



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Alüminyum 7075 Matrisli Kompozitlerde SiC, B₄C Ve TiB₂ Takviye Elemanlarının Mekanik Özelliklere Etkilerinin Karşılaştırılması

Muharrem PUL^{a,*}

^a Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, Kırıkkale / TÜRKİYE,

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: mpul@kku.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada toz metalurjisi yöntemi kullanılarak Al 7075 matris malzemesi içerisine SiC, B₄C ve TiB₂ takviye elemanları ayrı ayrı ilave edilmiştir. SiC, B₄C ve TiB₂ takviye ağırlık oranları %5, %10 ve %20 olarak uygulanmıştır. Kompozitlerin yoğunluk, sertlik, çapraz kırılma ve aşınma gibi mekanik özellikleri belirlemek için ölçüm ve deneyler yapılmıştır. Tüm numunelerin mikroyapıları optik mikroskop ile görüntülenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, en yüksek yoğunluk(%94,5) ve kırılma dayanımı (1418 N) ile en düşük aşınma miktarı(0,164 g) SiC takviyeli kompozitlerde meydana gelirken en yüksek sertlik değerleri(72,14 HBW) TiB₂ takviyeli kompozitlerde ölçülmüştür. Mekanik özellikleri etkileyen en önemli faktörlerin, takviye oranlarının artışına bağlı olarak artan gözenek miktarları olduğu değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Metal Matrisli Kompozit, SiC, B₄C, TiB₂, Mikroyapı, Mekanik Özellik

Comparison of The Effects on The Mechanical Properties of SiC, B₄C and TiB₂ Reinforcing Elements in Aluminum 7075 Matrix Composites

ABSTRACT

In this study, SiC, B₄C and TiB₂ reinforcement elements were separately added to Al 7075 matrix material by powder metallurgy method. SiC, B₄C and TiB₂ reinforcement weight ratios were applied as 5%, 10% and 20%. Measurements and experiments have been carried out to determine the mechanical properties of composites such as density, hardness, transverse rupture and wear. Microstructures of all samples were visualized with an optical microscope. According to the results, the highest hardness values (72.14 HBW) were measured in TiB₂ reinforced composites while the highest density (94.5%) and fracture strength (1418N) and the lowest wear amount (0,164 g) occurred in SiC reinforced composites. The most important factors affecting the mechanical properties have been assessed as the reinforcing phases, with increasing amounts of pores due to the increase in reinforcement ratios.

Keywords: Metal Matrix Composite, SiC, B₄C, TiB₂, Microstructure, Mechanical Properties

I. GİRİŞ

Kompozit malzemeler konusundaki araştırmalar son yıllarda gitgide artmakta ve yeni özellikte malzemeler geliştirilmektedir. Bu çalışma ile alüminyum matrisli metal kompozitlerde yaygın olarak kullanılan takviye elemanlarından SiC, B₄C ve TiB₂'ün kompozit yapı üzerindeki mekanik etkilerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Yapılan çalışmalar bu kompozitlerin yaygın olarak başta havacılık, deniz taşıtları, otomotiv, makine, inşaat ve uzay teknolojisi alanlarında kullanıldığını göstermektedir.

Metal matrisli kompozitlerin üretilmesinde öne çıkan matris elemanı alüminyum alaşımları olmaktadır. Alüminyum matrisli kompozitlerin üretilmesinde B₄C, SiC, Al₂O₃, SiO₂, MgO, TiB₂ ve TiC gibi seramik esaslı farklı takviye elemanları tercih edilmektedir. Metal matrisli kompozitler birçok farklı yöntemle üretilmektedir. Ancak son zamanlarda toz metalurjisi (TM) tekniği kullanılarak kompozit üretimi hızlı gelişen imalat yöntemlerinden birisi olmuştur. TM ile üretim yöntemi, karıştırılmış metal tozlarının, oda sıcaklığında veya yüksek sıcaklıklarda, üretilecek parça şekli ve boyutlarına sahip kalıp içinde preslenerek şekillendirme ve ardından belirli bir sıcaklıkta sinterleme ile gerçekleştirilen bir imalat yöntemidir [1]. Alüminyum matrisli B₄C takviyeli kompozitler üzerinde özellikle otomotiv endüstrisine yönelik çalışmalar artmaya başlamıştır. Bu kompozitlerin üretimindeki ana sorun, matris metali ile takviye partikülleri arasındaki düşük ıslanmadır. Düşük ıslanma sebebiyle matris malzemesi takviye elemanı parçacıklarını yeterince sarmamakta ve iki malzeme arayüzeyinde yeterli bağlanma oluşmamaktadır. TM yöntemiyle teorik olarak ara yüzey kinetiğinin kontrolü iyi bir şekilde sağlanabilmektedir. Bu yüzden TM ile yapılan çalışmalar ara yüzeydeki ıslatılabilirlik seviyelerini arttırmak üzerine yoğunlaşmıştır [2]. SiC genel olarak otomotiv ve ulaştırma endüstrisinde yaygın olarak kullanılan bir takviye malzemesi olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle fren disklerinin aşınma direncini arttırmada tercih edilmektedir. TiB₂ takviye elemanının en yaygın tercih edildiği sektörler savunma ve silah sanayi olarak ön plana çıkmaktadır. Özellikle koruyucu zırh yapımında kullanılan kompozitlerde TiB₂ yaygın olarak kullanılmaktadır. Gomez, Busquets-Mataix, Amigo ve Salvador yaptıkları çalışmada, B₄C ve SiC takviyeli AA6061 alaşımının mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda artan takviye oranıyla birlikte elde edilen yoğunluk değerinin azaldığı, %10 takviye oranında her iki takviye malzemesi için karışımın homojen sağlanabildiği, üretilen numunelerde herhangi bir arayüzey reaksiyonunun görülmediği, T6 ısıl işlemi sonucu sertlik ve dayanım özelliklerinde artış görüldüğü, artan takviye oranının aşınma kaybını azalttığı görülmüştür. Ayrıca B₄C takviyeli kompozitin SiC takviyeliye kıyasla, dayanım, sertlik, süneklik ve aşınma direnci özelliklerinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir[3]. Abejonar, Velasco, Martinez çalışmalarında, mekanik alaşımlama uygulanan Al+% 10 B₄C sisteminde karıştırma suresi, presleme basıncı, sinterleme sıcaklığı gibi üretim parametrelerinin optimizasyonunu amaçlamışlardır. Karıştırma süresi 2 h aralıklı 0-12 h, presleme basıncı 500, 600, 700 MPa, sinterleme sıcaklığı ise 600, 610, 620, 635 ve 650 °C olarak belirlenmiştir. Homojen partikül dağılımı ve B₄C dağılımının yüksek preslemeye olanak sağlaması nedeniyle optimal mekanik alaşımlama suresi 12 h, presleme basıncı 700 MPa ve sinterleme sıcaklığı 635 °C olarak elde edilmiştir[4]. L.E.G. Cambroner, E. Sánchez, J.M. Ruiz-Roman, J.M. Ruiz-Prietoyaptıkları çalışmalarında AA7015 alaşımı metal matris olarak seçilmiştir ve B₄C, TiB₂ ve Si₃N₄ seramikleri eklenmiştir. Üretilen numunelerin sertlik ve çekme mukavemeti değerlendirilmiştir. Ayrıca pin-on disk yöntemiyle aşınma davranışları incelenmiştir. Seramiklerin ilavesiyle sertlik artmış, kompozitin plastik deformasyonu azalmış ve aşınma direnci artış göstermiştir [5]. Metal Matrisli Kompozitlerin mekanik davranışları üzerine yapılan çalışmalarda, takviye elemanının kompozit yapı içerisindeki dağılımı, mikroyapıya etkisi, gözeneklilik, sertlik,

aşınma davranışı ve kopma dayanımı gibi özellikler üzerindeki etkisi gibi konularda birçok araştırmaya yer verildiği görülmüştür [6-10].

Bu çalışmada; SiC, B₄C ve TiB₂ takviyeli Al 7075 esaslı metal kompozitler toz metalurjisi yöntemi kullanılarak, ağırlıkça %10, %20 ve %30 takviye oranlarında üretilmiştir. Kompozitlerin üretiminde 650 MPa presleme basıncı, 120 min sinterleme süresi ve 560 °C sinterleme sıcaklığı uygulanmıştır. Üretilen kompozit numuneler üzerinde, yoğunluk, sertlik, çapraz kırılma ve abrasif aşınma deneyleri yapılarak elde edilen değerler mikroyapı görüntüleri eşliğinde değerlendirilmiştir.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu deneysel çalışmada kullanılan Al 7075 matris malzemesi ile SiC, B₄C ve TiB₂ takviye elemanlarına ait teknik özellikler Tablo 1’de verilmektedir.

Tablo 1. Deney malzemelerinin teknik özellikleri

Al 7075							
Fe%	Si%	Cu%	Mn%	Mg%	Zn%	Ti%	Cr%
0,50	0,40	1,21-2,0	0,30	2,1-2,9	5,1-6,1	0,20	0,18-0,28
Erime noktası, °C	Sertlik, knoop		Yoğunluk, g/cm ³		Parçacık Şekli		Tane Boyutu, µm
635	191		2,81		Yuvarlak		100
SiC							
Si%	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	SiO ₂ %	P ₂ O ₅ %	SO ₃ %	C%	
61-66	0,7-1,2	0,6-1,1	0,02	0,07	0,3	22-26	
Erime noktası, °C	Sertlik, knoop		Yoğunluk, g/cm ³		Parçacık Şekli		Tane Boyutu, µm
2730	2480		3,21		Köşeli		-63
B ₄ C							
B%				C%			
78,28				21,72			
Erime noktası, °C	Sertlik, knoop		Yoğunluk, g/cm ³		Parçacık Şekli		Tane Boyutu, µm
2760	2650		2,52		Köşeli		-44
TiB ₂							
Ti%				B%			
67-69				29-32			
Erime noktası, °C	Sertlik, knoop		Yoğunluk, g/cm ³		Parçacık Şekli		Tane Boyutu, µm
2980	2800		4,52		Köşeli		-37

Al 7075, SiC, B₄C ve TiB₂ tozları Tablo 2’de belirlenen ağırlık oranlarında hazırlanmıştır. Karışımların hazırlanmasında tamburlu tip karıştırıcı kullanılmıştır. Karıştırma işlemi her takviye oranı için ayrı ayrı olmak üzere; 5 mm çapında zirkonya esaslı bilyeler ile 10/1 (bilye /toz) ağırlık oranı uygulanarak, 300 rev/min hızda ve 2 saat süreyle gerçekleştirilmiştir. Tamburda karıştırma ve kalıpta sıkıştırma işlemlerinde, karışım tozlarının tambur ve kalıp yüzeylerine sıvanmasını önlemek ve kaymayı kolaylaştırmak amacıyla toz karışımların içerisine %1 oranında çinko stearat yağlayıcı olarak ilave edilmiştir.

Tablo 2. Kompozit numune karışım oranları

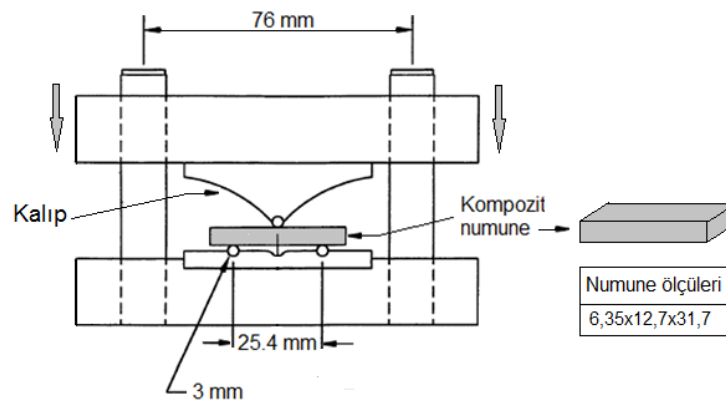
Numune 1 % 10 SiC + % 90 Al 7075	Numune 2 % 20 SiC + % 80 Al 7075	Numune 3 % 30 SiC + % 70 Al 7075
Numune 4 % 10 B ₄ C + % 90 Al 7075	Numune 5 % 20 B ₄ C + % 80 Al 7075	Numune 6 % 30 B ₄ C + % 70 Al 7075
Numune 7 % 10 TiB ₂ + % 90 Al 7075	Numune 8 % 20 TiB ₂ + % 90 Al 7075	Numune 9 % 30 TiB ₂ + % 70 Al 7075

Konuyla ilgili çalışmalar dikkate alınarak, kompozit karışımlar hidrolik preste 650 MPa basınç altında sıkıştırılmış ve 30 mm çapında, 10 mm kalınlığında kompozit numuneler üretilmiştir. Üretilen kompozit numuneler 560°C’de, argon atmosferi altında, 120 min süreyle sinterleme işlemine tabi tutulmuştur.

Sinterleme işleminden sonra ilk etapta numunelerin havadaki ağırlığı daha sonra da sudaki ağırlığı hassas terazi ile ölçülmüş ve *Arşimet Prensibi*’ne göre % cinsinden teorik yoğunlukları belirlenmiştir. Yoğunluk ölçümlerinden sonra kompozit numunelere ait mikroyapıları incelemek amacıyla numunelerin yüzey hazırlama işlemleri yapılmıştır. Bu amaçla sırasıyla 600, 1200, 2400 mesh zımparalama, 3 µm parlatma ve %99 saflıktaki etil alkolle temizlenerek kurutulmuştur. Daha sonra yüzeyi hazırlanan kompozit numunelerin, *Nikon ECLIPSE MA200* model optik mikroskopta 50× ve 400× olmak üzere iki farklı büyütmeye mikroyapı görüntüleri çekilmiştir.

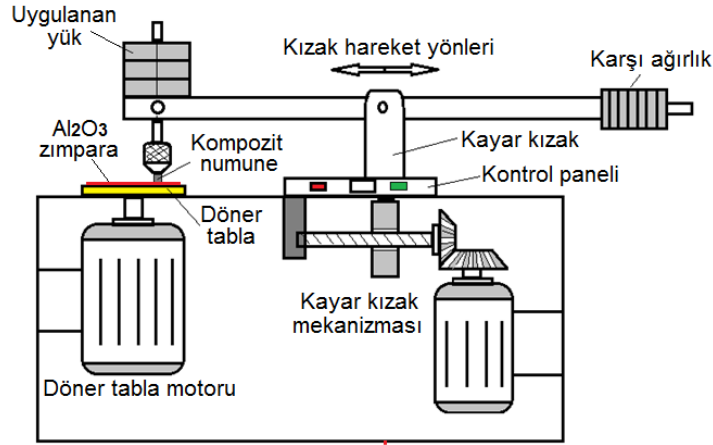
Daha sonra kompozitlerin mekanik özelliklerini belirleme amaçlı deneylere geçilmiştir. İlk olarak *Brinell Yöntemi* kullanılarak sertlik ölçümleri yapılmıştır. Sertlik ölçümleri EN ISO 4498 [11] ve TS EN ISO 6506-1 [12] standartlarına uygun olarak, *Qness Q250M* model sertlik ölçme cihazında yapılmıştır. Sertlik ölçümlerinde 2,5 mm çaplı bilya uç, 62,5 kg yük ve 14 saniye deney süresi uygulanmıştır. Sertlik ölçümlerinde her numune üzerinde 5 farklı noktadan ölçüm yapılarak ortalama değer hesaplanmıştır.

Mekanik özellik belirleme deneylerinin ikinci aşamasında ASTM-B 528-05 [13] standardına göre çapraz kırılma (üç nokta eğme) deneyleri gerçekleştirilmiştir. Çapraz kırılma deneyleri, 0,05 kN/sn yükleme hızıyla *ELE* marka hidrolik preste gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneğine ait şematik gösterim Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Standart çapraz kırılma (üç nokta eğme) deney düzeneği

Üçüncü aşama deneyler, kompozit numunelerin aşınma davranışlarını belirlemek amacıyla yapılmıştır. Aşınma deneyleri, pin-on-disc yöntemi ile 40 N yük uygulanarak yapılmıştır. Aşınma deneylerinde, 63 μm aşındırıcı tane boyutuna sahip, Al_2O_3 zımpara kullanılmıştır. Her kompozit numune, $0,2 \text{ ms}^{-1}$ kayma hızında ve 120 saniye süre boyunca deneye tabi tutularak aşınma kayıpları kaydedilmiştir. Şekil 2’de pin-on-disc aşınma deney aparatının sembolik gösterimi verilmiştir.

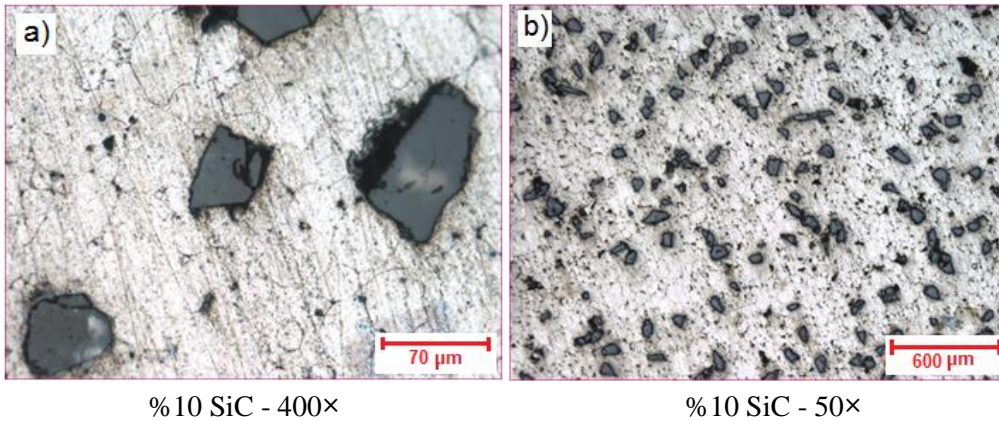


Şekil 2. Pin-on-disc aşınma deney aparatı şematik gösterimi

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

A. MİKROYAPILAR

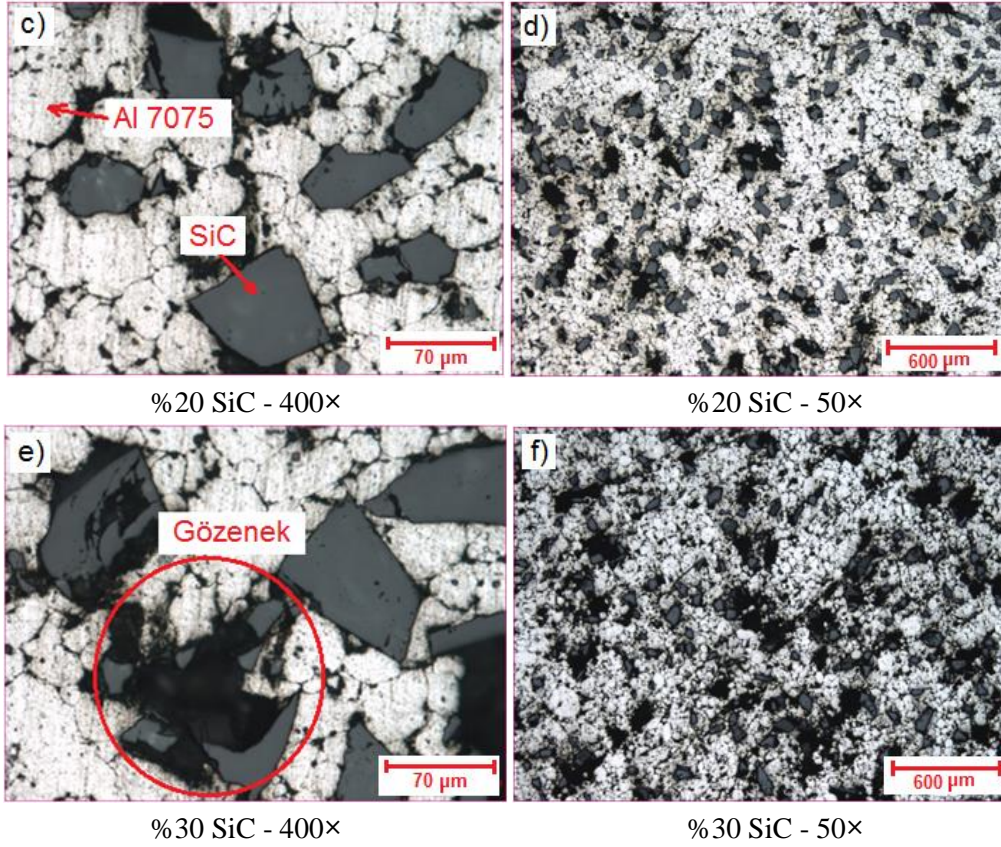
Kompozitlerin mikroyapılarını değerlendirmek amacıyla, Şekil 3’te SiC takviyeli kompozitlerin farklı takviye oranlarına göre $50\times$ ve $400\times$ büyütmedeki optik mikroskop görüntüleri, Şekil 4 ve Şekil 5’te ise B_4C ve TiB_2 takviyeli kompozitlerin $400\times$ büyütmedeki optik mikroskop görüntüleri verilmiştir.



% 10 SiC - $400\times$

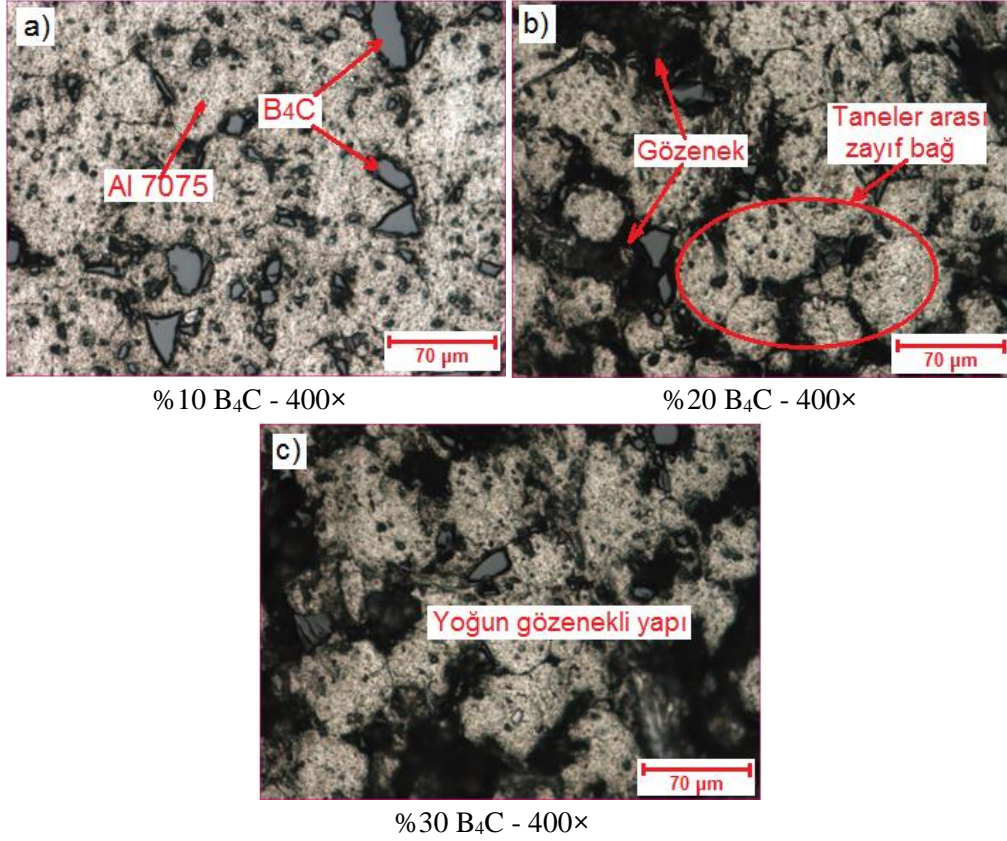
% 10 SiC - $50\times$

Şekil 3. SiC takviyeli AA7075 kompozitlerin optik mikroskop görüntüleri



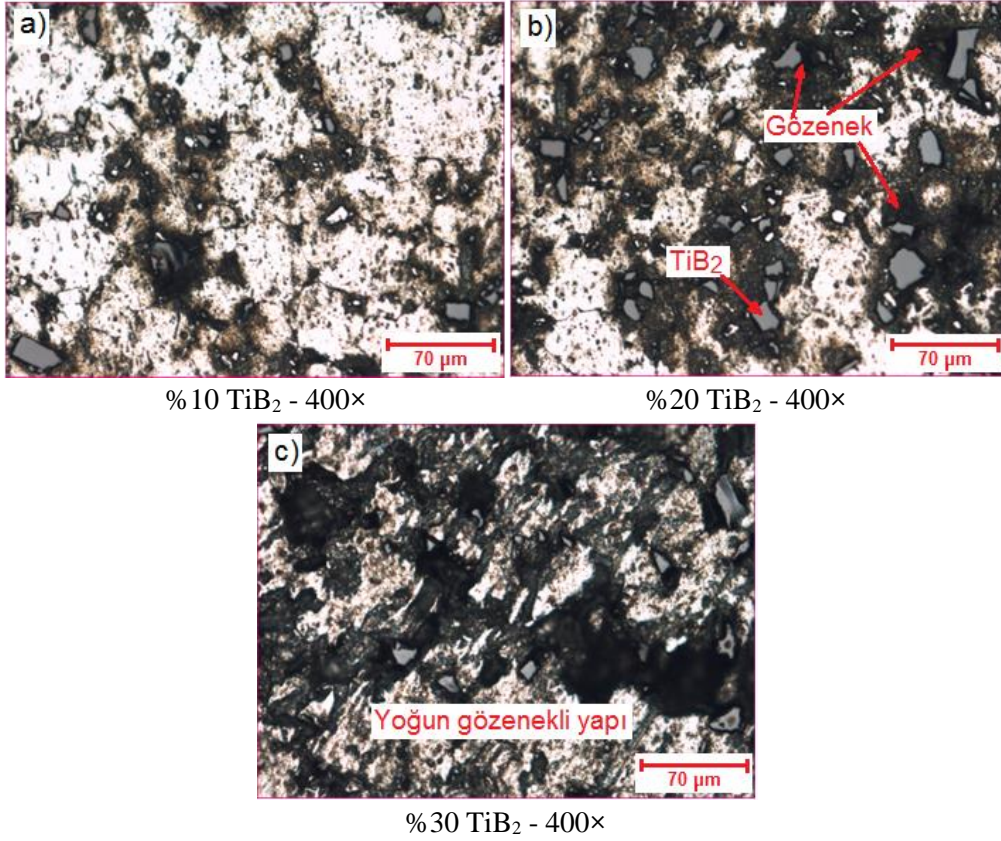
Şekil 3.(devam). SiC takviyeli AA7075 kompozitlerin optik mikroskop görüntüleri

Şekil 3'deki optik mikroskop görüntüleri incelendiğinde, SiC takviye oranının artmasına bağlı olarak kısmen takviye topaklanmasının meydana geldiği görülmektedir. Yine aynı şekilde kompozit yapı içerisindeki gözenek (boşluk) miktarı da takviye oranının artışına bağlı olarak artma göstermiştir. Özellikle SiC taneciklerinin etrafında görünen siyah bölgeler gözenekli bölgeleri ifade etmektedir. Şekil 3 (b), (d) ve (f) incelendiğinde takviye oranının artmasıyla görüntülerdeki siyah bölgelerin artış gösterdiği açıkça gözlenmektedir. Literatürdeki bazı çalışmalarda benzer sonuçlar ortaya koyulmuştur [14, 15]. Kompozit yapı içerisindeki Al 7075 parçacıklarının farklı boyutlarda ve genellikle küresel şekilli, SiC parçacıklarının ise farklı boyutlarda ve genellikle keskin köşeli olduğu görülmektedir Şekil 3(c). %10 SiC takviyeli kompozit için 560°C olan sinterleme sıcaklığının yeterli olduğu söylenebilir. Ancak takviye oranının %20 ve %30'a çıkmasıyla AA7075 tanecikleri arasındaki bağ oluşumunun zayıfladığı Şekil 3 (c) ve (e)'ye bakıldığında görülmektedir. Takviye oranının artmasıyla topaklanmanın artış göstermesi, takviye elemanı taneciklerinin keskin köşeli ve farklı boyutlarda oluşu Al 7075 tanecikleri arasındaki bağlanmayı olumsuz etkilediği ve matris malzemesi Al 7075'in SiC taneciklerini yeterince ıslatamadığı ifade edilebilir. Dolayısıyla, %20 ve %30 gibi daha yüksek takviye oranlarında sinterleme sıcaklığı ve süresinin bir miktar artırılması (580°C -590°C ve 150 min -180 min gibi) uygun olabilir. Konuyla ilgili yapılan bir çalışmada benzer sonuç ve değerlendirmeler yapılmıştır [16]. Deneylerde kullanılan 650 MPa presleme basıncı, yapılan literatür araştırmasının sonuçlarına göre belirlenmiştir. Ancak, gerek Al 7075 tanecikleri arasındaki zayıf bağ oluşumu gerekse de gözenekliliğin biraz daha azaltılması yönünden presleme basıncının da 700 MPa veya 750 MPa olarak uygulanması ile daha iyi sonuçlar elde edilebilir. Bu çalışmada kullanılan üretim parametrelerine göre genel bir değerlendirme yapılacak olursa; özellikle %30 SiC takviye oranının yüksek kaldığı ve kompozit yapmayı olumsuz etkilediği söylenebilir.



Şekil 4. B₄C takviyeli Al 7075 kompozitlerin optik mikroskop görüntüleri

Şekil 4'teki optik mikroskop görüntüleri incelendiğinde, B₄C taneciklerinin düzensiz şekilli olduğu ve B₄C tanecikleri arasında, SiC parçacıklarına göre çok daha fazla boyut farkı olduğu görülmektedir. Yine aynı şekilde, SiC takviyeli kompozitlerle kıyaslandığında daha fazla gözenekli yapı meydana gelmiştir [Şekil 4 (b), (c)]. Al 7075 ile B₄C arasında istenilen fazın ve ıslatmanın yeterince oluşmadığı B₄C takviye elemanı için daha net ifade edilebilir. Numunelerin üretilmesinde uygulanan sinterleme sıcaklığı ve süresinde, Al 7075 matris malzemesi B₄C takviye elemanı parçacıklarını istenilen ölçüde ıslatamamış ve taneler arası bağ zayıf kalmıştır Şekil 4(b). Matris ve takviye fazları arasındaki ıslatmanın yeterli olmaması ve güçlü bir ara yüzey oluşamaması sebebiyle, mikroskop görüntüleri alınmadan önce yapılan yüzey hazırlama işlemi sırasında bir miktar B₄C parçacığının yapı içerisinde koparak uzaklaştığı ve bu durumun kompozit yapı içerisindeki gözeneklerin oluşmasına ayrıca katkı sağladığı düşünülmektedir. Diğer yandan, kompozit yapı içerisindeki B₄C parçacıklarının oldukça fazla miktarda toplanma eğilimi gösterdiği, bunda gözenekli bölgelerin artışı etkili olduğu söylenebilir. Benzer sonuçlar, Lillo'nun yaptığı çalışmada belirtilmiştir[16].

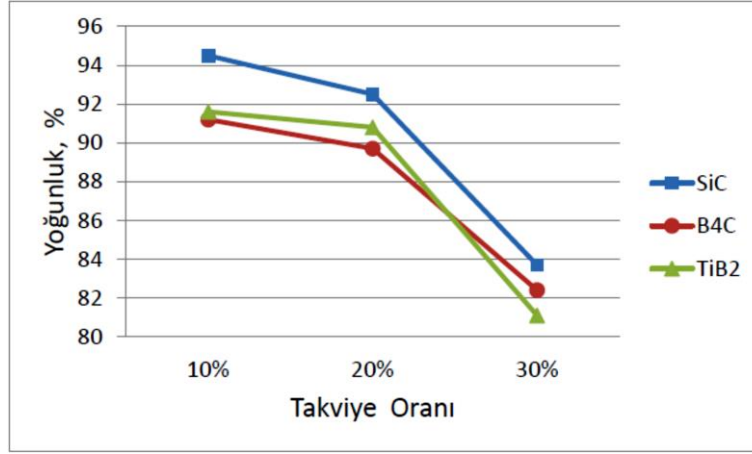


Şekil 5. TiB_2 takviyeli Al 7075 kompozitlerin optik mikroskop görüntüleri

Şekil 5'teki optik mikroskop görüntüleri incelendiğinde ise, TiB_2 taneciklerinin düzensiz şekilli olduğu ve boyutsal farklılıkların göze çarptığı görülmektedir. Yine aynı şekilde, SiC ve B_4C takviyeli kompozitlerle kıyaslandığında boşluklu yapıdaki artış açıkça gözlenmektedir. Üç farklı takviye elemanı arasında en fazla boşluklu yapı TiB_2 takviyeli kompozitte meydana gelmiştir. Bu duruma, sinterleme sıcaklığı ve süresinin yetersiz kalmasının ve diğer zikredilen faktörlerin yanı sıra, TiB_2 'nin SiC ve B_4C takviye elemanlarına göre daha yüksek yoğunlukta olmasının da ayrıca neden olduğu düşünülmektedir. Al 7075 matris malzemesi ile TiB_2 'nin arasındaki iki kata yakın yoğunluk farkı, TiB_2 parçacıklarının kompozit yapı içerisinde daha fazla çökme eğilimi göstermesine sebep olmuş ve boşluk oluşumunu arttırmıştır. Özellikle %20 ve %30 gibi yüksek takviye oranlarında bu durum çok net olarak gözlenmektedir[Şekil 5 (b), (c)]. Benzer sonuçlar literatürde yer almaktadır [17].

B. YOĞUNLUKLAR

Farklı takviye elemanları ve takviye oranları ile üretilen kompozit numunelerin, Arşimet Prensibi kullanılarak elde edilen teorik yoğunluk değerlerine göre çizilen grafikler Şekil 6'da verilmektedir.

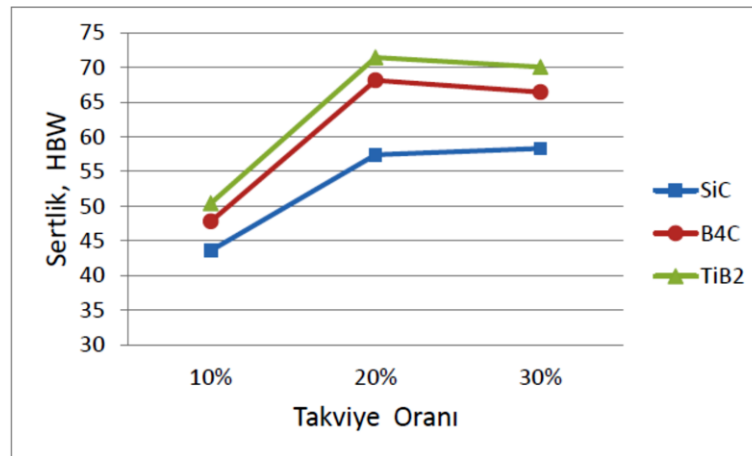


Şekil 6. Kompozit numunelere ait teorik yoğunluk değerleri

Şekil 6'daki grafiklere bakıldığında, tüm kompozit numunelerde takviye miktarının artmasıyla yoğunluk değerlerinde düşme olduğu görülmektedir. Diğer bir ifadeyle, takviye elemanının artmasıyla kompozit yapı içerisindeki gözeneklerin artış gösterdiği söylenebilir. Literatüre bakıldığında (Ayvaz ve Çetinel tarafından yapılan çalışmada da benzer sonuçlar ifade edilmiştir [18]). SiC takviyeli numunelerin yoğunluk değerleri TiB₂ ve B₄C takviyeli numunelere göre daha yüksek çıkmıştır. En yüksek yoğunluk değeri % 94,5 ile %10 SiC takviyeli numunede elde edilirken, en düşük yoğunluk %30 TiB₂ takviyeli kompozit numunede % 81,1 olarak elde edilmiştir. Mikroyapılar ile ilgili yorumlarda Şekil 5 değerlendirilirken en yüksek boşluklu yapının %30 TiB₂ takviyeli kompozit numunede meydana geldiği ifade edilmiştir. Düşük yoğunluk değeri, fazla boşluklu yapı olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu yoğunluk sonuçlarına göre TiB₂ ve B₄C takviye fazları ile Al 7075 fazı arasındaki bağın daha zayıf olduğu, Al 7075 fazının takviye parçacıklarını daha zayıf ıslattığı, dolayısıyla TiB₂ ve B₄C takviyeli numunelerde boşluk oranının SiC takviyeli numunelere göre daha yüksek olduğu ifade edilebilir.

C. SERTLİKLER

Kompozit numunelerin, takviye oranlarına göre sertlik değerlerinden elde edilen grafikler Şekil 7'de gösterilmektedir.

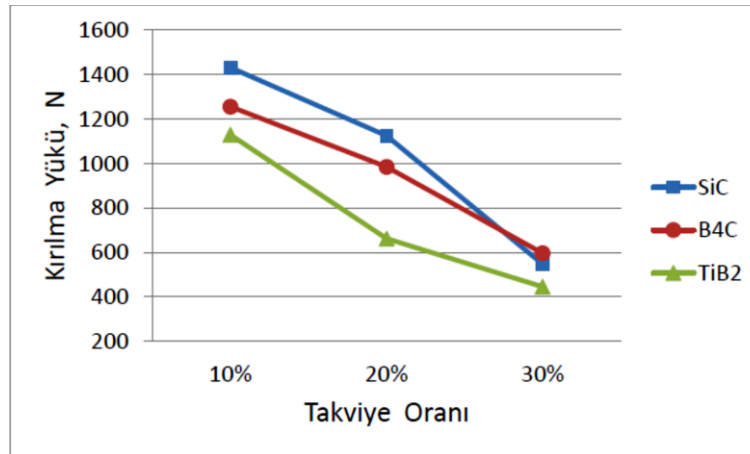


Şekil 7. Kompozit numunelere ait sertlik değerleri

Şekil 7'deki grafikler incelendiğinde, ilk göze çarpan, takviye oranlarının artmasıyla sertlik değerlerindeki yükselmedir. Tüm kompozit numuneler içerisinde en yüksek sertlik değeri %20 TiB₂ takviyeli numunede 72,14 HBW olarak ölçülmüştür. En düşük sertlik değeri ise %10 SiC takviyeli kompozit numunede, 43,26 HBW olarak kaydedilmiştir. Ancak %20 takviye oranlarından sonra, %30'a kadar sertlik değerleri yükselmeyip bir miktar düşme eğilimi göstermiştir. Çok sert fazdaki takviye parçacıklarının kompozit yapı içerisindeki miktarının %10'dan %20'ye çıkmasıyla tüm takviye malzemelerinde sertlik değerleri beklendiği şekilde yükselmiştir. Aynı şekilde takviye oranının %30'lara çıkmasıyla sertlik değerlerinde bir miktar daha yükselme beklenirken, aksine azda olsa düşme eğilimi sergilemiştir. Sadece SiC takviyeli numunede az miktarda sertlik değerinde yükselme olmuştur. Bu durumu %30 takviyeli numunelerdeki yoğun boşluk oluşumuyla açıklamak mümkündür. Kompozit numunelerde, %20 takviye oranlarına kadar yapı içerisindeki sert takviye fazları etkili olurken, bu orandan sonra kompozit yapı içerisindeki boşluk miktarları etkili olmuştur. Şekil 3,4 ve 5'teki mikroyapılar incelendiğinde ve kompozit numunelerin yoğunluk değerlerine bakıldığında, sertlik değerlerindeki sonuçları destekleyen değerlendirmeler yapılmıştır. Benzer sonuçlar literatürde yer almaktadır [14, 15].

D. ÇAPRAZ KIRILMALAR

Kompozit numunelerin, ASTM-B 528-05 standardına göre yapılan çapraz kırılma deneylerinden elde edilen değerler grafik olarak Şekil 8'de verilmiştir.

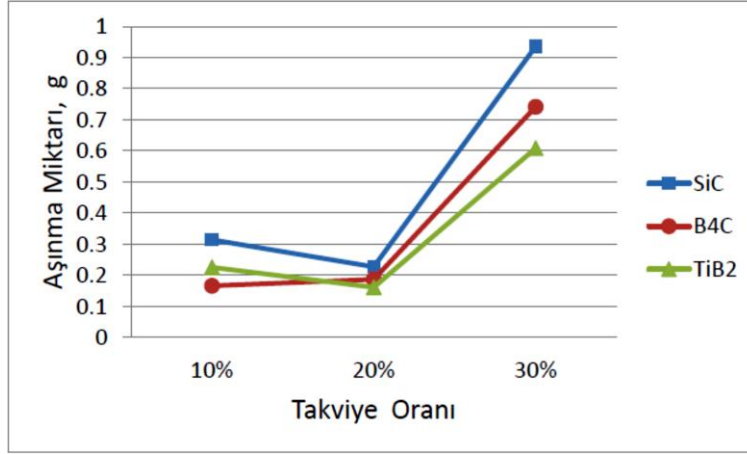


Şekil 8. Kompozit numunelere ait çapraz kırılma değerleri

Şekil 8'deki grafiğe bakıldığında takviye oranının artmasıyla tüm kompozitlerde kırılma dayanımı azalmıştır. Kompozit yapı içerisindeki takviye elemanı (SiC, B₄C, TiB₂) oranlarının artmasıyla, kırılma dayanımı değerlerinin düşmesi genel bir eğilim olarak ortaya çıkmaktadır. Chong ve ark. yapmış olduğu çalışmada, benzer sonuçlar ifade edilmektedir [19]. En düşük kırılma değeri, %30 TiB₂ takviyeli kompozit numunede 428 N olarak gerçekleşmiştir. En yüksek değer ise, %10 SiC takviyeli kompozitte 1418 N olarak elde edilmiştir. Artan takviye oranlarında, SiC, B₄C ve TiB₂ parçacıklarının etrafındaki gözeneklerin artması ile kırılma dayanımı azalmış ve mekanik özellikler olumsuz yönde etkilemiştir. Ayrıca köşeli ve keskin yapıdaki takviye elemanı parçacıklarının kompozit yapı içerisinde çentik tesiri yaparak kırılmayı kolaylaştırdığı değerlendirilmektedir. Kırılma yükü değerleri, sertlik değerleriyle birlikte ele alındığında, sertlik değerleri diğer takviye elemanlarına göre daha yüksek olan TiB₂ takviyeli kompozitler kırılma dayanımı yönünden daha zayıf kalmıştır. Sertliğin yüksek olması kompozit yapının gevrekliğini artırarak kırılma dayanımını azaltmıştır.

E. AŞINMALAR

Kompozit numunelerin, pin-on-disc yöntemi ile yapılan aşınma deneylerinden takviye cinsi, ve takviye oranlarına göre elde edilen aşınma değerleri grafik olarak Şekil 9'da gösterilmektedir.



Şekil 9. Kompozit numunelere ait aşınma miktarı değerleri

Şekil 9'daki grafiklere bakıldığında, takviye oranlarının artmasıyla kompozit numunelerin aşınma miktarlarında, önce bir miktar azalma daha sonrasında ise yükselme gözlenmektedir. Kompozit numunelerin içerisindeki sert faza sahip takviye elemanı parçacıkları %20 oranına kadar ilave edildiğinde kompozit yapının sertliğini yükseltmektedir. Bu durum Şekil 7'deki grafiklerde görülmüş ve izah edilmiştir. Ancak takviye oranlarının %20'nin üzerine çıkmasıyla ve %30'lara gelmesiyle kompozit yapının sertlik değerleri giderek azalma eğilimi göstermiştir. Takviye elemanı oranının artması kompozit yapı içerisindeki boşluk miktarlarını arttırarak mekanik değerleri olumsuz etkilemeye başlamıştır. Benzer sonuçlar literatürdeki bazı çalışmalarda yer almaktadır [5, 20, 21]

Aşınma miktarını etkileyen diğer durum ise, takviye oranlarının artmasıyla kompozit yapı içerisindeki takviye topaklanmalarının artışıdır. Topaklanan bölgelerdeki takviye elemanları, aşınma deneyleri sırasında kompozit yapı içerisinden daha büyük bir kütle olarak kopmakta ve yüzeyden uzaklaşırken matris malzemesi Al 7075 üzerinde derin oyuklar oluşturarak daha fazla malzeme kaybına sebep olmaktadır. Kompozit numunelerdeki boşluk miktarının fazla olması, aynı zamanda Al₂O₃ aşındırıcı zımpara taneciklerinin kompozit yapı içerisindeki boşluklu bölgelere girerek daha iyi tutunmasını ve dalmasını sağlayıp daha fazla miktarda malzemeyi kaldırmasına sebep olduğu da ifade edilebilir. Ayrıca, kompozit yapı içerisindeki takviye oranlarının artmasıyla Al 7075 matris malzemesi ile takviye elemanı parçacıkları arasındaki ıslatma ve bağlanmanı zayıfladığı Şekil 3,4 ve 5'teki mikroyapı görüntülerinde gözlenmektedir. Bu durumun sonucu olarak, aşınma deneyleri sırasında hem Al 7075, hem de takviye elemanı tanecikleri daha rahat koparak yapı içerisinden ayrılmışlardır. Benzer bir sonuç, İpek tarafından yapılan çalışmada belirtilmiştir[22].

Kompozit numuneler takviye elemanı cinsine göre değerlendirildiğinde, en fazla aşınma miktarı SiC takviyeli numunelerde olurken en az aşınma değerleri TiB2 takviyeli numunelerde elde edilmiştir. Bu durumda aşınma miktarlarını etkileyen parametreler içerisinde, sertlik değerinin diğer parametrelere göre daha fazla öne çıktığı değerlendirilmektedir.

IV. SONUÇ

Yapılan deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

- Takviye oranının artışına bağlı olarak yapı içerisindeki takviye elemanı dağılımının homojenliğinde artış gözlenmiştir. Ancak kompozitlerin yoğunluk değerleri azalmıştır.
- Bu çalışmada kullanılan 650 MPa presleme basıncı ve 550 °C olan sinterleme sıcaklığı istenilen özellikte kompozit yapı için yeterli olamamıştır. Al 7075 matris ve takviye (SiC, B₄C, TiB₂) fazları arasında istenilen ıslatma ve taneler arası bağ yeterince oluşmamıştır. Her iki deney parametresinin de artırılması uygun olacaktır.
- Bu tür kompozitlerde takviye oranının belli bir miktara (%20) kadar artmasıyla sertlik değerleri yükselirken daha sona düşme eğilimi göstermektedir. İleriki çalışmalarda bu takviye oranları dikkate alınmalıdır.
- Kompozitlerin kırılma yükü değerleri, sertlik değerleriyle ters orantılı gerçekleşmiştir. Sertlik değeri, SiC ve B₄C'ye göre daha yüksek olan TiB₂ numuneler en düşük kırılma yükü değerlerini göstermiştir. Üç farklı takviye cinsinde de takviye oranlarının artmasıyla kırılma yükü değerleri azalmıştır.
- Kompozit numunelerde, takviye cinsine göre bakıldığında en fazla aşınma miktarları SiC takviyeli numunelerde gerçekleşirken en düşük aşınma değerleri TiB₂ takviyeli numunelerde gerçekleşmiştir. Aşınma değerleri ile sertlik değerleri arasında ters orantılı bir durum ortaya çıkmıştır. Takviye miktarlarının %20'ye kadar çıkması ile aşınma değerleri azalırken, %30 çıkmasıyla hızlı bir şekilde artış göstermiştir.
- Yukarıda sıralanan mekanik özellik sonuçlarına etki eden en önemli sebepleri, kompozit yapı içerisindeki takviye oranlarının artışına bağlı olarak artan boşluk miktarlarını ve matris ile takviye fazları arasındaki düşük ıslatmayla birlikte zayıf bağ oluşumunu göstermek mümkündür.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma 2017/005 numaralı proje kapsamında Kırıkkale Üniversitesi BAP Birimi tarafından desteklenmiştir.

V. KAYNAKLAR

- [1] A. Orhan, A. K.Gür ve U.Çalgülü, "Al Matrisli B₄C Takviyeli Kompozitlerin Sıcak Presleme Yöntemiyle Üretimi", *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, c. 4, ss. 8-13, 2007.
- [2] C.Nazik, "Alüminyum matrisli B₄C parçacık takviyeli kompozitlerin toz metalurjisi yöntemiyle üretimi ve mekanik özelliklerinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2013.

- [3] L.Gomez, D.Busquets-Mataix, V.Amigo and M.D.Salvador, “Analysis of boron carbide aluminium matrix composites”, *Journal of Composite Materials*, vol. 43, pp. 987-995, 2009.
- [4] J.Abejonar, F.Velasco and M. A.Martinez, “Optimization of Processing Parameters for the Al+ 10% B₄C System Obtained by Mechanical Alloying”, *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 184, no.1-3, pp. 441-446, 2007.
- [5] L. E. G. Cambroner, E. Sánchez,J.M. Ruiz-Roman and J. M.Ruiz-Prieto “Mechanical characterisation of AA7015 aluminium alloy reinforced with ceramics”, *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 143-144, pp. 378–383, 2003.
- [6] M. Günay,“Toz metalurjisi yöntemi ile üretilmiş Al-Si/SiCp kompozitlerin mekanik ve işlenebilirlik özelliklerinin araştırılması”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2009.
- [7] Y. Şahin, “Preparation and some properties of SiC particle reinforced aluminum alloy composites”, *Materials and Design*, vol. 24, pp. 671-679, 2003.
- [8] A. T. Alpas and J. Zhang, “Effect of microstructure (particulate size and volume fraction) and counterface material on the sliding wear resistance of particulate-reinforced aluminum matrix composites”, *Metallurgical and Materials Transactions A*, vol. 25A, pp. 969-983, 1994.
- [9] S. Sawla and S. Das,“Combined effect of reinforcement and heat treatment on the two body abrasive wear of aluminum alloy and aluminum particle composites”, *Wear*, vol. 257, pp. 555-561, 2004.
- [10] A. R. Kennedy andB. Brampton,“The reactive wetting and incorporation of B₄C particles into molten aluminum”, *Scripta Materialia*, vol. 44, pp. 1077-1082, 2001.
- [11] *Sinterlenmiş metal malzemeler (sert metaller hariç) - Görünen sertliğin ve mikrosertliğin tayini*, Türk Standartları Enstitüsü, TS EN ISO 4498,2011.
- [12] *Metalik malzemeler - Brinell sertlik deneyi - Bölüm 1: Deney metodu*, Türk Standartları Enstitüsü, TS EN ISO 6506-1, 2007.
- [13] *Standard Test Method for Transverse Rupture Strength of Metal Powder Specimens*,ASTM InternationalASTM-B 528-05,2008.
- [14] S. Özkan, “Alüminyum Matrisli SiC Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Mekanik Alaşım Yöntemiyle Üretimi ve Kuru Aşınma Davranışlarının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2007.
- [15] E.F. Kılıç, “Alüminyum Alaşımli SiC Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Toz Metalurjisi Yöntemi ile Üretimi ve Aşınma Davranışlarının İncelenmesi” , Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2007.
- [16] M. Pul, “Effect of B₄C Reinforcement Ratio and Sintering Temperature on the Mechanical Behavior in Al-B₄C Composites”, *Science of Sintering*, vol.50, pp. 51-61, 2018.

- [17] T. M.Lillo,“Enhancing Ductility of Al6061 + 10 wt.% B₄C Through Equal-channel Angular Extrusion Processing”, *Materials Science and Engineering A*, vol.410-411, pp. 443-446, 2005.
- [18] M. Ayvaz ve H. Çetinel,“Farklı Matris Kompozisyonları ve Takviye Oranları İçin Alüminyum Esaslı Kompozitlerin Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretimi ve Karakterizasyonu ”, *C.B.Ü. Fen Bilimleri Dergisi*, c.10, s.1, ss.45-53, 2014.
- [19] S. Y. Chong,H. V. Atkinson and H. Jones, “Effect of ceramic particle size, melt superheat, impurities and alloy conditions on threshold pressure for infiltration on SiC powder compacts by aluminium-based melts”, *Mat. Sci and Eng.*, vol. 173, pp. 233-237, 1993.
- [20] O. Meydanoglu, H. Mindivan, E. Kayalı ve H. Çimenoglu, “Sıcak Presle ÜretilenB₄C Takviyeli Alüminyum Matrisli Kompozitlerin Aşınma Davranışlarının İncelenmesi”, 11.Uluslararası Malzeme Sempozyumu, Denizli, Türkiye, 2006,
- [21] H. Hasırcı ve F. Gül,“B₄C/Al Kompozitlerin Takviye Hacim Oranına Bağlı Olarak Abrasif Aşınma Davranışlarının İncelenmesi ”,*SDU International Technologic Science*,vol. 2, no.1, pp.15-21, 2010.
- [22] R. İpek,“Adhesive wear behaviour of B₄C and SiC reinforced 4147 Al matrix composites (Al/B₄C–Al/SiC)”, *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 162-163, pp. 71-75, 2005.