

**T/M İLE ÜRETİLEN Co-Mo TAKVİYELİ Cu MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN  
MİKROYAPI VE SERTLİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI****INVESTIGATION OF MICROSTRUCTURE AND HARDNESS PROPERTIES OF Co-Mo  
REINFORCED Cu MATRIX COMPOSITES PRODUCED BY P/M****Emine ŞAP**

Dr. Öğr. Üyesi, Bingöl Üniversitesi, Teknik Bilimler M.Y.O., Elektronik ve Otomasyon Bölümü  
(Sorumlu Yazar)

**Mahir UZUN**

Doç. Dr., İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi., Makine Mühendisliği Bölümü

**ÖZET**

Metal tozları kullanılarak üretim yapılan toz metalürjisi, çok farklı metalik ve alaşım malzemelerinin, seramiklerin imal edilmesine olanak tanıyan hızlı ve kolay bir yöntemdir. Bu yöntem, demir ve demir dışı metallerin üretilmesinde oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. İşlem basamaklarının az olması ve üretilen parçalarda talaşlı imalata yönelik işlemlerin olmaması, bu yöntemi üretim maliyeti açısından daha avantajlı bir hale getirmektedir. Bu benzersiz üretim yöntemi, yakın toleranslara ve minimum hurdaya sahip parçaların üretimine imkan vermektedir. Bununla birlikte başka bir yöntemle üretimi yapılamayan ürünlerin geliştirilmesine de olanak tanımaktadır. Bakır ve bakır alaşımlı tozlar endüstriyel uygulamalarda uzun yıllardır kullanılmaktadır. Saf bakır tozları, mükemmel elektrik ve termal iletkenlikleri sayesinde elektrik ve elektronik endüstrilerinde kullanılmaktadır. Kobalt, Çinko, Molibden ve diğer elementlerle birlikte toz halindeki bakır, yapısal parçalarda ve aşınmaya maruz kalan birçok malzemede kullanılmaktadır. Toz metalürjisi yöntemleriyle üretilen pirinçler, bronzlar ve diğer bakır alaşımları, döküm veya dövme çeliklerinin fiziksel ve mekanik özelliklerine sahip olabilmektedir. Bakır ayrıca, sinterleme sırasında mekanik özellikleri geliştirmek ve boyutsal değişiklikleri kontrol etmek amacıyla demir tozu bileşenlerinde bir alaşım elemanı olarak da kullanılabilir. Bu çalışmada toz metalürjisi yöntemi ile Co-Mo (Kobalt-Molibden) toz partikül takviyeli Cu (Bakır) MMK (Metal Matrisli Kompozit) alaşımlarının mikroyapı ve sertlik özellikleri incelenmiştir. Bu amaçla bakır tozları içerisine ağırlıkça % 5 - % 10 - % 15 Co-Mo tozları karıştırılarak 600 Mpa basınç altında sıkıştırıldıktan sonra 1000 °C sıcaklıkta sinterlenmiştir. Sinterleme sonrasında üretilen numuneler zımparalama ve parlatma işlemlerine tabi tutulmuştur. Daha sonra numunelerin mikroyapı ve sertlik analizleri yapılmıştır. Farklı oranlardaki bileşimler göz önüne alınacak olursa, alaşım içerisinde takviye oranının artmasına paralel olarak sertlik değerlerinde artış gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler :** Toz Metalürjisi, Kobalt, Bakır, Molibden, Sertlik

**ABSTRACT**

Powder metallurgy produced using metal powders is a fast and easy method that allows the production of many different metallic and alloy materials, ceramics. This method is widely used in the production of ferrous and non-ferrous metals. The low process steps and the absence of machining processes in the manufactured parts make this method more advantageous in terms of production cost. This unique production method allows the production of parts with close tolerances and minimum scrap. However, it also enables the development of products that cannot be produced by any other method. Copper and copper alloy powders have been used in industrial applications for many years. Pure copper powders are used in the electrical and electronic industries, thanks to their excellent electrical and thermal conductivity. Copper in powder form with cobalt, zinc, molybdenum and other elements is used in structural parts and in many materials that are subject to wear. Brass, bronze and other copper alloys produced by powder metallurgy methods can have physical and mechanical properties of cast or forged steels. Copper can also be used as an alloying element in iron powder components to improve mechanical properties and control dimensional changes during sintering. In this study, microstructure and hardness properties of Co-Mo (Cobalt-Molybdenum) powder particle reinforced Cu (Copper) MMC (Metal Matrix Composite) alloys were investigated by powder metallurgy method. For this purpose, 5 % - 10 % - 15 % Co-Mo powders are mixed into copper powders by mixing under 600 Mpa constant pressure and then sintered at 1000 ° C. Samples produced after sintering were subjected to sanding and polishing processes. Then microstructure and hardness analyzes of the samples were made. Considering the compositions in different ratios, an increase in the hardness values was observed in parallel with the increase in the reinforcement rate in the alloy.

**Keywords:** Powder Metallurgy, Cobalt, Copper, Molybdenum, Hardness

**1.GİRİŞ**

Toz metalurjisi (TM) , malzeme işleme teknolojilerinde ve mühendislik malzemelerinin ürün formlarının ve özelliklerinin oluşumunda önemli bir rol oynamaktadır [1][2][3]. TM, metalik malzeme tozlarının üretim yöntemlerini veya metalik olmayan tozlarla karışımlarının üretim yöntemlerini ve ana bileşeni eritmek zorunda kalmadan bu tür tozlardan yarı ürünlerin ve ürünlerin imalatını kapsayan bir teknoloji alanıdır [4]. Günümüzde, toz metalurjisi metotlarıyla üretilen parçaların ortalama % 80'i otomotiv sanayisinde, özellikle ekonomik sebeplerden dolayı kullanılmaktadır [5][6]. Ayrıca, toz metalurjisi yöntemleri, havacılık, enerji, tıp ve diş hekimliğinde, özellikle kemik ve diş implantlarında uygulanan bazı karmaşık parçaların üretilmesinde kullanılmaktadır [7][8][9][10].

Toz metalurjisi tarihi çok eskilere dayanmaktadır. Eskiden Mısırlıların bu teknolojiyle altın ve değerli metaller yaptığı bilinmektedir [11][12][13]. Metal tozlarından parçalar yapılması İnkalar tarafından mücevher yapımında kullanılmıştır. Daha sonraları metal tozları üretilmeye başlanmıştır. Fakat seri üretim yirminci yüzyılın sonlarına doğru yapılmıştır. Seramik kelimesi Yunancada keramos sözcüğünden gelmektedir ve ana maddesi kil olan sinterlenmiş çömlek manasına gelmektedir [14][15]. Milattan sonra 375 ile 414 yılları arasında

Hindistanda yapılan 6,5 tonluk Delhi sütünü da indirgenmiş demir tozlarından imal edilmiştir. 1800' lü yıllarda ise metal tozlarından laboratuvar aletleri yapılmıştır [13].

Toz metalurjisi yöntemi demir, karbür çelikleri ve alaşımlı çeliklerden üretilen çok sayıda elementin seri üretiminde kullanılmaktadır [1][16][17]. Bu yöntemle iş yoğunluğu önemli ölçüde azaltılabilir, makineler rahatlatılabilir, hammaddeler daha az harcanabilir ve atıklar azaltılabilir. Makine ve otomobil endüstrisinde sinterlenmiş elemanlar kullanılmaktadır [18]. Dişliler, silindirler, pullar, somunlar, pençeler, amortisör parçaları, valf yuvaları, rulmanlar, yataklar, bina doğramaları, donatı parçaları, ofis makineleri ve dikiş makineleri sinterlenmiş tozlardan imal edilebilmektedir [19][20][21]. Toz metalurjisi, sinterlenmiş metal karbürler, karbür çelikler, yüksek konsantrasyonda karbon ve alaşım elementlerine sahip yüksek hızlı çelikleri ve ayrıca başka türlü üretilen sert metaller ve seramik sinterler gibi sinterlenmiş takım malzemelerinin üretiminde geniş uygulamalar bulmaktadır [22][23]. Toz metalurjisi, geleneksel metalurjik yöntemlerle üretilen malzemelerinkinden daha iyi teknolojik özelliklere sahip, yüksek hız çelikleri gibi malzemelere ulaşılmasını sağlamaktadır [24][25][26].

Bu çalışmada Cu ana matris olarak kullanılmıştır. Cu ana matris içerisine farklı oranlarda Co-Mo toz partikülleri karıştırılarak 600 Mpa basınç altında sıkıştırılmıştır. Elde edilen numuneler 1000 °C sıcaklıkta sinterlenmiştir. Sinterlenen numunelerin mikroyapı incelemeleri ve sertlik deneyleri yapılmıştır.

## 2.ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Deneyisel olarak yapılan bu çalışmada ana matris olarak Nanokar firmasından temin edilen elektrolitik yöntemle üretilmiş olan % 99,9 ticari saflıktaki bakır tozu kullanılmıştır. Bakır tozunun ortalama partikül boyutu 44 µm'dur. Takviye malzemesi olarak kullanılan Kobalt ve Molibdenin partikül boyutları ise sırasıyla ortalama 1,8 ve 44 µm'dur. Takviye elemanı olarak kullanılan tozlar ağırlıkça % 5 - % 10 - % 15 oranlarında kullanılmıştır. Tablo.1'de deneylerde kullanılan metal tozlarının bazı özellikleri görülmektedir.

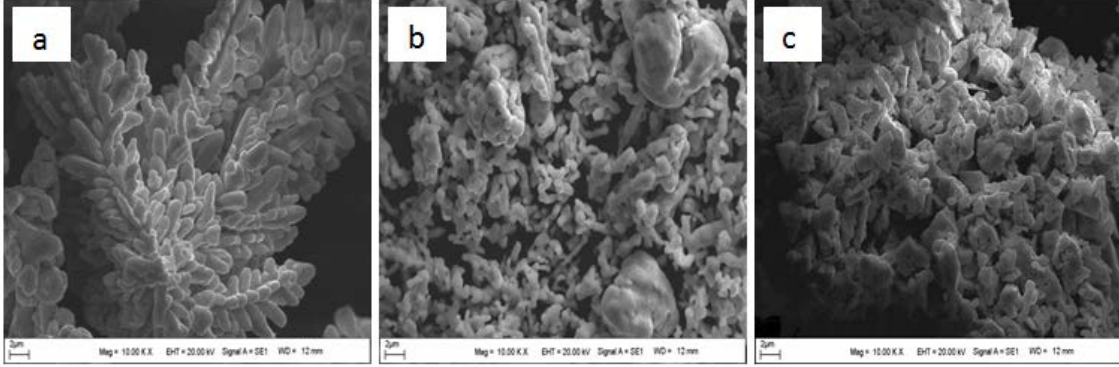
**Tablo.1** Deneylerde kullanılan tozların bazı özellikleri

Tozun Adı	Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	Erime Sıcaklığı (°C)	Partikül Boyutu (µm)	Saflık (%)	Üretici Firma
Cu	8,96	1083	< 44	≥ 99,90	Nanokar
Co	0,85	1493	< 1,8	≥ 99,50	Nanokar
Mo	8,20	2610	< 44	≥ 99,95	Nanokar

**Tablo.2** Deneylerde kullanılan tozların ağırlıkça oranları

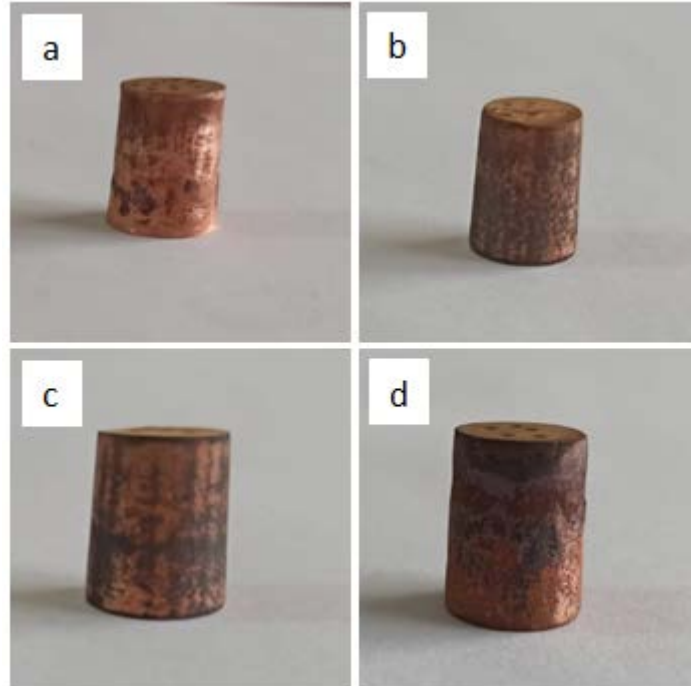
Numuneler	Cu Oranı (%)	Co Oranı (%)	Mo Oranı (%)	Numune Sayısı (Adet)
Saf Numune	100	-	-	3
% 5 Cu-Co-Mo	95	2	3	3
% 10 Cu-Co-Mo	90	4	6	3
% 15 Cu-Co-Mo	85	6	9	3

Tablo.2’de deneylerde kullanılan tozların ağırlıkça oranları görülmektedir. Temin edilen tozlar 0,0001 gr hassasiyetinde 200 gr kapasiteye sahip bir terazide tartılıp tozların homojen bir şekilde dağılmasını sağlamak amacıyla Turbula toz karışım makinesiyle ortalama 12 saat karıştırılmıştır. Karıştırılan Cu-Co-Mo tozları 600 Mpa basınç altında preslenerek ortalama 15x12 mm boyutlarında olan silindirik numuneler üretilmiştir. Numunelerin kalıptan rahat bir şekilde çıkarılması amacıyla kalıbın iç yüzeyleri çinko stearat ile yağlanmıştır. Şekil.1’de deneylerde kullanılan tozların SEM fotoğrafları görülmektedir.



**Şekil.1** Deneylerde kullanılan tozların 2000 x büyütülmüş **a-)** Saf Cu **b-)** Saf Co **c-)** Saf Mo SEM fotoğrafları

Üretilen numuneler, PROTHERM-HLF-50 marka sinter fırınında ortalama 1000 °C sıcaklıkta 30 dakika boyunca koruyucu Argon gazı altında sinterlenerek fırında soğutulmaya bırakılmıştır. Sinter sonrasında farklı oranlarda üretilen numunelerin fotoğrafları Şekil.2’de görülmektedir.



**Şekil.2** Farklı oranlarda üretilen numunelerden **a-)** Saf Bakır **b-)** % 5 Co-Mo **c-)** % 10 Co-Mo **d-)** % 15 Co-Mo

Saf ve farklı oranlardaki numunelerin her birinden üçer adet üretilmiştir. Numunelerin yüzeyleri, sırasıyla 200, 400, 600, 800, 1000 ve 1200 grid SiC aşındırıcılar ile zımparalandıktan sonra parlatma çuhası üzerinde 3 mikron elmas pasta ile parlatılmıştır. Parlatma işleminden sonra numuneler sertlik deneyine tabi tutulmuştur. Sertlik değerlerinin tespiti için Brinel sertlik yöntemi kullanılmıştır. Brinel sertlik yönteminde uygulanacak kuvvet için aşağıdaki formül uygulanır.

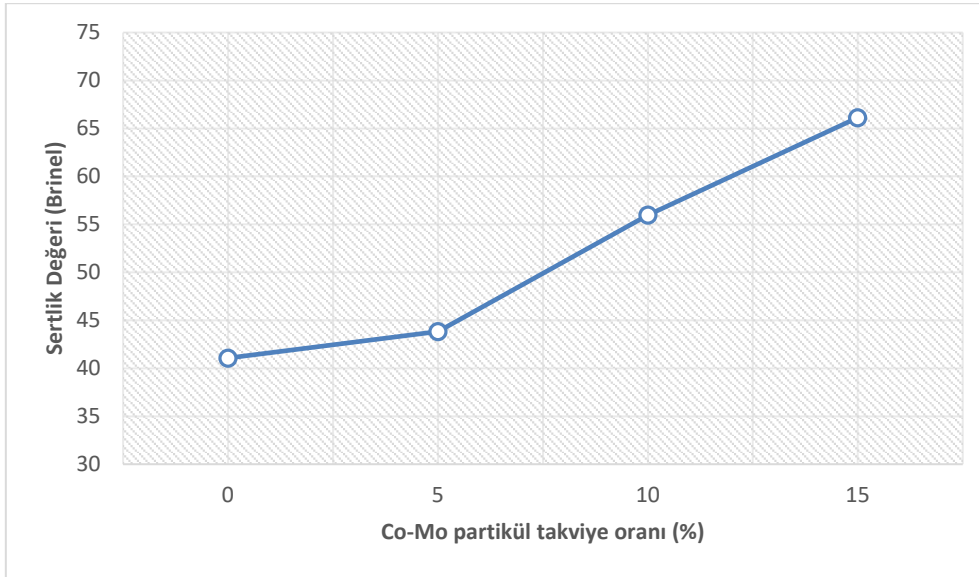
$$P = CxD^2 \quad (1)$$

$P$  : Uygulanacak kuvvet (Kgf)

$C$  : Numune malzemesine göre değişen katsayı

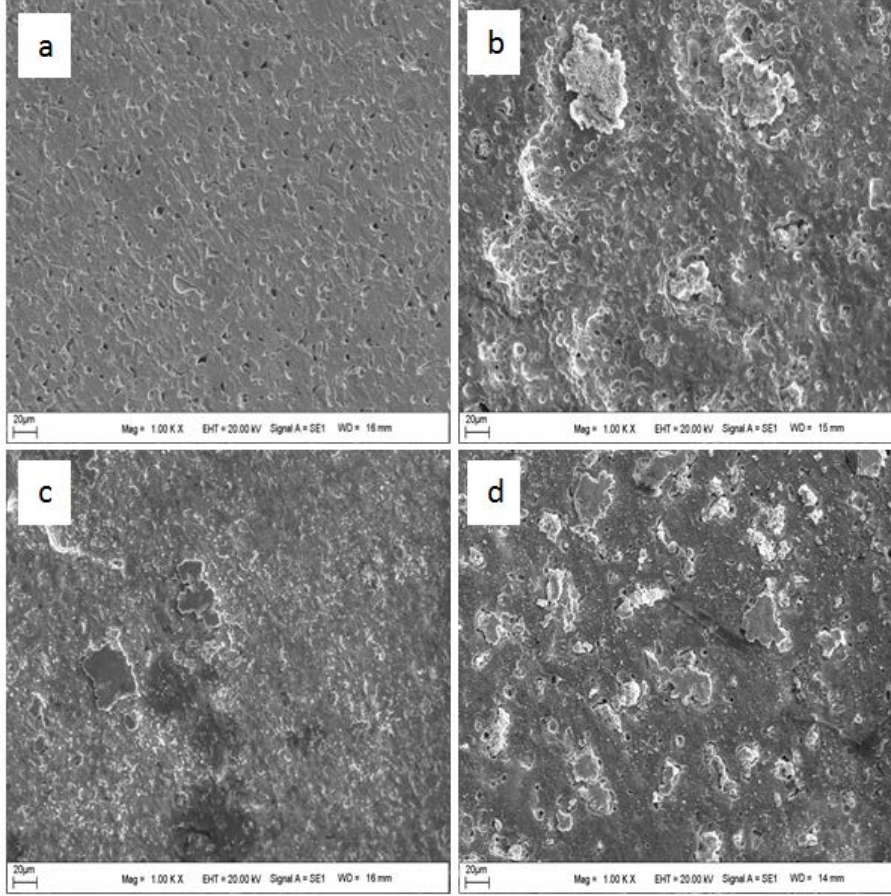
$D$  : Bilye çapı (mm)

Formülün hesaplanmasında bakır, pirinç ve bronz malzemeler için  $C$  katsayısı 10 olarak belirlenmektedir. Bilye çapı ( $D$ ) ise malzeme kalınlığına göre 2,5 mm olarak seçilmiştir. Bu hesaplamalara göre uygulanan kuvvet 62,5 Kgf olarak belirlenmiştir. Her numunenin 5 farklı bölgesinden alınan sertlik ölçümlerinin ortalaması alınarak sertlik değerleri bulunmuştur. Şekil 3'te takviye oranının artmasına paralel olarak numunelerdeki sertlik oranları da artış göstermiştir.



**Şekil.3** Farklı oranlarda üretilen numunelerin sertlik grafiği

Sertlik deneyinden sonra yüzeyleri parlatılan numuneler % 3 nital çözeltisi ile dağlanarak mikroyapı incelemelerine geçilmiştir. Ergime sıcaklığı 1083 °C olan bakır, 1000 °C'de sinterlendiğinde Cu-Co-Mo bileşiminde sıvı faz sinterleme mekanizması gerçekleşerek yoğunlaşma sağlanmıştır. Bakır esaslı tozların içerisine kobalt ve molibdenin belirli oranlarda ilave edilmesi T/M ile üretilen malzemelerin sertlik ve mukavemetini arttırmıştır (Şekil3). Karışım oranlarına göre sinterlenen numunelerin başarılı olduğu SEM görüntülerindeki tane sınırlarından açıkça görülmüştür (Şekil4).



**Şekil.4** 1000 x büyütmedeki **a-)** Saf Bakır **b-)** % 5 Co-Mo **c-)** % 10 Co-Mo **d-)** % 15 Co-Mo SEM fotoğrafları

### 3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Deneysel olarak yapılan bu çalışmada bakır esaslı kobalt ve molibden takviyeli kompozit malzemeler toz metalürjisi metodu kullanılarak imal edilmiştir. Takviye elemanları miktarlarının mikroyapı ve sertlik üzerine olan etkileri araştırılmış ve aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır.

- Cu-Co-Mo kompozit malzemeleri toz metalürjisi yöntemi kullanılarak imal edilebilmektedir. Bakırın erime sıcaklığı 1083 °C olduğundan, 1000 °C olarak uygulanan sinterleme sıcaklığının yeterli olduğu düşünülmektedir.
- Karışım içerisinde bulunan kobalt ve molibdenin sertlik artışına etki ettiği ve buna paralel olarak mekanik özellikleri de iyileştirdiği söylenebilir. En yüksek sertlik değeri % 15 Co-Mo takviye oranına sahip numunede, en düşük sertlik değeri ise saf bakır numunesinde elde edilmiştir.
- Saf ve farklı takviye oranlarına sahip numunelerin mikroyapı fotoğraflarına bakıldığında karışım oranı arttıkça Co-Mo açısından zengin çökeltilerdeki değişim net bir şekilde görülmektedir.
- Aynı oranda numuneler hazırlanarak aşınma dayanımları incelenebilir.
- Saf bakır iyi bir iletken malzeme olduğundan, karışım oranlarının iletkenliğe etkileri araştırılabilir.

- Aşınma ve korozyon dayanımlarındaki değişim incelenebilir.
- Sinterlenen numunelerin işlenebilirlikleri de araştırılabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] M. Uzun and U. A. Usca, "Effect of Cr particulate reinforcements in different ratios on wear performance and mechanical properties of Cu matrix composites," *J. Brazilian Soc. Mech. Sci. Eng.*, vol. 40, no. 4, pp. 2–9, 2018.
- [2] H. Turhan, T. Yıldız, and B. Gülenç, "Toz Metalurjisi ile Üretilen Cu/FeMnp ve Cu/FeCrp Metal Matrisli Kompozitlerin Mikroyapı ve Mekanik Özellikleri," *Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Derg.*, vol. 19, no. 4, pp. 569–574, 2007.
- [3] X. Zhu, H. Dong, and K. Lu, "Coating Different Thickness Nickel–Boron Nanolayers Onto Boron Carbide Particles," *Virginia Polytech. Inst. State Univ.*, 2007.
- [4] B. Lonyuk, I. Apachtei, and D. J., "Effect of High-Phosphorus Elektroliz Nickel Coating on Fatigue Life of Al–Cu–Mg–Fe–Ni Alloy," *Mater. Sci. Eng.*, 2007.
- [5] Y. T. Wu, L. Lei, and B. Shen, "Investigation in Electroless Ni–P–Cg(graphite)–SiC Composite Coating," *Shanghai Jiaotong Univ.*, 2005.
- [6] L. Vishnyakov, V. Muruz, V. Pisarenko, and A. Samelyuk, "Silikon veya bor karbür fiberleri ile kuvvetlendirilmiş zirkonyum matrisli kompozitler," *Elsevier Sci.*, 2003.
- [7] A. Siddiqi, A. G. T. Payne, R. K. De Silva, and W. J. Duncan, "Titanium allergy: Could it affect dental implant integration?," *Clinical Oral Implants Research*. 2011.
- [8] M. Niinomi, "Recent metallic materials for biomedical applications," *Metall. Mater. Trans. A*, 2002.
- [9] H. Aita et al., "The effect of ultraviolet functionalization of titanium on integration with bone," *Biomaterials*, 2009.
- [10] S. Fujibayashi, M. Neo, H. M. Kim, T. Kokubo, and T. Nakamura, "Osteoinduction of porous bioactive titanium metal," *Biomaterials*, 2004.
- [11] A. U. Avcı, "Toz metalurjisi ders notları," İstanbul, 1993.
- [12] A. O. Kurt, Toz metalurjisi dersi ders notları. Sakarya: Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, 2011.
- [13] R. M. German, *A-Z of powder metallurgy*. USA: Elsevier Science Prints, 206AD.
- [14] K. P. Schatt, W., Wieters, *Powder metallurgy, Processing and materials*. EPMA Press, 1997.
- [15] J. V. Jenkins, I., Wood, *Powder metallurgy: an overview*. USA: The Institute of Metals, 1991.
- [16] Ş. Çetinkaya, M. Cumbul, and E. Oktay, "Ön alaşımlı demir tozu ve bakır katkılı demir tozu kompaktlarına karbon ilavesinin sinterleme sonrası özelliklere etkisi," in 10. Denizli Malzeme Sempozyumu ve Sergisi, 2004, pp. 288–295.
- [17] S. S. Yılmaz, Ü. B.S., and R. Varol, "Borlanmış demir esaslı FeCu-Grafit T/M

- malzemenin aşınma ve mekanik özellikleri,” Makine Teknol. Elektron. Derg., vol. 3, pp. 11–21, 2005.
- [18] A. Ulutaş, “Değişik oranlardaki Cu, FeCr ve FeMn alaşımlarının toz metalurjisi yöntemi ile üretimi ve mekanik özelliklerinin araştırılması,” Fırat Üniversitesi, 2004.
- [19] S. Karagöz, R. Ymanoğlu, and S. . Atabek, “Sinter Sertlenmiş Toz Metalurjik Bir Çelikte Hata Karakterizasyonu,” in 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS‘09), 2009.
- [20] H. Turhan and S. Özel, “Properties of Cu/Fe-Mn and Cu/Fe-Cr Metal Matrix Composites Produced by Powder Metallurgy,” Mater. Test., vol. 51, no. 3, pp. 141–146, 2009.
- [21] B. A. Gething, D. F. Heaney, D. A. Koss, and T. J. Mueller, “The effect of nickel on the mechanical behavior of molybdenum P/M steels,” Mater. Sci. Eng., vol. 390, pp. 19–26, 2005.
- [22] H. Ö. Gülsoy and S. Salman, “Fe-Cu kompaktlarına katılan farklı miktarlardaki grafit ilavelerinin sabit sinter sıcaklığı ve sabit sürelerde, mekanik özelliklere etkisi,” in 1. Ulusal Toz Metalürjisi Konferansı, 1996, pp. 559–566.
- [23] Y. Babayev, S. Karadeniz, and A. Memmedov, “Fe-Cu karışımı toz malzemenin tribolojik özelliklerinin incelenmesi,” in 3. Makina Tasarım ve İmalat Teknolojileri Kongresi, 2005, pp. 127–130.
- [24] A. B. Davala, A. H. Graham, and R. J. Causton, “Application Of High Performance Materials And Processes -Alloy Systems,” in International Conference on Powder Metallurgy & Particulate Materials, 1998.
- [25] X. Xiong, H. C. Sheng, J. Chen, and P. P. Yao, “Effects of sintering pressure and temperature on microstructure and tribological characteristic of Cu-based aircraft brake material,” Trans. Nonferrous Met., pp. 669–675, 2007.
- [26] K. Bolay, “Microstructural Study of Hot Pressed PM Aluminum-Copper and Aluminum-Copper-Siliconcarbide Composites,” Ankara, 1998.