



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN NİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



BN KATKILI ATIK TALAŞ CuSn10
MATRİSİNDE B₄C TAKVİYESİNİN
MİKROYAPI VE SERTLİK ÜZERİNE ETKİSİ

Emre ÜNAL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Ekim-2021
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Emre ÜNAL

Tarih:21.10.2021

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BN KATKILI ATIK TALAŞ CuSn10 MATRİSİNDE B₄C TAKVİYESİNİN MİKROYAPI VE SERTLİK ÜZERİNE ETKİSİ

Emre ÜNAL

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Hakan GÖKMEŞE

2021, 82 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. Uğur GÖKMEN

Doç. Dr. Hakan GÖKMEŞE

Dr. Öğr. Üyesi Şaban BÜLBÜL

Son 50 yıl içerisinde, yatak ve dişli elemanlarının imalatında takip edilemez hızla ilerleyen teknolojik gelişmeler, metal matrisli kompozitlere olan ilginin artmasına neden olmuştur. Kompozit malzemelerin üstün mekanik özelliklere sahip olması sebebiyle bu alanda yapılan çalışmalar ilgi görmektedir. Bu sistemlerde çalışan yataklar genellikle zor şartlar altında görev yapabilecek özelliklerde tasarlanmaktadır. Büyük bir çoğunluğu metalik malzemelerden (Bronz ve Tungsten vb.) çok az bir kısma da polimer ve seramiklerden seçilen kaymalı yatak elemanların seçiminde maruz kalınacak yük, devir, sıcaklık, nem, korozyon ortam gibi birçok önemli parametre dikkat alınmak zorundadır. Bu seçimde malzeme ve üretim maliyetleri de oldukça önemlidir. Gelişen teknoloji ile birlikte artan malzeme ve enerji ihtiyaçları çok daha yüksek nitelikli, bilhassa hem malzeme ve üretim maliyeti açısından hemde kullanım şartlarında sahip olduğu yüksek tribolojik özellikler ile yüksek enerji verimliliğine sahip kaymalı yatak malzemelerin geliştirilmesini zorunlu kılmıştır. Bütün bunları göz önüne alarak bu çalışmada, endüstride alanında geri dönüşüm işlemi çoğunlukla ergitilerek yapılan CuSn10 talaşları oda sıcaklığında ve yüksek basınç altında (800Mpa) bor nitrid katı yağlayıcı takviye malzemesi olarak B₄C ile sıkıştırılıp, sinterleme yöntemi ile metal matrisli kompozit malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan matris elamanı endüstriyel olarak atık talaş şeklinde temin edilmiştir. Belirli oranlarda (ağırlıkça %5, %10, %15) B₄C toz içeriği ile birlikte hazırlanan matris/takviye toz karışımları mekanik karıştırma ve öğütme işlemine tabii tutulmuştur. Bu işlem sonrası hazırlanan toz karışımları kullanılarak toz metal parça üretim işlemine geçilmiştir. Bu amaç için toz karışımları sırasıyla presleme, sinterleme ve yoğunluk ölçüm işlemlerinden geçirilmiştir. Daha sonra toz metal parçaların, mikro yapısal karakterizasyonunu takiben sertlik değeri üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Geri Dönüşüm, Kompozit Malzeme, Metalik talaşlar, Toz Metalurjisi

ABSTRACT

MS THESIS

EFFECT OF B₄C REINFORCEMENT ON MICROSTRUCTURE AND HARDNESS PROPERTIES IN WASTE CHIP CuSn10 MATRIX WITH BN

Emre ÜNAL

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN MECHANICAL ENGINEERING

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Hakan GÖKMEŞE

2021, 82 Pages

Jury

Assoc. Prof. Dr. Uğur GÖKMEN
Assoc. Prof. Dr. Hakan GÖKMEŞE
Assit. Prof. Dr. Şaban BÜLBÜL

In the last 50 years, technological advances in the manufacture of bearing and gear elements have led to an increased interest in metal matrix composites. Due to the superior mechanical properties of composite materials, studies in this field are interesting. Bearings operating in these systems are generally designed to operate under heavy conditions. Many important parameters such as load, speed, temperature, humidity, corrosive environment should be considered in the selection of plain bearing elements made of most metallic materials (Bronze and Tungsten etc.) as well as polymer, ceramic materials. Material and production costs are also very important in this selection. Increasing material and energy requirements with the developing technology necessitated the development of high quality plain bearing materials, especially in terms of material and production costs, and high energy efficiency with their high tribological properties in terms of usage. Considering all these, in this study, CuSn10 chips, which are mostly recycled in the industry by melting, were compressed with B₄C as reinforcement material and boron nitride solid lubricant at room temperature and under high pressure (800Mpa), and metal matrix composite material was produced as a result of the application of sintering method. The matrix element used in the study was supplied industrially in the form of waste sawdust. Matrix/reinforcement powder mixtures prepared with B₄C powder content in certain proportions (weightly %5, %10, %15) were subjected to mechanical mixing and grinding. After this process, the powder metal part production process was started by using the powder mixtures prepared. For this purpose, powder mixtures were subjected to pressing, sintering and density measurement processes, respectively. Then, the effects of powder metal parts on hardness value were investigated following microstructural characterization.

Keywords: Composite Material, Metallic Chips, Powder Metallurgy, Recycling

ÖNSÖZ

Proje süresi boyunca her türlü desteği sağlayan, araştırma ve deneysel çalışmalarda bilgi birikimini paylaşan bir hocadan fazlası danışman hocam Doç. Dr. Hakan Gökmeşe'ye ve çalışmalarım boyunca yardımlarını esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Hakan Burak KARADAĞ'a en içten ve samimi dileklerle teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Deneysel çalışmalarım boyunca yardımını esirgemeyen özverili bir şekilde destek veren Mak. Müh. Alper NAMALAN'a ve Araştırma çalışmalarım boyunca her zaman yanımda olan Mak.Müh. Volkan SOLTEKİN'e teşekkür ederim.

Son olarak eğitim hayatımın başlangıcından bu yana maddi ve manevi olarak desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürü bir borç bilirim.

Emre ÜNAL
KONYA-2021

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
1. GİRİŞ	1
2.TOZ METALURJİSİ	3
2.1 Gelecekteki Beklentiler	5
2.2 Metal Tozu Üretim Teknikleri.....	6
2.2.1 Kimyasal metotlar	7
2.2.1.1 Gaz altında katınım ayrışması	8
2.2.1.2 Termal ayrışma	8
2.2.1.3 Sıvı fazdan çöktürme	8
2.2.1.4 Gazdan çöktürme	9
2.2.2 Elektroliz teknikleri	9
2.2.3 Mekanik yöntemler	10
2.2.3.1 Mekanik öğütme.....	10
2.2.3.2 Mekanik alaşımlama	11
2.2.4 Taneler arası korozyon metodu	12
2.2.5 Isıl ayrışım metodu	13
2.2.6 Atomizasyon	14
2.2.6.1 Su atomizasyonu yöntemi	15
2.2.6.2 Gaz atomizasyonu yöntemi	16
2.2.6.3 Vakum atomizasyonu yöntemi	18
2.2.6.4 Döner elektrot yöntemi	18
2.2.6.5 Döner disk yöntemi	19
3.KOMPOZİT MALZEMELER.....	20
3.1 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	23
3.2 Metal Matrisli Kompozitler (MMK)	26
3.2.1. Metal matrisli kompozitlerin üretim yöntemleri	29
4.ATIK MALZEMELER VE GERİ DÖNÜŞÜM	32
5.LİTERATÜR TARAMASI.....	36

6.DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	41
6.1. Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Üretimi	42
6.1.1 Malzeme	43
6.1.2 Numunelerin hazırlanması.....	46
6.1.3 Numunelerin preslenmesi.....	47
6.1.4 Numunelerin sinterlenmesi	48
6.1.5. Yoğunluk ölçüm işlemleri	49
6.2. Malzemelerin Mikroyapısal Karakterizasyonu ve Sertlik Ölçümleri	50
6.2.1 Metalografik işlemler	50
6.2.2. Mikroyapı incelemeleri.....	51
6.2.3. Sertlik ölçüm işlemleri.....	52
7. DENEYSEL SONUÇLAR	53
7.1. Çalışma Sürecinin Değerlendirilmesi.....	53
7.2. Yoğunluk Ölçüm Sonuçları.....	54
7.3. Mikroyapı Sonuçları.....	56
7.4. Sertlik Sonuçları	62
8.SONUÇLAR VE ÖNERİLER	63
8.1. Sonuçlar	63
8.2. Öneriler.....	64
9. KAYNAKLAR	65
ÖZGEÇMİŞ	70

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

CuSn10
BN
B₄C
Cu
Be
FeO
Fe
H₂O
CO
Ni
Ag
NO₃
Na
ThO₂
TiO₂
WC
Sn
Pb
Mn
Co
Si
Zn
Ti
Nm
N
d/dak
µm
MPa

Açıklama

Bronz
Bor Nitrür
Bor Karbür
Bakır
Berilyum
Demir Oksit
Demir
Su
Karbon Monoksit
Nikel
Gümüş
Nitrat
Sodyum
Torya
Titanya
Wolfram Karbür
Kalay
Kurşun
Manganez
Kobalt
Silisyum
Çinko
Titanyum
Newtonmetre
Newton
Devir/dakika
Mikrometre
MegaPascal

Kısaltmalar

T/M
MA
REP
MMK
SMK
PMK
KMK
XRD
SEM
RPM
HB
HV

Açıklama

Toz Metalurjisi
Mekanik alaşımlama
Rotating electrode process
Metal Matrisli Kompozitler
Seramik Matrisli Kompozitler
Polimer Matris Kompozitler
Karbon Matrisli Kompozitler
X-ışını kırınımı
Spekro Elektro Mikroskop
Revolutions per Minute
Hardness Brinel
Hardness Vickers

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1. Bronz malzemeden imal yatak parçaları	1
Şekil 2. 1. Toz metalurjisi ile üretilmiş örnek parçalar	3
Şekil 2. 2. Toz metal parçalarının üretim aşamaları	4
Şekil 2. 3. Toz morfolojileri (şematik)	6
Şekil 2. 4. Kimyasal yöntemle demir tozu üretimi	7
Şekil 2. 5. Toz biriktirmede kullanılan örnek elektroliz hücre şeması	9
Şekil 2. 6. Öğütmenin şematik olarak gösterilişi	10
Şekil 2. 7. Öğütücü tank ve şematik görünümü	11
Şekil 2. 8. Bilyaların tozlar ile çarpışmasının şematik gösterimi	12
Şekil 2. 9. Düşey gaz atomizasyon ünitesi	15
Şekil 2. 10. Su atomizasyonu yönteminin kesit görünümü	16
Şekil 2. 11. Gaz atomizasyonu ünitesinin şematik resmi	17
Şekil 2. 12. Gaz parametresine göre toz şekillerinin değişimi	17
Şekil 2. 13. Vakum atomizasyonu yönteminin şematik gösterimi	18
Şekil 2. 14. Döner elektrot yönteminin şematik gösterimi	19
Şekil 2. 15. Döner disk yöntemi şematik gösterimi	19
Şekil 3. 1. Kompozit Malzemeler	20
Şekil 3. 2. Takviye elemanına göre kompozitler	24
Şekil 3. 3. Endüstride kullanılan matris elemanları	28
Şekil 3. 4. Endüstri alanında takviye elemanlarının şekillerine göre kullanım oranları	28
Şekil 3. 5. Metal matrisli kompozit malzemelere ait üretim yöntemleri ve proses aşamaları	30
Şekil 3. 6. Endüstri alanında metal matrisli kompozitlerin üretim yöntemlerinin oranları	30
Şekil 4. 1. Endüstri türüne göre üretilen tehlikeli atık yüzdeleri	32
Şekil 4. 2. Bazı atık malzemelerin doğada kaybolma süreleri	33
Şekil 4. 3. Genel geri dönüşüm aşamaları	33
Şekil 6.1. Genel iş akış şeması	41
Şekil 6.2. Matris malzemesi CuSn10 talaşları	43
Şekil 6.3. Katkı malzemesi BN tozları	44
Şekil 6.4. Takviye Elemanı B ₄ C tozları	45
Şekil 6.5. Tozların tartım işlemi a) Hassas Teraziler b) Tartılan tozların görüntüsü	46
Şekil 6.6. Fritsch Pulverisette 5 marka gezegen tipi karıştırıcı	47
Şekil 6.7. a) Tek etkili pres cihazı b) Numunelerin Presleme kalıbı c) Preslenmiş numuneler	48
Şekil 6.8. Atmosfer kontrollü Nevola marka sinterleme fırını	49
Şekil 6.9. Kullanılan yoğunluk ölçüm cihazı	49
Şekil 6.10. Hardway marka çift diskli zımparalama ve parlatma cihazı	50
Şekil 6.11. Optik Mikroskop	51
Şekil 6.12. SEM Cihazı	52
Şekil 6.13. Emcotest marka (Brinel) sertlik ölçüm cihazı	52
Şekil 7. 1. İş akış şeması	53
Şekil 7. 2. Yoğunluk ölçüm sonucu	54
Şekil 7. 3. Nispi yoğunluk ölçüm sonucu	55
Şekil 7. 4. CS-1 deney numunelerinin mikroyapı görüntüleri	57
Şekil 7. 5. Kompozit deney numunelerinin mikroyapı görüntüleri;	58
Şekil 7. 6. Kompozit deney numunelerinin mikro yapı görüntüleri;	59

Şekil 7. 7. CS-4 deney numunesinin genel EDS analizi.....	60
Şekil 7. 8. CS-4 deney numunesinin elementel haritası	61
Şekil 7. 9. Deney numunelerinin sertlik sonuçları.....	62



ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1. Metal matrisli kompozitlerin karşılaştırılması.....	31
Çizelge 6.1. CuSn10 malzemesinin (%ağırlıkça) kimyasal bileşimi.....	43
Çizelge 6.2. Bor Nitrür malzemesinin özellikleri	44
Çizelge 6.3. Bor Karbür malzemesinin özellikleri	45
Çizelge 6.4. Deneysel numunelerin karışım oranları.....	46



1. GİRİŞ

Son 50 yıl içerisinde, yatak ve dişli elemanlarının imalatında takip edilemez hızda ilerleyen teknolojik gelişmeler, metal matrisli kompozitlere olan ilginin artmasına neden olmuştur. Kompozit malzemelerin üstün mekanik özelliklere sahip olması sebebiyle bu alanda yapılan çalışmalar ilgi görmektedir. Bu sistemlerde çalışan yataklar genellikle zor şartlar altında görev yapabilecek özelliklerde tasarlanmaktadır. Büyük bir çoğunluğu metalik malzemelerden (Bronz ve Tungsten vb.) çok az bir kısma da polimer ve seramiklerden seçilen kaymalı yatak elemanların seçiminde maruz kalınacak yük, devir, sıcaklık, nem, korozyon ortam gibi birçok önemli parametre dikkat alınmak zorundadır. Bu seçimde malzeme ve üretim maliyetleri de oldukça önemlidir. Gelişen teknoloji ile birlikte artan malzeme ve enerji ihtiyaçları çok daha yüksek nitelikli, bilhassa hem malzeme ve üretim maliyeti açısından hemde kullanım şartlarında sahip olduğu yüksek tribolojik özellikler ile yüksek enerji verimliliğine sahip kaymalı yatak malzemelerin geliştirilmesini zorunlu kılmıştır.



Şekil 1.1. Bronz malzemedeki imal yatak parçaları

Kompozit malzemeler, iki ya da daha fazla sayıdaki, aynı veya farklı gruptaki malzemelerin en iyi özelliklerini, yeni ve tek bir malzemede toplamak amacıyla, makro düzeyde birleştirilmesiyle oluşturulan malzemelerdir [1]. Kompozit malzemelerin birçok üretim metodu vardır. Bu çalışmada kompozit malzeme üretim metodlarından biri olan Toz Metalurjisi Yöntemi kullanılmıştır.

İleri bir imalat yöntemi olan “Toz Metalurjisi (T/M)”, teknolojik malzemelerin üretilmesine çok uygun olan ve küçük parçaların çok sayıda ve ekonomik üretimini sağlayan bir yöntemdir [2]. Maliyet ve kalitenin hedef haline geldiği günümüzde toz metal teknikleri ile parça üretimi giderek önem kazanmaktadır. Toz metalurjisinin önemi; döküm, talaşlı imalat ile şekillendirilmesi oldukça zor veya imkânsız olan parçaların bu yöntemle kolaylıkla ve kütle üretimlerde ekonomik bir şekilde üretilmesinden kaynaklanmaktadır [3]. Toz Metalurjisi ile parça üretimi Toz hazırlama, presleme, sinterleme ve sinterleme sonrası işlemler gibi aşamalardan oluşmaktadır [4].

Toz metalurjisi tekniğinde kullanılan tozların üretimi oldukça güç ve pahalıdır. Bu durum toz metalurjisinin kullanımını kısıtlayıcı bir etki oluşturmaktadır. Bu çalışmada toz metalurjisi tekniğine alternatif olarak metal tozları yerine atık olarak değerlendirilen metal talaşları kullanılarak benzer üretim tekniği kullanılarak yeterli yapısal bütünlüğe ve mukavemete sahip aynı malzemeler üretilmektedir. Atık metal talaşlarının geri dönüşümünde ergitme ve döküm prosesinin kullanılması durumunda farklı türdeki talaşların aynı pota içerisinde ergitilmesi mümkün olmayacağından dolayı sınıflandırma işlemi uygulanması gerekmektedir. Toz Metalurjisi üretim yöntemiyle farklı türdeki metallerin istenen kompozisyonda üretilmesi mümkün olmakla birlikte, malzemeler istenen nihai boyutlara kolayca getirilebilmektedir [5].

Bu kapsamda yapılan bu tez çalışmasında atık talaş CuSn10 metal matris yapısında katı yağlayıcı BN ve farklı takviye oranlarında seramik parçacık B₄C kullanılarak metal matrisli kompozit numuneler üretilmiştir. Çalışmaların devamı olarak üretilen kompozit numunelerin yoğunluk, mikroyapı ve mikrosertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Böylelikle atık metal talaşlarının geri kazanımı ile geleneksel ergitme ve döküm prosesinin aksine toz metalurjisi yöntemi kullanılarak metal matrisli kompozit malzemelerin üretimi odaklı çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

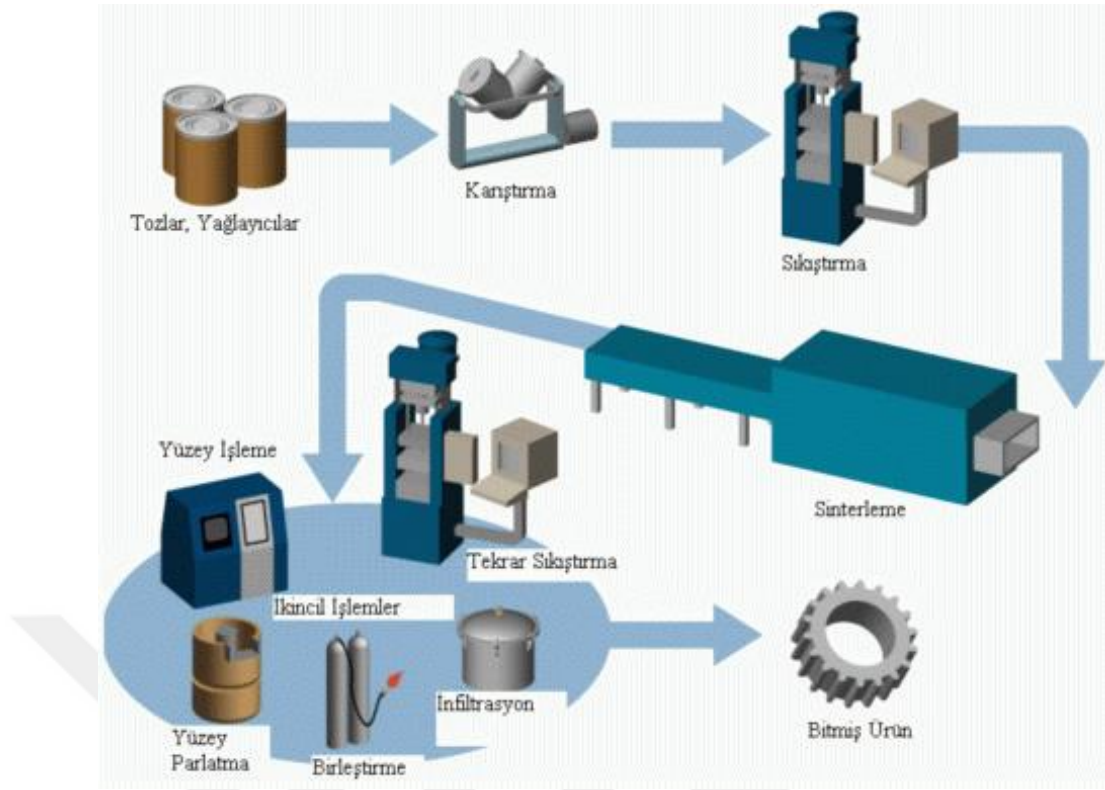
2.TOZ METALURJİSİ

Toz Metalurjisi'nin genel tanımı, birçok proses ile üretilebilen metal tozlarından kalıp yardımı ile preslenerek makine parçası üretimi demektir. Toz Metalurjisi bir modern imalat yöntemidir. Toz Metalurjisi modern bir imalat yöntemi olması sebebiyle ileri teknolojik malzemelerin üretilmesi için en uygun yöntemdir. Karmaşık şekilli parça üretimi, Farklı oranlarda karışım imkânı sağlayarak üstün mekanik özellikli malzeme üretimi gibi birçok avantajı bulunan toz metalürjisi prosesi günümüz endüstrisinde gelişen teknolojinin ihtiyaçlarını karşılayamayan geleneksel malzeme üretim metotlarının yerini almaktadır. Günümüzde geleneksel toz metalürjisi yöntemi ile üretilen tozlar ve bu tozlar ile üretilen malzemeler dünya endüstrisinde büyük bir yer edinmiştir.



Şekil 2. 1. Toz metalurjisi ile üretilmiş örnek parçalar

Toz Metalurjisi, metal tozlarının belirli oranda karıştırılarak, oda sıcaklığında hassas kalıplarda istenilen teknik değerlere uygun basınçlarda sıkıştırılması ve sonrasında kontrollü atmosfer şartlarında sinterlenmesiyle parça üretme yöntemidir. Bu yöntem toz üretimi, üretilen tozların karıştırılması, tozların preslenmesi, sinterleme ve isteğe bağlı işlemler (infiltrasyon, yağ emdirme, çapak alma, vb.) olmak üzere belirli aşamalardan oluşur [6].



Şekil 2. 2. Toz metal parçalarının üretim aşamaları[42]

İmalat dünyasında makine parçalarının üretiminde önemli parametreler arasında yer alan hızlı üretim, istenilen fonksiyonları yerine getirecek (parçadan beklenen mukavemet vb.) ve özelliklerin yanı sıra istenilen boyut hassasiyetlerinde üretimin yapılabilmesi gittikçe önem kazanmaktadır. Toz metalurjisi ile üretilen parçalar bu gereklilikleri her geçen gün daha fazla yerine getirmektedir. Karışık şekilli parçaların üretiminin yanında diğer yöntemlerle üretilmesi zor parçalar, kısa sürede ve beklenen özelliklerde toz metalurjisi yöntemiyle üretilmektedir. Ayrıca istenilen kimyasal bileşimdeki metallerin tozları ile parça üretebilmenin yanı sıra farklı metallerin tozlarından oluşan karışımlar da kullanılabilir. Toz metalurjisi yöntemiyle üretilen makine parçaları ek bir talaşlı işlem gerektirmemektedir. Beklenen mekanik özelliklere ve toz bileşimine bağlı olarak belirlenen sinterleme işlemi sonunda makine parçası olarak doğrudan kullanılabilir [7].

Toz metalürjisi prosesi yöntemiyle üretilen malzemelerin özellikleri çoğunlukla toz parçacıklarının şekli, büyüklüğü, kimyasal bileşimi, içerisinde kullanılan yağlayıcı malzemesinin cinsi, presleme basıncı, sinterleme sıcaklığı ve sinterleme süresi gibi

birçok parametreye bağılı olmasından dolayı özellikler hakkında net sonuçlara ulaşmak oldukça zordur. T/M parçaların mekanik özellikleri genellikle yoğunluğa bağılı olarak değişmektedir. T/M parçalarda gözenek miktarı azaldıkça genel anlamda mekanik özellikler iyileşmektedir. Bu genelleme genel olarak kabul görürken, iyileşme oranının hangi parça yoğunluğu değerleri üzerinde önem kazandığı net değildir. Bu sebepten dolayı düşük izafi yoğunluklarda toplam gözeneklilik miktarı ana faktör olarak gözlemlenirken, yüksek yoğunluklarda gözenek boyutu, şekli ve dağılımı ile birlikte matris malzeme mikro yapısı daha önemli faktörler olarak dikkat çekmektedirler [8].

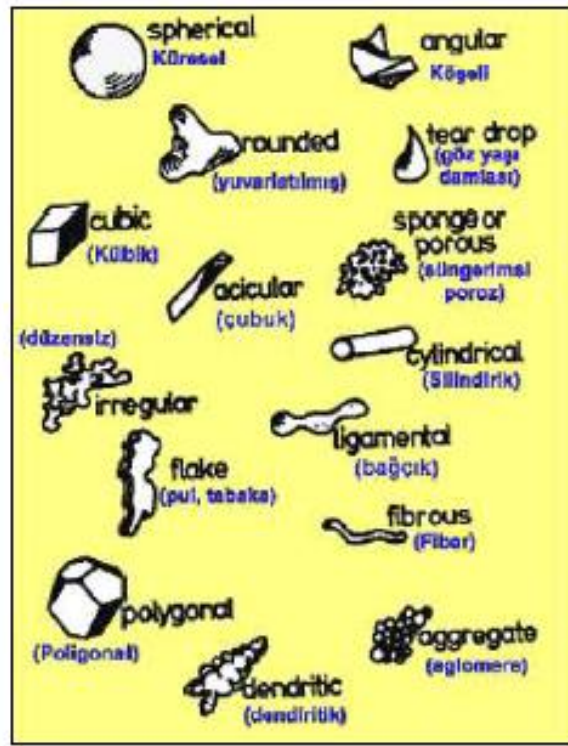
2.1 Gelecekteki Beklentiler

Toz Metalurjisi yöntemi ile elde edilen ürünler maliyetinin az olmasından dolayı başarılı olmuştur. Bundan dolayı, demir tozlarının kullanımı elmas tozlarına göre tahmini tüketimi oldukça fazla olduğu gözlemlenmiştir. Günümüzde Toz Metalurjisi yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Günümüzde geleneksel malzemeler piyasanın ihtiyacını karşılamamaktadır. Gelişen teknoloji ile birlikte yeni nitelikli malzemelere ihtiyaç artmaktadır. Bu sebepten Toz Metalurjisi yöntemine ihtiyaç artmaktadır. Nitelikli malzemeler üretebilmek için daha çok toz metalürjisi yöntemi konusunda bilgili personele ihtiyaç vardır. Günümüz mühendisleri toz metalürjisi prosesi ile ilgili fazla bilgiye sahip değıllerdir. Gelecekte günümüzde geri dönüşüm amacı ile kullanılan döküm prosesinin yerini alarak birçok alanda toz metalürjisi prosesi ile üretilen malzemelerin kullanılması hedeflenmektedir. Özellikle havacılık, uzay ve otomotiv sektörlerinde malzemelerden istenilen en önemli özellik aynı mukavemet değerlerine sahip hafif bir ürün olmasıdır. Toz metalürjisi yöntemi ile üretilen ürünlerin gelecek beklentilerinin nedenleri şu şekildedir:

1. Atık metal talaşlarının geleneksel geri dönüşüm proseslerine göre daha avantajlı bir geri dönüşümünün sağlanması,
2. Düşük maliyet ile nitelikli malzeme üretiminin sağlanması,
3. Tam yoğunluğa sahip yüksek performanslı malzemelerin üretilmesi,
4. İleri teknolojik malzeme ihtiyaçlarını karşılayabilmesi
5. Özel alaşımlı kompozit malzemelerin üretilebilmesi,

2.2 Metal Tozu Üretim Teknikleri

Genellikle toz metalürjisi yöntemi ile üretilen metal tozlarının üretim yöntemi konusunda bilgi sahibi olmak hem nihai ürünün hemde metal tozların özelliklerini anlamak amacıyla önemlidir. Tüm malzemeleri toz haline getirebilmek mümkün olsa da, toz üretimi için seçilen toz üretim prosesi ve üretim aşamaları malzemenin bazı özelliklerine bağlı olduğu bilinmektedir. Metal tozlarının üretiminde temel olarak altı farklı yöntem vardır [9].



Şekil 2. 3. Toz morfolojileri (şematik)

- Kimyasal metotlar
- Elektrolitik metot
- Mekanik metotlar
- Taneler arası korozyon metodu
- Isıl ayrışım metodu
- Toz üretiminde atomizasyonu metotları [10].

2.2.1 Kimyasal metotlar

Genel de birçok metal malzemenin kimyasal metotlar kullanarak toz haline getirilebildiği bilinmektedir. Kimyasal yöntemle sentezlemede katı, sıvı veya buhar fazı tepkimeleri ile toz üretiminin gerçekleştirilebildiği bilinmektedir. Bu sentezleme yöntemlerini dört gruba ayırmak mümkündür [11].

- Gaz altında katının ayrışması
- Sıvıdan çöktürme
- Termal ayrışma
- Gazdan çöktürme



Şekil 2. 4. Kimyasal yöntemle demir tozu üretimi[38]

Metal oksitlerinin indirgenmesindeki ana faydalar şu şekilde özetlenebilir;

- Karbonun ucuz olması
- Ucuz metal oksitlerinin bulunuşu
- Oksit ve metal parçacık boyunun kontrolündeki kolaylık
- Gözenekli toz yapım imkânı
- Proses kapasitesinin elastikiyeti
- Metal oksitlerinin indirgenmesindeki dezavantajlar:
- Saf indirgeyici gazların yüksek maliyeti
- Büyük miktarlarda kullanılan indirgeyici gazların Yüksek maliyeti

- Metal tozlarının safiyetinin oksitlerin safiyetine bağılı olması
- Alaşım tozlarının yapım imkânsızlığı [12].

2.2.1.1 Gaz altında katınım ayrışması

Metal toz üretiminin en klasik şekli metal oksitleri indirgeyici gaz ortamında indirgeyerek ayrıştırmaktır. Bu yöntemde saf metal oksit tozları gerek karbon monoksit gerekse de hidrojen gazı ile tepkimeye sokularak yüksek sıcaklıklarda metal oksit indirgenmesi gerçekleşir [11].

2.2.1.2 Termal ayrışma

Buhar fazında ayrışma ve yoğunlaşma süreçlerinin birleşimi ile metal fazlarını üretmek mümkündür. Prosesin termal ayrışması için gereken yüksek enerji gereksinimi ile karbondioksit sirkülasyonunun beraberinde getireceği potansiyel tehlikelerden ve çok pahalı bir yöntem olmasından dolayı tam olarak benimsenmemiştir [11].

Gaz moleküllerinin oluşumunda otoklav ortamında aynı anda basınç ve sıcaklık gereklidir. Moleküller halindeki karbonil 43°C sıcaklığında ve yüksek basınçlarda sıvı haline gelinceye kadar soğutulur ve bir tepkime kristalinin etkisi ile yeniden ısıtıldığında buhar fırınında ayrışır ve sonuçta metalik nikel tozu 2 – 4 µm boyutlarında ve yaklaşık %99,6 saflığında çökerek üretilir. Diğer metallerden bakır, krom, platin, radyum, altın ve kobalt karbonil üretimi için gereken yüksek enerji gereksinimi ile karbondioksit sirkülasyonunun beraberinde getireceği potansiyel tehlikelerden ötürü dünyada nikel ve demir karbonil tam olarak benimsenmiştir [10].

2.2.1.3 Sıvı fazdan çöktürme

Sıvı çözeltide nitrat, klorür ve sülfatlar olarak bulunan metalik tuzlar metalik çökelti veya çökelti oluşturan metali üretmek için işleme tabi tutulabilirler. Çökeltiden yâda çökelti fazı haline getirilen metalik tuzlar toz üretimi için uygun kaynak teşkil ederler. Tuz suda eritilir ve ikinci bileşik yardımı ile çökeltir. Sıvı fazdan çökelti ile geliştirilen toz üretim teknikleri özellikle kompozit tozların üretiminde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır [11].

2.2.1.4 Gazdan çöktürme

Gaz bileşiklerinin oluşturduğu kimyasal tepkimeler sonucu reaktif metallere ve nano ölçekli partiküllerden tozlar üretilir. Gaz esaslı tepkimelerin en büyük avantajı tepkime sırasında toz üretiminde ergitmenin ortadan kalkması sonucu potanın kirlenmemesi ve yeniden kullanılabilir olmasıdır [11].

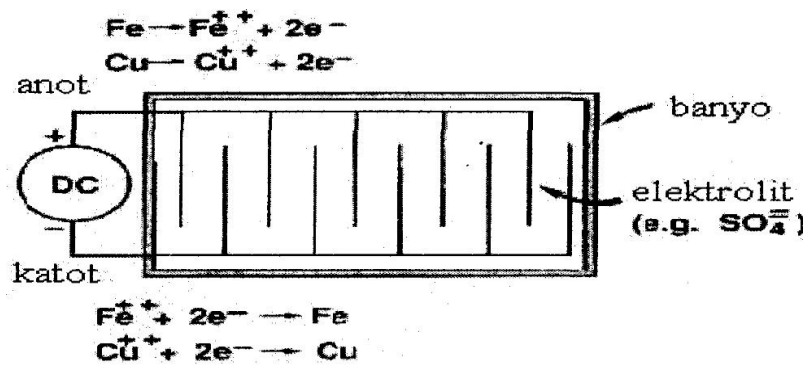
2.2.2 Elektroliz teknikleri

Yüksek iletkenliğe sahip metal tozlarını üretmenin bir başka yöntemi de elektroliz bir hücrenin katot çubuğunda metal tozlarını çöktürmektedir. Bu yöntemi kullanarak yüksek saflıkta Cu, Fe, Mn ve Ag tozlarının üretilmesi mümkündür [11].

Genellikle iyi preslenebilen ve sinterlenebilen yüksek saflıktaki metal tozlarının üretiminde bu metot kullanılır [34].

Bakır sülfat ve sülfürik asitten oluşan elektrolitler, bakır anotlar ve antimuanlı kurşun katotlar kullanılır. Biriken bakır periyodik olarak kazıma ve fırçalama yoluyla alınır. Elektrolitik bakır tozu elde etmek için tipik olarak şu rakamlar verilebilir [12].

- | | |
|---------------------------------------|--------------------------|
| • Elektrolit miktarı | ağırlıkça % 0,5–3,5 |
| • Elektrolitteki serbest asit miktarı | ağırlıkça % 0,5–10 |
| • Banyo sıcaklığı | 24 – 38°C |
| • Elektrot ağırlığı | 7,5 cm |
| • Voltaj | 2.7V |
| • Katot akımı yoğunluğu | 70 mmamp/cm ² |



Şekil 2. 5. Toz biriktirmede kullanılan örnek elektroliz hücre şeması [35]

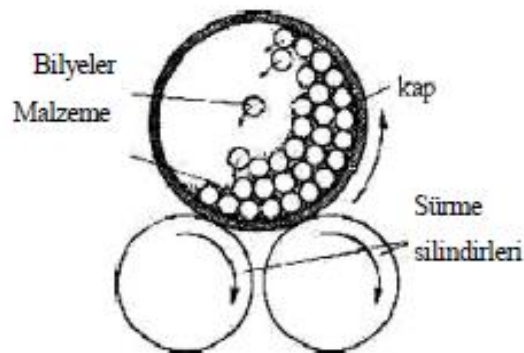
Elektroliz yöntemine ait elektroliz hücre şeması şekil 2.5'te gösterilmiştir. Elektroliz yönteminde toz anot tarafından elde edilir. Sistemde gerilim elde edildikten sonra elektrolitik banyo içerisinde bulunan anot çözünerek katot üzerinde toplanır. Katot üzerinde biriken tozlar alınarak öğütülür.

2.2.3 Mekanik yöntemler

2.2.3.1 Mekanik öğütme

Öğütme tanım itibari ile yüksek sertliğe sahip metal bilyelerin malzemeye çarpması sonucu darbe etkileri altında özellikle yüksek gevrekliğe sahip ve kırılgen malzemelerin parçalanarak toz haline getirilmesi işlemi, metal malzemelerin toz üretim yöntemleri içerisinde en eski ve bilinen bir yöntemdir. Bu yöntem genellikle gaz beton uygulamaları, boyacılık ve baskı uygulamaları için fleyk metal tozu üretiminde kullanılır. Bu şekilde üretilen başlıca metal tozları Al, Al alaşımları Cu ve Pirinçtir. Mekanik öğütme yöntemleri ile özellikle oksitleri indirgenmiş ve sünger biçimdeki metalik bloklardan toz üretimi gerçekleşir. Mekanik öğütme sırasında üretilen tozun yapısına ve özelliklerine etki eden en önemli parametreler öğütme işleminde kullanılan top/toz ağırlık oranı, öğütme süresi ve öğütmede kullanılan sıvı ya da öğütme atmosferidir [11].

Klasik öğütme süreçlerinde toz boyutunun ufaltılması, boyut homojenizasyonun sağlanması ve/veya çeşitli tozları birlikte öğütülmeleri ile kompozit toz üretiminin gerçekleştirilmesi hedeflenir [11].



Şekil 2. 6. Öğütmenin şematik olarak gösterilişi[38]

Mekanik Öğütme işlemi ile birçok sünek metal malzemeden toz üretim mümkün değildir. Bunun sebebi sünek malzemeler kolayca kırılıp parçalanmazlar. Sünek malzemeler kırılıp ufalanmak yerine birbirleri ile soğuk olarak kaynaklanır ve daha büyük tanecik oluştururlar. Günümüzde öğütme işlemi alüminyum gibi sünek metallere pul toz üretiminde de kullanılır. Bu durumda, soğuk kaynaklanmayı ve yapışmayı engellemek için yağlayıcı malzemeler kullanılır [13].

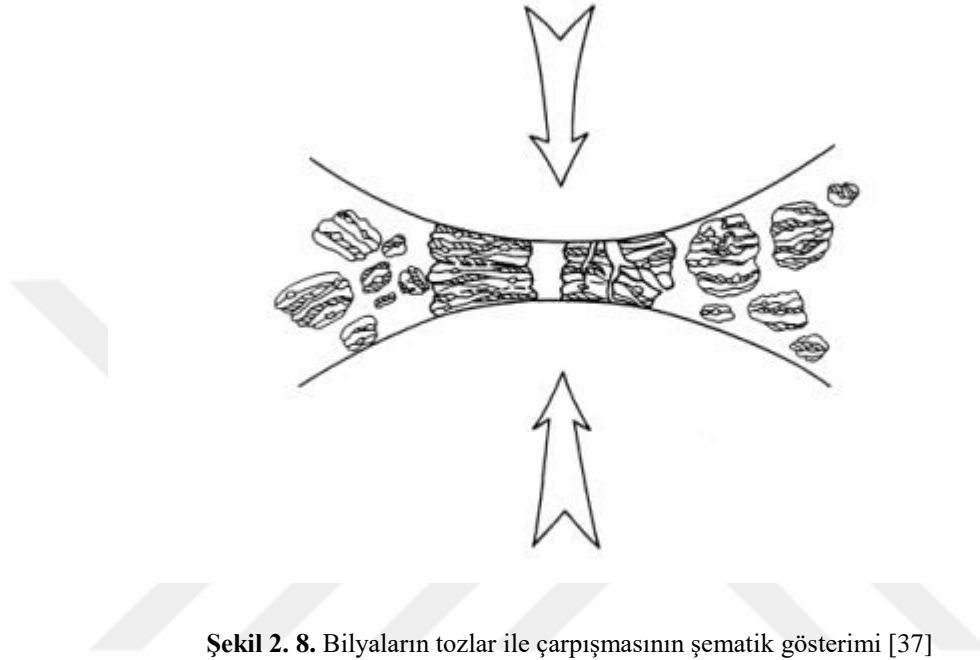
2.2.3.2 Mekanik alaşımlama

Mekanik alaşımlama (MA) işlem öğütme işlemleri arasında en başarılı yöntem olduğu bilinmektedir. Bilyalar ile atritor etkisi yaparak alaşımlanmış bir kompozit üretme yöntemidir. Mekanik alaşımlama işlemi bir miktar metal bilyanın ve elementel tozun karıştırıcı içerisinde karıştırılması ile gerçekleşmektedir. Bu karışıma esnasında mikroskobik seviye tekrarlanan çarpışma, soğuk kaynama ve kırılma işlemleri istenilen kompozit tozunun üretilmesini sağlar [36].



Şekil 2. 7. Öğütücü tank ve şematik görünümü[40]

Başlangıç aşamasında tozlar daha yumuşaktır ve birbiri ile kaynarak daha büyük boyutlu parçalar oluşturma eğilimleri daha yüksektir. Bu aşamada başlangıç tozlarına oranla üç kat daha büyük boyutlu parçalar meydana gelebilir. Kompozit partiküllerinin bu aşamada karakteristik olan katmanlı görüntüsü oluşur. Şekil 2.8'de bilyaların tozlar ile çarpışma şekli şematik olarak gösterilmiştir [37].



Şekil 2. 8. Bilyaların tozlar ile çarpışmasının şematik gösterimi [37]

2.2.4 Taneler arası korozyon metodu

Bu teknik paslanmaz çelik hurda sıvının elverişli bir sıcaklıkta (500–700°C) karbürizasyonu sonucunda tane hudutlarında Cr- karbür çökmesinden ibarettir. Tane hudutları CuSO₄ çözeltisinde kaynatıldığı zaman hızlı bir korozyona maruz kalır. Kullanılan tipik bir çözelti (strauss çözeltisi) %11 CuSO₄, %10 H₂SO₄ ve sudan ibarettir [12].

Strauss çözeltisindeki korozyon sırasında taneler üzerine biriken bakır nitrik asitle dağlanarak kolayca yok edilebilir. İşlemin tümü sırasında kaybolan metal %5' den azdır ve işlem sonunda karbon miktarı da %0.04 kadardır. Korozyon sırasında çelik parçalanarak toza dönüşür. Toz tanelerinin iriliği karbüre edilen hurda metalin tane boyuna bağlıdır [14].

2.2.5 Isıl ayrışım metodu

Ayrışımın en basit şekli bir metalin buharında yoğunlaşmasıdır. Yüksek bir sıcaklıkta metal atomları, kararlı bir kritik basınç teşkil oluncaya kadar, yüzeyden devamlı olarak buharlaşırlar. Bu kritik basınç sadece sistemin sıcaklığına bağlıdır [14]. Buharlaşma hızı artan metal buhar basıncıyla, atomlar arasında çarpışmaya neden olan diğer gaz ve buhar miktarının azalmasıyla, metal yüzeyi ve yoğunlaşma yüzeyi (daha düşük bir sıcaklıkta) arasındaki yoğunlaşma farkının artmasıyla, buharlaşma ve yoğunlaşma yüzeyleri arasındaki uzaklığın artmasıyla artar. Yüksek vakum altında yoğunlaşma hızı;

$W = 0,05833 (p) (M/T)^{1/2}$ ile belirlenir.

Burada;

W: Malzeme birikiminin gr/cm /sn olarak ağırlığı

P: Metal buhar basıncı

M: Metalin molekül ağırlığı

T: Mutlak sıcaklık

Yoğuşan elemanın toz halinde elde edilmesi için çekirdekleşmeyi kolaylaştıran sisteme bazı maddeler ilave edilerek çekirdeklerin birbirlerine birleşmesi mekanik yollarla önlenebilir. Zn ve Cd tozları bu teknikte imal edilirler. Saf metaller ve metal bileşikleri (iki ayrı metal kaynağı kullanılarak) 500 angstromdan küçük tane boylarında imal edilebilir [14].

Nikel ve demir tozları karbonillerin ayrıştırılmasıyla hazırlanabilirler. Karboniller [demir penta karbonil $Fe(CO)_5$, nikel tetra karbonil $Ni(CO)_4$] ısıtılmış metal üzerinden CO gazı geçirilmesi ve buharın sıvılaştırılarak basınç altında depo edilmesiyle elde edilir. Bir atmosfer basınçta $Fe(CO)_5$ $103^{\circ}C$ de, $Ni(CO)_4$ ise $43^{\circ}C$ kaynar. Toz karbonilleri ısıtılmış kaplarda kaynatarak buharın metal ve karbon monoksit ayrışmasıyla elde edilir [12]. Toz toplanarak elenir, öğütülür ve hidrojenle tavlânır. Safiyet yüksektir. (%99.5) esas katkı unsurları C, N, O'dır. Demir karbonil toz tanelerinin genellikle küresel olmalarına rağmen nikel karbonil tozları oldukça

muntazam ve gözeneklidir. Pt (CO)₂ Cl₂ gibi karbonil halojen bileşikleri ve bazı metal hidrürleri ısıtılarak ayrıştırılabilirler [12].

2.2.6 Atomizasyon

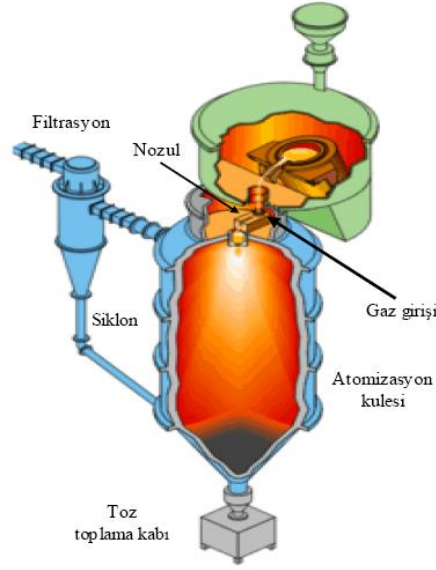
Toz metalurjisi (T/M) prosesi ile malzeme üretimi günümüz endüstrisinde çok sık kullanılmaya başlanmıştır. Bu proses içerisinde de en yaygın kullanılan yöntemlerden birisi de Atomizasyon yöntemidir. Atomizasyon yöntemi, ergimiş haldeki metal malzemelerin yüksek enerjiye sahip gaz veya sıvıya maruz bırakılarak sıvı halinde bulunan metal parçaların hızlı bir şekilde (herhangi bir katı yüzeye veya birbirlerine temas etmeden) soğuması sağlanarak metal toz üretiminin gerçekleştirildiği bir prosestir.

Eğer bir metal eritilerek sıvı hale getirilebiliyorsa atomize edilebilmektedir. Atomizasyon bir sıvı metalin 100–150 µm' den daha az boyutlarda sıvı damlacıkları oluşturacak şekilde parçalanması ve bu parçacıkların ani ve aşırı soğuması ile toz haline gelmesi olarak tanımlanır [11].

Atomizasyon yönteminin en büyük avantajlarından birisi eritme fırını içerisinde alaşım haline getirilen malzemelerin toz haline getirilerek her bir toz tanesinde homojen bir kimyasal bileşimde olmasıdır. Kolay süreç kontrolü sayesinde çeşitli alaşımlara rahatça uygulanabilirliği yüzünden atomizasyonu endüstriyel üretimler içinde oldukça tercih edilen bir yöntemdir [11].

Atomizasyon yönteminde, hava, azot ve argon en çok kullanılan gazlardır. Su ise sıvılar içinde en çok kullanılandır. Nozulun tasarım ve geometrisi, atomize eden akışkanın basıncı ve hacmi, sıvı metalin akış çapı gibi birçok parametreyi değiştirerek toz boyutu dağılımını kontrol etmek mümkündür. Tanecik şekli ise katılma hızı ile belirlenir, düşük soğutma kapasiteli gazlar için küresel şekilden yüksek soğutma kapasiteli su için karmaşık şekle dönüşür [38].

Atomizasyon, alaşımı oluşturan tüm metallerin ergimiş durumda tamamen alaşımlandığı için, özellikle alaşımların toz halinde üretilmesinde faydalı bir yöntemdir. Böylece her toz taneciği aynı kimyasal bileşime sahip olur [13].



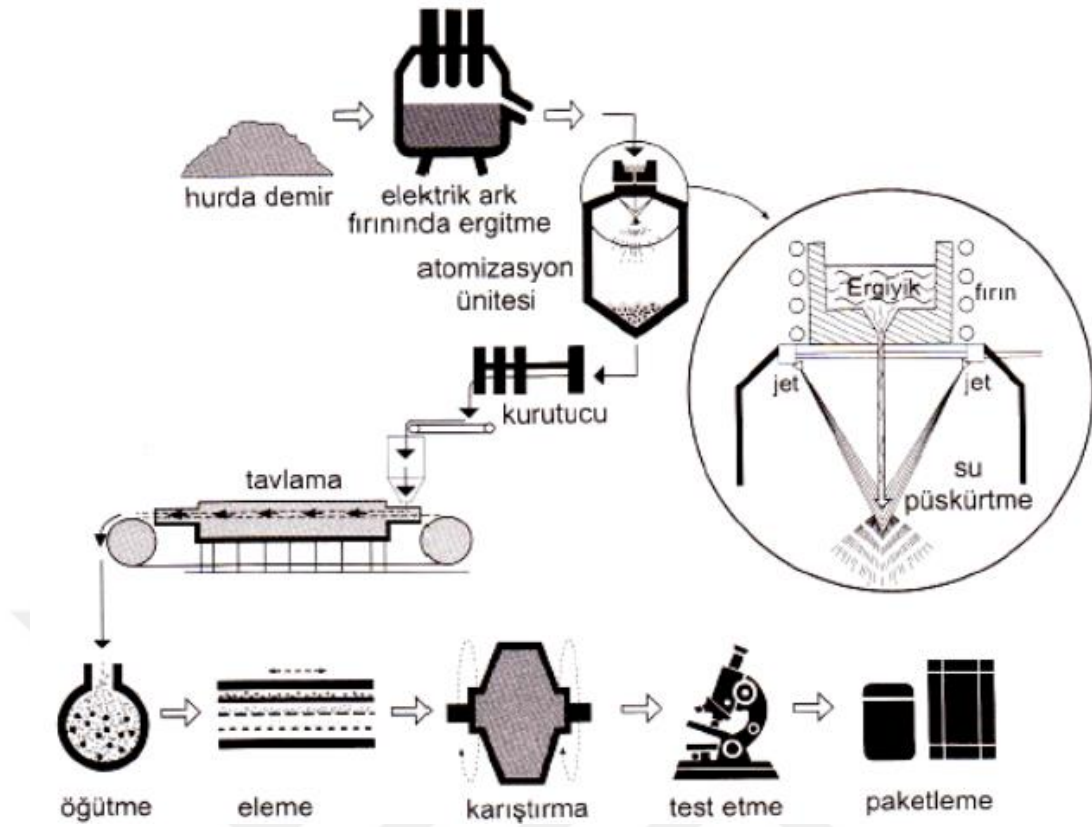
Şekil 2. 9. Düşey gaz atomizasyon ünitesi[38]

Atomizasyon ile toz üretimi çoğunlukla şu yöntemlerle gerçekleştirilmektedir.

- Su Atomizasyonu Yöntemi
- Gaz Atomizasyonu Yöntemi
- Vakum Atomizasyonu Yöntemi
- Döner Elektrot Yöntemi
- Döner Disk Yöntemi

2.2.6.1 Su atomizasyonu yöntemi

Atomizasyon yöntemleri arasında en çok kullanılan toz üretim metodu su atomizasyonu yöntemidir. Su atomizasyonu yöntemi gaz atomizasyonu yöntemi ile benzer bir üretim yöntemidir. Su atomizasyonu yöntemi, fırında ergitilerek dar bir kesitten geçirilerek düşey bir şekilde akıtılır. Akış borusu ucunda bulunan su jetlerinden yüksek basınçlarda su vb. sıvılar ile ergiyik haldeki metal malzemenin parçalanarak katılaşması sağlanır. Genellikle ergime sıcaklığı 1600°C 'nin altında olan metalik malzemelerin üretilmesin su yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Su atomizasyonu yönteminde tozların daha küçük ve küresel olarak üretilmesi için birçok parametre mevcuttur. Bu parametrelerden en önemlisi su basıncı ve su ilerleme hızıdır. Su basıncının yüksek olması ve su akış hızının fazla olması toz parçacık boyutunun küçük olmasını etkiler [4].

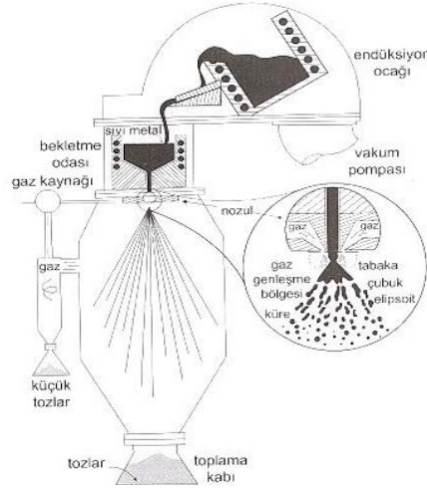


Şekil 2. 10. Su atomizasyonu yönteminin kesit görünümü[38]

Su atomizasyonu yönteminde tozların atomize olabilmesi için yüksek basınç ve debide su gereklidir. Bu basınç ve debiyi piyasada hazırda bulunan santrifüj pompalar ile elde etmek imkânsızdır. Bunun için yüksek basınç pompaları mevcuttur. Yüksek basınç pompalarının da maliyetleri yüksektir. Bu su atomizasyonu yöntemi için bir dezavantajdır.

2.2.6.2 Gaz atomizasyonu yöntemi

Gaz atomizasyonu yöntemi su atomizasyonu yöntemi ile benzer bir yöntemdir. Gaz atomizasyonu yöntemi, fırında ergitirilerek dar bir kesitten geçirilerek düşey bir şekilde akıtılır. Akış borusu ucunda bulunan nozullardan yüksek basınçlarda gaz püskürtülerek ergiyik haldeki metallerin pulverize olması sağlanır. Atomizasyon kulesinden aşağıya doğru katılarak düşen tozlar toz toplama bölgesinden alınarak boyutlarına göre ayrıştırılmak için elek analizinden geçirilir. Genellikle tozların oksitlenmesinin önüne geçmek amacı ile asal gazlar (azot, argon vb.) tercih edilir.

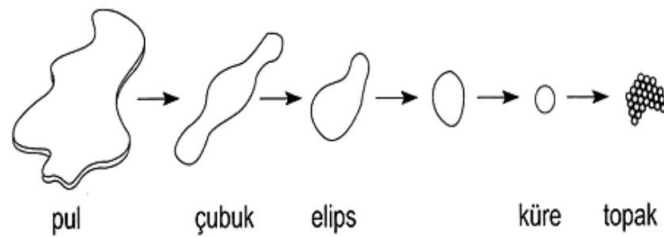


Şekil 2. 11. Gaz atomizasyonu ünitesinin şematik resmi[40]

Gaz Atomizasyon Ünitesinin şematik gösterimi Şekil 2.11.'de verilmiştir. Gaz atomizasyon ünitelerinin beş bölümden oluştuğu görülmektedir. Bunlar ergitme (fırın) sistemi, gaz jeti (nozul) sistemi, atomizasyon kulesi, toz toplama bölümü ve gaz sistemidir.

Toz Boyutu ve toz şeklini etkileyen birçok parametre vardır. Bunların en önemlisi sıcaklık, nozul geometrisi ve gaz basıncıdır. Bu parametrelerin ayarlanması ile istenilen özelliklerde tozların üretilmesi mümkündür.

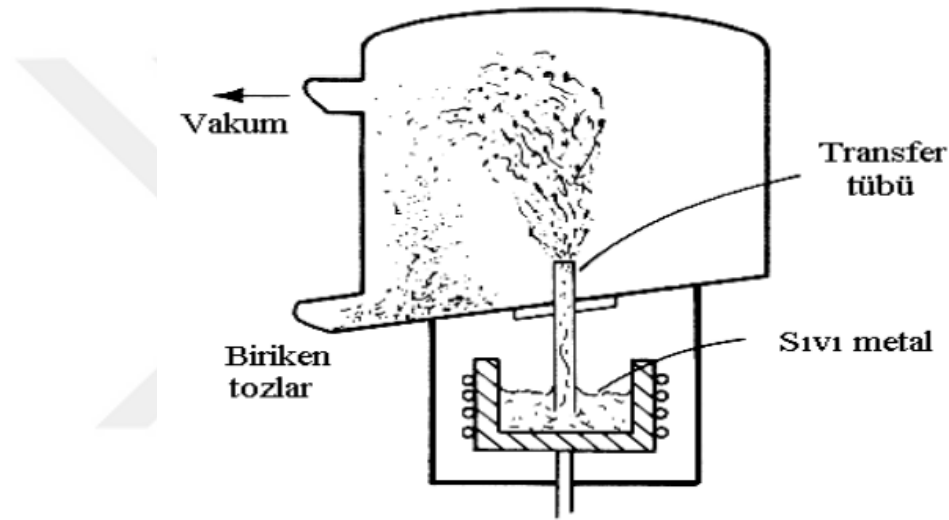
Gaz atomizasyonu yöntemi ile üretilen tozların şekilsel olarak değişimleri üzerine yapılan bir çalışmada toz üretiminde seri çekim metodu kullanılarak tozların üretim sırasında görüntüleri alınmıştır. Gaz tanelerinin sıvı metale aktarımı ne kadar çok olursa toz tanelerinin boyutları da o kadar küçülür. Yapılan bu çalışmada ortaya çıkan tozların şekilsel olarak değişimleri şekil 2.12'de görülmektedir [4].



Şekil 2. 12. Gaz parametresine göre toz şekillerinin değişimi [4]

2.2.6.3 Vakum atomizasyonu yöntemi

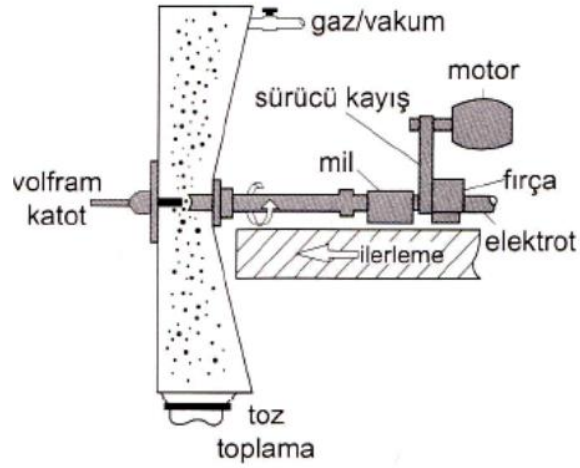
Vakum Atomizasyon yöntemi, Ergitme fırınında ergiyik hale getirilen metal malzeme elde edilen vakum sonucu ergiyik metalin bulunduğu hazne yukarı doğru yükselir. Bu işlem ile pota içerisine seramik bir boru daldırılmış olur. Üst kısım vakumlu bölge olduğu için sıvı metal seramik borudan yükselerek memenin ucunda ani genişleme sonucu öne damlacıklara ayrılarak pulverizasyon işlemi gerçekleşerek katılaşır. Vakum atomizasyonun genel gösterimi şekil 2. 13'te gösterilmiştir.



Şekil 2. 13. Vakum atomizasyonu yönteminin şematik gösterimi [38]

2.2.6.4 Döner elektrot yöntemi

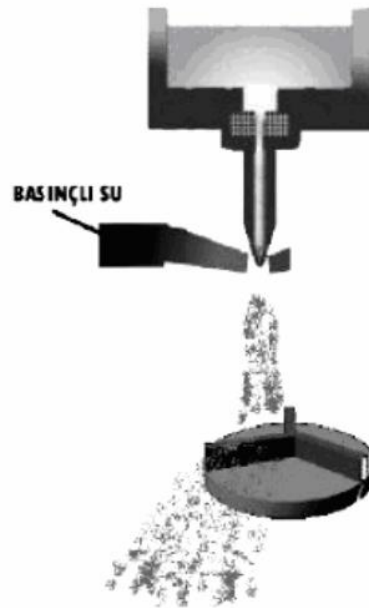
Geleneksel yöntemler ile bazı metallerin (titanyum, zirkonyum vb.) toz üretiminin gerçekleştirilmesi mümkün değildir. Rotating electrode process (REP) yöntemi bu tür metallerin toz haline getirilmesini mümkün kılmaktadır. Döner elektrot prosesi elde edilecek malzeme yatay bir şekilde Şekil 2.14'te gösterilen düzeneğe yerleştirilir. Metal çubuk yatay ekseninde kendi etrafında döndürülerek milin karşısında bulunan ark oluşturacak malzeme (çoğunlukla wolfram katot) tarafından metal mil üzerinde ark oluşturulur. Oluşan ark sonucu kısmi olarak ergiyen metal damlacıklar dönme işleminin etkisiyle ortaya çıkan merkezkaç kuvveti ile etrafa savrulur ve pulverize olur.



Şekil 2. 14. Döner elektrot yönteminin şematik gösterimi [4]

2.2.6.5 Döner disk yöntemi

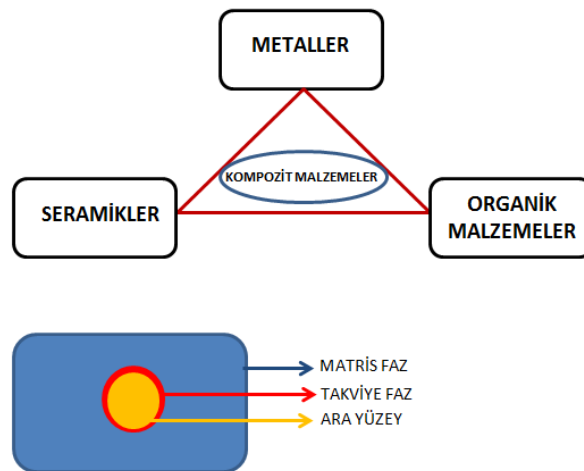
Döner disk yöntemi, merkezkaç kuvvetinin kullanılmasıyla metal tozlarının üretim yöntemlerinden birisidir. Döner disk yöntemi ergitme fırınında eritilen metalin ince bir akış borusundan dönen bir disk üzerine serbest düşme hareketi ile akıtılarak disk üzerine düşen metalin merkezkaç kuvveti etkisi ile etrafa parçalanarak saçılması ile atomizasyon işlemi gerçekleştirilmektedir. Döner disk yönteminin şematik gösterimi şekil 2.15'teki gibidir.



Şekil 2. 15. Döner disk yöntemi şematik gösterimi [39]

3.KOMPOZİT MALZEMELER

Kompozit malzemeler tanım olarak, iki ya da daha çok malzemenin istenilen özellikleri sağlaması amacıyla, belirli oranlarda makroskobik düzeyde ve fiziksel olarak bir araya getirilerek bileşenlerin tek başına sahip olmadığı daha iyi özelliklere (istenilen özellikleri karşılayabilecek) sahip malzemelerdir. Kompozit malzemeler iki bileşenden oluşmaktadır. Bunlar takviye elemanı ve matris olarak adlandırılır. Matrisin görevi takviye elemanını bir arada tutmaktır. Kompozit malzemelerin birbirileri içerisinde çözünmediği söylenece bu durum metal matrisli kompozitlerde çoğu zaman geçerli değildir. Metal matrisli kompozit malzemelerde takviye elemanı ve matrisin az miktarda olsa birbirleri içerisinde çözündüğü görülmektedir. Kompozit malzemeler geçmişte insanlar tarafından birçok alanda kullanılmış olup günümüzde ise nitelikli yapısal malzemeler, havacılık, otomotiv ve denizcilik gibi birçok alanda varlığını sürdürmektedir. Kompozit malzemelerin geçmişine baktığımız zaman uzun yıllar önce kullanılmaya başlanmıştır. Geçmişte yapı malzemesi olarak kerpiç yapımında kullanılmıştır. Kerpicing bileşimindeki kil, dayanıklılığının artması için saman ve bitkisel liflerle harmanlanmıştır. Günümüzde ise en çok kullanılan kompozitlerden biri betondur. Çimento ve kumdan meydana gelen matris çelik çubuklar ile takviyelenerek kullanılmaktadır [15]. Günümüzde geleneksel malzemeler tek başına istenilen özellikleri tam olarak karşılayamamaktadır. Kompozit malzemeler ile istenilen özelliklere göre takviye ve matris elemanı belirlenerek belirli oranlarda karıştırılarak geleneksel malzemelerde elde edilemeyen özellikler elde edilebilmektedir.



Şekil 3. 1. Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemeleri geleneksel malzemelere göre kıyasladığımız zaman kompozit malzemelerin geleneksel malzemelere göre üstünlükleri şu şekildedir;

- 1) Mukavemeti yüksektir.
- 2) Yorulma ve kırılma dayanımları yüksektir.
- 3) Korozyon direnci yüksektir.
- 3) İmalat kolaydır.
- 4) Hafiftir. (Birim ağırlık başına düşen mukavemeti yüksektir.)
- 5) İlave katkı malzemelerinde yapılan değişiklikler ile çok çeşitli özellikler kazandırılabilir.
- 6) Termal Direnci yüksektir.

Yukarıda belirtilen avantaj yönlerine ek olarak kompozit malzemelerin en önemli özelliği matris ve takviye elemanlarını istenilen özelliklere göre değiştirerek malzemeden beklenen özellikleri karşılayabilmesidir. Doğanın kanunları gereği ile her malzemenin avantajı olduğu gibi dezavantajı da vardır. Kompozit malzemelerin dezavantajları şu şekildedir.

- 1) Üretimi maliyetlidir.
- 2) Malzeme üzerinde daha sonrasında herhangi bir talaşlı imalatı ile şekillendirme yapılamaz.
- 3) Tamiri zordur.

Kompozit malzemeler, iki veya daha çok malzemenin arzu edilen özellikleri sağlaması amacıyla, belirli oranlarda makro boyutlarda ve fiziksel olarak bir araya getirilerek üretilen malzemelerdir. Kompozit malzemeyi oluşturan malzemelerin, büyüteç yardımı ile ya da çıplak gözle görülebilir olması, yapı bileşenlerinin kolayca ayırt edilmesini mümkün kılmaktadır. Kompozit malzemeler bu yönleri ile yapılarında birden fazla faz içerdiği ancak mikroskobik inceleme ile anlaşılabilen alaşımlardan, ayrılmaktadırlar. Kompozit malzemeler, metalik, organik, ya da inorganik bileşen ihtiva edebilir ve kendini oluşturan malzemelerin her birinin sahip olduğu mekanik özelliklerinden, daha iyi özelliklere sahiptirler. Kompozit malzemelerde, takviye elemanı bulunmakta ve bu elemanın çevresini hacimsel olarak, genellikle hacimce veya ağırlıkça, çoğunluğu oluşturan bir matris yani bağlayıcı eleman sarmaktadır. Matrisin en

önemli görevi; takviye elemanını bir arada tutarak malzemeye gelen darbeleri veya yükleri takviye elemanlarına aktarmak, kırılma tokluğunu iyileştirmek, takviye elemanı ile uyum sağlamak, takviye elemanlarını aşınmaya ve korozyona karşı korumaktır. Bu iki ana unsuru oluşturan malzemelerden çok daha iyi özelliklere sahip ara yüzey ve ara fazlar elde edilebilmektedir. Kompozit malzeme bileşenleri birbirleri içerisinde genellikle çözünmezler. Bu durum metalik malzemelerde farklılık gösterebilir. Metalik malzemelerde az da olsa bir miktar çözünme olabilir [16].

Takviye elemanı kompozit malzemenin mukavemet ve yük taşıma özelliğini, matris malzeme ise plastik deformasyona geçişte oluşabilecek çatlak ilerlemelerini önleyici bir rol oynamaktadır. Matris elemanı olarak kullanılan malzemenin diğer bir amacı ise, takviye elemanlarını yük altında bir arada tutabilmek ve yükü takviye elemanları arasında homojen olarak dağıtmaktır [17].

Kompozit malzemelerin mekanik özellikleri, birçok parametreye dayansa da bunlar arasında en önemlisi matris ile takviye elemanı arasındaki uyumdur. Bu sebepten dolayı mekanik özelliklerinin iyi olması matris ve takviye elemanının çok iyi bir bağ oluşturması gerekmektedir. Ara yüzey ve ara fazlar, kompozit malzemedeki istenilen özelliklerin elde edilebilmesi için büyük önem arz etmektedir. Ara fazlar kuvvetin matristen takviye elemanlarına aktarıldığı bölgelerdir. Bu sebepten dolayı ara yüzey ve ara fazlar kompozit malzemenin mekanik özelliklerini belirlemede önemli bir etkiye sahip olduğu bilinmektedir. Ara yüzeyin sağlam olarak birleşmesi malzemenin kırılma bir yapıda olmasını sağlar. Ara yüzeyin zayıf olarak birleşmesi malzemenin sünek olmasına sebebiyet verir. Ara yüzeyin matris malzemesinin yapısından daha zayıf bir yapıda olması malzemenin kırılması veya tabakalara ayrılmasına sebebiyet verir. Bunun sebebi etki eden kuvvetler direkt ara yüzey üzerinden ara faza aktarılması ile takviye elemanı olarak kullanılan malzemenin matristen ayrıldığı görülebilmektedir. Genel olarak ara yüzeyin ne çok sert ne de çok zayıf yapıda bulunması istenir. Günümüzde kompozit malzemelerin istenilen özellikleri sağlaması için takviye elemanının özellikleri göz önünde bulundurularak istenilen özelliklere göre takviye/matris karışımı yapılarak sağlanmaktadır. Takviye elemanı kompozit malzemeye mukavemet, rijitlik, korozyon direnci, yorulma direnci, termal yalıtım, akustik yalıtım gibi birçok özellik katmaktadır.

Kompozit malzemelerin, klasik malzemelere göre malzeme bileşiminin sonsuz sayıda olması büyük bir avantajdır. Kompozitlerin belirtilen avantajları sayesinde elde edilecek kompozit malzemenin özelliklerini istenilen şartlara göre ayarlama imkânı tanıdığı bilinmektedir. Kompozit malzemeler, klasik malzemelerin zayıf yönlerini iyileştirmek amacıyla endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır Kompozit malzemeler, yukarıda zikredilen avantajlarının yanında birtakım dezavantajlara da sahiptirler.

- Üretimin güçlüğü
- İşlenmesinin zorluğu ve işleme maliyetinin yüksek olması
- İstenilen yüzey kalitesinin kolay elde edilememesi
- Klasik malzemeler gibi geri dönüşüm işleminin kolay olmaması
- Kırılma uzamasının az oluşu gibi dezavantajlar da mevcuttur.

Kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak günümüzde partikül, tabaka ve elyaflar yaygın olarak kullanılmaktadır. Sıklıkla kullanılan kompozit türlerinden biri olan polimer matris kompozitlerin endüstrideki uygulamaları, metal matrisli kompozitlerden daha çöktür, bunun nedeni, metal matris kompozitlerin üretim zorluğu ve özellikle ara faz mukavemetinin zayıflığıdır [18]. Ayrıca metal matrisli kompozit malzemelerin üretim güçlüğünün yanında, işlenme güçlüğü, yüksek maliyet ve diğer malzemeler gibi geri dönüşümünün, istenilen düzeyde olmamasıdır [17].

3.1 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemeler, tek bir malzeme özelliği gösteren ancak kimyasal olarak birbirinden farklı (herhangi bir kimyasal bağ olmayan), iki veya daha fazla bileşenden oluşan malzemelerdir [19]. Kompozit malzemeler çok geniş kapsamlı bir malzemedir. Kompozit malzemeler genel olarak takviye elemanı ve matrisine göre sınıflandırılmaktadır. Çoğu zaman bunlara ek katkı maddelerine göre de sınıflandırılmaktadır. Kompozit malzemeler takviye elemanına göre dört sınıfta incelenebilir. Kompozit malzemeleri takviye elemanı bakımından sınıflandırdığımız zaman Partikül takviyeli kompozitler, fiber takviyeli kompozitler, levhasal kompozitler ve tabakalı kompozitler olarak sınıflandırabiliriz.

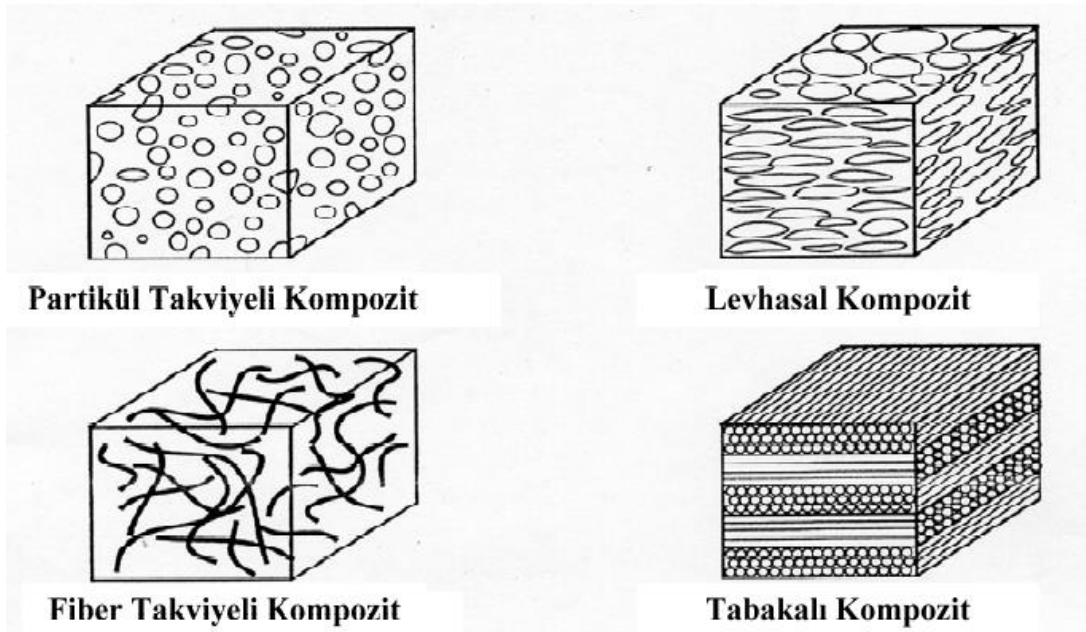
Partikül Takviyeli Kompozitler: Partikül takviyeli kompozit malzemeler, düzenli veya düzensiz şekilde bulunan makro ya da mikro boyuttaki takviye elemanlarının, matris içinde karışarak oluşturdukları malzemelere denir.

Fiber Takviyeli Kompozitler: Fiber takviyeli kompozit malzemeler, farklı fiber şeklinde (örgülü, şerit, fitil vs.) bulunan takviye elemanlarının matrisi içerisinde karışarak oluşturdukları malzemelere denir.

Levhasal Kompozitler: Levhasal kompozitler, Levha şeklinde bulunan takviye elemanının matris içinde karışarak oluşturdukları kompozit malzemelere denir.

Tabakalı Kompozitler: Tabakalı kompozitler, Prepreg adı verilen tabaka şeklindeki plakaların üst üste konularak (sandviç yapısında) oluşturdukları kompozit malzemelere denir.

Yukarıda kısaca tanımı yapılan takviye elemanına göre çeşitlilik gösteren kompozit malzemelerin şekilsel olarak gösterimi şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3. 2. Takviye elemanına göre kompozitler

Kompozit malzemeler matris elemanına göre dört sınıfta incelenebilir. Bunlar metal matrisli, polimer matrisli, seramik matrisli ve karbon matrisli kompozit malzemelerdir. Matris elemanına göre sınıflandırılan kompozitler şu şekildedir;

Metal Matrisli Kompozitler (MMK): Metal matrisli kompozit malzemeler yapıyı oluşturan ana malzemenin (matrisin) metal malzemedan oluştuğu ve genellikle takviye elemanın seramik bir malzeme olduğu bir kompozit malzeme çeşididir. Günümüzde yaygınlaşan kompozit malzeme kullanımı göz önüne alındığı zaman çok farklı çeşit malzemelerde kullanıldığı gözlemlenmektedir. Son yıllarda yapılan kompozit malzeme çalışmalarında metal matrisli kompozit malzemeler ile ilgili çok fazla sayıda araştırma yapılması sebebiyle ilgili literatürleri olumlu olarak etkilemiştir. Günümüzde geleneksel malzemelere alternatif olarak metal matrisli kompozit malzemeler kullanılmaktadır. Metal matrisin plastik şekil değiştirme özelliğine ek olarak matris içerisine seramik takviyeler katılarak elastiklik modülü yüksek malzemeler oluşturup kompozit malzemenin aşınmaya karşı dayanıklılığının artırılması sağlanır. Bu tür kompozit malzemelerin basma gerilmesi, ısıl dayanımı ve kırılma tokluğu gibi özelliklerinin yüksek olmasından dolayı günümüzde çoğunlukla havacılık, uzay ve otomotiv sanayisinde kullanılmaktadır. Yapmış olduğumuz çalışma sonucu oluşan malzeme metal matrisli kompozit malzeme olmasından dolayı metal matrisli kompozitler ayrı bir başlıkta detaylı bir şekilde irdelenmiştir.

Seramik Matrisli Kompozitler (SMK): Seramik malzemeler ısıl dayanımları yüksek, yoğunlukları yüksek, sert ve kırılğan malzemelerdir. Seramik matrisli kompozit malzemelere birçok örnek verebiliriz. Bunlar; ZrB_2 , Al_2O_3 , ZrC , $WC-Co$, ZrO_2 , SiC 'dir. Örnek verilen malzemeler değişik formlarda bulunup istenile teknik özelliklere göre tek başına ve birden fazlası aynı anda kullanılarak seramik matrisli kompozit malzemeler elde edilebilir. Çeşitli uzay çalışmalarında, uzay araçlarının yanma odalarında yüksek sıcaklığın olduğu yerlerde, askeri çalışmalarda zırh vb. üretiminde Seramik matrisli kompozit malzemelerde yüksek sıcaklık gibi spesifik özelliklerin istenilmesi durumunda malzemeye ek olarak karbon, seramik ve cam fiber gibi malzemeler ilave edilmektedir. Matris malzemesi seramik olup takviye elemanı da seramik olan kompozit mukavemetlerinin ve tokluklarının yüksek olduğu bilinmektedir.

Polimer Matris Kompozitler (PMK): Matris malzemesi polimer yapıda bulunan (termoset veya termoplastik) kompozit malzemelerdir. Bu gruptaki kompozit malzemelerin en önemlileri polyester ve epoksi reçine matrisinde bulunan fiber takviyeler ile oluşan malzemelerdir. Günümüzde çoğunlukla takviye elemanı olarak fiber (cam, kevlar, karbon vb.) malzemeler kullanılmaktadır. Polimer matrisli kompozit malzemeler günümüzde genellikle el ile sıvama yöntemi, pultrüzyon yöntemi, enjeksiyon kalıplama yöntemi, tel sarma yöntemi ve ekstrüzyon yöntemi ile üretilmektedir. Kullanım alanı bakımından polimer matrisli kompozit malzemeleri incelenirse günümüzde çoğunlukla korozyon dayanımının yüksek olması sebebiyle denizcilik sektöründe, yoğunluğunun düşük olması (hafiflik) sebebiyle havacılık ve otomotiv sektöründe kullanılmaktadır.

Karbon Matrisli Kompozitler (KMK): Karbon matrisli kompozitler, saf karbon partiküllerinin karbon esaslı bağlayıcı ile J karışımından elde edilir. Sonuçta, malzemelerin tamamı karbondan olup karbon malzemelerin farklı şekilde bulunabildiği (dolgu ve bağlayıcı) bilinmektedir. Karbon matrisli kompozit malzemelerde matris olarak bulunan karbonun ısı kapasitesi yüksektir. Bu sebepten dolayı Roket başlıklarında balata ve fren diski gibi uygulamalarda kullanıldığı bilinmektedir. Bahsi geçen özellikler göz önüne alındığı zaman bu tür malzemelerin genellikle yüksek teknoloji gerektiren alanlarda kullanıldığı bilinmektedir.

3.2 Metal Matrisli Kompozitler (MMK)

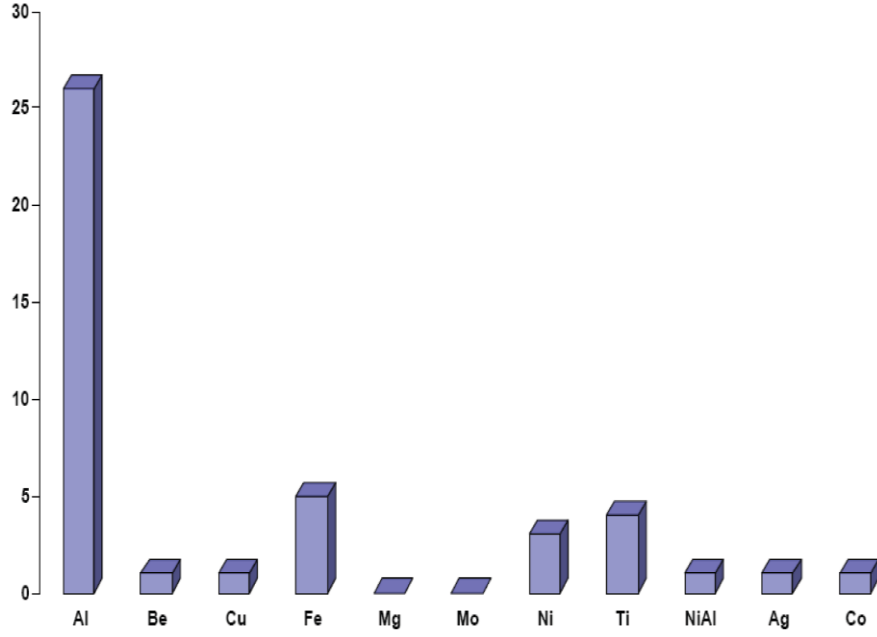
Geleneksel malzemelerin mevcut kullanım şartlarının üzerinde kullanılması ve daha iyi mekanik özelliklerine sahip malzemelere ihtiyaç duyulması sebebi ile 1960'lı yıllarda metal matrisli kompozit malzemeler üretilmeye başlanmıştır. Metal matrisli kompozitlerin geleneksel malzemelere göre birçok avantajı bulunmaktadır. Bu avantajlar şu şekildedir;

- Yoğunlukları azdır.
- Mukavemetleri yüksektir.
- Tokluk değerleri yüksektir.
- Elektrik ve ısı iletkenlikleri yüksektir.
- Aşınma dirençleri yüksektir.

Yukarıda belirtilen avantajlar metal matrisli malzemeler için genel olarak söylenebilecek bir avantajlardır. Kompozit malzemelerin mekanik özellikleri matris ve takviye elemanlarına göre değişkenlik göstermektedir. Malzemenin kullanım alanına göre istenilen özellikler belirlenerek matris ve takviye elemanı belirlenir.

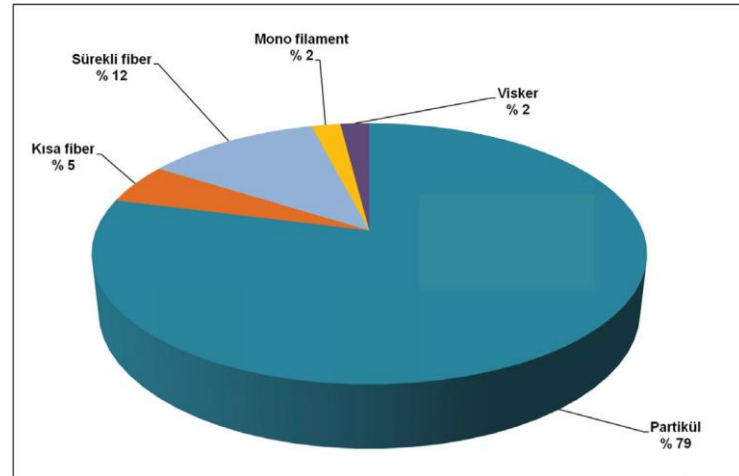
Kompozit malzemelerde beklenen özellikler başta mukavemeti etkilemeden hafiflik elde etmektir. Bunu sağlamak için malzemede ağırlıkça fazla olan matris elemanının hafif bir malzeme olması gerekmektedir. Matris malzemesinde buna ek olarak korozyon dayanımının yüksek olması, kırılma tokluğunun yüksek olması ve takviye elemanı ile uyumlu olması beklenmektedir. Kompozit malzemelerde matrisin genel görevi takviye elemanlarını bir arada tutmaktır.

Çoğunlukla metal matrisli kompozit malzemelerin üretilmesinde matris elemanı olarak bakır, alüminyum, titanyum, nikel gibi metaller kullanılmaktadır. Bu metal malzemeler genelde saf olarak kullanılmasının yanında alaşımlandırılarakta kullanılmaktadır. Çoğunlukla kullanılan malzemeler arasında en fazla kullanılan metal malzeme ise alüminyum ve alüminyum alaşımlarıdır. Bunun sebebi alüminyum malzemenin erişiminin kolay olması, hafif olması ve işlenebilirlik bakımından diğer metallere göre kolay olmasıdır. Metal matrisli kompozit malzemelerin üretilmesinde endüstri alanında kullanılan matris elemanları Şekil 3.3'teki gibidir.



Şekil 3. 3. Endüstride kullanılan matris elemanları

Metal matrisli kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan takviye elemanları farklı şekillere sahiptir. Kompozit malzemelerin üretiminde takviye elemanları partikül, visker, filament ve fiber gibi şekillerde bulunabilirler. Endüstri alanında metal matrisli kompozit malzemelerin üretilmesinde kullanılan matris elemanları Şekil 3.4'teki gibidir.



Şekil 3. 4. Endüstri alanında takviye elemanlarının şekillerine göre kullanım oranları [20]

Metal matrisli kompozit malzemelerde, takviye elemanının yapısı malzemenin kullanım yerine göre malzemedan beklenen özellikler bağı olarak partikül, visker, filament ve fiber gibi şekillerde bulunabilirler.

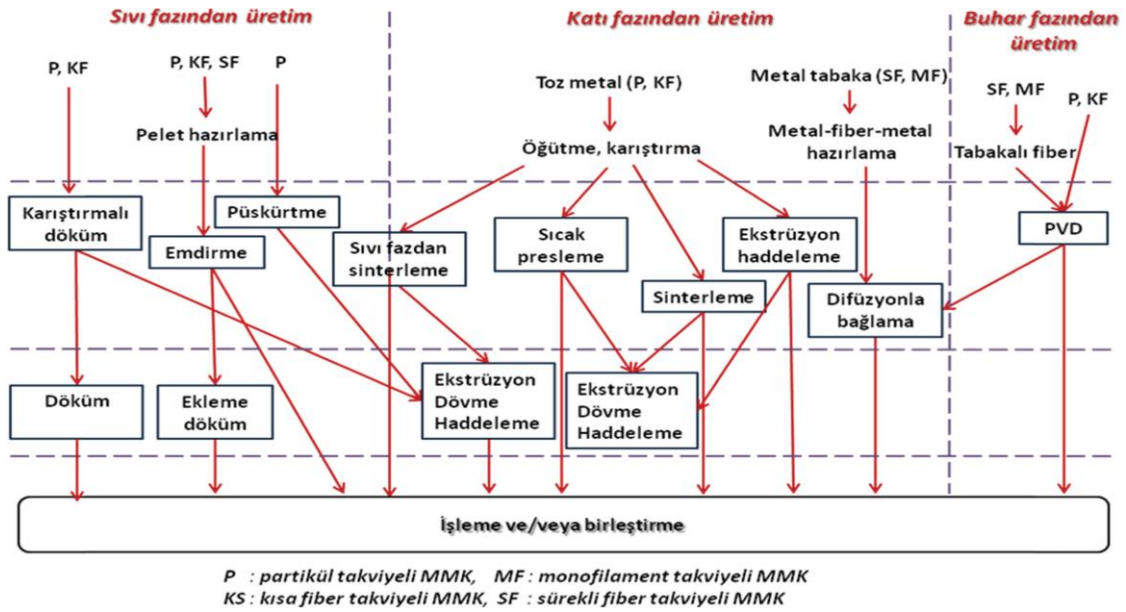
Kompozit malzemelerde matris ve takviye elemanı arasındaki ara yüzey özellikleri malzemenin mekanik özelliklerinde önemli bir etkiye sahiptir. Metal matrisli kompozit malzemelerin iyi bir mekanik dayanıma sahip olması, malzemeye etki eden dış kuvvetlerin matris elemanından takviye elemanına düzgün ve eşit olarak aktarılması ile gerçekleşebileceğinden dolayı matris elemanı ile takviye elemanının arasında iyi bir ara yüzey olması istenmektedir.

3.2.1. Metal matrisli kompozitlerin üretim yöntemleri

Metal matrisli kompozit malzemelerin üretim prosesinin belirlenmesinde, ortaya çıkacak olan malzemenin kullanım alanı ve özellikleri göz önüne alınmalıdır. Üretim prosesinde göz önüne alınacak bazı malzeme faktörleri şu şekildedir;

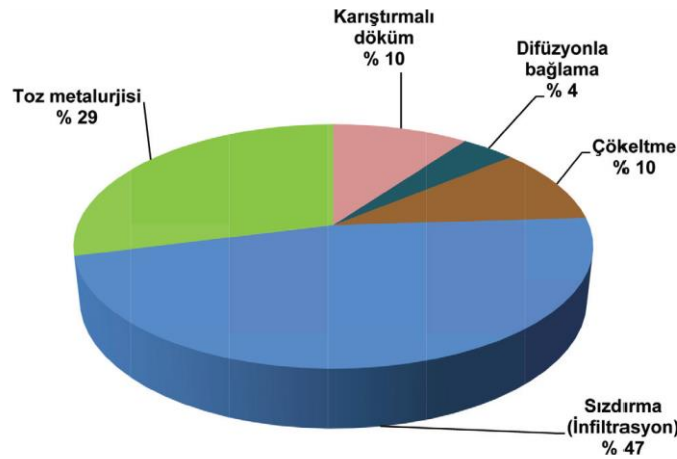
- Malzemenin çalışma sıcaklığı
- Takviye elemanının formu
- İstenilen ürünün boyutsal ve şekilsel özellikleri
- Matris ile takviye elemanının arasındaki uyum
- Ara yüzey özelliğinin sağlanması

Kompozit malzemelerin üretilmeye başlamasından bugüne kadar kullanılan birçok matris elemanı ve takviye elemanı çeşitliliğinden dolayı metal matrisli kompozit malzemelerinin üretiminde farklı proseslerin meydana gelmesine neden olmuştur. Metal matrisli kompozit malzemelerin üretim yöntemleri Şekil 3.5'te gösterildiği gibidir.



Şekil 3. 5. Metal matrisli kompozit malzemelere ait üretim yöntemleri ve proses aşamaları [21]

Metal matrisli kompozit malzemelerin üretiminde endüstri alanında kullanılan prosesler incelendiği zaman ilk sırada emdirme yöntemi %48 oranda, ikinci sırada ise toz metalürjisi yöntemi %29 orandadır (Şekil 3.6.).



Şekil 3. 6. Endüstri alanında metal matrisli kompozitlerin üretim yöntemlerinin oranları [20]

Metal matrisli kompozit malzemelerinin üretim yöntemlerinin maliyet ve uygulama açısından karşılaştırılması Çizelge 3.1’de verilmektedir.

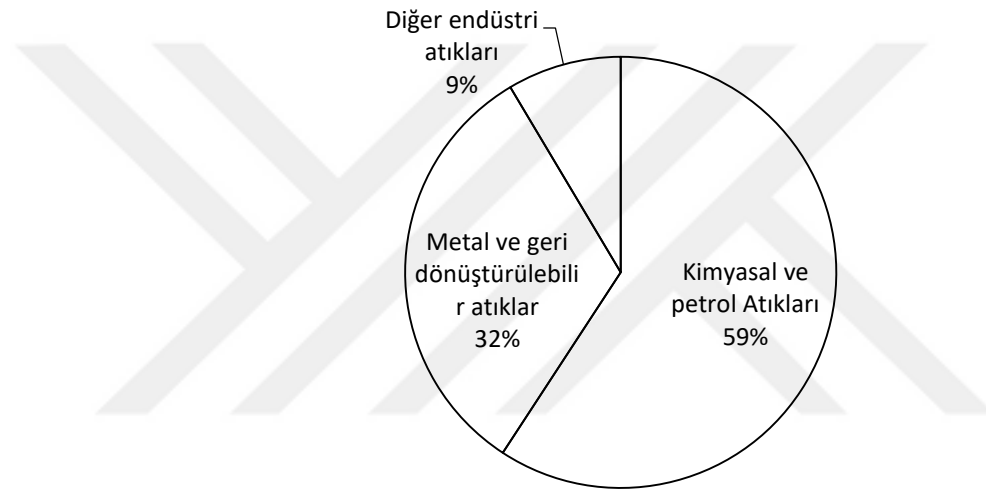
Çizelge 3.1. Metal matrisli kompozitlerin karşılaştırılması

Yöntem	Maliyet	Uygulama	Açıklama
Difüzyonla bağlama	Yüksek	Levha, kanat, mil ve yapısal elemanlar	Matris için levha ve takviye fazı için filaman kullanımı
Toz metalurjisi	Orta	Küçük dairesel elemanlar, cıvata, piston, valf ve yüksek mukavemetli ısıya dirençli malzemeler	Matris ve takviye fazları toz halinde ve partikül takviyesi için uygundur. Ergime olmadığından tepkime bölgesi yoktur ve karma yapıli malzemenin mukavemeti yüksektir.
Sıvı metal sızdırma	Düşük-Orta	Rot, tüp ve özelliklerin tek ekseninde maksimum olduğu bağlantı elemanları	Filaman takviye fazı kullanılmaktadır.
Sıkıştırılmalı döküm	Orta	Piston, bağlantı rotları, külbütör kolu, silindir başı gibi otomotiv parçaları	Her tür takviye fazı için uygundur. Ve üretim yelpazesi geniştir.
Püskürtme	Orta	Sürtünme malzemeleri, motor fırçaları, kesme ve taşlama elemanları	Partikül takviye fazı kullanılmaktadır. Yüksek yoğunlukta malzemeler üretilebilmektedir.
Kompo-döküm	Düşük	Otomotiv, uzay, endüstriyel ekipman ve spor malzemeleri ve yatak	Özellikle partikül takviyeli süresiz fiberler için uygundur.

Çizelge 3.1'deki veriler göz önüne alındığında her üretim yönteminin avantajları ve dezavantajları olduğu gözlemlenmektedir. Bu durum metal matrisli malzemelerin üretilmesinde doğru yöntemi seçmenin önemli olduğunu göstermektedir. Metal matrisli kompozit malzemelerin kullanımı geçmişe göre günümüzde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bunun sebebi ise günümüze kadar ciddi derecede önemli çalışmalar yapılarak kompozit malzemelerin öneminin anlaşılması ve gerekli yetkinliğe sahip personellerin yetişmiş olmasıdır. Geçmişten günümüze kadar üretimin yaygınlaşma hızının yavaş olmasının sebebi ise geleneksel metal malzeme üretim yöntemlerine göre maliyetli oluşudur.

4. ATIK MALZEMELER VE GERİ DÖNÜŞÜM

Küreselleşen dünyada endüstri alanının gelişmesi, nüfus artışı ve günümüz yaşam şartlarının etkisi ile kaynaklar bilinçsiz bir şekilde kullanılmaktadır. Bu kullanımların sonucunda tekrar kullanılmayan atık dediğimiz malzemeler ortaya çıkmaktadır. Bu atıkların tekrar kullanılabilir hale getirilmesi için yapılan her türlü çalışmaya geri dönüşüm denmektedir. Atık malzemeler birçok çeşide ayrılabilir. Genel olarak sınıflandırmak istersek atık malzemenin bulunduğu hal ile yani katı atıklar, sıvı atıklar ve gaz atıklar olarak üç ana sınıfta incelenebilir. Dünya genelinde ortalama atık dağılımı Şekil 4.1'deki gibidir.



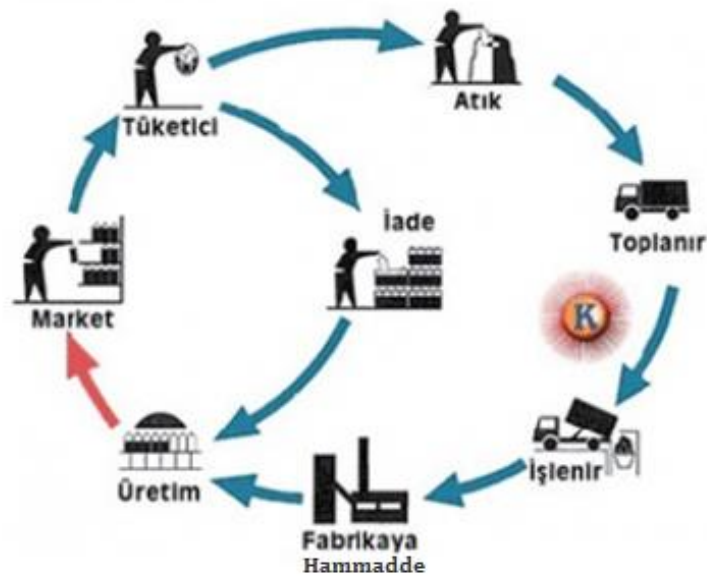
Şekil 4. 1. Endüstri türüne göre üretilen tehlikeli atık yüzdeleri. (1987 Ulusal Tehlikeli Üretim ve Arıtma, Depolama ve Bertaraf Tesisleri Raporuna (1986 verileri) dayanmaktadır) [22].

Katı atıklar, kullanıldıkları yere göre sınıflandırıldıkları zaman evsel katı atıklar, tıbbi atıklar, kimyasal atıklar, endüstriyel atıklar, inşaat atıkları ve tarımsal atıklar olmak üzere 6 ana grupta incelenebilir. Sıvı atıklar kullanıldıkları yere göre sınıflandırıldıkları zaman evsel atıklar, tıbbi atıklar, endüstriyel atıklar olarak sınıflandırılabilir. Gaz atıklar genellikle endüstriyel olarak karşımıza çıkmaktadır. Atıklar çeşitlerine göre doğada farklı sürelerde yok olmaktadır. Doğada en geç çözünme süresine sahip olan malzeme cam türevi malzemeler olup ortalama 4000 yılda çözünmektedir. Bu malzemeyi ortalama 400-500 yılda çözünen plastik esaslı malzemeler takip etmektedir. Genel atık malzemelerin doğada kendiliğinden kaybolma süreleri şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4. 2. Bazı atık malzemelerin doğada kaybolma süreleri

Atık malzemelerin bu kadar uzun sürede doğada kaybolma sürelerine sahip olması geri dönüşümü mecbur kılmaktadır. Geri Dönüşüm işlemi sayesinde atık malzemeler tekrar üretime kazandırılarak doğal kaynaklarımızın korunması, enerji tasarrufunun sağlanması, ekonomiye katkı sağlanması ve doğanın korunması gibi birçok önemli avantaj sağlamaktadır. Geri dönüşüm aşamaları atık çeşidine göre birçok farklı metot ile gerçekleşmektedir. Genel olarak geri dönüşüm aşamaları şekil 4.3'te gösterilmiştir.



Şekil 4. 3. Genel geri dönüşüm aşamaları

Günümüzde en çok atık oluşan alanlardan birisi endüstri alanı olup bu alanda en çok çıkan atık türünde metal atıklardır. Metal atıklar malzeme sınıflarına göre ayrı ayrı depolanarak geri dönüştürülmektedir. Metallerin geri dönüşümü genellikle döküm metodu olarak bilinen atık malzemelerin eritilmesi ile sağlanmaktadır. Döküm metodu endüstride en sık görülen metal geri dönüşüm metodudur. Bu metodun çok sık kullanılmasının sebebi fazla yatırım gerektirmemesi ve nitelikli eleman fazlalığıdır. Bu yöntemin avantajı olduğu gibi birkaç dezavantajı da bulunmaktadır. Bu yöntem ile geri dönüşüm sağlamak için ciddi bir enerji tüketimi (eritme fırınları, ısıtma, chiller sistemi, kompresörler) gerekmektedir.

Gelişen teknoloji sayesinde metallerin geri dönüştürülmesinde kullanılan döküm prosesinin dezavantajları sebebiyle yeni metotlara ihtiyaç duyulmuştur. Günümüzde yeni yeni yaygınlaşmaya başlayan toz metalürjisi yöntemi döküm teknolojisine göre daha avantajlı bir geri dönüşüm metodu olduğu bilinmektedir. Döküm yöntemine kıyasla geri dönüştürülen malzemelerin daha nitelikli malzeme olması bu yöntemi daha fazla kullanılabilir olmasına olanak sağlamaktadır. Üretim metodu yeni olması sebebiyle yetişmiş eleman sayısının olmaması bu üretim metodunun kullanılmasını kısıtlamaktadır.

Genel olarak bakıldığı zaman toz metalürjisi ciddi bir geri kazanım sağlayarak döküm teknolojisine göre daha değerli bir malzeme ortaya çıkarmaktadır. Örneğin toz metalürjisi ile geri dönüştürülen malzemeler günümüzde kompozit malzeme üretiminde kullanılmaktadır. Kompozit malzemeler ileri teknoloji malzeme olması toz metalürjisi prosesinin önemini göstermektedir. Toz metalürjisi metodunun diğer metal geri dönüştürme proseslerine göre avantajları şu şekildedir.

- Üretim sonrası sifıra yakın hurda ve atık malzeme oluşumu
- Üretim sonrası herhangi bir talaşlı imalata gerek olmaması
- Karmaşık malzemelerin kolay üretilebilmesi,
- Farklı malzemelerin karışımı ile daha iyi mekanik özelliklere sahip malzeme üretimi
- Yüksek üretim hızları

Toz metalürjisi yönteminin genel olarak birçok avantajı olduğu görülmektedir. En önemli avantajlarında birisi de daha düşük enerji masrafı ve üretim sonrası herhangi bir ek üretim işlemine gerek duyulamamasıdır. Toz metalürjisi yöntemini diğer metal üretim yöntemlerinden önemli kılan tek özellik farklı ergime sıcaklıklarındaki bileşenlerin bir araya getirilmesi ile ileri teknoloji malzeme üretimine olanak sağlamasıdır. Döküm teknolojisi bu özelliklere sahip malzeme üretimine olanak sağlamamaktadır. Bu sebeple toz metalürjisi yöntemi döküm teknolojisine göre avantajlı olmasından ileri teknoloji malzeme üretiminde daha fazla kullanılmaktadır.



5.LİTERATÜR TARAMASI

Karadağ (2012), yaptıkları çalışmada St52-3 çelik talaşı ve diğer bileşen CuSn10 malzemeyi 800µm gözenek boyutuna (20 mesh) sahip elekte elemiş ardından elenen bronz ve çelik talaşlar kompozit yapıya ağırlıkça %70bronz-%30çelik, %60bronz-%40çelik ve %50bronz-%50çelik oranlarında katarak üç farklı kompozit malzeme üretmiştir. Kompozit malzemelerin üretiminde ağırlıkça üç farklı oranda seçilen çelik-bronz talaş miktarının malzemelerin mekanik ve aşınma özelliklerine etkisini incelemiştir. Kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini basma ve üç noktadan eğme testleri ile belirlemiş ve hadde CuSn10 bronzunun sahip olduğu özelliklerle mukayese etmiştir. Elde edilen sonuçlar neticesinde, çelik-bronz talaşlarından hacimce %25 oranında gözenek ihtiva edecek şekilde üretilen kompozit malzemelerin sahip oldukları mekanik özelliklerin, bronz bileşen oranının artışı ile iyileştiği ve hadde CuSn10'a kıyasla daha tok ve sünek, basma dayanımları açısından oldukça yakın değerlere eriştiğini gözlemlemiştir. Ayrıca kuru ortamda 0,5 m/s sabit hızda dört farklı yük ve kayma mesafesinde yapılan aşınma testleri sonunda, kompozit içerisindeki çelik bileşen miktarındaki artış ile aşınmanın azaldığı, sürtünme katsayısının arttığını tespit etmiştir [5].

Çanakçı ve ark. (2013), yaptıkları çalışmada CuSn10-Grafit nanokompozit tozlarını (sırasıyla ağırlıkça %1, %3 ve %5 Grafit) mekanik olarak alaşımlanmasıyla başarıyla alaşımlamıştır. CuSn10-Grafit nanokompozit tozlarının, grafit partikül ağırlık yüzdesinin ve öğütme süresinin artmasının toz morfolojisi, partikül boyutu ve mikroyapısı üzerindeki etkilerini araştırmıştır. CuSn10-Grafit nanokompozit tozlarını, bir taramalı elektron mikroskobu, lazer parçacık boyutu analizörü, X-ışını kırınım analizi ve enerji dağıtıcı X-ışını analizi kullanılarak karakterize etmişlerdir. Sonuçlar, takviye olarak grafit partiküllerinin eklenmesinin ve öğütme süresinin, partikül boyutu, toz morfolojisi ve toz verimi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu görmüşlerdir. Elektron mikroskobu çalışmaları, 50 ila 250 nm arasında değişen geniş bir boyut dağılımına sahip eş eksenli tanelerin oluşumunu göstermiştir. Kaynak ve kırılma oranı arasında bir denge oluşturulana kadar partikül boyutunun azaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, artan öğütme süresi ve azalan grafit içeriği ile toz veriminin önemli ölçüde düştüğü gözlemlenmiştir [23].

Ünlü ve ark. (2005), yaptıkları çalışmada, CuSn10 bronzundan üretilen kaymalı yatakların farklı yük ve hızlarda, kuru ve yağlı ortamlarda sürtünme ve aşınma özellikleri incelenerek, sonuçları birbirleriyle karşılaştırmışlardır. Karşı aşındırıcı olarak SAE 1050 malzemeden imal edilmiş çelik mil kullanmışlardır. Yapılan deneyleri radyal kaymalı yatak aşınma test cihazında, 10 ve 20 N yük, 750 ve 1500 d/dak hızları kullanılarak, kuru ve yağlı ortamlarda aşınma deneyleri yapmışlardır. Kuru ve yağlı ortamlarda yapılan deneyler sonucunda, teknik kuru ortamdaki sürtünme katsayısı ve ağırlık kaybı değerlerinin yağlı ortamdakilere göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir [24].

Jie ve ark.(2008), yaptıkları çalışmada, üç farklı karıştırma, mekanik alaşımlama ve atomizasyon işlemi ile üretilen CuSn10 tozunu farklı sıcaklıklarda sıcak presleme işlemi ile preslenen malzemeleri sinterlemeye tabi tutmuştur. Sinterleme sıcaklığının, sıcak preslenmiş sinterlenmiş ürünlerin yoğunluğunu, sertliği üzerindeki etkisini ve mikroyapı özelliklerini incelemiştir. Yapılan testler sonucunda belirli bir sinterleme sıcaklığında üretilen sıcak pres malzemeler arasında, sinterlenmiş atomize CuSn10 toz numunenin yoğunluğu ve sertliğinin diğer iki işlem tarafından üretilen CuSn10 tozundan önemli ölçüde daha yüksek olduğunu gözlemlenmiştir. Sinterleme sıcaklığı arttıkça, üç farklı yöntemle üretilen sinterlenmiş CuSn10 toz numunelerin yoğunluğunun ve sertliğinin önce arttığı ve sonra azaldığı gözlemlenmiştir. Sinterleme sıcaklığı yaklaşık 750 °C olduğunda, üç farklı karıştırma yöntemi ile üretilen sinterlenmiş CuSn10 toz numunenin performansının en iyisi olduğu görülmüştür [25].

Mironovs ve ark.(2019),yaptığı çalışmada toz metalurjisi prosesi ile yapılan burçların işlenebilirliğini ve teknolojik değerlendirmesini araştırmıştır. Yapılan çalışmada kullanılan burçlar CuSn10-C tozundan yapılmıştır. Toz metalürjisi ile üretilen burçların işlenmesi, kesme hızı, kesme derinliği ve kesme ilerlemesi gibi çeşitli teknolojik parametreler altında gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmanın ana hedefi, işlenmiş burcun yüzey pürüzlülüğünü (Sa - 0,3 ila 0,6 µm) elde etmek veya iyileştirmek olduğu görülmektedir. Yüzey pürüzlülüğü, geçit izolatörünün tatmin edici performansının elde edildiği ana parametrelerden biridir. Teknolojik parametrelerin değerleri, bir takım üreticisi tarafından önerilen teknolojik parametrelerden başlayarak değiştirilmiş ve işlenmiş toz metalürjisi ile üretilen her bir burcun yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesiyle adım adım daha da değiştirilmiştir. Dahası, Yüzey

pürüzlülüğünün değerlendirilmesi ve karakterizasyonu için sadece 2D profil pürüzlülüğü ölçümleri değil, ayrıca bu iki tür ölçüm tekniği arasındaki ilişkiyi araştırmak için 3D yüzey pürüzlülüğü ölçüm metodolojileri de kullanılmıştır. Sonuçlar, teknolojik değerlendirmenin yalnızca tek bir en iyi sonuçla değil, çeşitli şekillerde başarılabileceğini göstermiştir [26].

Şahin ve ark.2019, Yaptığı çalışmada, gözenekli metal matrisli kompozitlerin düşük hızlı darbe davranışı incelemiştir. Sfero döküm talaşlardan (GGG-40) ve bronz talaşlardan (CuSn10) oluşan metal matrisli kompozitleri sıcak izostatik presleme ile üretmiştir. Metal matrisli kompozitler farklı CuSn10 içerikleri ile %90-80-70-60 olarak üretilmiştir. Sıcak izostatik presleme işlemi, üç farklı basınç ve sıcaklık altında gerçekleştirilmiştir. Üretilen metal matrisli kompozitler, bir düşme ağırlığı test standı kullanılarak 2 m/s'nin altında düşük hızlı darbe yüklemesine maruz bırakılmıştır. Test sonuçları, ayrı ayrı CuSn10 ve toplu GGG-40 ile karşılaştırılmıştır. Test sonuçları, sıcak izostatik preslenmiş metal matrisli kompozitlerin, bu metal matrisli kompozitlerin %2-8 gözenekliliğine sahip olmasına rağmen, düşük hızlı darbe yüklemesine maruz kaldıklarında yığın malzeme özelliklerini başarılı bir şekilde temsil edebildiğini ortaya koyduğu gözlemlenmiştir [27].

Aslan ve ark.(2018), Yaptığı çalışmada, sfero dökümden oluşan gözenekli metal matrisli kompozitlerin işlenmesi ve mekanik özellikleri sıcak izostatik presleme ile oluşturulan metal talaşları (GGG40) ve bronz talaşları (CuSn10) incelemiştir. Bronz atıklar (CuSn10), bir matris bileşeni ve sfero döküm (GGG40) talaşlar bir takviye bileşeni olarak kullanılmıştır. Metal matrisli kompozitler farklı CuSn10 içeriği ile hazırlanmıştır (ağırlıkça%90, % 80, % 70 ve % 60). Sıcak izostatik presleme işlemi üç farklı basınç ve sıcaklık altında gerçekleştirilmiştir. Üretilen metal matrisli kompozitler yoğunluk testleri, Brinell sertlik testleri ve sıkıştırma testleri kullanılarak karakterize edilmiştir. Ek olarak, konsolidasyon mekanizması X-ışını kırınımı (XRD) analizi ve taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiştir. Test sonuçları toplu CuSn10 ve toplu GGG40 için olanlarla karşılaştırılmıştır. Mekanik test sonuçları, metalik talaşların aşağıdaki yöntemlerle geri dönüştürülebileceğini ortaya çıkarmıştır: sıcak presleme kullanarak ve üretilen metal matrisli kompozitlerin mekanik özelliklerinin toplu CuSn10 ile benzer olduğu gözlemlenmiştir. XRD ve elektron mikroskobu çalışmaları sonucunda, metalik talaşlar arasında hiçbir intermetalik bileşik oluşmadığını

göstermiştir. Sonuçlar, CuSn10 ve GGG40 yongalarının mekanik kenetleme ile sağlamlaştırılmıştır [28].

Ting li ve ark. (2017), Yaptığı çalışmada hacimce %4, 7, 10 ve 14 oranlarda altıgen bor nitrür (h-BN) içeren CuSn10 matris kompozitleri bir toz metalurjisi prosesi kullanılarak hazırlamıştır. Elde edilen malzemeler XPS, XRD ile karakterize edilmiştir. Mikroyapı, sertlik, çekme dayanımı ve sinterlenmiş kompozitlerin eğilme dayanımı incelenmiştir. Kompozit CuSn10 %4 h-BN %20.1 ile en düşük gözenekliliği göstermiştir. Modifikasyonsuz kompozitlerin hacimce %4 h-BN ile karşılaştırılması, gözeneklilikte %20,1'den %5,5'e bir düşüş, Gerilme mukavemeti 134 MPa'dan 147 MPa'ya bir artış ve Eğilme mukavemetinde 238 MPa'dan 351 MPa'ya bir artış gözlemlenmiştir [29].

Ünlü ve ark.(2008), Yaptığı çalışmada bakır esaslı alaşımlardaki pirinç ve özellikle bronz, kaymalı yatak malzemesi olarak yaygın olarak kullanıldığını ve saf bakır malzemelerin düşük mekanik ve sertlik özelliklerinden dolayı kaymalı yatak malzemesi olarak kullanılmadığını belirterek yaptığı çalışmada bakır esaslı CuSn10 bronz ve CuZn30 pirinçten üretilen kaymalı yatakların tribolojik ve mekanik özellikleri incelemiştir. Kaymalı yatakların tribolojik ve mekanik özellikleri üzerine Cu, Sn ve Zn elementleri alaşıma etkisini değerlendirmiştir [30].

Akın (2006), Yaptığı çalışmada, farklı oranlarda B₄C içeren %100 Al ve %50 Al + %50 Al₁₂Si matrisli kompozitlerin toz metalurjisi yöntemiyle optimum üretim parametreleri sertlik ölçümleri ile belirlenmiş ve optimum koşullarda üretilen kompozitlerin özelliklerini aşınma ve korozyon deneyleriyle incelemiştir. Ağırlıkça %4 - %23 aralığında B₄C takviye edilmiş kompozitlerde, artan B₄C içeriği ve matris yapıları Al₁₂Si ilavesiyle sertlik değerinin arttığını gözlemlemiştir. Aşınma direncinde, %9 B₄C içeriği üzerine çıktığı zaman düşüş olduğu gözlemlenmiştir. Korozyon deneylerinde en düşük korozyon kaybı matrisi %100 Al olan B₄C partikül takviyesi yapılmamış malzemede meydana gelmiştir [31].

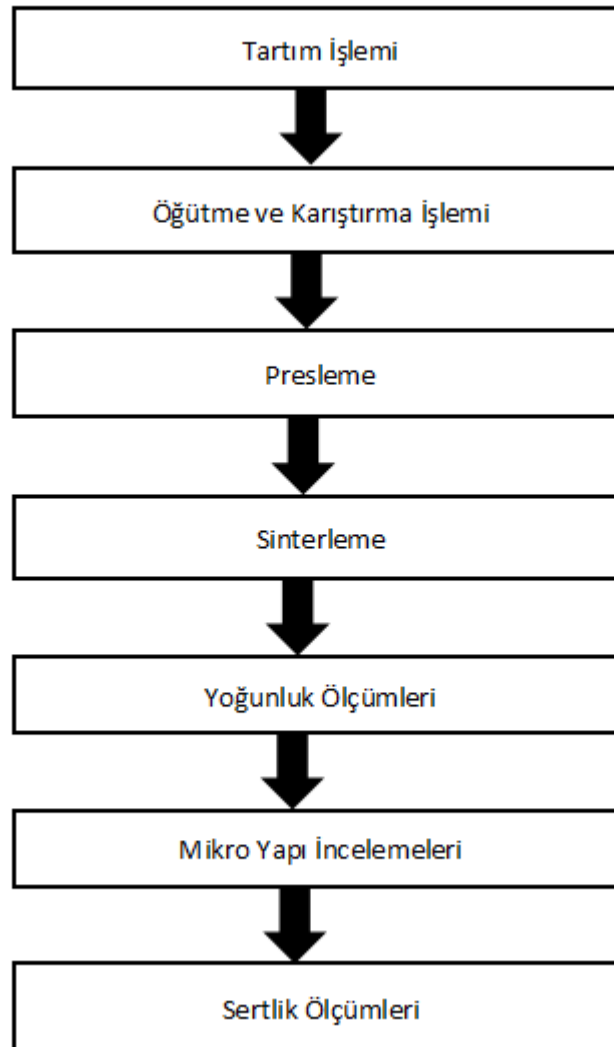
Urtekin ve ark. (2020), Yaptığı çalışmada, iki farklı atomizasyon yöntemi (su ve gaz) ile kendinden yağlamalı yatak malzemeleri olan CuSn10 (bronz) ve Cu (bakır) tozu üretmiştir. Su atomizasyonu ile CuSn10 ve gaz atomizasyonu ile Cu tozu

üretmiştir. Su atomizasyonu ve gaz atomizasyon ile üretilen CuSn10 ve Cu tozlarının ortalama toz boyutu sırasıyla 41.5 μm ve 41,9 μm 'dir. Çalışmada üretilen tozlar ve mevcut uygulamada kullanılan tozlar ile normal presleme (tek eksenli) yöntemiyle kendinden yağlamalı yatak üretimini gerçekleştirmiştir. Daha sonra hidrojen ve azot gazı karışımından oluşan koruyucu atmosfer altında 780 $^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta farklı bekleme süreleri için sinterleme işlemi uygulamıştır. Sinterlenen yatakların yağ alma, hacimsel gözenek oranları ve kırılma dirençleri deneysel olarak belirlenmiştir. Çalışmada 6,4 g/cm³ yoğunluk, %28 gözenek, 45 ksi radyal mukavemet ve %96 yağ alma verimi hedeflenmiştir. Bu hedeflerden yoğunluk ve gözenek miktarı elde edilmesine karşın mukavemet ve yağ alma verimi hedeflenen değerlere göre düşük kaldığı gözlemlenmiştir [32].

Atak (2009), Yaptığı çalışmada, toz metalurjisi yöntemiyle üretilmiş kendinden yağlamalı bronz yataklara grafit katkısının sürtünme ve aşınma performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir. İlk olarak, ortalama toz boyutu 60 μm olan ön alaşımlı CuSn10 bronz tozlarına ağırlıkça %1-2-3 oranında grafit tozları ilave ederek 20 dakika süre ile karıştırmıştır. Hazırlanan toz karışımları 100 MPa ile 250 MPa arasında 50 MPa aralıklarla sıkıştırmıştır. Sinterleme işlemini 800 $^{\circ}\text{C}$ 'de 20 dak. süre ile yapmıştır. Sonrasında yatak numunelerine 0,2 atm basınç altında 80 $^{\circ}\text{C}$ 'de 1 saat süre ile SAE 30 makine yağı emdirilmiş ve yağ emme kapasiteleri hesaplanmıştır. Hazırlanan disk-çubuk test düzeneğinde 1 m/s kayma hızında, 15 N yük altında, 2000 m yol aldırılarak dışarıdan yağlama yapılmaksızın üretilen yatak malzemeleri test ederek aşınma değerlerini ve sürtünme katsayılarını hesaplamıştır. Kendinden yağlamalı grafit katkılı bronz yatakların sürtünme ve aşınma başarımının; grafit katkısının miktarına, sıkıştırma basıncına ve yağ içeriğine bağlı olduğu görülmüştür. Sıkıştırma basıncı arttıkça, yatak malzemesinin yoğunluğu artarken, gözeneklilik ve yağ içeriği azalmıştır. Sürtünme ve aşınma testlerinin sonuçları incelendiğinde, grafit ilave edilmesi ve sıkıştırma basıncının artırılmasıyla aşınma değerinde azalma olduğu, sürtünme katsayısının ise daha kararlı hale geldiği görülmüştür [33].

6.DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu tez çalışması Necmettin Erbakan Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi ve Seydişehir Ahmet Cengiz Mühendislik Fakültesi laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Tez çalışmasında kullanılan başlangıç malzemeleri sırasıyla CuSn10 talaş olarak (matris), BN (katı yağlayıcı) ve B₄C (takviye) tozları olarak kullanılmıştır. CuSn10 matris malzemesi talaşlı imalat prosesi sonrası ortaya çıkmış bir ürün olup gerekli temizleme işlemi yapılarak kullanılmıştır. Yapılan deneysel çalışmanın genel iş akış şeması Şekil 6.1’de gösterilmiştir.



Şekil 6.1. Genel iş akış şeması

Malzeme üretim prosesinin ilk aşaması olarak metal tozları belirli oranlarda tartım işlemi yapılarak karışımlar elde edilmiş ve yüksek enerjili öğütme cihazı ile hem CuSn10 metal talaşı öğütülmüş hemde tozların birbiri içerisinde homojen olarak karışımları gerçekleştirilmiştir. Toz karıştırma ve öğütme işlemleri gezegen tipi öğütücü kullanılarak 400 RPM devirde 30 dakika süre altında gerçekleştirilmiştir. Metal tozları karıştırıldıktan sonra deneysel çalışmaların devamında kullanılmak üzere ağzı kilitli poşet içerisinde desikatör ortamında muhafaza edilmiştir.

Çalışmanın son bölümünde elde edilen karışım tozların soğuk preslenme ve sinterleme işlemi sonrasında mekanik olarak sertlik özellikleri incelenmiştir. Presleme işlemi 800 MPa basınç altında yapılmıştır. Preslenen tozlar 800°C sıcaklıkta 1 saat süre boyunca sinterlenmiştir.

Sinterlenen numuneler sırasıyla zımparalama parlatma işlemi yapılarak dağlama işlemini takiben malzeme mikroyapı incelemesi için optik mikroskop ve Taramalı Elektro Mikroskop (SEM) çalışmaları yapılmıştır.

Son olarak mikroyapı incelemeleri sonrası numunelerin mekanik bir özellik olarak birbirleri ile karşılaştırılabilmesi için mikro sertlik ölçümleri yapılmıştır.

6.1. Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Üretimi

Yapılan deneysel çalışmada endüstri sektöründe genellikle döküm (ergitme yöntemi) prosesi ile geri dönüşümü sağlanan metal atıklarının daha verimli bir proses kullanılarak metal matrisli kompozit malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir. Belirli boyutlara öğütülerek getirilen atık talaşlar sıkıştırılıp sinterlenerek metal matrisli kompozit malzeme üretilerek bu üretilen malzemelerin mekanik özellikleri yapılan çalışmalar sonucunda elde edilmiştir. Metal matrisli kompozit malzemenin üretim aşaması aşağıdaki gibi olmuştur.

- Atık talaşların temini
- Atık talaşların temizlenmesi (ultrasonik banyo)
- Atık talaş ve tozların belirli oranlarda tartım işlemi

- Karıştırma işlemi
- Presleme işlemi
- Sinterleme işlemi
- Yüzey Temizliği

6.1.1 Malzeme

Yapılan deneysel çalışmada kullanılan CuSn10 metal talaşları endüstride talaşlı imalat sonucu atık olarak biriktirilen metal talaş olarak temin edilmiştir. Atık talaşların boyutlarına göre ayrıştırma yapılmış olup belirli boyut altındaki metal talaşlar kullanılmıştır. Matris malzemesi olarak kullanılan talaşların ham hali ve öğütülmüş görüntüsü Şekil 6.2.'deki gibidir.



Şekil 6.2. Matris malzemesi CuSn10 talaşları

Başlangıç malzemesi olarak temin edilen talaşların içerisinde soğutma sıvısı ve yağ bulunduğundan dolayı atık talaşlar alkol ile temizlenmiştir. Kullanılan CuSn10 malzemesinin kimyasal bileşimi Çizelge 6.1.'deki gibidir.

Çizelge 6.1. CuSn10 malzemesinin (%ağırlıkça) kimyasal bileşimi

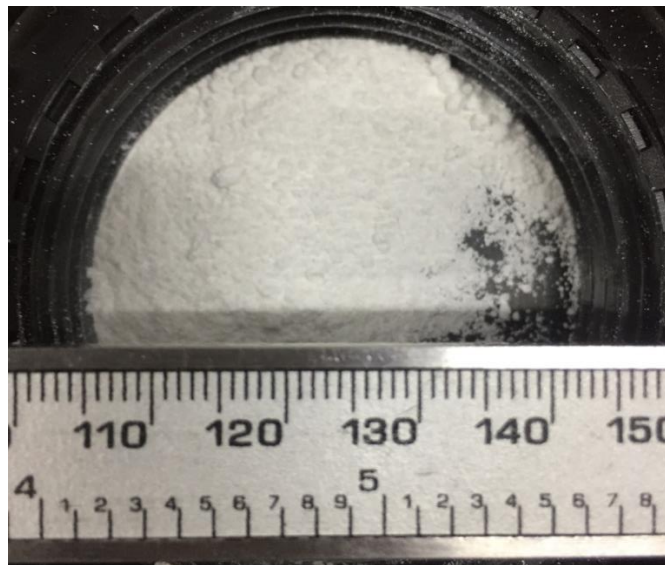
Malzeme	Cu	Sn	Pb	Ni	Fe	Zn	Si	P	Mn
CuSn10	87,95	10,45	0,36	0,67	0,025	0,45	0,053	0,012	0,026

Katkı maddesi BN ve takviye elemanı olarak kullanılan B_4C malzemesi atomizasyon yöntemi ile üretilmiş olup toz olarak kullanılmıştır. Katkı maddesi olarak kullanılan bor nitrür malzemesi yağlayıcı görevinde kullanılmakta olup üretilecek olan kompozit malzemeye yüksek sıcaklıkta refrakter özelliği, yüksek ısı iletkenliği, yalıtkanlık, kimyasal kararlılık, yağlayıcılık ve kolay işlenebilirlik gibi katkı sağlamaktadır. Bor Nitrür malzemesine ait bazı fiziksel ve mekanik özellikler Çizelge 6.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.2. Bor Nitrür malzemesinin özellikleri

Özellik	Değer
Yoğunluk	2.3 g/cm ³
Ergime sıcaklığı	3000 °C
Sertlik (Knoop 100g) (kg.mm ⁻¹)	400
Kayma modülü (Mpa)	100
Termal genleşme katsayısı(°C-1)	1
Termal iletkenlik (W/m. K)	20

Katkı maddesi olarak kullanılan BN malzemesi %99,7 saflığa sahip olup 40-50 µm boyutta ve hexagonal yapıya sahiptir. Katkı maddesi olarak kullanılan BN malzemesinin başlangıç görüntüsü Şekil 6.3’te gösterilmiştir.



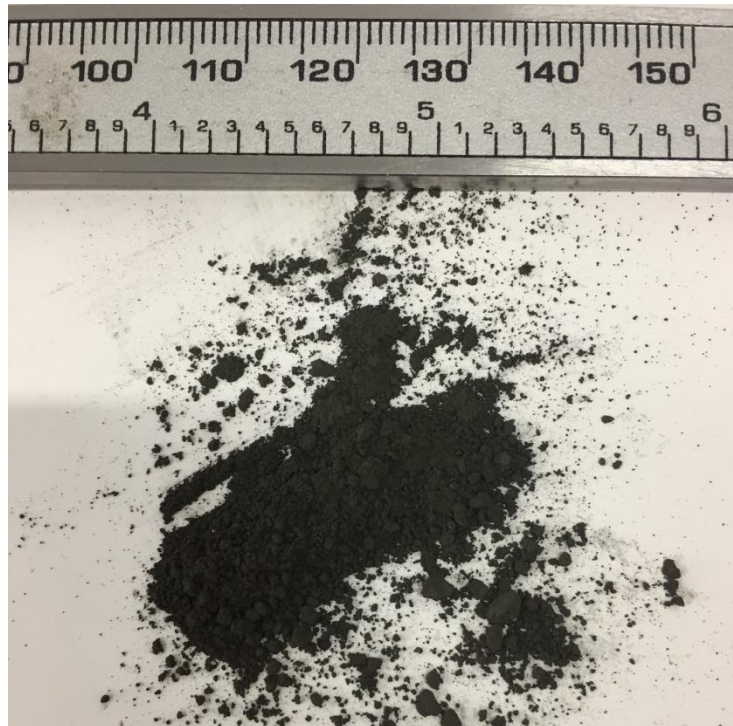
Şekil 6.3. Katkı malzemesi BN tozları

Takviye elemanı olarak kullanılan B_4C üretilecek olan kompozit malzemeye sertlik, yüksek elastikiyet modülü, yüksek termal kararlılık, korozyon direnci, darbe dayanımı gibi katkı sağlamaktadır. Bor Karbür malzemesine ait bazı mekanik özellikler çizelge 6.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 6.3. Bor Karbür malzemesinin özellikleri

Özellik	Değer
Yoğunluk	2.52 g/cm ³
Ergime sıcaklığı	2445 °C
Sertlik (Knoop 100g) (kg.mm-1)	2900-3580
Kayma modülü (Mpa)	186,5
Termal genleşme katsayısı	5.73 ppm/°C
Termal iletkenlik (W/m. °C)	4,3

Takviye elemanı olarak kullanılan B_4C malzemesi %99,6 saflığa sahip olup 3 μ m boyutta sahiptir. Takviye elemanı olarak kullanılan B_4C malzemesinin başlangıç görüntüsü Şekil 6.4'te gösterilmiştir.



Şekil 6.4. Takviye Elemanı B_4C tozları

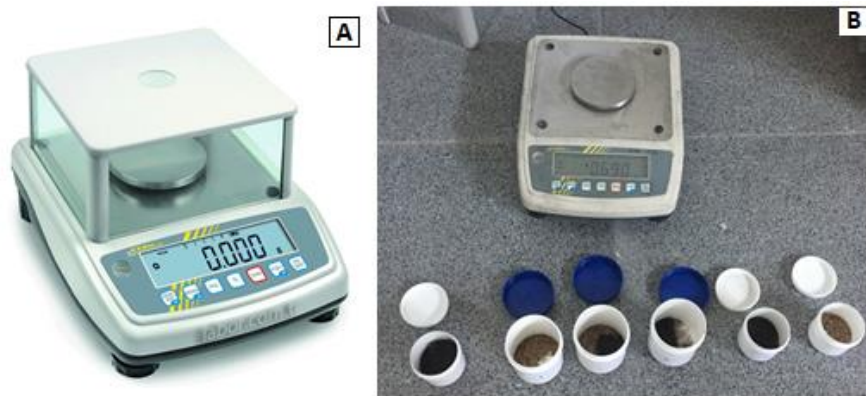
6.1.2 Numunelerin hazırlanması

Deneysel çalışmalar için toplamda 5 farklı kompozit malzeme numunesi hazırlanmıştır. Toplamda 5 farklı numune hazırlanmasının ana sebebi elde edilen kompozit malzemelerin yapılan testler sonucunda birbirleri ile karşılaştırarak malzeme hakkında yorum yapabilmektir. Elde edilen numunelerin katkı maddesi ve takviye elemanı içerikleri Çizelge 6.4 'deki gibidir.

Çizelge 6.4. Deneysel numunelerin karışım oranları

S. No	Malzeme İçeriği
CS-1	%100 CuSn10 (Referans)
CS-2	%90 CuSn10 - %10 B ₄ C
CS-3	%94 CuSn10 - %1 BN - %5 B ₄ C
CS-4	%89 CuSn10 - %1 BN - %10 B ₄ C
CS-5	%84 CuSn10 - %1 BN - %15 B ₄ C

Yukarıda belirtilen oranlarda her bir ürün toplamda 30 gr olacak şekilde Şekil 6.5.'deki Kern markalı 0,001gr hassasiyete sahip hassas terazi ile 6 farklı numunenin tartım işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.5. Tozların tartım işlemi a) Hassas Terazi b) Tartılan tozların görüntüsü

Tozların tartım işlemi sonrası Şekil 6.6.'de belirtilen planetary (gezegen) tipi öğütücülü karıştırıcı ile tartım işlemi yapılan numunelerin hem öğütülmesi hemde homojen olarak karıştırılması sağlanmıştır. Numuneler 30 dakika boyunca 400 rpm

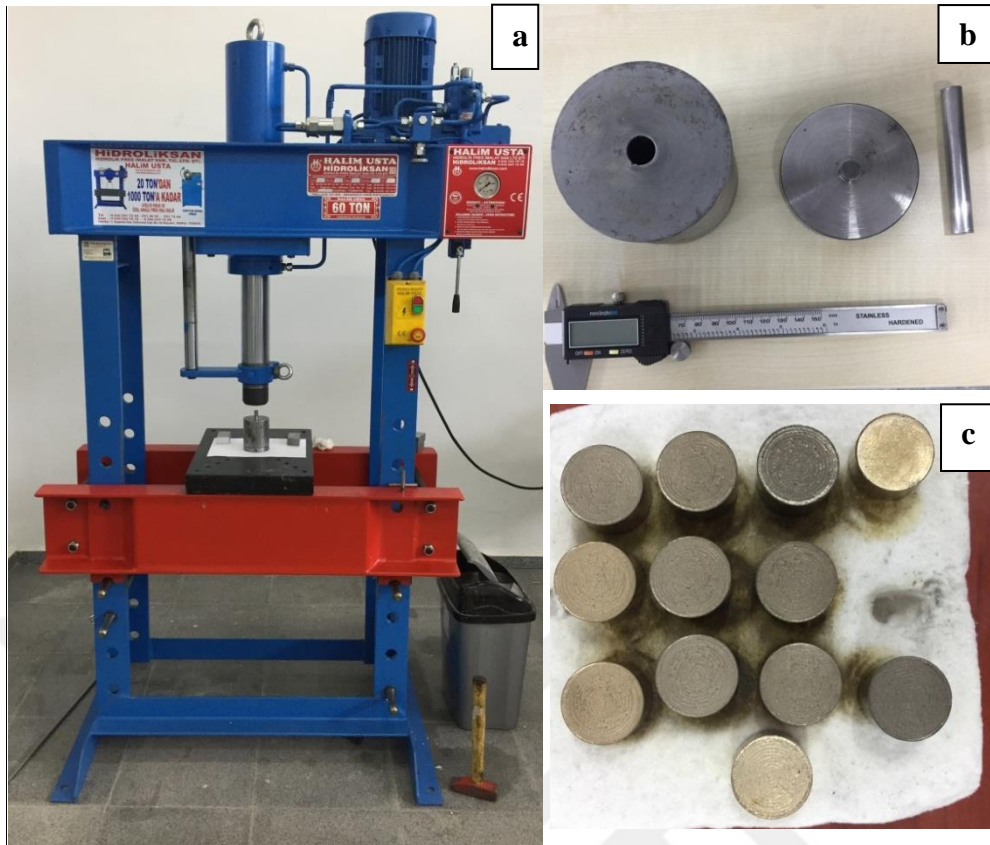
devirde karıştırılmıştır. Talaş ve tozların boyutlarının küçültülmesi mekanik öğütme prosesi ile gerçekleştirilmiş olup çelik bilyalar yardımı ile sağlanmıştır.



Şekil 6.6.Fritsch Pulverisette 5 marka gezegen tipi karıştırıcı

6.1.3 Numunelerin preslenmesi

Ağırlıkları ölçülen, karıştırma ve öğütme işlemi tamamlanan talaşlar ve tozlar, Şekil 6.7’da gösterilen Necmettin Erbakan Üniversitesi Seydişehir Ahmet Cengiz Mühendislik Fakültesi Malzeme Laboratuvarında Hidroliksan marka 60 ton tek etkili pres cihazı ile presleme işlemine tabi tutulmuştur. Presleme işlemi için ön denemeler sonucunda farklı basınçlar test edilmiş ve uygun presleme basıncı 800 MPa olarak belirlenmiştir. Presleme işlemi Şekil 6.7’da gösterilen 10 mm çapa sahip kalıp ile gerçekleştirilmiştir. Kalıp içerisine yerleştirilen tozlar 800MPa basınç altında 30 sn bekletilerek presleme işlemi yapılmıştır.



Şekil 6.7. a) Tek etkili pres cihazı b) Numunelerin Presleme kalıbı c) Preslenmiş numuneler

6.1.4 Numunelerin sinterlenmesi

Presleme işleminin tamamlanmasıyla Şekil 6.8’de gösterilen Necmettin Erbakan Üniversitesi Seydişehir Ahmet Cengiz Mühendislik Fakültesi Malzeme Laboratuvarında bulunan, Nevola marka atmosfer kontrollü tüp fırın kullanılarak sinterleme işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Sinterleme işlemi için önce homejen sıcaklığın olduğu numunelerin yerleştirileceği sinterleme bölgesi belirlenmiştir. Bu bölge tüpün 42 cm \pm 6cm ilerisinde olduğu görülmüştür. Sinterleme işlemi cam tüp içerisinde 800 °C sıcaklıkta 60 dakika boyunca homojen sıcaklık bölgesinde seramik kayıkçık üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Sinterleme işlemi atmosfer kontrollü fırında argon gazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Argon gazı kullanılmasının sebebi sinterleme işlemi sırasında numunelerin oksitlenmesini önlemektir. Sinterleme işlemi sonucunda preslenmiş olan

tozların gözenekliliğinin azaltılması ve partikülleri arasındaki difüzyon bağı oluşması sağlanmıştır.



Şekil 6.8. Atmosfer kontrollü Nevola marka sinterleme fırını

6.1.5. Yoğunluk ölçüm işlemleri

Numunelerin yoğunluk ölçüm işlemleri karşılaştırılmak amacıyla sinterleme işlemi öncesi ve sonrası olacak şekilde iki kez ölçülmüştür. Yoğunluk ölçüm işlemleri hassas terazi ve kumpas yardımıyla hacim hesabı üzerinden yapılmıştır. Numunelerin yoğunluk ölçüm işlemleri için kullanılan ekipmanlar Şekil 6.9’de gösterilmiştir.



Şekil 6.9. Kullanılan yoğunluk ölçüm cihazı

6.2. Malzemelerin Mikroyapısal Karakterizasyonu ve Sertlik Ölçümleri

Atık CuSn10 malzemenin geri dönüşümün sağlanması amacıyla elde edilen metal matrisli kompozit malzemelerin üretimini gerçekleştirdikten sonra ortaya çıkan metal matrisli kompozit malzemenin özelliklerinin belirlenmesi amacıyla belirli işlemlere tabii tutulmuştur. Metalik bir malzemenin özelliklerinin belirlenmesi için birçok deney mevcuttur. Yapmış olduğumuz deneysel çalışmada ortaya çıkan metal matrisli kompozit malzeme numunelerine mikro yapı incelemesi, SEM görüntülerinin incelenmesi ve sertlik değerlerinin incelenmesi için çeşitli işlemler yapılmıştır.

6.2.1 Metalografik işlemler

Sinterleme işlemi sonrası numunelerin mikroyapılarının incelenmesi için, metalografik çalışmalar yapılmıştır. Bu işlemler Necmettin Erbakan Üniversitesi Seydişehir Ahmet Cengiz Mühendislik Fakültesi Malzeme Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Numunelere sırasıyla zımparalama, parlatma ve dağlama işlemi yapılmıştır. Zımparalama ve Parlatma işlemi Hardway markalı çift diskli zımparalama ve parlatma cihazında gerçekleştirilmiştir. Zımparalama ve parlatma cihazı Şekil 6.10'da gösterilmiştir.

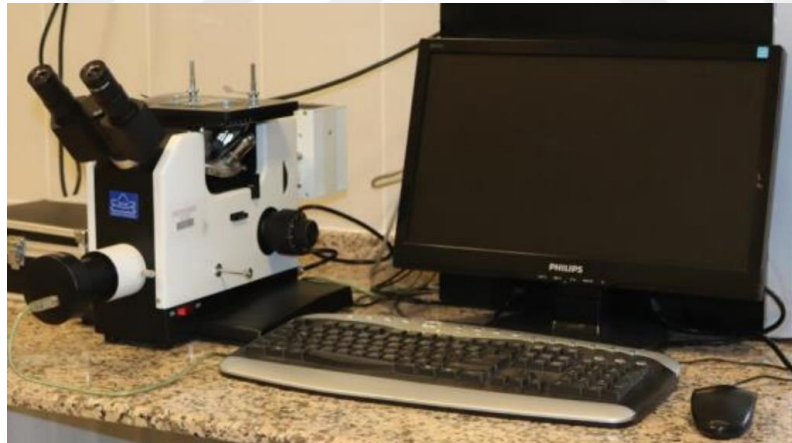


Şekil 6.10. Hardway marka çift diskli zımparalama ve parlatma cihazı

Zımparlama işlemleri için ilk başta kalın zımparadan başlayıp ince zımparaya doğru üç farklı zımpara kağıtları (600-800-1200 numaralı) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Zımparalama işlemi tamamlandıktan sonra parlatma işlemine geçilmiştir. Parlatma işlemi 3 µm boyutundaki parlatma keçesi ile elmas solüsyon yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Parlatma işlemi takiben dağlama işlemi yapılmıştır. Dağlama işlemi %40 HNO₃ - %20 H₂SO₄ - %40H₂O çözeltisi içerisinde numunelerin yüzeyleri 1-2 sn arasında içerisinde daldırılarak gerçekleştirilmiştir. Dağlama işlemi bittikten sonra numune yüzeylerindeki çözeltiyi uzaklaştırmak için numuneler su ile temizlenmiştir. Su ile temizlenen numuneler son olarak alkol ile kurutulmuştur.

6.2.2. Mikroyapı incelemeleri

Metalografik işlemler tamamlandıktan sonra optik mikroskop cihazı yardımıyla numunelerin mikroyapıları incelenmesi için optik görüntüleri alınmıştır. Mikroyapı incelemeleri Necmettin Erbakan Üniversitesi Seydişehir Ahmet Cengiz Mühendislik Fakültesi Malzeme Laboratuvarında bulunan Şekil.6.11'da gösterilen optik mikroskop cihazı ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.11. Optik Mikroskop

Yapılan optik mikroskop çalışması SEM görüntülemesi için bir ön çalışma olmuştur. SEM çalışmaları Necmettin Erbakan Üniversitesi Merkez Laboratuvarı bünyesindeki Hitachi marka SEM cihazı ile yapılmıştır. Numunelerin mikroyapılarının incelenmesi için 500x-1000x-1500x-2000x yakınlaştırmada görüntüleri alınmıştır.

Yapılan çalışmada kullanılan SEM cihazı Şekil 6.12’de gösterilmiştir. Sem çalışmaları ile numunelerin mikroyapı davranışları incelenmiştir.



Şekil 6.12. SEM Cihazı

6.2.3. Sertlik ölçüm işlemleri

Mikroyapı incelemeleri tamamlanan numunelerin sertlik ölçüm işlemleri mikro sertlik yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçüm işlemleri, Necmettin Erbakan Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Malzeme Laboratuvarı bünyesinde bulunan Şekil 6.13’te gösterilen Emcotest marka (Brinell) sertlik ölçüm cihazında gerçekleştirilmiştir. Mikro sertlik ölçümleri 31,25kgF’luk bir yük altında 2,5mm çapında bilye ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen numunelerin hazırlanan yüzeylerinden 3 er adet ölçüm yapılarak elde edilen değerlerin ortalamasını alarak numunelerin sertlik ölçümleri yapılmıştır.

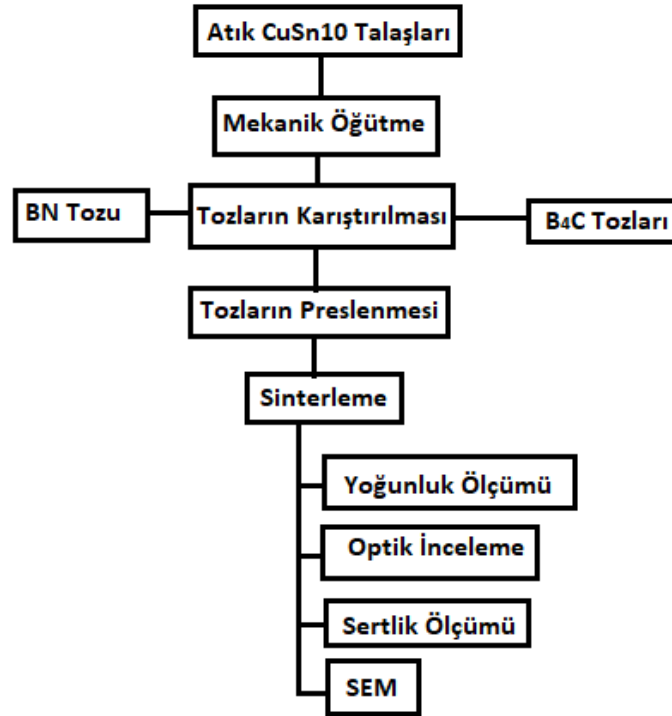


Şekil 6.13. Emcotest marka (Brinell) sertlik ölçüm cihazı

7. DENEYSEL SONUÇLAR

7.1. Çalışma Sürecinin Değerlendirilmesi

Bu çalışmada matris malzemesi olarak atık CuSn10 talaşları, takviye malzemesi olarak B₄C ve katkı maddesi olarak BN malzemeleri kullanılarak geri dönüşüm amacı hedeflenerek metal matrisli kompozit malzeme imalatı gerçekleştirilmiştir. Ortaya çıkan metal matrisli kompozit malzemenin yoğunluk, mikro yapı ve sertlik özellikleri incelenmiştir. Yapılan tez çalışması boyunca yapılan proseslerin iş akış şeması Şekil 7.1’de detaylı olarak verilmiştir.



Şekil 7. 1. İş akış şeması

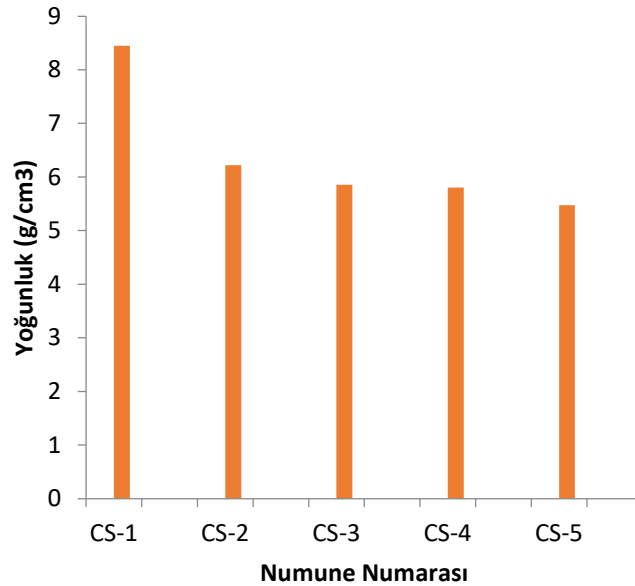
Yapılan deneysel çalışmada kullanılan CuSn10 metal talaşları endüstride talaşlı imalat sonucu atık olarak biriktirilen metal talaş olarak temin edilmiştir. Atık talaşların boyutlarına göre ayrıştırma yapılmış olup belirli boyut altındaki metal talaşlar kullanılmıştır. Katkı maddesi BN ve takviye elemanı olarak kullanılan B₄C malzemesi atomizasyon yöntemi ile üretilmiş olup toz olarak kullanılmıştır. Katkı maddesi olarak kullanılan bor nitrür malzemesi yağlayıcı görevinde kullanılmakta olup üretilecek olan kompozit malzemeye yüksek sıcaklıkta refrakter özelliği, yüksek ısı iletkenliği,

yalıtkanlık, kimyasal kararlılık, yağlayıcılık ve kolay işlenebilirlik gibi katkı sağlamaktadır.

7.2. Yoğunluk Ölçüm Sonuçları

Deneysel çalışmalarda belirtildiği gibi üretilen kompozit malzemelere presleme işlemi ve sinterleme işleminden sonra sahip oldukları fiziksel özellikleri (hacim ve yoğunluk) tespit edilmiştir.

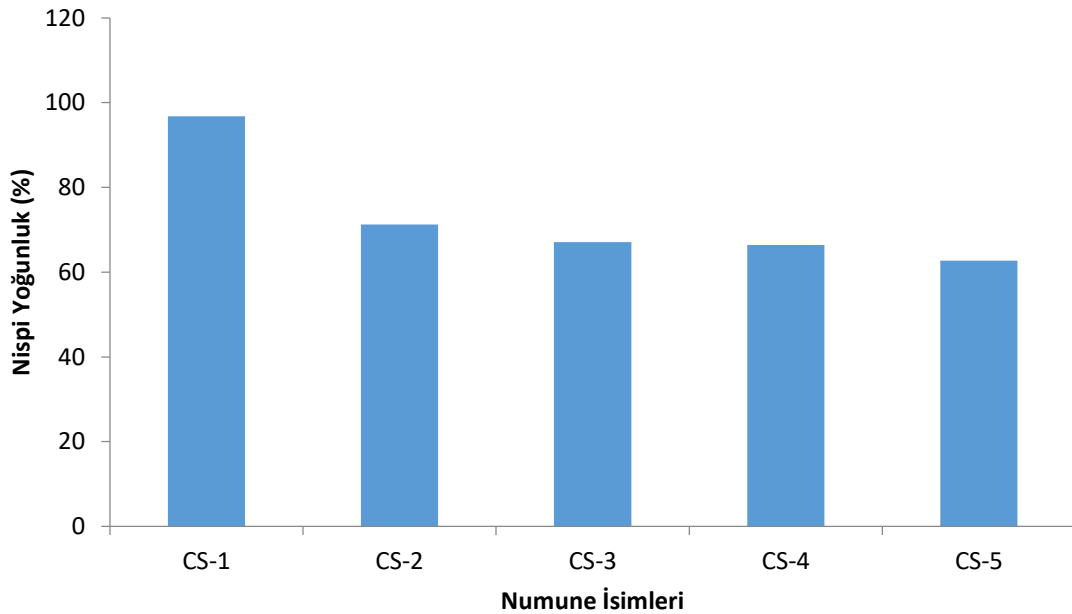
Sinterleme işlemi sonrası numunelerde sinterleme işlemi öncesine göre yoğunluk değerleri karşılaştırılmıştır. Yoğunluk ölçümleri 5 farklı kompozit malzemenin 2 adet numunesi üzerinden ölçülmüştür. Toplamda 10 adet numune üzerinde yoğunluk ölçümü işlemi yapılmıştır. Numunelerin presleme sonrası (ham) yoğunluğunda ve sinterleme sonrası (nihai) yoğunluklarında değişim olduğu görülmüştür. Şekil.7.2’de deney numunelerinin sinterleme sonrası yoğunluk değerleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 7. 2. Yoğunluk ölçüm sonucu

Presleme işlemi sonrası referans numunesi (Cs-1) ve diğer kompozit numunelerin (Cs 2-5) yoğunluk ölçüm sonuçları (ham yoğunlukları) yaklaşık olarak 8,1 g/cm³ olarak tespit edilmiştir. Genellikle kompozit numunelerde ham yoğunluğa kıyasla

sinterlenmiş yoğunluk değerleri azalma eğilimi gösterirken Cs-1 referans numunesinde yoğunluk değeri artış göstermiştir. Sinterleme sonrası yoğunluk değeri bu numunede $8,65\text{g/cm}^3$ olarak ölçülmüştür. Yoğunluk değerlerinin özellikle kompozit malzemelerde azalmasının nedeni olarak, ilave edilen katı yağlayıcı BN ve B_4C malzemesinin tane sınırlarında dağılımı ve gözeneklerin küçülmesini durdurucu bir etkisinden dolayı bahsedilebilir. Bu durumda kompozit malzemelerin yoğunluklarında azalma olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun aksine atık talaş olarak öğütülen ve başlangıç matrisi olarak kullanılan saf CuSn10 malzemesinde sinterleme sonrası yoğunluk değerinin arttığı tespit edilmiştir. Yoğunluk değerlerinin sinterleme işlemi sonrasında artmasının nedeni toz metalürjisi prosesi ile üretilen kompozit malzemelerde gözenekler (boşluklar) bulunmasıdır. Genellikle toz metalürjisi ile üretilen kompozit malzemelerin presleme işlemi sonrası yoğunluklarının düşük olduğu görülmektedir. Akabinde uygulanan sinterleme işlemi gözeneklerin küçülerek CuSn10 malzemesinde yoğunluk artışı görülmüştür. Gerek referans numunesinde gerek diğer kompozit numunelerde aynı zamanda nispi yoğunluk ölçüm sonuçları elde edilmiştir (Şekil 7.3). Elde edilen nispi yoğunluk sonuçları incelendiğinde sinterleme işleminin öncülüğünde CuSn10 referans numunesinin yoğunluk değeri diğer kompozit numunelere kıyasla yaklaşık olarak %97 olarak referans numunesinde tespit edilmiştir.



Şekil 7. 3. Nispi yoğunluk ölçüm sonucu

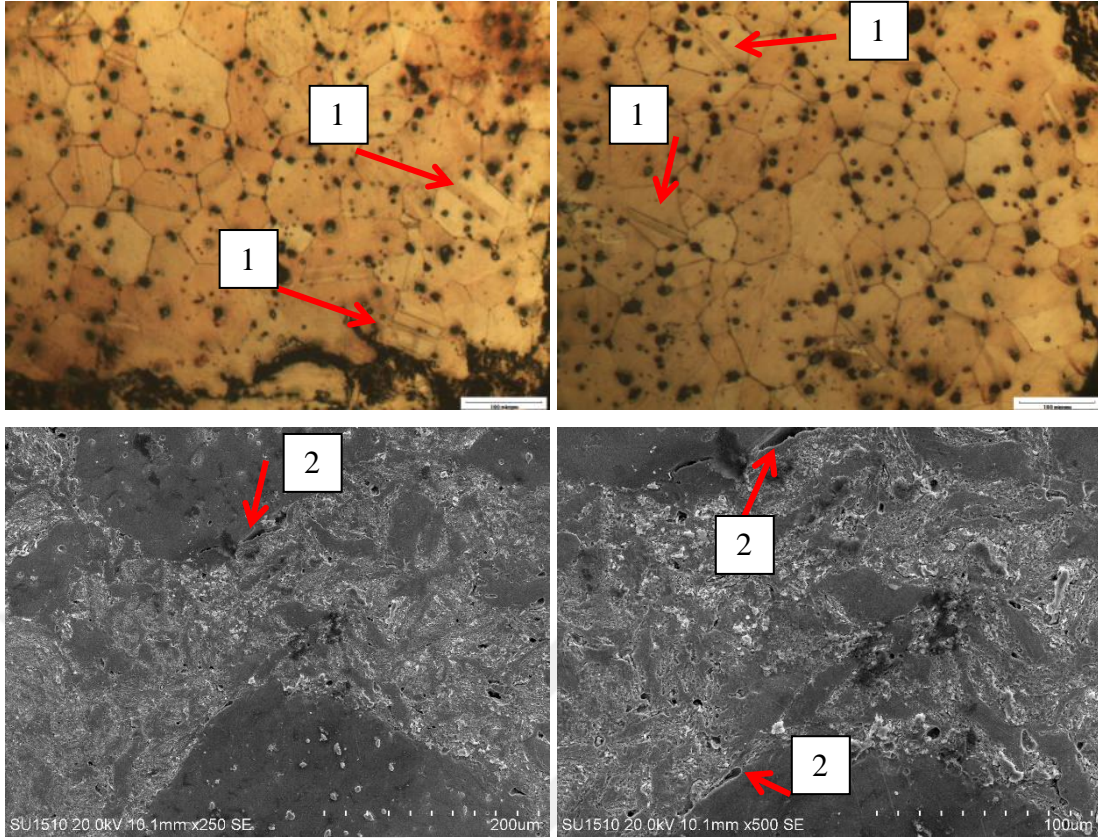
Toz metalürjisi ile üretilen metal matrisli kompozit malzemeler göz önüne alındığında presleme basıncı arttıkça numunedeki gözenekliliğin azalacağı düşünülebilir ancak bunun çok etkili olmayacağı bilinmektedir [40]. Bu durumda B_4C ve BN gibi takviye malzemelerin yapıdaki varlığı sebebiyle, sinterleme sonrası gözeneklerin artışı, tane sınırlarında takviye fazlarının dağılımı bu durumu doğrudan etkilemektedir. Dolayısıyla üretilen kompozit malzemelerin sinterleme sonrası yoğunluk değerlerinde düşüş olabilmektedir.

7.3. Mikroyapı Sonuçları

Atık talaş malzemesi kullanılarak CuSn10 metal matris yapısında Bornitrür ve farklı Bor karbür takviyesi ile kompozit deney numuneleri üretilmiştir. Bu kapsamda referans malzeme oluşturması ve kompozit deney numunelerine kıyasla CuSn10 malzemesinin sinterleme sonrası mikro yapı görüntüleri (optik mikroskop ve SEM) Şekil 7.4' te gösterilmiştir.

Şekil 7.4' te verilen CuSn10 malzemesinin mikro yapı görüntüleri incelendiğinde, saf CuSn10 yapısı ve ikiz kristal oluşumlarının (1 nolu bölge) yer aldığı tespit edilmiştir. Aynı zamanda Sinterlenmiş CuSn10 mikroyapısında $\alpha+\delta$ ötektoid inklüzyonlarının yer aldığı görülebilmektedir. Malzeme yoğunluk değerleri ile de optik mikroskop mikro yapı görüntüleri kıyaslandığında malzemede gözenek morfolojisinin oldukça az ve sinterleme mekanizmasının olumlu seyri anlaşılabilir. Bu durum Sem görüntüleri de incelendiğinde paralellik arz etmekte ancak nadir de olsa gözenek oluşumlarının da yer aldığı tespit edilmiştir (2 nolu bölge).

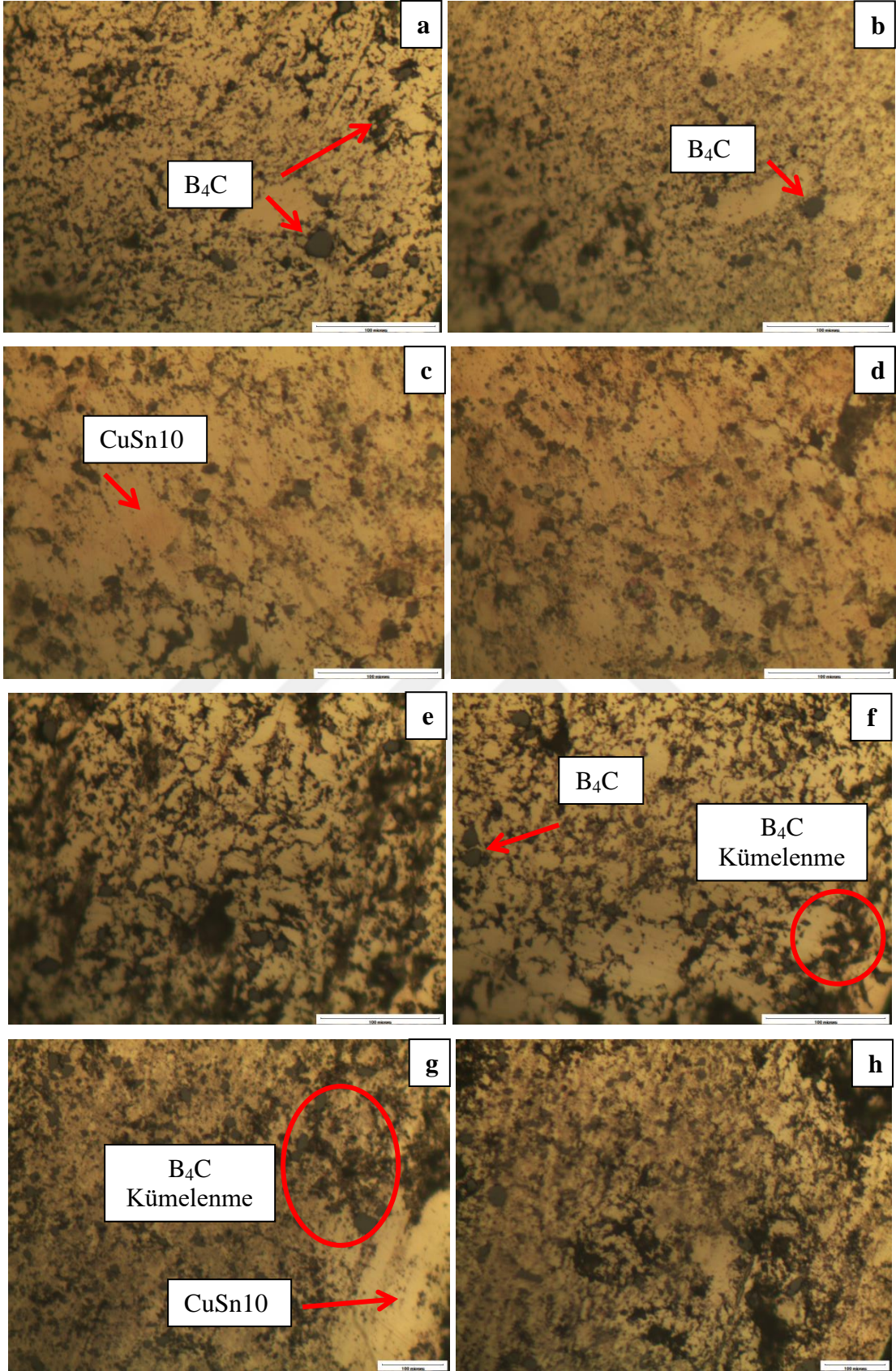
CuSn10 malzemesine bor nitrür ve bor karbür takviyesi yapılarak üretilen kompozit deney numunelerinin optik ve SEM mikroyapı görüntüleri ise sırasıyla Şekil 7.5 ve Şekil 7.6' te gösterilmiştir.



Şekil 7. 4. CS-1 deney numunelerinin mikroyapı görüntüleri

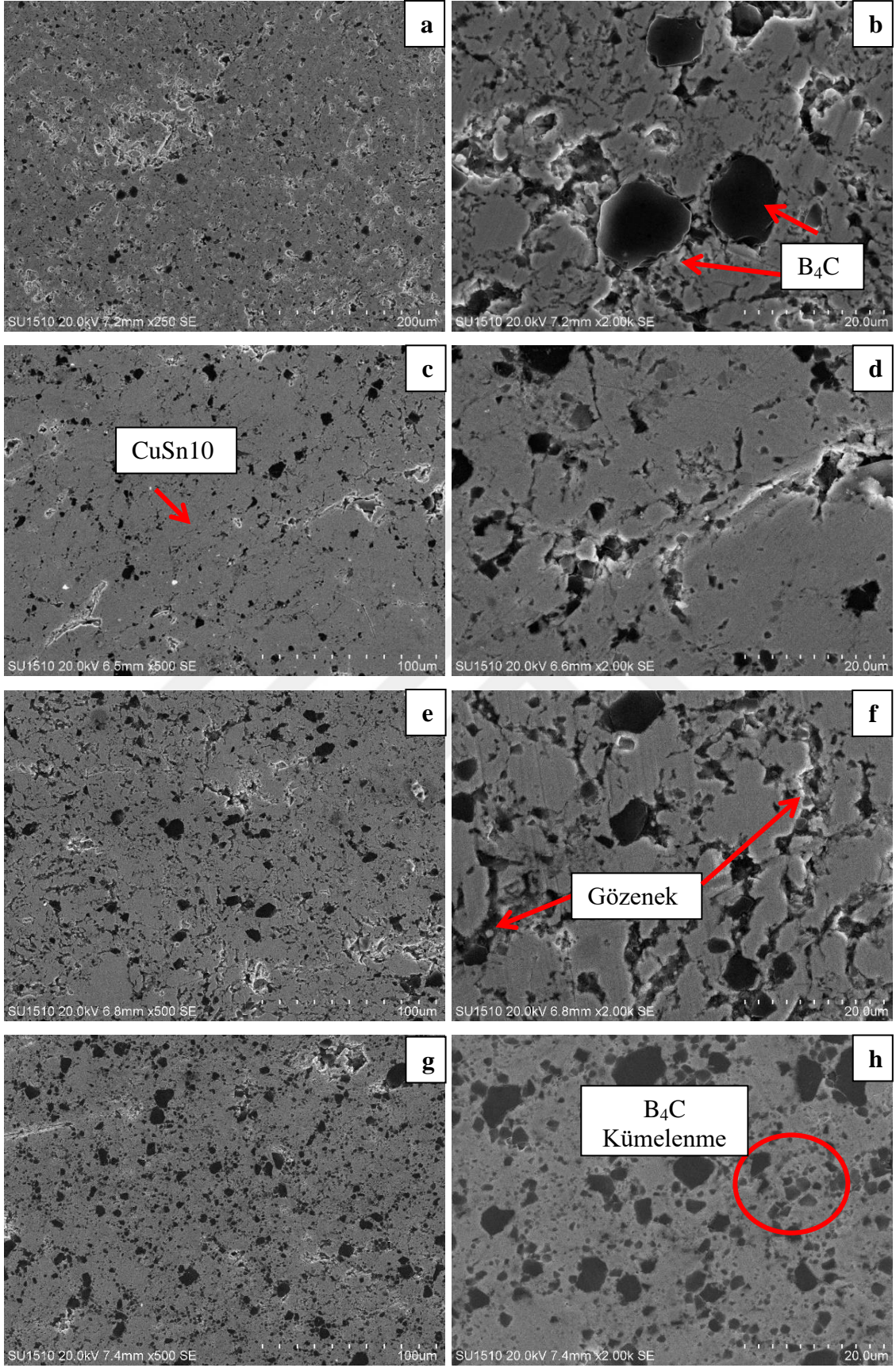
Farklı bor karbür takviye oranları ile hazırlanan kompozit deney numunelerinin gerek optik gerekse Sem mikroyapıları incelendiğinde, artan seramik faz takviye oranına bağlı olarak parçacık takviyesinin yapıda dağılımının artış eğilimi gösterdiği görülebilmektedir. Şekil 7.5' te verilen kompozit deney numuneleri mikroyapılarında zeminde yer alan sarı bölgeler CuSn10 matris fazını tanımlarken, keskin köşeli poligoanal grimsi yapıda yer alan yapı ise B₄C seramik parçacık fazlarının dağılımlarını göstermektedir. Ancak özellikle artan seramik parçacık takviyesi (%10-15) miktarlarında seramik fazın tane sınırlarında toplanma veya kümelenme eğiliminde olduğu görülmektedir.

Çoğunlukla takviye seramik parçacıklarının tane sınırlarında yer aldığı ve CuSn10 referans yapısına kıyasla azalan yoğunluk değerlerinde bu durum mikroyapısal olarak paralellik ortaya çıkarmaktadır. Daha ayrıntı ve detaylı incelemeler açısından kompozit deney numunelerinin SEM görüntüleri alınmıştır. Şekil 7.6' teki SEM görüntüleri incelendiğinde, takviye seramik parçacıklarının dağılımı net bir şekilde görülmektedir.



Şekil 7. 5. Kompozit deney numunelerinin mikroyapı görüntüleri;

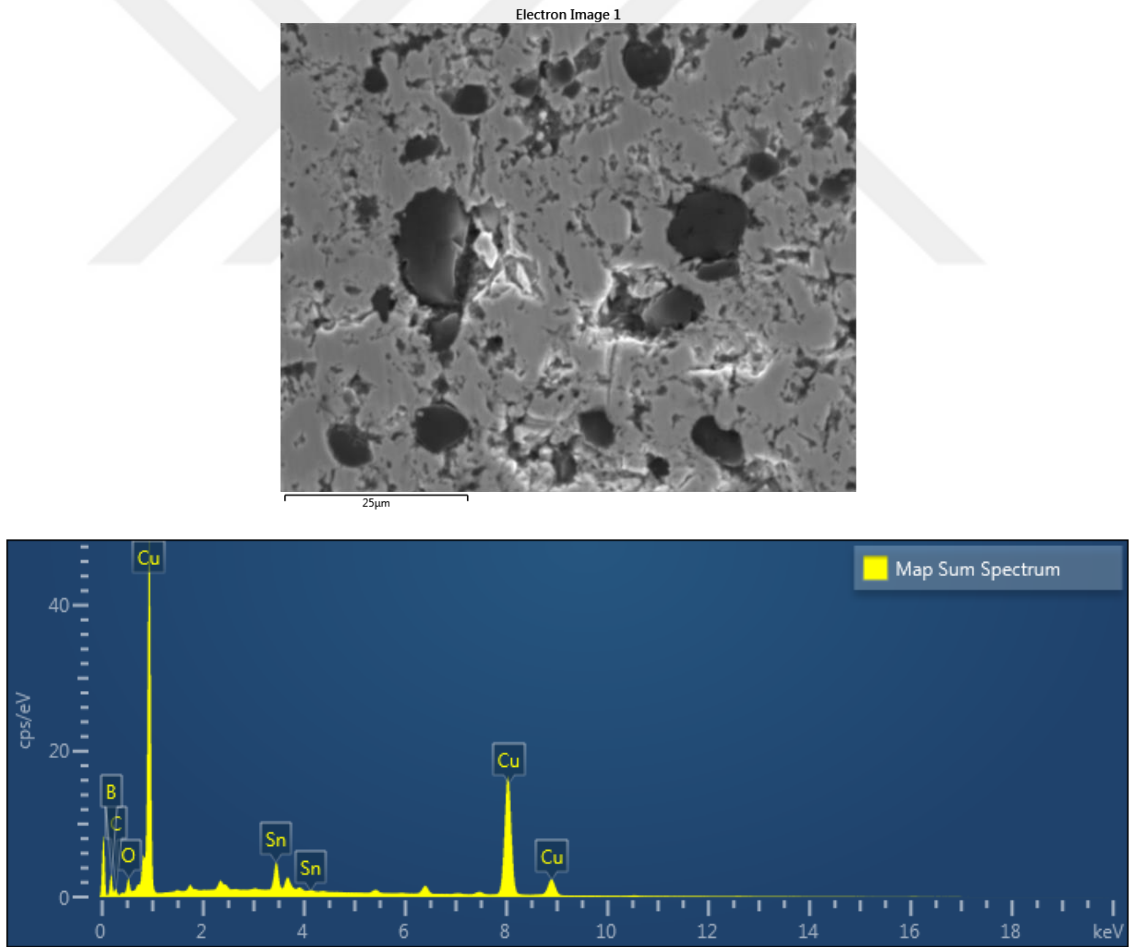
a-b) CS-2, c-d) CS-3, e-f) CS-4, g-h) CS-5



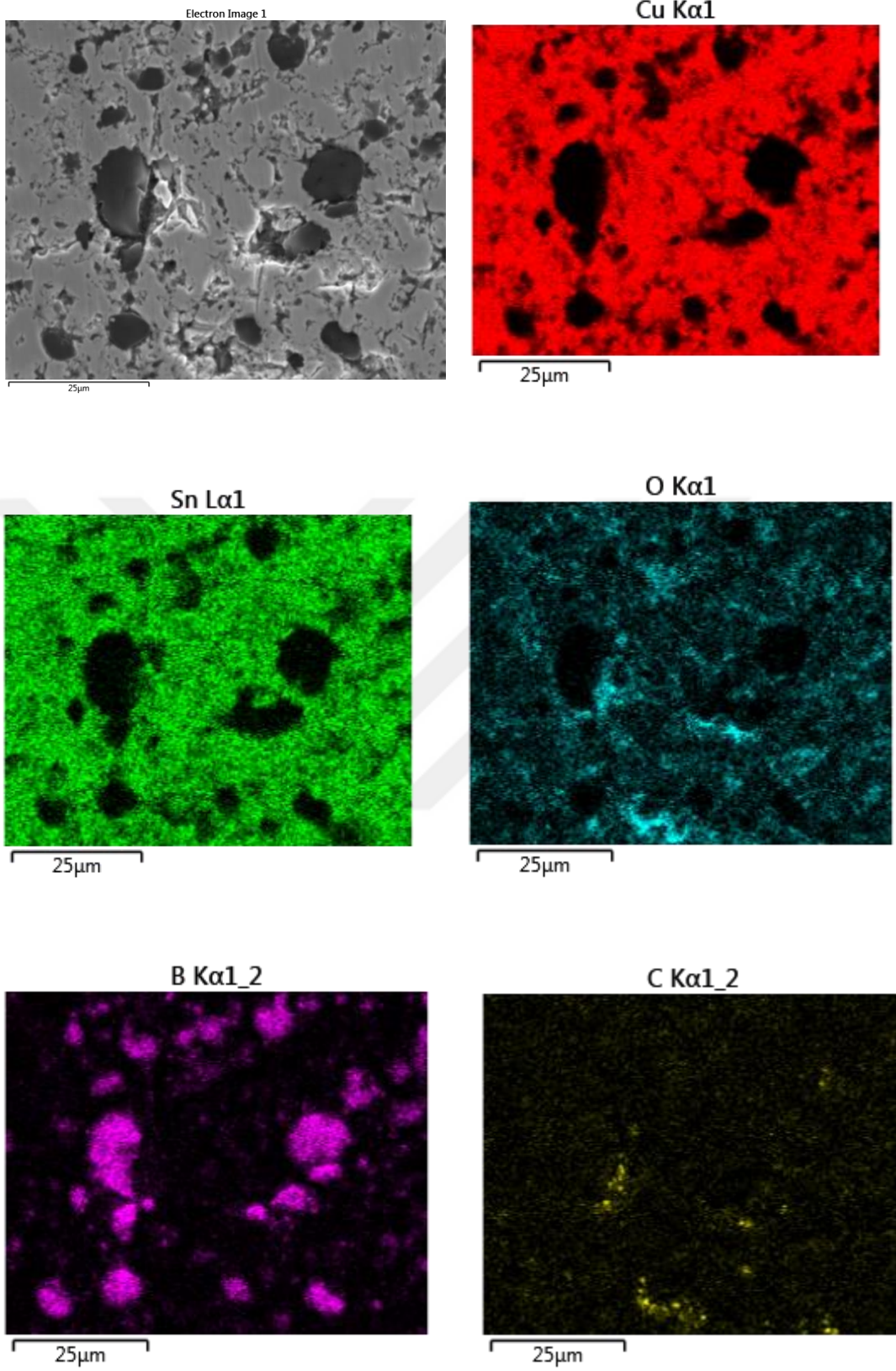
Şekil 7. 6. Kompozit deney numunelerinin mikro yapı görüntüleri;

a-b) CS-2, c-d) CS-3, e-f) CS-4, g-h) CS-5

Şekil 7.6' teki SEM görüntülerinde, poligonal yapıdaki siyah bölgelerde B_4C seramik parçacıklarını tanımladığı ve özellikle tane sınırlarında dağılım gösterdiği belirlenmiştir. Artan seramik faz takviye miktarına bağlı olarak mikroyapıda homejen dağılım gösterdiği tespit edilmiştir. Ancak bazı bölgelerde az da olsa seramik parçacık aglomerasyonları ortaya çıkmaktadır. Bu durumda gözeneklerin küçülmesi ve tane birleşmesi ve akabinde yüksek sıcaklık dayanımı açısından sinterlenmeyi olumsuz etkilediği düşünülmektedir. Bu sonuç doğrudan elde edilen yoğunluk sonuçları ile de örtüşmektedir. Kompozit deney numuneleri içerisinde %10 B_4C takviyeli (CS-4) numunenin genel EDS analizi ve elementel harita dağılımları sırasıyla Şekil 7.7 ve Şekil 7.8' de gösterilmiştir. Şekil 7.7' de verilen genel EDS analizi incelendiğinde, analiz sonucunun matris ve takviye faz bileşenlerini tanımladığı görülmektedir. Ayrıca Şekil 7.8' de ise bu elementlerin dağılımları farklı renklendirmeler ile ortaya çıkarılmıştır.



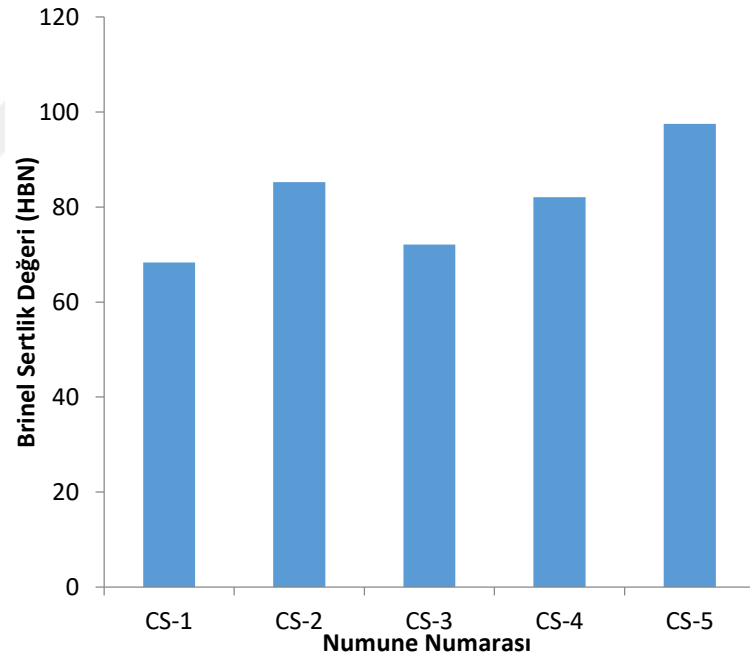
Şekil 7. 7. CS-4 deney numunesinin genel EDS analizi



Şekil 7. 8. CS-4 deney numunesinin elementel haritası

7.4. Sertlik Sonuçları

Toz metalürjisi yöntemi kullanılarak CuSn10 metal matris yapısında farklı oranlarda B₄C seramik takviyesi kullanılarak üretilen kompozit deney numunelerinin ve saf CuSn10 malzemesinin karşılaştırması Brinell sertlik sonuçları Şekil 7.9’ da gösterilmiştir. Kompozit deney numunelerine kıyasla referans teşkil etmesi sebebiyle presleme ve sinterleme işlemlerini takiben CuSn10 malzemesinin sertlik değeri 68,32 HBN olarak ölçülmüştür. Yapılan benzer bir çalışmada sinterlenmiş bronz esaslı kompozit malzeme üretimi çalışmalarında elde edilen CuSn10 sertlik değeri ise 60HBN olarak ölçmüşlerdir. Artan seramik faz takviye miktarına bağlı olarak CuSn10 malzemesine kıyasla ürettikleri kompozit malzeme sertlik değerlerinin 1,2-1,6 kat daha artı gösterdiğini belirtmişlerdir [41].



Şekil 7. 9. Deney numunelerinin sertlik sonuçları

Bu doğrultuda CuSn10 matris malzemesine kıyasla B₄C takviyesi üretilen kompozit deney numunelerinde sertlik değerlerinin artış gösterdiği tespit edilmiştir. En yüksek sertlik %15 B₄C takviyesi ile üretilen kompozit deney numunesinde elde edilmiş ve bu sertlik değeri 97,52 HBN olarak ölçülmüştür. Burada yola çıkılarak CuSn10 malzemesinin sertlik değeri yaklaşık 1,5 kat daha artış göstermiştir.

8.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

8.1. Sonuçlar

CuSn10 atık talaşları kullanılarak metal matrisli kompozit malzeme üretimi yapılan bu tez çalışması kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir;

1. Sinterleme işlemi sonrası genelde malzeme yoğunluklarında bir artış durumu olması beklenirken, yapılan tez çalışmasında yoğunluk değerinin azaldığı tespit edilmiştir. Bu durumun sebebi gözeneklerin küçülmesini durduran bir etki yapan, CuSn10 matrisli kompozit malzeme içerisindeki diğer takviye elemanlarından kaynaklandığı gözlemlenmiştir.
2. En yüksek nispi yoğunluk değeri takviye olmadan üretilen Cusn10 deney numunesinde %97 olarak tespit edilmiştir.
3. Mikro yapı görüntüleri incelendiğinde beklenen saf CuSn10 yapısı ve ikiz kristal oluşumları olduğu ve sinterlenmiş CuSn10 mikroyapısında $\alpha+\delta$ ötektoid inklüzyonlarının olduğu görülmektedir.
4. Mikroyapı görüntüleri incelendiği zaman takviye elemanı ve katı yağlayıcı olarak kullanılan malzemelerin homojen olarak yayıldığı görülmektedir.
5. Özellikle kompozit deney numunelerinde çoğunlukla tane sınırlarında kümelenme eğiliminde olan B₄C seramik parçacıklarının varlığı mikroyapı incelemeleri ile tespit edilmiştir. Bu durumun kullanılan B₄C seramik parçacıklarının nano boyuta yakın olarak kullanılmasından kaynaklı olduğu düşünülebilir.
6. Üretilen kompozit malzemenin genel ve bölgesel EDS analizleri incelendiğinde, kompozit deney numunelerinin yapısında yer alan kimyasal malzeme bileşimlerinin matris ve takviye yüzde değerlerinin tanımlar nitelikte olduğu belirlenmiştir.

7. Elde edilen kompozit numunelerin yüzey sertlik değerleri Brinell sertlik ölçme yöntemi ile ölçülmüş olup elde edilen sonuçlar incelendiği zaman takviye elemanının artması ile sertlik değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir.
8. Yapılan tez çalışmasında en yüksek sertlik değeri referans CuSn10 numunesine kıyasla yaklaşık 1,5 kat artış göstererek 97,52HBN olarak %15 B₄C takviyesi içeren metal matrisli kompozit deney numunesinde elde edilmiştir.

8.2. Öneriler

CuSn10 talaşları kullanılarak kompozit malzeme üretimi yapılan bu tez çalışması kapsamında elde edilen sonuçlar göz önünde bulundurularak bir sonraki yapılacak olan çalışmalarda aşağıda belirtildiği gibi çalışmalar yapılabilir.

1. Takviye elemanı olarak B₄C yerine farklı seramik takviye elemanları tercih edilebilir.
2. Numunelerin Preslenmesi işlemi soğuk presleme işlemi yerine sıcak presleme işlemi ile yapılabilir.
3. Katı yağlayıcı BN yerine olarak farklı katı yağlayıcı malzemeler kullanılabilir.
4. Yapılan bu tez çalışmasında kullanılan matris eleman atık CuSn10 talaşları yerine, farklı bakır esaslı matris malzemeleri kullanılabilir.

9. KAYNAKLAR

- [1] Bolay, K.A., (1998). Microstructural Study of Hot Pressed PM Aluminum-Copper and Aluminum Copper Siliconcarbide Composites, M. Sc. Thesis, METU, Ankara
- [2] İnternet: (2003), TTMD – Türk Toz Metalurjisi Derneği Online Yayını “Toz Metalurjisi”, Türk Toz Metalurjisi Derneği, Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, www.turktoz.gazi.edu.tr, Ankara.
- [3] Roll, K.H., (1984), “History of Powder Metallurgy”, Metals Handbook, 9th edition, ASM. Metal park, Ohio, 7: 1–110.
- [4] German, R.M., (2007), Toz Metalürjisi ve Parçacıklı Malzeme İşlemleri, Çeviri Editörleri: S.Sarıtaş, M.Türker, N.Durlu, Ankara, Pp:38.
- [5] Karadağ, H.B., (2012), Çelik/Bronz Talaş Kompozitin Üretimi ve Mekanik Özellikleri, (Doktora Tezi), Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Konya.
- [6] Öztürk, S., (2015), Toz Metalurjisi Deneyi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Laboratuar Föyü, Trabzon.
- [7] Atik, E., (2005), Demir esaslı toz metal parçaların borlamayla yüzey performansının artırılması, 4. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı, 1032-1039, Sakarya.
- [8] Yılmaz, S. S., Varol, R., Kurgan, N., (2005), Yüzey sertleştirme işlemlerinin demir esaslı T/M numunelerin mekanik özelliklerine etkisi, 4 .Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı, 832-84, Sakarya.
- [9] Canaran, M., (2002), Mekanik Alaşımlamanın Volfram Ağır Alaşımlarının Yüksek Sıcaklık Sinterleme Davranışlarına Olan Etkilerinin İncelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- [10] Uygur, E.M., (1979), Metal Tozlarının İmali, O.D.T.Ü. Cilt 2, Ankara

- [11] Turan, P., (2002), W-Ni-B ve W-Ni Ağır Alaşımlarının Karşılaştırmalı Sinterleme Davranışları, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- [12] Sorahi, M., (1988), Toz Metalürjisi, Marmara Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- [13] Evcen, A. , (2007), Toz Üretim Teknikleri Ders Notu.
- [14] Kurtoğlu, S., (2006), Toz Metalürjisi Üretim Ve Uygulama Yöntemleri, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Karabük Teknik Eğitim Fak. Mezuniyet Tezi, Zonguldak.
- [15] Aricasoy, O., (2006), “Kompozit Sektör Raporu”, İstanbul Ticaret Odası,
- [16] Donald, R.A., (1988), Composite Metarials, The Science and Engineering of Metarials, SI Edition, Van Nostrand Reinhold.Co.Ltd., 507-546.
- [17] Hashim, J., Looney, L., Hashmi, M.S.J., (1999), Metal matrix composites production by stir method, Journal of Material Process Technology, 1, 92-93.
- [18] Xie G.L., Sheng H., Han J.T. and Liu J., (2010), Fabrication of high chromium cast iron/low carbon steel composite material by cast and hot rolling process, Materials & Design, 30 (306), 2–6.
- [19] Agarwal, B.D., Broutman, L.J., (1980), Analysis and performance of fiber composites, John Wiley & Sons, A.B.D..
- [20] Evans, A., San Marchi, C., Mortensen, A., (2003), Metal Matrix Composites in Industry, 9-38.
- [21] Clyne, T. W., (2001), Metal matrix composites: matrices and processing, Encyclopaedia of Materials: Science and Technology, Elsevier.

- [22] Clyde, S., (2018) Metal recovery from industrial waste, Brooks.
- [23] Canakci1, A., Varol, T., Cuvalci, H., Erdemir, F., Ozkaya, S., Yalcın, E.D., (2014), Synthesis of novel CuSn10-graphite nanocomposite powders by mechanical alloying, *Micro & Nano Letters*.
- [24] Ünlü, B.S., Köksal, N.S., Atik, E., Meriç, C., (2005), Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 11, Sayı 1,Sf 41-45, Pamukkale.
- [25] Jie, X., Limin, W., Sha, P.P., Si, S., (2008), Study on Hot Press Sintering Behavior and Properties of CuSn10 Bronze Powder, <https://www.cnki.com.cn/Article/CJFDTotol-FMYG200803005.htm> , China.
- [26] Mironovs, V., Stankevics, P., Lungevics, J., Lignickis, G., (2019), Technological Assessment in Machining of CuSn10-C Powder Parts., *Key Engineering Materials*, vol. 799, Trans Tech Publications, Ltd., Apr. 2019, pp. 116–121. Crossref, doi:10.4028/www.scientific.net/kem.799.116.
- [27] Şahin, Ö.S., Güneş, A., Aslan, A., Salur, E., Karadağ, H.B., Akdemir, A., (2019), Low-Velocity Impact Behavior of Porous Metal Matrix Composites Produced by Recycling of Bronze and Iron Chips, *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Mechanical Engineering* volume 43, pages53–60, Iranian.
- [28] Aslan, A., Salur E., Güneş A., Şahin Ö.S., Karadağ H.B., Akdemir, A., (2018), Production and mechanical characterization of prismatic shape machine element by recycling of bronze and cast-iron chips, *Journal of the faculty of engineering and architecture of gazi university*: 33 pp. 1013-1027, Ankara.
- [29] Li, T., Yi, D., Hu, J., Xu, J., Liu, J., Wang, B., 2017, Surface modification of h-BN and its influence on the mechanical properties of CuSn10/h-BN composites, *Journal of Alloys and Compounds*, Volume 723, , Pages 345-353.

[30] Ünlü, B.S., Atik, E., (2010), Evaluation of effect of alloy elements in copper based CuSn10 and CuZn30 bearings on tribological and mechanical properties, *Journal of Alloys and Compounds* 489 262–268 .

[31] Akın, G., (2006), Toz metalurjisi yöntemiyle alüminyum matrisli bor karbür takviyeli kompozitlerin üretilmesi ve mekanik özelliklerinin incelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek lisans tezi, İstanbul.

[32] Urtekin, L., Ünal, R., Aydın, Ö., (2020), "Toz Üretim Süreçlerinin Yağlamalı Yataklar Üzerine Etkisi", *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi* 11, Diyarbakır.

[33] Atak, Y., (2009), Kendinden yağlamalı grafit katkılı bronz yatakların aşınma davranışının incelenmesi, Gazi Üniversitesi, Yüksek lisans tezi, Ankara.

[34] Pavlovic, M.G., Pavlovic, Lj., J., Ivanovic, E.R., Radmilovic, V., Popov, K., I., (2001), The Effect of Particle Structure on Apparent Density of Electrolytic Copper Powder, *J. Serb. Chem. Soc.* 66 (11-12)923.

[35] German, R.M., (2005), *Powder Metallurgy & Particulate Materials Processing*

[36] Söyler, A.U., (2008), Mekanik Alaşımlama Yöntemleri İle Üretilmiş Al-Fe Tabanlı SiC ve Y₂O₃ Pekiştiricili Kompozitlerin Geliştirilmesi Ve Karakterizasyonu, İstanbul Teknik Üniversitesi □ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[37] Suryanarayana, C., Ivanov, E., Boldyrev, V.V., (2001), The Science and Technology of Mechanical Alloying, *Materials Science and Engineering A*, 304-306: 151-158.

[38] Gökmeşe, H., (2010), Gaz Atomizasyonu Yöntemiyle AA 2014 Alaşım Tozunun Üretimi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.

[39] Baksan, B., Gürler, R., (2004), “Toz metalurjisinin savunma sanayinde uygulanması” Osmangazi Üniversitesi, Metalurji Enstitüsü, Eskisehir.

[40] Taşdöğen H. (2019), Toz Metalurjisi Yöntemiyle Hazırlanan Çelik Malzemede Mikroyapı Ve Darbe Tokluğunun İncelenmesi, Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya.

[41] E. FELDSHTEIN , P. KIEŁEK, T. KIEŁEK (2017), On some mechanical properties and wear behavior of sintered bronze based composites reinforced with some aluminides microadditives, Int. J. of Applied Mechanics and Engineering, 2017, vol.22, No.2, pp.293-302

[42] Lawley, A., 1992, Atomization: The production of metal powders, Metal Powder Industries Federation, Princeton, New Jersey, USA.