

## Toz Üretim Süreçlerinin Yağlamalı Yataklar Üzerine Etkisi

### *Effect of Powder Production Processes on Lubricated Bearings*

Levent Urtekin<sup>1\*</sup>, Rahmi Ünal<sup>2</sup>, Özer Aydın<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Kırşehir, levent.urtekin@ahievran.edu.tr

<sup>2</sup> Gazi Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Ankara, runal@gazi.edu.tr

<sup>3</sup> Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Kütahya, ozeraydin@dpu.edu.tr

#### MAKALE BİLGİLERİ

*Makale geçmişi:*

Geliş: 12 Aralık 2019  
Düzeltilme: 9 Mart 2020  
Kabul: 10 Mart 2020

*Anahtar kelimeler:*

Su/gaz atomizasyon, sinterleme,  
yağlamalı yataklar

#### ÖZET

Bu çalışmada; iki farklı atomizasyon yöntemi (su ve gaz) ile kendinden yağlamalı yatak presleme amaçlı CuSn10 (bronz) ve Cu (bakır) tozu üretilmiştir. Su atomizasyonu ile CuSn10 ve gaz atomizasyonu ile Cu tozu üretilmiştir. Su atomizasyonu ve gaz atomizasyonu ile üretilen CuSn10 ve Cu tozlarının ortalama toz boyutu sırasıyla 41.5 µm ve 41.9 µm'dir. Çalışmada üretilen tozlar ve mevcut uygulamada kullanılan tozlar ile normal presleme (tek eksenli) yöntemiyle kendinden yağlamalı yatak üretimi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra hidrojen ve azot gazı karışımından oluşan koruyucu atmosfer altında 780 0C sıcaklıkta farklı bekleme süreleri için sinterleme işlemi uygulanmıştır. Sinterlenen yatakların yağ alma, hacimsel gözenek oranları ve kırılma dirençleri deneysel olarak belirlenmiştir. Çalışmada 6,4 g/cm<sup>3</sup> yoğunluk, %28 gözenek, 45 ksi radyal mukavemet ve % 96 yağ alma verimi hedeflenmiştir. Bu hedeflerden yoğunluk ve gözenek miktarı elde edilmesine karşın mukavemet ve yağ alma verimi hedeflenen değerlere göre düşük kalmıştır.

Doi: 10.24012/dumf.645887

#### ARTICLE INFO

*Article history:*

Received: 12 December 2019  
Revised: 9 March 2020  
Accepted: 10 March 2020

*Keywords:*

Water/gas atomization, sintering,  
lubricated bearings

#### ABSTRACT

In this study; CuSn10 (bronze) and Cu (copper) powder were produced for self-lubricating bed pressing with two different atomization methods (water and gas). CuSn10 was produced by water atomization and Cu powder was produced by gas atomization. The average powder size of CuSn10 and Cu powders produced by water atomization and gas atomization are 41.5 µm and 41.9 µm, respectively. In this study, self-lubricated bearings were produced by using normal pressing (uniaxial) method with the powders produced and the powders used in the present application. Subsequently, sintering process was carried out for different residence times at 780 0C under protective atmosphere consisting of hydrogen and nitrogen gas mixture. Degreasing, volumetric pore ratios and fracture resistance of sintered beds were determined experimentally. In this study, 6.4 g / cm<sup>3</sup> density, 28% pore, 45 ksi radial strength and 96% degreasing efficiency were targeted. Although density and pore amount were obtained from these targets, strength and degreasing efficiency were lower than the target values.

\* Sorumlu yazar / Correspondence  
Levent URTEKİN  
✉ levent.urtekin@ahievran.edu.tr

## Giriş

Gaz atomizasyon yöntemi metal tozu üretim yöntemleri arasında ince ve küresel toz üretimde en yaygın kullanılan tekniktir [Gu ve Zeoli, 2006]. Tozun şekli, belirli atomizasyon parametreleri için toz büyüklüğü ile ilgilidir. Toz şekli üzerinde en önemli etkiye sahip olan parametre; sıvı damlacıkların soğuma oranıdır. İri tozlar parçalanması tam olarak gerçekleşmemiş tozlardır. Bu tozlar atomizasyondan sonra her bir damlacığın çarpışmasıyla üretilirler [Uslan, Saritas ve Davies, 1999]. Deneysel çalışmada gaz atomizasyonu için mannesmann tipi daralan nozul kullanılarak kalay tozu üretim parametreleri araştırılmıştır [Uslan ve Küçükarslan, 2010]. Literatürde anlaşılacağı üzere küresel toz üretimi daha çok gaz atomizasyonu ile üretilmekle birlikte çalışmada su atomizasyonu yöntemi ile de toz üretilerek kendinden yağlamalı yataklar için çeşitli testlerden geçirilmiştir.

Kendinden yağlamalı gözenekli yatak, toz metalürji endüstrisi tarafından üretilen en yaygın ürünlerdir. Başlıca avantajı, gözeneklerinin yağlayıcı ile doldurulmuş olması, kendi kendine yağlama etkisi sağlayan bir yağ haznesi rolü oynamasıdır [Fedorchenko ve Pugina, 1980; Moshkov, 1968]. Kendiliğinden yağlamalı yataklarda ısınmanın önlenmesi gözeneklerde bulunan yağlama ile sağlanır ve buda sınır tabakasının hızlı bir şekilde toparlanmasına yol açar. Malzemenin düşük gözenekli olması durumunda yatağın çalışma yüzeyinde daha yüksek sıcaklık artışına neden olur. Yatağın gözenekliliğinin artmasıyla birlikte, yağ rezervi gözeneklerine yerleştirildiği için artar ve sonuç olarak yağ, çalışma yüzeyinde sıcaklık daha küçük bir artış meydana getirir [Fedorchenko ve Pugina, 1980; Moshkov, 1968]. Bu nedenle, yağ emdirme kalitesi, gözenekli kendinden yağlamalı yataklar için güvenli ve sürekli çalışmanın ana faktörlerinden biridir. Çoğu zaman, kendinden yağlamalı yatakların gözenekliliği % 20-30 arasındadır [Fedorchenko ve Pugina, 1980; Libenson, 1982]. Bununla birlikte, gözenekliliğin büyümesi bu malzemelerin mukavemet özelliklerinde (darbe mukavemetinde) önemli bir azalma ve ayrıca bunların ısı iletkenliklerinde bozulma meydana gelir [Fedorchenko ve Pugina, 1980]. İlave olarak artan porozite aşınmayı kötüleştirir, sürtünme katsayısını

arttırır ve bu nedenle aşınmayı arttırır [Fedorchenko ve Pugina, 1980; Kiparisov ve Libenson, 1971]. Bu nedenle, kendiliğinden yağlama sisteminde sinterlenmiş yatakların güvenli ve sürekli çalışmasında ana faktör olan yatakların somut çalışma koşullarını, istenen yağ emdirme kalitesini sağlayan optimum gözeneklilik seviyesinin seçilmesi gerekir. Gözeneklerin büyüklüğünü kontrol etmek için literatürde [Kiparisov ve Libenson, 1971; Belov, 1982] tarif edildiği gibi bir takım teknikler geliştirilmiştir: başlangıçtaki tozların tane büyüklüğünün seçimi (başlangıç tozlarının parçacık büyüklüğünün kalınlaştırılması, gözenek büyüklüğünü arttırır), sıkıştırma basınçlarında değişiklikler, toz karışımları ve uygun sinterleme süreleri seçimidir.

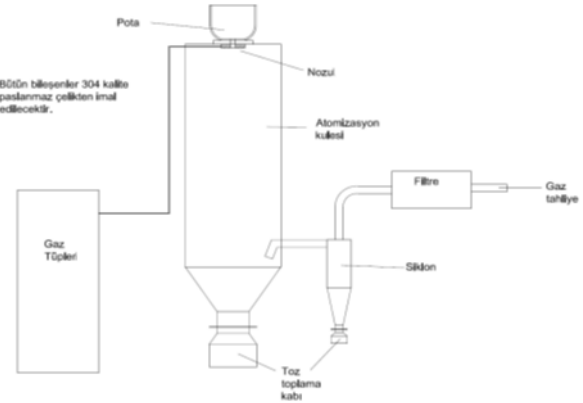
Kendiliğinden yağlanan rulmanlar, PM tekniği ile elde edilen gözenekli malzemelerin en eski endüstriyel uygulamasını temsil eder, çünkü metalik filtreler ve bujiler başka teknoloji tarafından üretilemez. Son yıllarda, demir bazlı sinter yatakların üretimi, demir tozlarının düşük maliyet ve kullanılabilirliği ve ayrıca yüksek mukavemeti nedeniyle bakır bazlı olanlar pahasına önemli ölçüde artmıştır. Parçaların mekanik özellikleri, malzemenin bileşimi ile güçlü bir şekilde ilişkilidir. Tribolojik uygulamalar için, yüzeyin özellikleri malzemede oluşturulan farklı metalik ve metaller arası fazlara bağlanır. Toz metalürjisi işlemleriyle yapının kontrollü homojenliği, geleneksel teknolojiler tarafından üretilemeyen özel özelliklere sahip malzemelerin elde edilmesini mümkün kılar. Birçok sinter parça, hali hazırda % 20 ila % 15 gözeneklilikte, örneğin dökme demire benzer, yeterince yüksek mukavemetli özelliklere ulaşır. Gözenekli malzemelerin, geleneksel teknolojilerle elde edilen sıkıştırılmış malzemelere göre en büyük avantajı, kendi petrol rezervuarı gibi davranan gözenekleridir. Kendiliğinden yağlanan rulmanlar, gözeneklilik seviyesi yüksek olduğunda üstün performans sağlar, bu nedenle hareketsizlik sürelerinde gözeneklerde yeterli yağ birikir ve shaft içinde dönmeye başladığında sızıntı yapar. Aynı zamanda, malzeme yoğunluğu iyi yük taşıma kapasitesi sergilemek için kendinden yağlamalı yataklar için önemli bir rol oynar. Bu nedenle, parçanın gerçek yükleme koşullarını bilmek ve malzemenin alaşım ve işleme koşullarını bu şartlar temelinde değiştirmek esastır.

Sinterlenmiş demir bazlı sürtünme önleyici malzemeler, zayıf korozyon direnci ve sürtünme özellikleri nedeniyle son on yıla kadar gelişmemiştir. Düşük maliyet ve demir kullanılabilirliği göz önüne alındığında, bakır, grafit, manganez, kurşun, fosfor, bor ve teneke demir gibi ilaveler denenmiştir. Ancak bir özellikte iyileştirme sağlanırken diğer özelliklerde bir düşüşle dengelenmiştir [Kostornovand ve Fushchich,2007 - Vasil'ev ve Shvetsova ve Berent ve Bushe,1982] . Sürtünme önleyici ve mekanik özellikleri arttırmak için, bu çalışma Fe-Cu-Sn-Pb-MoS<sub>2</sub> sürtünme önleyici alaşımların geliştirilmesine odaklanmaktadır. Malzeme tozlarının kalitesi ve üretim süreçleri iyileştirildiği için çoğu zaman toz metalürji parçaları döküm ve dövme ürünlerin yerini almıştır. Boyutlandırma ve işleme gibi müteakip işlemlerden kaçınmak için, sinterleme işleminden sonra elde edilen nihai boyut toleranslarını geliştirmek çok önemlidir. Boyutsal değişikliklere neden olan birçok faktör vardır ve bunların birleşik etkisi bu değişiklikleri tahmin etmeyi ve kontrol etmeyi zorlaştırır. Bu çalışmada, farklı parametrelerin sinterlenmiş demir bazlı alaşımların boyutsal değişiklikler üzerindeki etkisinin deneysel sonuçları bildirilmiştir. Ayrıca sinterlenmiş parçaların yoğunluğu araştırılmış ve böylece sinterleme sıcaklığının ve zamanın kendinden yağlamalı yataklar için demir bazlı malzemelerin yoğunluğu üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sinterleme parametrelerinin yoğunluk ve boyut değişiklikleri üzerindeki etkileri, Statistica yazılımı kullanılarak 3B yüzey çizimleri olarak sunulmaktadır [Teisanu ve Gheorghe,2011].

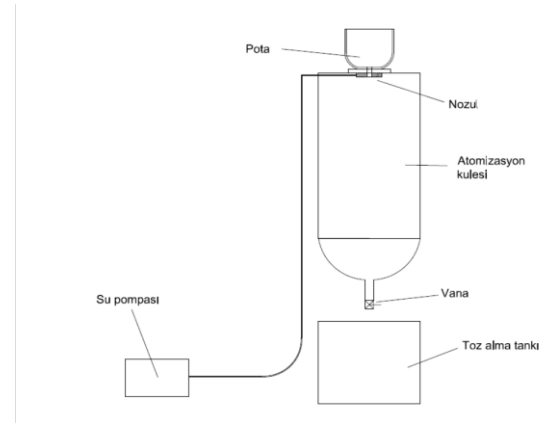
### Materyal ve Yöntem

Çalışmada, iki farklı gaz ve su atomizasyonu toz üretimi yapılmıştır. Bu çalışmada hem su atomizasyonu hemde gaz atomizasyonu için aynı indüksiyon ocağı ile 30 kg bakır ve bronz ergitmek mümkün olmuştur. Atomizasyon süresi yaklaşık olarak 4-6 dakika arasında gerçekleştirilmiştir. Şekil 1 ve 2'de atomizasyonların şematik resmi verilmiştir. Üretilen ve karakterize edilen tozlar ile yatak üretim denemeleri yapılmıştır. İmalat deneme çalışmalarında 25,4mm dış çap, 19mm iç çap ve 19mm yükseklikte yatakların imalatı yapılmıştır. Bu denemeler sırasında sıkıştırma basıncı ve yağlayıcı karışım oranlarının parça özelliklerine etkisi incelenmiştir. Yapılan çalışmalar

sonucunda en uygun parça üretim şartları belirlenmiştir.



Şekil 1. Gaz atomizasyon ünitesi şematik resmi



Şekil 2. Su atomizasyon ünitesi şematik resmi

Bu amaçla yatakların radyal kırılma mukavemeti, gözenek miktarı test ve yağ depolama kapasiteleri tespit edilmiştir. Bu testler sonucunda yatakların "MPIF Standard: CT-1000-K19 ASTM: B 438-83a Class A, Type 1" standartlarına uygunluğu değerlendirilmiştir.. Kendinden yağlamalı yataklar kalıplarda 6,4 g/cm<sup>3</sup> yoğunluk elde edilecek şekilde sıkıştırıldıktan sonra 780 OC, 20-30-45 dk. bekleme sürelerinde, hidrojen ve azot gazı karışımından oluşan koruyucu atmosfer altında sinterlenmiştir. Bu şekilde farklı sıcaklıklarda yatak üretim deneylerinin amacı sıcaklığın sinterleme sonrası ölçülecek olan boyut değişimine, radyal kırılma dayanımına, gözenek büyüklüğüne ve oranına etkisini belirlemektir. Radyal kırılma dayanımı ( ISO 2739 ) için hedeflenen değer min. 45 ksi'dir. Sıkıştırma basıncı 138 – 345 MPa olacaktır.

T/M ile üretilen kendinden yağlamalı yataklar gözenekli yapıya sahip olduğu için Arşimet prensibine göre hacim hesaplanırken numuneler

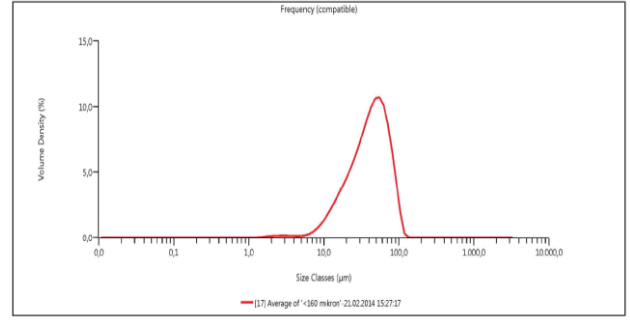
suya daldırıldığında gözeneklerin suyla dolması kaçınılmazdır. Bu hem hacim ölçümünün hatalı olmasına neden olur, hem de gözeneklere dolan suyun daha sonra uzaklaştırılmasında problemler meydana getirir. Bunu önlemek için, üretilen yatakların yüzeylerinin su geçirgenliği olmayan bir malzeme ile film tabakası şeklinde kaplanması gerekmektedir. Bunun için TS 2305 EN ISO 2738’de belirtildiği şekliyle parafin (%5) kloroform (%95) çözeltisi hazırlanarak sinterlenmiş deney numuneleri bu çözelti içine daldırılarak yüzeylerinin kaplanması sağlanmıştır. Sonrasında ise numuneler, kloroformun uçması için desikatörde 1 saat kurumaya bırakılmışlardır. Kurutulmuş numuneler 0,0001 g hassasiyetle tartılmıştır. Standartta uygun biçimde Arşimet prensibi uygulanmış ve numunelerin saf sudaki ağırlıkları ölçülmüştür. Hacim hesabı bittikten sonra numunelerin yüzeylerini kaplayan parafinin uzaklaştırılması için numuneler 65°C’deki etüv fırında 1 saat bekletilmiştir.

**Tablo 1.** Üretilen yatak ve özellikleri

No	Sinterleme Sıcaklığı ve Süresi	Özellik
SL1	780 °C-20 dk.	Ticari
SL2	780 °C-20 dk.	Ticari
SL3	780 °C- 30 dk.	Karışım
SL4	780 °C- 45 dk.	Karışım
SL5	780 °C- 20 dk.	Karışım
SL6	780 °C- 20 dk.	Karışım+%1 ilave
SL7	780 °C- 20 dk.	Difüzyon alaşımı+%1 gaz atomizasyon

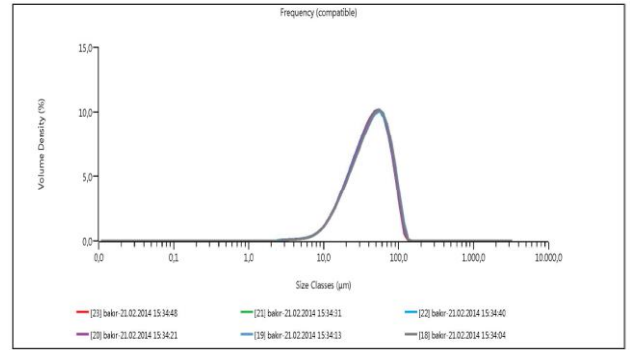
## Deneysel Sonuçlar

Su atomizasyonu yönteminde su/metal debisi önemli bir etken olup 17 bar basınçta ortalama 41,9 mikron ortalama toz boyutunda bronz tozu üretilmiştir (Şekil 3). Bronz toz boyut dağılımı ise d(10,0) : 15,8 mikron ve d(90,0): 77,5 mikron olarak elde edilmiştir.



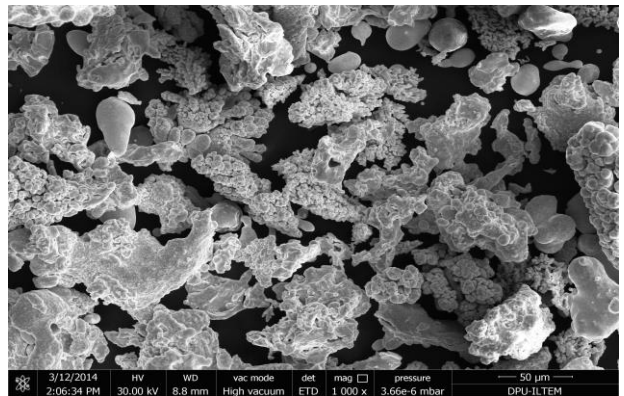
**Şekil 3.** Su atomize bronz toz boyut dağılımı

Gaz atomizasyonunda gaz/metal kütleli debi oranı arttıkça bakır toz boyutunun azaldığı belirlenmiştir. 18 bar basınç uygulamasında ortalama toz boyutu 41,5 mikron bakır tozu üretilmiştir (Şekil 4). Bakır toz boyut dağılımı ise d(10,0) : 16,5 mikron ve d(90,0): 76,4 mikron olarak elde edilmiştir.

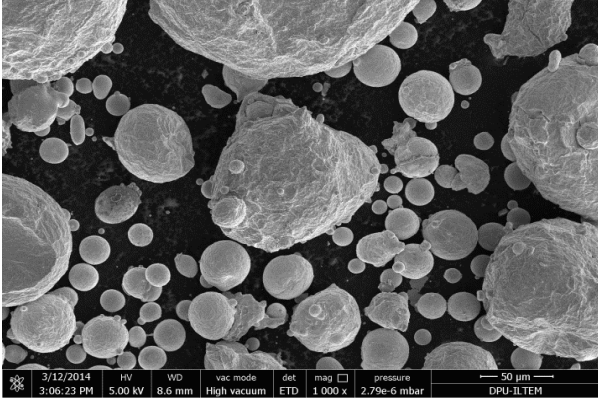


**Şekil 4.** Gaz atomize bakır toz boyut dağılımı

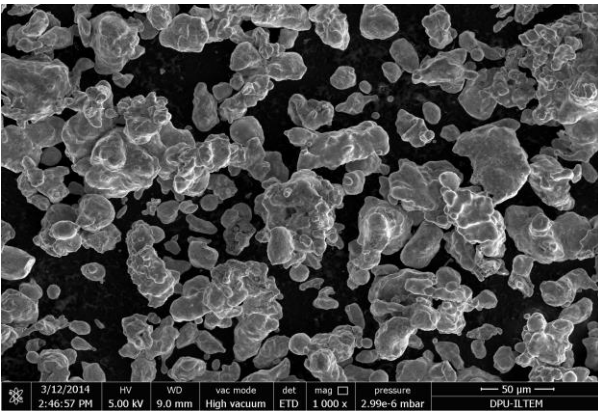
DPUİLTEM’de çalışma kapsamında üretilen tozların ve ticari olarak kullanılan tozların SEM görüntüleri Şekil 5-7’de verilmiştir. Su atomize tozlarının toz şekli açısından ticari tozlara benzediği görülmüştür.



**Şekil 5.** Ticari kendinden yağlamalı yatak toz görüntüsü

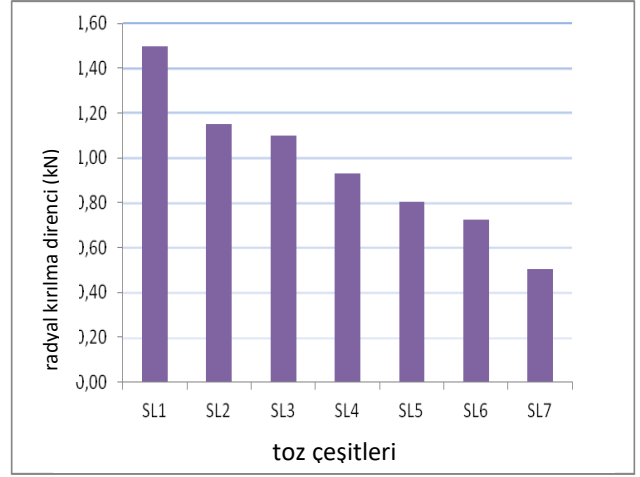


Şekil 6. Gaz atomizasyon bakır toz görüntüsü

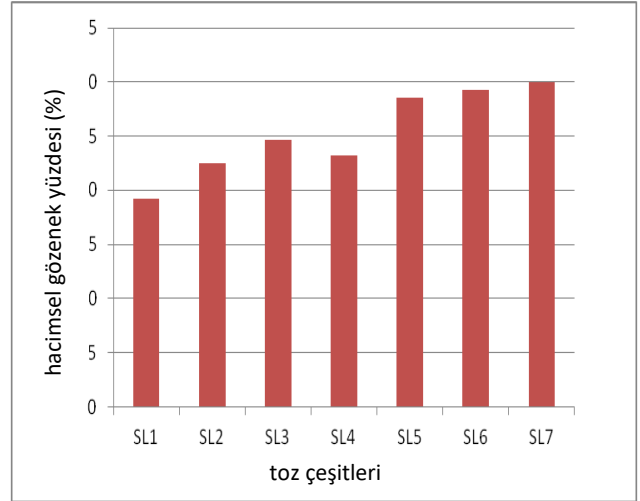


Şekil 7. Su atomizasyon bronz toz görüntüsü

Üretilen tozlardan imal edilmiş yatakların gözenek miktarının sinterleme şartlarına göre değiştiği (%28,5, %24,7, %23,2), ticari olarak alınan tozlara göre (SL1: %19,2, SL2:%22,5) daha fazla miktarda gözenek hacmine sahip olduğu görülmüştür. Buna bağlı olarak mukavemet ve yağ alma verimleri göreceli olarak düşük kalmıştır. Ancak SL2 nolu ticari toz değerlerine yakın mukavemet ve yağ alma verimi elde edilmiştir.



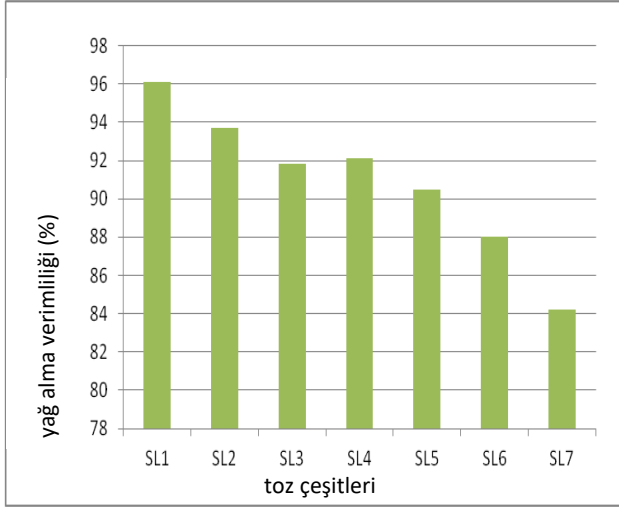
Şekil 8. Radyal kırılma direnci değişimi



Şekil 9. Hacimsel gözenek miktarı değişimi

Çalışmada 6,4 g/cm<sup>3</sup> yoğunluk, %28 gözenek, 45 ksi radyal mukavemet ve % 96 yağ alma verimi hedeflenmiştir. Bu hedeflerden yoğunluk ve gözenek miktarı elde edilmesine karşın mukavemet ve yağ alma verimi hedeflenen değerlere göre düşük kalmıştır. Değişik parametreler ile araştırmaların yapılması gerektiği tespit edilmiştir.





Şekil 10. % Yağ alma verimlilik değişimi

## Sonuçlar ve Tartışma

Kendinde yağlamalı yatak üretimi için ticari tozlara alternatif toz üretim amaçlı yapılan çalışmada 780 °C sıcaklık ve 30 dk. süre ile sinterlenen yatakların ticari tozlara yakın özellikler sergilediği söylenebilir. Bu özellikler sırasıyla radyal kırılma direnci, hacimsel gözenek yüzdesi ve yüzde yağ alma verimliliği olarak belirlenmiştir.

Uslan ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada bronz yataklar için 0.02 MPa basınç ve 80 ° C sıcaklık ve 10 dakikalık vakum süresi için maksimum yağ emdirme kapasitesi % 95.05 olarak elde edilmiştir. [Uslan, Atak, Urtekin ve Sarıtaş, 2008]. Mevcut çalışmada ise vakum işlemi yapılmadan yağ alma verimlilikleri maksimum %92'ler seviyesindedir. Vakum yardımı ile yağ alma verimliliğini araştırılması üretilen tozların özelliklerini belirleme açısından faydalı olacaktır.

## Teşekkür

Çalışma TÜBİTAK 5120001 No'lu proje kapsamının da desteklenmiştir.

## Kaynaklar

- Gu, S., Zeoli, N., 2006, *Numerical Modelling of Droplet Break-Up for Gas Atomisation*, Computational Materials Science, vol. 38, no:2 pp. 282.
- Uslan İ, Küçükarslan S., 2010, *Kalay tozu üretimine gaz tomizasyonu parametrelerinin etkisinin incelenmesi*, Gazi

Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, cilt 25, no:1, pp.1.

Uslan I, Saritas S, Davies TJ., 1999, *Effects of variables on size and characteristics of gas atomised aluminium powders*, Powder Metallurgy, vol. 42, no:2, pp. 157.

Fedorchenko I. M., Pugina L. I., 1980, *Composite sintered antifriction materials* (in Russian), Kiev, Naukovadumka, pp. 404.

Moshkov A. D., 1968, *Porosanti friction materials* (in Russian), Moskow, Mashinostroenie, pp. 208.

Eisenkolb F., 1969, *Successes of powder metallurgy* (translated from German language by A. K. Natanson), Moskow, Metallurgia, pp. 540.

Arnold N. A., Carbon K. C., Straub V. C., 2008, *Powder metallurgy bearings*, Powder Metal Technologies and Applications, vol. 7, pp. 1051-1057.

Libenson G.A., 1982, *Manufacturing of sintered parts. Text book for technical school* (in Russian), Moskow, Metallurgia, pp. 256.

Kiparisov S.S., Libenson G. A., 1971, *Powder metallurgy* (in Russian), Moskow, Metallurgia, pp. 528.

Belov S.V., 1987, *Porospenetrable materials. Reference media.* (in Russian), Moskow, Metallurgia, pp. 335.

Kostornovand A.G., and Fushchich O.I., 2007, *Sintered antifriction materials*, Powder Metallurgy and Metal Ceramics, vol. 46, no. 9-10, pp. 503-512,

Kostornov A.G., Fushchich O. I., and Chevichelova T. M., 2007, *Structurization in sintering of antifriction powder materials based on iron-copperalloys*, Powder Metallurgy and Metal Ceramics, vol. 46, no. 11-12, pp. 589-594,

Vergheesand R. and Gopinath K., 1989, *Influence of antimony additions on sintered iron-copper bearing materials*, Key Engineering Materials, vol. 29-31, pp. 457-464.

Vasil'ev Y. M., Shvetsova G. A., Berent V. Y., and Bushe N. A., 1982, *Antifriction properties of an ironbase material containing amanganeseult raphosphate*, Powder Metallurgy and Metal Ceramics, vol. 21, no. 7, pp. 592-594.

Teisanu C. and Gheorghe S., 2011, *Development of New PM Iron-Based Materials for Self-Lubricating Bearings*, Advances in Tribology, pp: 1-11.

Uslan İ, Atak Y., Urtekin L., Sarıtaş Ş., 2008, *Investigation of The Effects of Parameters to Oil Impregnation Capacity*, 5. International Powder Metallurgy Conferences, pp. 829.