



**TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİ İLE SiC  
TAKVİYELİ CUALNİ KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ  
VE KARAKTERİZASYONU**

**HASAN KAÇAN**

**2022  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı  
Prof. Dr. Khangardash ASGAROV**

**TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİ İLE SİC TAKVİYELİ CUALNİ  
KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU**

**Hasan KAÇAN**

**T.C.**

**Karabük Üniversitesi**

**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalında**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı**

**Prof. Dr. Khangardash ASGAROV**

**KARABÜK**

**Ağustos 2022**

Hasan KAÇAN tarafından hazırlanan “TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİ İLE SİC TAKVİYELİ CUALNİ KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Khangardash ASGAROV .....

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Harun ÇUĞ (KBÜ) .....

Üye : Prof. Dr. Khangardash ASGAROV ( KBÜ ) .....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Tayfun ÇETİN (HÜ) .....

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

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ .....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

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

Hasan KAÇAN

## ÖZET

**Yüksek Lisans Tezi**

### **TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİ İLE SİC TAKVİYELİ CU-AL-Nİ KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU**

**Hasan KAÇAN**

**Karabük Üniversitesi**

**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Prof. Dr. Khangardash ASGAROV**

**Ağustos 2022, 47 sayfa**

Toz metalurjisi (TM), alaşımların önemli bir üretim yolu olup, özellikleri ve ekonomikliği açısından da önem taşımaktadır. Bu yöntem, karmaşık ve çok yönlü şekil ve yapıların üretimi için uygundur. Maliyet etkin ve enerji tasarrufu sağlayan yöntemlere yol açtığı iyi bilinmektedir. TM, diğer geleneksel ürün geliştirme ve üretim teknikleri ile karşılaştırıldığında yüksek önem kazanır. Toz metalürjisinde üretilen parçaların gözenekliliği de kontrol edilebilir. Ek olarak, işlem sıcaklığı, elementlerin karıştırılması tozun erime sıcaklığından daha düşüktür. Diğer geleneksel yöntemlere kıyasla karmaşık şekil ve yüksek sıcaklık uygulaması elde edilerek yüksek üretim hızı elde edilebilir. TM, dövme, eritme ve döküm işlemlerine kıyasla daha esnek bir uygulamadır. TM ile yeni kompozitler elde edilerek malzemelere korozyon direnci, aşınma direnci gibi yeni mekanik özellikler kazandırılabilir. Kompozit malzemeler mühendislik uygulamaları içerisinde kendilerine büyük bir yer edinmişlerdir. Dayanım/ağırlık oranının ayarlanabilir

olmasıyla daha ince ve daha hafif kompozitlerin geliştirilmesi neticesinde üretim ve işletme giderlerinin birim maliyetinin düşürülmesi sağlanmaktadır. Hafiflik ve sağlamlık oranı açısından başarılı uygulamalarda kullanılan CuAlNi alaşımları ile çok iyi mekanik özelliklere sahip kompozit malzemeler üretilmektedir. Bu çalışmada sabit presleme ve sabit sıcaklıkta sinterlenen CuAlNi ve CuAlNi-SiC alaşımlarının mikroyapı ve mekanik özelliklerini iyileştirmeye çalışılmıştır. Toz metalurjisi yöntemi ile CuAlNi toz karışımına, ağırlıkça farklı oranlarda (%2,5, 5, 7,5 ve 10) SiC tozları mikron seviyesinde takviyesi edilerek, kompozit numuneler üretilmiştir. Hazırlanan tozlar turbula cihazı ile 1 saat süreyle karıştırılmıştır. Karıştırma işlemi sonrasında tozlar sıcak pres ile presleme işlemi yapılmıştır. Sinterleme işlemi, vakum atmosferinde 850 °C sıcaklıkta 1 saat süre ile uygulanmıştır. Üretilen numunelerin mikroyapılarını belirleyebilmek için optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu (SEM-EDS), üretilen numunelerin içyapılarında oluşan fazları belirleyebilmek için X-Işını Kırınım yöntemi (XRD) analizi ve X-Işını Floresansı (XRF) yapılmıştır. SiC ilavesinin sertlik üzerine etkisini belirleyebilmek amacıyla mikrosertlik (HV<sub>5</sub>) alınmıştır. Mikroyapı sonuçlarından, SiC partiküllerinin yapı içerisinde homojen olarak dağıldığı tespit edilmiştir. Üretilen numunelerde artan SiC takviyesine bağlı olarak sertlik değerlerinde artış olmuştur.

**Anahtar Sözcükler** : SiC, CuAlNi, Toz metalurjisi, Kompozit malzemeler.

**Bilim Kodu** : 91437

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **INVESTIGATION OF CHARACTERIZATION AND WEAR PROPERTIES OF SiC REINFORCED CuAlNi COMPOSITE**

**Hasan KAÇAN**

**Karabuk University  
Institute of Graduate Programs  
Department of Mechanical Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Prof. Dr. Khangardash ASGAROV**

**August 2022, 47 pages**

Powder metallurgy (PM) is an important production route of alloys and is also important in terms of its properties and economy. This method is suitable for the production of complex and versatile shapes and structures. It is well known that it leads to cost-effective and energy-saving methods. PM gains high importance when compared to other traditional product development and manufacturing techniques. The porosity of parts produced in powder metallurgy can also be controlled. In addition, the processing temperature is lower than the melting temperature of the mixing powder. Compared to other traditional methods, high production speed can be achieved by achieving complex shape and high temperature application. PM is a more flexible application compared to forging, melting and casting. By obtaining new composites with PM, new mechanical properties such as corrosion resistance and wear resistance can be given to the materials. Composite materials have gained a great place in engineering applications. With the adjustable strength/weight ratio, the unit cost of

production and operating expenses is reduced as a result of the development of thinner and lighter composites. Composite materials with very good mechanical properties are produced with CuAlNi alloys, which are used in successful applications in terms of lightness and strength ratio. In this study, it was tried to improve the microstructure and mechanical properties of CuAlNi and CuAlNi-SiC alloys sintered at constant pressing and constant temperature. Composite samples were produced by the powder metallurgy method by supplementing the CuAlNi powder mixture with SiC powders at different weight ratios (2.5%, 5, 7.5 and 10%) at the micron level. The prepared powders were mixed with a turbula device for 1 hour. After the mixing process, the powders were pressed with a hot press. The sintering process was carried out at 850 °C for 1 hour in a vacuum atmosphere. Optical microscope and scanning electron microscope (SEM-EDS) were used to determine the microstructures of the produced samples, X-Ray Diffraction method (XRD) analysis and X-Ray Fluorescence (XRF) were used to determine the phases formed in the internal structures of the produced samples. Microhardness ( $HV_5$ ) was taken to determine the effect of SiC addition on hardness. From the microstructure results, it was determined that the SiC particles were homogeneously dispersed in the structure. The hardness values of the produced samples increased due to the increasing SiC reinforcement.

**Key Words** : SiC, CuAlNi, Powder metallurgy, Composite materials

**Science Code** : 91437



## TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren sayın hocam Prof. Dr. Khangardash ASGAROV'a sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tez çalıőmamın her aşamasında fikir alışveriőini yaptığım, karşılaőtıęım sorunlara farklı bir bakış açısı ile bakmamı sağlayan değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Tayfun ÇETİN' e, Doç. Dr. Harun UĞ' a, Arő. Gör. Rüstem BİNALİ ve Arő. Gör. Atakan Oğuz OCAK hocalarıma teőekkürü bir borç bilirim.

Son olarak bana gösterdiği sabır, fedakârlık ve desteklerinden dolayı sevgili aileme maddi ve manevi hiçbir yardımını esirgemediğim için tüm kalbimle teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xv
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	3
TOZ METALURJİSİ .....	3
2.1. TOZ METALURJİSİ ÜRETİM TEKNİKLERİ .....	4
2.1.1. Mekanik Yöntemler .....	4
2.1.2. Elektroliz ile Toz Üretim Yöntemi .....	6
2.1.3. Kimyasal Yöntemler ile Toz Üretim Yöntemi .....	7
2.1.4. Atomizasyon Yöntemleri.....	8
2.2. TOZ METALURJİSİ ÜRETİM AŞAMALARI .....	10
2.2.1. Karıştırma ve Harmanlama.....	10
2.2.2. Tozların Şekillendirilmesi .....	11
2.2.3. Ekstrüzyon .....	11
2.2.3.1. Tek Yönlü Presleme.....	13
2.2.3.2. Çift Yönlü Presleme.....	14
2.2.3.3. Sıcak Presleme .....	15
2.2.3.4. Sıcak İzo-statik Presleme .....	16

	<b><u>Sayfa</u></b>
BÖLÜM 3 .....	18
KOMPOZİT MALZEMELER.....	18
3.1. KOMPOZİT MALZEMELERİN TANIMI .....	18
3.2. KOMPOZİT MALZEMELERİN AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI .....	18
3.3. KOMPOZİT MALZEMELERİN SINIFLANDIRILMASI.....	19
3.3.1. Elyafı Kompozitler .....	20
3.3.2. Partikül Takviyeli Kompozitler .....	20
3.3.3. Lamine Kompozitler .....	20
3.3.4. Karma Kompozitler .....	20
3.4. KOMPOZİT MALZEMELERİN KULLANIMI .....	21
3.5. SİLİSYUM KARBÜR (SiC).....	21
3.5.1. Silisyum Karbürün Kristal Yapısı .....	22
3.5.2. Silisyum Karbürün Üretimi .....	23
3.5.3. Silisyum Karbürün Kullanım Alanları.....	25
BÖLÜM 4 .....	27
DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	27
4.1. DENEYSEL YÖNTEM .....	27
4.1.1. Numunelerin Hazırlanması.....	28
4.1.2. Numunelerin Mikroyapı İncelemesi .....	29
4.1.3. Numunelerin Mikrosertlik Ölçümü .....	31
BÖLÜM 5 .....	32
DENEYSEL SONUÇLAR .....	32
5.1. NUMUNELERİN OPTİK MİKROSKOP VE SEM GÖRÜNTÜ SONUÇLARI .....	32
5.2. NUMUNELERİN EDS ANALİZ SONUÇLARI .....	34
5.3. NUMUNELERİN XRF VE XRD ANALİZ SONUÇLARI .....	37
5.4. NUMUNELERİN MİKROSERTLİK ANALİZ SONUÇLARI .....	39
BÖLÜM 6 .....	41
GENEL SONUÇLAR .....	41

	<b><u>Sayfa</u></b>
KAYNAKLAR .....	43
ÖZGEÇMİŞ .....	47

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2.1. Öğütme işleminin şematize edilmiş görünümü.....	5
Şekil 2.2. Darbeli üretimin şematik görünümü .....	6
Şekil 2.3. Mekanik alaşımlamanın şematik görünümü .....	6
Şekil 2.4. Elektroliz bölümünün (Fe ve Cu) şematik görünümü .....	7
Şekil 2.5. Dikey gaz atomizasyonu şematik görünümü .....	9
Şekil 2.6. Santrifüj atomizasyonu yönteminin şematik görünümü .....	11
Şekil 2.7. Tozların karıştırıldığı turbula.....	11
Şekil 2.8. Ekstrüzyon işleminin şematik görünümü .....	12
Şekil 2.9. Haddeleme işleminin şematik görünümü.....	12
Şekil 2.10. Tek yönlü preslemede yoğunluk dağılımı ve kalıp şematik görünüm.....	14
Şekil 2.11. Çift yönlü preslemenin ve yoğunluk dağılımının şematik görünümü .....	14
Şekil 2.12. Sıcak preslemenin şematik görünümü .....	15
Şekil 2.13. Sıcak izo-statik presleme .....	17
Şekil 3.1. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması .....	19
Şekil 3.2. SiC'nin kristal yapısı .....	22
Şekil 3.2. SiC'nin SEM görünümü .....	23
Şekil 3.3. Silisyum ve karbonun faz diyagramı .....	23
Şekil 4.1. Turbula.....	28
Şekil 4.2. Sıcak presleme makinesi.....	29
Şekil 4.3. Deney numunelerinin preslemeden sonra makro görünümü .....	29
Şekil 4.4. NIKON Optik Mikroskop .....	30
Şekil 4.5. CARL ZEISS ULTRA PLUS GEMINI FESEM analiz cihazı.....	30
Şekil 4.6. Rıgaku XRD(a) ve XRF(b) analiz cihazları.....	31
Şekil 4.7. QNESS Q10 A+ sertlik ölçüm cihazı .....	31
Şekil 5.1. CuAlNi matris yapısına sahip saf numunenin optik ve SEM görüntüleri .	32
Şekil 5.2. %2,5 SiC içeren malzemenin optik ve SEM görüntüleri.....	33
Şekil 5.3. %5 SiC içeren malzemenin optik ve SEM görüntüleri.....	33
Şekil 5.4. %7,5 SiC içeren malzemenin optik ve SEM görüntüleri.....	33

## **Sayfa**

Şekil 5.5. %10 SiC içeren malzemenin optik ve SEM görüntüleri .....	34
Şekil 5.6. CuAlNi kimyasal bileşime sahip numunenin EDS analiz sonucu .....	35
Şekil 5.7. %2,5 SiC ilave edilmiş CuAlNi numunesinin SEM-EDS analiz sonucu.	36
Şekil 5.8. %5 SiC ilave edilmiş CuAlNi numunesinin SEM-EDS analiz sonucu....	37
Şekil 5.9. %7,5 SiC ilave edilmiş CuAlNi numunesinin SEM-EDS analiz sonucu.	37
Şekil 5.10. %10 SiC ilave edilmiş CuAlNi numunesinin SEM-EDS analiz sonucu .	38
Şekil 5.11. XRD deney sonucu .....	39
Şekil 5.12. CuAlNi ve SiC takviyesine sahip CuAlNi numunelerinin mikrosertlik sonuçları .....	40

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 3.1. SiC bazı özellikleri.....	22
Çizelge 3.2. Üretim şekillerine göre SiC kullanım alanları .....	26
Çizelge 4.1. CuAlNi % kimyasal bileşimi .....	27
Çizelge 4.2. Üretim parametreleri.....	27
Çizelge 5.1. XRF analizi sonucu.....	38

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### KISALTMALAR

Al	: Alüminyum
C	: Karbon
Cu	: Bakır
Fe	: Demir
Ni	: Nikel
O	: Oksijen
Si	: Silisyum
µm	: mikrometre
SiC	: Silisyum karbür



## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Alaşım malzemelerin bazıları sıcaklık ve gerilme değişimlerinin etkisiyle şekillerini değiştirmeleri ve deformasyon vasıtasıyla esas şekillerini geri kazandıkları bir olgu olan şekil hafıza etkisi, günümüzde endüstride yaygın bir biçimde kullanılmaktadır. Bu olgu, farklı özellikleri ihtiva eden numunelerin üretilmesi olasılığını arttırmasıyla çok çeşitli uygulamaları kapsamaktadır [1, 2]. Olgu ilk olarak 1938 yılında incelenmiştir. Pratikteki ilk uygulama ise 1963 yılında Ni-Ti alaşımında yapılmıştır [3].

Günümüzde uygulanan yöntemlerin arasında toz metalurjisi (TM) vasıtasıyla hazırlanan CuAlNi alaşımları dikkat çekmektedir. Bu alaşımın kimyasal bileşiminin kontrolü TM ile sağlanabilmektedir. TM, talaşlı imalat, döküm, soğuk ve sıcak presleme gibi imalat metotlarına alternatif imalat yöntemi olarak geliştirilmiştir. TM yönteminin kullanılmasıyla kompozit malzemeler imal edilerek korozyon ve aşınma direnci, yüzey sürtünmesi ve gerilimi gibi malzeme özellikleri geliştirilebilir. Mühendislik uygulamalarında kompozitler malzeme gruplarının arasında önemli yere sahiptir. Bunun sebebi kompozitlerle mukavemet-ağırlık oranı arttırılabilir ve daha ince ve hafif malzemelerin geliştirilebilmesi, üretim ve işletme maliyetleri azaltılabilir. Mukavemet ve hafifliği bakımından başarılı olan CuAlNi alaşımlarıyla mekanik özelliklerinin çok iyi olduğu kompozit malzemelerin üretimi yapılabilmektedir. Bu kapsamda tez çalışmasının amacı, TM ile üretilecek CuAlNi alaşım malzemesinin mikroyapı ve mekanik özelliklerine SiC takviyesinin etkisinin araştırılmasıdır.

CuAlNi ve alaşımlarının, mükemmel ısı direncine, korozyon direncine, tokluğa ve mukavemete sahip olması sebebiyle başlıca otomotiv, havacılık ve biyomedikal gibi alanlarda tercih edilmektedir [4-6]. Bunun yanı sıra makine ekipmanlarında, inşaat malzemelerinde, tıbbi cihazlar gibi endüstri uygulamalarında, elektronik cihazlarda,

ve telefon antenleri gibi günlük hayatın kolaylaştırılmasını sağlayan pek çok alanda kullanım alanı bulunmaktadır [7, 8]. Kullanım alanının geniş olmasında rağmen CuAlNi ve alaşımlarının endüstri uygulamalarında mekanik özellikleri ve içeriği bakımından problemler meydana gelebilmektedir [9]. CuAlNi alaşımının mekanik özelliklerinin yeterli düzeyde olmaması sebebiyle iyileştirilmesi maksadıyla TM vasıtasıyla SiC parçacıklarıyla güçlendirilecektir. Üretilcek numunelerin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesiyle sektörde gereksinim duyulan boşluğunda giderilmesi sağlanacaktır.

Çalışma kapsamında CuAlNi alaşımının içerisine farklı oranlara sahip (%2,5, %5, %7,5 ve %10) SiC partikülleri takviye edilerek TM yöntemi vasıtasıyla imalatı amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, öncelikle Cu, Al ve Ni toz karışımı hazırlanarak belirlenen oranlarda SiC partikülleri ilave edilmiştir. Hazırlanan tozlar turbula içerisinde 1 saat karıştırılmıştır. Karıştırma sonrasında tozlar sıcak izo-statik preslemeyle preslenmiştir. Sinterleme işleminden sonra numunelerin metalografik incelemelerinin yapılabilmesi maksadıyla zımparalama, parlatma ve dağlama işlemleri yapılmıştır. Taramalı elektron mikroskopuyla (SEM) mikro yapı görüntüleri elde edilmiştir. Enerji Dispersiv Spektrum (EDS) analiziyle numunelere EDS analizleri yapılmıştır. Deney numunelerinin kimyasal bileşimleri hakkında bilgi sağlayabilmek için XRD ve XRF analizleri yapılmıştır. Bunun yan sıra SiC tozuna bağlı olarak meydana gelen sertlik değerleri mikrosertlik ölçüm yöntemiyle elde edilmiştir. Analizler sonucunda elde edilen bulgular son olarak literatürdeki benzer malzemelerin üzerinden kıyaslanarak değerlendirilmesi yapılmıştır.

## BÖLÜM 2

### TOZ METALURJİSİ

Günümüzdeki toz metalurjisi tarihi, ilk olarak 1829 yılında Wollaston tarafından çözeltilerde platin-amonyak klorür çökmesiyle platin ve sünger tozu kullanılarak nihai ürün olarak sıkıştırılmış platinin üretilmesi olarak kabul görülmektedir. 1980'li yıllarında mekanik alaşımlama, hızlı katılaştırma ve enjeksiyon aşamaları gibi önemli toz işlemlerinin geliştirilmesiyle güncel toz metalurjisi farklı ürün yelpazesine geleneksel üretim yöntemlerinin yerini tutmuştur [10].

Malzeme biliminin üzerine çalışma yapan bilim insanları geleneksel imalat yöntemleri ile imal edilen malzemelerden aranılan özelliklerin tamamının bir arada yer almaması ve üretiminin ekonomik olmaması gibi sebeplerden dolayı daha iyi özelliklere sahip ve daha ekonomik malzeme arayışına gitmişlerdir. Malzemelerden aranılan fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikler, malzemelerin bileşim özellikleriyle belirlenmektedir. Bu nedenle, daha iyi özelliğe sahip malzemelere olan gereksinimler artmıştır. Bu özelliklere sahip malzemelere ihtiyaç nedeniyle metal esaslı tozların önem daha da artmıştır [11]. Genelde esasında demir ihtiva eden malzemelerin imalatı için kullanılan toz metalurjisi yöntemi, otomotiv endüstrisinde çok fazla kullanılmaktadır. Toz metalurjisi, otomotiv endüstrisi dışında da pek çok endüstride yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Örnek olarak havacılık ve uzay endüstrisinin yakıt elemanlarında, roket yakıtlarında, jet motor parçalarında, uçaklardaki fren balatalarında ve yüksek sıcaklıkta kullanılan filtrelerde kullanılmaktadır. Savunma endüstrisindeyse patlayıcıların içinde, silah parçalarında ve zırh delici özelliğine sahip mermi imalatında kullanım alanı bulmaktadır [12].

Toz metalurjisi, çok küçük boyutlara sahip metal ya da seramik partiküllerinin birbirlerine bağlanması ile oluşturulan ürünün nihai haline yakın malzemenin üretilmesidir. Üretim için kullanılan toz partiküllerinin boyutsal büyüklükleri, üretimi

ve malzemelerin kullanımı gibi parametreler, toz metalurjisi yöntemini kapsamaktadır. Toz metalurjisindeki esas amaç, metalik malzemelerin toz haline getirilerek istenilen özelliklerin kazandırılması için uygulanan sinterleme işlemiyle nihai ürünün üretilmesidir [13].

## **2.1. TOZ METALURJİSİ ÜRETİM TEKNİKLERİ**

Dünya genelinde yer alan elementlerin büyük bir çoğunluğu belirli işlemler vasıtasıyla toz haline getirilebilmektedir. Toz metalurjisi ile parça üretiminde elementlerin tozları kullanılmaktadır. Bu toz parçacıkların şekilleri, boyutları ve kimyasal bileşimleri nem teşkil etmektedir. Üretilen tozların boyutları ve geometrileri farklılık göstermektedir. Tozların boyutları, mikroyapıları, geometrik yapıları ve üretim maliyeti gibi özellikleri üretim yöntemine göre farklı olabilmektedir. Tozların üretilmesinde yaygın olarak atomizasyon, öğütme, mekanik alaşımlama, elektroliz ve oksit indirgeme gibi yöntemler kullanılmaktadır. Tozların üretim yöntemlerini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

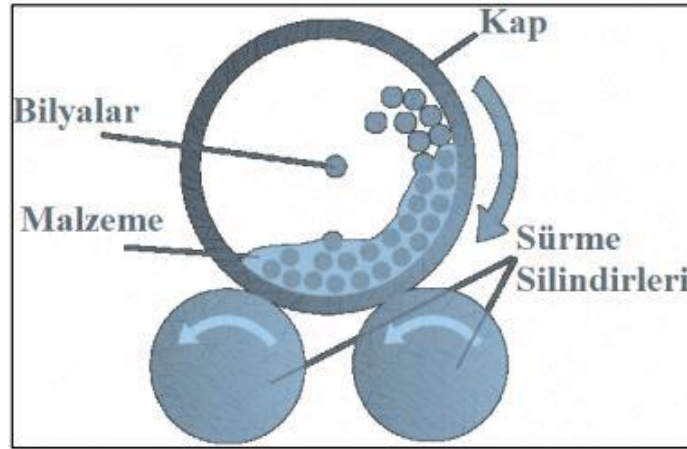
- Mekaniksel yöntemler ile tozların üretimi,
- Elektroliz vasıtasıyla tozların üretimi,
- Kimyasal yöntemlerin kullanılmasıyla tozların üretimi,
- Atomizasyon yöntemleridir.

### **2.1.1. Mekanik Yöntemler**

Malzemelerin üzerine kesme, darbe, basma, aşındırma ve sıkıştırma olarak temelde dört mekanik yöntem uygulanmaktadır. Öğütmeyle bir aşındırmanın ve aşınanın beraber bulunduğu bir sistemde, birbirlerine uyguladıkları sürtünme kuvvetlerinin etkisiyle toz partiküllerinin boyutları azalmaktadır. Talaşlı imalat yöntemleri ile malzemeler kesilerek parçalara ayrılabilir. Malzemelerin üzerine uygulanan anlık darbelerle iri tane yapısına sahip malzemelerin boyutları. Basma kuvvetinin uygulanmasıyla da malzemelerin kırılma noktası aşılıp toz haline gelmektedir [14].

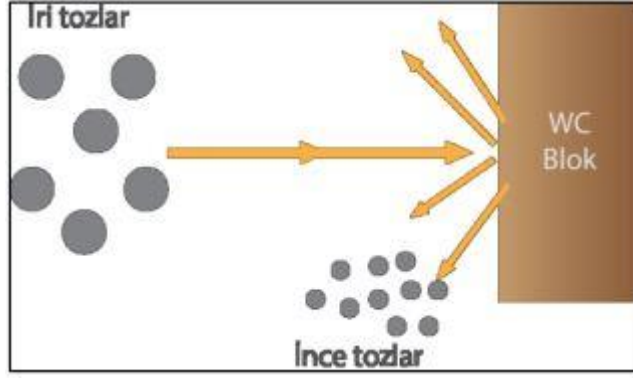
Talaş kaldırma yöntemleri arasında tornalama, frezeleme, delme ve taşlama gibi yöntemler vardır [15, 16]. Bu yöntemler ile karmaşık geometrilere sahip ve büyük boyutlardaki tozların üretimi yapılabilmektedir. Talaşlı imalat yöntemleri sonrasında kalan malzeme ve talaş vasıtasıyla kaba tozların imalatı ve metal tozlarının geri dönüşümü yapılmaktadır. Elde edilen talaşlar çeşitli kimyasalların yardımıyla temizlenerek öğütme işlemine tabi tutulur ve kaba taneler öğütme işlemlerinden geçirilerek ince taneli yapı haline getirilir. Özellikle yüksek karbon oranına sahip çeliklerin üretimi bu şekilde yapılmaktadır [13].

Öğütme işleminde çubuklar, çekiçler ve bilyeler vasıtasıyla mekanik darbe işlemi uygulanarak, metal malzemelerden ince tane yapısına sahip tozların üretimi yapılmaktadır. Talaşlı imalatla ya da diğer darbeli yöntemlerin neticesinde sağlanan kaba tane yapılı toz parçacıklarının boyutlarının küçültülmesinde öğütme yöntemi kullanılmaktadır [17]. Öğütme yönteminin şematik olarak görünümü Şekil 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.1. Öğütme işleminin şematize edilmiş görünümü [18].

Darbe yönteminde istenilen hedef, diğer toz üretimi yöntemleriyle sağlanan istenilen boyuttan büyük toz tane boyutlarının istenen boyuta yaklaştırmaktır. Bu yöntemde istenenden büyük taneye sahip tozlar, yüksek basınç altında sert tungsten bloklarına çarptırılarak işlem yapılmaktadır. Şekil 2.2’de darbeli toz üretiminin şematik görünümü verilmiştir [19].



Şekil 2.2. Darbeli üretimin şematik görünümü [19].

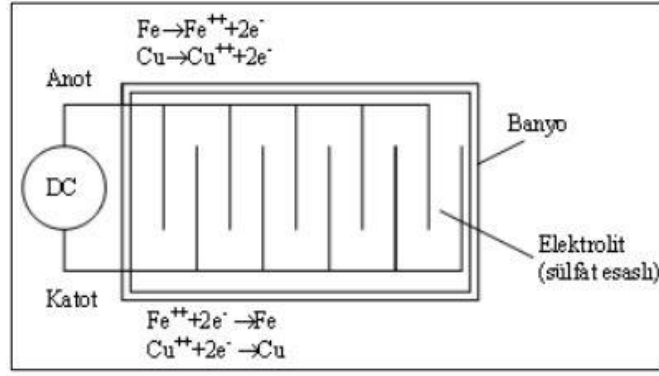
Mekanik alaşımlamada, öğütme bilyeleri, yerleştirildiği kap ve öğütülecek tozların karıştırılması için hareketi sağlayan şaft yer almaktadır. Mekanik alaşımlamada, büyük boyutlara sahip tozlar bilyelerin arasına girerek boyutlarının küçültülmesi istenmektedir. Mekanik alaşımlamanın şematik görünümü Şekil 2.3'te verilmiştir [12].



Şekil 2.3. Mekanik alaşımlamanın şematik görünümü [13].

### 2.1.2. Elektroliz ile Toz Üretim Yöntemi

Elektroliz yöntemiyle presleme, sinterleme ve yüksek iletkenlik kabiliyetine sahip metalik tozlarının üretimi gerçekleştirilmektedir. Özellikle saflık derecesi yüksek Fe, Cu, Mn ve Ag tozlarının üretiminde elektroliz yöntemi tercih edilmektedir. Fe ve Cu için elektroliz bölümünün şematik görünümü Şekil 2.4'te verilmiştir.



Şekil 2.4. Elektroliz bölümünün (Fe ve Cu) şematik görünümü [20].

Üretilmesi istenilen tozların yapısında yer alan malzemeler elektroliz banyosu içine uygun şekilde yerleştirilmektedir. Daha sonra bu banyo içerisine elektrik akımı uygulanmaktadır. Böylece anotta bulunan malzemelerin çözünmesi sağlanmaktadır. Anotta çözünen metal, katodun üzerine tortu halinde birikmektedir. Katodun üzerinde biriken metal toplanarak öğütme işlemiyle toz haline getirilir. Öğütülen tozların üzerinde meydana gelen gerilmeler ve uçucu malzemelerin giderilmesi amacıyla tavlama işlemi uygulanır. Tavlama işlemiyle servis şartlarında oksidasyon oluşumu önlenmektedir [21].

### 2.1.3. Kimyasal Yöntemler ile Toz Üretim Yöntemi

Bu yöntem ile üretilmek istenilen metalik tozları katı, sıvı ve gaz ile uygulanan tepkimeler vasıtasıyla imal edilmektedir. Birçok metalik tozlarının imalatı bu yöntem vasıtasıyla yapılabilmektedir. Tepkimelerde yapılan değişikliklerle toz partiküllerinin boyut ve şekli gibi özellikleri kolay bir biçimde belirlenebilmektedir. Toz kimyasal yöntemi vasıtasıyla pek çok tozun üretimi yapılabilmektedir. Bunların arasında en yaygın ve genel olarak kullanılanları sıvı fazdan çökeltme, oksit indirgeme ve ısı bozunma yöntemleridir [13].

Oksit indirgemeyle metal oksitlerden oksit bağının kesilerek uzaklaştırılmasıyla metal tozlarının üretimi gerçekleştirilmektedir. Manyetik olarak ayrıştırılmış ve öğütülmüş oksit, grafit ve kireç taşı gibi indirgeyici özelliğe sahip malzemelerle beraber karıştırılmaktadır. Karıştırma sonrasında, ısıtma işlemi uygulanmaktadır. Oksit indirgeme yöntemiyle alaşım tozları üretilmemektedir. Bunun yanı sıra oksidin saflık

derecesine göre metalik tozların saflığı doğru orantılıdır. Bu yöntemle toz partiküllerinin boyutsal kontrolü ve parçacıklı toz üretimi yapılabilmektedir [22].

Sıvı fazdan çökeltme yöntemiyle yüksek saflık derecesine sahip tozların üretimi gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemde toz yapısında istenilen özellikte ki malzemeleri ihtiva eden çözelti hazırlanmaktadır. Hazırlanan çözeltiye çöktürme işlemi uygulanarak toz üretilmektedir. Çöktürme işlemi için pek çok yöntem bulunmaktadır. Bunlar, çöktürücü oranının artırılması, sıcaklık ya da basıncın artırılmasıyla çökeltme işlemidir [18].

Kimyasal yöntemlerden biri olan ısı bozunma yönteminde tozlar, buhar bozunması ve buhar yoğunlaştırılmasıyla imal edilmektedir. Bozunma işleminin neticesinde metalik tozlar üretilebilmektedir [22].

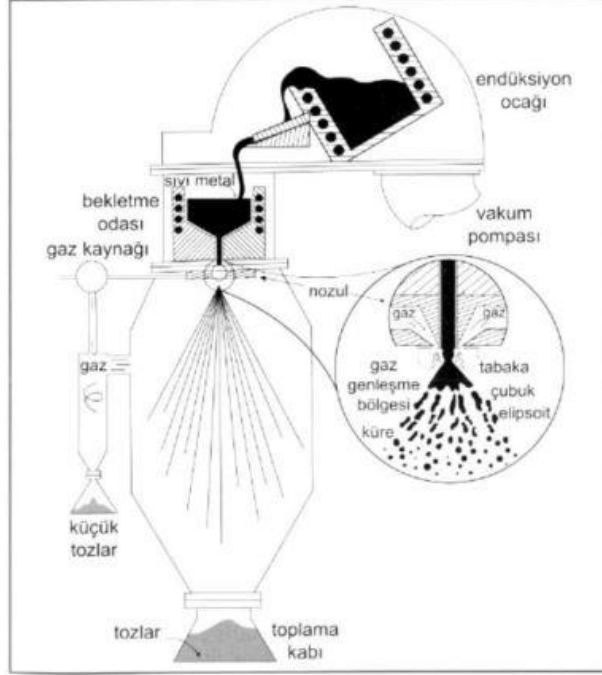
#### **2.1.4. Atomizasyon Yöntemleri**

Günümüzde metalik toz üretiminin büyük çoğunluğu, atomizasyon yöntemlerinin kullanılmasıyla yapılmaktadır. Bu yöntem, eritilen metal potadan akıtılarak basınçlı sıvı ya da gazın püskürtülmesiyle sıvı damlacıkları haline getirilmesidir. Bu yöntem vasıtasıyla 150 µm' den daha küçük, farklı boyutlara ve şekillere sahip tozlar üretilmektedir. Atomizasyon yöntemi tozların kimyasal yapısının, biçiminin ve boyutlarının kontrol altında yapılabilmesi ve hızlı olması nedeniyle diğer yöntemlere göre daha çok tercih edilmektedir. Bu yöntem içerisinde gaz, su ve santrifüj atomizasyonları gibi yöntemler bulunmaktadır [23].

Gaz atomizasyonu yönteminde argon ve oksijen gibi yüksek hızlı gazların vasıtasıyla toz üretimi yapılmaktadır. Sistem içerisinde gazın yüksek basınç ve hızla çıkışı, sıvı metalle teması, gazın hızlı bir şekilde genişmesi nedeniyle oluşan enerji sıvı metale iletilmektedir. Böylece sıvı metalin damlacık biçiminde parçalanarak katılaşması sağlanır [18]. Nozul olarak adlandırılan gaz üflecinden çıkan gazın, yüksek basınç ve hızının etkisiyle metal genişleme bölgesine çekilir. Gazın hızının ve basıncının artmasıyla meydana gelen damlacıkların boyutları da küçülmektedir [20].



Atomizasyon yöntemi dikey ve yatak olarak sınıflandırılabilir. Dikey atomizasyonda düşük sıcaklıklar uygulanırken yatay atomizasyonda yüksek sıcaklıklar uygulanmaktadır. Dikey gaz atomizasyon sistemi şematik olarak Şekil 2.5'te verilmiştir.

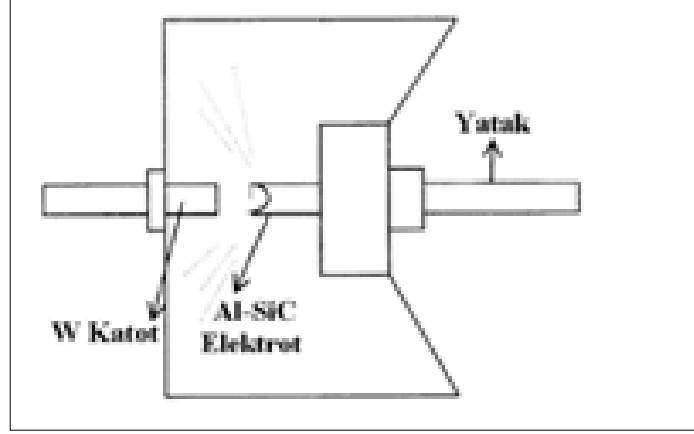


Şekil 2.5. Dikey gaz atomizasyonu şematik görünümü [24].

Su atomizasyonunda ise ergitilen metalin, su ya da yağ jeti vasıtasıyla toz haline getirilmesidir. Bu yöntemde ergime sıcaklığı 1600 °C ya da altı ve reaktiflik özelliği düşük malzemelerde yaygın olarak tercih edilmektedir. Bu yöntemde de gaz atomizasyondaki gibi sistem kullanılmaktadır. Ancak ergitilen metallerin soğuması daha hızlı olması nedeniyle tankın boyutları daha kısadır. Su atomizasyonunda toz yüzeylerinde meydana gelen oksitlerin giderilmesi ve boyut dağılımının istenilen özelliklerde olması için ek işlemler uygulanmaktadır.

Santrifüj atomizasyonu yöntemi, döner bir elektrodun uç tarafında ergitilen metalin, merkez kaç kuvveti vasıtasıyla toz haline getirilmesidir. Bu yöntemle reaktif malzemeler ve ergime sıcaklıkları çok yüksek olan tozlar üretilmektedir [14]. Bu yöntemde üretilecek tozla aynı malzemeden yapılan elektrot ve tungsten elektrot kullanılmaktadır. Ergimeyle beraber dönen mil vasıtasıyla sıvı metal parçalanarak

tankın içerisine toplanmaktadır. Oksidasyonun önlenmesi için vakum ortamında ya da asal gazın kullanılmasıyla atomizasyon [25]. Santrifüj atomizasyonu yönteminin şematik görünümü Şekil 2.6'da verilmiştir.



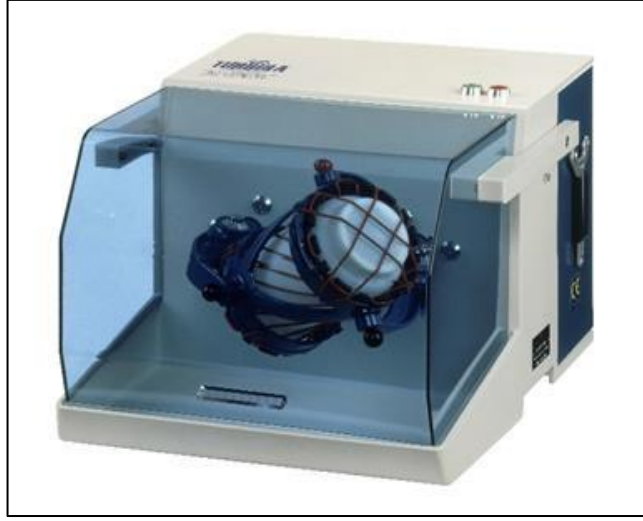
Şekil 2.6. Santrifüj atomizasyonu yönteminin şematik görünümü [26].

## 2.2. TOZ METALURJİSİ ÜRETİM AŞAMALARI

### 2.2.1. Karıştırma ve Harmanlama

Toz harmanlama, birden fazla bileşen ihtiva eden tozlar için yapılmaktadır. Karıştırma işlemiyle genelde bir bileşen ihtiva eden karışımlar için kullanılmaktadır. Karıştırma işleminin en iyisi, karıştırılacak toz hacminin, karıştırıcı hacminin %50-60'ı arasında olduğu zaman oluşmaktadır. Karıştırma süresi bakımından ise genelde 5-30 dakika arasında karıştırma uygundur [27].

Metal tozlar karıştırılırken genelde çift konili ve borulu karıştırıcılarda V ya da Y karıştırıcıların kullanılmasıyla yapılır. Tozların karıştırıldığı turbula Şekil 2.7'de verilmiştir. Karıştırma sonrasında toz partikülleri kırılır, küresel hale gelir ve plastik deformasyona uğramış olur. Böylece tozun sıkıştırılabilirlik özelliğinde azalma meydana gelir [28].



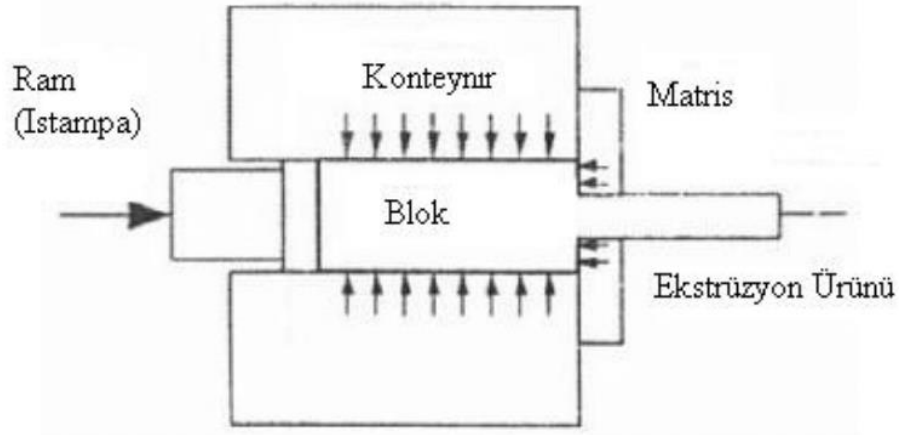
Şekil 2.7. Tozların karıştırıldığı turbula.

### 2.2.2. Tozların Şekillendirilmesi

Tozların şekillendirilmesi esnasında, toz yoğunlukları görünür yoğunluğa eşit kabul edilmektedir. Tozlar için uygulanan basıncın artırılmasıyla toz tanelerinin arasındaki noktasal temas bozularak basınç artışına bağlı olarak gözeneklilik miktarında düşüş meydana gelir. Bunun yanı sıra basınç artmasına bağlı olarak yoğunluk oranıyla plastik deformasyonda artış oluşur [31]. Tozlar istenilen nihai ürün haline getirilirken haddeleme, ekstrüzyon ve presleme işlemleri kullanılmaktadır.

### 2.2.3. Ekstrüzyon

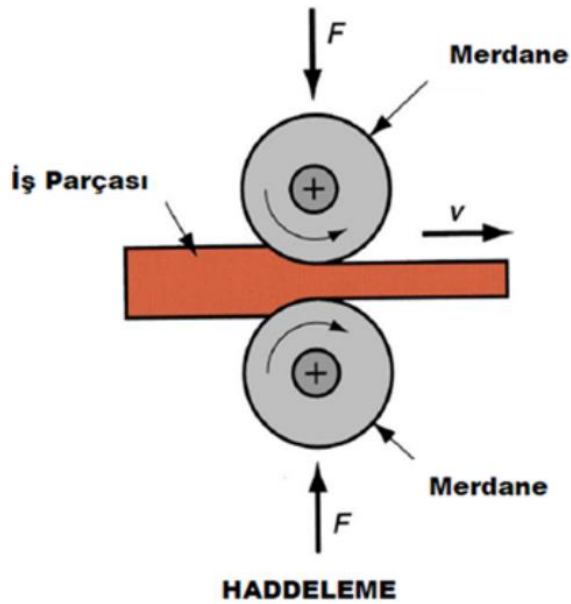
Ekstrüzyon işlemi, toz karışımlarının yüksek kuvvet altında preslenerek yapılan şekillendirme işlemine denir. Ekstrüzyon işleminin şematik görünümü Şekil 2.8'de verilmiştir. Genelde uzun çubuk biçiminde ya da boru şeklinde üretilecek nihai ürünler periyodik olarak kesilerek seri imalat yapılan yerlerde uygulanmaktadır [22].



Şekil 2.8. Ekstrüzyon işleminin şematik görünümü.

#### 2.2.4. Haddeme

Malzemelerin kendi eksenini etrafında zıt yönlerde ve eşit hızlarda dönen iki adet merdane arasında geçirilerek üretilmesi işlemine haddeme denir. Haddeme işleminin şematik görünümü Şekil 2.9'da verilmiştir. Bu yöntemde malzeme üzerinde sıkıştırma ile beraber uygulanan basma kuvveti, malzemenin ve merdanelerin arasında meydana gelen sürtünmenin sayesinde ve yüzeydeki kayma gerilmesi vasıtasıyla deformasyon oluşturulur [20].



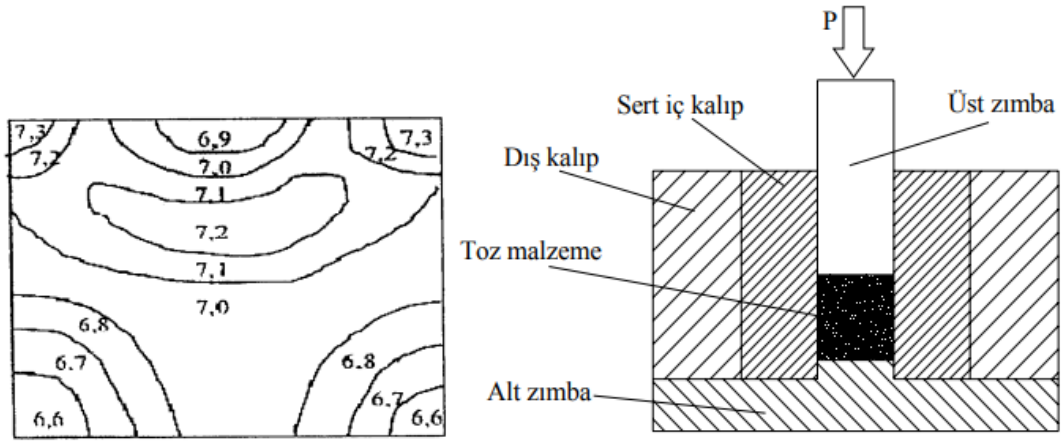
Şekil 2.9. Haddeme işleminin şematik görünümü.

### **2.2.5. Presleme**

Bu işlem ana hatlarıyla, iki zımbanın arasında bulunan kalıbın üzerine yerleştirilen toz partiküllerinin iki eksen doğrultusunda üzerlerine yüksek basınç uygulanmasıyla tanımlanmaktadır. Bu işlem basit geometriye sahip parçaların seri üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Uygulanan basıncın neticesinde elde edilen ürün kütle olarak tanımlanır. Kütle ifadesi, ürünün istenen seviyede yeterince sıkıştırılmadığını anlatmaktadır. Kütle şeklinde malzemelerin dayanım dereceleri çok düşüktür fakat yapılacak sinterleme işlemi sonrasında nihai ürünün dayanımı istenilen yüksek düzeyde olmaktadır. Bazı presleme işlemlerinde, preslemeyle beraber tozlara sinterleme işlemi de uygulanmaktadır. Böyle işlemlerde tek seferde bitmiş ürünün imalatı gerçekleştirilebilir [20].

#### **2.2.3.1. Tek Yönlü Presleme**

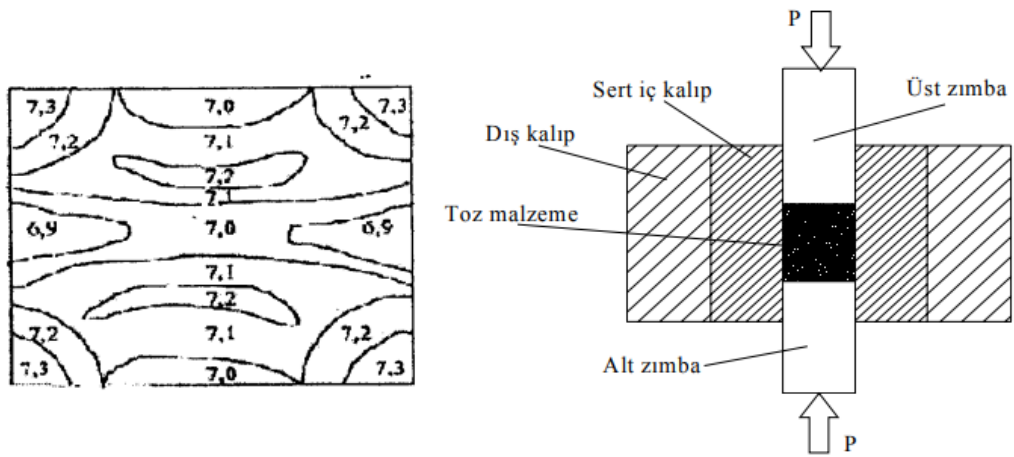
Bu işlemde, deformasyonun başlaması ile beraber, tozlar kendi içinde ve kalıbın iç kısmında meydana gelecek olan sürtünme kuvvetinin dağılımlarında düzensizliğe sebebiyet verir. Bu düzensizlikte basınç dağılımına önemli düzeyde etkilemektedir. Tozun yoğunluk oranı, hareketli zımbanın bulunduğu kısımda yüksekken, sabit yerde ise düşüktür. Tek yönlü preslemedeki yoğunluk dağılımına örnek Şekil 2.10'da verilmiştir. Yoğunluk oranının bu şekilde düşmesi üretilen ürünün boy/çap oranıyla ilişkilidir. Bu işlem öncesinde kalıp içerisine konulan toz yüksekliğinin kalıp çapına oranı, işlem sonrasındaki yoğunluk dağılımına önemli düzeyde etki eder. Bu nedenle yükseklik/çap  $\leq 4$  olması önerilmektedir [29].



Şekil 2.10. Tek yönlü preslemede yoğunluk dağılımı ve kalıp şematik görünümü [30].

### 2.2.3.2. Çift Yönlü Presleme

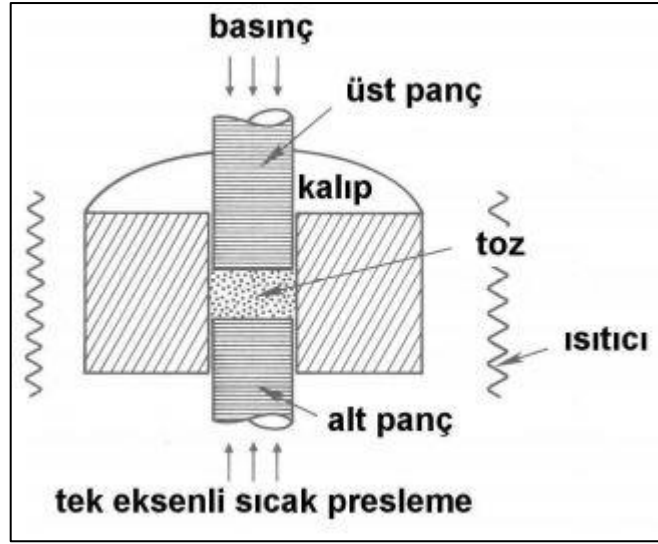
Çift yönlü preslemede toz, karşılıklı olarak üstten ve alttan iki zimba tarafından aynı anda preslenmektedir. Bu işlemin ve yoğunluk dağılımının şematik görünümü Şekil 2.11’de verilmiştir. Bu işlemde basınç her iki yönden de eşit uygulanmaktadır. Çift yönlü preslemede kalıbın içinde düzenli sıkıştırma oluşmaktadır. Yoğunluk dağılımları da daha homojen olmaktadır [29].



Şekil 2.11. Çift yönlü preslemenin ve yoğunluk dağılımının şematik görünümü [30].

### 2.2.3.3. Sıcak Presleme

Sıcak preslemeyle üretim yöntemi, sabit bir kalıbın içerisinde bulunan zımba ve toz partiküllerinin eş, aksenal ve iki farklı yönde hareket ettirilmesiyle sağlanan basınç ile yapılmaktadır. Sıcak preslemenin şematik görünümü Şekil 2.12’de verilmiştir.



Şekil 2.12. Sıcak preslemenin şematik görünümü.

Sistemdeki alt tabla ya da mil genelde sabittir. Kuvvet ya da basınç genelde üst tabla ya da mil vasıtasıyla hidrolik sistemle uygulanmaktadır. Bu yöntemde kullanılan kalıbın üretildiği malzeme genelde yüksek sıcaklıklara ve mukavemetlere dayanım sağlayan grafitir. Sıcaklık kalıp vasıtasıyla ya da dikeçler yardımıyla verilmektedir.

Sıcak preslemede kalıp için grafit dışında bor nitrür ve tungsten karbür malzemeleri de kullanılmaktadır. Sıcak presleme esnasında etkin mekanizmalar tanecik büyümesi ve hacim difüzyonudur. Esas rol ise sıcaklıktadır [31]. Sıcak presleme işleyiş açısından ağır ve zor bir işlemdir. Dolayısıyla kalıp düzeneği içerisinde sıcaklık kontrolünün yapılması zor olmaktadır. Sıcak preslemede maksimum sıcaklık değerine (2200°C) grafit direncinin kullanılmasıyla çıkılabilir. Grafit dirençlerinin yerine daha düşük sıcaklık değerlerinde çalışabilen molibden (Mo), silisyum karbür (SiC) ve tungsten (W) dirençleri de kullanılabilir. Ulaşılan basınç kuvvetleri maruz bırakılan yüklemeye olduğu kadar kalıbın tasarımına ve üretilecek parçaların geometrisi gibi değişkenlere göre farklılıklar gösterebilmektedir. Sinterleme işlemi esnasında genelde

vakumlu atmosfer ortamı tercih edilir. Bunun nedeni, fırın dirençlerinin ve sinterlenecek ürünün korunmasıdır. Yapılacak işlemin hedefine göre koruyucu gaz atmosferi altında da sinterleme yapılabilir. Kapalı gözenek yapısı uygulamasına geçildiğindeyse vakumla gözeneklenme oluşumu tamamıyla ortadan kaldırabilir.

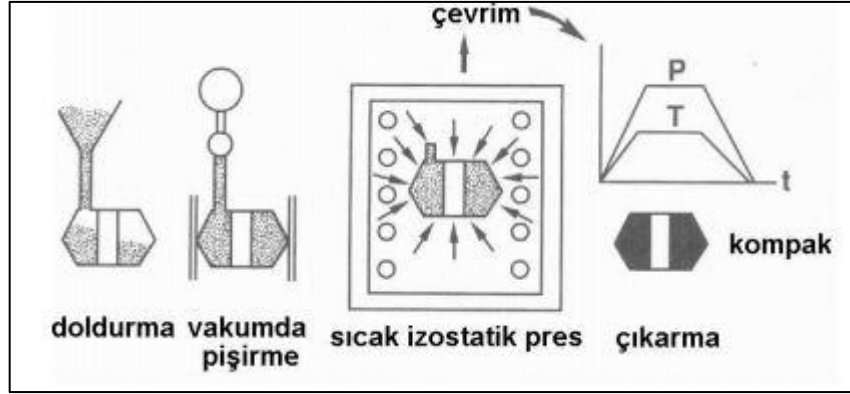
Üretim sırasında oluşan diğer sorunsu sinterlenen malzemenin kalıbın iç yüzeyine yapışmasıdır. Sinterleme işlemi sonrasında kalıptan çıkarılan malzemeler veya kalıp zarar görebilir. Bu durumun önlenmesi için özellikle grafit kalıplarda kalıp iç yüzeyine hegzagonal yapıya sahip bor nitrürün uygulanması gereklidir. Oluşturulan bu tabakanın ise istenilen düzeyden kalın olmaması önem teşkil etmektedir [31].

Sıcak preslemede kalıp maliyetinin yüksek olması yöntemin maliyetli olmasına neden olmaktadır. Vakum atmosferi altında yapılan işlemlerde üretim maliyeti daha da artmaktadır. Maliyetinin yüksek olmasının yanında sinterlemenin avantajları nedeniyle zor parçaların üretilmesinde tercih edilmektedir. Uzun süreli kullanıma uygun kalıp ya da takım bileşenleri gibi üretim maliyeti dikkate alınmayacak düzeyde ürünlerin üretimi için uygundur. Bu yöntemle kompozit malzemelerin üretilmesi de yapılabilmektedir. Sıcak preslemenin diğer kullanım alanıysa elmas-metal içeriğine sahip kompozit takımların üretilmesidir [31].

#### **2.2.3.4. Sıcak İzo-statik Presleme**

Sıcak izo-statik presleme, maksimum ömrün istendiği kalıplar, kesici takım uçları, havacılık ve uzay endüstrisindeki elemanlar gibi pek çok üretim alanında kullanılmaktadır. Sıcak izo-statik preslemede uygulanan basınç, gaz vasıtasıyla eş aksenel olarak üretilecek malzemelere uygulanmasıyla gerçekleşir. Sıcak izo-statik preslemenin şematik görünümü Şekil 2.13'te verilmiştir.





Şekil 2.13. Sıcak izo-statik presleme.

İşlem sırasında kullanılan basıncın miktarı gaz miktarıyla belirlenir. İşlemin esas değişkenleri sıcaklık, basınç ve geçen süredir. Sinterlenmesi istenilen malzeme farklı biçimlerde sisteme konulabilir. Bunların ilki toz halinde ya da önden sinterleme işlemi uygulanmasıdır. İkincisi ise kapalı gözenek yapısına ön sinterlenen malzemelerin daha sonrasında sıcak izo-statik presleme işleminin uygulanmasıdır. Buradaki esas amaç malzemenin kendisini taşıyacak dayanım noktasına ulaşması sonrasında sıcak izo-statik olarak preslenmesidir. Dolaysız biçimde metalik tozların beslendiği diğer yöntemde cam veya metal kalıplar kullanılabilir. Kalıpların üretileceği malzemenin tespit edilmesindeki en önemli parametre etkin sinterleme sıcaklığında basınç aktarılırken deformasyona karşı direnci gösterme yeteneğidir. Titanyum, çelik, cam, paslanmaz çelikler ya da tantalyum yaygın bir şekilde kullanılan kalıp malzemeleridir.

Ortam içerisinde hiç gazın kalmaması çok önemlidir. Çünkü ortamda kalacak gaz, sinterlenecek olan malzemelerde gözenek meydana gelmesi ihtimalini oluşturur. Tozların içinde olacağı bu sistem içten ısıtmalı olan tertibatın içerisinde olacaktır. Yoğunlaşmanın oluşabilmesi için gereksinim duyulan basınç ve ısının aktarımı, yüksek şiddet basıncına sahip bir gaz türü kullanılır. Hedef doğrultusunda genelde azot ya da argon gazı kullanılmaktadır. Bu sistem için genelde sıcaklık ortamı maksimum 2200°C olarak tercih edilmektedir [31].

## BÖLÜM 3

### KOMPOZİT MALZEMELER

#### 3.1. KOMPOZİT MALZEMELERİN TANIMI

İki ya da daha fazla malzemelerden özelliklerinin bir arada bulunduğu yeni bir malzeme imal etmek veya tek bir malzemenin üzerinde birleştirmek maksadıyla üretilen malzemelere kompozit malzemeler denir. Kompozit malzemeleri esasında takviye elamanlarından ve matris olarak ifade edilen yapılardan meydana gelmektedir. Kompozit malzemelerin üretilmesi veya geliştirilmesi maksadını taşıyan malzemelerin fiziksel ve mekaniksel özellikler vardır. Bu özellikler ısı ve elektriksel iletkenliği, aşınma direnci, yüksek dayanım, yorulma dayanımı, kırılma tokluğu, korozyon direnci, rijitlik, ağırlıkta oluşan azalma, yüksek sıcaklıklara karşı göstermiş olduğu kararlılık özellikleridir [32].

#### 3.2. KOMPOZİT MALZEMELERİN AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI

Metal malzemelere göre kompozit malzemeler kullanım alanlarında daha çok tercih edilmektedir. Yoğunluk oranlarının metallere göre daha düşük olması sebebiyle hafif olması istenilen yapılarda avantaj sağlamaktadır. Kullanım alanlarının içerisinde otomobil ve deniz teknelerinin parçaları, binaların cepheleri ve pano elemanları, banyo elemanları, ev aletleri ve tarım araçları gibi pek çok alan vardır. İdeal özellikleri sebebiyle çözüm üretecek malzeme çeşididir. Bu nedenle kompozit malzemelerin avantajları şu şekilde ifade edilebilir.

- Kompozit malzemelerle karmaşık ve büyük parçalar tek seferde bir bütün halinde kaplanabilir,
- Eğme ve çekme dirençleri yüksektir

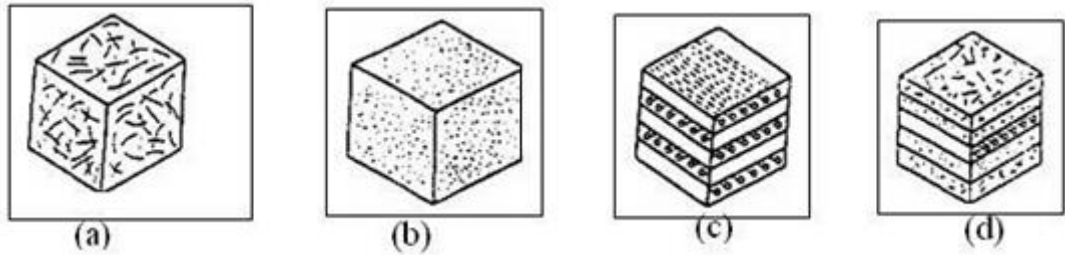
- Kimyasal maddelerin taşınmasında ve depolama tanklarında kullanılabilir,
- Kompozit malzemelerin istenilen renkte kolay bir şekilde üretilmesi,
- Isıya karşı yüksek direnç özelliğini göstermesi,
- Titreşim ve şokları absorbe edebilme özelliklerinin olmasıdır.

Bu avantajların olmasının yanı sıra kompozit malzemelerin dezavantajları da bulunmaktadır. Bunlar;

- Kullanım alanlarında farklı fiziksel ve mekaniksel özellikler sergileyebilir,
- İçerisinde bulunan hava taneciklerinin yorulma özelliğini olumsuz yönde etkilemesi,
- İşlenebilmesinin hassas bir şekilde yapılamaması,
- Kullanımın süreli olması,
- Yüksek üretim ve hammadde maliyetinin olması,
- Kalite standartlarının belirli olmamasıdır [32].

### 3.3. KOMPOZİT MALZEMELERİN SINIFLANDIRILMASI

Kompozit malzemeler içindeki tabakaların şekilsel dağılımlarına göre sınıflandırılabilir. Sınıflandırma işleminin şematik olarak görünümü Şekil 3.1’de verilmiştir. Şekil 3.1’de a) elyafli kompozitler, b) parçacıklı kompozitler, c) tabakalı kompozitler ve d) karma kompozitlerdir.



Şekil 3.1. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması.

### **3.3.1. Elyafli Kompozitler**

Matris yapısının içerisinde elyaf ihtiva etmesi sebebiyle elyafli kompozitler olarak ifade edilmektedir. Bu tür kompozitlerle birbirlerine paralel olarak uzun elyafların matris içine yerleştirilmesi ile elyaf doğrularının boyunca yüksek dayanıklılık sağlanır. Elyafın dik doğrultu boyunca yerleştirilmesinde dayanıklılık oldukça düşük olur. Elyaf uzunluklarının elyaf çaplarına oranı arttıkça matris tarafından iletilen yükte artmaktadır. Elyaf ve matris arasındaki bağ şekli ve yapısı meydana getirilen bu kompozit yapısının dayanımında önem teşkil eden diğer faktördür [31]. Elyaf çeşitlerinin arasında, karbon, yapay organik, cam ve bor elyaflar vardır.

### **3.3.2. Partikül Takviyeli Kompozitler**

Matris malzemesinin içinde farklı bir malzemenin küçük partiküller halinde bulunmasıyla üretilir. Bu tür kompozit malzemeler izotropik yapı halindedir. Dayanım özellikleri partiküllerin sertliğine göre işlem görmektedir. Plastik malzeme içinde bulunan metal partikülleri en yaygın olanıdır.

### **3.3.3. Lamine Kompozitler**

Tabakalı veya lamine kompozit malzemeler yüksek mukavemet oranında çeşitli elyaf doğrultularında katmanların bir araya gelmesiyle elde edilmektedir. Çalışma ortamında olabilecek ısı ve nem etkenlerine karşı dayanıklıdırlar. Bu tür kompozit malzemeler metal malzemelere göre daha fazla tercih edilmesinin nedeniyse ağırlık açısından daha az olması yanında oldukça mukavemetli olmalarıdır.

### **3.3.4. Karma Kompozitler**

İki veya daha fazla kompozit yapısının aynı kompozit yapısının içinde bulunmasıyla oluşan kompozittir. Bu uygulamayla farklı kompozitlerin keşfedilerek geliştirilmesi son derece kolay olmasının yanı sıra uygun bir yöntemdir.

### 3.4. KOMPOZİT MALZEMELERİN KULLANIMI

Kompozit malzemelerin içerisinde yaygın olarak cam elyaflar, keçe türevleri, cam ve cam dokumayla polyeester reçineden üretilen birbirlerinden farklı ürünler ticari maksatlı ve gündelik yaşam için kullanılmaktadır. Yakıt depoları ve taşıma tankları, banyo araç gereçlerinde, deniz araçlarında, otomotiv, savunma, havacılık ve uzay endüstrisinde bu kompozitler yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra internet fiber hatlarında, spor araç ve gereçlerinde, devre boardlarında, araç şarjının yapıldığı istasyonlarda, kayak takımlarında, kanolarda ve tenis raketleri gibi farklı türdeki kompozitlerden üretilen ürünlerdir denilebilir. Kompozitin, havacılık ve uzay endüstrisinde kullanılmasının nedeni sağlam ve hafifliğindedir. Buradaki gaye kullanılan yakıtın minimum düzeye indirilmesi, daha yüksek hıza çıkabilmesini ve verimliliğini arttırmaktır. Havacılık ve uzay endüstrisinde, özellikle titreşimin absorbe edilmesi, ısı ve yorulmaya karşı direncinin yüksek olması gibi özellikleri sağlaması kompozitlerin esas kazançlarıdır. Bu nedenle havacılık ve uzay endüstrisinde kullanım alanını gün geçtikçe arttırmaktadır. Silisyum karbür (SiC), Bor karbür (B<sub>4</sub>C,) ve alümina-karbon cam elyafı gibi birbirlerinden farklı reçine türleri, birbirlerinden farklı olan kompozit malzemenin üretiminde uygulanmaktadır. Uygulamalardaki seçeneğin artmasıyla gün geçtikçe kullanım alanlarını arttıracak ve pozitif yönleriyle geleceği de şekillendirecektir [32].

### 3.5. SİLİSYUM KARBÜR (SiC)

SiC doğada bileşik olarak bulunmamaktadır. Ancak esas bileşenleri silisyum ve karbon çok fazla bulunmaktadır. Silisyum karbürün 3,21 gr/cm<sup>3</sup> özgül ağırlığı, 27,4 GPa sertliği, 40,1 molekül ağırlığını, 5x10<sup>-6</sup>/°C ısı genleşme katsayısını, 126 W/m°K ısı iletkenliği ve uygulamada kabul edilebilir elektriksel direnci vardır. SiC çok sert aşındırıcı malzeme olup, yüksek sürünme dayanımına sahiptir. İndirgen atmosferde, kimyasal etkileşimlere karşı direnç gösterir [33].

Silisyum karbür özellikle refrakter uygulamalarda kullanılmaktadır. Mükemmel termal iletkenlik ile beraber düşük termal genleşme katsayısı vardır. SiC'nin özelliklerinin bazıları Çizelge 3.1'de görüldüğü gibidir.

Çizelge 3.1. SiC bazı özellikleri [34].

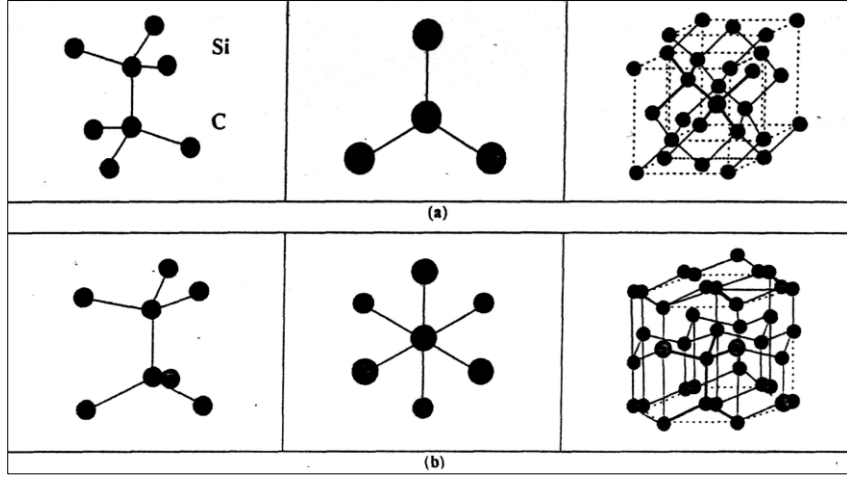
Elastik modül	410 GPa
Vickers sertliği	3100 kg/mm <sup>2</sup>
Ergime sıcaklığı	2797 °C
Isıl iletkenliği	126 W/mK

Bu özellikleriyle mükemmel termal şok dayanımını sergiler. Termal iletkenliği kristal yapıda çözünen safsızlıktan etkilenmektedir. Yüksek saflığa sahip ticari SiC retmek oldukça zordur. Bunun nedeni sinterleme için ilave edilen safsızlıklar ya da tepkimede kullanılan Si'de yer alan safsızlıklar bunu engellemektedir. Sinterlenmiş SiC, seramik malzemelerin içinde en dayanıklı olanlarıdır. Mukavemetinin sınırlanması, aşırı büyümeye, uzamış tanelere ve porozite gibi hatalara bağlıdır. SiC'nin sertlik özelliği ticarileşmesini sağlamaktadır. Acheson, SiC'nin sertliğini bulduğunda elması bile kesebilecek bir durumu ifade etmiştir. SiC'nin sertliği kristalografik yönlere, içeriğindeki safsızlıklara ve parlatılmış yüzeyler gibi farklı durumlara göre değişmektedir. Ölçüm ortamı bile sertliğini etkileyebilmektedir [35].

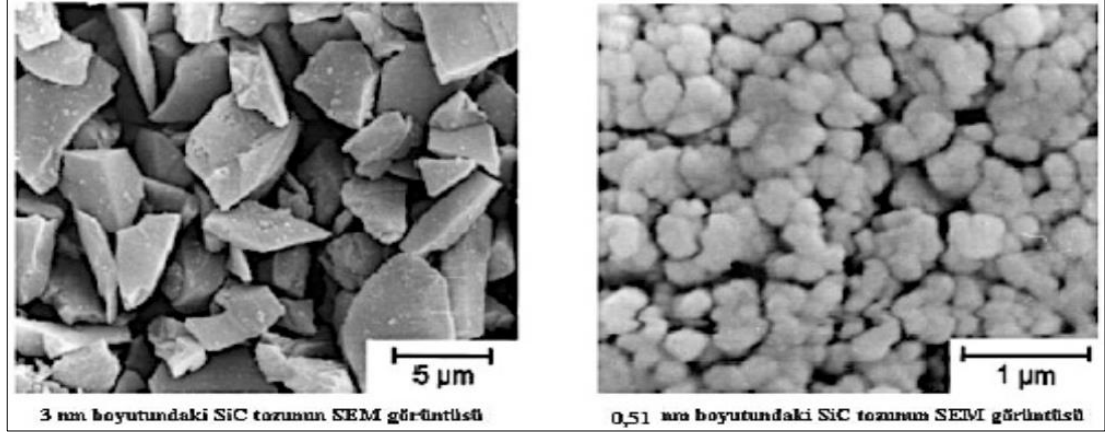
### 3.5.1. Silisyum Karbürün Kristal Yapısı

Silisyum karbür sentetik bir malzeme olup iki farklı kristal yapısı bulunmaktadır. Kristal yapısı Şekil 2.2'de verilmiştir. Bu kristal yapılarından biri; 1400-1800 °C sıcaklıkta meydana gelen "p" formuna sahip kübik yapı, diğeryse, 2000 °C sıcaklığında meydana gelen "a" formuna sahip Hekzagonal kristal yapısıdır. "P" kristal yapısındaki SiC, sinterleme sırasında 2000°C'ye yakın sıcaklıklarda, kübik yapıdan, "a" formuna sahip Hekzagonal kristal yapısına dönüşmektedir [35, 36].

SiC'nin 3C kübik yapısına sahip p-SiC mühendislik uygulamalarında en yaygın kullanılan çeşididir. 4H, 6H, 15R gibi çeşitleriye, a-SiC kristal yapısındadır [35, 36]. SiC'nin kristal yapısı Şekil 3.2'de, SEM görüntüsü ise Şekil 3.3'te verilmiştir.



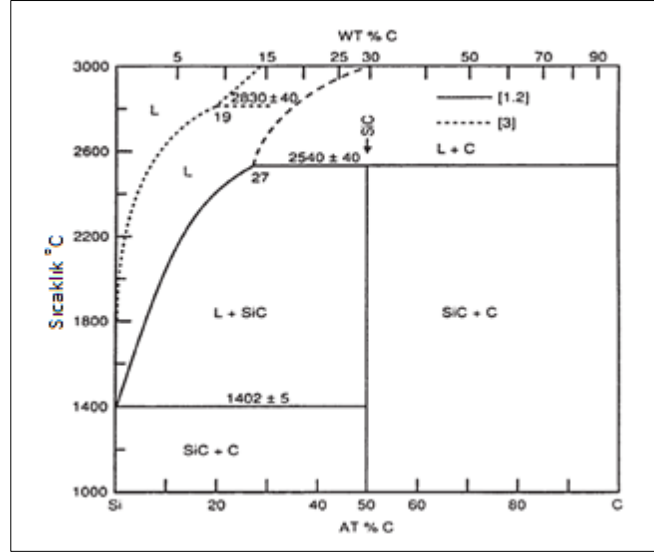
Sekil 3.2: SiC'nin kristal yapısı (a) Kübik, b) Hekzagonal) [37].



Sekil 3.2. SiC'nin SEM görünümü [37].

### 3.5.2. Silisyum Karbürün Üretimi

Silisyum ve Silisyum karbürün arasında  $1402^{\circ}\text{C}$  ve %0,75 C de ötektik nokta yer almaktadır.  $2540^{\circ}\text{C}$  ve %27 C durumunda ise peritektik nokta vardır. Silisyum ve karbon elementleri faz diyagramında Şekil 3.3'te yer almaktadır [38].



Şekil 3.3. Silisyum ve karbonun faz diyagramı [38].

SiC doğal olmayıp yapay bir maddedir ve 1892 yılında Acheson tarafından sentezlenmiştir. Sentezlenen SiC'nin tepkimesi Eşitlik 3.1'de verilmiştir. Maksimum 2700 °C sıcaklığına kadar normal atmosferde ilk tek kristal yapıda SiC elde edilmiştir. SiC'nin sertlik ve korozyon direnci nedeniyle mekanik sanayisinde aşındırıcı ve kesme olarak kullanılmaktadır [39].



Acheson işlemine göre, elektrikli fırın ortamında ve yaklaşık olarak 2000°C sıcaklığının üzerinde silisyum dioksit ve kokun arasında meydana gelen karbotermik reaksiyon ile SiC birbirini takip eden iki reaksiyon ile gerçekleşmektedir. Bu reaksiyonlar Eşitlik 3.2 ve 3.3'te verilmiştir [40].



SiC üretimi farklı yöntemler de bulunmaktadır. Süblimasyon büyütmesi olarak bilinen PVT, büyük boyutlu tek kristal SiC imal etmek için yaygın olarak kullanılan ve başarılı bir yöntemdir. Bu yöntem 1955 yılında Lely tarafından gerçekleştirilmiştir



[24]. Bu yönteme göre tepime grafit kap içerisinde 2500°C sıcaklığında argon ortamı içerisinde gerçekleştirilmiş olup sınırlı SiC kristal boyutu elde edilmiştir [41]. PVT tekniğiyle 2350°C sıcaklıkta politipik tanelere sahip 6H-SiC bulk olarak elde edilmiştir [42]. Farklı SiC retim yntemiye kimyasal buhar biriktirme (CVD)'dir. Başlangıç malzemelerindeki değişime bağlı olarak hidroliz, termoliz, indirgeme, oksidasyon, karbonlama ve nitrasyon ihtiva edebilir. CVD Si-C-HCl sisteminin kullanılmasıyla visker, ince film ve nano çubuklar gibi çeşitli biçimlerde SiC'nin üretimi yapılması için uygundur. Amorf SiC tozları azot gazının kullanılmasıyla SiH<sub>4</sub>-C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> sisteminde CVD yöntemiyle hazırlanmaktadır [41]. Bu işlemin reaksiyonu ise Eşitlik 3.4'te verilmiştir. (CH<sub>3</sub>)<sub>4</sub>Si kullanılarak kimyasal çökelmeyle nano boyuta sahip SiC retilbilir [43].



SiC retiminde Sol-jel yöntemi de kullanılmaktadır. Tetraetoksilan, metiltrietoksilan ve bunların karışımı silika kaynağı, etilselüloz, fenolik reçine, poliakrilonitril ve nişasta da karbon kaynağı olarak kullanılmaktadır [33].

### 3.5.3. Silisyum Karbürün Kullanım Alanları

SiC'nin başlıca kullanım alanlarında; ısı transferi gaz türbini kanal yalıtımı, tavlama fırını astarları, ısıtıcı kaplamalar, boru, baca yalıtımı, fırın ve fırının arka izolasyonunda, otomotiv egzoz ısı kalkanları, depolama ısıtıcı yalıtımıdır [24]. Aşınma ve korozyona karşı yüksek direnç, düşük yoğunluklu, yüksek mekanik dayanım, termal iletkenliğinin yüksek olması, ısıl şoklara karşı direncinin yüksek olması ve sıvı ortamda düşük sürtünme katsayısının olması gibi özellikleri sebebiyle mekanik contalar, rulman ve pompa gibi szdrmazlık gerektiren parçalar da kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra fırın kirişinde, termokupl tüplerinde, radyasyon tüplerinde, cam, metal ve kimya endüstrisinde ergime potalarında kullanılmaktadır [44].

Kimya endüstrisinde, kaplamalar ve valflerde, kum borularının memelerinde, lens kalıplarında, roket memelerinde ve spre y kurutmada kullanılan aşınma plakalarında

kullanılmaktadır. Havacılıkta ise yağ ve yakıt deposunda, pompa malzemelerinde ve kalıplarında kullanılmaktadır. Isı dayanımı sebebiyle uzay teknolojisinde yüksek sıcaklığın meydana geldiği roket meme bağlantılarında, ısı değişiminin gerçekleştiği tüplerde, difüzyon fırını parçalarında kullanılmaktadır. Otomotiv endüstrisinde fren diskinde ve dizel partikül filtresi olarak da kullanılmaktadır. Bunların yanı sıra yarı iletken özelliğinden sebebiyle de mikro elektronik uygulamalarda da kullanım alanı vardır [45]. Üretim şekillerine göre SiC'nin kullanım alanları Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Üretim şekillerine göre SiC kullanım alanları [24].

Üretim şekli	Kullanım alanları
Seramik bağlayıcı ihtiva eden refrakter SiC	Seramik ve metalurji endüstrisinde sıcaklığın korunmasını sağlayan refrakter parçalarda
Yeniden kristalize edilen SiC	Yarı iletken uygulamalarında
İnfiltrate edilen SiC	Sızdırmazlık parçalarında
Basın kullanılmaksızın sinterlenen SiC	Sızdırmazlık halkaları, optik parçalar ve kimyasal reaktörlerde
Sıcak preslenen SiC	Zırhlarda ve silikon işlemi bileşenlerinde
Buhar fazı çökmesiyle üretilen SiC	Optik sistemlerde ve silikon endüstrisinde

## BÖLÜM 4

### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

#### 4.1. DENEYSEL YÖNTEM

Deneysel çalışmamızdaki amaç CuAlNi alaşımına farklı oranlara sahip (%2,5, 5, 7,5 ve 10) silisyum karbür parçacıkları eklenerek toz metalurjisi yöntemi vasıtasıyla üretilmesidir. Bu amaç doğrultusunda, Çizelge 7.1'deki yüzde kimyasal bileşimlerine göre CuAlNi alaşım tozları tartılarak hazırlanmıştır.

Çizelge 4.1. CuAlNi % kimyasal bileşimi.

	Cu (%)	Al (%)	Ni (%)
CuAlNi hazırlanması	84	12	4

CuAlNi alaşımına ilave edilen SiC oranları Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Üretim parametreleri.

Numune No	CuAlNi (%)	SiC (%)	Sıcaklık (°C)	Presleme Basıncı (MPa)	Presleme Süresi (dk)
1	100	-	850	35	5
2	97,5	2,5			
3	95	5			
4	92,5	7,5			
5	90	10			

#### 4.1.1. Numunelerin Hazırlanması

CuAlNi toz karışımının içerisinde, %2,5, 5, 7,5 ve 10 oranlarında SiC eklenmiştir. Hazırlanan karışım tozlarının karıştırılma işlemi 3 eksenli turbula ile 1 saat süreyle gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.1’de turbula görülmektedir.

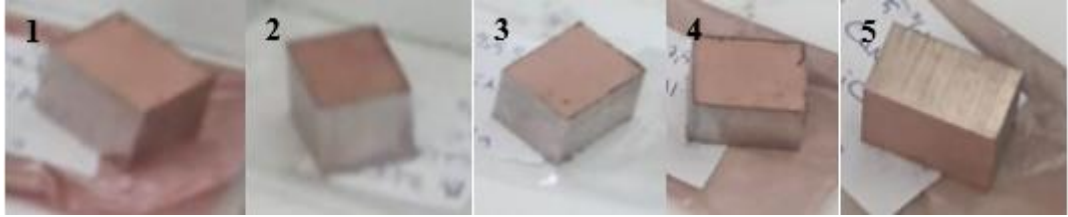


Şekil 4.1. Turbula.

Hazırlanan tozların sıcak presleme işlemi Elâzığ’da bulunan Çelmak Makina Ltd. Şti.’de yapılmıştır. Kompozit malzemedeki tozların boyutu 325 meshtir. Sıcak presleme, presleme sıcaklığı 850 °C, basınç 35 MPa ve süresi de 5 dk olarak yapılmıştır. Preslemeden önce presleme ortamı 10 dk vakum ortamında tutularak sonrasında presleme işlemi argon gazı ortamında gerçekleştirilmiştir. Preslemede kullanılan kalıp, 10x10x25 mm çapına sahip dikdörtgen prizma şeklindedir. Sıcak presleme makinesi Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2. Sıcak presleme makinesi.



Şekil 4.3. Deney numunelerinin preslemeden sonra makro görünümü.

#### 4.1.2. Numunelerin Mikroyapı İncelemesi

Sinterlemeden sonra deney malzemelerinden mikroyapı incelemeleri optik mikroskop ve SEM vasıtasıyla alınmıştır. Mikroyapı incelemelerinin yapılabilmesi için numunelere zımparalama, parlatma ve dağlama işlemleri yapılmıştır. Numune yüzeylerine 200-1200 mesh arası ardışık olarak zımparalama yapılmıştır. Ardından numune yüzeylerine 3 ve 1  $\mu$  elmas süspansiyonlar vasıtasıyla parlatma işlemi uygulanmıştır. Son olarak, dağlama işlemi aşağıda belirtilen reaktife 10 saniye daldırılarak yapılmıştır.

Dağlama reaktifleri: 5 ml  $Fe_3Cl$ , 20 ml HCl ve 100 ml  $H_2O$

Mikroyapı görüntüleri Karabük Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarlarındaki “Nikon Ters Metalurjik Optik Mikroskop” ve “Carl Zeiss Ultra Plus Gemini Fesem Sem Mikroskop” marka cihazlarıyla elde edilmiştir (Şekil 4.4 ve Şekil 4.5).

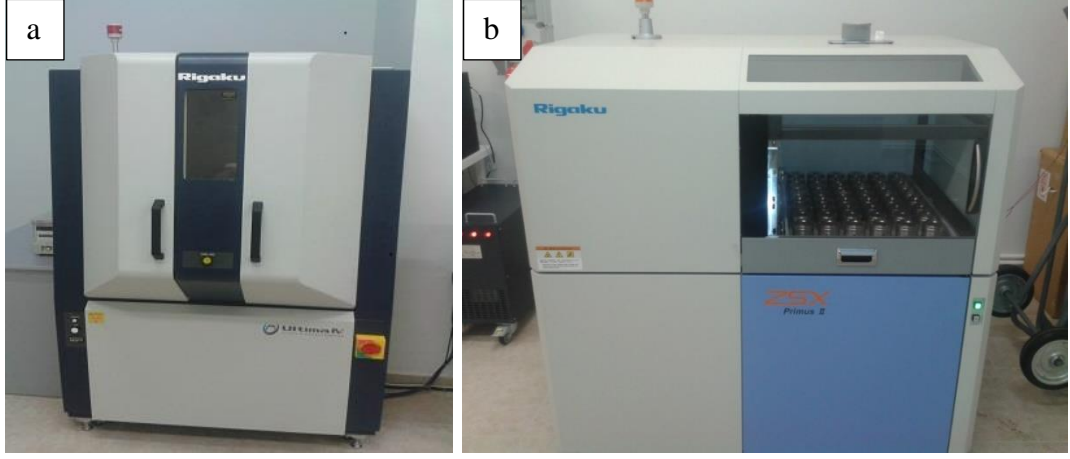


Şekil 4.4. NIKON Optik Mikroskop



Şekil 4.5. CARL ZEISS ULTRA PLUS GEMINI FESEM analiz cihazı

Numunelerin XRD ölçümleri Karabük Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarlarındaki Rigaku Ultra Iv marka cihazıyla (Şekil 4.6a), XRF ölçümleriye Rigaku Zsx Primus 2 marka cihazıyla (Şekil 4.6b) elde edilmiştir.



Şekil 4.6. Rigaku XRD(a) ve XRF(b) analiz cihazları.

#### 4.1.3. Numunelerin Mikrosertlik Ölçümü

Sinterleme işlemi sonucunda, numunelerin sertlik ölçümleri mikrosertlik ölçüm cihazından elde edilmiştir. Sertlik ölçümleri Karabük Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarlarındaki QNESS marka Q10 A+ model mikrosertlik ölçüm cihazıyla alınmıştır (Şekil 4.7). Sertlik ölçümlerinin uygun bir biçimde belirlenebilmesi amacıyla numunelerin 5 farklı noktasından ölçüm işlemi yapılmıştır.



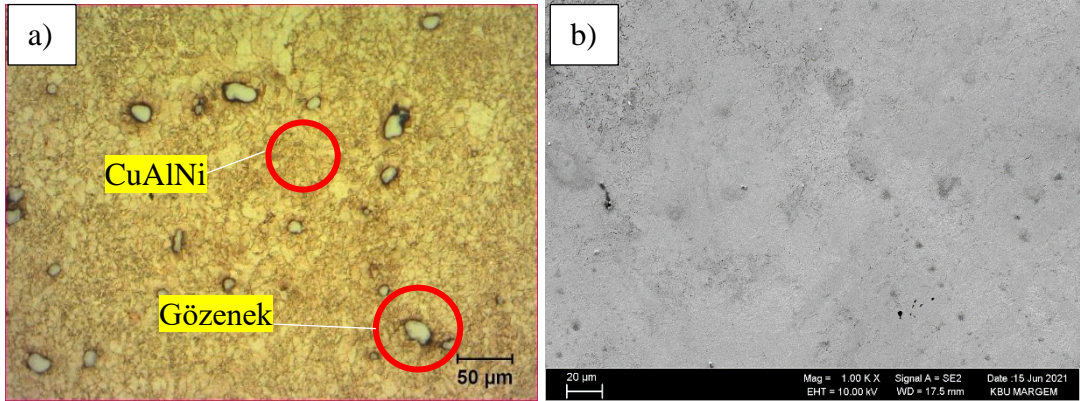
Şekil 4.5. QNESS Q10 A+ sertlik ölçüm cihazı.

## BÖLÜM 5

### DENEYSEL SONUÇLAR

#### 5.1. NUMUNELERİN OPTİK MİKROSKOP VE SEM GÖRÜNTÜ SONUÇLARI

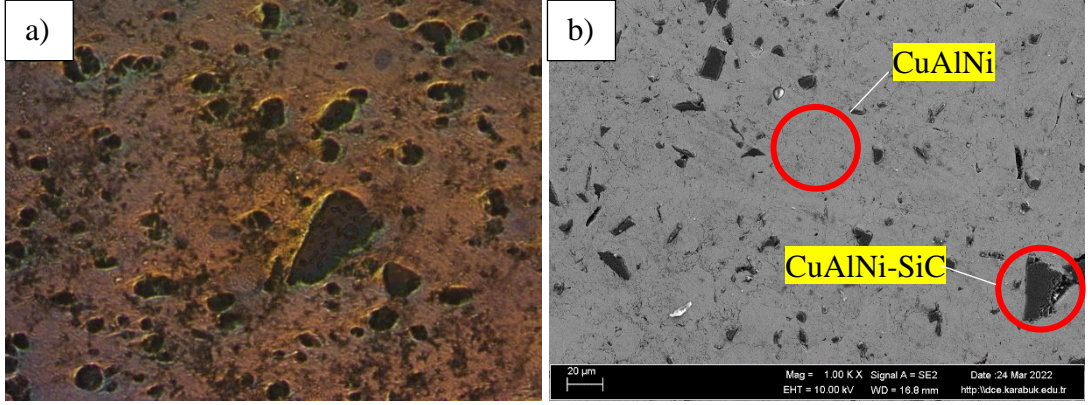
Toz metalurjisi yöntemi ile üretimi yapılan kompozit malzemelerin optik mikroskop vasıtasıyla elde edilen görüntülerin değerlendirmeleri yapılmıştır. Şekil 5.1’de bulunan 1 numaralı numuneye ait optik mikroskop ve SEM görüntülerinin incelenmesi sonucunda CuAlNi matris yapısı görülmektedir. Üretimi yapılan deneysel numunelerde toz metalurjisi yöntemi sebebiyle tozların kirliliği ve oksitlenmesi söz konusudur. Bu nedenle kısmi gözenekler yer almaktadır.



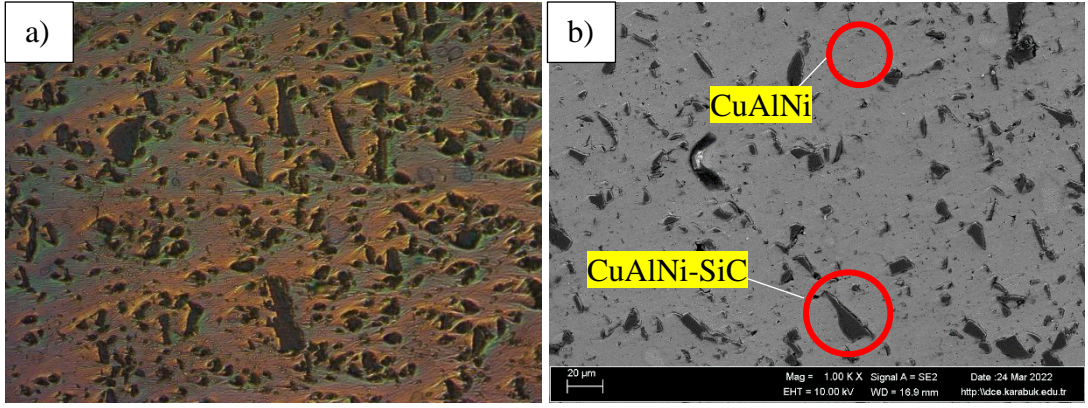
Şekil 5.1. CuAlNi matris yapısına sahip saf numunenin optik ve SEM görüntüleri.

Ek olarak, %2,5, %5, %7,5, %10 SiC takviyesine sahip numunelerden elde edilen mikroyapı görüntülerinin incelenmesi neticesinde SiC partiküllerinin homojen bir biçimde dağılım gösterdiği görülmektedir. Bu görüntüler Şekil 5.2, 5.3, 5.4 ve 5.5’te verilmiştir.

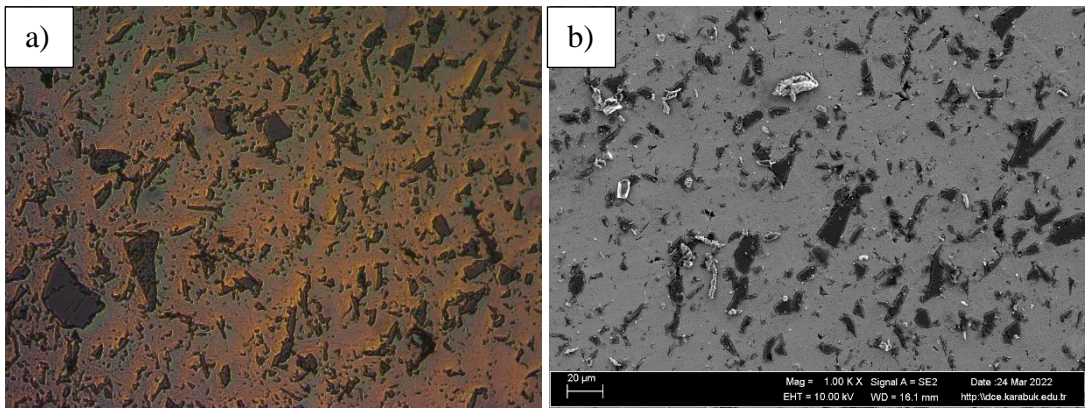




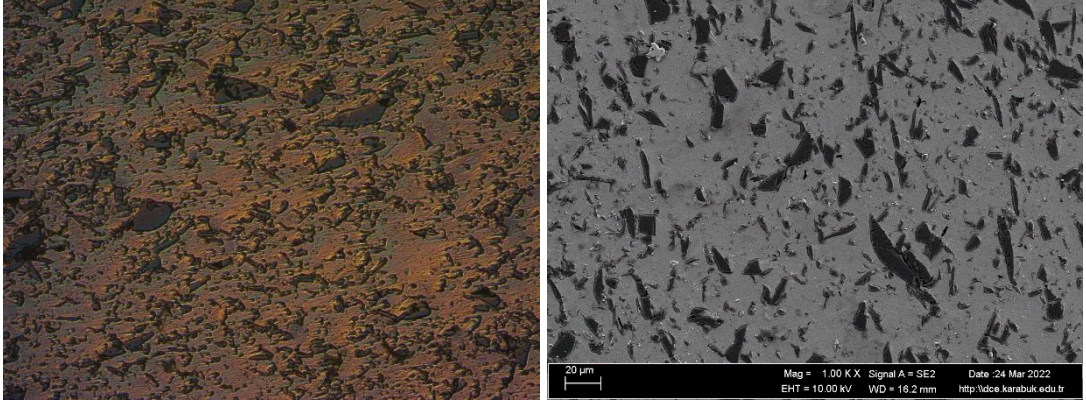
Şekil 5.2. %2,5 SiC içeren malzemenin optik ve SEM görüntüleri.



Şekil 5.3. %5 SiC içeren malzemenin optik ve SEM görüntüleri.



Şekil 5.4. %7,5 SiC içeren malzemenin optik ve SEM görüntüleri.

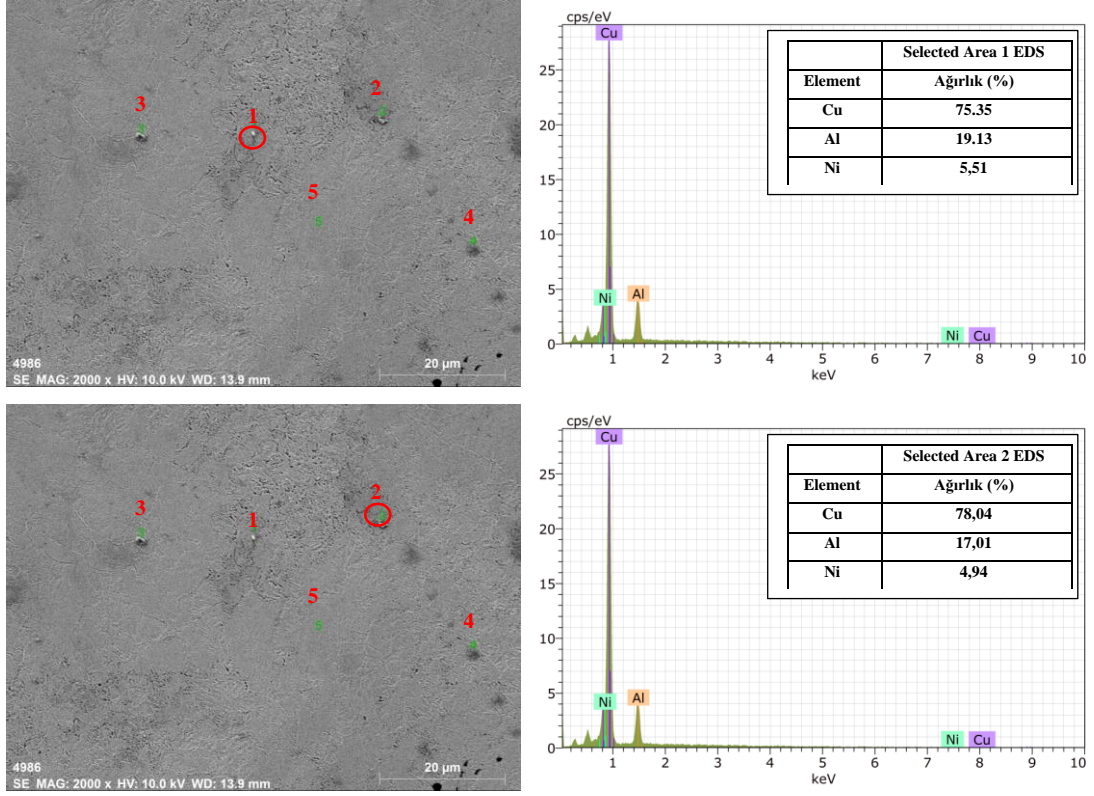


Şekil 5.5. %10 SiC içeren malzemenin optik ve SEM görüntüleri.

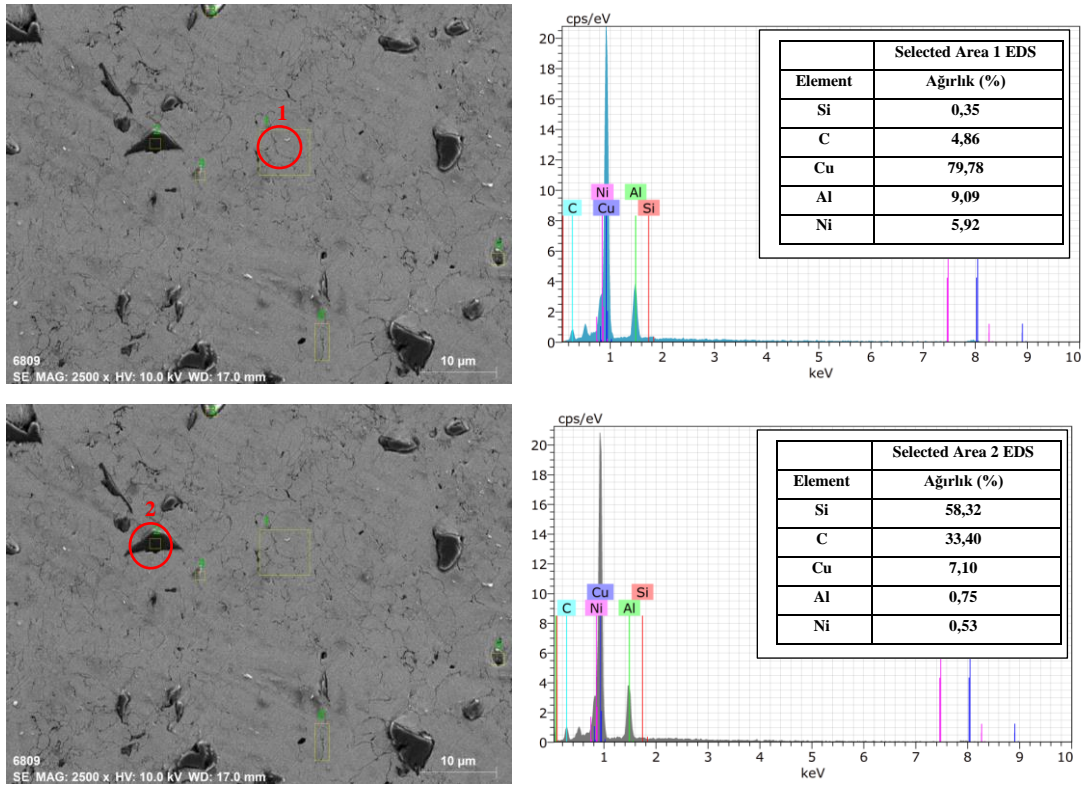
Yapılan üç boyutlu karıştırma ve presleme işlemleri sonucunda mikroyapı içerisinde SiC' nin homojen bir dağılım sergilediği açıkça görülmektedir. SiC yapı itibari ile düzensiz bir geometriye sahiptir. Homojen bir şekilde yapı içerisinde dağılım sergileyen SiC' ün, elde edilen kompozitin mekanik özelliklerini iyileştirdiği düşünülmekte, mikrosertlik sonuçları da bu kanımızı destekler niteliktedir.

## 5.2. NUMUNELERİN EDS ANALİZ SONUÇLARI

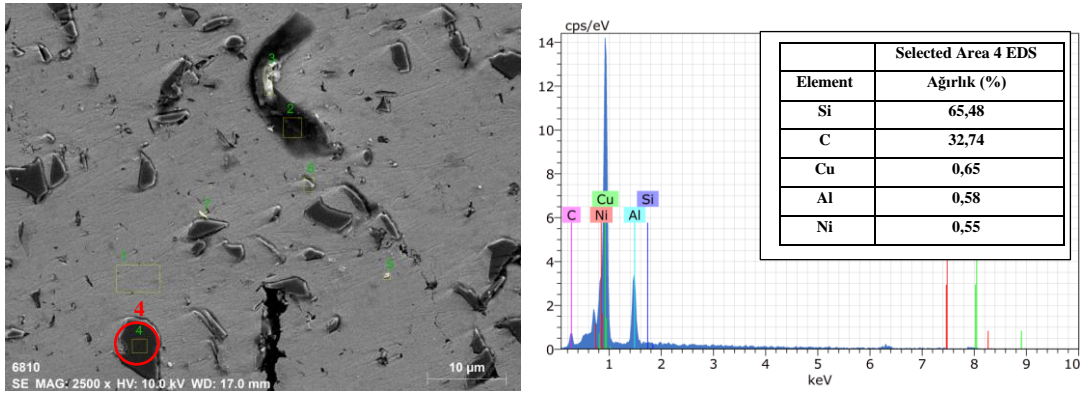
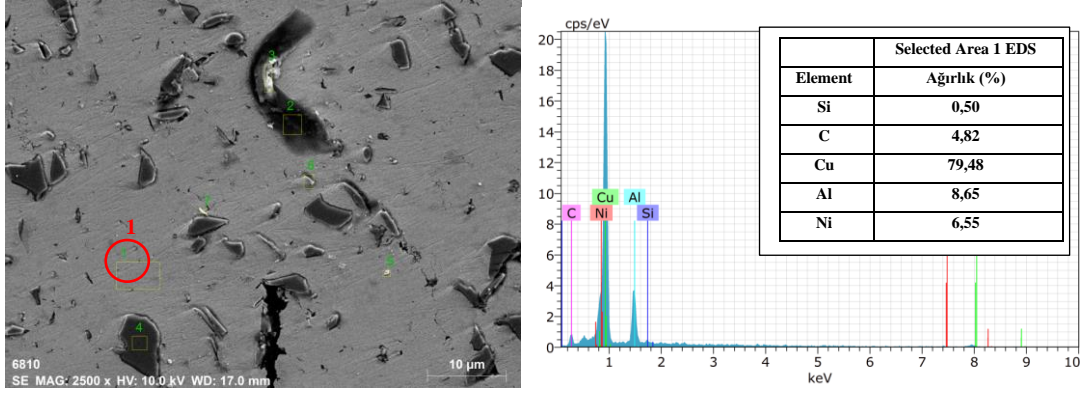
Elde edilen saf ve SiC katkılı kompozitlere ait eds sonuçları Şekil 5.6, 5.7, 5.8, 5.9 ve 5.10 da verilmiştir. Yapılan analiz sonuçları kompozitimizin kimyasal bileşimini destekler niteliktedir. Yapıda Cu, Al, Ni, Si ve C elementleri tespit edilmiştir. Artan SiC ilavesi ile SiC çökeltilerin ana matris içerisindeki homojen dağılımının da doğru orantılı bir şekilde arttığı da açıkça görülmektedir.



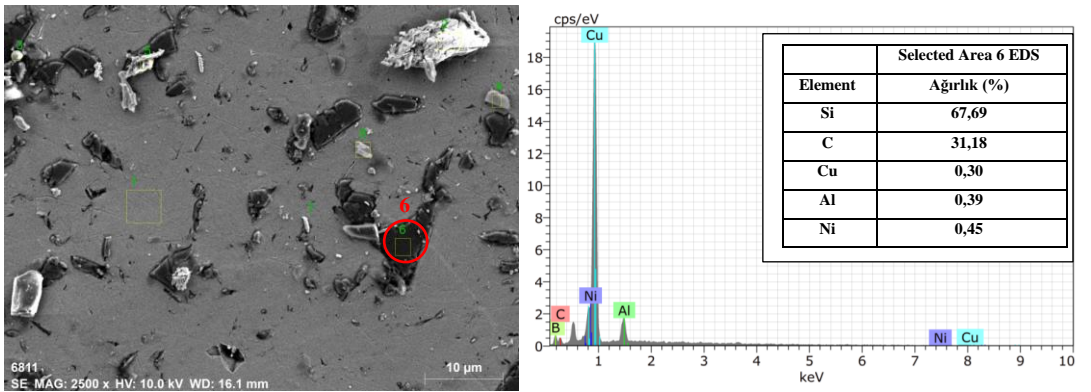
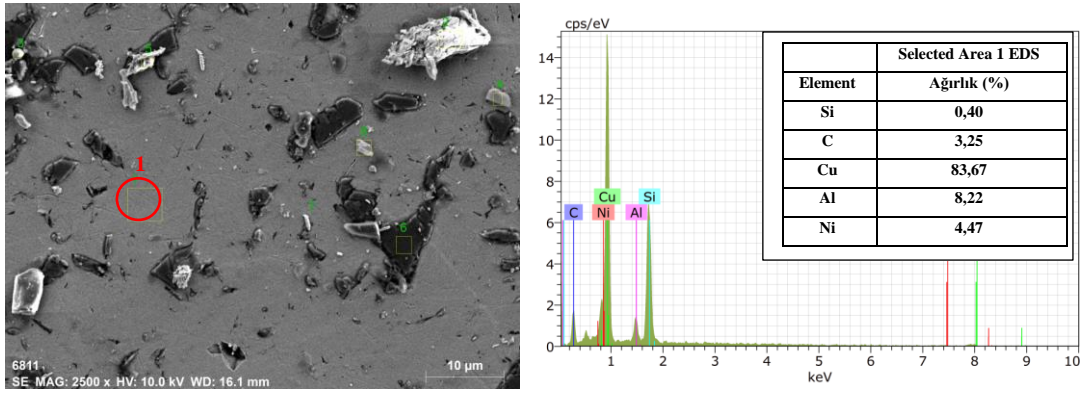
Şekil 5.6. CuAlNi kimyasal bileşime sahip numunenin EDS analiz sonucu.



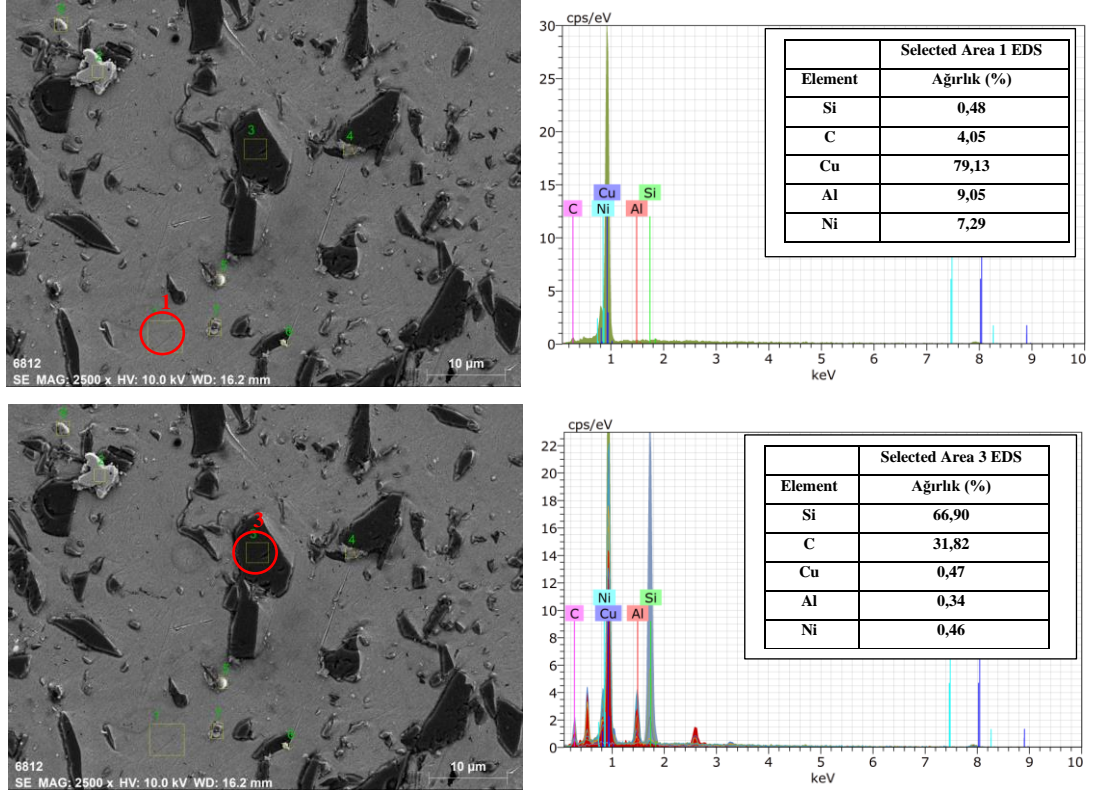
Şekil 5.7. %2,5 SiC ilave edilmiş CuAlNi numunesinin SEM-EDS analiz sonucu.



Şekil 5.8. %5 SiC ilave edilmiş CuAlNi numunesinin SEM-EDS analiz sonucu.



Şekil 5.9. %7,5 SiC ilave edilmiş CuAlNi numunesinin SEM-EDS analiz sonucu.



Şekil 5.10. %10 SiC ilave edilmiş CuAlNi numunesinin SEM-EDS analiz sonucu.

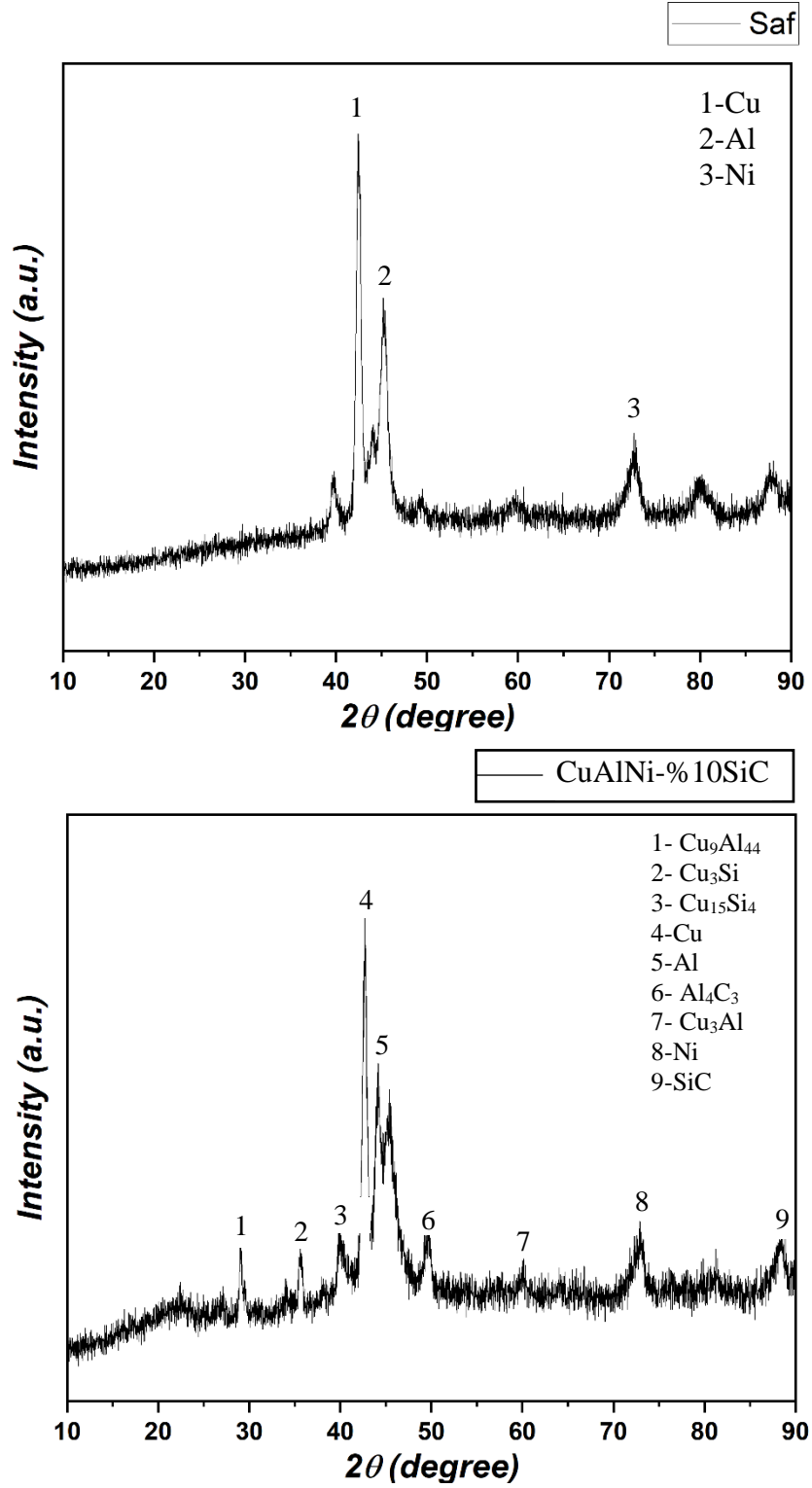
### 5.3. NUMUNELERİN XRF VE XRD ANALİZ SONUÇLARI

Üretilen CuAlNi ve-CuAlNi-SiC kompozitine ait numunelerin XRF analiz sonuçları Çizelge 5.1’de verilmiştir. XRF analizinde Cu, Al, Ni ve Si elementlerinin yapı içerisindeki varlığı gözlemlenmiştir. C elementi XRF analizlerinde tespiti zor olan element olduğundan analiz sonuçlarında görülmemektedir. Fakat yapılan EDS ve XRD analizlerinde C elementinin varlığı gözlemlenmektedir.

Çizelge 5.1. XRF analiz sonuçları.

	Cu (%)	Al (%)	Ni (%)	Si (%)
CuAlNi	67,628	29,123	3,247	-
CuAlNi-%2.5 SiC	77,282	11,555	3,673	7,372

Elde edilen 1kompozit malzemelere ait XRD analiz sonuçları Şekil 5.11 de gösterilmektedir.

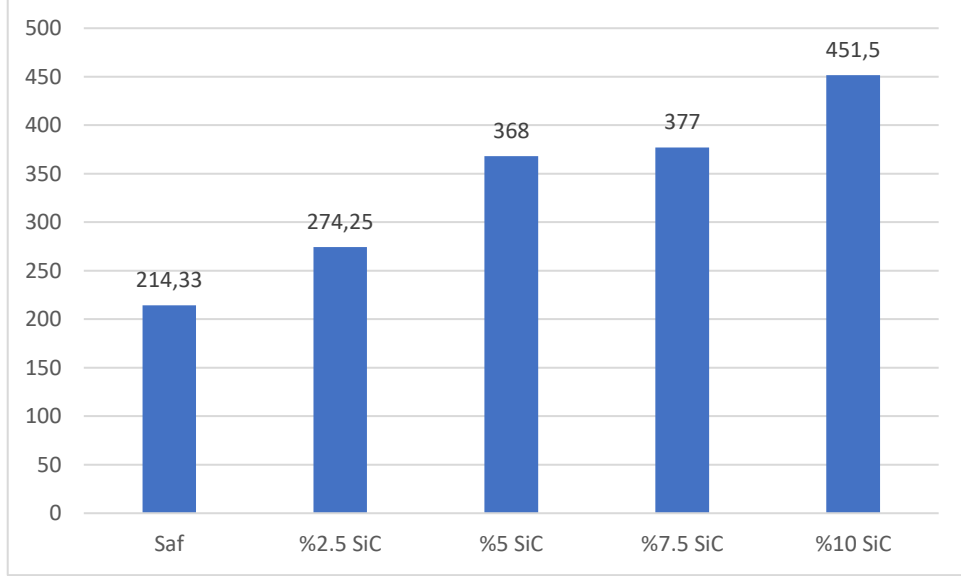


Şekil 5.11. XRD analiz sonuçları.

Şekil 5.11’de verilen XRD grafiği incelendiğinde Saf kompozitin yapısında Cu, Al, Ni elementleri, %10SiC katkılı kompozit içerisinde ise  $Cu_9Al_{44}$ ,  $Cu_{15}Si_4$ ,  $Cu_3Si$ ,  $Al_4C_3$ ,  $Cu_3Al$  ve SiC fazlarının varlığı tespit edilmiştir. Buna ek olarak XRD grafiğinde Cu, Al, Ni ve SiC fazlarına ait piklerin baskın olduğu açıkça görülmektedir. Sinterleme işlemi sırasında Cu, Al, Ni ve SiC parçacıkları arasında  $Cu_9Al_{44}$ ,  $Cu_3Si$ ,  $Cu_{15}Si_4$ ,  $Al_4C_3$ ,  $Cu_3Al$  gibi intermetalik fazlar oluşmuştur.

#### **5.4. NUMUNELERİN MİKROSERTLİK ANALİZ SONUÇLARI**

TM yöntemi vasıtasıyla üretilen CuAlNi ve %2,5, %5, %7,5, %10 SiC takviyesine sahip CuAlNi numunelerinin mikrosertlik sonuçlarının grafiğine Şekil 5.12’de yer verilmiştir. İmal edilen kompozit malzemelerin mikrosertlik ölçümleri 100  $\mu m$  aralıklar ile numune yüzeyinden bir çizgi boyunca alınmıştır. Saf olarak ifade edilen CuAlNi numunesinin sertliğinin ortalama olarak 214  $HV_5$  olduğu tespit edilmiştir. %2,5 SiC takviye edilen numune sertliğinin ortalama değeri 274,25  $HV_5$  olarak belirlenmiştir. %5 SiC takviye edilen numune sertliğinin ortalama değeri 368  $HV_5$  belirlenmiştir. %7,5 SiC takviye edilen numune sertliğinin ortalama değeri 377  $HV_5$  belirlenmiştir. %10 SiC takviye edilen numune sertliğinin ortalama değeri ise 451,5  $HV_5$  olarak belirlenmiştir. Sonuçlara bakıldığında, SiC takviyeli numunelerin sertliğinin takviyesiz numuneye göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu artışın nedeni artan silisyum karbür neticesinde oluşan sert fazların varlığıyla ilişkisi bulunmaktadır.



Şekil 5.12. CuAlNi ve SiC takviyesine sahip CuAlNi numunelerinin mikrosertlik sonuçları.



## BÖLÜM 6

### GENEL SONUÇLAR

Bu çalışmada, toz metalurjisi (TM) yöntemi ile CuAlNi ve CuAlNi-B<sub>4</sub>C kompozitler başarılı bir şekilde üretilmiştir. Üretilen numunelere, optik mikroskop, taramalı elektron mikroskobu (SEM-EDS), X-ışını difraktogramı (XRD), X ışını floresansı (XRF) ve mikrosertlik testleri başarılı bir şekilde uygulanmıştır. Deneysel sonuçların raporu aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- Toz metalürjisi yöntemiyle CuAlNi ve farklı oranlarda CuAlNi-SiC üretilmiştir. Elde edilen bu numunelere taramalı elektron mikroskobu, optik mikroskop, XRD, XRF ve mikrosertlik analizleri yapılmıştır. Yapılan bu analizlerin sonuçları aşağıdaki gibidir.
- Elde edilen SEM ve optik mikroskop görüntülerinde SiC' nin CuAlNi içerisinde homojen bir dağılım sergilediği açıkça görülmektedir.
- Üretilen numunelere uygulanan EDS analizleri sonucunda yapıda bulunan Cu, Al, Ni, Si ve C elementlerinin malzeme içerisindeki varlığı saptanmıştır.
- XRD grafiği incelendiğinde Cu, Al, Ni, SiC ve Cu<sub>9</sub>Al<sub>44</sub>, Cu<sub>3</sub>Si, Cu<sub>15</sub>Si<sub>4</sub>, Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub>, Cu<sub>3</sub>Al gibi farklı intermetalik fazlara ait pikler tespit edilmiştir.
- Yapılan sertlik testleri sonucunda SiC takviyeli numunelerin sertliği CuAlNi numunesinden daha yüksek değerlere sahip olduğu saptanmıştır. Kompozit içerisindeki SiC miktarının artmasıyla sertlik değerlerinde doğru orantılı bir artış olmuştur. %10SiC ilave edilmesiyle elde edilen numunenin mikrosertlik değeri 451,5 HV<sub>5</sub> olarak ölçülmüştür.

- Belete Sirahbizu Yigezu ve arkadaşları alüminyum alaşımlı metal matris kompozitinin mikroyapısı, sertliği ve çekme özellikleri üzerine çalışmalar yapmışlardır. Alüminyum matrisli kompozite SiC partiküller eklemiştirler. Alüminyum alaşımlarının SiC gibi seramik parçacıklarla güçlendirilmesi, geleneksel alüminyum alaşımlarına göre mukavemet ve sertliği artırma ve aşınma direncini artırma gibi önemli mekanik özellikler kazandırdığı sonucuna ulaşmışlardır [46].
- M.R.Akbarpour ve arkadaşları Cu-SiC nanokompozitlerin sertlik, aşınma ve sürtünme özellikleri üzerine çalışmalar yapmışlardır. SiC nanoparçacık içeriğinin hacimce %2'ye kadar artırılması nanokompozitin sertliğini artırır. Daha yüksek SiC içeriklerinde sertlik azalır. Üretilen nanokompozitler, mikro taneli Cu (yaklaşık 60 HV) ile karşılaştırıldığında daha yüksek bir sertlik (yaklaşık 3 kat) gösterdiği sonucuna ulaşmışlardır [47].
- B.P.Dileep ve arkadaşları Al-Ni-SiC metal matris kompozitlerinin mekanik ve korozyon davranışı üzerine çalışmalar yapmışlardır. Saf temel matrise takviye olarak %4 Ni ve % 2, 4, 6 ve % 8 SiC eklemiştirler. Alüminyum matrisin sertliği SiC yüzdesi arttıkça artmış, %8 SiC kompozit için %87' lik bir maksimum artış elde edilmiştir [48].
- L. Mamundi Azaath ve arkadaşları toz metalurjisi yoluyla sentezlenen Cu-20Al-4Ni/SiC kompozitlerin mekanik özellikleri, mikroyapısı ve korozyon etkisi üzerine deneysel araştırmalar isimli bir çalışma yapmışlardır. Üç farklı ağırlık yüzdelerinde silisyum karbür (0, 2, 4, 6) alüminyum bronz matris (Cu-20 %Al-4 %Ni) ile takviye edilmiştir. Bu kompakt, borulu fırın kullanılarak 650 ve 750 °C gibi iki farklı sıcaklıkta ısıtıldı. Silisyum karbür içeriğindeki artışla yoğunluk azalmıştır. 750 °C sinterlenen Alüminyum bronz - %4 SiC kompozitin 32HRC ile maksimum sertlik sergilemiştir [49].
- Sonuç olarak, yaptığımız çalışma literatürdeki çalışmalar ile benzer sonuçlar göstermektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] V. Recarte, J. Pérez-Landazábal, P. Rodríguez, E. Bocanegra, M. Nó, J. San Juan, Thermodynamics of thermally induced martensitic transformations in Cu–Al–Ni shape memory alloys, *Acta materialia*, 52 (2004) 3941-3948.
- [2] P. Taylor, A. Moser, A. Creed, A sixty-four element tactile display using shape memory alloy wires, *Displays*, 18 (1998) 163-168.
- [3] N. KAYALI, Cu Zn Al alaşımlarında martensit stabilizasyonu ve yaşlandırma etkileri, (1993).
- [4] W. Wang, E. Guo, Z. Chen, H. Kang, Z. Chen, C. Zou, R. Li, G. Yin, T. Wang, Correlation between microstructures and mechanical properties of cryorolled CuNiSi alloys with Cr and Zr alloying, *Materials Characterization*, 144 (2018) 532-546.
- [5] Q. Lei, S. Li, J. Zhu, Z. Xiao, F. Zhang, Z. Li, Microstructural evolution, phase transition, and physics properties of a high strength Cu–Ni–Si–Al alloy, *Materials Characterization*, 147 (2019) 315-323.
- [6] H. Kim, J.H. Ahn, S.Z. Han, J. Jo, H. Baik, M. Kim, H.N. Han, Microstructural characterization of cold-drawn Cu–Ni–Si alloy having high strength and high conductivity, *Journal of Alloys and Compounds*, 832 (2020) 155059.
- [7] Ş.H. Atapek, S. Pantelakis, Ş. Polat, A. Chamos, G.A. Çelik, Fatigue behavior of precipitation strengthened Cu–Ni–Si alloy modified by Cr and Zr addition, *International Journal of Structural Integrity*, (2020).
- [8] R. Wu, K. Zhou, Z. Yang, X. Qian, J. Wei, L. Liu, Y. Huang, L. Kong, L. Wang, Molten-salt-mediated synthesis of SiC nanowires for microwave absorption applications, *CrystEngComm*, 15 (2013) 570-576.
- [9] A. Dash, Y.J. Sohn, R. Vaßen, O. Guillon, J. Gonzalez-Julian, Synthesis of Ti<sub>3</sub>SiC<sub>2</sub> MAX phase powder by a molten salt shielded synthesis (MS3) method in air, *Journal of the European Ceramic Society*, 39 (2019) 3651-3659.
- [10] M. Öveçoğlu, Toz metalurjisi tarihsel gelişim, üretim aşamaları ve yeni eğilimler, 9, Uluslararası Metalurji Ve Malzeme Kongresi, 449 (1997) 475.
- [11] U. ÇALIGÜLÜ, H. DİKBAŞ, M. TAŞKIN, Sıcak Presleme Yöntemiyle İmal Edilmiş SiCp Takviyeli Alüminyum Esaslı Kompozitlerin Difüzyon Kaynağında Sürenin Birleşme Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi.
- [12] Ö. Özgün, Toz metalurjisi ile üretilen alaşımlı çeliklerin mikroyapı ve mekanik özellikleri, Sakarya Üniversitesi, 2007.

- [13] R.M. German, Powder metallurgy science, Metal Powder Industries Federation, 105 College Rd. E, Princeton, N. J. 08540, U. S. A, 1984. 279, (1984).
- [14] S. Sarıtaş, Toz metalurjisi, Makine müh. el kitabı, MMO, 2, Baskı, I. Cilt, (1994).
- [15] R. Binali, M. Coşkun, S. Neşeli, An Investigation of Power Consumption in Milling AISI P20 Plastic Mold Steel By Finite Elements Method, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (2022) 513-518.
- [16] R. Binali, S. YALDIZ, S. Neşeli, S960QL Yapı Çeliğinin İşlenebilirliğinin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile İncelenmesi, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (2021) 85-91.
- [17] L. Lu, M. Lai, C. Ng, Enhanced mechanical properties of an Al based metal matrix composite prepared using mechanical alloying, Materials Science and Engineering: A, 252 (1998) 203-211.
- [18] L. Cambroner, E. Sánchez, J. Ruiz-Roman, J. Ruiz-Prieto, Mechanical characterisation of AA7015 aluminium alloy reinforced with ceramics, Journal of Materials Processing Technology, 143 (2003) 378-383.
- [19] M.F. Gozzi, E. Radovanovic, I.V.P. Yoshida, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/SiC nanocomposite powder from a preceramic polymeric network based on poly (methylsilane) as the SiC precursor, Materials Research, 4 (2001) 13-17.
- [20] S. Saritas, M. Turker, N. Durlu, Toz Metalurjisi ve Parçacıklı Malzeme İşlemleri, Powder Metallurgy & Particulate Materials Processing, German, (RM), Türk Toz Metalurjisi Derneği, (2007) 235-246.
- [21] A. Ersümer, Toz metallürjisi: sert metal, sinterleme, İstanbul Teknik Üniversitesi Kütüphanesi, 1970.
- [22] A. Kurt, Toz metal bronz yatak malzemelerinin özellikleri, (1992).
- [23] M. Çiğdem, İmal usulleri, Çağlayan Kitabevi, 2006.
- [24] Z. Yılmaz, Bor nitrür-silisyum karbür kompozitlerin sentezi ve özelliklerinin araştırılması, Anadolu University (Turkey), 2018.
- [25] B. Baksan, R. Gürler, Toz metalurjisinin savunma sanayiinde uygulanması, Osmangazi Üniversitesi, Metalurji Enstitüsü, (2003).
- [26] Ş. Karagöz, R. Ymanoğlu, S.A. Atay, Al-Sic Tozlarının Prep Atomizasyonu İle Üretimi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 9 (2009) 23-28.
- [27] G.S. Upadhyaya, Powder metallurgy technology, Cambridge Int Science Publishing, 1997.

- [28] C.C. Koch, Milling of brittle and ductile materials, ASM Handbook, 7 (1998) 53-66.
- [29] A. Ekşi, A.O. Kurt, Metal ve seramik tozlarının bilgisayar kontrollü tek eksenli kalıpta preslenmesi, (1999).
- [30] E. Bahçeci, Al matrisli  $\alpha$ -Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> takviyeli kompozit malzeme üretimi ve işlenebilirliğinin karakterizasyonu, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Gazi Üniversitesi, Gazi Üniversitesi Yüksek lisans, (2006).
- [31] M.E. Cura, Sıcak preslenmiş Wc-Co/B<sub>4</sub>C kompozitlerinin mekanik, manyetik ve mikroyapısal incelenmesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2002.
- [32] A. Milli, Mekanik alaşımlama yöntemi ile (B<sub>4</sub>C+ FeTi) takviyeli Fe esaslı kompozit üretimi, Namık Kemal Üniversitesi, 2017.
- [33] A.W. Weimer, Carbide, nitride and boride materials synthesis and processing, Springer Science & Business Media, 2012.
- [34] E. Işık, Y. USTA, SiC Takviyeli Al 12Si Matrisli Kompozitin Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretimi ve Aşınma Davranışının İncelenmesi, (2004).
- [35] N. Ergün, Bor karbür-silisyum karbür kompozitlerinin reaktif sıcak presleme ile üretilmesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
- [36] B.R. Jones, A.R. Prunier Jr, A.J. Pyzik, Brake or clutch components having a ceramic-metal composite friction material, Google Patents, 1999.
- [37] E. Çağlar, Bor Karbür/Bor Karbür Silisyum Tabakalı Kompozitlerin Spark Plazma Sinterleme Tekniği İle Üretimi Ve Karakterizasyonu, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2015.
- [38] A. Rashed, Properties and characteristics of silicon carbide, sl: Poco GraphiteTX, 76234 (2002).
- [39] T. Sudarshan, Materials science and engineering of bulk silicon carbides, SiC Power Materials, Springer, 2004, pp. 1-61.
- [40] Z. Taşlıçukur, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/SiC kompozitlerinin spark plazma sinterleme (SPS) prosesi ile üretimi ve karakterizasyonu, (2010).
- [41] H. Abderrazak, E. Hmida, Silicon carbide: synthesis and properties, Properties and applications of Silicon Carbide, (2011) 361-388.
- [42] M. Kaiser, S. Schimmel, V. Jokubavicius, M. Linnarsson, H. Ou, M. Syväjärvi, P. Wellmann, Nucleation and growth of polycrystalline SiC, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, IOP Publishing, 2014, pp. 012001.
- [43] J. Fan, X. Wu, P.K. Chu, Low-dimensional SiC nanostructures: fabrication, luminescence, and electrical properties, Progress in materials science, 51 (2006) 983-1031.

- [44] N.P. Padture, C.J. Evans, H.H. Xu, B.R. Lawn, Enhanced machinability of silicon carbide via microstructural design, *Journal of the American Ceramic Society*, 78 (1995) 215-217.
- [45] O. Pluchery, J.-M. Costantini, Infrared spectroscopy characterization of 3C–SiC epitaxial layers on silicon, *Journal of Physics D: Applied Physics*, 45 (2012) 495101.
- [46] Yigezu, Belete Sirahbizu, Manas Mohan Mahapatra, and Pradeep Kumar Jha. "Influence of reinforcement type on microstructure, hardness, and tensile properties of an aluminum alloy metal matrix composite." (2013).
- [47] Akbarpour, M. R., et al. "Hardness, wear and friction characteristics of nanostructured Cu-SiC nanocomposites fabricated by powder metallurgy route." *Materials today communications* 18 (2019): 25-31.
- [48] Dileep, B. P., Vb Ravikumar, and H. R. Vital. "Mechanical and corrosion behavior of Al-Ni-SiC metal matrix composites by powder metallurgy." *Materials Today: Proceedings* 5.5 (2018): 12257-12264.
- [49] Azaath, L. Mamundi, et al. "Experimental Investigations on the Mechanical Properties, Microstructure and Corrosion Effect of Cu-20Al-4Ni/SiC Composites Synthesized Using Powder metallurgy Route." *Silicon* (2021): 1-10.

## ÖZGEÇMİŞ

Hasan KAÇAN ilk ve orta öğrenimini Adana ilinde, liseyi Elazığ ilinde tamamladı. 2019 yılında Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Raylı Sistemler Mühendisliği (İngilizce), 2020 yılında Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği (İngilizce) bölümlerinde lisans eğitimini tamamladı. 2019 yılında Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği ana bilim dalında yüksek lisans eğitimine başladı. 2020 yılında Subay Temel Askerlik ve Subaylık Anlayışı Kazandırma kursuna girdi. 2021 yılında bu kurstan teğmen rütbesi ile mezun oldu. Halen görevine devam etmektedir.