

AKÜ FEMÜBİD 22 (2022) 015701 (207-213)

AKU J. Sci. Eng. 22 (2022) 015701 (207-213)

DOI: 10.35414/akufemubid.1035296

Araştırma Makalesi / Research Article

## Silisyum Karbür (SiC) ile Güçlendirilmiş Çinko-Alüminyum (ZA40) Alaşımının Aşınma Parametrelerinin İncelenmesi

Emre Deniz YALÇIN<sup>1\*</sup>, Aykut ÇANAKÇI<sup>2</sup><sup>1\*</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Sürmene Abdullah Kanca Meslek Yüksekokulu, Trabzon.<sup>2</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği, Trabzon.

\*Sorumlu yazar e-posta: emredenizyalcin@ktu.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-9691-1017>  
e-posta: aykut@ktu.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-5244-6467>

Geliş Tarihi: 10.12.2021

Kabul Tarihi: 02.02.2022

### Öz

Bu çalışma kapsamında matris malzemesi çinko-alüminyum (ZA40) alaşım tozları içerisine takviye olarak silisyum karbür (SiC) tozları katılarak malzeme üretiminde ileri bir teknik olan toz metalürjisi (T/M) yöntemi ile ZA40/SiC kompozit numuneler üretilmiştir. Takviye miktarı olarak ZA40 matris içerisine SiC oranı ağırlıkça % 0-0,5-1-1,5 ve 2 olarak belirlenmiştir. Üretim aşamasında tozlar gezegen tipinde bilyeli öğütücüde 400 rpm devirde koruyucu argon atmosferi altında, oda sıcaklığında 2 saat mekanik alaşımlama işlemine tabi tutulmuştur. Karıştırılan tozlar 600 MPa basınç altında 500 °C sıcaklıkta 3 saat boyunca sıcak pres (hot pres) yöntemi ile sinterlenmiştir. Rijit hale getirilen tozlar sertlik ve yoğunluk değerleri alındıktan sonra ball on disk aşınma deney düzeneğinde 200 rpm devirde 100 metre yol olarak 10 ve 20N yükler altında aşınma dayanımları, ağırlık kayıpları ve sürtünme katsayıları hesaplanarak irdelenmiştir. Aşınma deneylerinden sonra numunelerin detaylı SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) resimleri incelenip oluşan hasarlara bakılarak aşınma etkileri belirlenmiştir. Sonuçlar göre artan SiC takviyesinin kompozitlerin fiziksel ve mekanik özelliklerini değiştirmiş olup aşınma dayanımına önemli katkılar sunduğu görülmüştür.

### Anahtar kelimeler

ZA40; Silisyum karbür;  
Toz Metalürjisi;  
Aşınma; Sürtünme  
katsayısı

## Investigation of Wear Parameters of Silicon Carbide (SiC) Strengthened Zinc-Aluminium (ZA40) Alloy

### Abstract

In this study, ZA40/SiC composite samples were produced by adding silicon carbide (SiC) powders as reinforcement into the matrix material zinc-aluminium (ZA40) alloy powders by powder metallurgy method, which is an advanced technique in material production. As the amount of reinforcement, the ratio of SiC into the ZA40 matrix was determined as 0-0.5-1-1.5 and 2 wt. %. In the production phase, the powders were mechanically alloyed in a planetary ball mill at 400 rpm under a protective argon atmosphere for 2 hours at room temperature. The mixed powders were sintered under 600 MPa pressure at 500 °C for 3 hours by hot press method. After taking the hardness and density values of the powders made rigid, they were examined by calculating their wear resistance, weight losses and friction coefficients under 10 and 20N loads, traveling 100 meters at 200 rpm in a ball-on-disk abrasion test setup. After the wear tests, detailed SEM (Scanning Electron Microscope) images of the samples were examined and the effects of wear they were exposed to was determined by looking at the damage. According to the results, it was seen that increasing SiC reinforcement changed the physical and mechanical properties of the composites and made significant contributions to the wear resistance.

### Keywords

ZA40; Silicone carbide;  
Powder Metallurgy;  
Wear; Friction  
coefficient

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

### 1. Giriş

Çinko Alüminyum (Zn-Al) alaşımları uygun ekonomik değeri başta olmak üzere düşük ergime sıcaklığı, iyi işlenebilirlik ve üstün tribolojik özellikleri dikkate

alındığında pirinç, dökme demir ve alüminyumun arasından sıyrılarak dizaynırların ve tasarımcı mühendislerin hemen dikkatini çekmektedir (Ranganath et al. 2001). Özellikle 1960 ve 1970 yıllarında ZA8-ZA12-ZA27-ZA33-ZA40 ve ZA48 serisi

Zn-Al alaşımlar geliştirilmiştir. Bu alaşımlar 100 °C üzeri çalışma sıcaklıklarında bazı mekanik özelliklerinin bozulması sebebiyle sınırlı uygulamalara sahiptir. Zn-Al alaşımların en önemli alaşım elementlerinden biri olması sebebi ile değişik oranlarda seramik esaslı takviye malzemeleri katılarak ileri mühendislik özelliklerine sahip yeni malzemeler üretmek mümkün olmaktadır (Yan et al. 2010). Silisyum karbür (SiC) takviye malzemesi olarak özellikle otomotiv ve havacılık sanayisinde piston kolları, aks mili, yaylar, transmisyon kutusu, giriş destek yapıtları ve tribün kanatları gibi parçalarda kullanılmaktadır (Trumper 1987). ZA27 ve SiC ile ilgili yapılan bir çalışmada ise ZA27 matrisine ağırlıkça % 1,5 SiC, % 0,5 oranında grafit katılarak oluşturulan ZA27/SiC/Gr kompozit numunelerin pin on disk aşınma cihazında 20-40 ve 60N yükler altında mekanik özellikleri ve aşınma davranışları incelenmiştir. Elde edilen verilere göre; mikro sertlik ve kopma gerilmesinde bir artış oluşmuştur. Bununla birlikte aşınma sonrası oluşan ağırlık kayıpları kompozitlerde matris malzemesine göre daha az oranda çıkmıştır (Kumar 2018). ZA27 matris alaşımına hacimce % 1 oranında grafit ve % 1, % 2, % 3 ve % 4 oranında nano alümina ( $Al_2O_3$ ) ekleyerek üretilen hibrit nanokompozitlerin blok on disk tipindeki aşınma cihazında yağsız koşullarda 10-15-20 ve 25N yükler altında 100-150-200 ve 250 rpm devirde aşınma özellikleri araştırılmıştır. Sonuçlara göre artan alümina miktarı ile hibrit kompozitlerin aşınma direncinde artış meydana gelmiş en iyi aşınma direncinin % 1 grafit ve % 4 alümina katılan numunede olduğu görülmüştür. Ayrıca matris alaşımının aşınma mekanizmasında plastik deformasyon görülürken hibrit yapıdaki numunelerde mikro çatlaklar ve delaminasyon aşınması görülmüştür (Güler et al. 2018). SiC partiküllerinin AA 2014 alüminyum matris alaşımına katılarak oluşturulan kompozitlerin sürtünme ve aşınma özelliklerinin incelendiği bir çalışmada en iyi aşınma direncinin % 2 SiC takviyesi içeren kompozit numunede olduğu görülmüştür (Aksöz et al. 2014). Son zamanlarda yapılan bir çalışmada toz metalürjisi tekniği ile üretilmiş ZA27/Grafen/ $B_4C$  hibrit nanokompozitlerin kuru yağsız ortamda, aşınma davranışları incelenmiş ve farklı yüklerde (1, 2, 5 ve 10N) ball on disk tipi aşınma cihazı kullanılarak

tribolojik testler yapılmıştır. Sonuçlara göre  $B_4C$  nanoparçacık içeriğindeki artışın hibrit nanokompozitlerin aşınma özelliklerini olumlu yönde etkileyebileceğini göstermiştir (Yalçın and Çanakçı 2020). ZA27 matris malzemesine SiC ve grafit katkısı ile oluşturulan hibrit numunelerin kuru sürtünme ortamında aşınma davranışlarını inceleyen bir çalışmada, yapılan SiC ve grafit katkısının kompozitlerin aşınma dayanımını oldukça iyileştirdiği görülmüştür (Miloradovic et al. 2021). Bu çalışmada metal matrisli ZA40 alaşımına SiC takviyesi ile kompozit yeni bir malzeme geliştirilmesi ve özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. ZA40 alaşımının çinko esaslı olması sebebiyle kullanımlarını sınırlayan en büyük etken, yüksek sıcaklıklarda mekanik ve tribolojik özelliklerinin istenilen düzeyde olmamasıdır. Bu sebeple bu çalışma kapsamında bu alaşımlara farklı oranlarda katılan SiC takviyesinin; içyapı, mekanik ve tribolojik özellikler üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

## **2. Materyal ve Metot**

Çalışmada matris malzemesi olarak kullanılan ZA40 alaşım tozları İki El Metal Tozları Sanayi firmasından, SiC tozları ise Alfa Aesar firmasından temin edilmiştir. Numuneler Çizelge 1’de belirtildiği gibi kodlanmıştır. Hazırlanan tozlara Retsch PM 200 marka ve modelde bilyeli öğütücüde (gezegen tipli) 2 saat argon atmosferi altında 400 rpm devirde mekanik alaşımlama işlemi uygulanmıştır. Mekanik alaşımlama işlemi; 10 mm çapında tungsten karbür malzemedan imal edilmiş bilyeler kullanılmış olup bilye: toz ağırlık oranı 5:1 olarak gerçekleştirilmiştir. Çinko stearat ilavesi ağırlıkça % 0,5 oranında topaklanmayı önlemek için kullanılmıştır (Yalçın and Çanakçı 2020). Sinterleme işlemi için toz karışımları sıcak presleme işlemine tabi tutulmuştur. Sıcak presleme öncesinde numunelere 300 MPa basınçta, 1 dakika sürede soğuk ön presleme işlemi uygulanmıştır. Hemen sonrasında ileri yoğunlaştırma için 600 MPa basınç altında ve 500 °C de 3 saat sıcak preslenmeye (hot pres) tabi tutularak farklı takviye oranlarında ham numuneler üretilmiştir. Numunelerin sertlik ölçümleri 31.25 kgf yük kullanılarak Brinell sertlik değeri ile belirlenmiştir. Numunelerin yoğunlukları ve

porozite oranları Arşimet metodu kullanılarak hesaplanmıştır. Aşınma testlerinden önce kompozitlerin yüzeyleri parlatma işlemine tabi tutulup düz yüzeyler elde edilmiştir. Aşınma dayanım testleri Şekil 1'de gösterilen ball on disk aşınma mekanizmasında gerçekleştirilmiştir. Aşındırıcı bilye olarak 10 mm çapı olan H11 takım çeliğinden imal edilmiş bilyeler seçilmiştir. Aşınma testleri 10 ve 20N yük altında, 200 rpm hızda ve 100 metre kayma mesafesinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlarla her bir numunenin aşınan yol boyunca sürtünme katsayıları ve ağırlık kayıpları incelenmiştir. Aşınma testlerinden sonra numunelerin SEM görüntüleri Zeiss Evo LS-10 marka model cihazda, incelenerek oluşan aşınma türleri irdelenmiştir. Numunelerin EDS analizlerinde Oxford instrument x-act marka model cihazda Aztec 3.3 SP1 programı kullanılarak takviyelerin matris içerisinde dağılımı incelenmiştir.

**Çizelge 1.** Numunelerin kodlaması ve takviye oranları

Numune Kodu	Mekanik		
	Alaşım (h)	ZA40 (%)	SiC (%)
Z-0	2	100	0
Z-0,5	2	99,5	0,5
Z-1	2	99	1
Z-1,5	2	98,5	1,5
Z-2	2	98	2



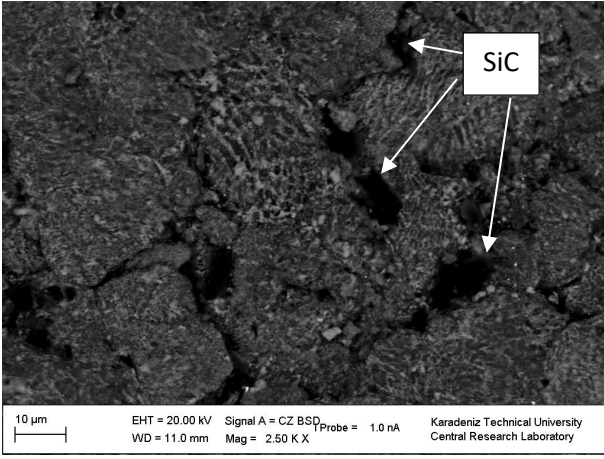
**Şekil 1.** Ball on disk aşınma deney düzeneği

### 3. Bulgular ve Tartışma

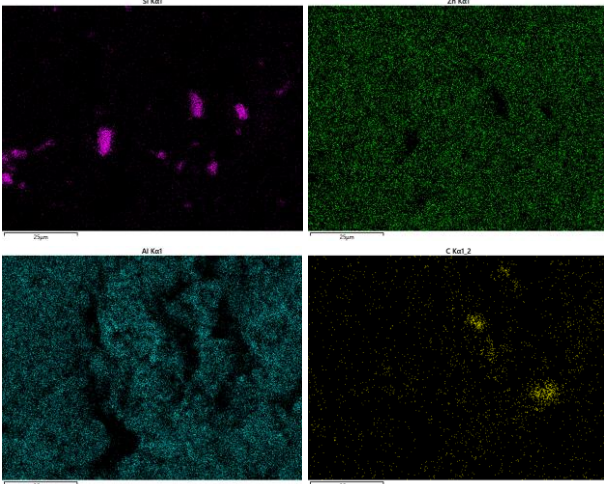
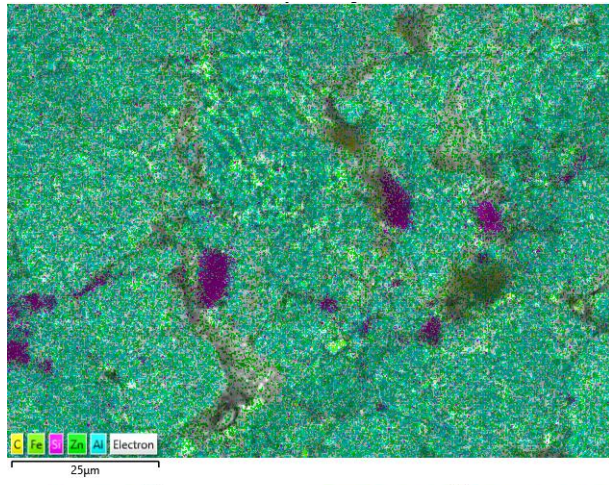
ZA40/SiC kompozit tozlarının T/M yöntemiyle üretilmesinden ve yapılan mikroyapı, sertlik, porozite, aşınma, sürtünme ve aşınmış yüzey incelemelerinden elde edilen veriler aşağıda analiz edilerek tartışılmıştır.

#### 3.1. Mikroyapı

Üretilen kompozit numunelerde SiC parçacıklarının ZA40 tozları içerisinde olabildiğince homojen olarak dağılması, matris içerisinde gömülmesini sağlamak için 2 saatlik bir mekanik alaşımlama süresini belirlenmiştir. Şekil 2'de 2.50 K.X büyütmede silisyum karbür (SiC) parçacıklarının, ZA40 matris alaşımı içerisinde gömülü olarak açık şekilde görülmektedir. Zn-Al alaşım serisi kompozitlerde yüksek bir performans ve iyi bir çalışma aralığı elde etmek isteniyorsa takviye partiküllerinin matris içerisinde olabildiğince homojen dağılması ve bununla birlikte takviye partikülleri ve matris arasında iyi bir ara yüzey bağının oluşturulması şarttır (Yalçın et al. 2019). Şekil 3'de % 2 SiC takviyeli Z-2 kompozitine ait SEM-EDS analizi element dağılımları gösterilmiştir. Bu içyapılara sarı, kırmızı, yeşil ve mavi bölgeler sırasıyla C, Si, Zn ve Al elementlerinin dağılımını göstermektedir. Şekil 2 ve 3'de görüldüğü gibi yeterli bir homojen dağılım söz konusu değildir. Yapılan benzer bir çalışmada, kompozitlerin EDS analizlerinde % 2 SiC takviyesinde Si ve C elementlerin homojene yakın dağılım gösterdiği fakat % 4 SiC takviyesinde ise Si ve C elementlerinin tane sınırları üzerine kümelendiği gözlemlenmiştir (Aksöz and Bostan 2018). Homojeniteyi artırmak için mekanik alaşımlama süresini artırılabilir ve bilye: toz oranı, değiştirilebilir fakat bu seferde kompozitlerin mekanik ve tribolojik özelliklerinde düşük sertlik, iyi sinterlenememe ve zayıf aşınma direnci gibi istenmeyen olumsuzluklar oluşabilmektedir (Güler et al. 2020).



Şekil 2. Z-1,5 kompozitinin 2.50K X SEM görüntüsü



Şekil 3. Z-2 kompozitinin SEM-EDS analizi

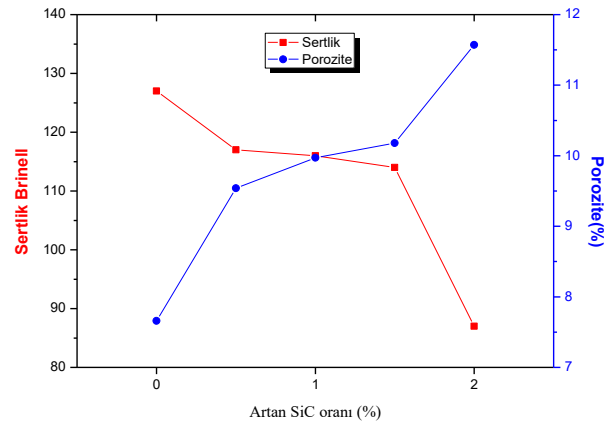
### 3.2. Porozite ve Sertlik

Çizelge 2 ve Şekil 4' de ZA40 ve takviyeli kompozitlerin sertlik değerleri ve porozite miktarları verilmiştir. Artan SiC takviyesinin porozite miktarını artırdığı, sertlik miktarını ise düşürdüğü belirgin bir şekilde görülmüştür. Matris malzemesinde % 7,66 ölçülen porozite miktarı % 0,5 SiC takviyesi ile % 9,54 değerine yükselmiş % 2 SiC takviyesi ile en yüksek

değer olan % 11,57 değerine ulaşmıştır. Burada Z-0,5 numunesi kompozitler arasında en düşük porozite miktarına sahip numunedir. Buradan Z-0,5 numunesinin diğer kompozitlere göre daha az aglomerasyona sahip olduğunu söylenebilir. Özellikle takviye miktarının artması tozların aglomerasyonunu artırmış olup tane sınırlarının büyümesine yol açmıştır (Akgöz et al. 2012). Burada paketlenme faktörünün etkisinin olduğu düşünülmektedir. Sertlik değerlerini Çizelge 2 ve Şekil 4' de incelediğimizde 127 HB ölçülen matrisin sertlik değeri takviye oranlarının artmasıyla doğrusal bir şekilde azaldığı görülmüştür. SiC takviyesinin kompozitlerin sertlik değerleri üzerindeki etkisinin sinterleme süresi ile doğru orantılı olduğunu söylenebilmektedir (Şap 2021). En düşük sertlik değeri 87 HB ile takviye oranının en yüksek olduğu Z-2 numunesinde görülmüştür. Sertlik değerlerinin azalmasında, porozite miktarının artmasının etkili olduğunu açıkça söylemek mümkündür. Özellikle Z-1,5 ile Z-2 numunesi arasındaki artan porozite miktarındaki fark, bu kompozitlerin sertlik değerlerindeki düşüş ile ters orantılı bir şekilde açıkça görülmektedir.

Çizelge 2. Numunelerin porozite ve sertlik değerleri

Numune Kodu	Porozite (%)	Sertlik Brinell (HB)
Z-0	7,66	127
Z-0,5	9,54	117
Z-1	9,97	116
Z-1,5	10,18	114
Z-2	11,57	87



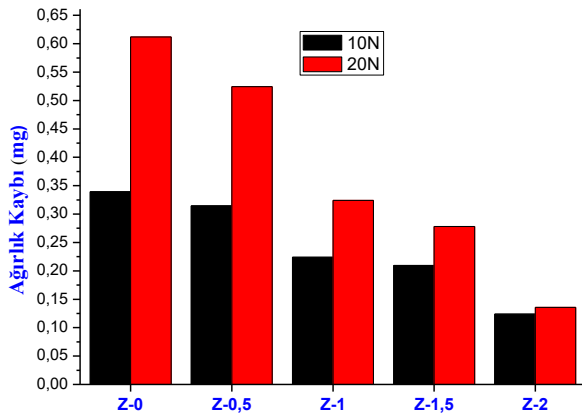
Şekil 4. Numunelerin sertlik ve porozite değerleri

### 3.3. Aşınma

Çizelge 3 ve Şekil 5 incelendiğinde matris ve kompozitlerin 10 ve 20N yük altındaki ağırlık kayıpları verilmiştir. Her iki yük altında da kompozitlerin ağırlık kayıpları matris malzemesinden daha az olmuştur. Bunun nedeni olarak ZA40 matrisi içerisindeki SiC sert parçacıkların yağlayıcılık özelliğinin etkili olduğu kanısına varılmıştır. Yük miktarını artırdığımız zaman ağırlık kayıpları da doğrusal bir artış göstermiştir. % 2 SiC takviyesi içeren Z-2 numunesi 10N yük altında 0,1238 mg ile en az ağırlık kaybının geldiği kompozit olarak belirlenmiştir. SiC partiküllerin ZA40 matrisi içerisindeki dağılımı, matris malzemesi ve SiC partikülleri arasında oluşan ara yüzey reaksiyonları ve bağlar haricinde aşınma davranışlarını etkileyen kaliteli bir unsurdur.

Çizelge 3. Numunelerin ağırlık kayıpları

Numune Kodu	10N Ağırlık Kaybı (mg)	20N Ağırlık Kaybı (mg)
Z-0	0,3392	0,6119
Z-0,5	0,3144	0,5243
Z-1	0,2241	0,3241
Z-1,5	0,2094	0,2781
Z-2	0,1238	0,1357



Şekil 5. Numunelerin farklı yüklerdeki ağırlık kayıpları

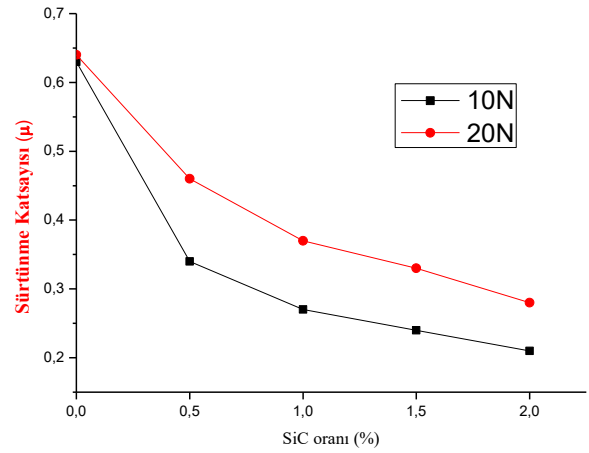
### 3.4. Sürtünme

Çizelge 4 ve Şekil 6'da sürtünme katsayısı değerlerini incelediğimizde artan SiC takviyesinin kompozitlerdeki sürtünme katsayı değerlerini düşürdüğü görülmüştür. Artan yükte birlikte sürtünme katsayılarında artış gözlenmiştir. Artan takviye oranlarında sürtünme kuvvetinin azalması, aynı şekilde azalan ağırlık kayıplarıyla birbirini desteklemektedir. En düşük sürtünme katsayısı Z-2

numunesinde 10N yük altında gerçekleşmiş olup 0,21  $\mu$  olarak ölçülmüştür. Her iki yük altında da Z-2 kompoziti en düşük sürtünme katsayısı değerlerini vermiştir. Buradan matris içerisindeki sert parçacık olan SiC takviyesinin, yağlayıcılık görevi yaptığı ve kompozitlerin yük taşıma kapasitesini artırdığını söylemek mümkündür.

Çizelge 4. Numunelerin Sürtünme katsayısı değerleri

Numune Kodu	10N Sürtünme Katsayısı ( $\mu$ )	20N Sürtünme Katsayısı ( $\mu$ )
Z-0	0,63	0,64
Z-0,5	0,34	0,46
Z-1	0,27	0,37
Z-1,5	0,24	0,33
Z-2	0,21	0,28

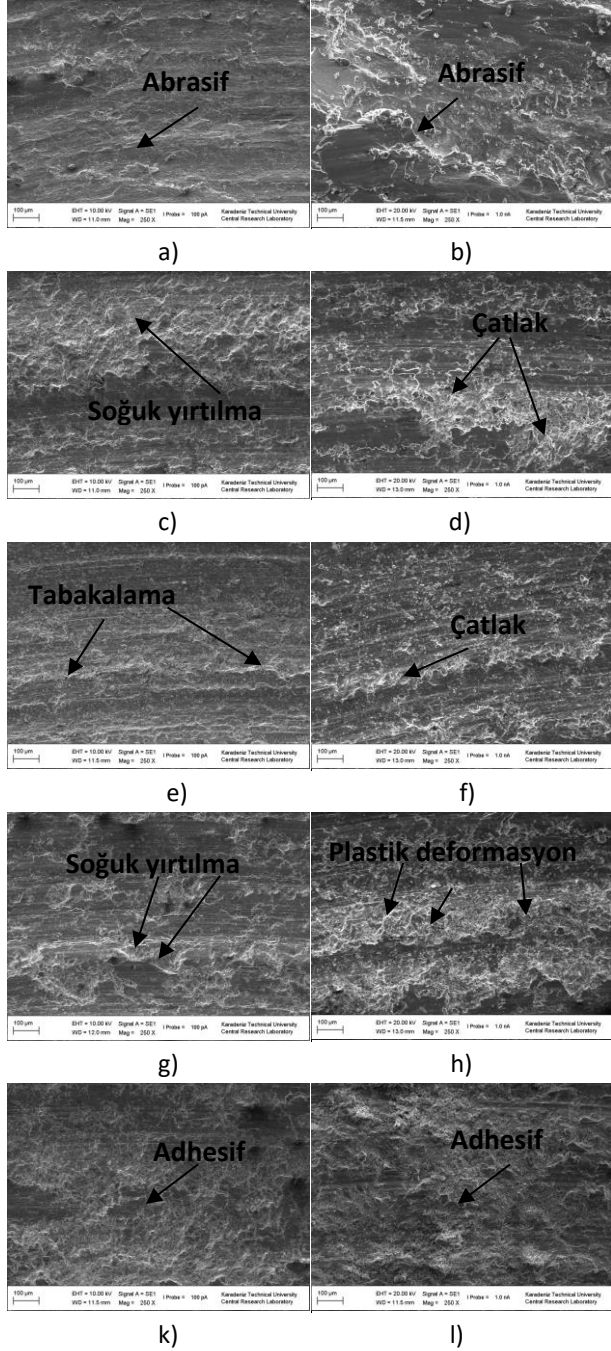


Şekil 6. Numunelerin farklı yüklerdeki sürtünme katsayıları

### 3.5. Aşınmış Yüzey İncelemeleri

Şekil 7'de ZA40 ve kompozitlerin 10 ve 20N yükler altında detaylı SEM görüntüleri verilmiştir. Özellikle artan yüklerdeki aşınma izleri, aşınmanın yönü ile aynı doğrultuda olup daha belirgin ve ayırt edici bir şekilde görüntülerde belirlenmiştir. 10N altındaki yüklerde tabakalama ve soğuk yırtılmalar, 20N yük de ise çatlaklar ve plastik deformasyonlar görülmüştür. SEM görüntülerinde 20N yük ile yapılan aşınma testlerinde 100 m yol boyunca daha numune yüzeylerinden daha fazla partikül kopmuş fakat kopan partiküller tekrar kompozit numunelerin yüzeyine kuvvetli bir şekilde yapışmış ve aşınma mekanizması içinde soğuk kaynak gerçekleştirmiştir. ZA40 matris alaşımında abrasif aşınma mekanizması olduğunu açıkça söylemek mümkündür. H11 çelik uç kendisinden daha yumuşak olan matris yüzeyinden büyük parçalar

kopartarak aşınma mekanizmasını tamamlar. Sert bir malzeme kendisinden çok daha yumuşak bir malzeme üstünde kuvvet uygulanarak bastırıldığında, sert malzemedeki aşındırıcı yüzey yumuşak malzeme üstünde lokalize plastik akış oluşturur (Lipson and Colwell 1961). Özetle kompozitler içindeki SiC oranı artış gösterdikçe aşınma mekanizması abrasif aşınmadan adhesif aşınmaya doğru değişim göstermiştir.



**Şekil 7.** ZA40 matris ve kompozitlerin 10 ve 20N yüklerdeki aşınma yüzeyleri SEM görüntüleri a) Z-0 10N, b) Z-0 20N, c) Z-0,5 10N, d) Z-0,5 20N, e) Z-1 10N, f) Z-1 20N, g) Z-1,5 10N, h) Z-1,5 20N, k) Z-2 10N, l) Z-2 20N

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada ZA40 matris malzemesine SiC ile güçlendirme yapılarak T/M ve sıcak pres tekniği ile numuneler üretilmiş olup mekanik özellikleri ve aşınma parametreleri incelenmiştir. Yapılan çalışmanın sonuçları aşağıda sıralanmıştır.

1- Kompozit tozların mekanik alaşımlamadan sonra elde edilen mikroyapı sonuçları incelendiğinde; SiC parçacıklarının ZA40 alaşım matrisi içerisinde ideal bir şekilde dağıldığı öğütme süresi 2 saat olarak belirlenmiştir.

2-ZA40/SiC kompozitlerin yoğunlukları artan takviye oranları ile azalmış olup bununla birlikte porozite değerleri artış göstermiştir. En düşük ZA40 matris alaşımında % 7,66 ile ölçülen porozite miktarı Z-2 kompozitinde % 11,57 ölçülerek en yüksek değerini almıştır.

3- Sertlik verileri takviye oranlarının artması ile azalmış olup en düşük sertlik 87 HB değeri ile Z-2 kompozitinde, en yüksek sertlik değeri de 127 HB ile ZA40 matrisinde ölçülmüştür.

4- Bütün numunelerde ball-on-disk aşınma deneyi sonucunda ağırlık kayıpları artan yük ile artış göstermektedir. En yüksek ağırlık kaybı; ZA40 alaşımında 20N yük altında 0,6119 mg. olarak ölçülmüştür. En düşük ağırlık kaybı ise Z-2 kompozitinde 10N yük altında 0,1238 mg. olarak ölçülmüştür.

5- Bütün kompozit numunelerde ZA40 alaşımına göre daha az bir sürtünme katsayısı ölçülmüştür. En yüksek sürtünme katsayısı 20N yük altında ZA40 matris alaşımında 0,64  $\mu$  olarak ölçülürken en düşük olarak da Z-2 kompozitinde 10N altında 0,21  $\mu$  olarak ölçülmüştür. SiC takviyesi aşınma testlerinde oluşan sürtünmeyi azaltmıştır.

6- Aşınma sonrasında incelen SEM görüntülerinde aşınma mekanizmasında değişiklikler olmuştur. Özellikle artan SiC takviyesinin aşınma türünü abrasif aşınmadan adhesif aşınmaya doğru değiştirdiği görülmüştür.

7- Çalışmada kompozitler için kullanılan takviye oranları arasında en iyi olan SiC takviyesinin % 2 olduğu görülmüştür.

Çalışmanın sonuçlarından yola çıkarak; mekanik alaşımlama süresinde artışa gidilebilir fakat ZA40 matris tozların morfolojilerinin ve mekanik özelliklerin bozulmaması göz önünde bulundurulmalıdır. Metal matrisli kompozitler oluşturmak için daha farklı yağlayıcılık özelliği bulunan başka seramik takviyeler kullanılabilir. Ball on disk aşınma deney düzeneğinde farklı yol, yük ve devir sayıları denenebilir. Farklı aşınma deney düzenekleri (pin on disk ve blok on disk) ile daha farklı sonuçlar karşılaştırılabilir.

#### **Teşekkür**

Bu çalışmaya SEM görüntülerinde ve deneysel analizlerde katkılar sağlayan Karadeniz Teknik Üniversitesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü ve Merkez Laboratuvarı akademik personeline teşekkür ederim.

#### **5. Kaynaklar**

Aksöz, S., Özdemir, A. T., & Bostan, B. (2012). AA2014 Alüminyum Alaşım Tozlarının Karbon ile Sentezlenmesi ve Özelliklerinin Belirlenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **27(1)**, 109-115.

Aksöz, S., Bican, O., Çalın, R., & Bostan, B. (2014). Effect of T7 heat treatment on the dry sliding friction and wear properties of the SiC-reinforced AA 2014 aluminium matrix composites produced by vacuum infiltration. *Journal of Engineering Tribology*, **228(3)**, 312-319.

Aksöz, S., Bostan, B. 2018. Effects of Ageing and Cryo-ageing Treatments on Microstructure and Hardness Properties of AA2014-SiC MMCs. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, **71**, 2035-2042.

Güler O., Çuvalcı H., Gökdag M. , Çanakçı A., Çelebi M., 2018. Tribological behavior of ZA27/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/graphite hybrid nanocomposites, *Particulate Science and Technology*, **7**,899-907.

Güler, O., Çelebi, M., Dalmiş, R, Çanakçı A, Çuvalcı H, 2020. Novel ZA27/B<sub>4</sub>C/Graphite Hybrid Nanocomposite-Bearing Materials with Enhanced Wear and Corrosion Resistance, *Metallurgical and Materials Transactions A*, **51**, 4632-4646.

Kumar N. S. 2018. Mechanical and Wear Behavior of ZA-27/SiC/Gr Hybrid Metal Matrix Composites. *Materials Today: Proceedings*, **5**, 19969-19975.

Lipson, C., Colwell, L.V., 1961, "Handbook of Mechanical Wear", University of Michigan, 277-278

Miloradovic N., Vujanac R., Stojanovic B., Pavlovic A. 2021. Dry sliding wear behaviour of ZA27/SiC/Gr hybrid composites with Taguchi optimization. *Composite Structures*, **262**,113658

Ranganath G., Sharma SC., Krishna M. 2001. Dry sliding wear of garnet reinforced zinc/aluminium metal matrix composites. *Wear*; **(251)**,1408-1413.

Şap, E. (2021). Güçlendirilmiş Bakır Esaslı Kompozit Malzemelerin Mikroyapı ve Sertlik Özellikleri, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **11(1)** , 590-598.

Trumper, R. L., 1987. Metal Matrix Composites-Applications and Prospects, *Metals and Materials*, **3** 662- 667.

Yan S., Xie J., Liu Z., Wang W., Wang A., Li J., 2010. Influence of Different Al Contents on Microstructure, Tensile and Wear Properties of Zn-based Alloy. *Journal of Materials Science & Technology*, **26(7)**, 648-652.

Yalçın E. D. , Çanakçı A. , Erdemir F. , Çuvalcı H. , Karabacak A. H. 2019. Enhancement of Wear and Corrosion Resistance of ZA27/Nanographene Composites Produced by Powder Metallurgy, *Arabian Journal for Science and Engineering*. **44**, 1437-1445.

Yalçın, E.D., Çanakçı, A., 2020. Corrosion and Wear Performance of ZA27/graphene/B<sub>4</sub>C Hybrid Nanocomposites Produced by Powder Metallurgy, *Acta Metallurgica Slovaca*, **26(3)**: 126-131.