morfolojisini etkiler (German 2007).



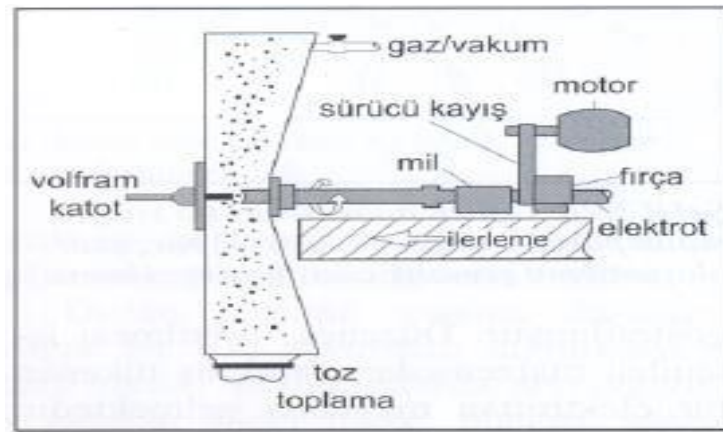
Şekil 3.6. Yatay gaz atomizasyonunun şematik gösterimi (Neikov 2009)

Yüksek sıcaklık şartlarında eriyen metaller için, tozların oksitlenmemesi amacıyla, asal gaz doldurulmuş hava almayan odacık kullanılır. Eriyik endüksiyon ocağı ile sıvılaştırma eğrisinin üzerinde bir sıcaklığa ısıtılarak soğuk olarak nozula gönderilir. Farklı bir

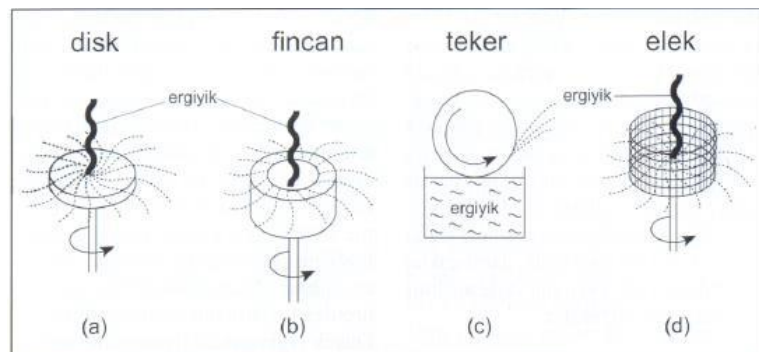
tasarım olarak, sıvı metal demetinin çevresinde dairesel olarak yerleştirilmiş çoklu nozullarla gaz jetleri oluşturulur. Yüksek sıcaklıkta eriyen metaller için kullanılan düşey gaz atomizasyon yönteminin şematik gösteri yer almaktadır (Ying 2000).

3.2.1.2.3. Savurmalı Atomizasyon

Bu yöntem ile ister eriyik metali dönen bir diskin üzerine dökerek ister metal çubuğa ark oluşturarak oluşan eriyiğin dönmenin verdiği merkez kaç kuvvetinden faydalanarak eriyen metalin savrulmasıyla havada soğutulup tuz haline gelme işlemine denir (Gökce 2013).



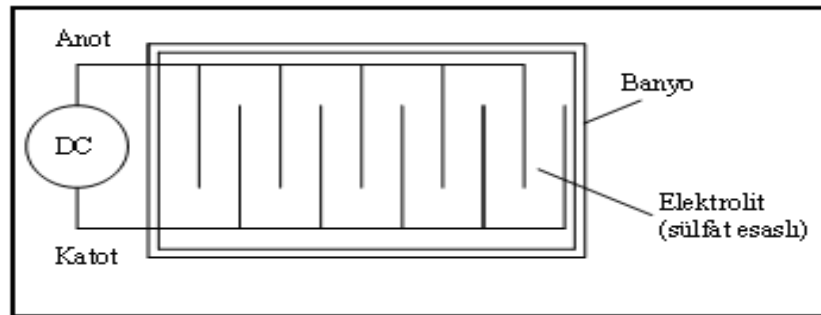
Şekil 3.7. Döner elektrot ile savurmalı atomizasyon şematik gösterimi (mpif.org 2013)



Şekil 3.8. Savurmalı atomizasyon örnekleri a) döner disk, b) döner fincan, c)döner teker, d) döner elek (Ulutaş 2006)

3.2.1.3. Elektroliz Üretim Teknikleri

Bu yöntem ile toz üretimi yüksek iletkenliğe sahip metal tozların katot bir çubuk üzerine biriken metal tozların alınıp yıkanma, kurutma, öğütme ve tavama gibi işlemlerden geçirilerek elde edilme işlemidir. Bu yöntem ile Cu, Fe, Zn, Mn ve Ag tozları %94 varan saflıkta üretilirler. Bu tozların genellikle yapısı dendritik ve süngerimsi biçiminde olurlar. Elektroliz yönteminde ilave işlemlerin fazla oluşu maliyeti artırdığı için çok yaygın olarak kullanılmamaktadır. Ancak yüksek saflıkta toz elde edilmesi bu yöntemi cazip kılmaktadır (Palavar 2014).



Şekil 3.9. Elektrolizin şematik gösterimi (German 1994)

3.2.1.4. Kimyasal Yöntemler

Kimyasal yöntemlerle üretilen tozlar isminden de anlaşıldığı gibi katı, sıvı veya buhar fazı tepkimeleriyle boyutları 5,1–10,1 μm ile 101–501 μm arasında ve farklı şekillerde tozlar üretilir. Bu yöntem demir, bakır, tungsten, molibden, nikel, kobalt gibi metal oksitlerin, indirgeyici gazlar olan CO veya H_2 'ler ile kimyasal olarak indirgenmesi olayı şeklinde olur.

Bu yöntemlerle üretilen tozların

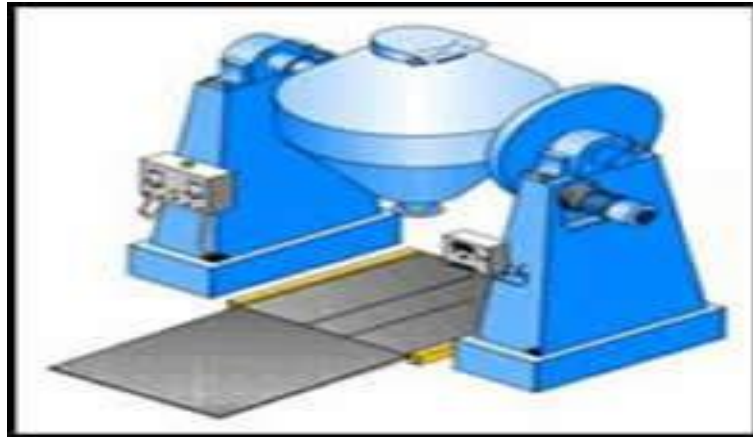
- Saf indirgeyici gazların maliyetinin yüksek oluşu
 - Metal oksitlerin toz saflığına etkisinin büyük oluşu
- Alaşım tozlarının yapılamayışı (Mahmutoğlu 2006).
- Dezavantaj olarak görülmesinin yanında;

- Gözenekli yapıda tozların üretilebilmesi
- Metal oksitlerin piyasada yaygın olması
- Katı redüktif olarak kullanılan karbonun ekonomik oluşu
- Proses kapasitesinin elastizitesi

Metal ve oksitlerin boyut kontrolünün yapılabilirliği gibi avantajları göze çarpmaktadır (Lenel 1993).

3.2.2. Tozların Karıştırılması

Tozların karıştırılması çift borulu ve çift-konili karıştırıcılar yardımı ile yapılmakta olup, karıştırma işlemi, tozların tane büyüklüğüne ve geometrisine göre aynı yerde yoğunlaşmasını önlerken, akma hızını ve görünür yoğunluğunu da değiştirmektedir. Karıştırma işlemi uzun tutulursa taneciklerin kırılarak küreselleşmesine ve önemli ölçüde bozulmaya uğramasına neden olur. Buda tozun sıkıştırılabilme özelliğini azaltıp, şekillendirme sırasında olduğundan daha fazla soğuk işlem gerektirmektedir. Sinterleme dâhil bütün işlem basamakların değerlendirilmesi yapılmadan yeterli derecede karıştırma yapıp yapılmadığına karar vermek zor bir işlemdir (Anık 1999).



Şekil 3.10. İki konili karıştırıcı (Söyler 2007)

Karıştırmayı tozların fiziksel karakteristikleri, karıştırma hızı, dönme hızı, karıştırma süresi, atmosfer koşulları, karıştırıcı boyutu ve karıştırıcıdaki tozun hacmi gibi faktörler etkiler (Ozgun 2007). Ayrıca karıştırma esnasında bazı problemlerle karşılaşılabilir.

Bunlar;

- Rutubet,
- Boyut farkı
- Yoğunluk
- Akış karakteristik
- Aşırı Karıştırma

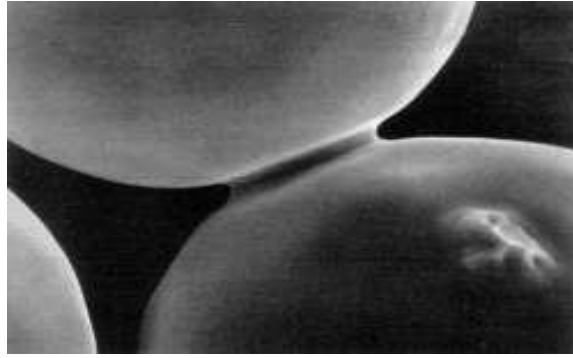
3.2.3. Sıkıştırma veya Presleme

Toz metalürjisi yönteminde önemli aşamlardan birisi sıkıştırmadır. Tozlar, bir kalıp içerisinde basınç etkisiyle sıkıştırılır. Sıkıştırmadaki amaç, toz partiküllerinin istenilen biçime dönüştürülmesi için, malzemeye bir yoğunluk kazandırılmasıdır. Sıkıştırma işlemi sırasında toz partikülleri ilk önce uygulanan basınç yönünde hareket ederler. Tozlar sıvı gibi akamaz; kalıp yüzeyi ile tanecikler arasında sürtünme sonucunda bir sürtünme kuvveti oluşur. Bu kuvvet belirli bir orana kadar sıkıştırma devam etmektedir. Presleme işlemi soğuk ve sıcak olarak iki türlü yapılmaktadır. Soğuk presleme, gözenekli olan bronz yatakların ve basit makine parçalarının seri üretimine elverişli bir yöntemdir. Sıcak presleme, sert alaşımdan, tel çekme haddelerinin, elmas alaşımlarının üretimi gibi sıra dışı hallerde kullanılmış olan bu yöntem, tozların özel bir şekilde ısıtılmış kömür, çelik veya grafit bir matris içine yerleştirilip sıkıştırılarak ham mukavemet kazandırma olayıdır.

3.2.4. Sinterleme

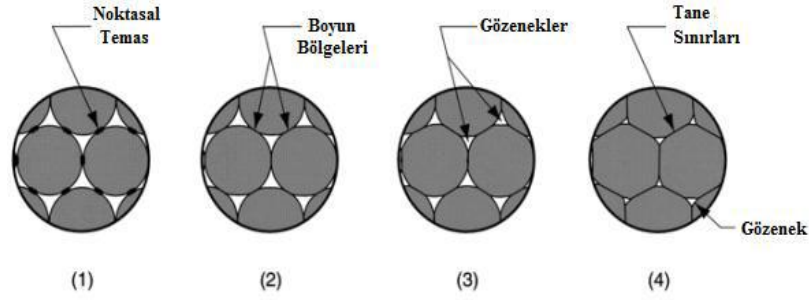
Presleme işlemiyle sıkıştırılan parçalarda toz partikülleri arasında oluşan mekanik bağların metalik bağlara dönüşmesi sağlamak amacıyla kontrollü bir atmosferde ve yüksek sıcaklıklarda uygulanan ısıtma işlemlere sinterleme denir. Böylece sinterlemeyle oluşan metalik bağlar sayesinde parçaya yüksek mukavemet verilmiş olur (Özgün 2007). Sinterleme işleminin yapıldığı sıcaklık difüzyon, basınç ve ısıtmanın tesiriyle mevcut olan boşluğu ortadan kaldırmak amacıyla; metalin mutlak ergime sıcaklıklarının altında yapılan tek bileşenli sistemlere nazaran çok bileşenli sistemlerde genellikle ergime sıcaklığının en düşük olan birleşenlerin ergime sıcaklığının hemen üstünde yapılarak bünyelerinde boşlukların olabildiğince sifıra yaklaştırarak üretilen parçalar arasındaki

metalik bağların en iyi seviyede olması sağlanır. Kütle taşınımını kolaylaştırmak için mümkün olan en yüksek sıcaklıklara çıkarmak amacıyla ana malzemenin cinsine göre ergime sıcaklığının %70-%80 arasında yapılmakta hatta ergime sıcaklığının %90'ine çıkılabilen bazı refrakter malzemelerde olmaktadır (Ataş 2003). Böylece yüksek sıcaklıklarda yüzey enerjisinin azalmasıyla difüzyon hızı artarak sinterlemeyi sağlayan itici güç oluşur (Ergün 2006).



Şekil 3.11. Toz taneciklerin birleşmesi (Söyler 2007)

Şekil 3.11'da görüldüğü gibi başlangıç durumunda preslenmiş tozlar arasında noktasal temaslar mevcuttur. Sinterleme işlemi ile temas noktaları boyun vermeye başlar. Boyun bölgeleri genişleyerek gözenekleri küçültmeye başlayarak katı-buhar ara yüzeyi yerine bir tane sınırı büyür. Sinterleme işlemi son olarak taneler tamamen birleşerek tek bir tanenin oluşumu sağlanır. Aşağıdaki şekil bu oluşumu çok iyi bir şekilde açıklamaktadır (Randall 2007).



Şekil 3.12. Mikroskobik ölçekte sinterleme: (1) parçacık bağları, temas noktalarında başlar; (2) temas noktaları “boyun” halinde büyür; (3) parçacıklar arasındaki gözenekler, boyut olarak küçülür ve (4) boyun oluşan bölgelerde tane sınırları oluşur (Randall 2007)

Sinterlemeyi etkileyen faktörler:

-Parçanın şekli

-Malzemenin cinsi

-Parçanın büyüklüğü

Yukarıdaki üç madde sinterleme metodunu etkiler.

-Sinterleme metodu

-Sinterleme sıcaklığı

-Sinterleme atmosferi

-Sinterleme süresi gibi etkenler sinterleme sonucunu etkilerler.

Sinterleme genellikle üç aşamada gerçekleşir;

1) Ön ısıtma: bu aşamada oluşan yanma ve temizleme zamanında; yağ ve bağlayıcıları hava ile yakılarak dışarı atma işlemi olarak bilinir. Yüksek soğuma hızında yanan bağlayıcıların gözeneklerde iç basınç oluşturarak parçanın parçalanmasına neden olacağından düşük soğuma hızında uygulanır.

2) Fırın sıcaklığı: partiküller arası bağların birbiriyle temas eden yüzeyleri arasında bağ oluşur ve atomların karşılıklı transferi sayesinde bağlar kuvvetlenir. İstenen yoğunluk ve özelliklere göre bekleme süresi genelde 10 dakika ile birkaç saat arasında değişir.

3) Parça sıcaklığı: bu aşamada parçanın soğuması oksidasyon ve termal şokların olmaması için kontrollü bir şekilde yapılmalıdır (Ak 2014).

Sinterleme işleminde katı hal, sıvı faz ve Geçici sıvı faz sinterlemesi olmak üzere 3 farklı teknik kullanılmaktadır.

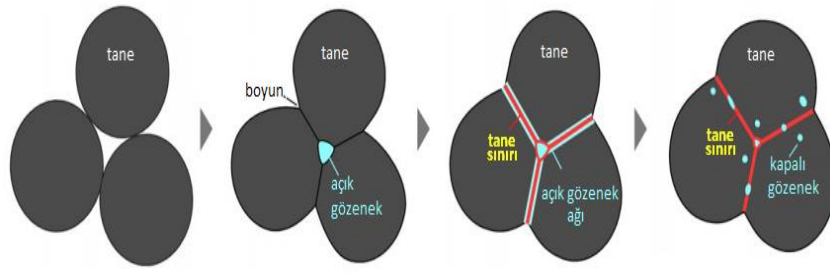
Bunlar;

3.2.4.1. Katı Hal Sinterlenmesi

Bu faz birbiri içerisinde çözünmeyen veya tek fazlı sistemlerde toz parçacıklarının birbirleriyle olan temas noktalarından başlayarak atom difüzyonu ile meydana gelen sinterleme olayıdır.

Şekil 3.12’de görüldüğü gibi dört aşamada katı hal sinterlemesi tamamlanır.

1. Aşamada; parçacıklar temas halindedirler ancak bağlayıcılarla ve presleme sunucu birbirlerine bağlıdır.
2. Aşamada; parçacıklar arasında temas noktalarından başlayarak boyun vermeler başlamıştır.
3. Aşamada; parçacıklar arasında oluşan boyunlar genişleyerek boşluların küçüldüğü görülmektedir.
4. Aşamada; parçacıklar son şeklini alarak maksimum yoğunluğa ulaşılır sinterleme işlemi sona erer.



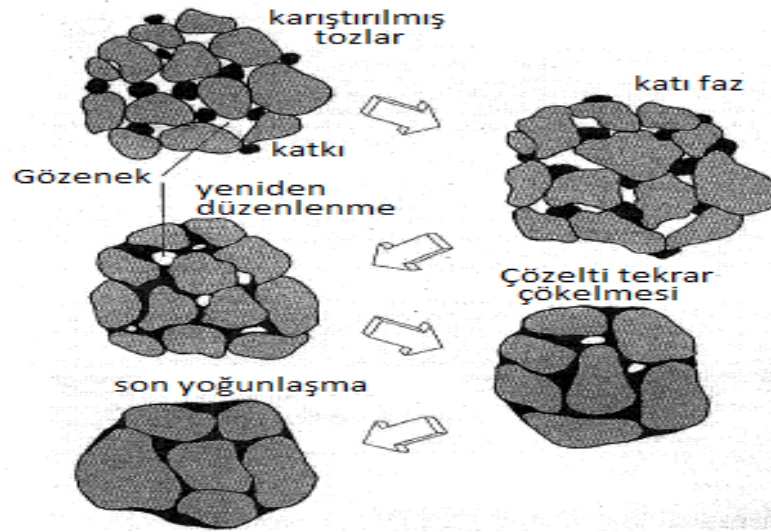
Şekil 3.13. Katı hal Sinterlemenin aşamaları (Yan 2006)

3.2.4.2. Sıvı Faz Sinterlenmesi

Bu sinterleme kazı hal sinterlemeden farklı olarak bir araya gelmiş parçacıklar arasında boşlukları dolduran bir sıvının yardımıyla sinterleme hızlandırdığı gibi yoğunlaşma miktarını da artırır.

Şekil 3.14.'de görüldüğü gibi 4 aşamada Sıvı Faz sinterlemesi tamamlanır.

1. Aşamada; katı faz ile ana faz tepkimeye girerek sıvı faz oluşturur.
2. Aşamada: oluşan sıvının boşlukları doldurarak Kabiller basıncını ortaya çıkararak yeniden şekillenir. Islanan parçacıklar sinterlemeyi başlatır.
- 3.Aşamada: sıvı fazlar katı parçacıklar arasında yayılarak çökelirler.
4. Aşamada: son aşamada ise tüm gözenekler sıvı faz ile dolmuştur ve tam yoğunluk sağlanmıştır.



Şekil 3.14. Sıvı faz sinterleme Şematik gösterimi (German 1996)

3.3. Toz Metalürjisinin Uygulama Alanları

T/M çok geniş bir yelpazede kullanılmaktadır. Bunlar süper alaşımlar, takım çelikleri, paslanmaz çelikler, refrakter olan tungsten ve molibden gibi malzemeleri kullanarak aşınmaya karşı dayanıklı üretilen parçalar, magnetik alaşımlar, bakır, alüminyum ve titanyum alaşımları, nükleer malzemeler, Sermetler ve değerli metallerdir (Özakça 1989). Dişçilik, dişli çarklar, Tungsten lamba filamentleri, elektrik kontakları, yağlamasız yataklar, ofis makineleri, uçak ren balataları, yüksek sıcaklık filtreleri, jet motor parçaları, akü elamanları ve ortopedik gereçler gibi parçalar metal tozlardan üretilen parçalara örnek verilebilir. Ayrıca ileri teknoloji kompozitleri, elektronik parçalar, talaşlı imalatla kullanılan kesici takımlar, patlayıcılar, lehimleme aletleri, gözenekli betonlar, kaynak elektrotları ve katalizörlerin üretilmesinde de hızlı bir büyüme göstermiştir (Yavuz 2002). Toz metalurjisi, otomotiv endüstrisinde dişli çarklar, yağlamasız yataklar jet motor parçaları, uçak fren balataları ve yüksek sıcaklık filtrelerinin yanı sıra Tungsten lamba filamentleri elektrik kontakları, ofis makine parçaları, nükleer güç yakıt elemanları, devre levhaları, dişçilik gibi pek çok alanda kullanılmaktadır. Bu uygulamalardan birkaçı Şekil 3.15.'de görülmektedir (Ataş 2003).



Şekil 3.15. T/M ile üretilmiş çeşitli ürünlerden bazıları (Fujiki 2001).

3.4. Toz Metalürjisinin Avantajları Dezavantajları

Toz metalürjisinin diğer üretim yöntemlerde olduğu gibi avantajları ve dezavantajları vardır.

Toz metalürjisinin avantajları;

- Üretim hızının yüksek olmasının yanı sıra iş gücü ihtiyacı azdır .
- Birbiri içinde çözünmeyen malzemeler bir araya getirilerek üretim yapmaya olanak sağlar.
- Karmaşık şekilli ve yüksek hassasiyet gerektiren parçaları rahatlıkla ve ekonomik bir şekilde üretilebilir.
- Üretilen parçaların tane boyutu küçük olduğundan işlenebilirliği yüksek ve çekme mukavemeti yüksek olmasının yanında üstün mekanik ve fiziksel özelliklere sahiptirler.
- Döküm ve talaşlı imalatlarla kıyaslandığında malzeme kaybının az ve işçiliğin az oluşu ekonomik olmasını sağlıyor.
- Toz metalürjisi ile üretilen parçaların yüzey kalitesinin iyi olması talaşlı imalata gereksinimi azaltmaktadır .
- Üretim hızı nedeniyle ekonomiktir (Özgün 2007).
- Sıfır atık oranı yüksek parçalar rahatlıkla üretilebilir.

- İstenilen yapısal özellikleri çok geniş bir yelpazede elde edilebilir (Ak 2014).
- Toz metalurjisinin Dezavantajları
- Parça imalatı için gerekli olan kalıpların maliyeti yüksektir.
- Pres kapasitelerin belirlediği parça boyutları kalınlık/çap oranını sınırladığı için çok büyük olan parçaların üretilmemektedirler.
- T/M ile üretilen parçalarda homojen yoğunlukların elde edilebilmesi için 20 kg'a kadar olan parçaların üretimi uygundur.
- Bazı yöntemlere göre düşük mekanik özellikler elde edilen parçaların mikro yapıları içerisinde gözenekler bulunduğundan tercih edilmeyebilir.
- T/M ile üretilen parçanın kalıptan bozulmadan çıkarılması için uygun şekle sahip olmalı
- Şekil verme işlemi esnasında homojen olmayan basınç nedeniyle parça kesiti boyunca farklı yoğunluk ve özellik gösterebilir (Özgün 2007).

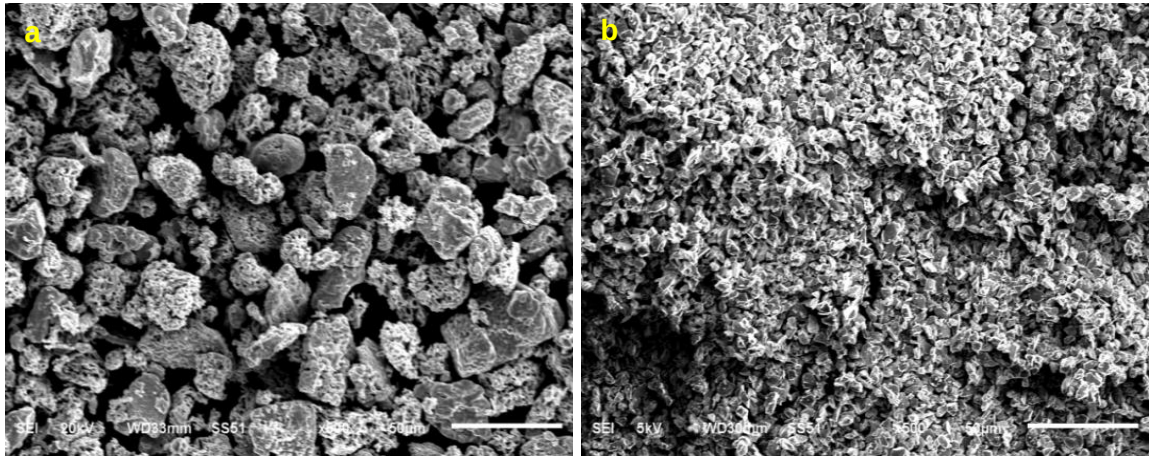
4. MATERYAL VE METOT

Deneysel çalışmalarda Cu matrisli B₄C takviyeli kompozitler toz metalurjisi yöntemi kullanılarak sıcak presleme ile üretilmiştir. Cu matris içerisine farklı parametrelerde ilave edilen takviye malzemesinin mikroyapı ve mekanik özelliklerine etkileri belirlenmeye çalışılmıştır.

CuB₄C kompozitleri aşınmaya maruz kalan makine elamanlarında sıkça kullanılır ayrıca bilyeli yatak zırhı ve fırın parçaları üretiminde kullanılmaktadır.

4.1. Kompozit Malzeme Üretimi

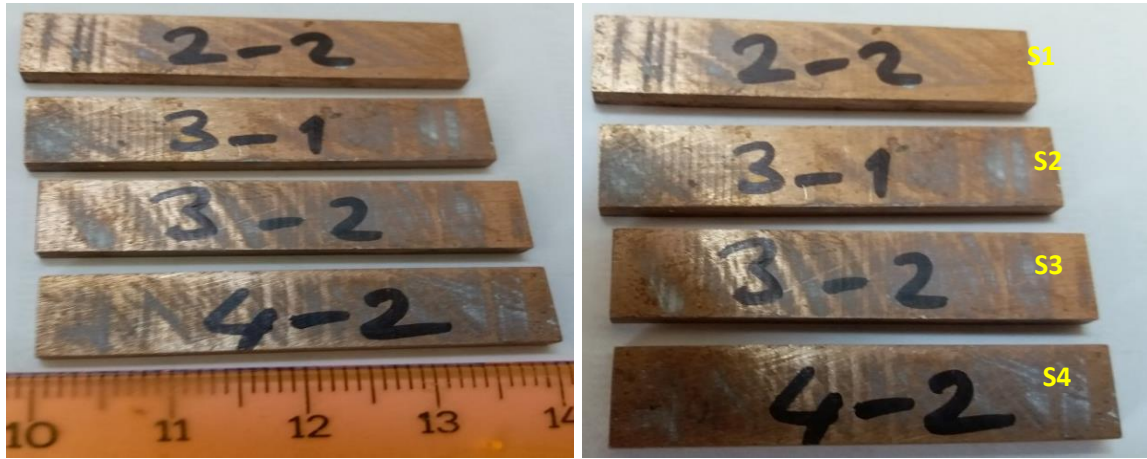
Deneylerde matris malzemesi olarak kullanılan ve partikül boyutu 75 µm'nin altında %99 saflıktaki Cu ve takviye olarak da %99,5 saflıkta 5 µm boyutunda B₄C tozları Sigma Aldrich firmasından ticari olarak temin edilmiştir. Kullanılan tozların SEM görüntüleri Şekil 4.1.'de verilmiştir.



Şekil 4.1. SEM fotoğrafları a) Cu tozu, b) B₄C takviye tozu

Üretilcek olan kompozitler için matris içerisine ağırlıkça %1,5, %3, %4,5, %6 olmak üzere farklı oranlarda B_4C ilavesi yapılmıştır. Oranları sağlayabilmek için 0,0001 hassasiyetli terazide tartılan tozlara çelik bilye ilave edilmiş falkon tüplere doldurularak turbulada 24 saat karıştırma işlemine tabi tutulmuştur.

Karışım tozlar sıcak presleme yöntemiyle 230 kN sabit basınçta 880 °C’de 6 dakika bekletilerek 40x10x4 mm ölçülerinde grafit kalıp kullanılarak vakum ortamında, yoğunluk ölçümleri, mikroyapı ve mekanik özellikleri belirlemek için numuneler şekil 4.2.’deki gibi üretilmiştir.



Şekil 4.2. Kompozitler bileşenlerin boyutları

Numunelerin yoğunluk hesaplamaları; Arşimet prensibine göre yoğunluk ölçüm kitine sahip Redwag marka terazide belirlenmiştir. Sertlik ölçümleri Emco-test marka Durascan 20 model sertlik ölçüm cihazında vickers yöntemi ile 100 gram yük uygulanarak yapılmıştır. XRD analizi Rigaku Ultima IV X-Ray Diffractometer cihazında Cu X-ışını tüpü ($\lambda=1,5405$) kullanılarak 0,02/0,4 derece/saniye ile yapılmıştır.

Mikro yapıyı tespit etmek için numuneler zımpara ile temizlenerek, %3 nital solüsyonu ile dağlanmıştır. SEM/EDS incelemeleri JEOL JSM 6510 taramalı elektron mikroskobu ve IXRF 550 marka EDS ile gerçekleştirilmiştir. Optik incelemeleri; NIKON ECLIPSE MA 200 OM cihazında yapılmıştır. Üç nokta eğme deneyleri ASTM E8555 standardına uygun olarak Shimadzu AG-X 50 kN cihazında 1 mm/dk sabit hızla her bir kompozisyon için 3 numune kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.3). Darbe testleri 40x10x4mm

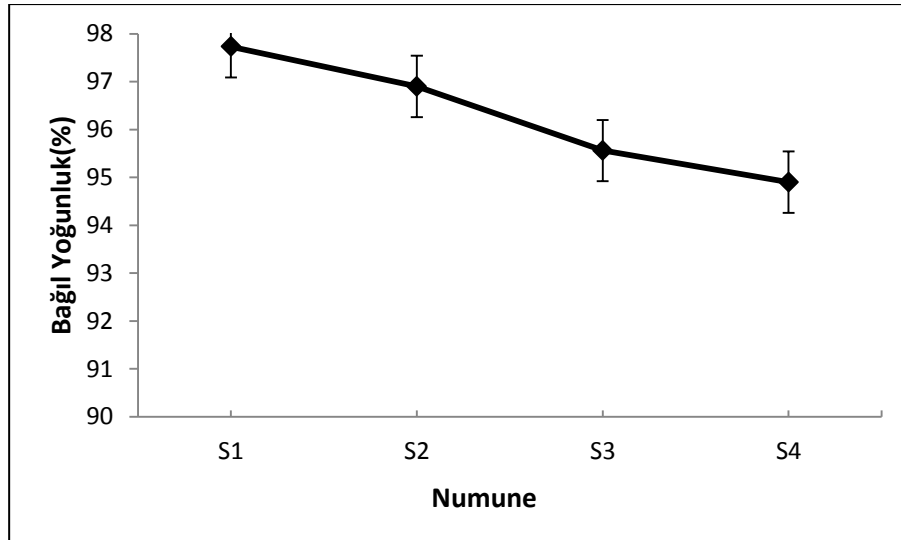
ölçülerinde yine her biri için üç çentiksiz numune kullanılarak Terco Impact Tester MT3016 cihazı ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.3. Üretilen kompozitin eğilme deneyi makro fotoğrafı

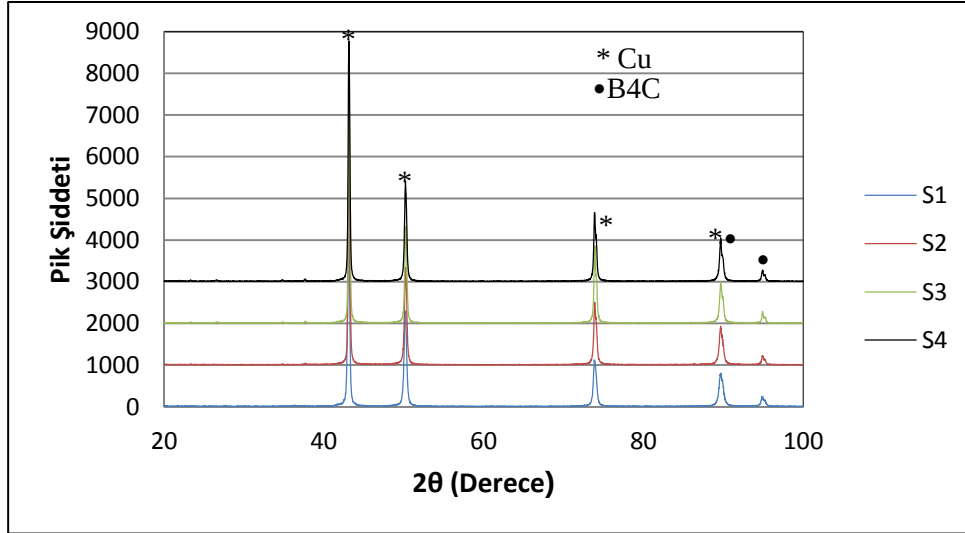
5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Şekil 5.1.'de sıcak presleme sonrası üretilen kompozitlerin bağıl yoğunluk değerleri verilmiştir. En düşük bağıl yoğunluk %6 takviyeli B₄C kompozitinde (S4) elde edilmiştir. En yüksek bağıl yoğunluğa ağırlıkça %1,5 B₄C ilave edilen numunelerde (S1) ulaşılmıştır. Bu numunelerde ulaşılan ortalama bağıl yoğunluk değeri %97,73 seviyesindedir. Takviye elemanı B₄C oranları arttıkça bağıl yoğunluk değerlerinde düşme gözlenmiştir. Yapılan çalışmalarda sıcak izostatik presleme yapıldığı halde %100 bağıl yoğunluk değerlerine ulaşılammıştır (Opris vd. 2007). Toz metalurjisi yöntemiyle yapılan metal matrisli kompozit sisteminde takviye oranının artışıyla bağıl yoğunluk değerlerinin düştüğü, ara yüzeydeki bağlanmanın önemine vurgu yapmışlardır (Pham vd. 2011; Prosviryakov 2015). Hao Guo vd. yaptıkları çalışmada, üretilen kompozitlerde çekme mukavemetini 480 MPa bulmuşlardır. Mukavemette bu değerlere çıkılmasında porozitede azalma ve bağıl yoğunluk değerinin ise %94,5 düzeyinde olması olumlu katkı sunmaktadır (Hao Guo vd. 1990).



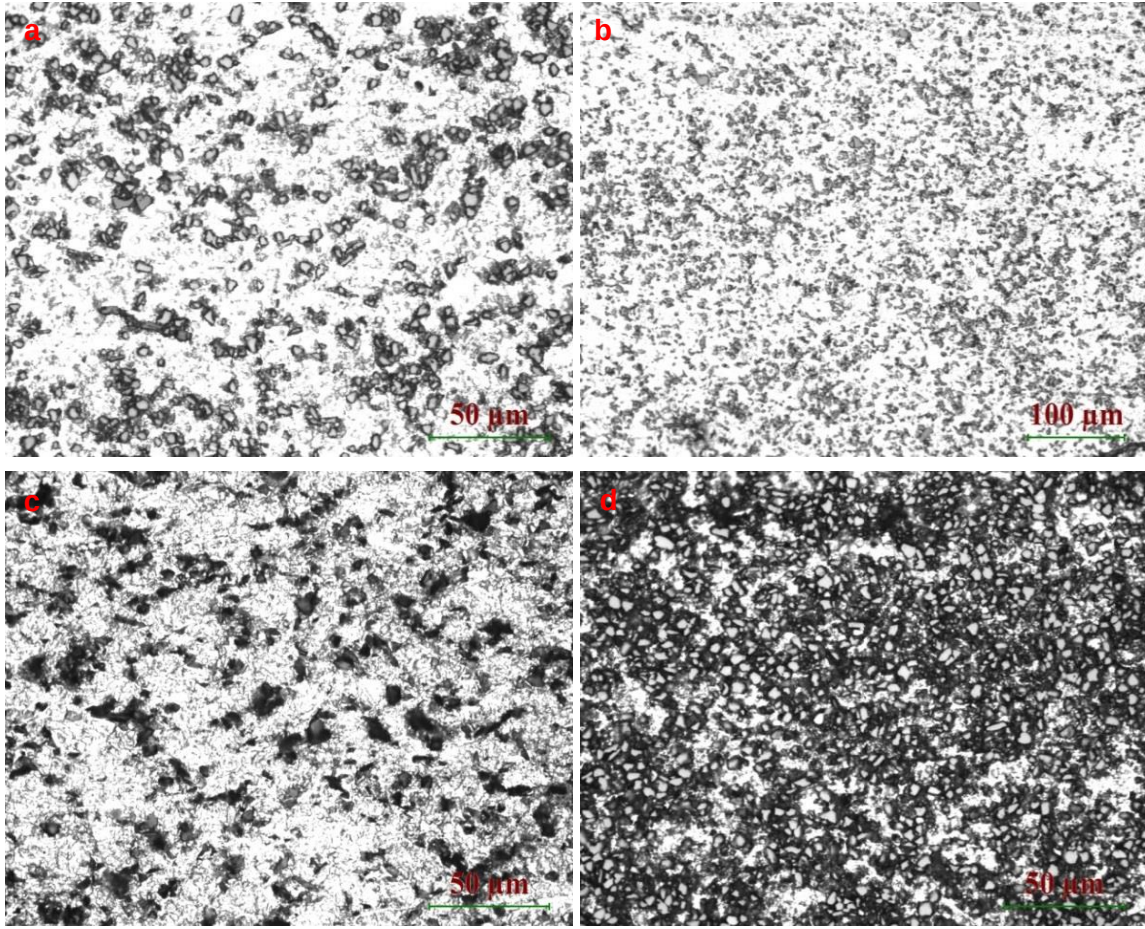
Şekil 5.1. Sıcak preste elde edilen bağıl yoğunluk değerleri

Farklı takviyelerde üretilen numunelere ait XRD analizinden elde edilen paternler şekil 5.2’de verilmiştir. Grafikte Cu kristal yapıyla birlikte B₄C pikleri tespit edilmiştir. Sıcak presleme esnasında yüksek yoğunluklu koruyucu gaz kullanıldığından intermetalik bileşiğe rastlanılmamıştır. Artan B₄C takviye oranıyla birlikte XRD paternlerinde B₄C’e ait piklerin şiddeti artarken, Cu piklerinde kısmen azalma görülmüştür.



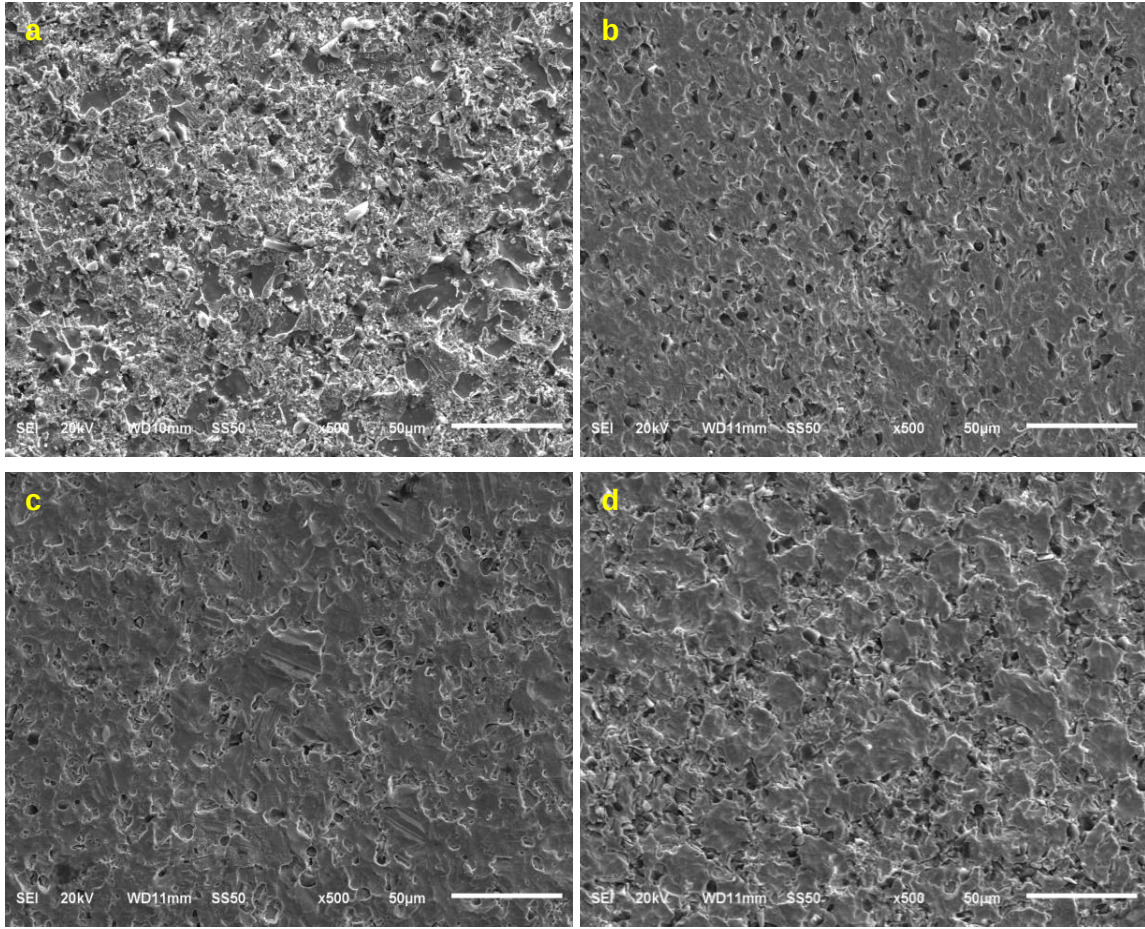
Şekil 5.2. Kompozit malzemelerin XRD analizinden elde edilen paternler

B₄C partikül homojen dağılımı ve gözeneklilik durumunun belirlenmesi amacıyla metalografik incelemeler yapılmıştır. Cu matris içerisine ağırlıkça %1,5, %3, %4,5, %6 oranlarında B₄C takviye edilen kompozitin optik mikroyapı (OM) fotoğrafları şekil 5.3.’de görülmektedir. Optik mikroyapı fotoğraflarından %3 B₄C takviyelerinde daha homojen bir dağılımın gerçekleştiği diğer numunelerde yer yer kümelenmelerin olduğu belirlenmiştir.

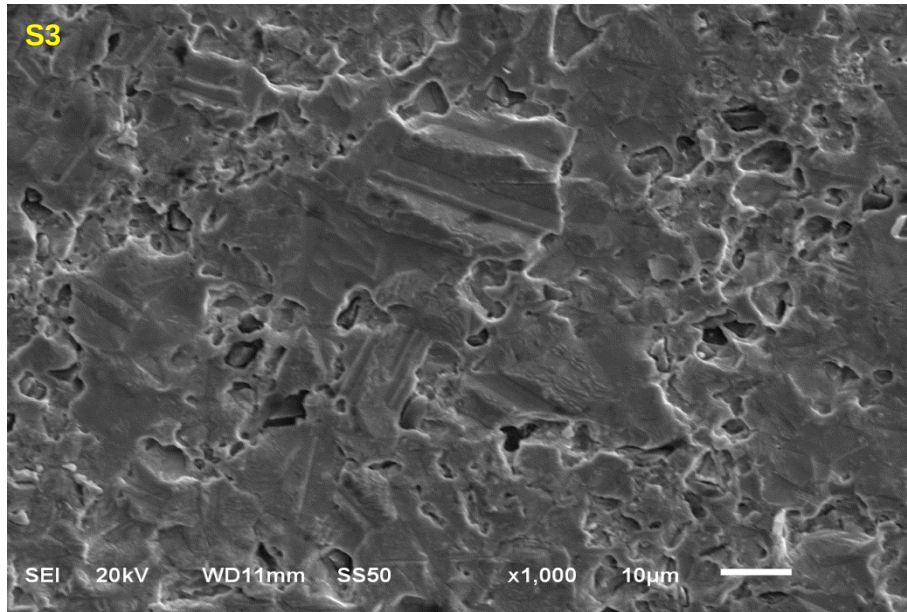


Şekil 5.3. Kompozitlerin OM görüntüleri; a) Cu 1,5B₄C, b) Cu 3B₄C, c) Cu 4,5B₄C, d) Cu 6B₄C

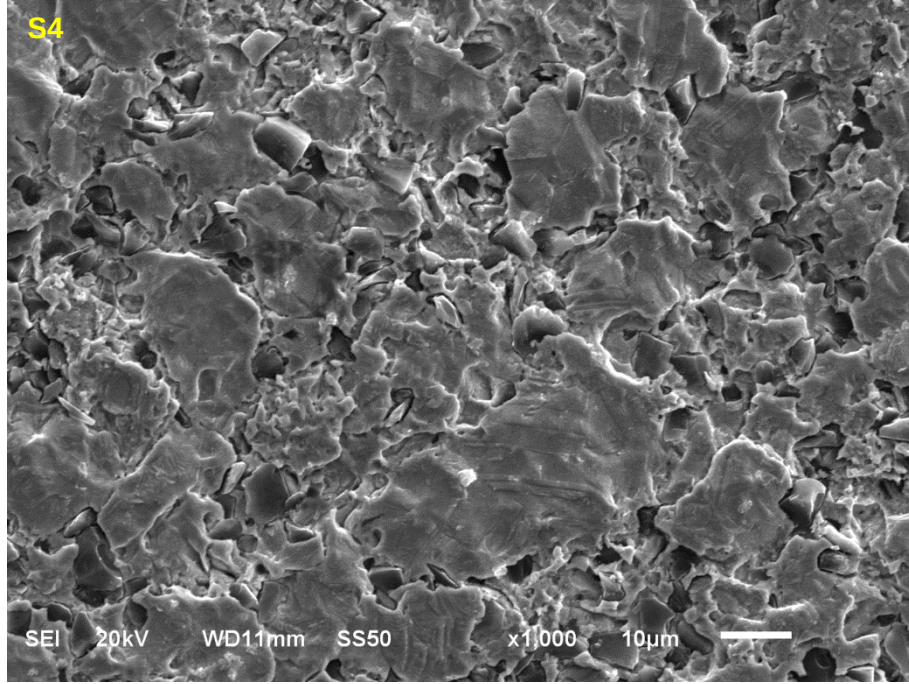
Ayrıca dağılan Cu matrisli kompozitlerin mikroyapısal karakterizasyonu belirlemek için mikroyapı fotoğrafları, taramalı elektron mikroskobu (SEM) vasıtasıyla şekil 5.4. ve 5.5.'de gösterilmiştir. B₄C partikülleri şekillerde de görüldüğü gibi tane sınırlarında matris içerisine gömülmüştür. Artan B₄C oranıyla topaklanmanın arttığı ve matris takviye bağlanma eğiliminin azaldığı görülmüştür.



Şekil 5.4. Kompozitlerin SEM görüntüleri; a) Cu 1,5B₄C, b) Cu 3B₄C, c) Cu4,5B₄C, d) Cu 6B₄C



Şekil 5.5. a S3 numunesinin SEM görüntüsü



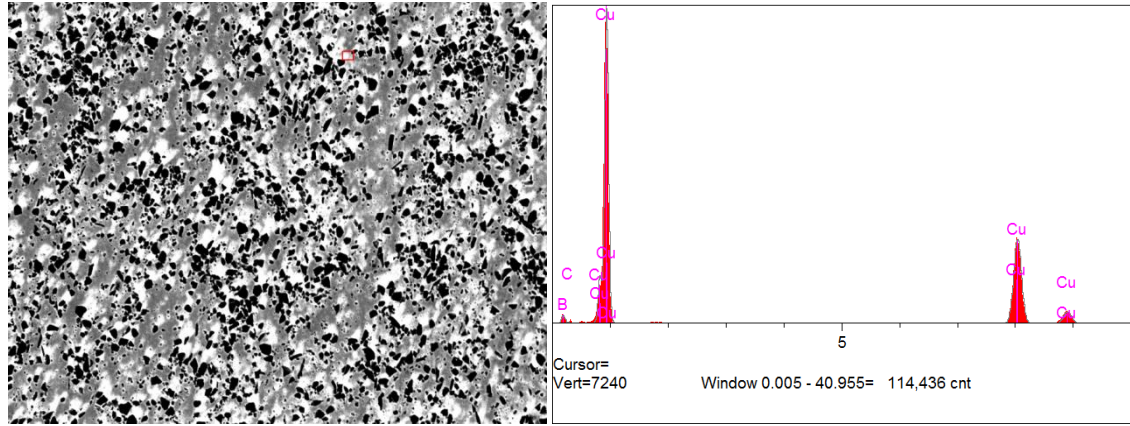
Şekil 5.5. b S4 numunesinin SEM görüntüsü

Cu matrisli kompozit için iyi mekanik performansla üretilen numunelerde takviye elemanının homojen bir şekilde dağılması önemli ölçüde etki etmektedir (R. Vintila vd; VVB Prasad vd. 2002). Bu çalışmada kompozitlerde porozite, çatlak ve kusurlar tespit edilmemiştir. Şekil 5.4. a,b,c ve d’de görüldüğü gibi homojen dağılım söz konusu iken B_4C takviye oranının artmasıyla bazı bölgelerde heterojen dağılım olduğu tespit edilmiştir. Takviye parçacıklı kompozitlerdeki yerel dağılım karıştırma tekniğine ve takviye partikülün büyüklüğüne bağlanabilir (A. Slipenyuk vd; VVB. Prasad vd. 2006). Parçacıkların büyüklük oranları takviye partiküllerinin farklı uzaysal dağılımına yol açabilir (K. Shirvanimoghaddam vd; G. Chen vd. 2006).

Bu çalışmada ise Şekil 5.4. c ve d’de iri taneli matrisle ince taneli takviye partikülleri uyumlu olarak şekillendiği düşünülmektedir. Tane sınırlarına yerleşen B_4C partikülleri kompozit içerisine nüfuz ettikleri görülmektedir. S4 kompozitinde B_4C ’nin etrafındaki boşluk ve kusurların yok olduğu belirlenmiştir.

Şekil 5.5.a’da mikroyapıdaki fotoğraflarda fazla sayıda tavlama ikizi olduğu görülmekte ve şekil 5.5. b’de bu tavlama ikizleri azalmaktadır. Mikroyapıda görülen bu tavlama ikizlerin mekanik özelliklerine olumlu katkı sağlamaktadır. Tavlama ikizleri kristal

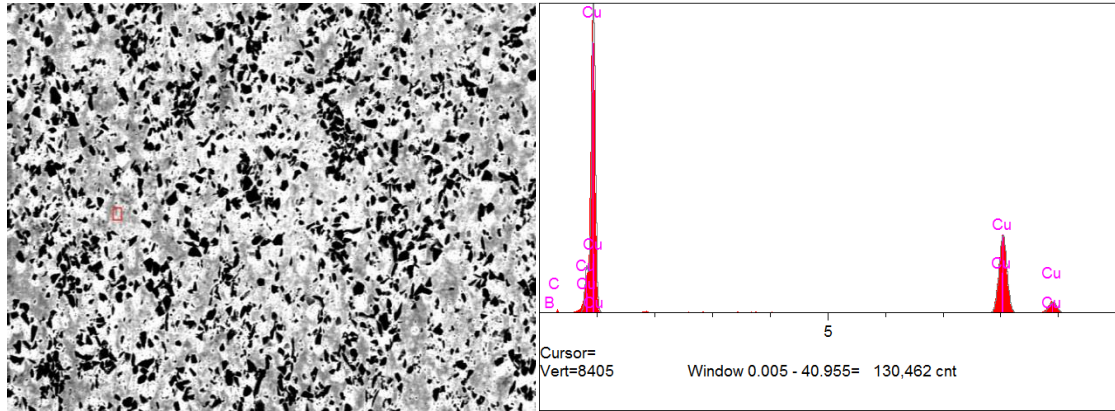
yapıya göre farklı düzlemlere ve doğrultuya sahip olup, kaymayı zorlaştırarak metallerin mukavemetini arttırmaktadır. (J Deng vd. 2002).



Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
B	Ka	94,51	5,820	0.000	wt.%	
C	Ka	13,30	4,429	2,347	wt.%	
Cu	Ka	2.126,91	24,256	97,653	wt.%	
				100,000	wt.%	Total

Şekil 5.6. S2 numunesinden alınan SEM/EDS nokta analizine ait görüntüler

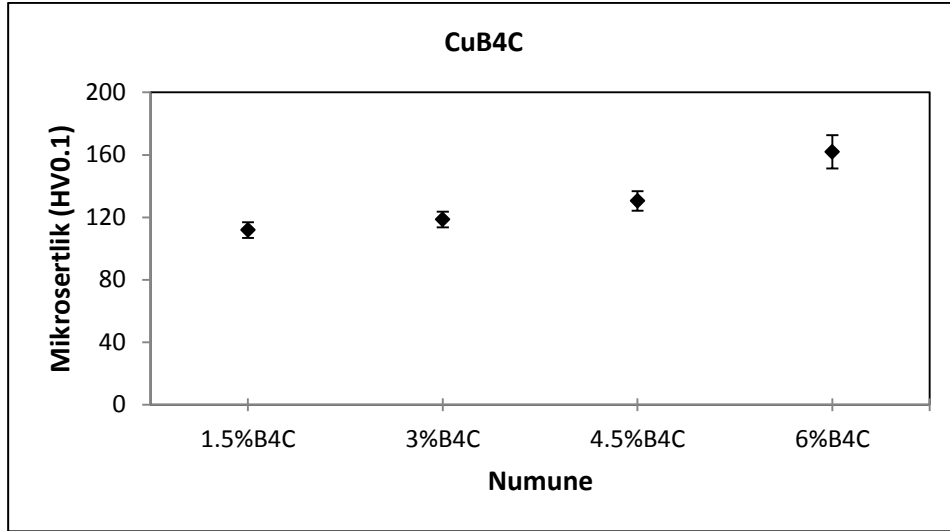
Şekil 5.6.'da EDS piklerinde Cu ve B₄C fazları görülmekte ve XRD analiz sonuçları bu fazları doğrulamaktadır. S2 numunesine ait EDS sonuçları incelendiğinde; kompozit malzeme içerisinde karbon ve bakır elementlerinin dağılımının görülmektedir. Nokta analizinde kompozitin kompozisyonunda ağırlıkça %2,347C ve %97,653Cu olduğu tespit edilmiş ve bu elementlerin kompozit içerisindeki oranların matristeki oranla uyumlu olduğu, bu fazın bir karbür fazı olduğu ve ana bileşiğinin bor olduğu anlaşılmaktadır.



Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
B	Ka	3,10	2,842	0.000	wt. %	
C	Ka	10,31	4,229	1,675	wt. %	
Cu	Ka	2.340,64	25,415	98,325	wt. %	
				100,000	wt. %	Total

Şekil 5.7. S3 numunesinden alınan SEM/EDS nokta analizine ait görüntüler

Şekil 5.7.'de S3 numunesine ait nokta analizinde kompozitin kompozisyonunda ağırlıkça %1,675C ve %98,325Cu fazları olduğu tespit edilmiştir. Şekil 5.5.'te SEM fotoğraflarında görüldüğü gibi karbürlerin Cu matris fazı tane sınırlarında yoğunlaştığı ve EDS analiz sonuçlarıyla uyumlu sonuçlar verdiği görülmektedir.(Kalaiselvan vd. 2011) yaptıkları çalışmada Al-B₄C MMC 800 °C'de matrisle B₄C arasında zayıf ıslatılabilirlik elde edilmiştir. Bu çalışmada 880 °C'de sıcak presle yapılmış ve şekil 5.5.'te sem görüntüsünden anlaşılaacağı üzere daha iyi takviye dağılımı ve iyi ıslatılabilirlik olduğu görülmektedir.



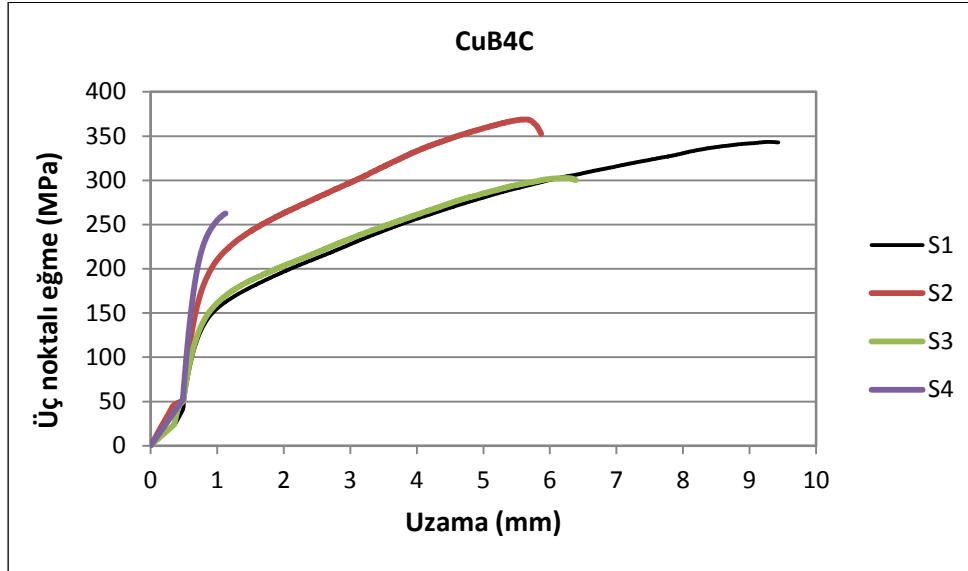
Şekil 5.8. Sıcak presle üretilen kompozitlerin mikrosertlik değerleri

Cu matris içerisindeki B_4C takviye elemanının mikrosertlik vickers değerleri karşılaştırmalı grafikleri şekil 5.8.'de gösterilmiştir. Matris mukayese edildiğinde Cu %6 B_4C kompozitin daha yüksek sertlik değerine ulaştığı görülmüştür. Saf bakırın bu yöntemle üretilen numunelerin ortalama sertlik değeri $80\text{ HV}_{0.1}$ iken, en yüksek sertlik değeri %6 B_4C içeren kompozitte elde edilmiş ve ortalama değeri $161,9\text{ HV}_{0.1}$ 'dir. Katkar vd. yaptığı çalışmada Al- B_4C kompozitinde en yüksek değere 6061Al-11% B_4C numunesinde 38 GPa vickers sertlik değerini belirlemişlerdir (Katkar vd. 2011). Yumuşak matris içerisine, seramikler ilave edildiğinde genel sertliğinde artışa neden olduğunu ifade etmişlerdir. Bunun yanı sıra B_4C partiküllerinin uniform dağılışı da sertlik üzerinde katkı sağladığı sonuçlardan da açıkça görülmektedir.

Gopal Krishna vd. alüminyum (6061Al) matris takviye ile $105\text{ }\mu\text{m}$ büyüklüğünde bor karbür partikülleriyle ağırlıkça %6, %8, %10, %12 karıştırma döküm yöntemiyle kompozit üretmişler ve %12 takviyede $121,31\text{ HVN}$ değerini belirlemişlerdir. Kompozit içerisindeki kırık B_4C partikülleri sertlikte artış olmasının yanı sıra, yayılım mukavemeti etkisine de katkı sağladığı literatür araştırmalarında çeşitli araştırmalarda açıkça ifade edilmiştir (Topcu vd. 2009).

Mekanik özellikleri değerlendirmek için oda sıcaklığında eğilme mukavemeti ve darbe tokluğu karakterize edilmiştir. Yapılan bu testler matris ile takviye arasındaki bağlanmayı

değerlendirmek ve Cu matrisli kompozitlerin yapısal özelliklerini açığa çıkarmaktır. Üç noktalı eğme testlerine ait grafikler karşılaştırmalı olarak şekil 5.9.'da gösterilmiştir.



Şekil 5.9. Sıcak presle üretilmiş olan numunelerin üç noktalı eğme grafiği

Genel olarak B_4C partikülleri kompozitin eğilme mukavemetini arttırmıştır. Yüksek eğilme mukavemet değerleri S1 ve S2 numunesinde görülürken, S4 numunesinde 262,61 N/mm^2 değerine kadar düşmüştür. En yüksek değerler sırasıyla 368,8 N/mm^2 , 342,94 N/mm^2 S2 ve S1 numunelerinde tespit edilmiştir. Qiang Shen vd. yaptıkları çalışmada ağırlıkça %7,5 B_4C 'de 813MPa eğilme mukavemetine ulaşırken, %12,5 B_4C 'de daha düşük değerler elde etmişlerdir (Shen 2014).

B_4C partikül takviye oranları arttıkça sünekliliğin düşmesi şekil 5.9.'da açıkça görülmektedir. S1 numunesine uzama miktarı yaklaşık 10 mm iken, S4 numunesinde 1,5 mm olarak kaydedilmiştir.

B_4C partiküllerinin varlığı plastik deformasyon sırasında gerilme sertleşmesine neden olduğu ve B_4C nin ilavesiyle kompozitin sünekliliğini düşürdüğünü tespit etmişlerdir (Alizadeh vd. 2010).

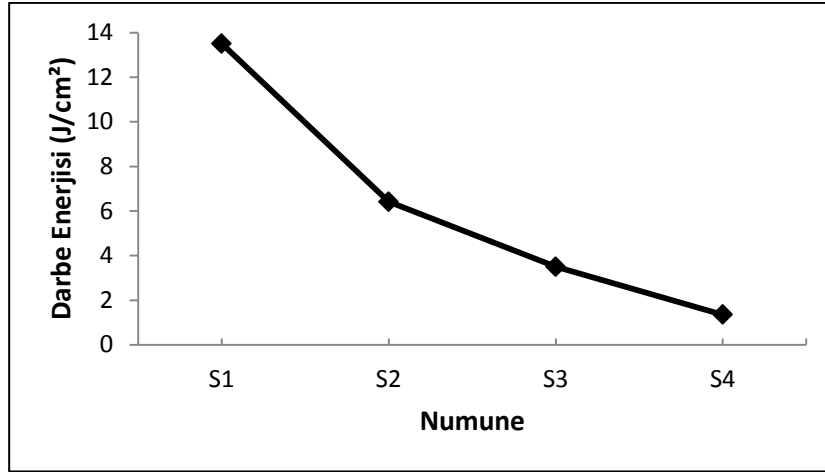
Sünek matris içerisine uniform dağılan takviye partikülleri ve matrisin tane boyutunun küçük olması mekanik özellikleri açısından dikkate alınması gerekir. Hall Petch denklemine göre akma gerilmesi ve diğer mekanik özelliklerde tane boyutu ile ilişkilidir (Sekine vd. 1995). Tane boyutunun ve miktarının etkisi her zaman kompozit malzemelerin mekanik özelliklerine olumlu veya olumsuz olabilmektedir.

A. Alizadeh ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, Al nanoyapı ile kıyaslandığında %2-4 B₄C Al matris %11-17 akma gerilmesinde artış ve %38-52 uzamada düşüş olduğunu tespit etmişlerdir.

Wilkinson'un araştırmasına göre, takviye partiküllerinin dahil edilmesiyle, kompozitlerin güçlendirici etkisi artarken, takviye edilmemiş materyallere göre önemli ölçüde azalmaktadır (Wilkinson vd. 2005).

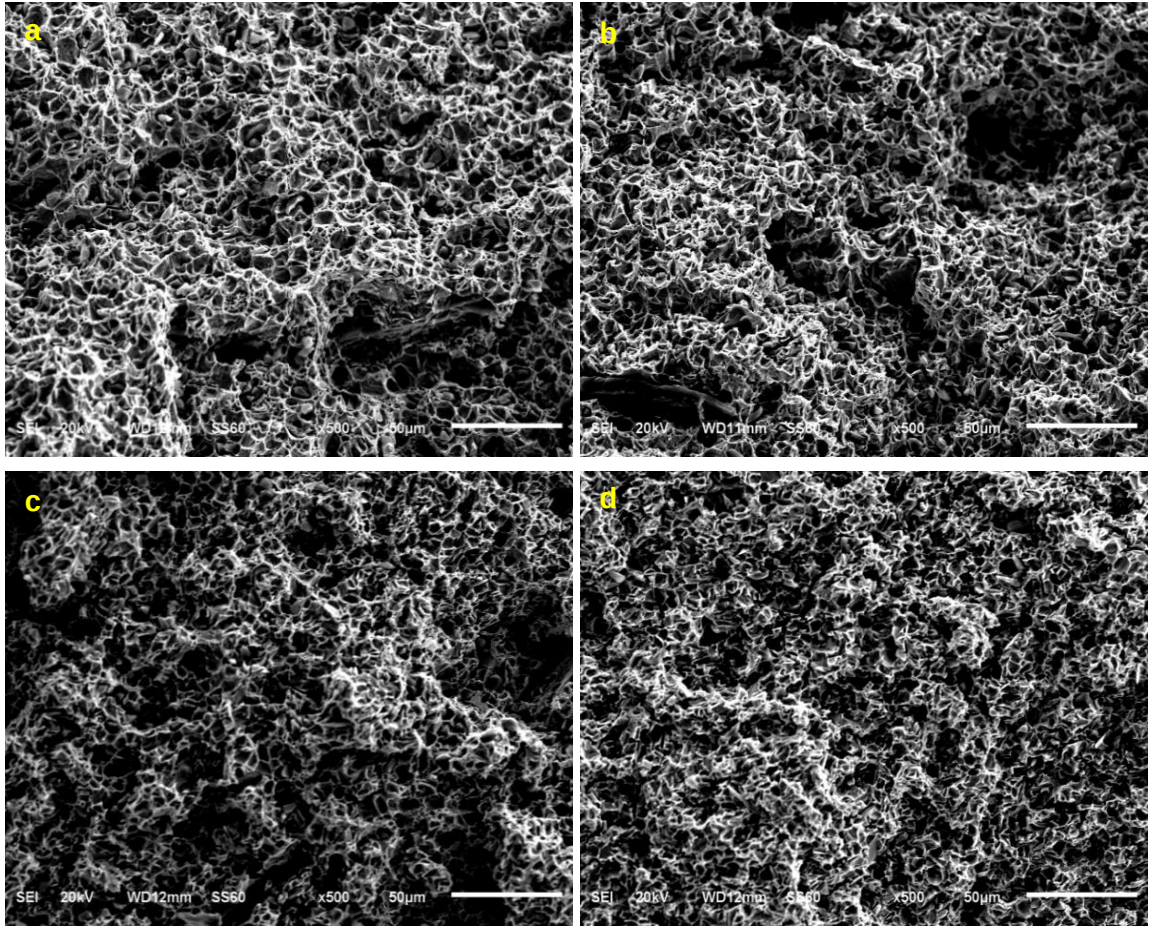
Takviyenin, kompozitlerin hem mukavemetine hem de plastik deformasyon yeteneğine ve sıcaklık dayanımına faydalı olduğunu ortaya koymaktadır (VVB Prasad vd. 2002; R. Karunanithi vd. 2014).

Absorbe edilen darbe enerjisi ve çatlak yayılma enerjileri belirlenmiş ve şekil 5.10.'da grafik halinde gösterilmiştir. Kırılan numunelerin yüzeylerinden SEM cihazında kırık yüzey fotoğrafları alınmıştır (Şekil 5.11).



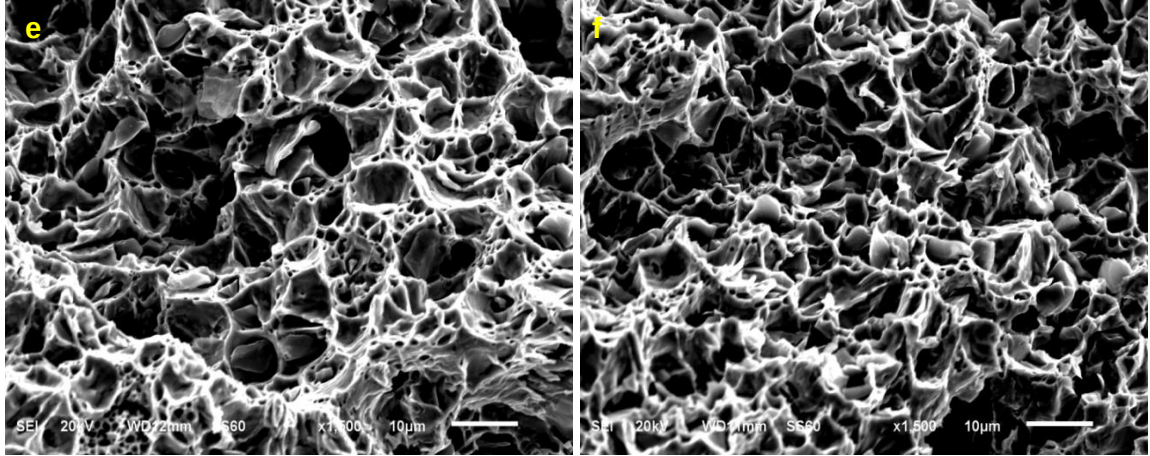
Şekil 5.10. Sıcak presle üretilmiş olan numunelerin darbe tokluğu deney grafiği

Şekil 5.10.'da üretilen kompozit numunelerin darbe testinden elde edilen değerler verilmiştir. Grafik incelendiğinde B_4C oranındaki artışla birlikte CuB_4C kompozitlerinde darbe enerjisinin ciddi bir azalma sergilediği görülmektedir. Bu durumda eğme deneylerinde görüldüğü gibi matris-takviye elemanı ara yüzeyindeki zayıf bağlanmadan ve kullanılan B_4C tozunun tane şeklinden kaynaklandığı anlaşılmaktadır. Takviye elemanı içeriğinin eğme mukavemetinde artışa neden olurken, Şekil 5.9.'da eğilme mukavemeti grafiğinde görüldüğü gibi uzama miktarı düştüğünden süneklik azalmış ve darbe direncinde dramatik bir düşüş meydana getirmiştir. En yüksek darbe enerjisi S1 numunesinde 13 J/cm^2 iken, S4 numunesinde ciddi bir şekilde düşerek $1,35 \text{ J/cm}^2$ olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.11. Kompozitlerin kırık yüzey SEM fotoğrafları; a) Cu 1,5B₄C, b) Cu 3B₄C, c) Cu 4,5B₄C, d) Cu 6B₄C

Şekil 5.11.'de eğilme deneyi ve darbe enerjisi sonrasında kırık yüzeylerinden alınmış SEM görüntüleri gösterilmiştir. Kırık yüzeylerde gözenek ve çatlakların olmadığını ortaya çıkarmaktadır. S1 ve S2 numunelerinde büyütülmüş fotoğraflarda farklı boyutlarda çok sayıda çukurcuklar olduğu ve matris içerisinde B₄C partiküllerinin dağılmadan koptuğunu göstermektedir. Bu durum plastik deformasyon yeteneğini arttırmış ve sünek kırılma meydana getirmiştir. Şekil 5.11.'de e ve f 'de büyütülmüş fotoğraflarda halka şeklindeki çukurcuklar açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 5.12. Kompozitlerin kırık yüzey SEM fotoğrafları; e) Cu 1,5B₄C, f) Cu 3B₄C,

Cu martis ile takviyenin ara yüzey bağının kuvvetli olduğu mekanik özellikler açısından olumlu katkı sağladığını şekil 5.9.'daki grafiği doğrulamaktadır. Şekil 5.11.g'de ise B₄C partiküllerinin parçacık şeklinde ve kuvvetin takviye parçacıklara transfer edilerek gevrek kırılma sergilediği ve ayrıca artan B₄C takviye oranının da olumsuz etki yaptığı düşünülmektedir.

Miserez yaptığı çalışmada, Al %2 Cu kompozitlerin kırılma mekanizmasını incelemiş ve matris boyunca ilerleyen çatlak, sünek çukurlardan oluşmuş bir kırılma yüzeyi elde etmişlerdir (Miserez vd. 2003).

Zhang vd. alüminyum 6092/B₄C kompozitleri hot isostatik pres (HIP) yöntemiyle üretmiş arayüzeyde zayıf bağlanmayı gözlemlemiş ve Al/B₄C arayüzey bağlantısı nedeniyle çatlamanın hakim olduğu zayıf bir arayüzeyle bağlandığı tespit etmişlerdir. (Zhang vd. 2006). Al %10 B₄C döküm kompozitlerin kırılma yüzeyleri, sünek ve kırılğan tipte kırıkların bir karışımını ortaya çıkarmıştır (KB Lee 2001).

Kırık yüzey SEM fotoğrafları ve eğme test sonuçları birlikte değerlendirildiğinde Cu matrisli B₄C takviyeli kompozitlerin mekanik dayanımları B₄C katkısıyla artmakta ve uzama miktarı azalmaktadır. Ara yüzeylerde meydana gelen kırılmaların ise B₄C etkisiyle gerçekleştiği görülmektedir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu araştırmada; Cu matris içerisine B₄C takviyeli metal matrisli kompozitler sıcak presleme (HP) yöntemiyle üretilmiş olup, takviyenin mikroyapı ve mekanik özelliklerine etkileri incelenmiştir. Bu araştırmadan elde edilen sonuçlar ve ileride yapılabilecek çalışmalar için öneriler aşağıda verilmiştir:

-Toz metalurjisi yöntemiyle üretilen kompozitlerin, düşük takviyeli B₄C oranlarında yüksek bağıl yoğunluk değerlerine ulaşılmıştır. %1,5 B₄C takviyeli kompozitte bağıl yoğunluk değeri %97 düzeyindedir.

-B₄C oranlarındaki artışla birlikte sertlik değerlerinin arttığı görülmüştür. En yüksek değeri %6 B₄C katkılı kompozitte yaklaşık 162 HV'dir.

-Genel olarak eğilme mukavemeti katkı oranıyla birlikte artış göstermiş, ancak uzama değerleri ciddi oranda düşerek gevrek bir davranış sergilemiştir.

-En yüksek darbe enerjisi, uzamanın etkisiyle sünek bir davranış sergilemiş ve S1 numunesinde 13,5 J/cm² olarak ölçülmüştür.

-Takviye faz partikül boyutunun küçük olması matris ara yüzeyde etkili bağlanma sağladığı görülmüş ve mekanik özelliklere olumlu katkı sağlamıştır.

-Bu kompozitlere, abrasiv yada adhesiv aşınma testleri yapılarak aşınmaya maruz kalan yerlerle ilgili çalışmalar yapılabilir.

-Cu matrisli B₄C katkılı kompozite Al katkısının mekanik ve mikroyapı özelliklerine etkileri daha sonraki araştırmalarda incelenebilir.

KAYNAKLAR

Ak D (2014) Yüksek Lisans tezi geleneksel toz metalurjisi yöntemiyle üretilen AISI 304l ve AISI 316l östenitik paslanmaz çeliklerin özelliklerine sinterleme koşullarının etkisi s. 307-309

Alizadeh A, Taheri E (2012) Department of Materials Science and Engineering Tarbiat Modares University 67: 119-127

Alizadeh M, Paydar MH (2010) Birikmeli rulo bağlama (ARB) prosesi ile Nanoyapı Al / SiCP kompozit imalatı J Alloys Compd s. 492- 495

Altun H, Şen S (2006) PVD Tekniğiyle Yapılan Kaplamaların Magnezyum Alaşımlarının Yapısal, Mekanik ve Tribolojik Özelliklerine Etkisi 11.Uluslararası Malzeme Sempozyumu Denizli 45(3): 258-260

Anık S, Dikicioğlu A, Vural M (1999) İmal Usulleri İTÜ Makina Fakültesi İstanbul s. 191-196

Ataş A (2003) Alaşımlı Demir Tozu Paletlerinin Sinterleme Sonrası Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi Yüksek Lisans Tezi İTÜ İstanbul s. 250-255

Bedir F (2006) Department of Mechanical Engineering, Suleyman Demirel University 32260 Isparta Turkey 28: 1238-1244

Bocchini F, Lindskog P (1991) Applications and Developments of Sintered Ferrous Materials Powder Metallurgy-An overview The Institute of Metals Series on Powder Metallurgy 57: 287-289

Chen G, Song X, Alloys Hu J, (2017) Comp Karmaşık ve iyimser partiküler el kitabı 694: 539-548

Deng J, Zhou J, Feng Y, Ding Z (2002) Microstructure and mechanical properties of hot-pressed B4C/(W, Ti)C ceramic composites Ceramics International Volume 28 Issue 4 s. 425-430

Eker A (2008) Metal Matrisli Kompozit Malzemeler ve Üretim Yöntemleri s. 150-157

Ergün N (2006) Bor Karbür-Silisyum Karbür Kompozitlerinin Reaktif Sıcak Presleme ile Üretilmesi, Yüksek Lisans Tezi İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İstanbul 20(2): 233-235

Fujiki A (2001) Present State and Future prospects of Powder Metallurgy Parts For Automotive Applications Materials Chemistry and Physics 67: 298-306

Gan K, Gu M (2008) The Compressibility of Cu/SiCp Powder Prepared by High-Energy Ball Milling, Journal of Materials Processing Technology s. 199-205

German RM (2007) Toz metalurjisi ve parçacıklı malzeme işlemleri Türk Toz Metalurjisi Derneği Ankara s. 270-278

German R, Powder M (1996) Metallurgy Science Metal Powder Industries Federation Princeton New Jersey 27(7): 110-115

Ghasali E, Pakseresht H, Alizadeh M (2007) Geleneksel Mikrodalga ve Kuvılcım Plazma Sinterleme Yöntemleriyle Hazırlanan Al-TiC Metal Matris Kompozitinin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin Değerlendirilmesi s. 377-398

Gopal UB, Sreenivas R (2012) Alüminyum matrisli kompozitlerin çekme özelliği üzerindeki B4C takviye yüzdesinin etkisi Int J.Mech Eng & Rob Res Vol 1 No:3 s. 2278 – 0149

Gökçe A (2013) Doktora Tezi Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretilen Al-Cu Alaşımlarının Mekanik Özelliklerinin Geliştirilmesi s. 105-110

Gürkan A (2006) Toz metalürjisi yöntemi ile alüminyum matrisli bor karbür takviyeli kompozitlerin üretilmesi ve mekanik özelliklerinin incelenmesi. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü s. 268-270

Hamill J (2000) Water atomized fine powder technology Proceedings of Powder Metallurgy World Congress JPMA Ed Part (1): 367-370

Huang L, Geng L, Peng H (2011) Mechanical Behaviors of Network-Structured TiBw/Ti64 Composites Acta Mater 64: 844-847

Ipek M, Zeytin S, Bindal C, Celebi Efe G (2010) Sakarya University Engineering Faculty Department of Metallurgy and Materials Engineering Esentepe Campus 54187 Sakarya Turkey 85: 643-647

Ipek R (2005) Dumlupinar University Engineering Faculty Mechanical Engineering 43100 Kütahya Turkey Journal of Materials Processing Technology s. 162–163

Jae W, Hakim D, BooJung K (2017) Microstructure and mechanical properties of a B₄C particle-reinforced Cu matrix composite fabricated by friction stir welding Journal of Alloys and Compounds 693: 688-691

Kalaiselvan K, Murugan N, Siva P (2011) 6061 Al-B₄C karışım döküm kompozit üretimi ve karakterizasyonu 32: 404-408

Karunanithi D, Ghosh K (2014) Influence of particle size of the dispersoid on compressibility and sinterability of TiO₂ dispersed Al 7075 alloy composites prepared by mechanical milling s. 1500-1509

Kumdalı F (2008) Alüminyum Matrisli B₄C Takviyeli Kompozitlerin Toz Metalurjisi Yöntemi ile Üretimi Yüksek Lisans Tezi Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İstanbul 45: 188-193

Kurt A (1992) Toz Metal Bronz Yatak Malzemelerinin Özellikleri Yüksek Lisans Tezi Fen Bilimleri Enstitüsü Gazi Üniversitesi Ankara 13: 47-51

Lee K, Sim H, Cho S, Kwon H (2001) Tensile properties of 5052 Al matrix composites reinforced with B₄C particles Metall Mater Trans A 32A s. 2142-2147

Lenel V (1993) Production of Iron Powder by Reduction of Iron Oxide Metals Handbook Volume s. 79-82

Mahmutoğlu S (2006) Toz Metalurjisi Yöntemiyle Yüzeyine Karbür Takviye Edilmiş Düşük Karbonlu Çeliklerin Üretimi ve Mikroyapısı s. 77-81

Miserez T (2003) Fracture and toughening of high volume fraction ceramic particle reinforced metals PhD Thesis École Polytechnique Federale de Lausanne 15(5): 97-103

Nadu T (2016) Sreedharan Christopher Ezhil Singh Natarajan Selvakumar Centre for Nano Science and Technology Department of Mechanical Engineering Mepco Schlenk Engineering College Sivakasi Virudhunagar s. 626-635

Orhan A, Gur K, Çalığülü U (2007) Fırat Üniversitesi Metal Eğitimi Bolumu 23119 Elazığ Türkiye 4: 8-13

Özakça M (1989) Mechanical Properties of Compacted and Sintered Powder Metallurgy Blanks Yüksek Lisans Tezi, Gaziantep Üniversitesi FBE s. 44-45

Özgün Ö (2007) Yüksek Lisans Tezi Toz Metalurjisi ile Üretilen Alaşımli Çeliklerin Mikroyapı ve Mekanik Özellikleri Sakarya s. 53-55

Palavar O (2014) Yüksek lisans Tezi Toz Metalurjisi ile Üretilen Inconel Süper Alaşımlarda Yaşlanma Parametrelerinin Aşınma Davranışlarına Etkisi s. 26-28

Prasad V, Bhat R, Mahajan R (2002) Havacılık malzemeleri el kitabı Mater Sci Eng 337: 179-186

Province S, Liu R (2018) College of Materials Science and Engineering Taiyuan University of Technology Taiyuan 151: 39-50

Randall MG (2007) Toz Metalurjisi ve Parçacıklı Malzeme İşleme Çeviri Süleyman Sarıtaş Mehmet Türker ve Nuri Durlu Toz Metalurjisi Derneği Yayınları Ankara 17(3): 25-29

Sahin J, Doh J, Yoon J, Lee D, Kim J (2003) Molibdenin mikroyapı üzerine etkisi ve kobalt bazlı Stellite sert dolgu alaşımlarının aşınma dayanımı s. 133-138

Sarıtaş S, Türker M, Durlu N (2007) Toz Metalurjisi ve Parçacıklı Malzeme İşlemleri Türk Toz Metalurjisi Derneği Yayınları Ankara 55(5): 43-45

Sekine H, Chen R (1995) SiCp / Al'in Kombine Mikro Yapı Güçlendirme Analizi. Metal Matris Kompozitleri s. 26-183

Sharifi M (2011) Department of Materials Engineering, Nanotechnology and Advanced Materials Institute Isfahan University of Technology Isfahan iran 84156-83111, 32: 3263-3271

Shirvanimoghaddam K (2016) Institute for Frontier Materials Deakin University Waurn Ponds Geelong Victoria 3216 Australia 658: 135-149

Shirvanimoghaddam K, Khayyam H, Abdizadeh H (2006) Kompozisyon örnekleri Ceram Int 42(2): 6206-6220

Slipenyuk A, Kuprin V, Milman Y (2006) Al-SiC nanokompozitif tozların mekanik alaşımlarına takviye hacim fraksiyonunun etkisi Acta Mater 54(5): 157-166

Thummler F, Obracker R (1993) Introduction to powder metallurgy Cambridge University Press s. 101-107

TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası (2003) Bor Raporu TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası Dergisi Ankara 134(3): 11-14, 17-19

Topcu M, Gulsoy O, Kadioglu N (2009) TM Yöntemi ile Üretilmiş Al Matrisli Kompozitlerde Presleme Basıncının ve B₄C Oranının Sertlik ve Aşınma Davranışı Üzerine Etkisi J. Alloys Comp 482: 516-521

Toptan F (2006) Alüminyum matrisli B₄C takviyeli kompozitlerin döküm yöntemi ile üretimi Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İstanbul s. 23-25

Varol T (2012) AA2024 Matrisli B₄C Parçacık Takviyeli Metal Matrisli Kompozitlerin Toz Metalürjisi Yöntemiyle Üretimi Ve Özelliklerinin İncelenmesi Karadeniz Teknik Üniversitesi Trabzon s. 37-40

Vintila R, Charest A, Drew L (2011) Malzeme Bilimi ve Malzeme Mühendisliği Uluslararası Konferansı Mater Sci Eng 528: 4395-4407

Wanga H, Rui Z, Hua X, Wang C (2008) Yong Huangb Laboratory of Material Physics of the Ministry of Education of China Zhengzhou University Henan 450002 PR China The State Key Laboratory of New Ceramics and Fine Processing Tsinghua University Beijing 100084 PR China 197: 43-48

Wang BLJ, Huang LG (2004) Sıcak Hidrostatik Konserve Ekstrüzyonun Etkileri Stok Kullanımı, Mikroyapı ve Mekanik TiBW / TC4 Kompozitlerin özellikleri s. 425-430

Wilkinson D, Pompe W (2001) Mater Sci çift fazlı çelik GND simülasyonu 46: 379-405

Wu C (2016) StateKey Laboratory of Advanced Technology for Materials Synthesis and Processing Wuhan University of Technology Wuhan 430070 China 12: 44-47

Yan J, (2006) Strength modeling of Al-Cu-Mg type alloys Doktora tezi University of Southampton Birleşik Krallık s. 244-247

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

Ying D, ve Zhang DL (2000) Processing of Cu-Al₂O₃ Metal Matrix Nanocomposite Materials by Using High Energy Ball Milling Materials Science and Engineering s. 122-130

Zhang H, Chen M, Ramesh KT (2006) Tensile behavior and dynamic failure of aluminum 6092/B₄C composites Mater Sci Eng A 433: 70-82

Zhang R, Wang J, Huang L (2017) metarials science Mater Sci Eng A, 679: 314-322

Zhang X, Zhong S, Li W (2014) Ductile Fracture Prediction of 316LN Stainless Steel in Hot Deformation Process J Alloys Comp 613: 25-32

Zheng R (2014) Key Laboratory of Aerospace Advanced Materials and Performance of Ministry of Education School of Material Science and Engineering Beihang University Beijing 100191 China 601: 20-28

Zhou T (2017) Shenyang National Laboratory for Materials Science Institute of Metal Research, Chinese Academy of Sciences 72 Wenhua Road 110016 China 728: 112-117

ÖZGEÇMİŞ

1989 yılında Elazığ ilinde doğdu. İlkokulu Evren paşa İlköğretim Okulu, ortaokulu Bahçelievler Ortaokulu, liseyi Hıdır Sever Lisesi'nde tamamladı. 2008 yılında Selçuk Üniversitesi İnşaat programcılığı bölümünü kazandı. 2010 yılında Fırat Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümüne kayıt yaptırdı. Okulu bitirmeden KPSS ile Bingöl İl Özel İdaresi'ne atandı. 2014 yılında mezun oldu. 2015 yılından Elazığ İl Özel İdaresinde çalışmaya devam etmektedir.