

# Mekanik Alaşımlama ile Üretilmiş Çinko-Alüminyum (ZnAl) Alaşımlarının Kuru Sürtünmeli Aşınma Davranışlarının İncelenmesi

Alper Melih ATAÇ<sup>1,\*</sup>, Dursun ÖZYÜREK<sup>2</sup>, Ahmet GÜRAL<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Anabilim Dalı

<sup>2</sup>Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü

<sup>3</sup>Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü

Başvuru:09/05/2014 Düzeltme: 12/05/2014 Kabul: 12/05/2014

## ÖZET

Bir spex öğütücüde mekanik alaşımlamayla farklı bileşimlere sahip ZA alaşım tozları hazırlanmıştır. Mekanik alaşımlama 5 ila 8 saat uygulanmış ve bilya toz oranı ise ağırlıkça 10:1 olarak tutulmuştur. Mekanik öğütülmüş/alaşımlanmış tozlar 320 °C sıcaklıkta sıcak şekillendirilmiş ve aynı sıcaklıkta 2 saat sürede sinterlenmişlerdir. Sinterleme işlemi sonrasında, ZA alaşımlarının kuru sürtünme aşınma testleri bir disk üzeri aşınma test cihazında gerçekleştirilmiştir. Tüm numuneler için aşınma yükü, kaydırma hız ve toplam kaydırma mesafesi sırasıyla 10 N, 1m/s ve 600 m olarak uygulanmıştır. ZA alaşımlarının vickers sertlik değerleri artan Alüminyum oranına bağlı olarak ~78 HV değerinden ~145 HV değer arasında değişim göstermiş, ancak bu değerler öğütme zamanına bağlı olarak sabit kalmıştır. Aşınma hacim oranı ve sürtünme katsayıları artan Alüminyum oranı ve sertliğe bağlı olarak düştüğü görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Mekanik alaşımlama, Sinterleme, Çinko-Alüminyum alaşımı, Kuru sürtünmeli aşınma

## ABSTRACT

ZA alloy powders having different compositions were prepared by mechanical alloying in a spex mill. The mechanical alloying was applied 5 to 8 h and the ball to powder weight ratio was kept at 10:1 by weight. The mechanical milled/alloyed powders were warm-compacted at 320 °C and were sintered at the same temperature for 2 h. After the sintering process, the dry sliding wear test of the ZA alloys were conducted on a pin on disc wear testing machine. The wear load, the sliding speed and total sliding distance were sustained at 10 N, 1 m/s and 600 m respectively for all specimens. The Vickers hardness values of the ZA alloys varied from ~78 HV to ~145 HV depending on the increase in Aluminum content; however these values were steady by increasing milling time. It was seen that the wear volume rate and the sliding coefficient decreased as a consequence of increasing Aluminum content and hardness.

**Keywords:** Mechanical alloying, Sintering, Zinc-Aluminum alloy, Dry sliding wear

## 1. GİRİŞ

Mekanik alaşımlama (MA), döküm ve sıcak şekillendirme gibi geleneksel üretim yöntemleri ile üretimi zor veya sınırlı olan alaşımların toz halinde karıştırılarak üretimini sağlayan bir katı hal işlemidir [1-3]. İşlem çeşitli kombinasyonlar da ve farklı mikro yapılar sahip her türlü malzemenin üretiminde kullanılan özel bir toz metalurjisi yöntemidir. MA işleminde karıştırma sırasında çarpışan bilyelerin arasında kalan toz parçacıklarının soğuk kaynaklanmaları sonucu katmanlaşması, yeniden deformasyonu, kırılması ve toz parçacıklarının kısa mesafeli difüzyonu ile işlemler tekrarlanmaktadır [3,4]. Bu yöntemle her türlü metal alaşımı ve parçacık takviyeli metal matris kompozit malzemelerin üretimi mümkündür [2,5-7].

Çinko-Alüminyum esaslı alaşımlar, yüksek aşınma dayanımına sahip olmaları, özgül mukavemetlerinin yüksek olması, üretimlerinin kolay ve ekonomik olması ve aşırı yüklenme, yetersiz yağlama ve yüksek hızlı çalışma koşullarında bile ideal tribolojik davranış sergilemektedir [9-11]. Söz konusu alaşımlardan üretilen yataklar, daha çok düşük hız ve aşırı yüklemenin söz konusu olduğu uygulamalarda tercih edilmektedir [9,11,12]. Bu alaşımlar, kaymalı yatak üretiminden başka, mühendislik amaçlı bazı parçaların üretiminde de gittikçe artan oranda kullanılmaktadır [13,14]. Örneğin, otomobillerde kullanılan karbüratör parçaları, silindir kapağı, dişli kutusu kapakları, motor ayakları, biyel kolu ve jant gibi parçalar bu alaşımlardan üretilmektedir [8,14,15]. Birbirleriyle temas yüzeyi bulunan iki malzeme arasında meydana gelen bağlı hareket ile malzeme temas yüzeylerinde aşınma

meydana gelmektedir. Genel olarak aşınma, sürtünme halinde bulunan yüzeylerde mekanik etkenler ile istenmediği halde meydana gelen aşınma kaybı olarak tanımlanmaktadır [16]. Bu çalışmada, Zn, Al ve Cu tozları, birlikte mekanik alaşımlanarak ZA-8, ZA-12 ve ZA-27 Çinko-Alüminyum alaşımları üretilmiştir. Sıcak presleme ve sinterleme işlemlerinden sonra bu malzemelerin kuru sürtünmeli aşınma davranışları incelenerek, ZA alaşımlarında Al miktarının alaşımların aşınma davranışı üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

## 2. DENEYSEL METOT

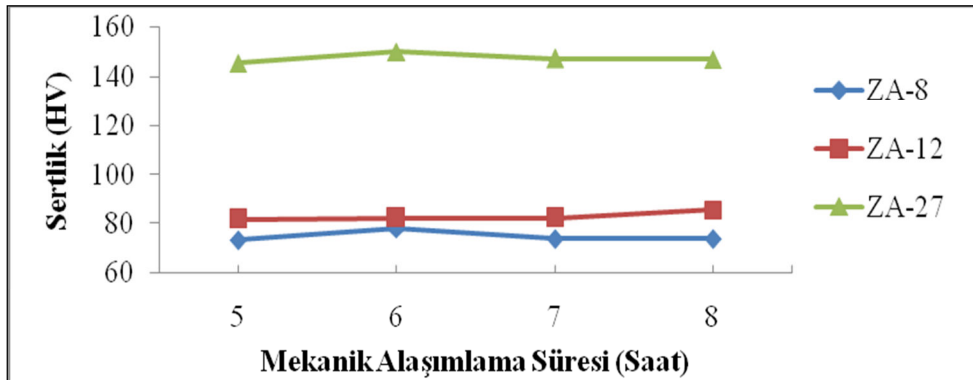
Kuru sürtünmeli aşınma davranışlarının belirlenmesi amacıyla çinko-alüminyum alaşımlarından Çizelge 1’de verildiği gibi ZA-8, ZA-12 ve ZA-27 alaşımlarına uygun kimyasal bileşimde mekanik alaşımlama yöntemiyle numuneler hazırlandı. Mekanik alaşımlama işlemleri Spex tipi mekanik alaşımlama cihazında 10:1bilya-toz oranı ve 5 ila 8 saat öğütme süresinde yapıldı. Üretilen Çinko-Alüminyum alaşım tozları 10 mm çapında ve 6 mm yüksekliğinde olacak şekilde 320 °C’de 625 MPa basınç altında sıcak preslenerek üretildi. Hazırlanan numunelerin sinterleme işlemi yine aynı sıcaklıkta 320 °C’de 2 saat süre ile yapıldı. Bu süre sonunda fırın içerisinde oda sıcaklığına soğutuldu. Üretilen numunelerin aşınma testleri pin-on-disk tipi aşınma cihazında kuru ortamda gerçekleştirildi. Karşılık malzemesi olarak 52 RSD-C sertliğinde çelik disk kullanıldı. Aşınma testleri 10 N yük altında, 1 m/s’lik kayma hızında ve toplamda 600 m kayma mesafesinde yapıldı. Her test sonunda numuneler 1/10000 g hassasiyetindeki terazi ile tartılarak ağırlık kayıpları ölçüldü.

Çizelge 1. Çinko-Alüminyum alaşımlarının kimyasal bileşimi

Kimyasal bileşim (% ağırlıkça)			
Alaşım	Al	Cu	Zn
ZA-8	8,4	1	90,6
ZA-12	11	0,87	88,13
ZA-27	27,5	2,2	70,3

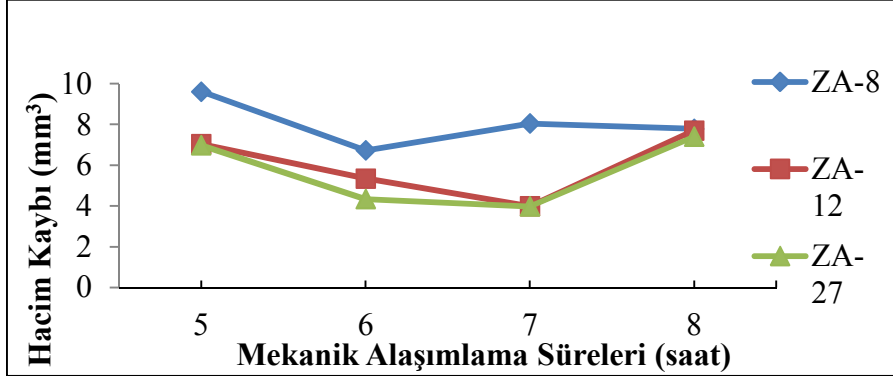
## 3. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Şekil 1’de mekanik alaşımlama yöntemiyle üretilen çinko-alüminyum alaşımlarının sertlik değerleri verilmiştir. Buradan anlaşılacağı gibi, alaşım içerisindeki Al oranına bağlı olarak malzemelerin sertlik değerlerinde bir artış olduğu görülmektedir. Mekanik alaşımlama süresinin malzemelerin sertliği üzerine önemli bir etkisinin olmadığı anlaşılmaktadır.



Şekil 1. Çinko-Alüminyum alaşımlarının mekanik alaşımlama süresine bağlı olarak sertlik değişimi.

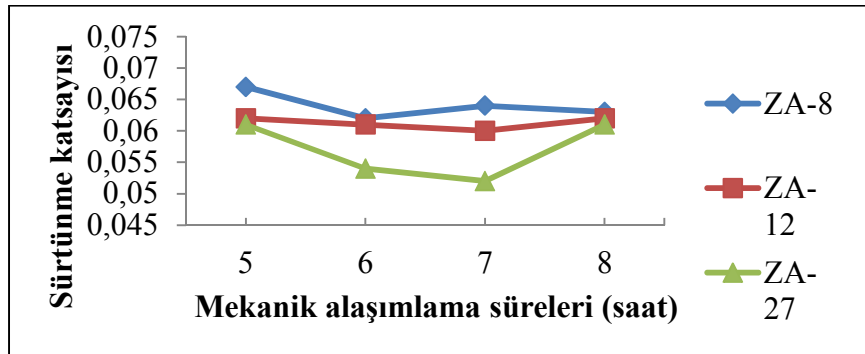
Kaymalı yatakların ömrü mil ile yatak arasında meydana gelen boşluk miktarı ile belirlendiğinden, hacim kaybı ağırlık kaybından daha önemli bir aşınma parametresi sayılmaktadır. Bu nedenle, ölçülen ağırlık kayıpları alaşımların yoğunluklarına oranlanarak, aşınma ile ortaya çıkan hacim kayıpları belirlenmiştir. Çinko-Alüminyum alaşımlarının 10 N yük altında, 1 m/sn kayma hızında ve toplamda 600 m aşınma mesafesinde elde edilen hacimsel kayıpları Şekil 2’de verilmektedir.



Şekil 2. Çinko-Alüminyum alaşımlarının hacim kayıpları

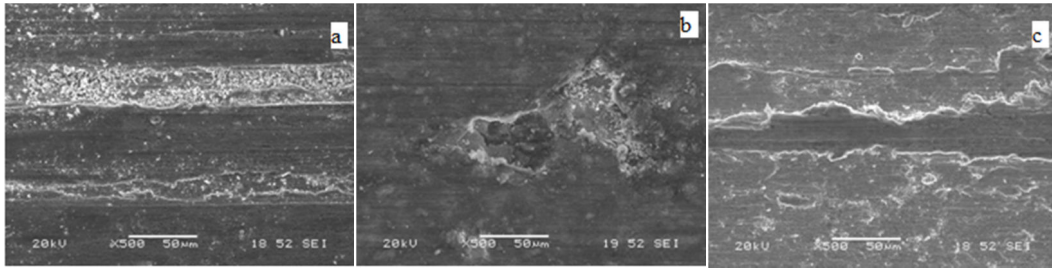
En yüksek aşınma oranı ZA-8 alaşımında gerçekleşirken, en az aşınma oranı Al oranı daha fazla olan ZA-27 alaşımında gerçekleşmektedir. ZA-27 alaşımının en düşük aşınma davranışı sergilemesi, alaşımda bulunan Al miktarının yüksek olmasına bağlanmaktadır. Kuru sürtünmeli aşınma sırasında da dinamik sürtünme etkisinden yorularak ve/veya darbeli kırılarak kütle kaybı daha az olmaktadır. Hacimsel kaybı daha fazla olan ZA-8 alaşımında da Zn oranının fazla olması bu durumun nedeni olarak gösterilebilir. Çünkü Zn, HSP kristal yapısından dolayı anizotropik özelliğe sahiptir. Bu nedenle, YMK yapılı malzemelere göre, hasara uğrama ihtimali daha yüksektir. Bu aşamada elde edilen hacim kaybı miktarları ile sertlik ölçümleri sonuçları birbirini destekler niteliktedir. Ayrıca içerisinde Al oranı daha yüksek olan ZA-27 alaşımının hacimsel kaybının, ZA-8 ve ZA-12 alaşımlarına nazaran daha düşük olduğu belirlenmiştir. Aşınma testleri sonrasında elde edilen sonuçlar göz önüne alındığında, Çinko-Alüminyum alaşımlarında Al miktarının artmasıyla malzemenin sertliğinde meydana gelen artış, hacimsel kaybı da azaltmaktadır. Aşınma testi yapılan tüm numunelerde, hacim kaybı mekanik alaşımlama süresine bağlı olarak değişim göstermiştir. Genellikle, numunelerdeki hacimsel kayıp, artan mekanik alaşımlama süresi ile azalmıştır. Sadece, ZA-

27 alaşımında 7 saatlik mekanik alaşımlama süresinden sonra, hacimsel kayıpta bir artış olduğu gözlenmiştir. Muhtemelen bunun nedeni, Al’un deformasyon sonucu sergilediği pekleşme hızının yüksek olmasıdır. Mekanik alaşımlama sırasındaki pekleşmeden dolayı, deforme olan Al’un sertliğinin artmasıdır. Artan bu sertlikte ZA alaşımlarında yüksek Al içeren ZA-27 alaşımında düşük hacim kaybı ile kendini göstermektedir. Diğer taraftan, özellikle ZA-27 alaşımında mekanik alaşımlama süresinin çok daha fazla olması, Al’un daha da fazla deformasyon sertleşmesine yol açtığından dolayı, özellikle mekanik alaşımlanan toz parçacıklarında sertliğin artmasının, hacimsel kaybın artmasına neden olduğu düşünülebilir. Sertlik artışı, malzemelerin sürtünen yüzeylerinde sürtünme katsayısının azalmasına neden olmaktadır. Aşınma testleri sonrasında kaydedilen sürtünme katsayıları Şekil 3’de verilmektedir. Mekanik alaşımlama ile üretilen Çinko-Alüminyum alaşımlarının aşınma testleri sonucunda elde edilen sertlik, hacim kaybı ve sürtünme katsayıları arasında anlamlı bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Sertlikle ters orantılı olarak azalan aşınma miktarı, sürtünme katsayısı ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Yani aşınma miktarı arttıkça sürtünme katsayısında da bir artış olduğu belirlenmiştir.

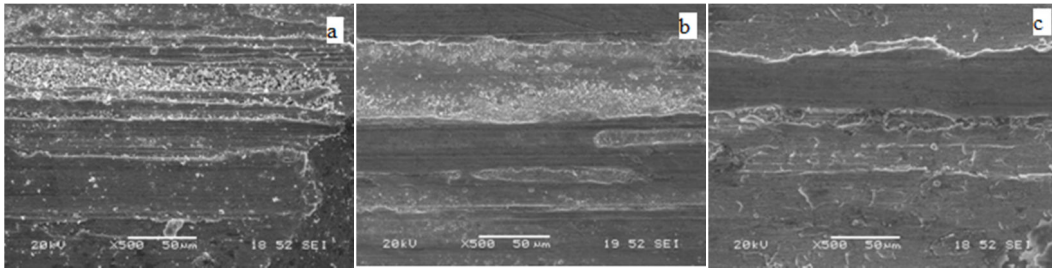


Şekil 3. Çinko-Alüminyum alaşımlarının sürtünme katsayıları.

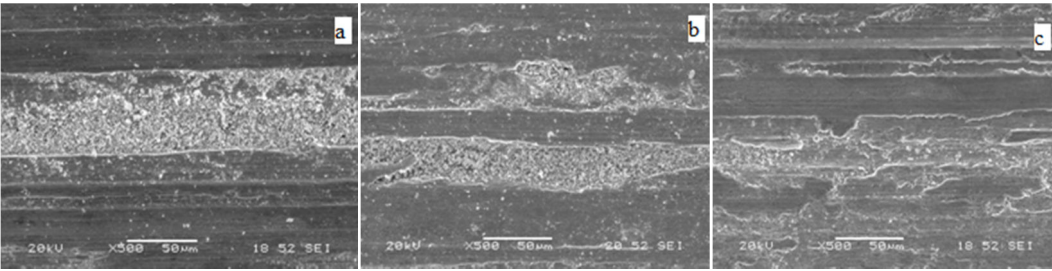
Şekil 4 ile 7 arasında, 10 N yük altında test edilen Çinko-Alüminyum alaşımlarının aşınma yüzeylerine ait SEM görüntüleri verilmektedir. Test edilen tüm numunelerde metal-metal teması sonucunda aşınma yüzeylerinde çizikler, sıvama tabakaları ve pulcuklaşma, kavlamalar, yırtılmalar gibi aşınma hasarlarının bulunduğu görülmektedir.



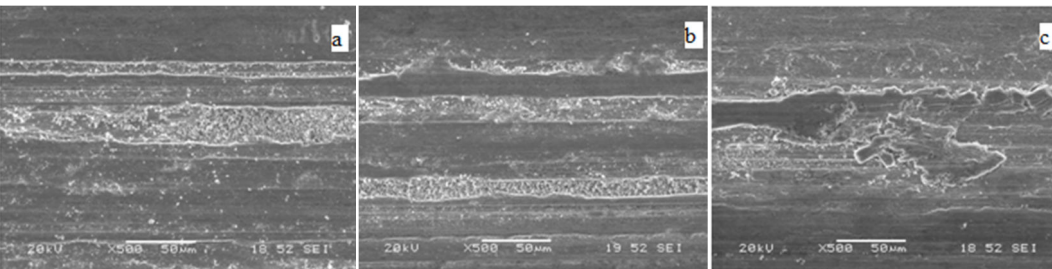
Şekil 4. 5 saat mekanik alaşımlanmış ZA alaşımlarının aşınma yüzeyleri a) ZA-8 b) ZA-12 c) ZA-27



Şekil 5. 6 saat mekanik alaşımlanmış ZA alaşımlarının aşınma yüzeyleri a) ZA-8 b) ZA-12 c) ZA-27



Şekil 6. 7 saat mekanik alaşımlanmış ZA alaşımlarının aşınma yüzeyleri a) ZA-8 b) ZA-12 c) ZA-27



Şekil 7. 8 saat mekanik alaşımlanmış ZA alaşımlarının aşınma yüzeyleri a) ZA-8 b) ZA-12 c) ZA-27

En fazla hacimsel kaybın gerçekleştiği ZA-8 alaşımının aşınma yüzeyleri incelendiğinde (Şekil 4-7 (a)), abrasiv (aşınmalı) aşınmanın aktif olduğu dikkati çekmektedir. Abrasiv aşınma daha çok sürtünen malzemelerin ara yüzeyinde kopan küçük parçacıkların malzemeyi derin çizik şeklinde kazması ile kendini gösterir ki bu da alaşımın aşınma sonrası hacim kaybının ve sürtünme katsayısının yüksek olmasına neden olmaktadır.

ZA-12 alaşımının aşınma yüzeylerinde (Şekil 4-7 (b)), ZA-8 alaşımları gibi yüzeylerde kısmen kraterler ve soyulmalar görülmektedir. ZA-12 alaşımının, ZA-8 alaşımına nazaran aşınma sonrası hacim kaybı ve sürtünme katsayısı daha düşüktür. Bu nedenle yüzeylerde oluşan kütle kaybı ZA-8 alaşımına nazaran daha azdır.

Şekil 4-7 (c)'de görülebileceği gibi ZA-27 alaşımının aşınma yüzeylerinde ise, ZA-8 ve ZA-12 alaşımlarından daha az yırtılmalar ancak daha fazla sıvama meydana gelmiştir. Bu da aşınma kaybını en aza indirmektedir. Çünkü ZA-27 alaşımının, aşınma sonrası hacim kaybı ve sürtünme katsayısı ZA-8 ve ZA-12 alaşımına nazaran en küçüktür. Bundan dolayı ZA-27 alaşımında sadece sıvama söz konusudur.

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada mekanik alaşımlama yöntemi ile üretilen Çinko-Alüminyum alaşımlarının kuru şartlarda aşınma özellikleri incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Çinko-Alüminyum alaşımlarının kimyasal bileşimleri karşılaştırıldığında, Al oranı arttıkça malzemelerin sertliklerinde artış ve buna bağlı olarak da hacim kaybı miktarında azalmaya neden olmuştur.
2. Aşınma testlerinde, Çinko-Alüminyum alaşımlarının sertliklerindeki artışa paralel olarak sürtünme katsayısında azalma meydana gelmiştir. Ayrıca yapılan aşınma yüzeyi incelemelerinde abrasiv aşınma mekanizmasının aktif olduğu anlaşılmaktadır.
3. Genellikle artan mekanik alaşımlama zamanına bağlı olarak aşınma oranı azalırken, ZA-27 alaşımının aşınma oranı 8. mekanik alaşımlama süresinde artmıştır.

#### KAYNAKLAR

- [1]. Schaffer, G.B. and Huo, S.H., "On development of 7xxx series aluminium alloys", **Powder Metal.**, 42-3, 219-226, 2008.
- [2]. Cambronero, L.E.G., Sanchez, E., Roman, J.M.R and Prieto, J.M.R., "Mechanical characterisation of AA7015 aluminium alloy with ceramics", **J. Mater. Proces. Techno.**, 143-144, 378-383, 2003.
- [3]. Suryanarayana, C. "Mechanical alloying and milling", **Progressing in Mater. Sci.** 46, 1-184, 2001.
- [4]. Thummler, F. and Oberacker, R., "Introduction to powder metallurgy", **The Institue of Materials**, London, U.K., 1-10,1994.
- [5]. Tarralba, M., Velasco, F., Costa, C.E., Vergara, I. And Caceresa, D., "Mechanical behaviour of the interphase between matrix and reinforcement of Al2014 matrix composites with (Ni<sub>3</sub>Al)<sub>p</sub>", **Composites: Part A**-33, 427-434, 2002.
- [6]. Hu, Q., McColl, I.R., Harris, S.J. and Waterhouse, R.B., "The role of debris in the fretting wear of a SiC reinforced aluminium alloy matrix composite", **Wear** 245, 10-21, 2000.
- [7]. Sankar, R. and Singh, P. "Synthesis of 7075 Al/SiC particulate composite powders by mechanical alloying", **metarials Letters**, 36, 201-205, 1998.
- [8]. Zhu, Y., Yan, B., Huan, W., "Bearing Wear Resistance of Monotectoid Zn-Al Based Alloy (ZA-35)", **Materials Science and Technology**, 11(1): 109-113, 1995.
- [9]. Calayag, T., "Zinc Alloys Replace Bronze in Mining Equipment Bushings and Bearings", **Mining Engineering**, 727-728, 1983.
- [10]. Gervais, E., Levert, H., Bess, M., "The Development of a Family of Zinc-Based Foundry Alloys", **Trans. Am. Foundrym. Soc.**, 88(6), 183-194, 1980.
- [11]. Geng, H. ve Ma, J., "Friction and Wear of Al-Zn-Pb Bearings Alloy", **Wear**, 169(32): 201-207, 1993.
- [12]. Mihaichuk, W., Bess, M. L., "The ZA Die Casting Alloys", **Society of Automotive Engineers**, China, 860556, 560-568, 1986.
- [13]. Savaşkan, T., Murphy, S., "Mechanical Properties and Lubricated wear of Zn-25Al- Based Alloys", **Wear**, 116(23), 211-224, 1987.
- [14]. Gross, D. K., "Zinc Alloys: Specifications and Processing", **Society of Automotive Engineers**, New York, 871952, 1069-1075. 1988.
- [15]. Savaşkan, T., Çuvalcı, H., "Çinko-Alüminyum Esaslı Yatak Alaşımlarının Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi", **4. Ulusal Makina Tasarımı ve İmalat Kongresi**, Ankara, 328-336, 1990.
- [16]. Demiral, M. and Yaşar, M. 95200,95300 "Cu-Al-Fe alaşımlarının aşınma davranışlarının incelenmesi", **Teknoloji**, 9(1), 17-26, 2006.