

## **FARKLI MATRİS KOMPOZİSYONLARI VE TAKVİYE ORANLARI İÇİN ALÜMİNYUM ESASLI KOMPOZİTLERİN TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİYLE ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU**

**Mehmet AYVAZ<sup>1\*</sup>, Hakan ÇETİNEL<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 45140 Manisa, TÜRKİYE

**Özet:** Bu çalışmada, toz metalurjisi (T/M) yöntemiyle üretilen alüminyum esaslı kompozitlerde farklı matris kompozisyonlarının ve bor karbür (B<sub>4</sub>C) takviye oranlarının mikroyapı, mikrosertlik ve teorik yoğunluğa etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, üç farklı matris kompozisyonu (Al5Cu, Al5Mg ve Al2.5Cu.2.Mg) ve ağırlıkça dört farklı B<sub>4</sub>C (% 5, 10, 20 ve 30) oranı kullanılmıştır. Ayrıca üretim şartlarının etkisinin incelenebilmesi amacıyla iki farklı basınç (200 ve 400 MPa) kullanılmıştır. Numuneler atmosferik gaz ortamında üç farklı sinterleme süresinde (60, 120 ve 240 dk.) sinterlenmiştir. Üretilen alüminyum esaslı kompozitlerin teorik yoğunluk, mikrosertlik değerleri ölçülmüştür ve optik mikroskop yardımıyla mikroyapı karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** *Toz metalurjisi, sinterleme, bor karbür, alüminyum.*

## **PRODUCTION AND CHARACTERIZATION OF ALUMINUM BASED COMPOSITES BY POWDER METALLURGY METHOD FOR DIFFERENT MATRIX COMPOSITION AND AMOUNT OF THE REINFORCEMENT**

**Abstract:** In this study, effect of the different matrix composition and amount of the boron carbide (B<sub>4</sub>C) reinforcement on the microstructure, mikrohardness and theoretical density were examined at aluminum based composites produced by powder metallurgy (P/M) method. For this purpose, three different matrix compositions (Al5Cu, Al5Mg and Al2.5Cu.2.Mg) and four different amount of the B<sub>4</sub>C by weight (% 5, 10, 20 and 30) were used. In addition to this, in order to investigate the effect of the production conditions, two different pressure (200 and 400 MPa) and three different sintering periods (60, 120 and 240 min.) were used. The theoretical density and mikrohardness of the produced aluminum based composites were measured and microstructure characterization was achieved via optic microscope.

**Keywords:** *powder metallurgy, sintering, boron carbide, aluminum.*

## 1. GİRİŞ

Alüminyum metal matrisli kompozitler (AMMK), alüminyum alaşımı metallere karşılaştırıldıklarında, gelişmiş fiziksel ve mekanik özelliklere sahip olduklarından, özellikle otomotiv sektöründe, motor bloklarının, pistonların ve segmanların üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Bunların yanında AMMK' lar, elektronik sektöründen, spor malzemelerine, uzay ve havacılık sanayisinden, savunma ve zırh sistemlerine kadar pek çok alanda yaygın ve giderek artan bir kullanıma sahiptirler [1-4].

Toz metalurjisi (T/M) metal alaşımlarının ve metal matrisli kompozitlerin üretiminde yaygın kullanılan üretim yöntemlerinin biridir ve nihai ürünün özelliklerinin iyileştirilmesi için bu üretim yöntemindeki parametreler incelenmeye ve geliştirilmeye devam etmektedir. Gökçe ve Findık yaptıkları çalışmada Al-%1Mg T/M parçaları üretmişlerdir. Yağlayıcının, sinterleme gazının, sinterleme süresinin ve sıkıştırma basıncının parça yoğunluğuna ve mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Düşük sıkıştırma basıncıyla ham parçadaki ve sinterlenmiş parçadaki yoğunluğun düşük olduğu gözlemlenmiştir. N sinterleme atmosferi etkisiyle sinterleme sırasında T/M parçalarda AlN oluşumu gözlenmiştir, buda yağlayıcının konmadığı parçalarda yoğunluk artışına sebep vermiştir ve dolayısıyla yağlayıcının konmadığı parçalarda ham ve sinterlenmiş yoğunluk daha yüksek çıkmıştır [5].

Gökçe ve arkadaşları yaptıkları çalışmada ürettikleri Al, Al5Cu ve Al5Cu0.5Mg kompozisyonuna sahip T/M numunelerin mekanik özelliklerini incelemişlerdir [6]. Yapılan üç nokta eğme ve sertlik testleri sonucunda en yüksek mukavemet ve sertlik değerleri Al5Cu0.5Mg kompozisyona sahip numunede ölçülmüştür. Al5Cu0.5Mg numunesinin sertlik değerinin saf Al numuneye göre iki kat ve üç nokta eğme

mukavemet değerlerinin de altı kat yüksek olduğu görülmüştür.

Oh ve Ahn T/M yöntemiyle üretilen Al-Cu-Mg alaşımlarında, Mg kompozisyonunun mekanik özelliklere etkisini incelemişlerdir [7]. Bu amaçla, Al-3Cu, Al-3Cu-0.5Mg, Al-3Cu-1.5Mg ve Al-3Cu-2.5 Mg toz kompozisyonlarını ve 100, 250 ve 500 MPa sıkıştırma basınçlarını kullanmışlardır. Tüm sıkıştırma basınçları için en yüksek ham yoğunluk Al-3Cu-1.5Mg kompozisyonundaki numunelerde ölçülmüştür. Sinterlenmiş numunelerde ise en yüksek yoğunluk Al-3Cu kompozisyonuna sahip numunelerde görülmüştür. Kompozisyona eklenen Mg ilavesinin alüminyum oksit tabakasını parçaladığı ve böylece Al-Cu tanelerarası bağının kuvvetlendiği belirtilmiştir.

Partikül takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerde, takviye elemanı olarak en yaygın kullanılan partikül malzemeleri Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiC ve B<sub>4</sub>C' dür [1, 8-10]. Bunların içinde en yüksek sertliğe ve en düşük yoğunluğa sahip olan B<sub>4</sub>C' dür. Ayrıca B<sub>4</sub>C ile Al arasında oluşan tanelerarası bağın, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> veya SiC ile Al arasında oluşan tanelerarası bağdan daha kuvvetli olduğu bilinmektedir [10]. Hasırcı ve gül yaptıkları çalışmada saf Al, Al-5B<sub>4</sub>C, Al-10B<sub>4</sub>C ve Al-20B<sub>4</sub>C kompozisyona sahip tozları 700 MPa basınç altında preslemişler ve 570 °C sıcaklıkta açık atmosferde sinterlemişlerdir [11]. Mikrosertliğin takviye elemanı ile birlikte sürekli bir artış gösterdiği belirlenmiştir. Hacıoğlu ve meslektaşları tek bir toz kompozisyonunu (ağırlıkça %10 B<sub>4</sub>C içeren alüminyum) dört farklı yük altında (200, 400, 600 ve 800 MPa) preslemişler, açık ve argon atmosferinde, 550 °C' ta dört farklı sürede (2, 3, 4 ve 5 saat) sinterlemişlerdir. Yoğunluk değerleri incelendiğinde en yüksek yoğunluğun 600 MPa presleme ve açık atmosferde sinterleme sonucunda elde edildiği görülürken en yüksek sertlik değeri 600 ve 800 MPa presleme basıncında bulunmuştur [12].

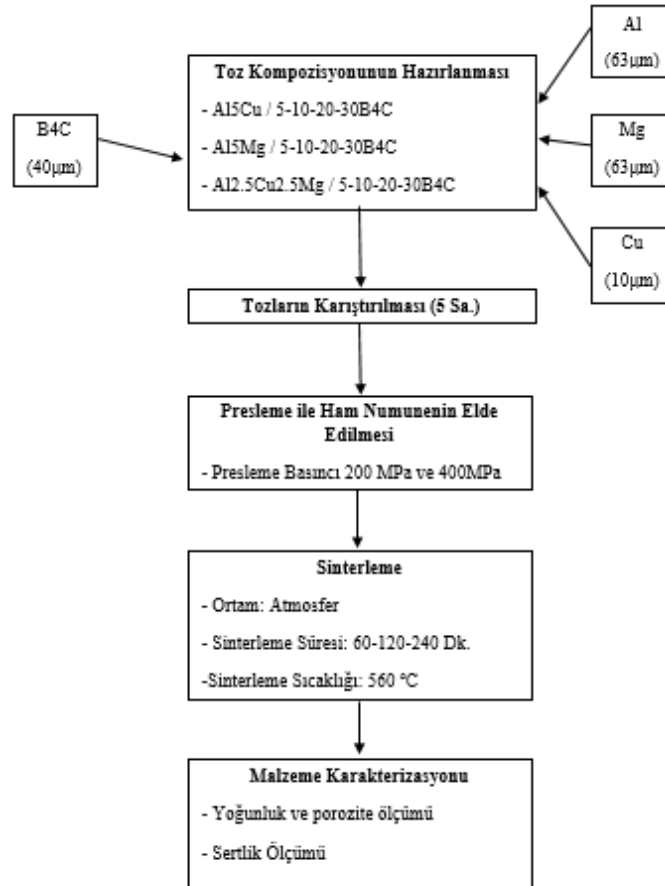
Yapılmış olan çalışmalarda hem B<sub>4</sub>C oranının

hem de matris alaşımının etkisi birlikte incelenmemiştir. Bu çalışmadaki amaç, farklı sinterleme parametrelerinde, ağırlıkça farklı B<sub>4</sub>C partikül oranına sahip, farklı matris kompozisyonlarının mikrosertliklerini ve sinterlenmiş yoğunluklarını karşılaştırmak ve optimum üretim ve kompozisyon parametrelerini bulmaktır.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Yapılan bu çalışmada, Al<sub>5</sub>Mg, Al<sub>5</sub>Cu ve Al<sub>2.5</sub>Cu<sub>2.5</sub>Mg matris kompozisyonları kullanılmıştır. Takviye elemanı olarak B<sub>4</sub>C

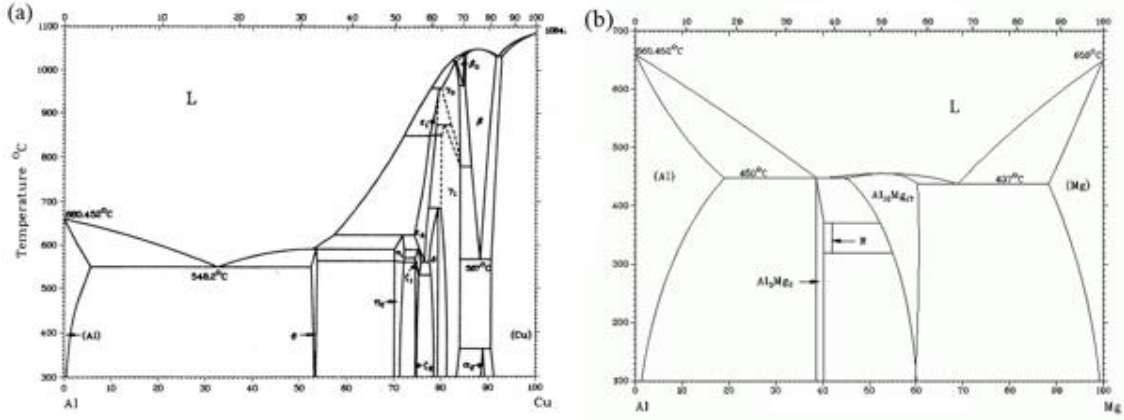
ağırlıkça %5-10-20 ve 30 oranlarında matris kompozisyonuna eklenmiştir. Elemental metal tozları 0.001gr hassasiyete sahip terazide tartılarak toz karışımları elde edilmiştir. Karıştırma işlemi kuru ortamda 30 dev/dk. hızda, 5 saatte gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan alüminyumun, bakırın, magnezyumun ve bor karbürün ortalama toz boyutları (D<sub>50</sub>) sırasıyla 63, 10, 63, 40 µm' dir.



Şekil 1. T/M Üretim ve Test Şeması

Hazırlanan toz karışımları, 100 tonluk tek taraflı hidrolik preste 200 ve 400 MPa basınçta basılmıştır ve Ø20x10 mm boyutlarında ham numuneler elde edilmiştir. Ham numuneler 560

°C' ta 60, 120 ve 240 dakika boyunca sinterlenmiştir. Sinterleme sıcaklığı Al-Cu ve Al-Mg faz diyagramlarına uygun olarak seçilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. (a) Al-Cu faz diyagramı, (b) Al-Mg faz diyagramı.

Sinterlenmiş numunelerin ilk olarak havadaki ağırlığı daha sonra da sudaki ağırlığı hassas terazi yardımıyla ölçülmüştür ve Arşimet prensibi kullanılarak teorik yoğunlukları (%) bulunmuştur. Mikrosertlik ölçümleri Vickers sertlik cihazında 60 gr. yük, 10 sn. boyunca uygulanarak elde edilmiştir ve her bir numune için beş ölçüm yapıp ortalaması alınmıştır.

### 3. DENEY SONUÇLARI

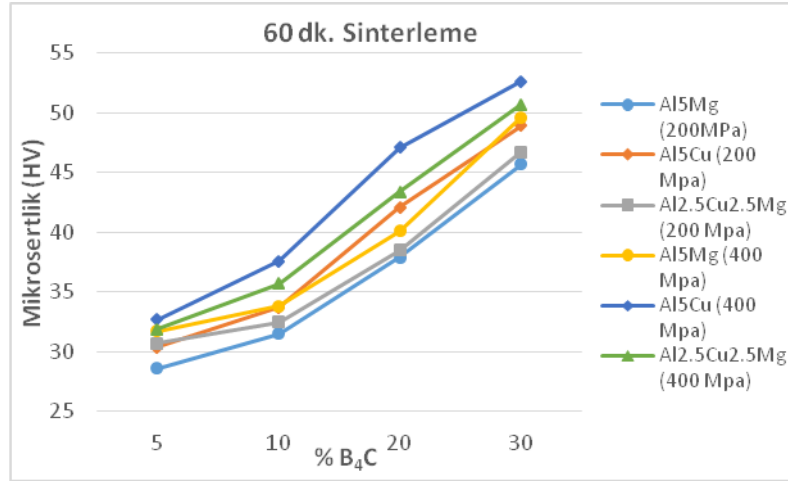
#### 3.1. Mikrosertlik ve Yoğunluk Değerleri

560 °C' ta 60 dk. sinterlenen numunelerin teorik yoğunlukları Tablo 1.' de ve

mikrosertlikleri Şekil 3.' te verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde presleme basıncı ve B<sub>4</sub>C takviye elemanının oranı arttıkça mikrosertliğin arttığı görülmektedir. Ancak takviye elemanının oranının artması sinterlenmiş numunenin teorik yoğunluğunu büyük oranda düşürmektedir. Ağırlıkça %30 B<sub>4</sub>C içeren tüm matris kompozisyonlarında mikrosertlik değeri en yüksektir, fakat teorik yoğunlukların bu numuneler için çok düşük olduğu ve numunelerin yaklaşık olarak %17 ile 25 arasında porozite içerdiği görülmektedir.

Tablo 1. 560 °C' ta 60 dk. sinterlenen numunelerin teorik yoğunlukları.

| Kimyasal Kompozisyon                | Teorik Yoğunluk (%) |         |
|-------------------------------------|---------------------|---------|
|                                     | 200 MPa             | 400 MPa |
| Al5Mg - %5 B <sub>4</sub> C         | 85.315              | 91.657  |
| Al5Mg - %10 B <sub>4</sub> C        | 83.642              | 89.631  |
| Al5Mg - %20 B <sub>4</sub> C        | 80.468              | 86.756  |
| Al5Mg - %30 B <sub>4</sub> C        | 75.250              | 81.901  |
| Al5Cu - %5 B <sub>4</sub> C         | 87.159              | 92.018  |
| Al5Cu - %10 B <sub>4</sub> C        | 85.438              | 89.994  |
| Al5Cu - %20 B <sub>4</sub> C        | 81.360              | 87.153  |
| Al5Cu - %30 B <sub>4</sub> C        | 75.754              | 83.169  |
| Al2.5Cu2.5Mg - %5 B <sub>4</sub> C  | 86.758              | 92.015  |
| Al2.5Cu2.5Mg - %10 B <sub>4</sub> C | 85.565              | 89.990  |
| Al2.5Cu2.5Mg - %20 B <sub>4</sub> C | 80.960              | 86.985  |
| Al2.5Cu2.5Mg - %30 B <sub>4</sub> C | 75.394              | 82.251  |



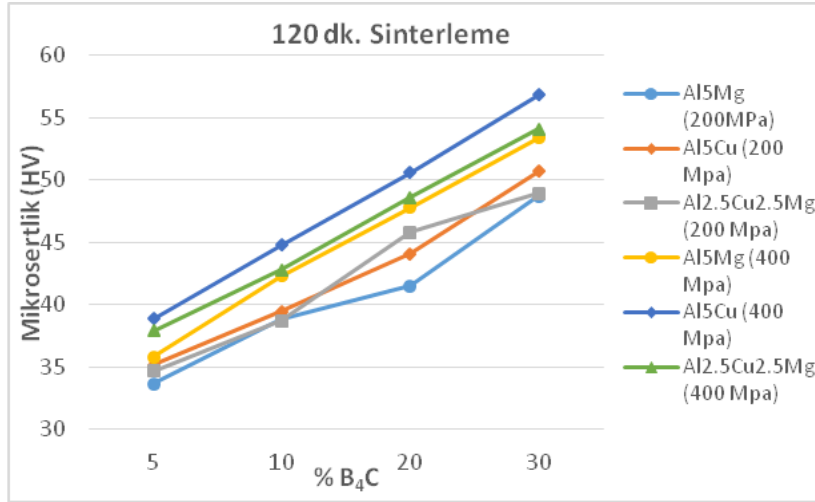
Şekil 3. 60 dakika sinterlemede farklı matris kompozisyonlarına sahip kompozitlerin mikrosertliğinin B<sub>4</sub>C takviye oranıyla değişimi.

560 °C' ta 120 dk. sinterlenen numunelerin teorik yoğunlukları Tablo 2.' de ve mikrosertlikleri Şekil 4.' te verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde presleme basıncındaki ve B<sub>4</sub>C takviye oranındaki artışın mikrosertliği

arttırdığı görülmektedir, ancak takviye elemanının ağırlıkça oranının artışı sinterlenmiş numunelerin teorik yoğunluğunu düşürdüğü görülmüştür.

Tablo 2. 560 °C' ta 120 dk. sinterlenen numunelerin teorik yoğunlukları.

| Kimyasal Kompozisyon                | Teorik Yoğunluk (%) |         |
|-------------------------------------|---------------------|---------|
|                                     | 200 MPa             | 400 MPa |
| Al5Mg - %5 B <sub>4</sub> C         | 89.755              | 93.751  |
| Al5Mg - %10 B <sub>4</sub> C        | 88.657              | 91.259  |
| Al5Mg - %20 B <sub>4</sub> C        | 85.251              | 88.752  |
| Al5Mg - %30 B <sub>4</sub> C        | 81.178              | 82.568  |
| Al5Cu - %5 B <sub>4</sub> C         | 91.159              | 94.018  |
| Al5Cu - %10 B <sub>4</sub> C        | 89.438              | 91.994  |
| Al5Cu - %20 B <sub>4</sub> C        | 87.578              | 90.225  |
| Al5Cu - %30 B <sub>4</sub> C        | 83.421              | 85.254  |
| Al2.5Cu2.5Mg - %5 B <sub>4</sub> C  | 90.321              | 93.721  |
| Al2.5Cu2.5Mg - %10 B <sub>4</sub> C | 86.726              | 91.678  |
| Al2.5Cu2.5Mg - %20 B <sub>4</sub> C | 84.826              | 89.567  |
| Al2.5Cu2.5Mg - %30 B <sub>4</sub> C | 81.758              | 84.349  |



**Şekil 4.** 60 dakika sinterlemede farklı matris kompozisyonlarına sahip kompozitlerin mikrosertliğinin B<sub>4</sub>C takviye oranıyla değişimi.

560 °C' ta 240 dk. sinterlenen numunelerin teorik yoğunlukları Tablo 3.' te ve mikrosertlikleri Şekil 5.' te verilmiştir. 60 ve 120 dk. sinterleme sürelerine benzer olarak, 240 dk. sinterleme süresi için, 400 MPa basınçta preslenen numunelerin teorik yoğunlukları ve mikrosertlikleri 200 MPa basınçta preslenen numunelerinkine göre daha yüksektir. 60, 120 ve 240 dk. sinterleme süreleri için en yüksek mikrosertlik değeri Al5Cu - %30 B<sub>4</sub>C' de (400 MPa) görülürken en yüksek teorik yoğunluk Al5Cu - %5 B<sub>4</sub>C (400 MPa) numunesinde ölçülmüştür.

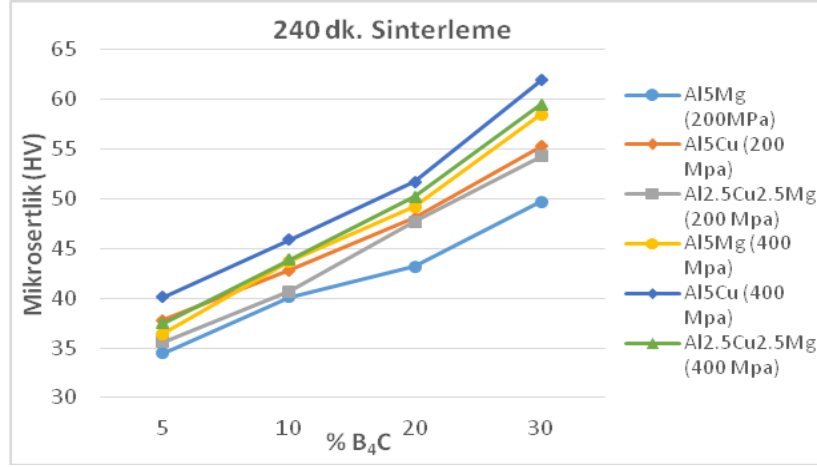
60, 120 ve 240 dk. sinterleme süreleri için elde edilen teorik yoğunluklar ve mikrosertlikler karşılaştırıldığında, 60 dk.' da teorik yoğunluğun ve mikrosertliğin çok düşük olduğu görülmektedir. 560 °C' ta 120 ve 240 dk. sinterlenen numunelerin ölçülen mikrosertlik ve teorik yoğunluk değerleri birbirine yakın olmakla birlikte 240 dk. için bir miktar daha yüksektir.

Matris kompozisyonlarının etkisi incelendiğinde, Mg ilavesinin sinterlenmiş

numunelerin teorik yoğunluğunu ve mikrosertliğini düşürdüğü gözlemlenmiştir. Aynı oranda B<sub>4</sub>C partikül takviye elemanı içeren matris kompozisyonları karşılaştırıldığında en düşük teorik yoğunluk ve mikrosertlik Al5Mg' de en yüksek teorik yoğunluk ve mikrosertlikse Al5Cu' da ölçülmüştür.

**Tablo 3.** 560 °C' ta 240 dk. Sinterlenen numunelerin teorik yoğunlukları.

| Kimyasal Kompozisyon                | Teorik Yoğunluk (%) |         |
|-------------------------------------|---------------------|---------|
|                                     | 200 MPa             | 400 MPa |
| Al5Mg - %5 B <sub>4</sub> C         | 90.845              | 94.125  |
| Al5Mg - %10 B <sub>4</sub> C        | 89.125              | 92.423  |
| Al5Mg - %20 B <sub>4</sub> C        | 86.710              | 89.231  |
| Al5Mg - %30 B <sub>4</sub> C        | 82.251              | 83.215  |
| Al5Cu - %5 B <sub>4</sub> C         | 92.248              | 94.958  |
| Al5Cu - %10 B <sub>4</sub> C        | 90.275              | 92.752  |
| Al5Cu - %20 B <sub>4</sub> C        | 88.571              | 90.985  |
| Al5Cu - %30 B <sub>4</sub> C        | 84.190              | 84.678  |
| Al2.5Cu2.5Mg - %5 B <sub>4</sub> C  | 91.245              | 94.237  |
| Al2.5Cu2.5Mg - %10 B <sub>4</sub> C | 87.325              | 92.521  |
| Al2.5Cu2.5Mg - %20 B <sub>4</sub> C | 85.263              | 90.156  |
| Al2.5Cu2.5Mg - %30 B <sub>4</sub> C | 82.879              | 84.586  |

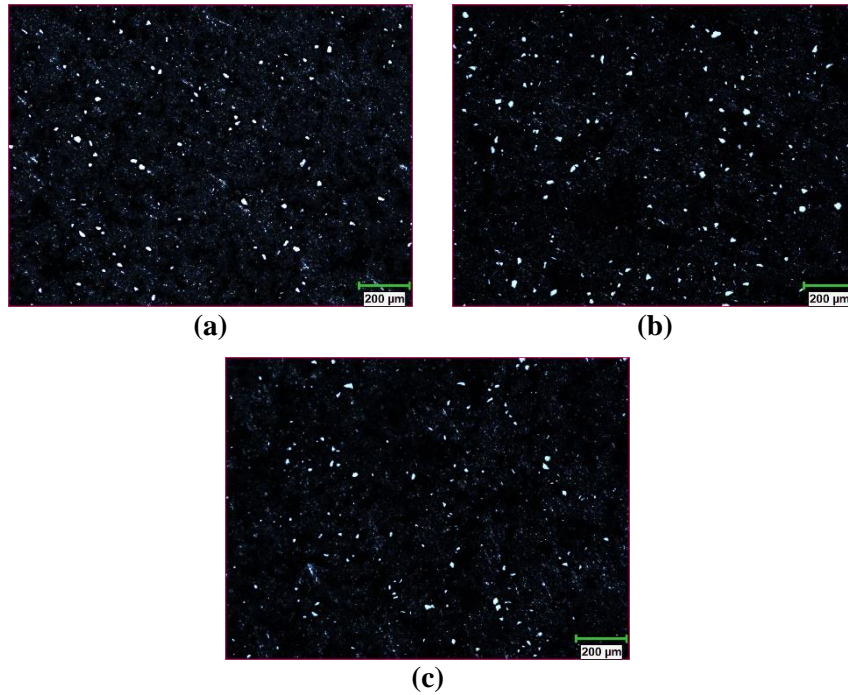


Şekil 5. 60 dakika sinterlemede farklı matris kompozisyonlarına sahip kompozitlerin mikrosertliğinin B<sub>4</sub>C takviye oranıyla değişimi.

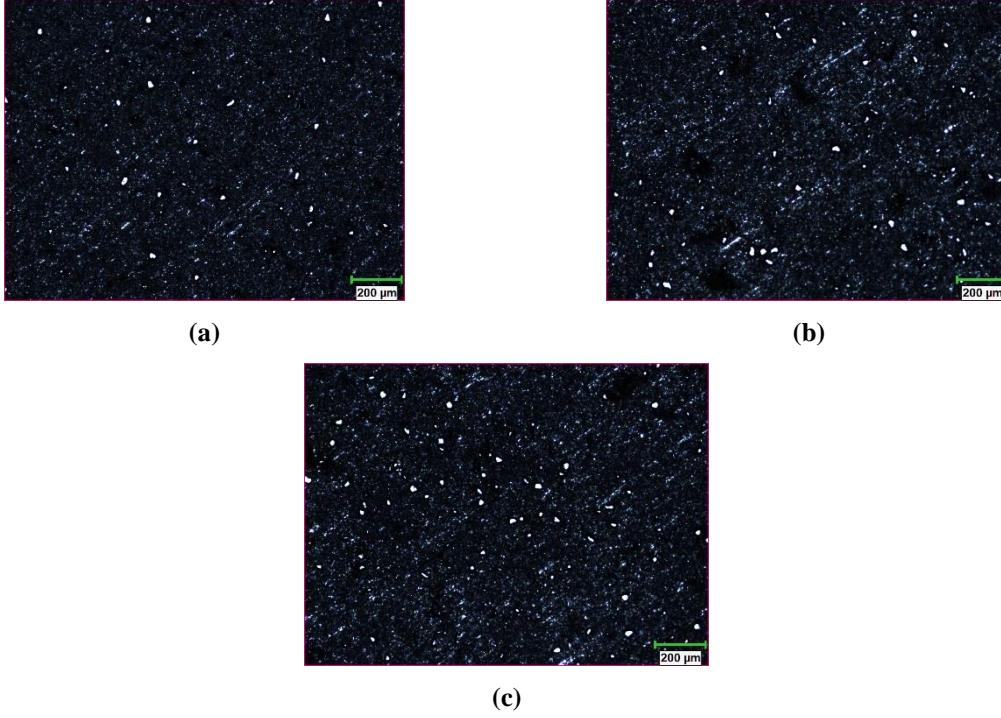
### 3.2 Metalografik İnceleme

% 30 B<sub>4</sub>C takviye oranına sahip numunelerin optik mikroskop görüntüleri Şekil 6.' da ve % 5 B<sub>4</sub>C takviye oranına sahip numunelerin optik mikroskop görüntüleri Şekil 7.' de verilmiştir. Optik mikroskop görüntülerinde, takviye elemanı B<sub>4</sub>C partikülleri beyaz, matris gri ve poroziteler siyah renkte görülmektedirler. Mikroyapı görüntüleri incelendiğinde, B<sub>4</sub>C

partiküllerinin homojen bir dağılım gösterdiği açıkça görülmektedir. Al5Cu kompozisyonlu matriste oluşan poroziteler küçük ve homojen bir biçimde dağılmışken, Al5Mg ve Al2.5Cu2.5Mg kompozisyonundaki matrislerde, poroziteler daha büyük boyutlarda ve homojen olmayacak biçimde oluşmuşlardır.



Şekil 6. Numunelerin optik mikroskop görüntüleri: (a) Al5Cu - %30 B<sub>4</sub>C, (b) Al5Mg- %30 B<sub>4</sub>C ve (c) Al2.5Cu2.5Mg- %30 B<sub>4</sub>C, (x 50).



Şekil 7. Numunelerin optik mikroskop görüntüleri: (a) Al5Cu - %5 B<sub>4</sub>C, (b) Al5Mg- %5 B<sub>4</sub>C ve (c) Al<sub>2.5</sub>Cu<sub>2.5</sub>Mg- %5 B<sub>4</sub>C, (x 50).

#### 4. SONUÇ

Bu çalışmada, presleme basıncı, sinterleme süresi, matris kompozisyonu ve partikül takviye oranının sinterlenmiş parçaların teorik yoğunluk ve sertlik değerlerine etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

- Presleme basıncı arttıkça teorik yoğunluk ve mikrosertlik artmaktadır.
- B<sub>4</sub>C Takviye elemanının oranındaki artış teorik yoğunluğu düşürürken, mikrosertliği arttırmaktadır.
- 60 dk. sinterleme süresinin sinterleme mekanizması için yetersiz kaldığı ve porozitelerin tam olarak kapanmadığı tespit edilmiştir.
- Matris kompozisyonuna Mg ilavesi parçanın mikrosertliğini ve teorik yoğunluğunu düşürmektedir.

#### 5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Celal Bayar Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından desteklenmiştir (Proje no: 2012-046).

#### Kaynaklar

- [1] Deuis, R.L., Subramanian, C. and Yullup, H., "Dry Sliding Wear of Aluminium Composites- A Review", Composites Science and Technology, 57: 415-435 (1997).
- [2] Saini, V.K., Khan, Z.A. and Siddiquee, A.N., "Advancements in Non-Conventional Machining of Aluminum Metal Matrix Composite Materials", International Journal of Engineering Research & Technology, 1 (3): (2012).
- [3] Singla, M., Dwivedi, D.D., Singh, L. and Chawla, V., "Development of Aluminium Based Silicon Carbide Particulate Metal Matrix Composite", Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering, 8 (6): 445-467 (2009)
- [4] Surappa, M.K., "Aluminium Matrix Composites: Challenges and Opportunities", Sadhana, 28: 319-334 (2003).



[5] Gokce, A. and Findik, F., “ Mechanical and Physical Properties of Sintered Aluminum Powders”, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, 30 (2): 157-164 (2008).

[6] Gokce, A., Findik, F. and Kurt, A.O., “Microstructural Examination and Properties of Premixed Al-Cu-Mg Powder Metallurgy Alloy”, Materials Characterization, 62: 730-735 (2011).

[7] Oh, M.C. and Ahn, B. “The Effect of Mg composition on Sintering Behaviors and Mechanical Properties of Al-Cu-Mg Alloy”, 9. International Conference on Fracture & Strength of Solids, Jeju, Korea, (2013).

[8] Kok. M., “Abrasive Wear of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Particle Reinforced 2024 Aluminium Alloy Composites Fabricated by Vortex Method”, Composites: Part A, 37: 457-464 (2006)

[9] Sahin, Y., “Abrasive Wear Behaviour of SiC/2024 Aluminium Composite”, Tribology International, 43: 939-943 (2010).

[10] Tang, F., Wu, X., Ge, S., Ye, J., Zhu, H., Hagiwara, M. and Schoenung, J.M., “Dry Sliding Friction and Wear Properties of B<sub>4</sub>C Particulate-Reinforced Al-5083 Matrix Composites”, Wear, 264: 555-561 (2008).

[11] Hasirci, H. and Gul, F., “B<sub>4</sub>C /Al Kompozitlerin Takviye Hacim Oranına Bağlı Olarak Abrasif Aşınma Davranışlarının İncelenmesi”, SDU International Technologic Science, 2 (1): 15-21 (2010).

[12] Hacıoğlu, T., Toptan, F., Dağlılar, S. and Kerti, I., “Al-B<sub>4</sub>C<sub>p</sub> Kompozitlerinin Toz metalurjisi Yöntemi ile Üretimi ve Karakterizasyonu” IV. Uluslararası Bor Sempozyumu, Eskişehir, 303-307, (2009)

**Geliş Tarihi:13.02.2014**

**Kabul Tarihi:29.05.2014**

