

## Güçlendirilmiş Bakır Esaslı Kompozit Malzemelerin Mikroyapı ve Sertlik Özellikleri

Emine ŞAP<sup>1\*</sup>

**ÖZET:** Deneysel olarak yapılan bu çalışmada, toz metalurjisi metodu kullanılarak Cu-Mo/SiC<sub>p</sub> metal matrisli kompozit malzeme imal edilmiştir. Bakır ana matris içerisine ağırlıkça % 5, % 10 ve % 15 oranlarında Mo-SiC<sub>p</sub> tozları eklenerek toz karışımlar elde edilmiştir. Homojen bir karışım elde etmek amacıyla tozlar bir turbula cihazında yaklaşık dört saat karıştırılmıştır. Hazırlanan karışımlara 600 MPa basınç uygulanarak soğuk pres yapılmış olup numuneler oluşturulmuştur. Sonraki aşamada şekillendirilen numuneler argon gazı eşliğinde farklı 2 sinterleme süresi kullanılarak 1000 °C sıcaklıkta sinterleme işlemi uygulanmıştır. Üretilen numuneler yoğunluk, mikroyapı ve sertlik deneylerine tabi tutulmuştur. Deneyler neticesinde, takviye tozlarının mikroyapıları belirgin bir şekilde ortaya çıkmış ve sertlik değerlerinde de artışlar tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kompozit malzemeler, toz metalurjisi, mikroyapı, sertlik

### Microstructure and Hardness Properties of Reinforced Copper-Based Composite Materials

**ABSTRACT:** In this experimental study, composite material with Cu/Mo-SiC<sub>p</sub> metal matrix was produced by using powder metallurgy method. Powder mixtures were obtained by adding 5 wt.%, 10 wt.%, and 15 wt.% Mo-SiC<sub>p</sub> powders to the copper main matrix. The powders were mixed in a turbula for approximately four hours to obtain a homogeneous mixture. Prepared mixtures was made by applying cold press pressure of 600 MPa and samples were formed. In the next step, the samples formed were sintered at 1000 °C using 2 different sintering times in the presence of argon gas. Density, microstructure and hardness tests were applied to the produced samples. As a result of the experiments, the microstructures of the reinforcing powders were clearly revealed and increases in the hardness values were found.

**Keywords:** Composite materials, powder metallurgy, microstructure, hardness

<sup>1</sup>Emine ŞAP (Orcid ID: 0000-0002-7739-0655), Bingöl Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Bingöl, Türkiye

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Emine ŞAP, e-mail: esap@bingol.edu.tr

## GİRİŞ

Teknolojinin gelişmesiyle beraber artan talep, malzeme alanındaki çalışmaların da artmasına sebep olmuştur. Malzeme alanındaki çalışmalardan biri de metal matrisli kompozit (MMK) üretimidir (Uzun ve ark., 2018). Metal matrisli kompozitler, kimyasal ve fiziksel olarak birkaç farklı ürünün birleştirilmesiyle elde edilen, ana matris malzemesi demir (Fe), bakır (Cu) ve alüminyum (Al) gibi metalik malzemelerden oluşan alaşımlar olarak isimlendirilebilir. Bu alaşımların üretim yöntemlerinden biri de Toz metalurjisi (T/M) metodudur. Metal tozlarının birbiriyle belirli oranlarda karıştırılması ve karıştırılan tozların bir kalıp aracılığıyla sıkıştırılarak kompozit malzeme üretim sürecine T/M yöntemi denir (Özyürek ve ark., 2019). Sıkıştırılan parçalar kalıp şeklini alır ve daha sonra metalurjik olarak birleşme için kontrollü bir atmosfer fırınında sinterleme işlemi yapılır. T/M'nin önemli bir avantajı da, farklı yöntemlerle üretilmesi zor olan parçaların kolaylıkla üretilebilmesine olanak sağlamasıdır (Urtekin ve ark., 2020; Yönetken, 2019). Bu yöntemle malzeme israfı önlenmekte ve toz üretimi sırasında ince ölçekli dentritik yapıların hızlı bir şekilde katılaşmaya neden olması mekanik özelliklerin gelişmesine yol açmaktadır. Birçok avantajına rağmen T/M, toz üretiminin maliyetli olması sebebiyle bazı imalat yöntemlerinden daha az ekonomiktir (Uzun ve Usca, 2018).

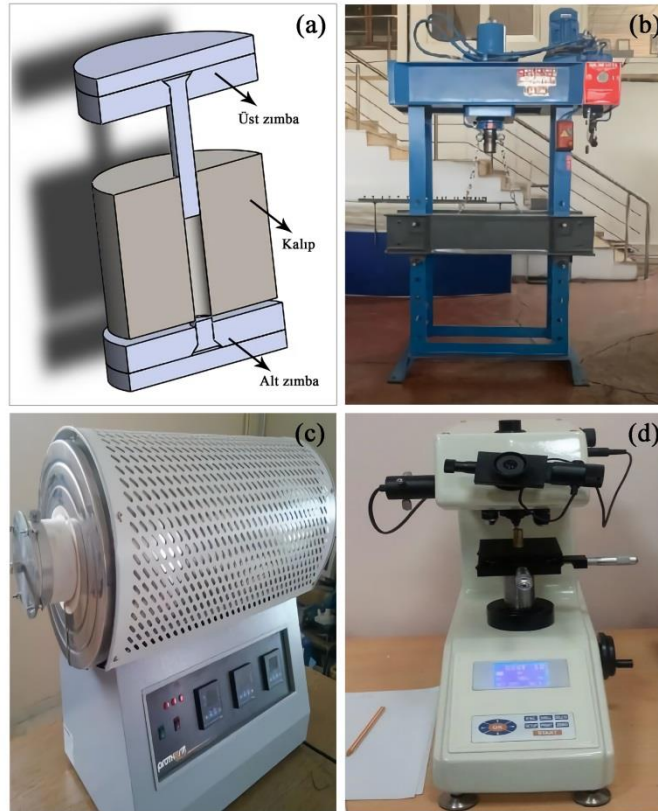
Bakır ve alaşımları, elektrik, termal ve korozyon gibi mükemmel özellikleri sebebiyle birçok endüstri alanında geniş bir şekilde kullanılmaktadır (Islak ve ark., 2019; Karakulak, 2017; Özgün ve Bulut, 2020). Bakır-Molibden (Cu-Mo) alaşımlarının elektrik ve otomotiv sanayisinde tercih edildiği bilinmektedir (Aguilar ve ark., 2014; Aguilar ve ark., 2007). Bu alaşımlar, yüksek termal iletkenliğe, düşük ısıl genleşme modülüne ve yüksek sıcaklıklarda çok iyi mekanik özelliklere sahiptir (Zhou ve ark., 2010). Cu-Mo alaşımları, ısı alıcıları, elektronik paketleme aygıtları ve vakum teknolojileri gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Gür ve ark., 2019). Cu-Mo alaşımları son yıllarda yeni bir kompozit türü olarak kabul edilmektedir (Dos Santos ve ark., 2019; Martínez ve ark., 2007). Metal matrisli kompozitler çok iyi mekanik özelliklerinden dolayı bazı endüstrilerde ihtiyaçları karşılamak amacıyla kullanılabilir ve geleneksel güçlendirilmemiş ürünlere göre eşsiz bir avantaj sağlamaktadır (Kırık ve ark., 2013). Bu sebeple, havacılık ve uzay endüstrilerinde tercih edilmektedir. Silisyum karbür ( $SiC_p$ ) birçok teknolojik malzemede kullanılmakla beraber genellikle saflık derecesine göre metalurjik, abrasif ve sinter amaçlı olarak da kullanılabilir.  $SiC_p$ 'ler, kimya endüstrisinde kaplama ve valflerde, kum borularında, lens kalıplarında, roket memelerinde vb. birçok teknolojide sıklıkla kullanılmaktadır. Ayrıca, aşınma ve havacılık endüstrisinde yakıt deposu, pompa ve kalıplarda  $SiC_p$  uygulamaları tercih edilmektedir.

Bu çalışmada ana matris olarak kullanılan bakır tozları içerisine üç farklı oranda Mo ve  $SiC_p$  toz partikülleri eklenerek karışım tozlar elde edilmiştir. Karışım tozlar bir karıştırıcı turbula cihazında ortalama dört saat boyunca karıştırılmış ve tek eksenli hidrolik bir preste 600 MPa basınçta sıkıştırılmıştır. Şekillendirilen numuneler 2 farklı sinterleme süresi ile 1000 °C sıcaklıkta sinterlenmiştir. Üretilen numunelerin yoğunluk, mikroyapı ve sertlik deneyleri yapılmıştır. Deneyler neticesinde saf bakır ve farklı oranlarda üretilen Cu-Mo/ $SiC_p$  kompozitleri karşılaştırılmıştır.

## MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada atomizasyon yöntemiyle imal edilen küresel formdaki Cu (% 99.90  $\geq$  saflık, 44  $\mu$ m ortalama toz boyutu) tozları ana matris malzemesi olarak kullanılmıştır. Takviye elemanı olarak ise Mo (% 99.95  $\geq$  saflık, 44  $\mu$ m ortalama toz boyutu) ve  $SiC_p$  (% 99.00  $\geq$  saflık, 45-75  $\mu$ m ortalama toz boyutu) tozları ham madde olarak kullanılmıştır. Çizelge 1.'de deneylerde kullanılan toz partiküllerinin bazı özellikleri verilmiştir. Ana matris içerisine takviye malzemesi olarak kullanılan toz partikülleri ağırlıkça % 5 - % 10 - % 15 oranlarında ilave edilmiştir. Çizelge 2.'de deneylerde

kullanılan toz partiküllerinin ağırlıkça oranları görülmektedir. Tozlar, Nanokar Kimyevi Maddeler San.ve Tic. Ltd.Şti. firmasından temin edilmiştir. Tozların tartılmasında Radwag PS 6000.R1 0.0001 gr. hassasiyetli terazi kullanılmıştır. Hassas terazide tartılan tozlar, homojen bir karışım oluşturmak amacıyla oda sıcaklığında bir turbula karıştırıcıda 4 saat süresince karıştırılmıştır. Numunelerin kalıptan kolay çıkarılması amacıyla kalıbın iç cidarları çinko stearat ile yağlanmıştır. Karışım tozları tek eksenli hidrolik bir preste 600 MPa basınç uygulanarak sıkıştırılmıştır. Şekillendirilen numuneler Protherm Furnaces elektrikli sinter fırınında koruyucu Argon gazı eşliğinde 1 saat 1000 °C ve 2 saat 1000 °C olmak üzere iki farklı sinterleme süresinde sinterlenmiş ve kontrollü bir şekilde fırın içinde soğutulmaya bırakılmıştır. Çizelge 3.'te deneylerde kullanılan numunelerin üretim parametreleri görülmektedir. Bu işlemler neticesinde 12 mm çapında ve 18 mm uzunluğunda silindirik deney numuneleri başarıyla üretilmiştir. Şekil 1.'de deneylerde kullanılan ekipmanların fotoğrafları görülmektedir. Şekil 2.'de ham toz partiküllerinin SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) fotoğraflarında görülmektedir.



Şekil 1. Deneylerde kullanılan ekipmanların makro görüntüleri; a) Kalıp, b) Hidrolik pres, c) Sinter fırını, d) Sertlik cihazı

Çizelge 1. Deneylerde kullanılan toz partiküllerinin bazı özellikleri

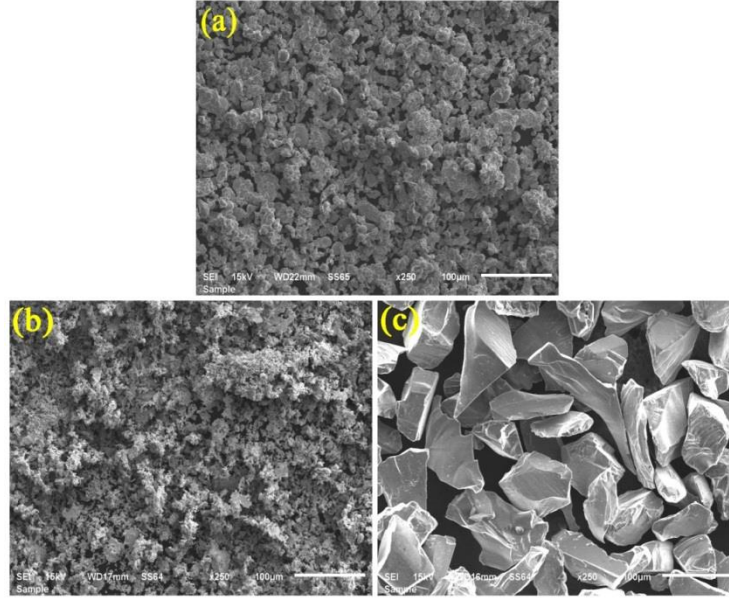
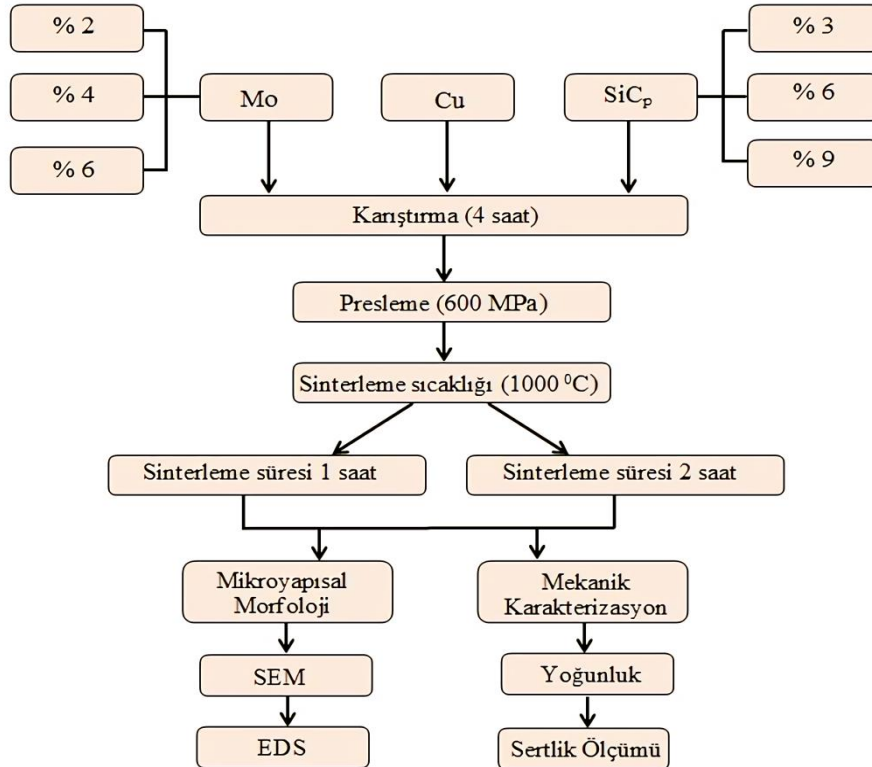
Tozlar	Yoğunluk (gr cm <sup>-3</sup> )	Erime Sıcaklığı (°C)	Partikül Boyutu (µm)	Safılık (%)
Cu	8.96	1083	< 44	≥ 99.90
Mo	8.20	2610	< 44	≥ 99.95
SiC <sub>p</sub>	3.21	2730	45-75	≥ 99.00

Çizelge 2. Deneylerde kullanılan toz partiküllerinin ağırlıkça oranları

Numuneler	Cu Oranı (%)	Mo Oranı (%)	SiC <sub>p</sub> Oranı (%)	Numune Sayısı (Adet)
Saf Numune	100	-	-	6
% 5 Cu/Mo-SiC <sub>p</sub>	95	2	3	6
% 10 Cu/Mo-SiC <sub>p</sub>	90	4	6	6
% 15 Cu/Mo-SiC <sub>p</sub>	85	6	9	6

Çizelge 3. Numune üretim parametreleri

Numune	Karıştırma süresi (saat)	Pres basıncı (MPa)	Sinterleme sıcaklığı ( $^{\circ}$ C)	Sinterleme süresi (saat)
Cu/Mo-SiC <sub>p</sub>	4	600	1000	1-2

Şekil 2. Ham tozların morfolojileri a) Cu tozu b) Mo tozu c) SiC<sub>p</sub> tozu

Şekil 3. Deney aşamalarını gösteren çizelge

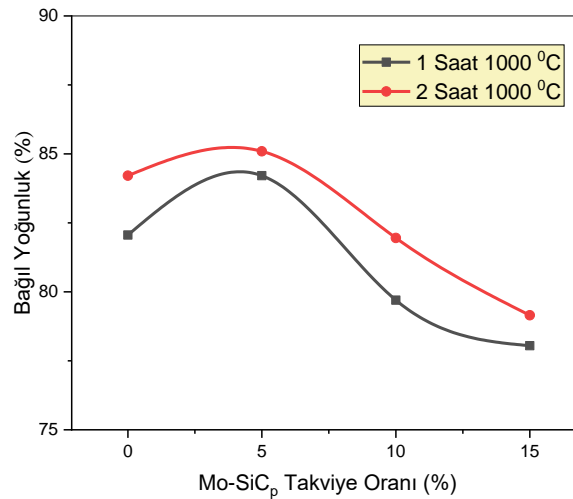
Üretilen sinterlenmiş numunelerin mikroyapı analizleri JEOL JSM 6510 marka (SEM) taramalı elektron mikroskopunda gerçekleştirilmiştir. SEM için numuneler sıraya 200, 400, 600, 800, 1000 ve 1200 grid SiC kağıtları ile zımparalanmıştır. Yüzeyleri zımparalanan numuneler 3 µm elmas süspansiyon ile parlatma işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonra numunelere, metalografik deneyler için

% 5 nital çözeltisi ile dağlama işlemi uygulanmıştır. Kütle ağırlıkları tespit edilen numunelerin yoğunlukları hesaplanarak kayıt altına alınmıştır. 3 farklı oranda takviye edilen ve 2 farklı sinterleme süresi ile sinterlenen numunelerin makro sertliğe etkilerini bulmak amacıyla Brinell sertlik yöntemi kullanılmıştır. Sertlik deneyleri BMS Hardness Testers cihazında yapılmıştır. Ölçüm başlangıcında 10 saniye boyunca 10 kg ön yük uygulanmıştır. Her numune için 5 sertlik ölçümü tespit edilmiş ve sonuçlar bu ölçümlerin aritmetik ortalaması alınarak tespit edilmiştir. Şekil 3.'de deney aşamalarını gösteren çizelge görülmektedir.

## BULGULAR VE TARTIŞMA

### Yoğunluk

Sinterleme sonrası kütleleri tespit edilen numunelerin hacim, çap ve uzunlukları belirlenmiştir. Şekil 4.'de farklı sinterleme sürelerine tabi tutulan Cu esaslı Mo-SiC<sub>p</sub> takviyeli kompozitin bağıl yoğunluk grafiği görülmektedir.



Şekil 4. Üretilen numunelerin farklı sinterleme sürelerindeki bağıl yoğunluk grafiği

$$\rho_g = m/V \quad (1)$$

$$D_t = [(W_{Cu} \% \cdot D_{Cu}) + (W_{Mo} \% \cdot D_{Mo}) + (W_{SiCp} \% \cdot D_{SiCp})] \quad (2)$$

$$D_b = \rho_g / D_t \quad (3)$$

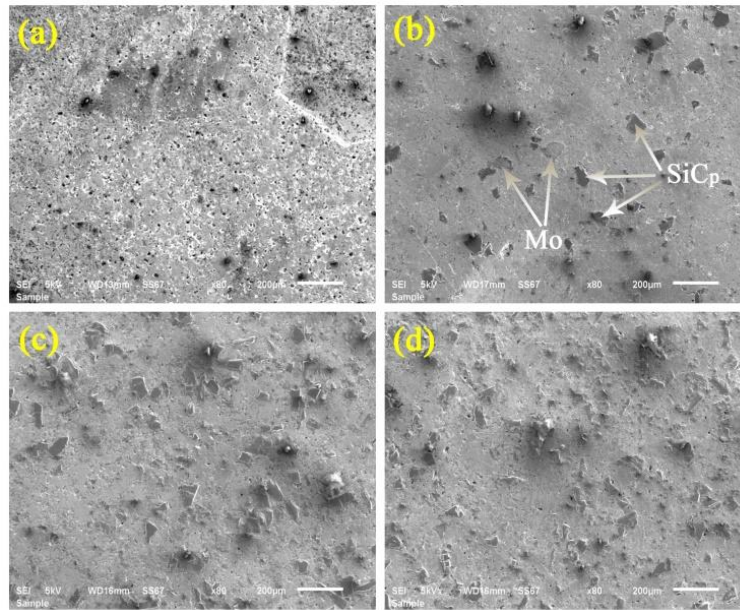
Burada  $\rho_g$  numunenin gerçek yoğunluğu (gr cm<sup>-3</sup>),  $m$  numune kütlesi (g) ve  $V$  numune hacmi (cm<sup>3</sup>) olarak adlandırılmaktadır. Gerçek yoğunluk Eşitlik 1.'e göre hesaplandı. Teorik yoğunluk ise Eşitlik 2.'ye göre hesaplandı.  $D_t$  numune teorik yoğunluğu (gr cm<sup>-3</sup>),  $D_{Cu}$  bakırın yoğunluğu (gr cm<sup>-3</sup>),  $D_{Mo}$  Molibdenin yoğunluğu (gr cm<sup>-3</sup>),  $D_{SiCp}$  Silisyum karbürün yoğunluğu (gr cm<sup>-3</sup>),  $W_{Cu} \%$  ağırlıkça Cu yüzdesi,  $W_{Mo} \%$  ağırlıkça Mo yüzdesi,  $W_{SiCp} \%$  ağırlıkça SiC<sub>p</sub> yüzdesi olarak temsil edilmektedir. Bağıl yoğunluk, Eşitlik 3.'te belirtildiği gibi gerçek yoğunluğun teorik yoğunluğa oranlanmasıyla elde edildi. 1 saat boyunca 1000 °C sıcaklıkta sinterlenen numuneler arasında en yüksek yoğunluk değeri % 5 katkı oranına sahip numunede % 84.21 olarak tespit edilmiştir. 2 saat boyunca 1000 °C sıcaklıkta sinterlenen numuneler arasında ise en yüksek yoğunluk değeri % 5 katkı oranına sahip numunede % 85.09 olarak tespit edilmiştir. Farklı sürelerin yoğunluğa etkisine bakacak olursak, 2 saat boyunca



1000 °C sıcaklıkta sinterlenen % 5 katkı oranına sahip numune % 85.09 değeri ile en yüksek yoğunluk değerine sahiptir. Buradan yola çıkarak sinterleme süresinin yoğunluğu artırdığı söylenebilir.

### SEM Analizi

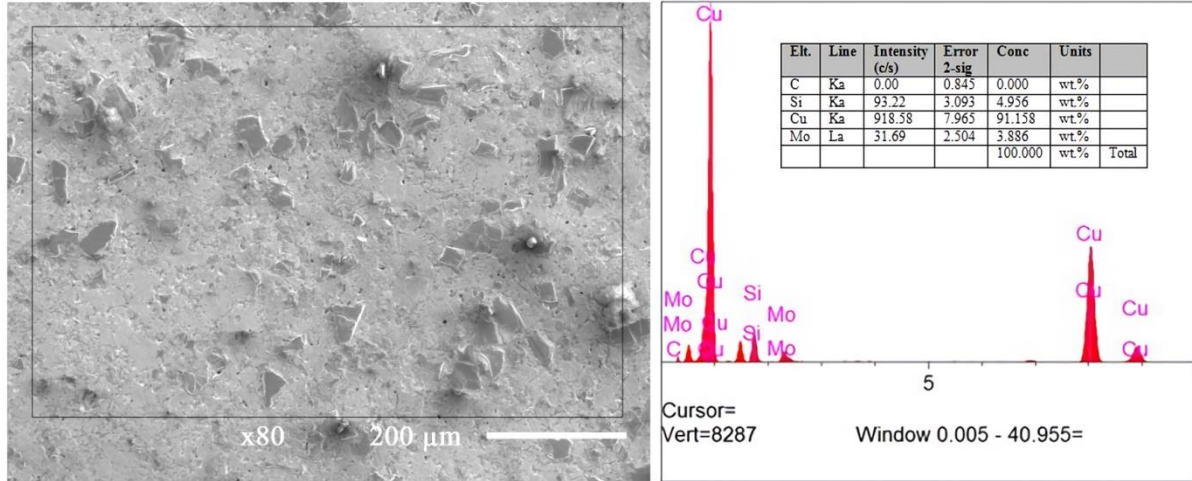
Farklı takviye oranlarında Mo-SiC<sub>p</sub> içeren Cu ana matrisli numunelerin SEM fotoğrafları Şekil 5.'te görülmektedir. SEM fotoğraflarına bakıldığında saf numunenin daha büyük gözeneklere sahip olduğu tespit edilmiştir. Takviye oranları arttıkça gözenek boyutlarında da ters orantılı olarak azaldığı belirlenmiştir. Ayrıca SEM fotoğraflarında da görüldüğü gibi Cu içerisine farklı oranlarda takviye edilen Mo-SiC<sub>p</sub> toz partiküllerinin homojen bir şekilde dağıldığı görülmektedir. Homojen dağılım aynı zamanda gözeneklilik oranının azalmasına sebep olmaktadır. SEM fotoğraflarında mikroyapıdaki koyu ve açık renkli fazlar görülmektedir. Mo-SiC<sub>p</sub> ilavesi ana matriste önemli değişikliklere neden olmuştur. Bunlardan biri takviye oranına paralel bir şekilde artış gösteren sertlik değerleridir. Bir diğeri de gözenek sayısının ve büyüklüklerinin azalması olarak söylenebilir. Genel olarak takviye ile güçlendirilmiş numunelerde düzensiz şekilli gözeneklere rastlanmamıştır ve mevcut gözeneklerin de elips şeklinde bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Ağırlıkça % 5 Mo-SiC<sub>p</sub> ile güçlendirilmiş numunede en az gözeneklilik oranına rastlanmıştır. Ayrıca takviye ile güçlendirilmiş numunelerde iri taneli matrisler elde edildiği SEM fotoğraflarında net bir şekilde görülmektedir. SEM fotoğraflarından da görüldüğü gibi gözenekliliğin azalması, sinterleme süresinin yoğunluğu artırdığını desteklemektedir.



Şekil 5. Farklı takviye oranlarına sahip numunelerin SEM fotoğrafları a) Saf numune, b) % 5 Mo-SiC<sub>p</sub>, c) % 10 Mo-SiC<sub>p</sub>, d) % 15 Mo-SiC<sub>p</sub>

### EDS Analizi

Ağırlıkça % 10 Mo-SiC<sub>p</sub> takviye oranına sahip numunenin SEM/EDS analizi fotoğrafı Şekil 6.'te görülmektedir. Çalışmada yüksek saflıkta toz partikülleri kullanılmıştır. Analiz fotoğrafından da görüldüğü gibi bakır pikleri oldukça yüksektir. Takviye partiküllerinin ana matris içerisinde homojen bir şekilde dağıldığı, EDS analizi ve tablodan da görülmektedir. Farklı oranlarda üretilen numunelerden alınan SEM/EDS analizlerine göre tane sınırlarındaki element oranlarıyla, matris içerisindeki oranlar birbirini destekler niteliktedir.



Şekil 6. % 10 Mo-SiC<sub>p</sub> takviye oranına sahip numunenin SEM-EDS analizi fotoğrafı

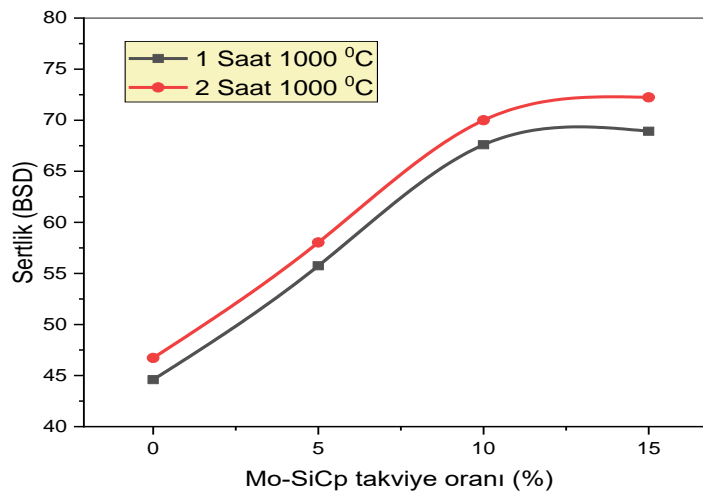
### Sertlik Deneyi

Şekil 7.'te farklı takviye oranları ile güçlendirilmiş kompozitlerin sertlik grafiği görülmektedir. Sertlik deneyi için saf ve farklı oranlardaki kompozitlerden farklı sinterleme sürelerinde kullanılmak üzere her bir orandan üçer adet üretim yapılmıştır. Sertlik sonuçlarının tespitinde Brinel sertlik metodu uygulanmıştır. Brinel sertlik metodunda uygulanacak yükü tespit etmek amacıyla formül.4 kullanılmıştır.

$$P = CxD^2$$

(4)

Burada,  $P$  : Uygulanacak kuvvet (Kgf),  $C$  : Numune malzemesine göre değişen katsayı,  $D$  : Bilye çapı (mm) olarak uygulanmaktadır. Formülde hesaplama yapılırken bakır, pirinç ve bronz malzemelerde  $C$  katsayısı 10 alınarak kullanılmaktadır. Bilye çapı ( $D$ ) ise 2.5 mm olarak uygulanmaktadır. Yapılan hesaplamalara göre sertlik analizinde kullanılacak olan yük 62.5 kgf olarak tespit edilmiştir. Sertlik analizi için hazırlanan her numunenin 5 farklı bölgesinden alınmak üzere Brinell makro sertlik değerleri tespit edilmiştir. Belirlenen bu değerlerin aritmetik ortalaması alınarak ortalama sertlik değerleri belirlenmiştir. Bu sertlik değerleri kullanılarak sertlik-takviye oranı grafiği elde edilmiştir.



Şekil 7. Farklı takviye oranları ve farklı sinterleme sürelerine sahip numunelerin sertlik grafiği

Grafikten de görüldüğü gibi saf Cu ile farklı oranlarda ve farklı sinterleme sürelerine sahip Mo-SiC<sub>p</sub> kompozitlerinin sertlik değerlerinde orantılı bir şekilde artış tespit edilmiştir. Takviye oranları arttıkça buna paralel olarak sertlik değerlerinde de artışlar tespit edilmiştir. Aynı zamanda 2 saat sinterleme süresine tabi tutulan numunelerin, 1 saat sinterleme süresine tabi tutulan numunelerden daha fazla sertlik değerlerine sahip olduğu görülmektedir. En yüksek sertlik değerine 72.246 BSD ile % 15 takviye oranına ve 2 saat sinterleme süresine sahip numunede rastlanmıştır. Sertlik oranındaki bu artışın sebebi olarak, artan takviye oranı ve sinterleme süresinin mekanik özellikleri iyileştirdiği söylenebilir. Uzun ve ark. (Uzun ve ark., 2018) yaptıkları bir çalışmada Cu ana matris içerisine farklı oranlarda Krom Karbür (CrC) ilavesiyle üretilen kompozitlerin mikrosertlik ölçümleri sonucunda takviye oranının artmasına paralel olarak sertlik değerlerinde de artış olduğunu belirtmişlerdir

## SONUÇ

Bu çalışmada Toz metalurjisi metodu kullanılmıştır. Ana matris olarak kullanılan yüksek saflıktaki Cu içerisine % 0-5-10-15 oranlarında Mo-SiC<sub>p</sub> toz partikülleri takviye edilerek kompozit malzemeler imal edilmiştir. Farklı oranlarda ve 2 farklı sinterleme süresinde 1000 °C sinterleme sıcaklığı uygulanan bu kompozit malzemelerin mikroyapı ve sertlik özellikleri incelenmiş olup sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar neticesinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Elde edilen verilere göre en yüksek yoğunluk değerine % 85.093 ile % 5 Mo-SiC<sub>p</sub> takviye oranına sahip numunede ulaşılmıştır. Takviye oranı arttıkça % 5 oranına kadar yoğunluk değerlerinde artışlar daha sonra yoğunluk değerlerinde azalmalar tespit edilmiştir.
- SEM analizleri sonucunda mikroyapıda homojen bir dağılım tespit edilmiştir. Takviye oranı arttıkça gözeneklilik oranının azaldığı görülmüştür.
- Cu/Mo-SiC<sub>p</sub> kompozit numunelerde takviye oranının ve sinterleme süresinin artmasına paralel olarak sertlik değerlerinde de artışlar olduğu tespit edilmiştir. Maksimum sertlik değerine 72.246 BSD ile % 15 takviye oranı ve 2 saat sinterleme süresine sahip numunede ulaşılmıştır. Takviye oranı ve sinterleme süresindeki artışın mekanik özellikler üzerinde olumlu bir etkiye neden olduğu söylenebilir.

## KAYNAKLAR

- Aguilar C, Guzmán D, Castro F, Martínez V, de Las Cuevas F, Lascano S, Muthiah T, 2014. Fabrication of nanocrystalline alloys Cu–Cr–Mo super saturated solid solution by mechanical alloying. *Materials Chemistry Physics*, 146(3): 493-502.
- Aguilar C, Ordonez S, Marín J, Castro F, Martínez V. 2007, Study and methods of analysis of mechanically alloyed Cu–Mo powders. *Materials Science Engineering: A*, 464(1-2): 288-294.
- Dos Santos D T, Salemi A, Cristofolini I, Molinari A, 2019. The tensile properties of a powder Metallurgy Cu–Mo–Ni diffusion bonded steel sintered at different temperatures. *Materials Science Engineering: A*, 759: 715-724.
- Gür AK, Yıldız T, Bozkurt N, 2019. 85/15 Bronz Kompozitinde Ni İlavesinin Üretim Parametrelerinde Elektriksel İletkenliğe Etkisi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 10(3): 981-988.
- Islak S, Çalgılı U, Hraam HR, Özorak C, Koç V, 2019. Electrical conductivity, microstructure and wear properties of Cu-Mo coatings. *Research on Engineering Structures Materials*, 5(2).
- Karakulak E, 2017. Toz Metalurjik Cu-Ti Malzemelerin Sinterlenmesi ve Karakterizasyonu/Sintering and Characterization of Powder Metallurgic Cu-Ti Alloys. *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 13(1): 245-250.



- Kırık I, Özdemir N, Çalığülü U, 2013. Effect of particle size and volume fraction of the reinforcement on the microstructure and mechanical properties of friction welded MMC to AA 6061 aluminum alloy. *Kovove Materialy-Metallic Materials*, 51(4): 221-227.
- Martínez Vd P, Aguilar C, Marín J, Ordoñez S, Castro F, 2007. Mechanical alloying of Cu–Mo powder mixtures and thermodynamic study of solubility. *Materials Letters*, 61(4-5): 929-933.
- Özgün Ö, Bulut C, 2020. A novel mixing method for powder metallurgy copper-carbon nanotube composites. *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik*, 51(7): 982-991.
- Özyürek D, Şimşek İ, Dincel Ö, Şimşek D, 2019. Toz Metalürjisi Yöntemiyle Üretilen 17-4 PH Paslanmaz Çeliklerde Mo Miktarının Korozyon Davranışlarına Etkisi. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8: 98-104.
- Urtekin L, Rahmi Ü, Aydın Ö, 2020. Toz Üretim Süreçlerinin Yağlamalı Yataklar Üzerine Etkisi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 11(2): 647-652.
- Uzun M, Munis MM, Usca ÜA, 2018. Different ratios CrC particle-reinforced Cu matrix composite materials and investigation of wear performance. *Journal of Engineering Research Application*, 8(7): 1-7.
- Uzun M, Münis MM, Usca ÜA, 2018. Farklı oranlarda CrC partikül takviyesi kullanılarak toz metalürjisi yöntemiyle üretilmiş Cu matrisli kompozit malzemelerin mikroyapı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(2): 495-501.
- Uzun M, Usca UA, 2018. Effect of Cr particulate reinforcements in different ratios on wear performance and mechanical properties of Cu matrix composites. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences Engineering*, 40(4): 197.
- Yönetken A, 2019. Investigation of the production and mechanical properties of silicon carbide-reinforced composites. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(3): 1551-1558.
- Zhou X, Dong Y, Hua X, Ye Z, 2010. Effect of Fe on the sintering and thermal properties of Mo–Cu composites. *Materials Design*, 31(3): 1603-1606.