

## Mikro Ölçekte Çift Fazlı Akış ve Isı Geçişi İçin Gözenekli Yüzey Üretimi

Zeynep Küçükakça Meral, Nezaket Parlak

Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü  
SAKARYA, TÜRKİYE

zkucukakca@sakarya.edu.tr, naydemir@sakarya.edu.tr

**Özet-** Son yıllarda mini ve mikrokanallarda kaynamalı akış üzerine yapılan çalışmalar, ısı geçişi iyileştirme tekniklerinden biri olan yüzey porozitesi (gözeneklilik) etkisine dikkat çekmektedir. Poroziteli yüzeydeki ısı geçişinin düz bir yüzeye göre üç kat daha fazla olduğunu gösteren çalışmalara rastlanmıştır. Minyatürleşen elektronik cihazlarda oluşan yüksek ısı akılarının bertaraf edilebilmesi için, küçük alanlara yerleştirilebilen genişletilmiş yüzeylere ihtiyaç vardır. Bu noktada poroziteli yüzeyler bu probleme cevap verip vermeyeceği günümüzün araştırma konularından biridir. Bu çalışmada, ısı geçişi uygulamalarında kullanılmak üzere ısı iletimi yüksek olan bakır tozundan sinterleme yöntemiyle poroziteli yüzeyler elde edilmesi amaçlanmıştır. Farklı firmalardan alınan değişik boyuta sahip bakır tozlarının karakterizasyonlarını belirlemek için çeşitli analiz yöntemleri uygulanmıştır. Bu yöntemler; tane boyutu için, taramalı elektron mikroskopunda görüntü analizi (SEM), saflık testi için EDS ve bakır tozunun ergime sıcaklığını belirlemek için ise termal analiz olarak belirlenmiştir. Yapılan deneysel çalışmada toz metalürjisi prensipleri takip edilmiş, sinterleme sıcaklığı ile kullanılan bakır toz boyutu aynı tutulmuş presleme basınçları değiştirilerek basıncın yüzey porozitesine etkisi incelenmiştir. Numunelerin porozite büyüklüğü için taramalı elektron mikroskop görüntüleri incelenmiş basınç değerinin farklı olduğu numunelerde basınç düştükçe porozitenin arttığı gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Toz metalürjisi, Sinterleme, Porozite, Akış kaynaması, Mikrokanal

**Abstract** – In recent years, studies on boiling flow in mini and microchannels point to the surface porosity effect, which is one of the heat transfer improvement techniques. Studies have shown that the heat transfer at the porous surface is three times higher than a smooth surface. In order to dispose heat flux from miniaturized electronic devices, there is a need for extended surfaces which can be placed in small areas. At this point, surface porosity which is one of the research subjects today can be the solution to this problem. This study aims to obtain porous medium by sintering method from copper powder with high thermal conduction coefficient for heat transfer applications. Various analysis methods were applied to determine the characterization of copper powders of different sizes taken from different companies. These methods; image analysis (SEM) for determination grain size in scanning electron microscope, EDS for purity test and thermal analysis to determine the melting point of copper powder. In the experimental study, powder metallurgy principles were followed, sintering temperature and copper powder size were kept constant but compacting pressures were changed to investigate effect of pressure on surface porosity. For the porosity of the samples, scanning electron microscope images were examined and it was observed that the porosity increased when the compacting pressure values decreased.

**Keywords** – Powder metallurgy, Sintering, Porosity, Flow boiling, Microchannel

### I. GİRİŞ

Günümüzde çift fazlı akış ve ısı geçişi, kazan, reaktör gibi makro ölçekli güç sistemlerinde yüksek ısı akısı nedeniyle tercih sebebidir. Diğer taraftan teknolojinin ilerlemesine bağlı olarak gelişen ve minyatürleşen cihazlarda yeni soğutma yöntemlerine ihtiyaç olduğu açıkça ortaya çıkmıştır. Mini ve mikro ölçekli kanallarda akış kaynaması, yüksek ısı aktarım hızlarına ulaşabilme kabiliyeti nedeniyle ilgi çekmekte, fakat elektronik ve benzeri cihazlar için verimli bir soğutma yöntemi olarak kullanılıp kullanılmayacağı henüz bilinmemektedir. Mikrokanallarda ısı geçişi üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde, yüzey porozitesinin artmasıyla ısı geçişinin de arttığı yönünde sonuçlar belirtilmiştir. Toz

malzemeler kullanılarak püskürtme, sinterleme, presleme ve aşındırma yoluyla poroziteli yüzeyler elde edilebilmektedir. Kaynamalı akış ve ısı geçişi uygulamalarında en uygun poroziteli yüzeyin belirlenmesi bir araştırma konusudur.

Kandlikar ve Jaikumar [1] yaptıkları çalışmada sinterlenmiş bakır mikrokanalların havuz kaynamasındaki etkisini incelemişlerdir. Dikdörtgen kesitli kanallarının genişliği 762µm, duvar genişliği ise 200µm'dir. Kanallar talaş kaldırma işlemi ile açıldıktan sonra yüzeyleri üç farklı şekilde bakır tozları ile sinterlenmiştir. İlk ısı alıcısı modelinde akışkanın temasta olduğu tüm duvarlar, ikinci modelde sadece kanalın iç duvarları, üçüncü modelde ise sadece üst duvarları sinterlenmiştir. Sinterleme işleminde 10-20 µm

boyutlarında bakır tozları kullanılmış ve sinterleme 800 °C'de 2 saat süre ile gerçekleştirilmiştir. Bu üç farklı mikrokanailli yüzeyde en yüksek ısı transfer performansının tüm duvarların sinterlendiği modelde olduğu rapor edilmiştir. Sinterledikleri bakır toz parçacıkların birbirine bağlandığı ve ideal ısı geçişinin 5-20 µm arasındaki por boyutu ile sağlandığını açıklamışlardır. Koç vd. [2] yaptıkları çalışmada, yakıt hücresi ve diğer ısı ve kütle transfer uygulamaları için gözenekli genişletilmiş yüzeyli mikro-özellikli yapılar imal etmek için deneysel çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Yaklaşık 200-400 µm yükseklik ve genişlikte mikro kanallar için, ince bir alt tabakaya sıcak presleme yöntemiyle % 30-50 gözeneklilik elde edilebileceğini öne sürmüşlerdir. Sıkıştırma basıncının, sıcaklığın, bekleme süresinin, toz büyüklüğünün, porozite ve kanal büyüklüğü üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışmalarında, hem basınç hem de sıcaklığın gözeneklilik seviyesi üzerinde önemli etkiye sahip olduğunu öne sürmüşlerdir. Zhang vd. [3] mikrokanailli genişlikleri 0,25, 0,4 ve 0,55 mm olan plakalarda akış kaynamasını incelemişlerdir. Mikrokanailler tel erozyon yöntemi ile açılmış, bakır tozları ile sinterlenerek pürüzlü hale getirilmiştir. Gevşek toz sinterleme ve bunu takiben tel erozyon işleme ile plakalar imal edilmiştir. Öncelikle, 75-100 µm çaplı küresel bakır tozları grafit bir kalıp içine gevşek bir şekilde paketlenip daha sonra bir atmosfer kontrollü fırında sinterleme gerçekleştirmişlerdir. Sinterleme işlemi 900 °C'de 0,3 MPa'da 30 dakika sürdürülmüştür. Gözenekli yapının yalnızca birkaç saniye içinde su damlacıklarını emen mükemmel ıslanabilirliğe sahip olduğu gözlemlenmiştir. Weibel vd. [4] yaptıkları çalışmalarında, ısı borularının buharlaştırıcı bölümündeki termal direncin ısı transfer performanslarını yönetmede baskın bir rol oynadığını ve bu nedenle direncin ölçülmesinin önemli olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmalarının amacını, sinterleme yoluyla yüzeyde kanatçıklar oluşturmak ve termal direncin bu yüzeylerin kalınlığına ve parçacık boyutuna olan bağlılığını göstermek olduğunu belirtmişlerdir. Deneylerde, büyüklükleri 45 ila 355 µm arasında değişen partiküller kullanılarak, 600 ila 1200 µm arasında değişen kanatçık kalınlıklarına sahip genişletilmiş yüzeyler elde edilmiştir. Kanatçık uzunluğunun artmasıyla daha fazla ısı geçişinde iyileştirme sağlandığı gözlemlenmiştir. Deng vd. [5] geleneksel sinterleme yöntemini kullanarak gözenekli bakır mikrokanailli ısı alıcısı geliştirmişlerdir. Sinterleme yöntemi ile geliştirilen gözenekli mikrokanailli ısı alıcısı ile gözeneksiz olan ısı alıcısını test ederek karşılaştırmışlardır. Her iki ısı alıcısı 786 µm hidrolik çapa sahip 14 paralel Ω-şekilli girintili mikrokanailli içermektedir. Kaynama deneyleri saf su ile gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçlar, gözenekli yüzeyin kabarcıklaşmayı teşvik ettiğini ve duvarda aşırı ısınmayı önemli ölçüde düşürdüğünü göstermiştir. Cora vd.[6] çalışmada, bakır tozların ince bakır yüzeyler üzerine sıcak preslenmesiyle elde edilen numunelerin, gözeneklilik ve bağlanma dayanımını ölçmüşlerdir. Mikro ölçekli ısı kütle transfer uygulamalarında fizibilitesini karakterize etmek için farklı sıkıştırma basıncı (15–50 MPa), sıcaklık (350-500 °C) ve yüzey geometrileri (düz, büyük ve küçük kanal) test edilmiştir. Sonuçlar, gözenekli ve mikro kanailli yüzey tabakaları elde etmek için minimum 350 °C sıcaklık ve 15

MPa basınç seviyesinin gerekli olduğunu göstermiştir. Ayrıca, daha yüksek basınç seviyelerinde (50 MPa), mikro ölçekli yüzey yapılarının imalatının, gelişmiş bağlanma mukavemeti özellikleriyle yüksek oranda tekrarlanabilir olduğu bulunmuştur. Singh vd.[7] çalışmasında yüksek enerjili mikroışlemcinin soğutulmasında kullanılan sinterlenmiş gözenekli ısı alıcısını deneysel olarak araştırmışlardır. Soğutucu plaka, % 40 gözenekliliğe sahip sinterlenmiş bakırdan ve dikdörtgen kanallardan oluşturulmuştur. Çalışmalarında gözenekli, bakır plakadan soğutucu akışkan olarak 34 kpa basınç düşümüne sahip saf su kullanmışlardır ve sinterlenmiş gözenekli bakırın yüksek verimlilikte ısı iletim katsayısı nedeniyle ( $\approx 32 \text{ W/mK}$ )  $2,9 \text{ MW/m}^2$  ısı akısı uzaklaştırdıklarını belirtmişlerdir. Florez vd.[8] çalışmalarında, sinterlenmiş gözenekli yüzeylerin ısı boruları için etkin ısı iletkenliğini tahmin eden bir model önermişlerdir. Parçacık çapları 20 ila 50 µm arasında değişen, atomize bakır tozu ile üretilen gözenekli malzemeler için etkili termal iletkenlik deneysel veriler ile elde edilmiştir. Ortalama parçacık boyutlarını belirlemek için parçacık büyüklüğü dağılım istatistikleri kullanılmışlardır. Test edilen malzemenin gözenekliliğini ve geçirgenliğini, laboratuvar ortamında karakterize etmişlerdir. Etkin termal iletkenlik test koşulları, vakum, damıtılmış su ve metanol olmak üzere üç farklı şartta test etmişlerdir. Termal iletkenlik için oluşturulan mevcut model ile literatürdeki veriler çok iyi bir uyum gösterdiğini belirtmişlerdir.

Zenbilci [9] çalışmasında, ısı değiştiricilerinde kullanılmak üzere bakır tozlarından üretilmiş yüzeylerdeki gözenekliliğe, üretim parametrelerinin etkisini araştırmıştır. Yapmış olduğu deneysel çalışmalarda, mikron değerlerde farklı boyutlara sahip dendritik bakır tozlarının 250-550 °C arasındaki sıcaklık değerleri ve 5, 15 ve 50MPa basınç değerleri kullanılarak sıcak presleme işlemiyle 0,1 mm kalınlığındaki bakır levhalara tutunması amaçlanmıştır. Deneysel çalışmalarında düz yüzeyli ve kanailli olmak üzere iki farklı kalıp kullanmıştır. Sıcak presleme deneylerinde elde edilen ham numunelere 860°C'de 30 dakika süreyle sinterleme işlemi uygulanarak mukavemet kazandırılmasını amaçlamıştır. Presleme ve sinterleme işlemine tabi tutulan numuneler 10x20 mm'lik parçalara ayrılarak, optik mikroskopta kesit yüzeylerine bakılmış ve gözeneklilik yüzdesini belirlemiştir. Ardından taramalı elektron mikroskopta numunelerin yüzey incelemesini yapmıştır. Kesit incelemesi sonucunda numunelerin gözeneklilik durumuna göre parametrelerin karşılaştırılması yapmış, ısı değiştiricilerinde kullanılmak üzere bakır yüzeylerin optimum üretim parametre değerlerini önermiştir.

Bu çalışmanın amacı, gözenekliliğin akış kaynamasındaki ısı geçişine etkisini incelemek üzere bakır tozlarından farklı gözenekli bakır yüzeyler oluşturulmasıdır. Geleneksel toz metalürjisi prensipleri takip edilerek poroziteli yüzeylere sahip plakalar elde edilmiştir. Bu işlemlerde toz boyutu ve sinterleme sıcaklığı sabit tutularak, presleme basıncı değiştirilmiş, basıncın gözeneklilik üzerine olan etkisi incelenmiştir.

## II. MATERYAL VE YÖNTEM

### A. Sinterleme Yöntemiyle Üretim Prosesi

Sinterleme, birbirleri ile temas halinde bulunan taneciklerin, yüksek sıcaklıklarda birbirine kaynarak yapışması ile bir bütün oluşturması işlemidir. Geleneksel sinterleme işleminde preslenmiş numuneler atmosfer kontrollü fırınlarda yüksek sıcaklıkta istenilen nihai özelliklerin elde edilmesi amacıyla ısı işleme tabii tutulur. Başlangıçta % 25 ila 60 oranında gözenek içeren malzeme sinterleme işlemine tabi tutulduğunda, gözeneklerin şekil ve boyutlarında değişiklikler, tane büyümesi, yeni fazların oluşumu ve polimorfik olaylar gözlenmektedir. Sinterleme sıcaklığı, malzeme boyutu ve türü ile işlem süresi numunelerin karakterizasyonunu değiştirmektedir. Çalışmada, bakır tozundan sinterleme yöntemiyle poroziteli bir bakır blok üretim aşaması aşağıda şematik olarak özetlenmiştir. [7]



Şekil 1. Sinterleme Prosesi

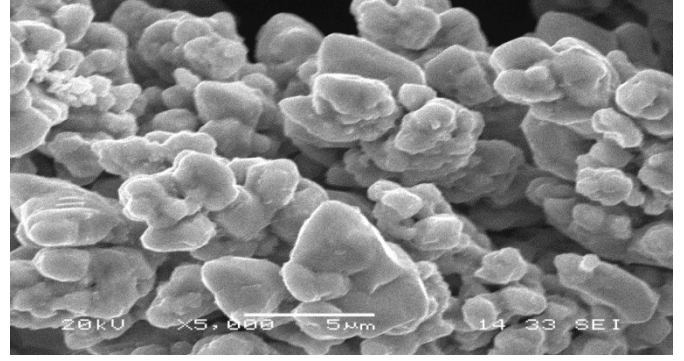
### B. Taramalı Elektron Mikroskobu Çalışmaları

Taramalı elektron mikroskobu (SEM), katı numunelerin yüzeyinde çeşitli sinyaller üreterek, dış morfoloji (doku), kimyasal bileşim ve numuneyi oluşturan kristal yapı ve oryantasyon da dahil olmak üzere detaylı bilgi verir. İki farklı firmadan alınan bakır tozlarının parçacık boyutlarının belirlenmesi için Sakarya Üniversitesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği bölümü laboratuvarında bulunan “Jeol JSM 6060 LV” marka taramalı elektron mikroskobu cihazıyla yapılmıştır (Şekil 2.)



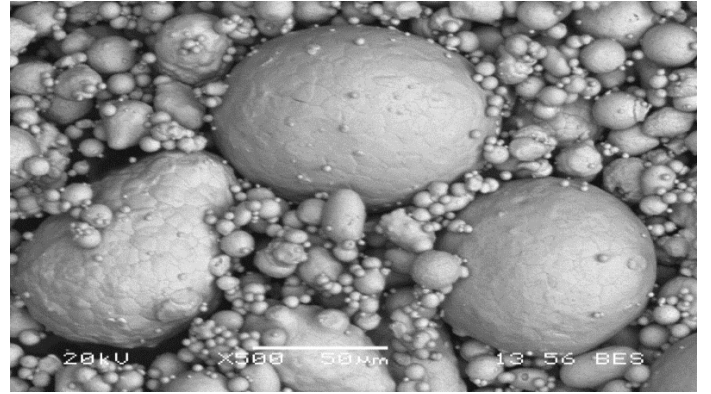
Şekil 2. Jeol JSM 6060 LV marka SEM cihazının fotoğrafı

Numune yüzeyleri görüntülerde 500 ila 5000 kat büyütülerek elde edilmiştir. Şekil 3 ve 4’ de farklı firmalardan satın alınmış, farklı boyutlara sahip bakır tozlarının SEM görüntüleri yer almaktadır.



Şekil 3. Yurt dışından tedarik edilen bakır tozunun SEM görüntüsü

Şekil 3’de 5000 kat büyütme ile SEM görüntüsü incelendiğinde bakır tozunun tane boyutunun 5µm’den daha küçük olduğu ve homojen bir dağılım olduğu gözlenmektedir.



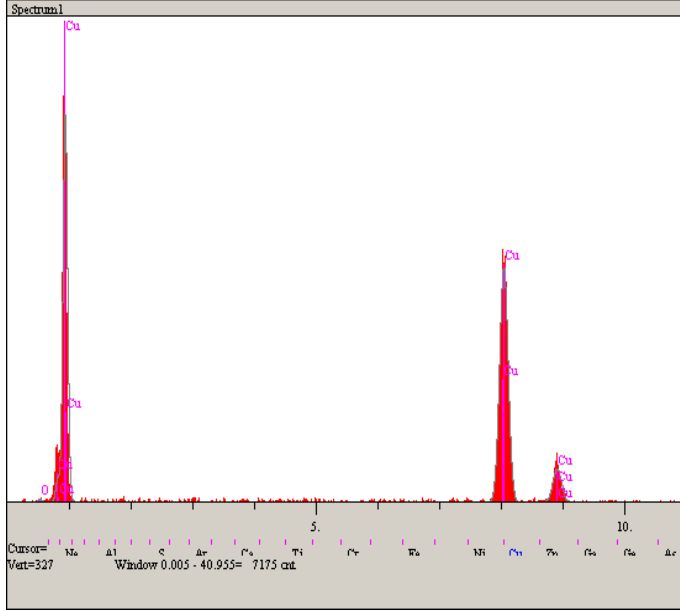
Şekil 4. Yurtiçinden tedarik edilen bakır tozunun SEM görüntüsü

Şekil 4’ de 500 kat büyütme ile SEM görüntüsü alınmış bakır tozu incelendiğinde, 50µm’ lik tanelere yapışmış halde birkaç µm’lik boyutta bakır tozları ve yer yer de korozyonlar gözlenmektedir. Korozyon ve tane boyutlarının homojen olmaması nedeniyle yurt içinden tedarik edilen bakır tozları sinterleme işleminde kullanılmamıştır.

### C. EDS Analizi

Taramalı elektron mikroskobundaki elementel analizler, elektron demetinin numune üzerindeki bombardımanı sırasında numuneyi oluşturan elementlerden yayılan karakteristik X-ışınlarının elektron mikroskobuna bağlı EDS (enerji saçınım spektrometresi) ile algılanıp analiz edilmeleri yoluyla gerçekleştirilir. Bu sayede, morfolojik görüntü analizleri sırasında incelenen örnek üzerindeki bir hattın elementel mikro analizi yapılabilmekte, örnek üzerinde istenen bir alandaki elementlerin dağılım haritaları çıkarılabilmektedir. EDS analizi herhangi bir numune veya numune üzerinde elementel kompozisyonu tanımlamak için kullanılan bir yöntemdir. Numune üzerine taramalı elektron demeti gönderilerek analiz işlemi gerçekleştirilir. Çalışmamızda yurtdışı üretici firmadan temin ettiğimiz bakırın saflığını araştırmak için EDS analizi gerçekleştirildi ve sonuç aşağıdaki şekil 5’de sunulmuştur.

Şekil 5’de yatay eksen elektron volt (eV) cinsinden x ışını enerjisini, dikey eksen ise şiddetini vermektedir. Numune içindeki elementlerin yüzdeleri, elementlerin piklerinin altındaki alanlarla orantılıdır. Şekil 5 incelendiğinde kullanılan bakır tozunun büyük bir çoğunluğunun Cu elementinden oluştuğu fakat oksitlenme nedeniyle eser miktarda O<sub>2</sub> elementini bulundurduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 5. Bakır partiküllerinin EDS analizi

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Atomic %	Conc	Units	
O	Ka	1.78	0.843	2.509	0.644	wt.%	
Cu	Ka	273.78	10.461	97.491	99.356	wt.%	
				100.000	100.000	wt.%	Total

Tablodan da görüldüğü gibi, EDS analizi toz numunenin %99.356’sının saf bakır olduğunu göstermiştir.

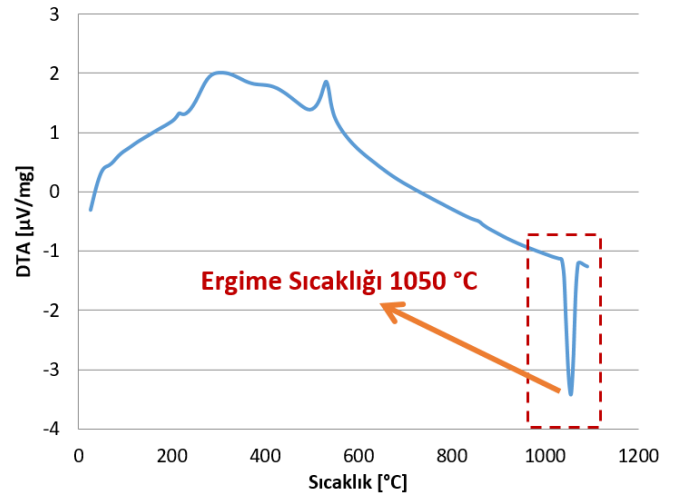
#### D. Termal Analiz

Termal analiz, test edilen malzemeye kontrollü ısı enerjisi akışının sağlanarak fiziksel özelliklerinin sıcaklığın fonksiyonu olarak saptandığı bir yöntemdir. Analiz esnasında ısıtma, soğutma ya da sabit bir sıcaklıkta tutma veya bunlardan bazılarının birlikteliği olabilmektedir. Bu yöntem ile malzemelerin ergime noktası sıcaklıkları da belirlenebilmektedir. Literatürdeki kaynaklar geleneksel sinterleme sıcaklığının malzemenin ergime noktasının %80’i olduğunu işaret etmektedir. En uygun sinterleme sıcaklığının belirlenebilmesi için tedarik edilen bakır tozunun ergime sıcaklığının belirlenmesi gerekmektedir. Termal analiz Şekil 6’da gösterilen, Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümü laboratuvarında bulunan TA marka SDT Q600 model cihaz ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6. Termal Analiz Cihazı

Termal analiz cihazı yüksek sıcaklıktaki fırın ünitesi, fırın atmosferini sağlayan gaz ünitesi ve analiz programlı bilgisayar olmak üzere üç ana kısımdan oluşmaktadır.



Şekil 7. Bakır tozunun termal analiz grafiği

Bakır tozunun ergime noktası belirlenmesi için termal analiz uygulaması yapılmıştır. Şekil 7’de yatay eksen termal analiz sıcaklığını göstermektedir. Grafikte de görüldüğü üzere analiz süresince maksimum 1200°C sıcaklığa çıkılmıştır. Dikey eksen ise DTA grafiğini vermektedir. Analiz sonucunda 1050°C’de bir endotermik pik görülmüştür. DTA grafiğinde bu endotermik pik ergime sıcaklığını belirtmektedir. Sonuç olarak bakır tozunun ergime noktası 1050 °C olarak belirlenmiştir.

#### E. Bakır Tozlarının Sinterleme İşlemi

Bakır tozlarına istenilen geometriyi vermek için şekilde verilen 10 mm çapında dairesel kalıp ile 20mmx20mm kare kalıp kullanılmıştır. Bakır malzemenin kalıba yapışmaması için kalıbın kenarlarına çinko stearat sürülmüştür. Çinko stearatın kuruması beklendikten bakır tozu kalıbın içine yerleştirilmiştir. Bakır tozu belirlenen miktarda kalıbın içine konulmuş ve ardından şekilde görülen mekanik presle farklı kuvvetlerde preslenmiştir. Şekil 8 ve 9’da kullanılan dairesel kalıbın ve mekanik presin fotoğrafları görülmektedir.



Şekil 18. Dairesel Kalıp



Şekil 19. Mekanik Pres

125MPa, 212,5 MPa, 312,5 MPa ve 375MPa basınçta preslenmiş 10 mm çapında dairesel bakırlar şekilde gösterilmektedir. Dairesel şekilli bakır malzemeler yüksek sıcaklıkta fırın içerisine yapışmaması için şekil 10' da görüldüğü üzere alumina altlıklara yerleştirilmiştir.



Şekil 10. Alumina altlığa yerleştirilmiş bakır numuneler

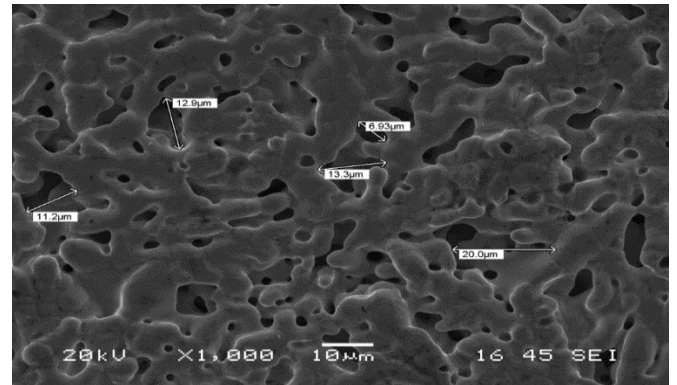
Alumina altlığa yerleştirilen preslenmiş bakır numuneler sinterleme işlemi için Sakarya Üniversitesi Araştırma ve Geliştirme Merkezinde bulunan şekilde gösterilen atmosfer kontrollü tüp fırına yerleştirilmiştir. Sinterleme işlemi kontrollü atmosfer sağlayan tüp fırında 450 ml N<sub>2</sub> ve 50ml NH<sub>3</sub> gaz koşullarında dakikada 5 °C hızla 800°C ye çıkıldıktan sonra bu sıcaklıkta 1 saat beklenecek sinterleme işlemi tamamlanmıştır.



Şekil 11. Kontrollü Atmosfer Sağlayan Tüp Fırını

### III. SONUÇLAR

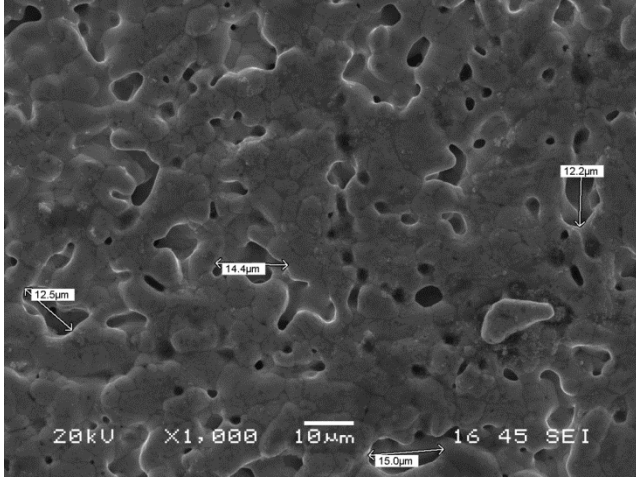
Sinterleme işleminin ardından elde edilen bakır numunelerin porozitelerini belirlenmesi için SEM cihazında görüntüler alınmıştır. Şekil 12, 13, 14 ve 15'de, ortalama 5 µm boyutuna sahip bakır tozlarının, farklı basınçlarda preslendikten sonra 800°C' de sinterlenerek elde edilen numunelerin SEM görüntüleri bulunmaktadır.



Şekil 12. 125 MPa basınçla preslenmiş bakır numunenin SEM görüntüsü

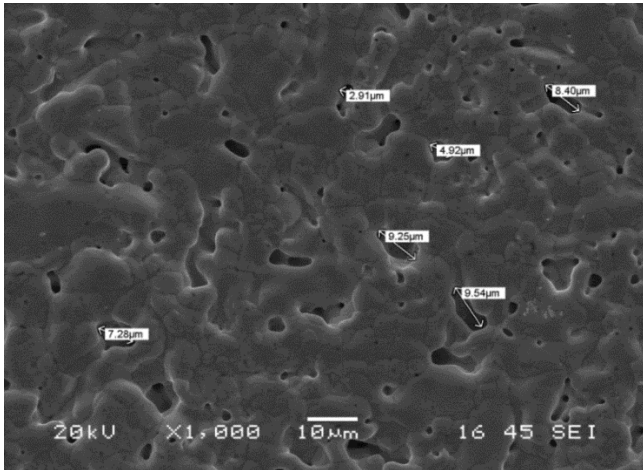
Şekil 12' de 10mm çapında dairesel kalıpla, mekanik preste 1 tonda preslenmiş ve 800°C' de sinterlenmiş numunenin taramalı elektron mikroskopunda 1000 kat büyütülmesiyle alınan görüntüsü verilmiştir. Yüzeyin gözenek boyutları 6 ila 20 µm arasında değiştiği gözlenmiştir.

Şekil 13' de bakır tozlarının 212,5MPa basınçta preslendikten sonra aynı şartlarda sinterlenmiş halinin SEM görüntüsü yer almaktadır. Görüntüden gözlemlendiği gibi maksimum gözenek çapının 15µm olduğu anlaşılmaktadır. Aşağıdaki şekil 14'de 312,5 MPa basınçta preslenmiş ve diğer numunelerle aynı şartlarda sinterlenmiş numunenin SEM görüntüsü incelendiğinde maksimum gözenek boyutunun 9,54 µm olduğu gözlenmiştir.



Şekil 13. 212,5MPa basınçta preslenmiş bakır numunenin SEM görüntüsü

Şekil 15’de ise aynı şartlarda sinterlenmiş fakat 375Mpa basınçla preslenmiş bakırın SEM görüntüsü incelendiğinde maksimum gözenek boyutunun 7,42µm olduğu gözlenmiştir. Bu çalışma sonucunda; sinterleme işlemi öncesinde a) farklı firmalardan tedarik edilen numunelerin boyutlarının kesin olarak belirlenmesi, b) saf olup olmadığının incelenmesi, c) sinterleme işlemi için ergime sıcaklığının tespiti için termal analizinin muhakkak yapılması gerektiği ortaya çıkmıştır.

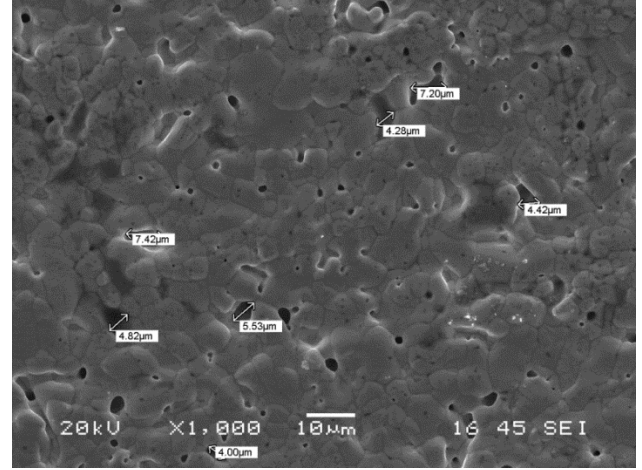


Şekil 14. 312,5 MPa basınçta preslenmiş bakır numunenin SEM görüntüsü

Bununla birlikte, 5 µm büyüklüğe sahip bakır tozlarının farklı presleme basıncı altında işlemi sonucunda yüzey gözenekliliğinin 6 ila 20 µm arasında değiştiği gözlenmiştir. Hangi por yapının kaynamalı ısı geçişine daha uygun olduğunun tespiti ancak, akış ve ısı geçişi deneylerinden elde edilecek sonuçlarla yapılabilecektir.

#### IV. DEĞERLENDİRME:

Bu çalışma ısı geçişi iyileştirme tekniklerinden biri olan yüzey gözenekliliğinin kaynamalı akışa etkisinin araştırıldığı bir bilimsel araştırma projesinin ön çalışmalarını kapsamaktadır.



Şekil 15. 375 MPa basınçla preslenmiş bakır numunenin SEM görüntüsü

Yapılan çalışmalar geleneksel toz metalürjisi yöntemi içerisinde yer almakta olup, sinterleme sıcaklığı, basıncı ve süresi ile toz boyutunun poroziteye etkisinin ortaya çıkarılmasını hedeflemektedir. Bu ön çalışmalar kapsamında tedarik edilen bakır tozlarının farklı basınçlarda preslenmesinin ardından elde edilen numuneler bir dizi incelemeye tabi tutulmuştur. Sonuç olarak taramalı elektron mikroskop görüntüleri üzerinde yapılan incelemelerde presleme basıncının düştükçe gözeneklilik değerinin arttığı sonucuna ulaşılmıştır.

#### KAYNAKLAR

- [1] A. Jaikumar, S. G. Kandlikar, “Enhanced pool boiling heat transfer mechanisms for selectively sintered open microchannels” International Journal of Heat and Mass Transfer vol. 88, pp. 652–661, 2015.
- [2] M. Koç, Y. Usta, A. Karakoc, “Investigations on thermo-mechanical fabrication of micro-scale porous surface features” Journal of Power Sources vol.179 pp.592–602, 2008.
- [3] S. Zhang, Y., Sun, W. Yuan, Y., Tanga, H. Tanga, K. Tang, “Effects of heat flux, mass flux and channel width on flow boiling performance of porous interconnected microchannel nets” Experimental Thermal and Fluid Science, Vol.90, Pp. 310-318, 2018.
- [4] J. A. Weibel, S. V. Garimella, M. T. North, “Characterization of evaporation and boiling from sintered powder wicks fed by capillary action” International Journal of Heat and Mass Transfer vol.53, pp. 4204–4215, 2010
- [5] D. Deng, R. Chen, Y. Tang, L. Lu, T. Zenga, W. Wana, “A comparative study of flow boiling performance in reentrant copper microchannels and reentrant porous microchannels with multi-scale rough surface” Vol. 72, Pp 275-287, 2015.
- [6] Ö. N. Cora, Y. Usta and M. Koc, “Micro-manufacturing of micro-scale porous surface structures for enhanced heat transfer applications: an experimental process optimization study” Journal of Micromechanics and Microengineering, vol. 19, 12pp, 2009.
- [7] R. Singh, A. Akbarzadeh, M. Mochizuki, “Sintered porous heat sink for cooling of high-powered microprocessors for server applications” International Journal of Heat and Mass Transfer, vol.52, pp.2289–2299, 2009.
- [8] J. P. M. Florez, M. B. H. Mantelli, G. G. V. Nuernberg “Effective thermal conductivity of sintered porous media: Model and experimental validation” International Journal of Heat and Mass Transfer, vol. 66, pp.868–878, 2013.
- [9] S. Zenbilci, “İsi Değiştiricilerinde Kullanılmak Üzere Gözenekli Bakır Yüzeylerin Üretim Parametrelerinin Araştırılması” Yüksek lisans tezi, “Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi, Mayıs, 2011.
- [10] A. O. Kurt, “Toz Üretim Yöntemleri ve Sinterleme” Sakarya Üniversitesi Ders Notu, 2017.
- [11] D. Kurt, “Metal Matriksli Kompozit Fren Diski, Balatası Üretimi Ve Karakterizasyonu” Yüksek lisans tezi, Sakarya Üniversitesi, 2007.