



POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



# Toz metal $Al7075/B_4C/Si_3N_4$ kompozit malzemelerin üretimi ve aşınma özelliklerinin incelenmesi

## *Production of powder metal $Al7075/B_4C/Si_3N_4$ composite materials and investigation of wear properties*

Yazar(lar) (Author(s)): Halil KARAKOÇ

ORCID: 0000-0002-2444-6037

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Karakoç H., “Toz metal  $Al7075/B_4C/Si_3N_4$  kompozit malzemelerin üretimi ve aşınma özelliklerinin incelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 23(4): 1141-1151, (2020).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.585813

# Toz Metal Al7075/B<sub>4</sub>C/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> Kompozit Malzemelerin Üretimi ve Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi

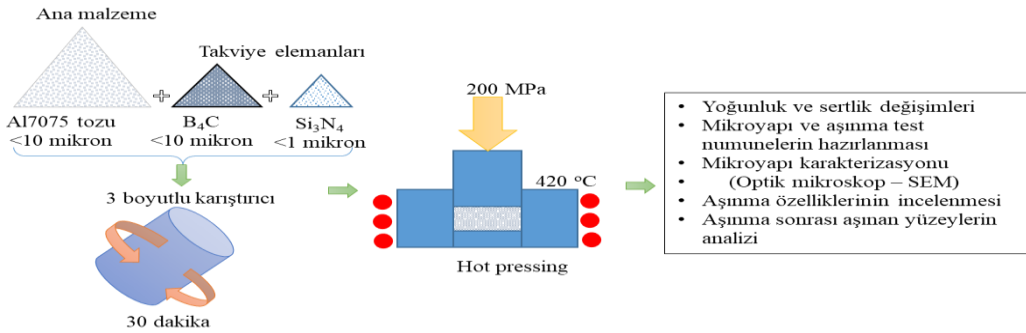
## Production of Powder Metal Al7075/B<sub>4</sub>C/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> Composite Materials and Investigation of Wear Properties

### Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Al7075/B<sub>4</sub>C aşınma özellikleri. / Al7075/B<sub>4</sub>C wear characteristics.
- ❖ Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> ilavesinin kompozitlerin aşınma özelliklerine etkisi. / The effect of Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> addition on the wear properties of composites.

### Grafik Özet (Graphical Abstract)

Al7075/B<sub>4</sub>C ve Al7075/B<sub>4</sub>C/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> kompozit malzemeleri toz metalurjisi yöntemi ile üretilerek mikroyapı ve aşınma özellikleri araştırılmıştır. / The microstructure and wear properties of Al7075/B<sub>4</sub>C and Al7075/B<sub>4</sub>C /Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> composite materials were produced by powder metallurgy method.



Şekil. Deneysel çalışmalardaki işlem sırası / Figure. Operation order in experimental studies

### Amaç (Aim)

Savunma sanayinde yaygın kullanımı olan Al7075 alaşımlarının B<sub>4</sub>C ve Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> parçacıkları ile takviye edilerek, otomotiv sanayinde aşınma dirençli malzemeler olarak kullanılabilirliği bu çalışmanın amacıdır. / The purpose of this study is that Al7075 alloys, which are widely used in the defense industry, can be reinforced with B<sub>4</sub>C and Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> particles and can be used as wear resistant materials in the automotive industry.

### Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Toz metal kompozit malzemeler sıcak presleme yöntemi ile üretilmişlerdir. / Powder metal composite materials are produced by hot pressing method.

### Özgünlük (Originality)

Bu çalışmada yeni nesil hibrid kompozit malzemeler doğrudan sıcak presleme yöntemi ile üretilmişlerdir/ In this study, new generation hybrid composite materials were produced directly by hot pressing method.

### Bulgular (Findings)

Ağırlıkça B<sub>4</sub>C ve Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> ilavesine bağlı olarak aşınma miktarlarında düşüş meydana gelmiştir. En düşük ağırlıkça kayıplar Al7075/%15B<sub>4</sub>C/%2Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> malzemesindedir. / The highest weight losses occurred in Al7075 alloy. Due to the weight addition of B<sub>4</sub>C and Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, there was a decrease in the amount of wear. The lowest weight losses are in Al7075/15 %B<sub>4</sub>C/2%Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> material.

### Sonuç (Conclusion)

En düşük sertlik Al7075 alaşımında (36,8 HB) görülürken en yüksek sertlik ise Al7075/%15B<sub>4</sub>C/%2Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> kompozit malzemesinde (110 HB) görülmüştür. En yüksek sürtünme katsayı değeri takviyesiz olan Al7075 alaşımında gerçekleşmiştir. / While the lowest hardness was observed in Al7075 alloy (36.8 HB), the highest hardness was observed in Al7075 / 15% B<sub>4</sub>C / 2% Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> composite material (110 HB). The highest friction coefficient value was realized in Al7075 alloy, which is without reinforcement.

### Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

# Toz Metal Al7075/B<sub>4</sub>C/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> Kompozit Malzemelerin Üretimi ve Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi

*Araştırma Makalesi / Research Article*

**Halil KARAKOÇ\***

Hacettepe ASO 1.OSB Meslek Yüksek Okulu, Makine Bölümü, Hacettepe Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 02.07.2019 ; Kabul/Accepted : 13.11.2019)

## ÖZ

Bu çalışmada, bir alüminyum alaşımı olan saf Al7075 ile Al7075/B<sub>4</sub>C ve Al7075/B<sub>4</sub>C/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> kompozit malzemeleri toz metalurjisi yöntemi ile üretilmiştir. Üretilen kompozitlerde ön alaşımlı Al7075 tozları kompozit matrisini oluştururken, B<sub>4</sub>C ve Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> seramik parçacıkları takviye elemanı olarak kullanılmıştır. Ağırlıkça karışım oranları belirlenen tozlar 3 boyutlu karıştırıcıda 15 dakika boyunca karıştırılmıştır. Karışım tozlar önceden ısıtılan sıcak presleme kalıbında 450 °C sıcaklıkta 30 dakika boyunca tek yönlü olarak preslenmiştir. Presleme sonrası 90x40x12 mm<sup>3</sup> ebatlarında kompozitler elde edilmiştir. Kompozit malzemeler tel erezyon tezgahında kesilmiş ve CNC torna tezgahında işlenerek aşınma numuneleri üretilmiştir. Yapılan çalışmalarla üretilen kompozit malzemelerin yoğunluk, gözeneklilik, sertlik, mikroyapı ve aşınma özellikleri incelenmiştir. Saf Al7075 alaşımının yoğunluğu kompozit malzemelere göre daha yüksek çıkmıştır. B<sub>4</sub>C ve Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> oranlarının artması ile kompozitlerde gözenek miktarları artmıştır. %5 ve %10 B<sub>4</sub>C takviyeli kompozit malzemelerde parçacıklar mikroyapıda homojen dağılmıştır. En yüksek sertlik değeri Al7075/%15B<sub>4</sub>C/%2Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> kompozit malzemesinde (110 HB) elde edilmiştir. En yüksek sürtünme katsayı değerleri ise saf Al7075 alaşımlarında belirlenmiştir. Numunelerin sertlik değerlerindeki artış ile sürtünme katsayısı değerleri düşmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Al7075, B<sub>4</sub>C, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, mikroyapı, aşınma.

## Production of Powder Metal Al7075/B<sub>4</sub>C/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> Composite Materials and Investigation of Wear Properties

### ABSTRACT

In this study, Al7075 alloy, Al7075/B<sub>4</sub>C composite material and Al7075/B<sub>4</sub>C/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> composite materials were produced by powder metallurgy method. Prealloyed Al7075 powders were used as matrix material to produce composites. The powders whose mixing ratios were determined by weight were mixed in the 3D mixer for 15 minutes. The mixture powders were pre-heated in a preheated hot stamping mold at 450 °C for 30 minutes. 90x40x12 mm<sup>3</sup> composites were obtained after pressing. Composite materials were cut at wire EDM (Electrical discharge machine) and CNC lathes were processed to produce wear samples. Density, porosity, hardness, microstructure and abrasion properties of composite materials produced by the studies were investigated. The density of Al7075 alloy was higher than the composites. Pore amount increased with increasing B<sub>4</sub>C and Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> ratio. In 5% and 10% B<sub>4</sub>C reinforced composite materials, the particles were homogeneously distributed in microstructure. The highest hardness was observed in Al7075/15% B<sub>4</sub>C/2%Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> composite material (110 HB). The highest coefficients of friction were found in the Al7075 alloy, which was not reinforced.

**Keywords:** Al7075, B<sub>4</sub>C, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, microstructure, wear.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kompozit malzemeler farklı fiziksel veya kimyasal özelliklere sahip iki veya daha fazla bileşenin mikro, mezo veya makro ölçekte bir araya gelmesi ile oluşurlar [1,2]. Kompozit malzemelerin pek çok sınıflandırılması olmakla beraber matris malzemesine göre (i) metal matrisli kompozit malzemeler, (ii) polimer matrisli kompozit malzemeler ve (iii) seramik matrisli kompozit malzemeler olarak üç ana grupta incelenirler [1,2]. Bu gruplar içerisinde yer alan metal matrisli kompozit malzemeler (MMKM) farklı türde takviye elemanları ile güçlendirilirler [3]. Seramik parçacıklar ile takviye edilmiş MMKM'ler yüksek dayanım, aşınma direnci,

yüksek sertlik ve hafif olmaları gibi üstün özelliklerinden dolayı otomotiv sanayi, havacılık ve savunma sanayinde tercih edilmektedirler [4,5]. MMKM'lerde matris malzemesi olarak Al, Ti ve Mg kullanılmaktadır [6,7,8]. Bu matris malzemeleri içerisinde alüminyumun (Al) hafif olması, iyi korozyon direnci ve kolay şekil alması avantaj oluşturmaktadır [9]. Alüminyumun matris malzemesi olarak kullanılmasından dolayı bu malzemelere alüminyum matrisli kompozit malzemeler (AMKM) denilmektedir [10]. Son zamanlarda farklı türde alüminyum alaşımları kullanılarak kompozit malzemeler üretilmektedir. Bu alaşımlar içerisinde Al7075 alaşımları yüksek tokluğa ve çekme dayanımına sahip olmalarından dolayı havacılık ve otomotiv sanayinde kullanılmaktadır [11]. AMKM'lerde takviye elemanı olarak B<sub>4</sub>C, SiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> ve MgO gibi

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta : halil.karakoc@hacettepe.edu.tr

seramik parçacıklar kullanılmaktadır [12,13,14]. B<sub>4</sub>C, hafiflik, iyi termal ve kimyasal karalılık gibi özelliklerinden dolayı oldukça ilgi çekmektedir [15]. Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> ise yüksek kimyasal ve termal stabilite, yüksek sertlik, mükemmel korozyon, aşınma ve sürünme direnci sergilemektedir [16].

Son yıllarda takviye elemanı olarak birbirinden farklı seramik parçacıkların bir araya getirilmeleriyle hibrid kompozit malzemeler üretilmektedirler [17]. Bu hibrid kompozit malzemeler farklı mekanik özellikler sergileyebilmektedirler [18]. Bu nedenle son zamanlarda alüminyum hibrid kompozit malzemeler (AHKM) üzerine çalışmalar yoğunlaşmaktadır [19]. Gökmen, [20] yaptığı çalışmada ön alaşımsı Al2024 tozuna farklı seramik parçacıklar ilave ederek hibrid kompozitler üretmiştir. Üretilen kompozit malzemelerin takviye elemanına bağlı olarak farklı mekanik özellikler sergilediğini bildirmiştir.

Yıldırım ve Özyürek [21], Al7075 alaşımına %4 Ti ve farklı oranlarda (%3-6-9) B<sub>4</sub>C ilavesi yaparak hibrid kompozit malzemeler üretmişlerdir. Üretim yöntemi olarak toz metalurjisi tekniğini kullanan yazarlar kompozitlerin yoğunluk, sertlik ve aşınma özelliklerini karakterize etmişlerdir. Yazarlar ağırlıkça %B<sub>4</sub>C oranının artması ile beraber yoğunlukta düşüş, sertlikte ve ağırlık kaybında artışın meydana geldiğini belirtmişlerdir.

Kumar ve Dhiman [22], Al 7075 matrisli ağırlıkça % 7 SiC ve % 3 grafit parçacık takviyeli hibrid kompozit malzemeler üreterek kuru kayma şartlarında disk üzerinde pim tipi aşınma test cihazı üzerinde aşınma testleri yapmışlardır. Farklı bir çalışmada ise Çinici ve ark. [23], Al7075 matrisli B<sub>4</sub>C parçacık ilaveli fonksiyonel derecelendirilmiş kompozit malzemeler üreterek çapraz kırılma dayanımlarını incelemişlerdir. Ambıgı ve Prabhu [24], Al-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> nano kompozit ve Al-Gr-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> hibrid kompozit malzemeler üreterek aşınma özelliklerini optimize etmişlerdir. Yazarlar Al-Gr-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> kompozitler ile Al-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> nano kompozit malzemeleri kıyasladıklarında, 1 km kayma mesafesinde Al-Gr-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> kompozitlerin aşınma oranlarının %25 oranında daha az olduğunu belirtmişlerdir.

Hasırcı ve Gül [25], otomotiv sanayinde kullanılabilir B<sub>4</sub>C parçacık takviyeli Al matrisli kompozit malzemeler üretmişler ve kuru aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Yazarlar, % 10 B<sub>4</sub>C parçacık takviyeli kompozit malzemelerin en iyi aşınma direncine sahip olduklarını belirtmişlerdir.

Yapılan bu makale çalışmasında ticari Al7075 alaşımları B<sub>4</sub>C parçacıklar ile güçlendirilerek aşınma özellikleri iyileştirilmiştir. Ayrıca Al7075/B<sub>4</sub>C kompozit malzemelerinin içerisine Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> parçacıklar ilave edilerek hibrid kompozit malzemeler üretilmiştir. Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> ilavesinin kompozitlerin aşınma özelliklerine etkisinin olup olmadığı araştırılmıştır. Özellikle savunma sanayinde yaygın kullanımı olan Al7075 alaşımlarının B<sub>4</sub>C ve Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> parçacıkları ile takviye edilerek, otomotiv sanayinde aşınma dirençli malzemeler olarak

kullanılabilirliği bu çalışmanın amaçlarından bir tanesidir. Bu çalışma ile hafif, korozyona karşı dirençli ve aşınma özellikleri iyileştirilmiş kompozit malzemeler üretilmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

Kompozit malzemelerin üretilmesinde matris malzemesi olarak Al7075 alaşım tozları, takviye elemanı olarak ise B<sub>4</sub>C ve Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> seramik tozları kullanılmıştır. Kullanılan tozların fiziksel özellikleri Çizelge 1’de, Al7075 alaşımının kimyasal bileşimi ise Çizelge 2’de verilmiştir.

**Çizelge 1.** Tozların fiziksel özellikleri (Physical properties of powders)

Kullanılan tozlar	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Ortalama toz tane boyutu (µm)
Al7075	2,8	<100
B <sub>4</sub> C	2,52	<10
Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	3.2	<1

**Çizelge 2.** Al7075 alaşımının kimyasal kompozisyonu (Chemical composition of Al7075 alloy)

Element	Ağırlıkça %
Fe	0,03
Cr	0,17
Si	0,26
Mn	0,27
Cu	1,56
Mg	2,3
Zn	6,0
Al	Kalan

Kompozit malzemelerin üretilmesinde ilk olarak karışım oranları belirlenmiştir. Karışım oranlarının belirlenmesinde literatüre göre en uygun ağırlıkça % oranlar baz alınmıştır [26,27]. Üretimi planlanan kompozitlerin toz karışım oranları Çizelge 3’de verilmiştir. Çalışmada üç farklı malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir. İlk olarak takviyesiz Al7075 alaşımları üretilmiştir. Daha sonra sırası ile Al7075/B<sub>4</sub>C kompozit malzemeler ve Al7075/B<sub>4</sub>C/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> hibrid kompozit malzemeler üretilmiştir. Precisa marka hassas terazi yardımı ile tartılan tozlar, plastik bir kap içerisine konularak 3 boyutlu Turbula marka karıştırıcı yardımı ile 30 dakika karıştırılmışlardır. 40x90 mm<sup>2</sup> kesit alanına sahip sıcak presleme kalıbına yerleştirilen karışım tozlar 420 °C sıcaklıkta 30 dakika bekletildikten sonra 200 MPa basınç altında preslenmişlerdir. Sıcak preslenen toz metal blok numuneler oda sıcaklığına kadar bekletildikten sonra kalıp içerisinden çıkartılmışlardır. 40x90x12 mm<sup>3</sup> hacmine sahip kompozit blok numuneler tel erezyon tezgahında kesilmiş, CNC torna tezgahında işlenmiş ve aşınma numuneleri (tam çap 10 mm, boy 15 mm) haline getirilmişlerdir. Ayrıca mikroyapı uygulamaları içinde 10x10x15 mm ebatlarında numuneler çıkartılmıştır.

**Çizelge 3.** Kompozitlerin üretiminde kullanılan tozların ağırlık karışım oranları (Weight mixing ratios of powders used in the production of composites)

Mlz. no	Toz malzemeler (ağırlıkça %)		
	Al7075	B <sub>4</sub> C	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>
1	100	---	---
2	100	---	---
3	95	5	---
4	90	10	---
5	85	15	---
6	93	5	2
7	88	10	2
8	83	15	2

Kompozit malzemelerin mikroyapılarının karakterize edilmesinde numunelerin yüzeyleri sırası ile 400, 600, 800, 1000 ve 1200 mesh zımpara ile zımparalanmıştır. Zımparalama sonrası 3 ve 1 mikron keçeler ile partlatılmıştır. Son olarak ise Keller dağılayıcı kullanılarak dağlanmıştır. Numunelerin optik mikroyapı incelemeleri Leica DM4000M marka optik mikroskopta yapılmıştır. Aşınan yüzeylerin incelenmesinde ise JEOL JSM 6060LV marka taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. Al matris yapı içerisinde dağılım sergileyen takviye elemanı parçacık tayininde ise yine SEM cihazında EDS analizleri yapılmıştır. Kompozit malzemelerin sertliklerinin belirlenmesinde EmcoTest marka Duravision 200 model sertlik ölçüm cihazı kullanılmıştır. Numune sertlikleri ASTM E-10 standardına göre Brinell sertlik türünde ölçülmüştür (2,5 mm bilye çapı, 31,25 kgf yük). Altı farklı bölgeden alınan sertlik değerlerinin ortalaması hesaplanarak kompozit malzemelerin sertlikleri belirlenmiştir.

Kompozit malzemelerin deneysel yoğunluk ölçümleri arşiment prensibine (Eşitlik 1) göre Precisa marka hassas yoğunluk ölçme kitinde yapılmıştır. Kompozit malzemelerin teorik yoğunlukları ise karışım kuralına göre belirlenmiştir (Eşitlik 2). Kompozitlerin gözenek oranı ise deneysel ve teorik yoğunluktan elde edilmiştir (Eşitlik 3) [28,29].

$$p = \frac{(M_{Al7075} + M_{B_4C} + M_{Si_3N_4})}{(V_{Al7075} + V_{B_4C} + V_{Si_3N_4})} \quad (1)$$

p: Yoğunluk, M: Kütle, V: Hacim

$$P_{kar} = [(\%W)_1 \times P_1] + [(\%W)_2 \times P_2] + \dots + [(\%W)_n \times P_n] \quad (2)$$

P<sub>kar</sub> : Toz karışımın teorik yoğunluğu

(%W)<sub>n</sub> : Her bir bileşenin karışım içindeki ağırlık yüzdesi

p<sub>n</sub> : Her bir bileşenin yoğunluğu

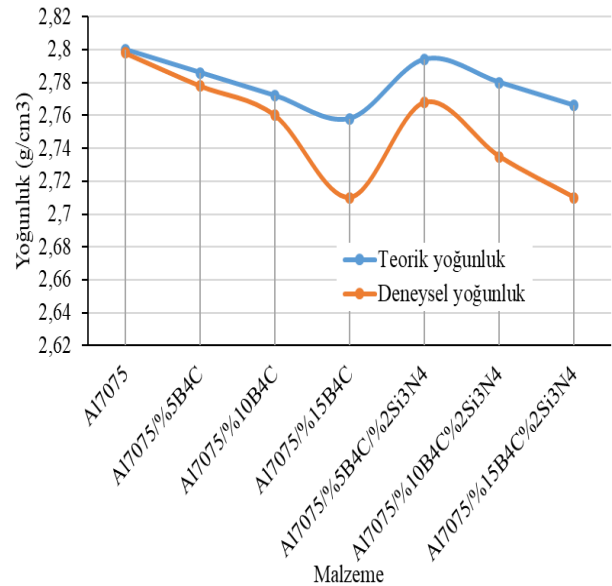
$$\% \theta = \left( 1 - \frac{p_{deneysel}}{p_{teorik}} \right) \times 100 \quad (3)$$

θ: Gözenek oranı

Üretilen malzemelerin aşınma testleri ASTM G99-05 standardına göre pin-on-disk tipi aşınma cihazında yapılmıştır [30,31]. Aşınma testleri 1,08 m/sn kayma hızında, 200 ve 400 m mesafede, farklı yüklerde (5-10-15N) ve 400'lük zımpara üzerinde gerçekleştirilmiştir.

### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

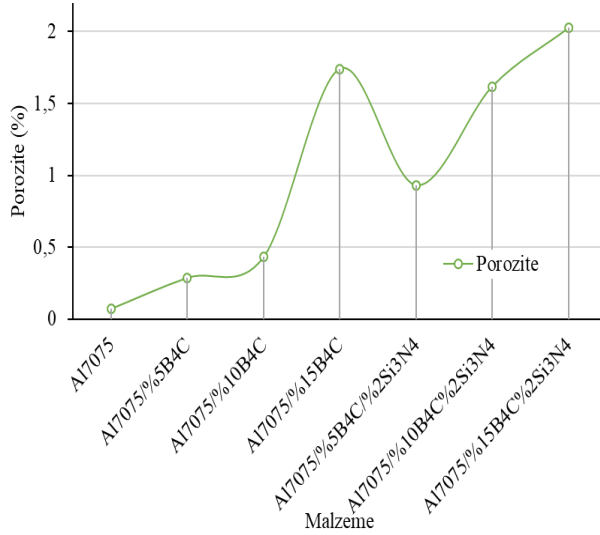
Üretilen malzemelerin içeriğine bağlı olarak teorik yoğunlukları, deneysel yoğunlukları ve porozite oranları hesaplanmıştır (Şekil 1 ve Şekil 2). Malzemelerin teorik ve deneysel yoğunlukları kıyaslandığında en yüksek yoğunluk değeri takviyesiz olan Al7075 alaşımında (2,798 g/cm<sup>3</sup>) meydana gelmiştir. En düşük yoğunluk ise Al7075/%15B<sub>4</sub>C/%2Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> kompozit malzemesinde (2,710 g/cm<sup>3</sup>) oluşmuştur. Kompozit malzemelerde ağırlıkça B<sub>4</sub>C oranının artması ile deneysel yoğunluklarda azalmalar meydana gelmiştir. Bu sonuç literatür ile uyumluluk göstermektedir [32]. Tayebi ve ark. [33] Sıcak presleme yöntemi ile ağırlıkça farklı oranlarda B<sub>4</sub>C içeren Al-B<sub>4</sub>C kompozit malzemeler üretmişlerdir. Yazarlar B<sub>4</sub>C oranının artması ile beraber yoğunluğun azaldığını gözenekliliğin azaldığını tespit etmişlerdir. Özellikle sıkıştırma anında sert kırılğan olan B<sub>4</sub>C parçacıklarının kompozitin yoğunlaşmasına olumsuz etki ettiği düşünülmektedir. Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> ilaveli ve ilavesiz kompozit malzemeler birbiri ile kıyaslandığında, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> ilaveli kompozitlerin yoğunluklarının ilavesizlere göre düşük olduğu anlaşılmıştır.



**Şekil 1.** Malzemelerin teorik ve deneysel yoğunluklarının değişimi (Variation of theoretical and experimental densities of materials)

Kompozit malzemelerin deneysel ve teorik yoğunluklarından elde edilen porozite oranları Şekil 2'de verilmiştir. En düşük porozite oranı Al7075 alaşımında, en yüksek porozite oranı ise Al7075/%15 B<sub>4</sub>C/%2Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> kompozit malzemesindedir. Artan B<sub>4</sub>C miktarı ile porozite oranı artarken, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> partiküllerinin ilavesi porozite oranının artmasına katkı sağlamıştır.



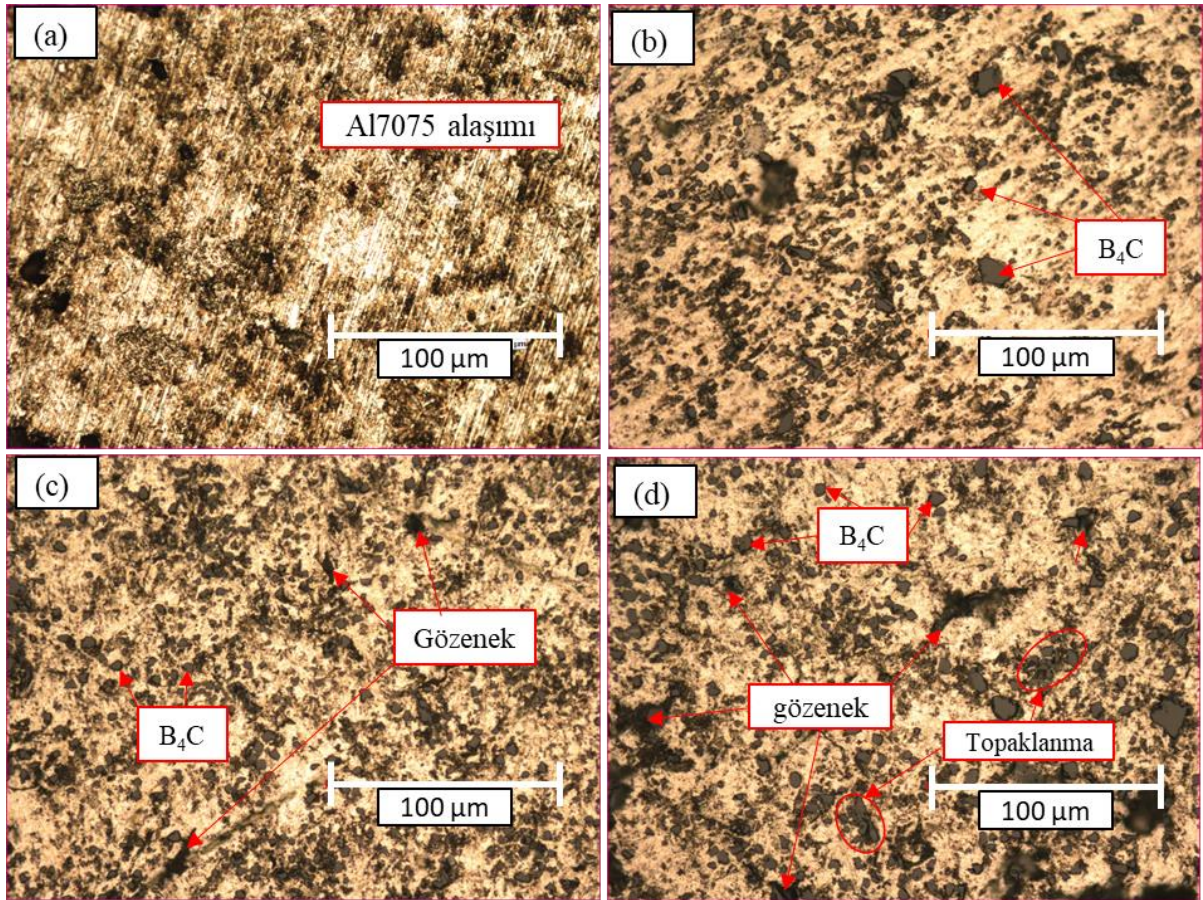


Şekil 2. Malzemelerin porozite miktarlarının değişimi (Variation of porosity amounts of materials)

Şekil 3 ve Şekil 4'de üretilen malzemelerin optik mikroskopta görüntülenen mikroyapı resimleri verilmiştir. Mikroyapılara bakıldığında %5 ve %10 B<sub>4</sub>C takviye ilavesinin Al7075 içerisinde homojen dağıldığı görülmüştür. %15 B<sub>4</sub>C ilavesi ile kısmen topaklanmaların oluştuğu görülmüştür. AMKM'lerde

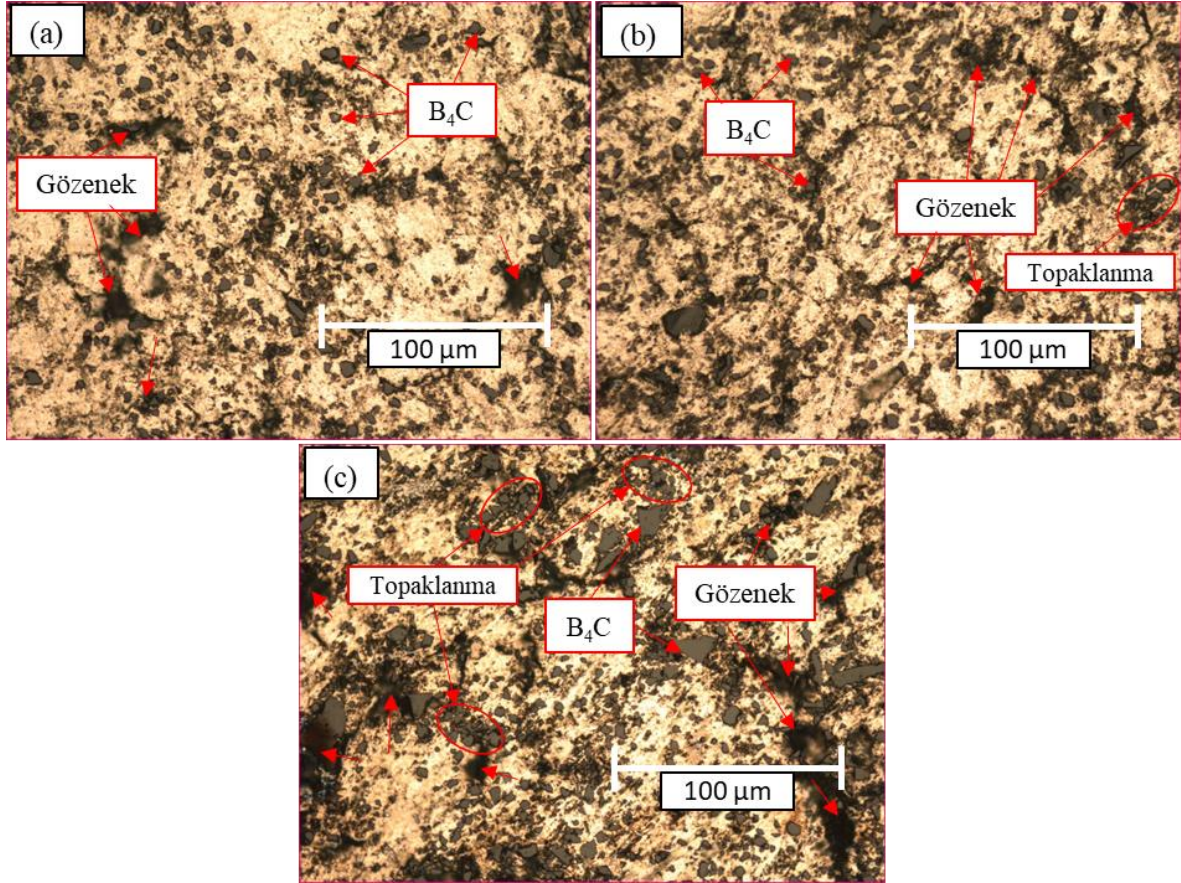
takviye elemanının ağırlıkça yüzde miktarının artması ile topaklanmaların meydana geldiği bilinmektedir [34,35]. B<sub>4</sub>C ilavesinin artması ile mikroyapıda mikro gözeneklerin oluştuğu görülmüştür. AMKM'lerde takviye elemanı parçacık boyutunun azalması ile topaklanmalar olabilmektedir [36]. Bu nedenle çalışmada kullanılan 1 mikron altı Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> parçacıkları topaklanmalar meydana getirmiştir.

Alüminyum matrisli seramik parçacık takviyeli kompozit malzemelerde takviye miktarının artması ile sertliğin arttığı bilinmektedir [37]. Şekil 5'de verilen sertlik grafiği incelendiğinde, özellikle seramik parçacık ilaveli ve ilavesiz al alaşımını kıyasladığımızda, seramik ilaveli alaşımın sertliği artmaktadır. Bu durum sert kırılğan fazda olan seramik parçacıklarının dağılım mukavemetlenmesi yaparak malzemenin sertliğini artırmasından kaynaklanmaktadır. Yapılan bu çalışmada da B<sub>4</sub>C ilavesinin artması ile sertliğinde önemli derecede arttığı görülmüştür. En düşük sertlik Al7075 alaşımında (36,8 HB) görülürken en yüksek sertlik ise Al7075/%15B<sub>4</sub>C/%2Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> kompozit malzemesinde (110 HB) ölçülmüştür. Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> ilaveli ve ilavesiz kompozit malzemeler birbirleri ile kıyaslandığında Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> ilaveli olanların sertlik değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 5).

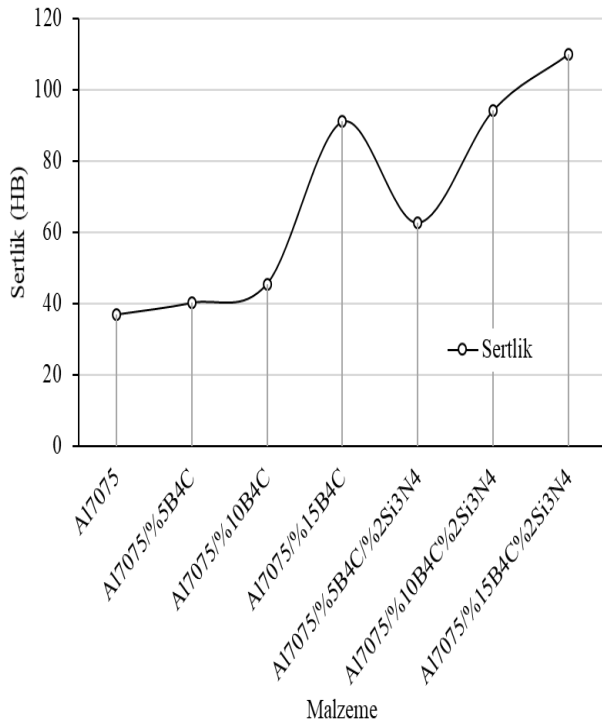


Şekil 3. Malzemelerin optik mikroskop resimleri (Optical microscope pictures of materials) (a) Al7075 alaşımı, (b) Al7075/%5B<sub>4</sub>C, (c) Al7075/%10B<sub>4</sub>C, (d) Al7075/%15B<sub>4</sub>C.





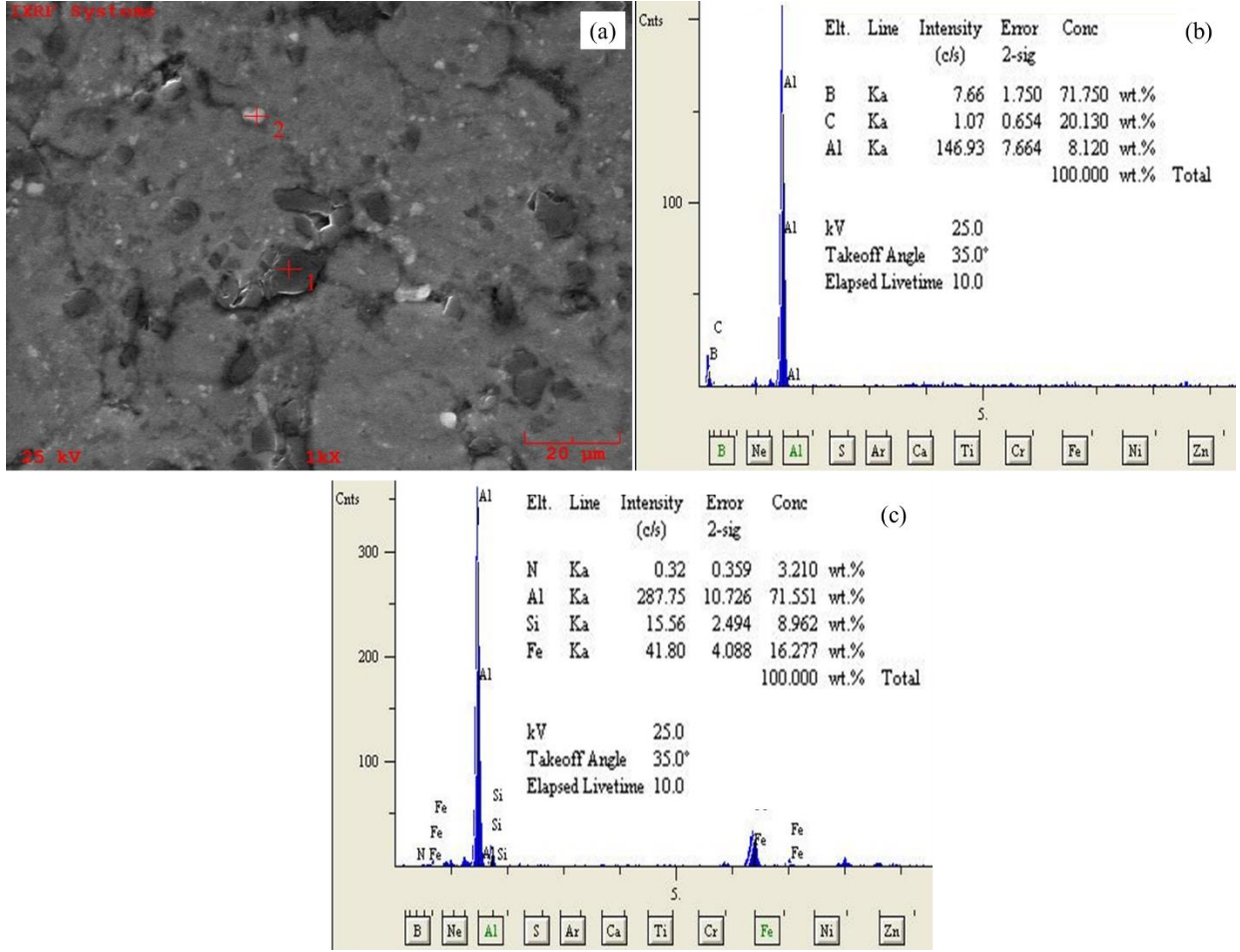
Şekil 4. Malzemelerin optik mikroskop resimleri (Optical microscope pictures of materials) (a) Al7075/5B<sub>4</sub>C/2Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, (b) Al7075/10B<sub>4</sub>C/2Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, (c) Al7075/15B<sub>4</sub>C/2Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>



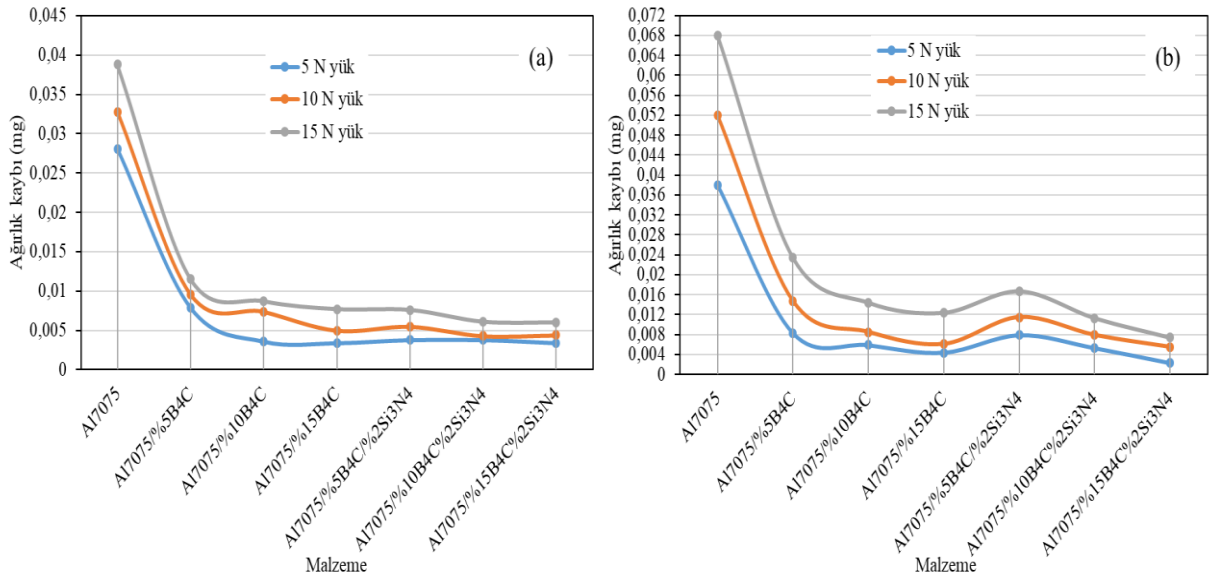
Şekil 5. Malzemelerin sertlik miktarlarının değişimi (Variation of hardness of materials)

Şekil 6'da Al7075/10B<sub>4</sub>C/2Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> kompozit malzemesinin SEM resmi ve EDS sonuçları verilmiştir. SEM resmine ve EDS sonuçlarına bakıldığında koyu gri paçaların B<sub>4</sub>C olduğu beyaz renkte olanların ise Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> olduğu anlaşılmaktadır. SEM resminde B<sub>4</sub>C partiküllerinin etrafında boşlukların olduğu görülmektedir. Oluşan bu boşluklar Al7075 matris alaşımı ile B<sub>4</sub>C parçacıklarının iyi bir arayüzey oluşturmamasından kaynaklanmaktadır. Literatürde B<sub>4</sub>C partikülleri ile alüminyum arayüzeyinde ıslatma problemi olduğu belirtilmektedir [38].

Şekil 7'de malzemelere ait ağırlık kayıpları verilmiştir. Her iki grafik birbiri ile örtüşen sonuçlar vermektedir. En yüksek ağırlıkça kayıplar Al7075 alaşımında meydana gelmiştir. Ağırlıkça B<sub>4</sub>C ve Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> ilavesine bağlı olarak aşınma miktarlarında düşüş meydana gelmiştir. En düşük ağırlıkça kayıplar Al7075/15B<sub>4</sub>C/2Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> malzemesindedir. Grafiklerden 400 metre mesafede yapılan aşınma testinde Al7075/15B<sub>4</sub>C kompozit malzemesinin ağırlık kaybının Al7075/5B<sub>4</sub>C/2Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> hibrid kompozit malzemesinden daha az olduğu ve 200 metreye göre bu farkın açıldığı anlaşılmıştır.



Şekil 6. Al7075/%10B<sub>4</sub>C/%2Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> kompozit malzemesinin (a) SEM resmi, (b) 1. noktanın, (c) 2. noktanın EDS sonuçları ((A) SEM picture of Al7075/%10B<sub>4</sub>C/2%Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> composite material, (b) EDS results of point 1, (c) point 2.)



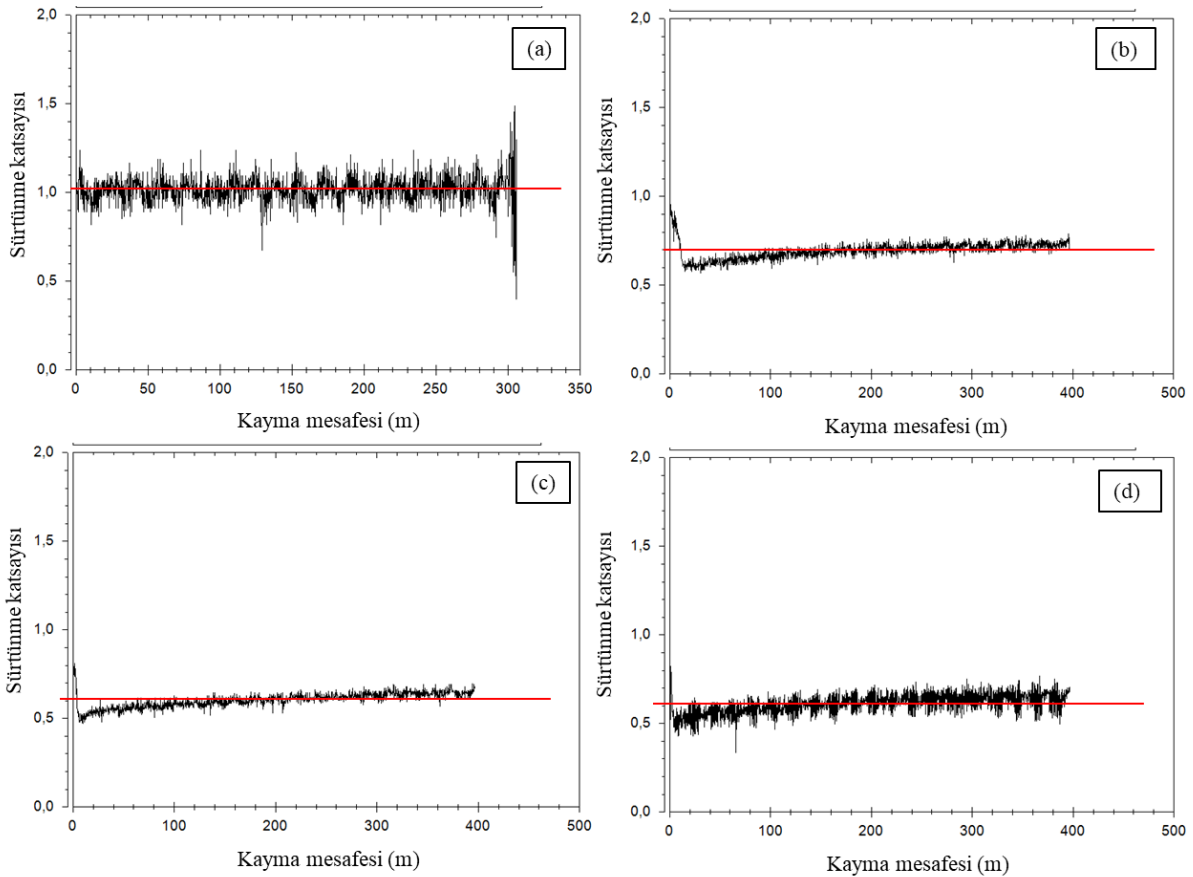
Şekil 7. Aşınma test sonrası malzemelerde meydana gelen aşınma kayıpları (a) 200 metre mesafe, (b) 400 metre mesafe (Abrasion losses of materials after abrasion test (a) 200 meters distance, (b) 400 meters distance)



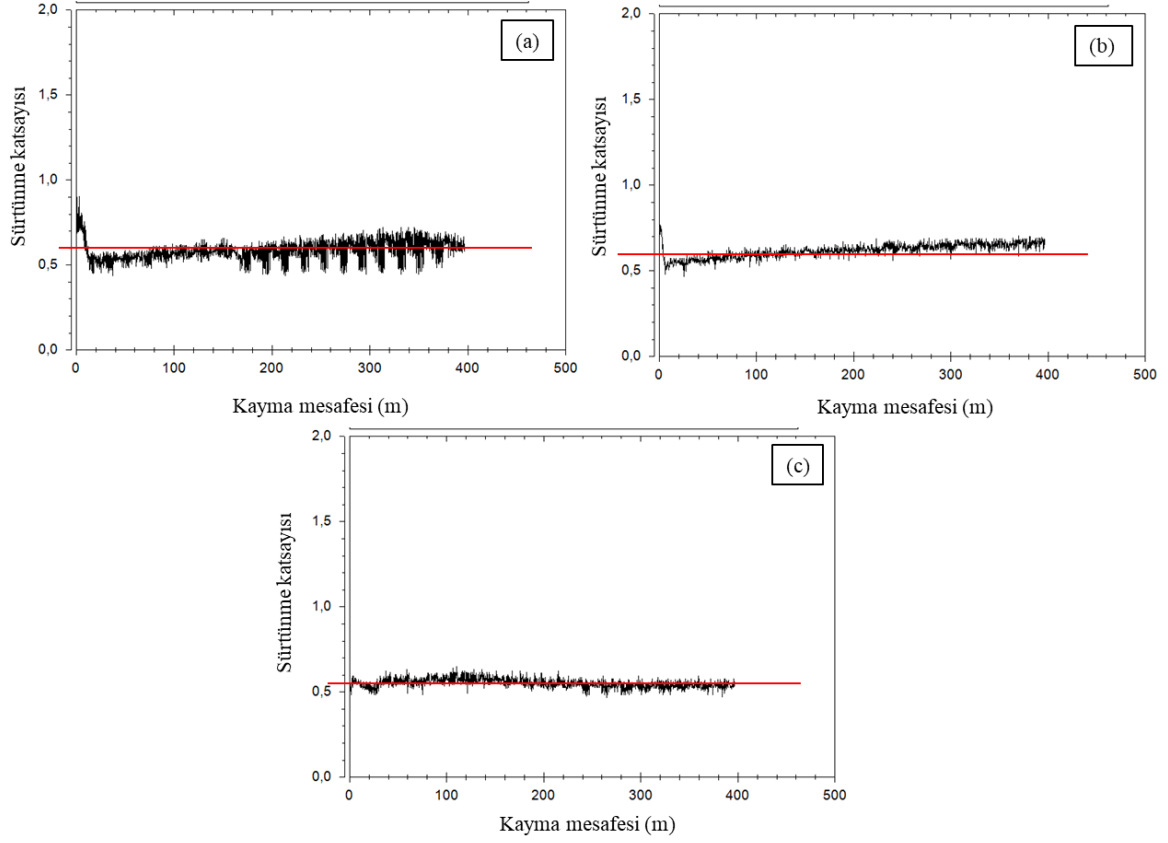
Aşınma testleri sonrası elde edilen sürtünme katsayı değerleri Şekil 8 ve Şekil 9'da verilmiştir. En yüksek sürtünme katsayı değeri saf Al7075 alaşımında gerçekleşmiştir. Kompozit malzemelere bakıldığında ise B<sub>4</sub>C oranının artmasına bağlı olarak sürtünme katsayılarında azalma olduğu gözlenmiştir. Benzer bir çalışmada takviyesiz Al alaşımının sürtünme katsayısı takviyeli kompozitlere göre daha yüksek çıkarken, takviye elemanının artan ağırlık yüzdesiyle sürtünme katsayısının azaldığı görülmüştür [39]. Arık [40], Al alaşımı ve Al-SiC kompozit malzemesinin sürtünme katsayısının kıyaslamış ve Al-SiC kompozit malzemesinin sürtünme katsayısının daha düşük olduğunu belirtmiştir. Üretilen malzemelerde sertliğe bağlı olarak sürtünme katsayılarının değiştiği görülmektedir. Al alaşımlarının sertliğinin artması ile beraber sürtünme katsayılarının azaldığı literatürde belirtilmiştir [41]. Aşırı sert ve kırılğan yapıda olan B<sub>4</sub>C parçacıklarının yağlayıcı özelliğinden ve aşınmaya karşı olan mukavemetinden dolayı sürtünme katsayısı değerini düşürdüğü düşünülmektedir. Mikron boyutta ilave edilen Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> takviyesinin de sürtünme katsayısı değerini düşürdüğü düşünülmektedir. En düşük sürtünme katsayısı değeri

Al7075/%15B<sub>4</sub>C/%2Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> kompozit malzemesinde çıkmıştır.

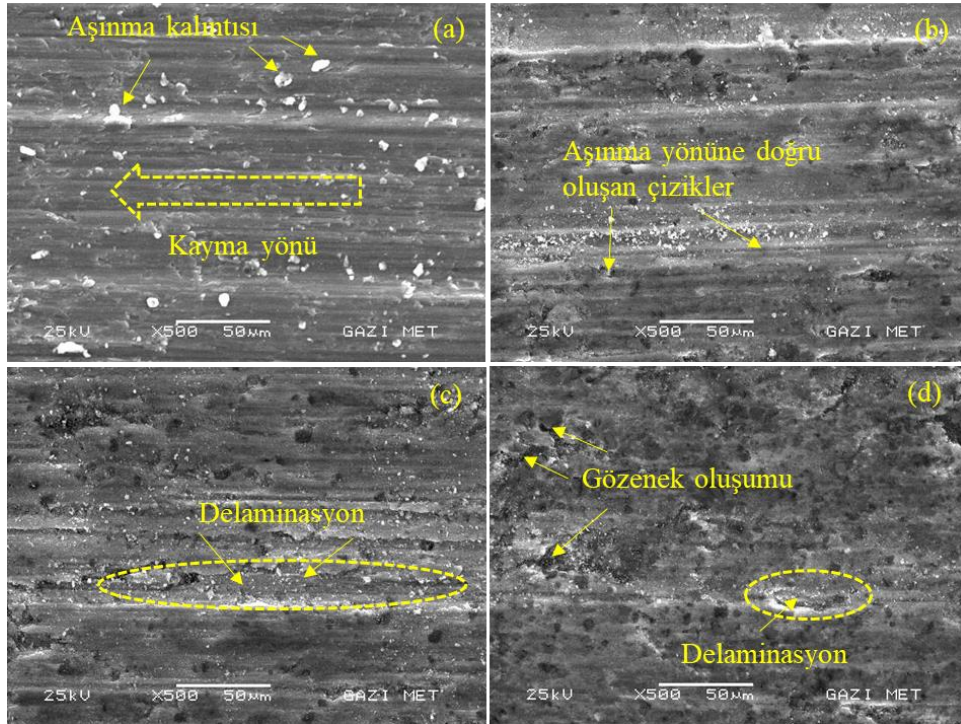
Şekil 10 ve Şekil 11'de aşınma test yüzeylerinin SEM görüntüleri verilmiştir. SEM resimleri incelendiğinde aşınan yüzeylerde derin çiziklerin ve yırtılmaların meydana geldiği görülmektedir. Hasırcı ve Gül [25], Al-B<sub>4</sub>C kompozitlerin takviye hacim oranına bağlı abrasif aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Yazalar, takviye elemanının artması ile topaklanmaların meydana geldiğini ve bu nedenle matrisin takviye elemanını tamamen çevreleyemediğini belirtmişlerdir. Matris ile takviye elemanları arasındaki bu boşluk aşınma testi esnasında takviye elemanının matristen kolaylıkla çıkmasına neden olmaktadır. Matristen kopan sert takviye elemanları yüzeyde çizik ve büyük oyuklaşmalara neden olmaktadır [25]. Artan B<sub>4</sub>C ilavesine bağlı olarak aşınan yüzeyde gözeneklerin meydana geldiği görülmüştür. Bu durum aşınma yüzeyinde alüminyum matris içerisinde B<sub>4</sub>C parçacıklarının ayrılmasından kaynaklanmaktadır. Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> ilaveli kompozitlerde ise derin çiziklerin ve yırtılmaların olduğu görülmektedir.



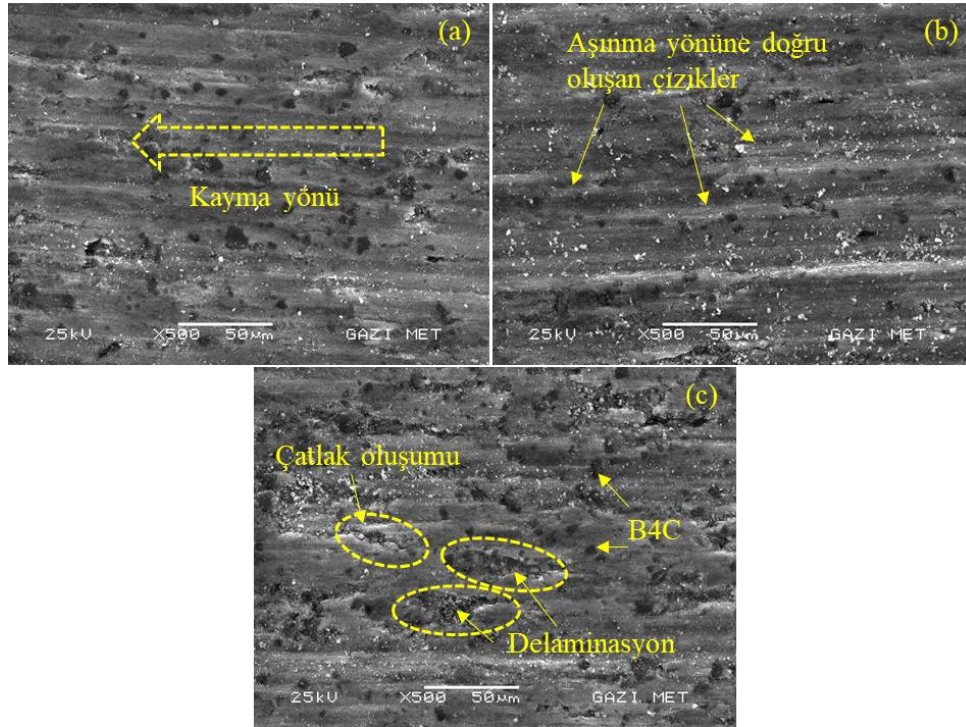
**Şekil 8.** Malzemelerin sürtünme katsayıları değişimi (a) Al7075 alaşımı, (b) Al7075/%5B<sub>4</sub>C, (c) Al7075/%10B<sub>4</sub>C, (d) Al7075/%15B<sub>4</sub>C (Change of friction coefficients of materials (a) Al7075 alloy, (b) Al7075/%5B<sub>4</sub>C, (c) Al7075/%10B<sub>4</sub>C, (d) Al7075/%15B<sub>4</sub>C)



**Şekil 9.** Malzemelerin sürtünme katsayıları değişimi (a)Al7075/%5B<sub>4</sub>C/%2Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, (b)Al7075/%10B<sub>4</sub>C/%2Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, (c) Al7075/%15B<sub>4</sub>C/%2Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> (Friction coefficients change of materials (a) Al7075/%5B<sub>4</sub>C/%2Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, (b) Al7075/%10B<sub>4</sub>C/%2Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, (c) Al7075/%15B<sub>4</sub>C/%2Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>)



**Şekil 10.** Aşınma yüzeylerinin SEM resmi (a) Al7075 alaşımı, (b) Al7075/%5B<sub>4</sub>C, (c) Al7075/%10B<sub>4</sub>C, (d) Al7075/%15B<sub>4</sub>C (SEM image of wear surfaces (a) Al7075 alloy, (b) Al7075/%5B<sub>4</sub>C, (c) Al7075/%10B<sub>4</sub>C, (d) Al7075/%15B<sub>4</sub>C)



**Şekil 11.** Aşınma yüzeylerinin SEM resmi (a)Al7075/%5B<sub>4</sub>C/%2Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, (b)Al7075/%10B<sub>4</sub>C/%2Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, (c) Al7075/%15B<sub>4</sub>C/%2Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> (SEM image of the wear surfaces (a) Al7075/5B<sub>4</sub>C/2%Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, (b) Al7075/10B<sub>4</sub>C/2%Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, (c) Al7075/15B<sub>4</sub>C/2%Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>)

#### 4. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada sıcak presleme yöntemi ile Al7075 alaşımı, Al7075/B<sub>4</sub>C kompozit malzemesi ve Al7075/B<sub>4</sub>C/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> hibrid kompozit malzemesi üretilmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda;

- En yüksek yoğunluk değeri takviyesiz olan Al7075 alaşımında (2,798 g/cm<sup>3</sup>) meydana gelmiştir. En düşük yoğunluk ise Al7075/%15B<sub>4</sub>C/%2Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> kompozit malzemesinde (2,710 g/cm<sup>3</sup>) oluşmuştur.
- Kompozit malzemelerde ağırlıkça B<sub>4</sub>C oranının artması ile beraber deneysel yoğunluklarda azalmalar meydana gelmiştir.
- En düşük porozite oranı Al7075 alaşımında en yüksek porozite oranı ise Al7075/%15 B<sub>4</sub>C/%2Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> kompozit malzemesinde görülmüştür. B<sub>4</sub>C miktarının porozite oranını arttırdığı görülürken bu durum Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> takviyesinin artması ile artmıştır.
- Mikroyapılara bakıldığında %5 ve %10 B<sub>4</sub>C takviye ilavesinin Al7075 içerisinde homojen dağıldığı görülmüştür. %15 B<sub>4</sub>C ilavesi ile kısmen topaklanmaların oluştuğu görülmüştür. B<sub>4</sub>C ilavesi ile mikroyapıda mikro gözeneklerin oluştuğu görülmüştür. Malzemelerde Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> ilave olan ve olmayanları kıyasladığımızda Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> ilavesinin mikroyapıda topaklanmaları ve gözenekleri arttırdığı görülmüştür.

- En düşük sertlik Al7075 alaşımında (36,8 HB) görülürken en yüksek sertlik ise Al7075/%15B<sub>4</sub>C/%2Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> kompozit malzemesinde (110 HB) görülmüştür. Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> ilaveli ve ilavesiz kompozit malzemeleri birbiri ile kıyasladığımızda Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> ilaveli olanların sertlik değerlerinin daha yüksek olduğu anlaşılmıştır.
- En yüksek sürtünme katsayı değeri takviyesiz olan Al7075 alaşımında gerçekleşmiştir. Kompozit malzemelere bakıldığında ise B<sub>4</sub>C oranının artmasına bağlı olarak sürtünme katsayılarında azalma olduğu gözlemlenmiştir.
- Artan B<sub>4</sub>C ilavesine bağlı olarak aşınan yüzeyde gözeneklerin meydana geldiği görülmüştür. Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> ilaveli kompozitlerde ise derin çiziklerin ve yırtılmaların oluştuğu görülmektedir.

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Sağlamış olduğu laboratuvar imkanlarından dolayı Gazi üniversitesi Metalurji ve malzeme Bilimi Bölüm Başkanlığına teşekkür ederim. Mikroyapı resimlerinin çekiminde laboratuvar imkanlarından faydalanmış olduğum KOSGEB Ankara Sincan Müdürlüğüne teşekkür ederim.



## ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Chawla, K. K., “Composite materials: science and engineering”, *Springer Science & Business Media*, (2012).
- [2] Gay, D., “Composite materials: design and applications”, *CRC press*, (2014).
- [3] Chawla, K. K., “Metal matrix composites”, *Materials Science and Technology*, (2006).
- [4] Kaczmar, J. W., Pietrzak, K., & Włosiński, W., “The production and application of metal matrix composite materials”, *Journal of materials processing technology*, 106(1-3): 58-67, (2000).
- [5] Pol, N., Verma, G., Pandey, R. P., & Shanmugasundaram, T., “Fabrication of AA7005/TiB<sub>2</sub>-B<sub>4</sub>C surface composite by friction stir processing: Evaluation of ballistic behaviour”, *Defence Technology*, (2018).
- [6] Bodunrin, M. O., Alaneme, K. K., & Chown, L. H. “Aluminium matrix hybrid composites: a review of reinforcement philosophies; mechanical, corrosion and tribological characteristics”, *Journal of materials research and technology*, 4(4): 434-445, (2015).
- [7] Zhang, L. C., & Attar, H., “Selective laser melting of titanium alloys and titanium matrix composites for biomedical applications: a review”, *Advanced Engineering Materials*, 18(4): 463-475, (2016).
- [8] Yao, Y. T., Jiang, L., Fu, G. F., & Chen, L. Q., “Wear behavior and mechanism of B<sub>4</sub>C reinforced Mg-matrix composites fabricated by metal-assisted pressureless infiltration technique”, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 25(8): 2543-2548, (2015).
- [9] Mazzolani, F. M., (Ed.). “Aluminium structural design” (Vol. 443). *Springer*, (2014).
- [10] Torralba, J. D., Da Costa, C. E., & Velasco, F., “P/M aluminum matrix composites: an overview”, *Journal of Materials Processing Technology*, 133(1-2): 203-206, (2003).
- [11] Tajally, M., Huda, Z., & Masjuki, H. H., “A comparative analysis of tensile and impact-toughness behavior of cold-worked and annealed 7075 aluminum alloy”, *International Journal of Impact Engineering*, 37(4): 425-432, (2010).
- [12] Shorowordi, K. M., Laoui, T., Haseeb, A. S. M. A., Celis, J. P., & Froyen, L., “Microstructure and interface characteristics of B<sub>4</sub>C, SiC and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> reinforced Al matrix composites: a comparative study”, *Journal of Materials Processing Technology*, 142(3): 738-743, (2003).
- [13] Ma, Z. Y., Tjong, S. C., Li, Y. L., & Liang, Y., “High temperature creep behavior of nanometric Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> particulate reinforced aluminium composite”, *Materials Science and Engineering: A*, 225(1-2): 125-134, (1997).
- [14] Pul, M., Calin, R., & Gül, F., “Investigation of abrasion in Al-MgO metal matrix composites”, *Materials Research Bulletin*, 60: 634-639, (2014).
- [15] Toptan, F., Kumdalı, F., & Kerti, I., “Al-B<sub>4</sub>C kompozitlerinin fren diski olarak kullanılabilirliğine genel bir bakış”, *Metallurji*, 145: 11-18, (2006).
- [16] Gromov, A. A., & Chukhlomina, L. N. (Eds.), “Nitride Ceramics: Combustion Synthesis, Properties and Applications”, *John Wiley & Sons*, (2015).
- [17] Singh, J., & Chauhan, A., “Characterization of hybrid aluminum matrix composites for advanced applications—A review”, *Journal of Materials Research and Technology*, 5(2): 159-169, (2016).
- [18] Prasad, D. S., Shoba, C., & Ramanaiyah, N., “Investigations on mechanical properties of aluminum hybrid composites”, *Journal of Materials Research and Technology*, 3(1): 79-85, (2014).
- [19] Kaushik, N. C., & Rao, R. N., “Effect of applied load and grit size on wear coefficients of Al 6082–SiC–Gr hybrid composites under two body abrasion”, *Tribology International*, 103: 298-308, (2016).
- [20] Gökmen, U., “Sıcak Ekstrüze Edilmiş Al 2024 Matrisli B<sub>4</sub>C/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Takviyeli Hibrit Kompozitlerin Üretimi ve Karakterizasyonu”, *Politeknik Dergisi*, 19(4): 445-453, (2016).
- [21] Yıldırım, M., & Özyürek, D., “An Investigation of Wear Behaviors of AA7075 Al Hybrid Composites”, *High Temperature Materials and Processes*, 37(7): 619-624, (2018).
- [22] Kumar, R., & Dhiman, S., “A study of sliding wear behaviors of Al-7075 alloy and Al-7075 hybrid composite by response surface methodology analysis”, *Materials & Design*, 50: 351-359, (2013).
- [23] Çinici, H., Gökmen, U., Kırmızı, G., & Çamkerten, R., “Sıcak Presleme Yöntemiyle Üretilmiş B<sub>4</sub>C Takviyeli AA 7xxx Matrisli Fonksiyonel Derecelendirilmiş Malzemelerin Çapraz Kırılma Dayanımının Belirlenmesi”, *Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 5(1): 383-386, (2017).
- [24] Ambigai, R., & Prabhu, S., “Optimization of friction and wear behaviour of Al–Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> nano composite and Al–Gr–Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> hybrid composite under dry sliding conditions”, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 27(5): 986-997, (2017).
- [25] Hasırcı, H., & Gül, F., “B<sub>4</sub>C/Al kompozitlerin takviye hacim oranına bağlı olarak abrasif aşınma davranışlarının incelenmesi”, *SDU International Technologic Science*, 2(1): 15-21, (2010).
- [26] Baradeswaran, A. E. P. A., & Perumal, A. E., “Influence of B<sub>4</sub>C on the tribological and mechanical properties of Al 7075–B<sub>4</sub>C composites”, *Composites Part B: Engineering*, 54: 146-152, (2013).
- [27] Sharma, P., Sharma, S., & Khanduja, D., “Production and some properties of Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> reinforced aluminium alloy composites”, *Journal of Asian Ceramic Societies*, 3(3): 352-359, (2015).
- [28] Matik, U., & Tanattı, K., “Sıcak Ekstrüze Edilmiş AA7075-Sicp Kompozitlerin Tribolojik Karakteristiklerine Isıl İşlemin Etkisi”, *Politeknik Dergisi*, 20(4): 807-814, (2017).
- [29] Göde, C., “TM ile üretilmiş Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-231 SiCp ve B<sub>4</sub>Cp kompozitlerin farklı üretim yöntemlerinin mekanik özelliklere etkisi”, *Pamukkale Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2011).

- [30] Arık, H. & Orhun, D. Z., "Investigation of Dry Sliding Wear Behavior of Powder Metal (P/M) Materials Produced from Mixture of Fe-Cu-C Powders", *Gazi University Journal of Science Part A: Engineering and Innovation*, 5(1): 37-48, (2018).
- [31] Höganäs PM-school, "Sintered iron-based materials", Page: 9-19, (2013).
- [32] Canakci, A., Arslan, F., & Varol, T., "Effect of volume fraction and size of B<sub>4</sub>C particles on production and microstructure properties of B<sub>4</sub>C reinforced aluminium alloy composites", *Materials Science and Technology*, 29(8): 954-960, (2013).
- [33] Tayebi, M., Jozdani, M., & Mirhadi, M., "Thermal expansion behavior of Al-B<sub>4</sub>C composites by powder metallurgy", *Journal of Alloys and Compounds*, 809: 151753, (2019).
- [34] Kalkanlı, A., & Yılmaz, S., "Synthesis and characterization of aluminum alloy 7075 reinforced with silicon carbide particulates", *Materials & Design*, 29(4): 775-780, (2008).
- [35] Alizadeh, M., Alizadeh, M., & Amini, R., "Structural and mechanical properties of Al/B<sub>4</sub>C composites fabricated by wet attrition milling and hot extrusion", *Journal of Materials Science & Technology*, 29(8): 725-730, (2013).
- [36] Ahmed, A., Neely, A. J., Shankar, K., Nolan, P., Moricca, S., & Eddowes, T., "Synthesis, tensile testing, and microstructural characterization of nanometric SiC particulate-reinforced Al 7075 matrix composites", *Metallurgical and Materials Transactions A*, 41(6): 1582-1591, (2010).
- [37] Raj, R., & Thakur, D. G., "Qualitative and quantitative assessment of microstructure in Al-B<sub>4</sub>C metal matrix composite processed by modified stir casting technique", *Archives of civil and mechanical engineering*, 16(4): 949-960, (2016).
- [38] Zhixuan, W., Qiulin, L., Jiyun, Z., Wei, L., Guogang, S., Ping, W., & Ben, X., "Improving Al Wettability on B<sub>4</sub>C by Transition Metal Doping: a Combined DFT and Experiment Study", *Rare Metal Materials and Engineering*, 46(9): 2345-2351, (2017).
- [39] Harichandran, R., & Selvakumar, N., "Effect of nano/micro B<sub>4</sub>C particles on the mechanical properties of aluminium metal matrix composites fabricated by ultrasonic cavitation-assisted solidification process", *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 16(1): 147-158, (2016).
- [40] Arık, H., "Toz Metalurjisi Metoduyla Al-SiC Kompozit Malzeme Üretimi ve Aşınma Özelliklerinin Araştırılması", *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 7(3): 741-754, (2019).
- [41] Özyürek, D., Tunçay, T., & Kaya, H., "The effects of T5 and T6 heat treatments on wear behaviour of AA6063 alloy", *High Temperature Materials and Processes*, 33(3): 231-237, (2014).