



**Makale / Research Paper**

**Mekanik Alaşım Yöntemi ile Üretilen Farklı Miktarlarda ZrO<sub>2</sub> Takviyeli Al-2Gr Matrisli Kompozit Malzemelerin Aşınma Performanslarının İncelenmesi**

İjlal ŞİMŞEK\*

Karabük Üniversitesi, TOBB Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, 78050 Karabük/TÜRKİYE  
[ijlalispir@karabuk.edu.tr](mailto:ijlalispir@karabuk.edu.tr)

**Received/Geliş:** 05.05.2019

**Accepted/Kabul:** 16.07.2019

Öz: Bu çalışmada, mekanik alaşım yöntemi ile Al-2Gr matrise farklı miktarlarda ZrO<sub>2</sub> ilave edilerek üretilen kompozit malzemelerin farklı yükler altında aşınma performansı incelenmiştir. Alüminyum matrise hacimce %2 grafit ilave edildikten sonra, 4 farklı miktarda (%3, %6, %9 ve %12) ZrO<sub>2</sub> ilave edilmiştir. 60 dakika süre ile mekanik alaşımlanan kompozit tozlar, 700 MPa basınçla soğuk preslenerek ham parçalar üretilmiştir. Üretilen ham parçalar 600 °C sıcaklıkta argon ortamında 2 saat sinterlenmiştir. Sinterlenen ZrO<sub>2</sub> takviyeli alüminyum kompozit malzemeler, taramalı elektron mikroskobu, X-ışın kırınımı, mikro sertlik ve yoğunluk ölçümü ile karakterize edilmiştir. Aşınma testleri, ASTM G77 standardına göre blok on ring aşınma test cihazında 3 farklı yük altında (5, 10 ve 20 N), 0,6 ms<sup>-1</sup> kayma hızı ve üç farklı (53, 72 ve 94 m) kayma mesafesi kullanılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda, kompozit malzemelerin içerisinde artan ZrO<sub>2</sub> miktarı ile sertlik ve yoğunlukları artmaktadır. Aşınma testleri sonucunda, en yüksek ağırlık kaybı, takviyesiz Al-2Gr matris alaşımında elde edilirken, en düşük ağırlık kaybı ise %12 ZrO<sub>2</sub> ilaveli kompozit malzemelerde elde edilmiştir. Bununla birlikte artan takviye miktarı ile sürtünme katsayısında ise azalma olduğu görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Alüminyum matris kompozit; ZrO<sub>2</sub>; mekanik alaşım; aşınma

**Investigation of Wear Performance of Different Amounts ZrO<sub>2</sub> Reinforced Al-2Gr Matrix Composite Materials Produced by Mechanical Alloying Method**

**Abstract:** In this study, wear behavior of composite materials produced by adding different amounts of ZrO<sub>2</sub> to Al-2Gr matrix by mechanical alloying method was investigated. After adding 2% (vol.) graphite to the aluminum matrix, 4 different amounts (3%, 6%, 9%, and 12%) of ZrO<sub>2</sub> were added. The mechanically alloyed composite powders for 60 minutes were cold-pressed under 700 MPa pressure and green parts were produced. The green parts produced were sintered at 600 °C under argon for 120 minutes. The sintered ZrO<sub>2</sub> reinforced aluminum composite materials (AMCs) are characterized by the scanning electron microscope, X-ray diffraction, and hardness and density measurements. Wear tests were performed on a standard pin-on-disc wear testing device with three different loads (10-20-30 N) at a sliding speed of 0.6 ms<sup>-1</sup> and four different sliding distances (53, 72 and 94 m) according to ASTM G77 standard. As a result of the studies, the microhardness and density increases as the amount of ZrO<sub>2</sub> in the composite material increases. As a result of the wear tests, the highest weight loss was obtained in the non-reinforced Al-2Gr matrix alloy, while the lowest weight loss was obtained in 12% ZrO<sub>2</sub> reinforced composite materials. However, it was observed that there was a decrease in the friction coefficient with increasing amount of reinforcement.

**Keywords:** Aluminum matrix composite; ZrO<sub>2</sub>; mechanical alloying; wear

*Bu makaleye atıf yapmak için*

Şimşek, İ., "Mekanik Alaşım Yöntemi ile Üretilen Farklı Miktarlarda ZrO<sub>2</sub> Takviyeli Al-2Gr Matrisli Kompozit Malzemelerin Aşınma Performanslarının İncelenmesi" El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi 2019, 6(3); 594-605.

*How to cite this article*

Simsek, I., "Investigation of Wear Performance of Different Amounts ZrO<sub>2</sub> Reinforced Al-2Gr Matrix Composite Materials Produced by Mechanical Alloying Method" El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 2019, 6(3); 594-605.

## 1. Giriş

1990'ların başında çevresel kaygılar, artan güvenlik ve konfor gereksinimleri alüminyum ve alaşımları için bir dönüm noktası olarak görülmektedir. Özellikle otomotiv sektörü için ağırlığın azaltılması hem çevresel sorunlar hem de yakıt sarfiyatının azaltılması için alüminyum ve alaşımlarına önemli bir talep ortaya koymuştur. [1, 2]. Açığa çıkan bu talep özellikle hafif ve bunun yanı sıra spesifik mekanik özelliklere sahip malzemelerin geliştirilmesi, alüminyum matrisli kompozit (AMK) malzemelerin önemini de beraberinde getirmiştir [3, 4, 5]. Otomotiv sektörü ile birlikte sanayinin birçok alanında (havacılık sanayi, savunma sanayi vb. gibi) kullanılmakta olan AMK'ler hafiflikle birlikte yüksek mukavemet [6], düşük yoğunluk [7], iyi yorulma ve aşınma direncine [8, 9] sahiptir. Bunların yanı sıra bu kompozit malzemeler yüksek elastisite modülü, yüksek sertlik, iyi elektrik, termal iletkenlik ve iyi korozyon direnci gibi özelliklere de sahiptirler. Metal matrisli kompozit üretiminde farklı üretim yöntemleri olmasına rağmen yaygın olarak infiltrasyon, sıkıştırma döküm, karıştırmalı döküm [10, 11], püskürterek biriktirme [12] ve toz metalurjisi [13, 14] gibi yöntemler kullanılmaktadır. Tüm bu yöntemler arasında toz metalurjisi, düşük üretim maliyeti, yüksek tolerans ve çok az ihtiyaç duyulan ikinci işleme süreci gibi birçok avantajın yanı sıra yoğunlukları farklı matris ve takviye fazlarının homojen karışımının sağlanması gibi önemli bir avantajda sunmaktadır [15].

Zirkonyum oksit ( $ZrO_2$ ) yakıt hücresi teknolojisi [16], katalizör veya katalizör desteği [17], optik aynalar ve filtreler için koruyucu kaplama [18], seramik biyomalzeme [19] ve termal bariyer kaplama [20] gibi birçok uygulamada büyük ilgi görmektedir.  $ZrO_2$ 'nin kristal yapısı fiziksel özelliklerini önemli ölçüde etkiler. Allotropik özelliğe sahip olan  $ZrO_2$  yüksek sıcaklıklarda 2370 °C üzerinde kübik, 1150 °C'den 2370 °C'ye kadar tetragonal, 1150 °C'nin altındaki sıcaklıklarda ise monoklinik kristal yapıya sahiptir. Özellikle monoklinik yapıya sahip olan formunda,  $ZrO_2$  termodinamik olarak kararlı bir faz olarak bulunur [21]. Daha önce yapılan birçok çalışmada, kuru kayma sırasında metal/grafit kompozitlerde grafitin sürekli katı yağlayıcı tabakası oluşturduğu belirtilmektedir [22, 23, 24]. Bu durum, kompozitin kayma yüzeyi altında oluşan kayma gerilmesi büyüklüğünün azalmasına yardımcı olan, meydana gelen plastik deformasyonu hafifleten ve metal-metal temasını engelleyen grafit parçacıklarının kesilmesinin bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle oluşan bu tabaka iki kayma yüzeyi arasında yağlayıcı görevi görmekte, sürtünmeyi azaltmakta ve kompozitin aşınma direncini geliştirmektedir [25].

Yapılan bu çalışmada, mekanik alaşımlama yöntemi kullanılarak, Al-2Gr matrisine farklı miktarlarda  $ZrO_2$  takviyesi ilave edilerek kompozit malzemeler üretilmiştir. Üretilen kompozit malzemelerin yapısında in-situ  $Al_4C_3$  ve ex-situ  $ZrO_2$  miktarının kompozit malzemenin mikro yapı, sertlik ve aşınma performansı üzerindeki etkisinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

## 2. Deneysel Çalışmalar

Deneysel çalışmalarda ticari saflıkta 0-50 µm alüminyum tozu matris malzemesi olarak kullanılmıştır. Takviye malzemesi olarak 0-20 µm parçacık boyutunda  $ZrO_2$  ve grafit kullanılmıştır.

**Tablo 1.** Üretilen kompozit malzemelerin kimyasal bileşimi

Element	Al (%)	Grafit(%)	$ZrO_2$ (%)
1	98	2	---
2	95	2	3
3	92	2	6
4	89	2	9
5	86	2	12

Hacimsel olarak içerisinde %2 grafit ilave edilen tozlara, yine hacimsel olarak 4 farklı oranda (%3, %6, %9 ve %12) ZrO<sub>2</sub> ilave edilmiştir. Üretilen kompozit tozların bileşimi Tablo 1’de verilmiştir. Hazırlanan kompozit tozlar mekanik alaşımlanmış (MA) ve soğuk preslenerek Ø10x8 mm ölçülerinde ham numuneler üretilmiştir. MA işleminde planeter tip değirmen kullanılmıştır. Paslanmaz çelik öğütme hücrelerinde hazırlanan kompozit tozlar atmosfer ortamında, 10 mm’lik bilyeler ile 10:1 bilye toz oranı kullanılarak 60 dakika alaşımlanmıştır. Alaşımlama esnasında 30 dakikalık periyodlar arasında 10 dakika dinlendirilmiştir. Alaşımlama esnasında tozların topaklanmasını önlemek amacıyla işlem kontrol kimyasalı olarak 1 ml metanol kullanılmıştır. Elde edilen kompozit tozlar tek eksenli hidrolik pres kullanılarak, tek yönlü zımba ile 700 MPa basınç altında preslenmiştir. Kalıp içi yağlayıcı olarak çinko stearat kullanılmıştır. Üretilen ham numuneler 600 °C sıcaklıkta argon ortamında 120 dakika süre ile sinterlenmiş ve fırın içerisinde oda sıcaklığına soğutulmuştur. Mikro yapı incelemeleri için standart metalografik işlemler uygulanarak hazırlanan numuneler, 2 ml HF, 3 ml HCl, 20 ml HNO<sub>3</sub>, 175 ml H<sub>2</sub>O (Keller’s) solüsyonu kullanılarak 10-15 saniye süreyle dağlanmıştır. Dağlanan kompozit malzemelerin mikro yapı çalışmaları taramalı elektron mikroskobu ve element dağılım spektrometresi (SEM+EDS) ile incelenmiştir. Ayrıca üretilen kompozit malzemeler X-ışın kırınımı (XRD), sertlik ve yoğunluk ölçümleri ile karakterize edilmiştir. Yoğunluk ölçümleri Arşimet prensibine göre ölçülmüştür. Üç numune üzerinde yapılan yoğunluk ölçümlerinin ortalama değeri hesaplanmıştır. Vickers mikro sertlik ölçümleri HV2 olarak 10 saniye süre ile ölçülmüştür. Sertlik ölçümleri üç farklı numunede beş farklı noktadan alınmış ve ortalama değer hesaplanmıştır. Aşınma testleri ASTM G77 standardına göre blok on ring aşınma test düzeneğinde yapılmıştır. Testler 0,6 ms<sup>-1</sup> kayma hızında üç farklı yük (5 N, 10 N ve 20 N) altında, üç farklı yol (53 m, 72 m ve 94 m) kullanılarak yapılmıştır. Aşınma testleri öncesinde numune ve ring yüzeyi alkol ile temizlenmiştir. Aşınma testleri 3 farklı numunede yapılmış ve ağırlık kaybı değerleri ve sürtünme katsayısı değerleri için ortalama değer hesaplanmıştır. Aşınma testi sonrası aşınmış yüzey SEM görüntüleri ile incelenmiştir.

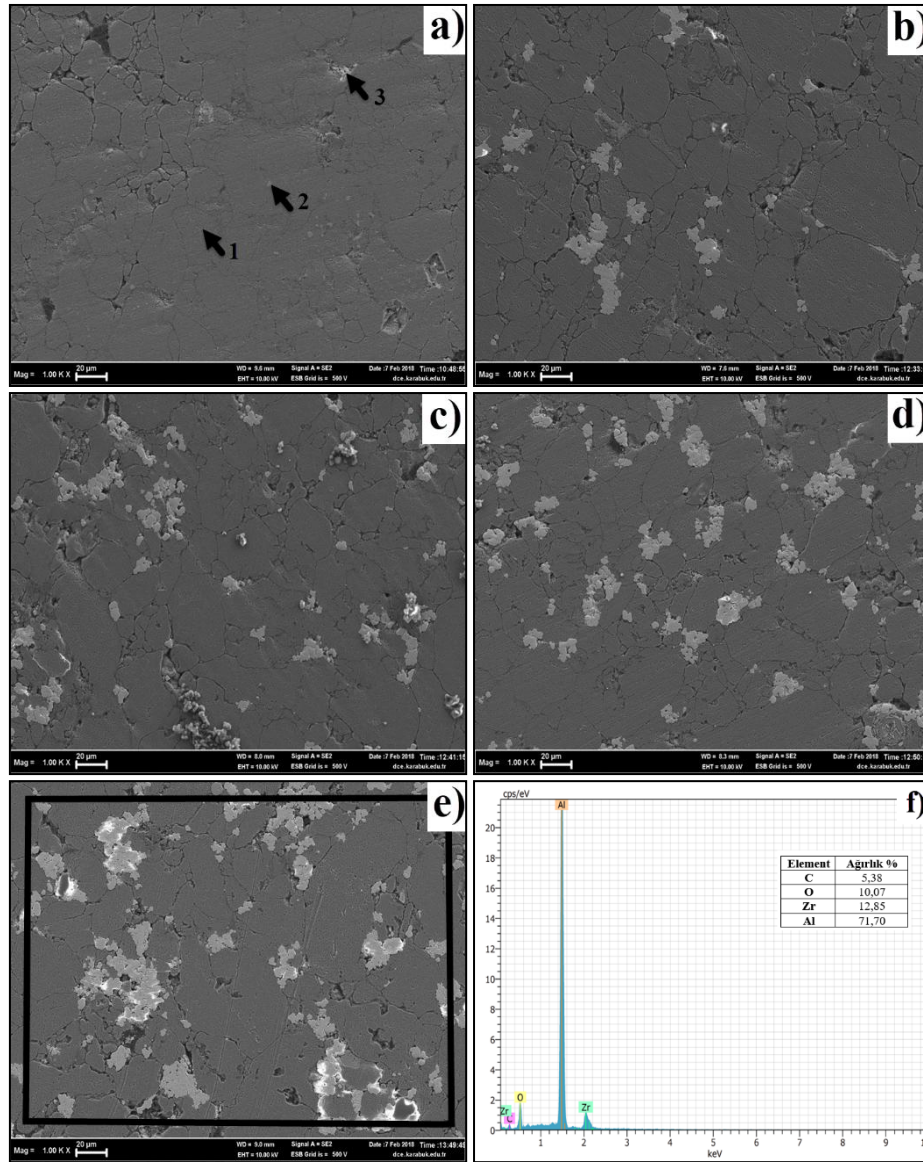
### 3. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Farklı miktarlarda ZrO<sub>2</sub> ilave edilen kompozit malzemelerin mikro yapı SEM görüntüleri ve geniş alan EDS analiz sonucu Şekil 1’de verilmiştir.

Şekil 1’de verilen Al-2Gr matris içerisine farklı miktarlarda ZrO<sub>2</sub> ilave edilerek üretilen kompozit malzemelerin SEM görüntüleri incelendiğinde, takviyesiz üretilen numunede (Şekil 1.a) grafit parçacıkları (gri bölgeler) net bir şekilde görülmektedir. Bununla birlikte yapıda bir miktar oksijen kirliliğinin de (beyaz bölgeler) olduğu anlaşılmaktadır. Tablo 2’de verilen Al-2Gr’ye ait nokta EDS analiz sonucu bu durumu desteklemektedir. Bunun yanı sıra takviye ilave edilen kompozit malzemelerde grafit parçacıkları net olarak görülememektedir. Bu durum alaşımlama esnasında enerji yüklü bilyelerin yanı sıra sert takviye elemanının da etkisi ile daha küçük parçacıklara ayrılması ile açıklanabilir. Bu durum yapılan daha önceki bir çalışmada yapıda daha küçük parçaların tamamen Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> bileşiğine dönüştüğü, iri parçaların ise yapıda grafit parçacığı olarak görüldüğü belirtilmektedir [26].

**Tablo 2.** Al-2Gr’ye ait nokta EDS analiz sonuçları

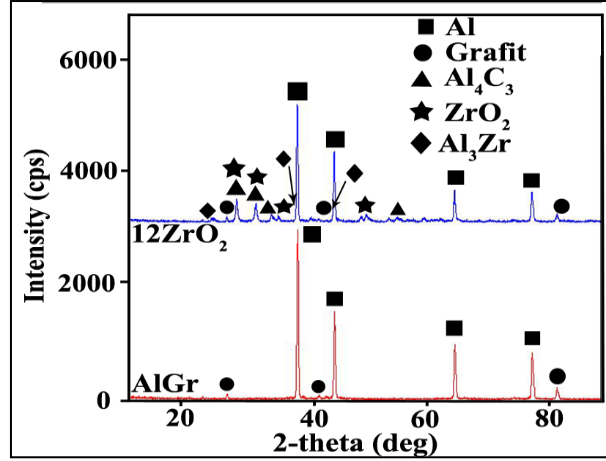
Konum	C	O	Al
1	4,64	2,14	93,22
2	12,15	6,62	81,23
3	3,97	93,99	2,04



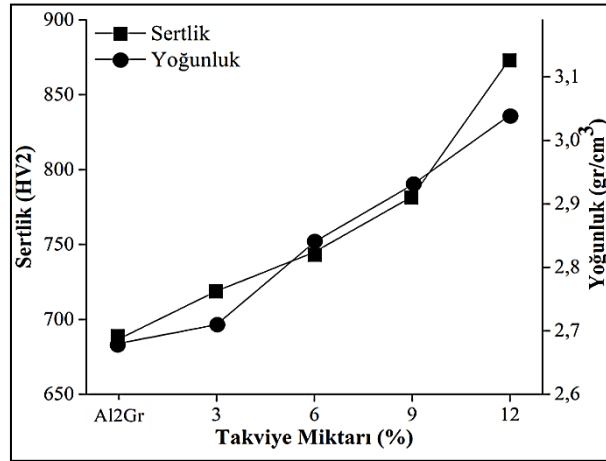
**Şekil 1.** Farklı miktarlarda  $ZrO_2$  ilave edilen kompozit malzemelerin mikro yapı SEM görüntüleri a) Al-2Gr, b) %3  $ZrO_2$ , c) %6  $ZrO_2$ , d) %9  $ZrO_2$ , e) %12  $ZrO_2$  ve f) %12  $ZrO_2$ 'e ait geniş alan EDS analiz sonucu

SEM görüntülerinden anlaşıldığı gibi takviye malzemesinin özellikle tane sınırlarında aglomera (açık gri bölgeler) olduğu görülmektedir. Daha önce yapılan bir çalışmada nano  $ZrO_2$  parçacık takviyeli üretilen kompozit malzemede benzer sonuçlar elde edildiği bildirilmiştir [27]. Al-2Gr ve %12  $ZrO_2$  takviye ilave edilen kompozit malzemelerin sinterleme sonrası XRD analiz sonucu Şekil 2'de verilmiştir.

Şekil 2'de Al-2Gr ve %12  $ZrO_2$  takviye ilave edilerek üretilen kompozit malzemelerin sinterleme sonrası XRD analiz sonucu incelendiğinde, alaşımın yapısında matris Al, takviye  $ZrO_2$ 'in yanı sıra  $Al_4C_3$  ve  $Al_3Zr$  bileşiğinin olduğu görülmektedir. Matris malzemesi olarak kullanılan Al-2Gr alaşımının yapısında ise  $Al_4C_3$  bileşiğine rastlanmamıştır. Ancak %12  $ZrO_2$  ilave edilen kompozit malzemenin yapısında bu bileşiğin olduğu XRD sonuçlarından anlaşılmaktadır. Bu durum alaşımlama esnasında yüksek enerjiye sahip bilyeler ile birlikte sert parçacıklarında etkisiyle daha küçük parçacıklara düşmesinden kaynaklandığı söylenebilir. Chu vd. [26] yaptıkları bir çalışmada, Al-C sisteminde küçük grafit parçalarının tamamen yapıda  $Al_4C_3$  bileşiğine dönüştüğünü iri parçaların ise yapıda iri grafit parçacıkları şeklinde kaldığı belirtilmektedir. Farklı miktarlarda  $ZrO_2$  takviye ilave edilen kompozit malzemelerin sertlik ve yoğunluk değişimleri Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 2. Al-2Gr ve % 12 ZrO<sub>2</sub> ilave edilen kompozit malzemelerin sinterleme sonrası XRD analiz sonucu



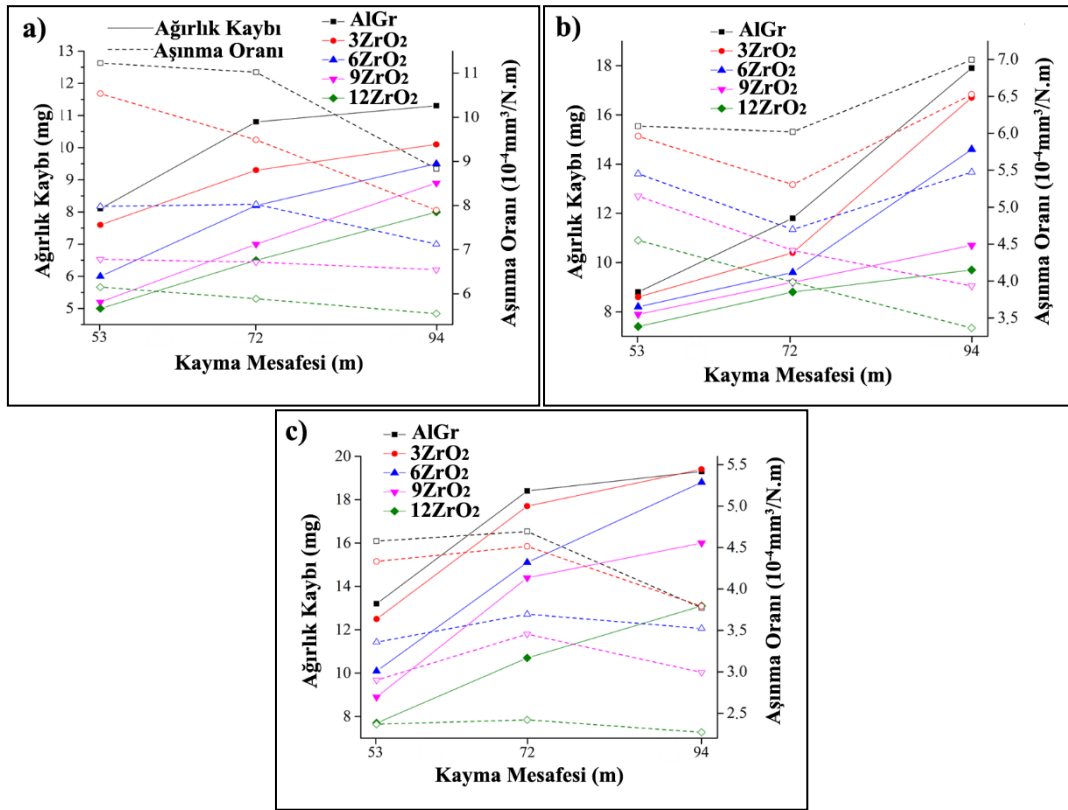
Şekil 3. Farklı miktarlarda ZrO<sub>2</sub> takviye ilave edilen kompozit malzemelerin sertlik ve yoğunluk değişimleri

Şekil 3'te verilen farklı miktarlarda ZrO<sub>2</sub> takviyeli kompozit malzemelerin yoğunluk değişimleri incelendiğinde, ilave edilen takviye miktarının artması ile yoğunluk değerlerinin arttığı görülmektedir. En düşük yoğunluk değeri Al-grafit matris malzemesinde 2,69 gr/cm<sup>3</sup> olarak elde edilirken, en yüksek yoğunluk değeri %12 ZrO<sub>2</sub> ilave edilen kompozit malzemede 3,06 gr/cm<sup>3</sup> olarak elde edilmiştir. Yoğunluğun artması beklenen bir durumdur. Takviye olarak kullanılan ZrO<sub>2</sub>'nin yoğunluğunun (5,68 gr/cm<sup>3</sup>) Al'un yoğunluğundan (2,72 gr/cm<sup>3</sup>) yüksek olması yoğunluk artışının temel nedenidir. Yine Şekil 3'te verilen sertlik grafiği incelendiğinde, artan takviye miktarına bağlı olarak sertlik değerlerinin arttığı görülmektedir. En düşük sertlik değeri Al-grafit matris malzemesinde 689 HV olarak elde edilirken, en yüksek sertlik değeri %12 ZrO<sub>2</sub> ilave edilen kompozit malzemede 878,93 HV olarak elde edilmiştir. Daha önce yapılan bazı çalışmalarda benzer sonuçlar elde edilmiştir [27-29]. Sertlik değerlerindeki bu artış, takviye olarak ilave edilen ZrO<sub>2</sub> miktarının yanı sıra kompozit malzemenin yapısında in-situ olarak sentezlenen Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> bileşiğinden kaynaklanmaktadır [30]. Arık [31], yaptığı çalışmada belirli bir süre mekanik alaşımlanan ve sinterlenen numunenin sertliğinde keskin bir artışın olduğunu, bu artışın yapıda oluşturulan Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> bileşiğinden kaynaklandığını belirtmiştir. Farklı miktarlarda ZrO<sub>2</sub> takviye ilave edilen kompozit malzemelerin ağırlık kaybı ve aşınma oranı Şekil 4'de verilmiştir.

Şekil 4'te verilen farklı miktarlarda ZrO<sub>2</sub> ilave edilen kompozit malzemelerin ağırlık kaybı sonuçları incelendiğinde, artan takviye miktarına bağlı olarak ağırlık kaybında azalma olduğu



anlaşılmaktadır. Aşınma esnasında, sertliği yüksek olan malzemede ağırlık kaybının düşük, sertliği düşük olan malzemede ağırlık kaybının yüksek olması beklenmektedir [32].



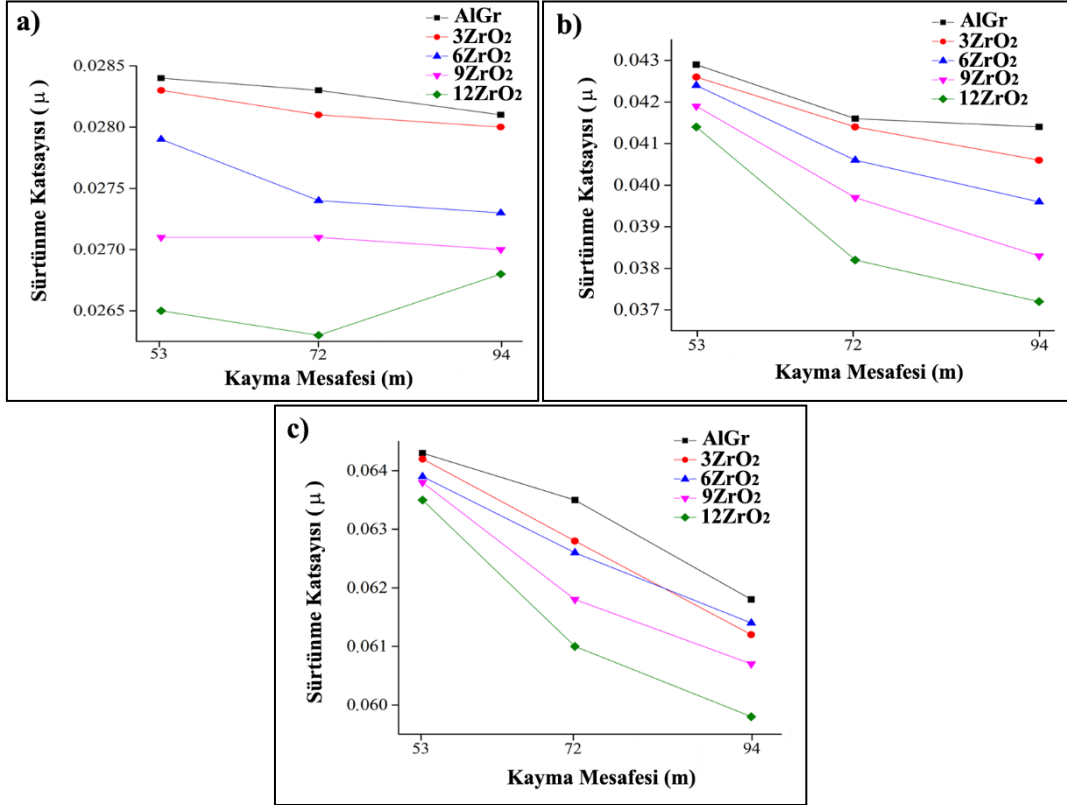
Şekil 4. Farklı miktarlarda ZrO<sub>2</sub> ilave edilen kompozit malzemelerin ağırlık kaybı ve aşınma oranı değişimi a) 5 N, b) 10 N ve c) 20 N

Şekil 3'te verilen sertlik sonuçları ve Şekil 4'te verilen ağırlık kaybı sonuçları bu durumu desteklemektedir. En yüksek ağırlık kaybı, sertliği en düşük olan Al-2Gr matris malzemesinde elde edilmiştir.

Bununla birlikte en yüksek sertliğin elde edildiği %12 ZrO<sub>2</sub> ilave edilen kompozit malzemede bütün yükler altında en düşük ağırlık kaybı elde edilmiştir. Bu durum matris içerisine ilave edilen ZrO<sub>2</sub> takviyesinin kompozit malzemelerin dayanımını artırmasından kaynaklanmaktadır [33]. Şekil 4'te verilen aşınma oranı sonuçları incelendiğinde, genel olarak bütün yükler altında, artan kayma mesafesi ile azalma eğiliminde olduğu anlaşılmaktadır. Ancak Şekil 4.b'de 72 m kayma mesafesinden sonra matris, %3 ve %6 ZrO<sub>2</sub> içeren kompozit malzemelerin aşınma oranlarında ani artışların olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum elde edilen ağırlık kayıpları ile uyumludur. Aşınma esnasında yüzeyden kopan iri aşınma parçaları ağırlık kaybı ile birlikte aşınma oranının da artmasına neden olduğu düşünülmektedir. Özyürek vd. [34], yarı katı kalıplama yöntemi ile ürettikleri SiC takviyeli Al matris kompozit malzemelerde ani ağırlık kaybı artışlarının aşınma sırasında numuneden kopan iri parçaların neden olduğunu belirtmişlerdir. Farklı miktarlarda ZrO<sub>2</sub> takviye ilave edilen kompozit malzemelerin sürtünme katsayıları Şekil 5'te verilmiştir.

Şekil 5'te verilen farklı miktarlarda ZrO<sub>2</sub> ilave edilen kompozit malzemelerin sürtünme katsayıları incelendiğinde, artan yük ile birlikte sürtünme katsayılarının arttığı anlaşılmaktadır. Sürtünme katsayıları artan kayma mesafesi ve artan takviye miktarına bağlı olarak azalmaktadır. Alpas ve Zhang [35], yaptıkları bir çalışmada, Al-Si matris içerisinde artan takviye miktarı ile sürtünme katsayısının azaldığını belirtmişlerdir.

Elde edilen sonuçlar beklenen bir durumdur. Sertliği yüksek olan malzeme yüzeyinde deformasyonun az olması sürtünme katsayısının azalmasına neden olmaktadır. Ayrıca matris içerisinde ilave edilen ZrO<sub>2</sub> parçacıkları pin ve aşınma disk temas yüzey alanını azaltarak çizilmeyi engelleyerek sürtünme katsayısının azalmasına neden olmaktadır [35].

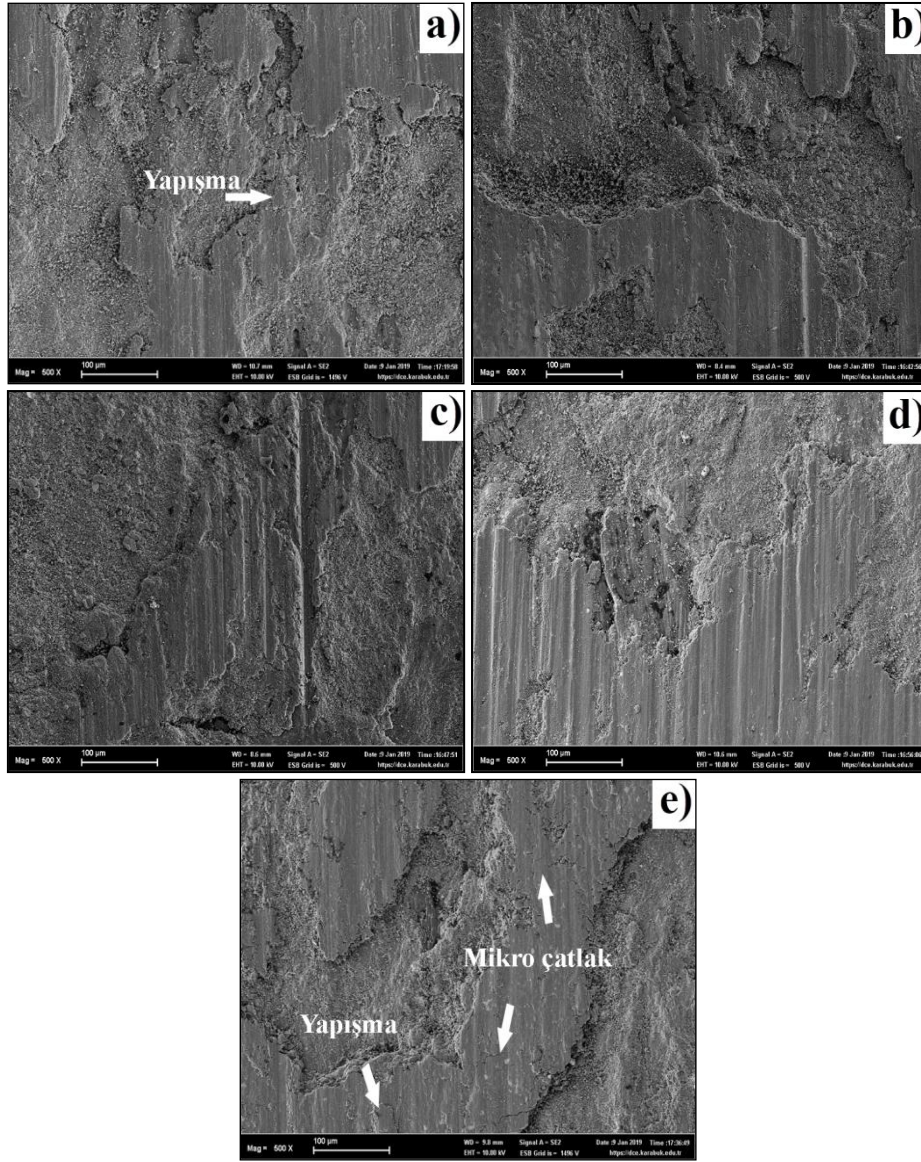


Şekil 5. Farklı miktarlarda ZrO<sub>2</sub> ilave edilen kompozit malzemelerin sürtünme katsayısı değişimi a) 5 N, b) 10 N ve c) 20 N

Şekil 6'da verilen aşınma yüzey SEM görüntüleri bu durumu desteklemektedir. Ayrıca aşınma esnasında disk numune kontakt yüzeyinde artan ısı etkisi ile oluşan oksit tabakası sürtünme katsayısının azalmasına neden olmaktadır. Al matrisli üretilen Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviyeli [8] ve nano ZrO<sub>2</sub> takviyeli [27] kompozit malzemelerin aşınma testlerinde, yüzeyde oluşan oksit tabakasının sürtünme katsayısını düşürdüğü belirtilmiştir. Bunun yanı sıra matris malzemesi içerisindeki grafitin katı yağlayıcı olarak görev yapması sürtünme katsayısının azalmasına diğer bir nedenidir. Kompozit malzemelerin yapısında bulunan grafit, sürtünme katsayılarının yüksek oranda azalmasına neden olmaktadır [25]. 20 N yük altında test edilen farklı miktarlarda ZrO<sub>2</sub> takviye ilave edilen kompozit malzemelerin aşınmış yüzey SEM görüntüleri Şekil 6'da verilmiştir.

Şekil 6'da verilen 20 N yük altında test edilen farklı miktarlarda ZrO<sub>2</sub> ilave edilen kompozit malzemelerin aşınmış yüzey SEM görüntüleri incelendiğinde, aşınma yüzeylerinde meydana gelen deformasyon izleri ve yüzeyde oluşan dökülmeler açık bir şekilde görülmektedir. Özellikle ZrO<sub>2</sub> içermeyen matris malzemesinde (Şekil 6.a) dökülmeler ile birlikte yüzeye tekrardan yapışmaların olduğu açık bir şekilde görülmektedir. Ayrıca takviye miktarının artmasına bağlı olarak plastik deformasyon izlerinin de azaldığı anlaşılmaktadır. %12 ZrO<sub>2</sub> içeren kompozit malzemede (Şekil 6.e) deformasyon izlerindeki azalma net bir şekilde anlaşılmaktadır.

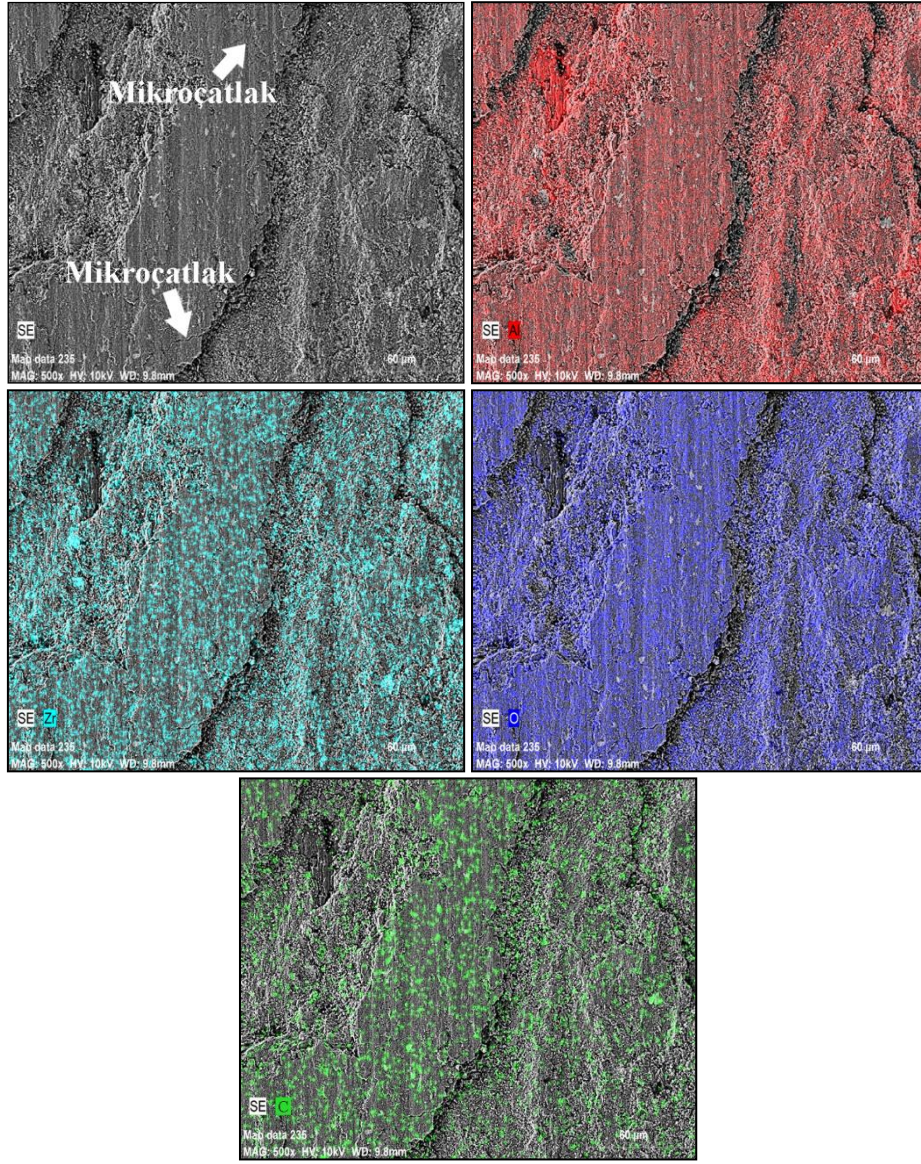
Elde edilen aşınmış yüzey SEM görüntüleri Şekil 5.c'de verilen sürtünme katsayısı sonuçlarını desteklemektedir. Bunun yanı sıra yine aynı numunede yorulmadan kaynaklı mikro çatlaklar açık bir şekilde görülmektedir. Şekil 7'de %12 ZrO<sub>2</sub> ilave edilen kompozit malzemenin aşınmış yüzey EDS (mapping) sonuçları verilmiştir.



**Şekil 6.** 20 N yük altında test edilen farklı miktarlarda ZrO<sub>2</sub> ilave edilen kompozit malzemelerin aşınmış yüzey SEM görüntüleri a) Al-2Gr, b) %3 ZrO<sub>2</sub>, c) %6 ZrO<sub>2</sub>, d) %9 ZrO<sub>2</sub>, e) %12 ZrO<sub>2</sub>

Şekil 7’de verilen %12 ZrO<sub>2</sub> ilave edilen kompozit malzemenin aşınmış yüzey EDS (mapping) sonuçları incelendiğinde, malzeme yüzeyinde meydana gelen plastik deformasyonla birlikte bölgesel dökülmeler görülmektedir. Bununla birlikte yüzeyde mikro çatlakların oluştuğu anlaşılmaktadır. Yüzeyde meydana gelen dökülmeler, aşınma testinin başlangıcı ile birlikte yüzeyin hemen altında oluşan gerilemeler ile artan kayma mesafesi ile birlikte mikro çatlakların ilerlemesi sonucunda meydana gelmektedir. EDS (mapping) sonuçlarından numune yüzeyinde oksit tabakasının oluştuğu anlaşılmaktadır. Oluşan bu oksit tabakası özellikle sürtünme katsayısının azalmasında baskın bir faktördür [36]. Bununla birlikte yine EDS (mapping) sonuçlarından aşınma yüzeyinde homojen bir dağılım sergileyen grafitin (C) sürtünme yüzeyinde katı yağlayıcı olarak görev yapması ile numune yüzeyinde koruyucu bir etki sağlamaktadır. Bu durum üretilen kompozit malzemenin aşınma direncini olumlu olarak etkilemektedir. Daha önce yapılan bazı çalışmalarda, kompozit yapısında grafit bulunması, yüzeyde katı yağlayıcı olarak görev yapması ve bu nedenle AMK’lerin aşınma direncini artırdığı belirtilmektedir [37, 38].





Şekil 7. %12 ZrO<sub>2</sub> ilave edilen kompozit malzemenin aşınmış yüzey EDS (mapping) sonuçları

#### 4. Sonuçlar

Toz metalürjisi yöntemi ile Al-2Gr matrise farklı miktarlarda ZrO<sub>2</sub> ilave edilerek üretilen kompozit malzemelerin aşınma performansının değerlendirildiği bu çalışmada, elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilmiştir.

- Al-2Gr-ZrO<sub>2</sub> kompozit malzemelerde, ilave edilen ZrO<sub>2</sub> takviyesinin beklendiği şekilde homojen bir dağılım sergilemediği, özellikle tane sınırlarında aglomera (topaklanma) olduğu belirlenmiştir.
- Al-2Gr ve %12 ZrO<sub>2</sub> ilave edilen kompozit malzemelerin sinterleme sonrası XRD sonuçlarında matris malzemesinde Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> bileşiğinin olduğu, bununla birlikte %12 ZrO<sub>2</sub> ilave edilen kompozit malzemenin yapısında ise Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> ile birlikte Al<sub>3</sub>Zr bileşiğinin de olduğu belirlenmiştir.
- Üretilen kompozit malzemelerin sertliklerinin ve yoğunluklarının ilave edilen ZrO<sub>2</sub> miktarı artışına bağlı olarak arttığı belirlenmiştir.
- Aşınma testleri sonucunda en yüksek ağırlık kaybının matris malzemesinde (Al-2Gr) olduğu, artan ZrO<sub>2</sub> miktarı ile birlikte ağırlık kaybının azaldığı belirlenmiştir.

- Aşınma testleri sunucunda en yüksek sürtünme katsayısı matris malzemesinde (Al-2Gr) olduğu, matris içerisinde artan ZrO<sub>2</sub> miktarına bağlı olarak sürtünme katsayısında azalma olduğu tespit edilmiştir.

## Kaynaklar

- [1]. Hassan, S.F., Gupta, M., Development of high strength magnesium based composites using elemental nickel particulates as reinforcement, *Journal of Materials Science*, 2002, 37(12), 2467-2474.
- [2]. Gökmeşe, H., Bostan, B., AA 2014 alaşımında presleme ve sinterlemenin gözenek morfolojisi ve mikroyapısal özelliklere etkileri, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 2013, 1(1), 1-8.
- [3]. Girish, K.B., Shobha, B.N., Synthesis and mechanical properties of zirconium nano-reinforced with aluminium alloy matrix composites, *Materials Today Proceedings*, 2018, 5(1), 3008-3013.
- [4]. Gupta, M., Lai, M.O., Saravanaranganathan, D., Synthesis, microstructure and properties characterization of disintegrated melt deposited Mg/SiC composites, *Journal of Materials Science*, 2000, 35(9), 2155-2165.
- [5]. Yamamoto, T., Sasamoto, H., Inagaki, M., Extrusion of Al based composites. *Journal of Materials Science Letters*, 2000, 19, 1053-1064.
- [6]. Chawla, N., Shen, Y.L. Mechanical behavior of particle reinforced metal matrix composites. *Advanced Engineering Materials*, 2001, 3(6), 357-370.
- [7]. Bagherzadeh, E.S., Dopita, M., Mütze, T., Peuker, U. A., Morphological and structural studies on Al reinforced by Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> via mechanical alloying, *Advanced Powder Technology*, 2015, 26(2), 487-493.
- [8]. Özyürek, D., Tekeli, S., Güral, A., Meyveci, A., Gürü, M., Effect of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> amount on microstructure and wear properties of Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> metal matrix composites prepared using mechanical alloying method, *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, 2010, 49(5-6), 289-294.
- [9]. Girisha, K.B., Chittappa, H.C., Wear performance and hardness property of A356. 1 Aluminium alloy reinforced with zirconium oxide nano particle, *International Journal of Engineering Sciences & Research Technology*, 2014, 3(6), 725-731.
- [10]. Wannasin, J., Flemings, M.C., Fabrication of metal matrix composites by a high-pressure centrifugal infiltration process, *Journal of Materials Processing Technology*, 2005, 169(2), 143-149.
- [11]. Rajan, T.P.D., Pillai, R.M., Pai, B.C., Reinforcement coatings and interfaces in aluminium metal matrix composites, *Journal of Materials Science*, 1998, 33(14), 3491-3503.
- [12]. Hesabi, Z.R., Simchi, A., Reihani, S.S., Structural evolution during mechanical milling of nanometric and micrometric Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> reinforced Al matrix composites, *Materials Science and Engineering, A*, 2006, 428(1-2), 159-168.
- [13]. Şimşek, İ., Şimşek, D., Özyürek, D., Production and characterization of Al-SiC composites prepared by mechanical milling and pressureless sintering, *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 2019, 8(1), 227-233.
- [14]. Ay, H., Özyürek, D., Yıldırım, M., Bostan, B., The effects of B<sup>4</sup>C amount on hardness and wear behaviours of 7075-B<sub>4</sub>C composites produced by powder metallurgy method, *Acta Physica Polonica, A*, 2016, 129(4), 565-568.
- [15]. Arifin, A., Sulong, A.B., Muhamad, N., Syarif, J., Ramli, M.I., Material processing of hydroxyapatite and titanium alloy (HA/Ti) composite as implant materials using powder metallurgy a review, *Materials & Design*, 2014, 55, 165-175.
- [16]. Park, S., Vohs, J.M., Gorte, R. J., Direct oxidation of hydrocarbons in a solid-oxide fuel cell, *Nature*, 2000, 404(6775), 265.

- [17]. Li, Y., He, D., Cheng, Z., Su, C., Li, J., Zhu, Q., Effect of calcium salts on isosynthesis over ZrO<sub>2</sub> catalysts, *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 2001, 175(1-2), 267-275.
- [18]. Zhang, Q., Shen, J., Wang, J., Wu, G., Chen, L., Sol-gel derived ZrO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> highly reflective coatings, *International Journal of Inorganic Materials*, 2000, 2(4), 319-323.
- [19]. Piconi, C., Maccauro, G., Zirconia as a ceramic biomaterial, *Biomaterials*, 1999, 20(1), 1-25.
- [20]. Rahaman, M.N., Gross, J.R., Dutton, R.E., Wang, H., Phase stability, sintering, and thermal conductivity of plasma-sprayed ZrO<sub>2</sub>-Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> compositions for potential thermal barrier coating applications, *Acta Materialia*, 2006, 54(6), 1615-1621.
- [21]. Gao, P., Meng, L.J., Dos Santos, M.P., Teixeira, V., Andritschky, M., Study of ZrO<sub>2</sub>-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> films prepared by rf magnetron reactive sputtering, *Thin Solid Films*, 2000, 377, 32-36.
- [22]. Ames, W., Alpas, A.T., Wear mechanisms in hybrid composites of graphite-20 Pct SiC in A356 aluminum alloy (Al-7 Pct Si-0.3 Pct Mg), *Metallurgical and Materials Transactions A*, 1995, 26(1), 85-98.
- [23]. Kestursatya, M., Kim, J.K., Rohatgi, P.K., Wear performance of copper-graphite composite and a leaded copper alloy, *Materials Science and Engineering: A*, 2003, 339(1-2), 150-158.
- [24]. Yang, J. B., Lin, C.B., Wang, T.C., Chu, H.Y., The tribological characteristics of A356, 2Al alloy/Gr (p) composites, *Wear*, 2004, 257(9-10), 941-952.
- [25]. Baradeswaran, A., Perumal, A.E., Wear and mechanical characteristics of Al 7075/graphite composites, *Composites Part B: Engineering*, 2014, 56, 472-476.
- [26]. Chu, H.S., Liu, K.S., Yeh, J.W., Damping behavior of in situ Al-(graphite, Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub>) composites produced by reciprocating extrusion, *Journal of Materials Research*, 2001, 16(5), 1372-1380.
- [27]. Ramachandra, M., Abhishek, A., Siddeshwar, P., Bharathi, V., Hardness and wear resistance of ZrO<sub>2</sub> nano particle reinforced Al nanocomposites produced by powder metallurgy, *Procedia Materials Science*, 2015, 10, 212-219.
- [28]. Baghchesara, M.A., Baharvandi, H.R., Abdizadeh, H., Investigation on mechanical properties and surfaces fracture of Al/ZrO<sub>2</sub> composite, In *International Conference on Smart Materials and Nanotechnology in Engineering (Vol. 6423, p. 642368)*. International Society for Optics and Photonics, 2008, January.
- [29]. Mandal, A., Das, K., Das, S., Characterization of microstructure and properties of Al-Al<sub>3</sub>Zr-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composite, *Bulletin of Materials Science*, 2016, 39(4), 913-924.
- [30]. Aksöz S., Özdemir A.T., Bostan B., AA2014 alüminyum alaşım tozlarının karbon ile sentezlenmesi ve özelliklerinin belirlenmesi, *J. Fac. Eng. Archit. Gaz.*, 27 (1), 109-115, 2012.
- [31]. Arik, H., Production and characterization of in situ Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> reinforced aluminum-based composite produced by mechanical alloying technique, *Materials & Design*, 2004, 25(1), 31-40
- [32]. Şimşek, İ., Yıldırım, M., Özyürek, D., Şimşek, D., Basınçsız infiltrasyon yöntemiyle üretilen SiO<sub>2</sub> takviyeli alüminyum kompozitlerin aşınma davranışlarının incelenmesi, *Politeknik Dergisi*, 2019, 22(1), 81-85.
- [33]. Alpas, A.T., Zhang, J., Effect of SiC particulate reinforcement on the dry sliding wear of aluminium-silicon alloys (A356), *Wear*, 1992, 155(1), 83-104.
- [34]. Özyürek, D., Kalyon, A., Yıldırım, M., Tuncay, T., Ciftci, I., Experimental investigation and prediction of wear properties of Al/SiC metal matrix composites produced by thixomoulding method using artificial neural networks, *Materials & Design*, 2014, 63, 270-277.
- [35]. Ghandvar, H., Farahany, S., Idris, M. H., Daroonparvar, M., Dry sliding wear behavior of A356-ZrO<sub>2</sub> metal matrix composite, In *Advanced Materials Research (Vol. 1125, pp. 116-120)*. Trans Tech Publications, 2015.
- [36]. Dursun, Ö., Tansel, T., Hatice, E., İbrahim, Ç., Synthesis, characterization and dry sliding wear behavior of in-situ formed TiAl<sub>3</sub> precipitate reinforced A356 alloy produced by mechanical alloying method, *Materials Research*, 2015, 18(4), 813-820.

- [37]. Ravindran, P., Manisekar, K., Kumar, S.V., Rathika, P, Investigation of microstructure and mechanical properties of aluminum hybrid nano-composites with the additions of solid lubricant, *Materials & Design*, 2013, 51, 448-456.
- [38]. Omrani, E., Moghadam, A.D., Menezes, P.L., Rohatgi, P.K., Influences of graphite reinforcement on the tribological properties of self-lubricating aluminum matrix composites for green tribology, sustainability, and energy efficiency-a review, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2016, 83(1-4), 325-346.