

# Çinko-Alüminyum esaslı ZA-12 alaşımının mikroyapı ve darbe dayanımına bor elementinin etkisi

Aysun AYDAY\*

Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü,  
Sakarya Türkiye.

Geliş Tarihi (Recived Date): 24.07.2017  
Kabul Tarihi (Accepted Date): 19.12.2017

## Özet

Bu çalışmada, çinko-alüminyum esaslı ZA-12 alaşımının mikroyapı, sertlik ve darbe dayanımına % ağırlıkça 0.1, 0.2 ve 0.4 oranında bor alaşım elementinin etkisi araştırılmıştır. Alaşımın kontrollü atmosferde, ön ısıtılmış sıkıştırma döküm kalıbına dökülerek katılaştırılmıştır. Sonuçlar bor alaşım elementinin mikroyapıyı modifiye ettiğini, dendrit yapısını küreselleştirdiği ve ötektik lameller arası mesafeyi kısalttığını göstermektedir. Artan B ilavesi ile sertlik değerinde artış görülmüştür. Sertlik sonuçlarına benzer şekilde darbe dayanımı da B ilavesi ile artmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Çinko-alüminyum, mikroyapı, darbe testi, bor.

## Influence of boron content on microstructure and impact behavior of Zinc–Zluminium based ZA-12 alloy

### Abstract

In this study, the effect of boron (0, 0.1, 0.2, 0.4 B wt%) on the microstructure, hardness and impact properties of a zinc-aluminum alloy (ZA-12) were investigated. The alloys were produced under a controlled atmosphere by a gravity casting process. The results show that the addition of B element modified the structure, dendrites shape change to spherical shape and decrease of the eutectic lamellar spacing. The hardness value of ZA-12 increased with adding B. The same results were obtained by impact test. The impact energy increased with increasing B addition.

**Keywords:** Zinc-aluminum, microstructure, impact test, boron.

\* Aysun AYDAY, aayday@sakarya.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0003-3719-7006>

## 1. Giriş

Çinko-Alüminyum esaslı alaşımlar, son otuz yıldır birçok mühendislik uygulamalarında, yüksek aşınma mukavemetleri, özgül mukavemetlerinin yüksek olması, üretimlerinin kolay ve ekonomik olması gibi avantajları sebebi ile yaygın olarak kullanılmaktadır [1-3]. Son yıllarda ise çinko alüminyum ailesinden (ZAMAK, ZA, ALZEN) en çok karşımıza çıkan ZA-8, ZA-12 ve ZA-27 alaşımlarıdır. Bu alaşımlar ZAMAK alaşımlarına göre daha yüksek oranda alüminyum içermektedir. Alüminyum alaşımlara akışkanlık katmaktadır [2-6]. Artan Al konsantrasyonu ile döküm kalitesi artacağından daha iyi mühendislik özellikleri edinilebilmektedir. Az miktarda bazı alaşım elementleri (Cu, Mg, Si, Ni) dökülen ZA alaşımlarının mekanik ve tribolojik özelliklerini iyileştirmektedir. Bakırın, gümüşün, kalayın v.b alaşım elemanlarının mekanik ve tribolojik özellikleri iyileştirdiği ile ilgili birçok bilimsel çalışma yapılmıştır [1,2,6-8]. Yapılan literatür araştırmalarında bor elementinin ZA-12 alaşımına ilavesi ile ilgili çalışmalara rastlanmamıştır. Bu çalışmada farklı konsantrasyonlarda (% 0.1, 0.2, 0.4 B) bor ilavesi yapılan ZA-12 alaşımının dökümü gerçekleştirilmiş ve borun ZA-12 alaşımının mikro yapısını ve mekanik özelliklerini nasıl etkilediği incelenmiştir.

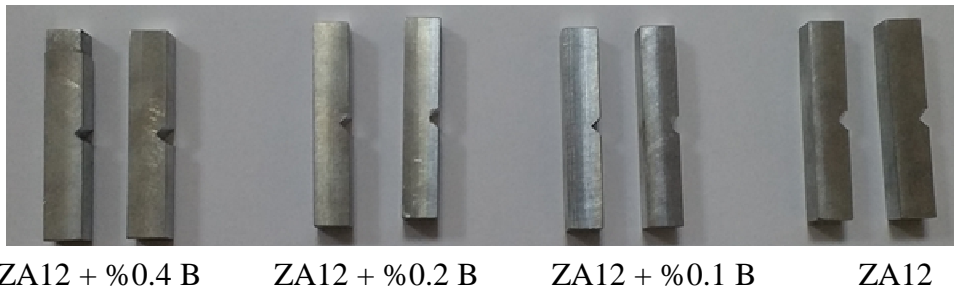
## 2. Deneysel çalışmalar

Deneysel alaşımlar ticari saflıkta çinko (% 99.95), alüminyum (% 99.8) ve elektrolitik bakır ve magnezyum kullanılarak hazırlanmıştır. Alaşımlar elektrikli direnç fırınında metal bir pota içerisinde azot gazı altında 700°C'de ergitilmişlerdir. B alaşım elementi ilavesi bileşimi %90 Al - %10 B olan master alaşımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sıvı alaşım 200°C 'ye ön ısıtılmış sıkıştırma döküm kalıbına dökülerek katılaştırılmıştır.

Döküm işlemi sonrası numuneler kesilerek, bakalite alındıktan sonra, 400-1000 meshlik SiC zımpara ile zımparalanmış, 0,05 µm Alümina solüsyonu ile parlatmaları yapılmış ve %2'lik keller çözeltisi ile dağlanmış. Hazırlanan alaşımların mikroyapı görüntüleri OLYMPUS B071 optik mikroskobunda alınmıştır.

Üretilen alaşımların brinell sertlik ölçümleri Brooks marka sertlik cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tüm alaşımlardan alınan numuneler üzerinde 5'er adet ölçüm yapıp sertlik değeri olarak bu ölçümlerin ortalaması alınmıştır.

Standartlara uygun olarak 55mmx10mmx10mm ölçülerinde hazırlanan çentikli darbe testi numunelerinin Charpy Darbe testi ile darbe dayanımları incelenmiştir. Darbe testi sonrası numunelerin kırık yüzey görüntüleri Joel 6060 marka SEM cihazı ile alınmıştır. Darbe testi için hazırlanan çentikli darbe numuneler Şekil 1'de verilmiştir.

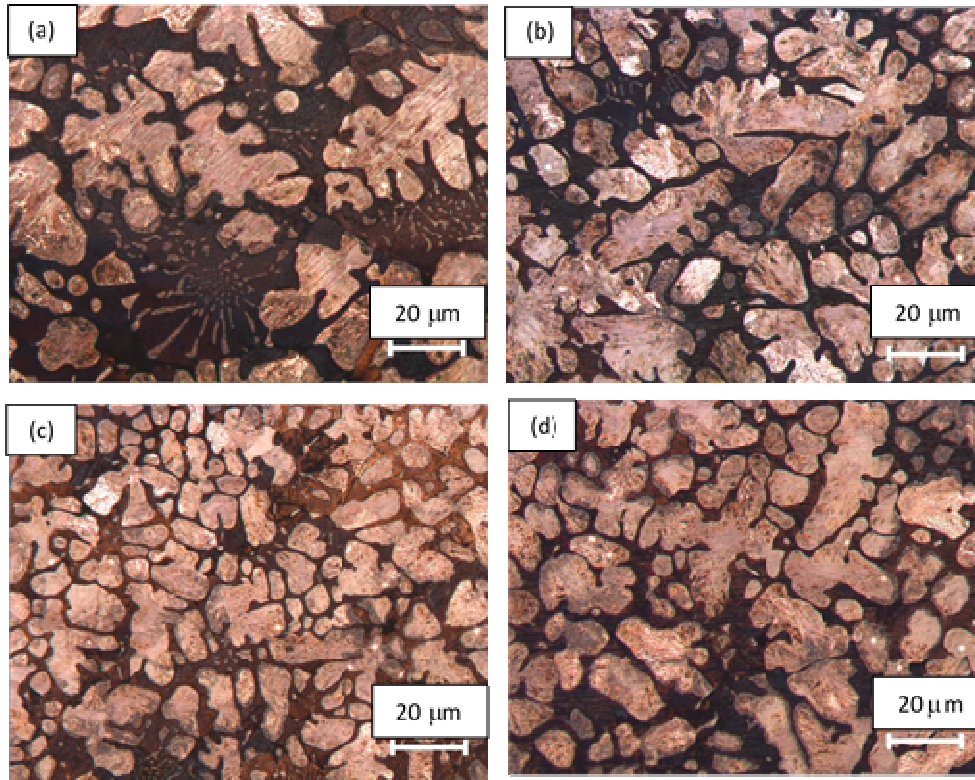


Şekil 1. Charpy çentik darbe testi numuneleri.

### 3. Sonuçlar ve tartışma

Standart ZA-12 alaşımına B alaşım elementinin değişik oranlarda (%0.1, 0.2, 0.4 B) ilave edilmesi ile dökülerek üretilen alaşımların optik mikroskopta elde edilen düşük ve yüksek büyütmelelerdeki mikroyapıları Şekil 2 ve 3’de verilmiştir. Optik mikroyapı fotoğraflarında alüminyumca zengin fazlar açık tonlarda, çinkoca zengin fazlar koyu tonlarda belirmişlerdir.

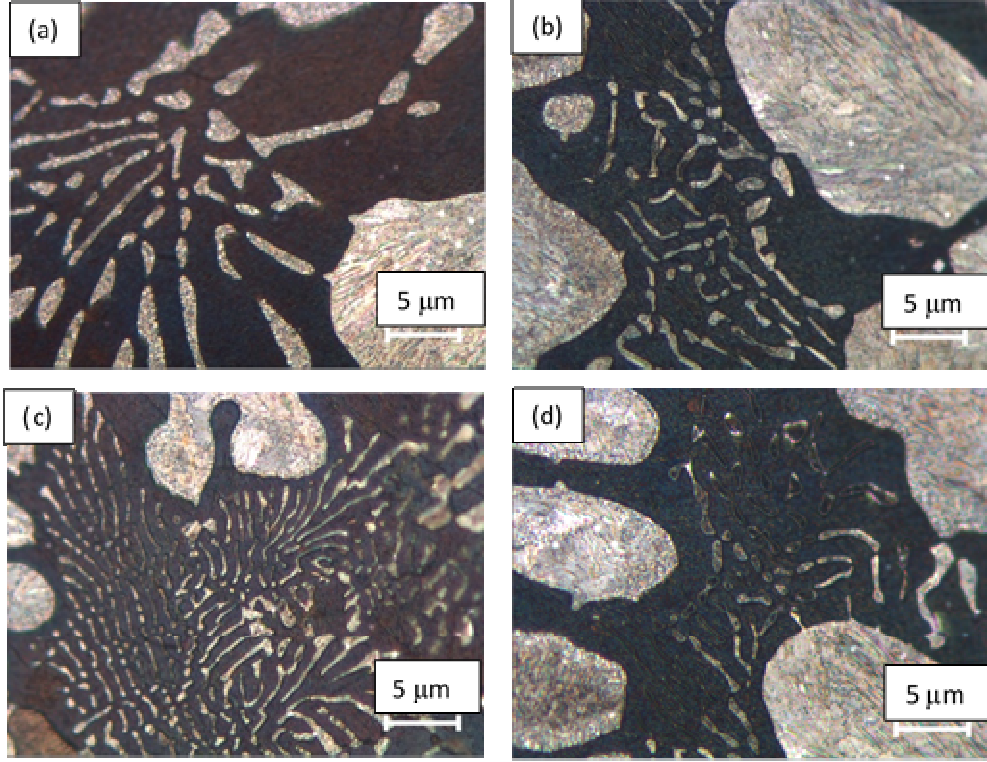
Standart ZA-12 alaşımı çinkoca zengin ötektik alandan ve oda sıcaklığında  $\alpha$  ve  $\eta$  fazlarından oluşan alüminyumca zengin  $\beta$  dendritten oluşmaktadır. Ötektik lamelli yapıya sahiptir ve  $\alpha+\eta$  fazından oluşmaktadır. ZA-12 katılaşmasında önce primer  $\beta$  fazı çekirdeklenmeye başlar ve 381°C sıcaklıkta  $\beta+\eta$  ötektik matriksi oluşur. Daha sonra  $\beta$  yarı kararlı fazı 275°C ’nin altında ötektoid dönüşüm ile  $\alpha+\eta$  ’ya ayrılmaktadır [5]. ZA-12 ’nin katılaşma aralığı geniş olduğundan (43°C) dendritik yapının büyümesi için yeterli oranda zaman bulunmaktadır. Bu nedenle ZA-12 alaşımına ötektik matriks içinde ayrılmış primer  $\beta$  dendritleri hakim olduğundan ötektik faz alanlarının miktarı dendritik yapıya oranla daha düşüktür. Ötektik yapı büyük oranda çinko ( $\eta$ ) ve ayrılmış halde bulunan  $\beta$  parçacıklarından meydana gelmektedir. İlk katılaşan faz  $\beta$  dendritik yapıdadır ve primer  $\beta$  dendritleri oda sıcaklığında  $\alpha$  ve  $\eta$  ’ya dönüşmektedir [4,5,8,9]. Bu dönüşüm ve ötektik alanların yapısı Şekil 3 ’de verilen optik mikroyapı fotoğrafında açıkça görülmektedir.



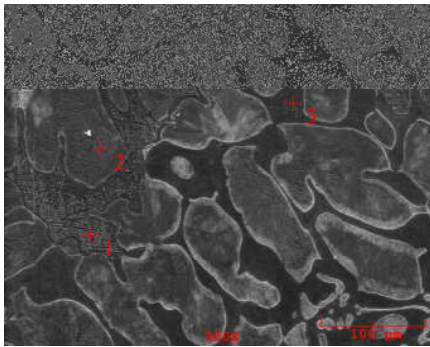
Şekil 2. Optik mikroyapı görüntüleri (x10) (a) ZA-12 alaşımı (b) ZA-12 + 0.1B alaşımı (c) ZA-12 + 0.2B alaşımı (d) ZA-12 + 0.4B alaşımı.

Şekil 2’deki mikroyapılardan ZA-12 alaşımına B ilavesinin alaşımın mikroyapısını modifiye ettiği görülmektedir. Mikroyapılar incelendiğinde, ZA-12 alaşımına B ilavesinin dendrit yapısını kısmen küresel şekle dönüştürdüğü ve boyutunu küçülttüğü

görülmüştür. Yani B ilavesi dendrit kollarının büyümesine izin vermemiştir. Ayrıca Şekil 3 'deki mikroyapılardan görüldüğü üzere B ilavesi ötektik lameller arası mesafeyi azaltmıştır. Fakat B oranının artması ile dendrit boylarının küçülmesi arasında lineer bir ilişki kurulamamıştır. %0.4 B içeriğinin dendrit boyu ve ötektik alanların büyüklüğünde yeniden bir miktar artışa neden olduğu görülmektedir (Şekil 3d). Mikroyapı görüntülerine göre en fazla değişim ZA12-%0.2B alaşımında görülmüştür



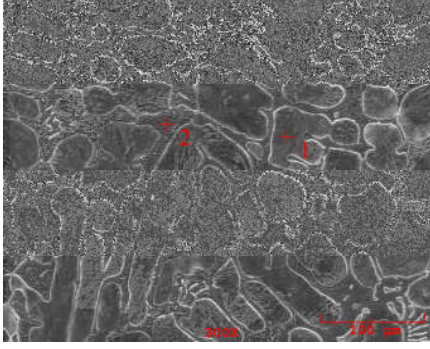
Şekil 3. Optik mikroyapı görüntüleri (x50) (a) ZA-12 alaşımı (b) ZA-12 + 0.1B alaşımı (c) ZA-12 + 0.2B alaşımı (d) ZA-12 + 0.4B alaşımı.



Numara	ağ. %	
	Al	Zn
1	2.640	97.360
2	46.734	53.266
3	4.934	95.066

Şekil 4. ZA-12 alaşımının SEM görüntüsü ve EDS analizi.

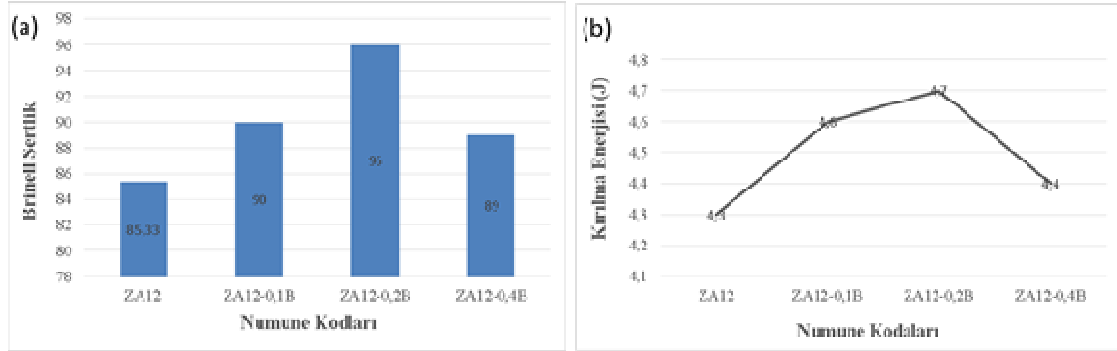
Şekil 4 ve Şekil 5' de sırası ile standart ZA-12 ve ZA-12+%0.2B alaşımının SEM görüntüsü ve EDS analizleri verilmiştir. Analizlerden de anlaşıldığı üzere, literatür ile benzer olarak, dendritik bölgeler alüminyumca zengin iken ötektik bölgeler ise çinkoca zengin olduğu görülmektedir.



Numara	ağ.%	
	Al	Zn
1	59.037	40.963
2	2.873	97.127

Şekil 5. ZA-12-%0.2B alaşımasının SEM görüntüsü ve EDS analizi.

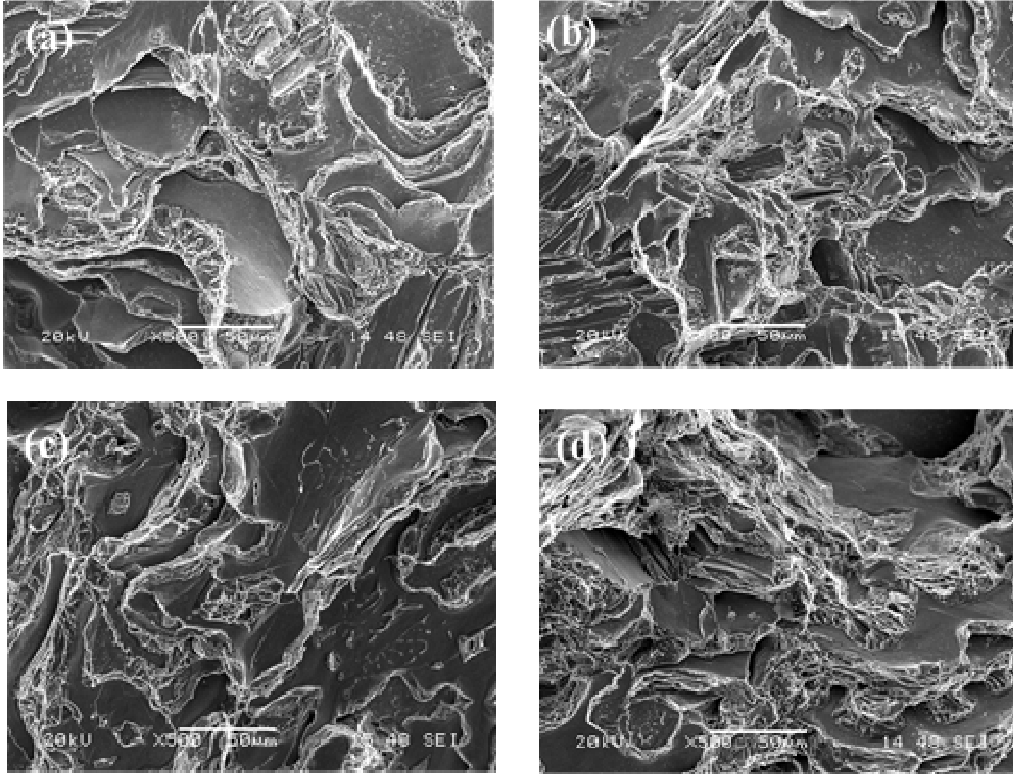
Şekil 6’da standart ZA-12 alaşımı ve % 0.1, 0.2 ve 0.4 B ilave edilen ZA-12 alaşımlarının sertlik ve kırılma enerjisi sonuçları verilmiştir. Bor ilavesinin genel olarak alaşımların mekanik özelliklerini iyileştirdiği söylenebilir. B miktarı arttıkça sertliğin arttığı fakat %0.4 B ilavesinde sertlik değerinin de azalma meydana geldiği görülmüştür. Şekil 3’de ZA-12 alaşımına %0.1, %0.2 B ilavelerinde lamelli ötektik yapının incelendiği belirlenmiştir. Bu sebeple sertlik değerleri en çok modifiye olan ZA-12+%0.2 B da maksimum değerlere ulaşmıştır. ZA-12’ye göre %0.2 B ilave edilen alaşımın sertlik değerlerinde %12.5 oranında artış görülmüştür. Darbe testi sonrasında ölçülen enerjilerinde de sertlik değerleri ile paralel sonuçlar alınmıştır. Bor ilavesi ile ZA-12 alaşımlarının enerjilerinde artış görülmüş ve %0.2 B ilaveli numunede maksimum değere ulaşmıştır. Darbe direncinde maksimum %9.3’lük bir artış tespit edilmiştir. %0.4 B ilavesinde sertlik değerlerindeki benzer darbe enerjisinde de düşüş görülmüştür. Bunun sebebinin dendritik yapının yeniden kabalaşması olduğu düşünülmektedir.



Şekil 6. ZA-12, ZA-12 + 0.1B, ZA-12 + 0.2B, ZA-12 + 0.4B alaşımlarının (a) Brinell sertlik değerleri (b) Darbe enerjileri değişimi.

Darbe testi sonrası standart ZA-12 ve değişik oranlarda (%0.1, 0.2, 0.4 B) bor alaşım elementi ilave edilen alaşımların kırık yüzey SEM morfolojileri Şekil 7’de verilmiştir. B içermeyen ZA-12 alaşımının düz, parlak, kaba kırık yüzey görüntüsüne ve az miktarda plastik deformasyona uğramış tepe görüntüsüne sahip olduğu Şekil 7(a)’da görülmektedir. Bor ilavesi ile kaba kırık yüzeyinin incelendiği ve plastik deformasyonun arttığı görülmektedir. B ilave edilen alaşımlarda sünek-gevrek kırılma mekanizması sergilenmektedir.





Şekil 7. Darbe testi sonrası alaşımların kırık yüzeyleri (a) ZA-12, (b) ZA-12 + 0.1B, (c) ZA-12 + 0.2B, (d) ZA-12 + 0.4B.

#### 4. Genel sonuçlar

Yapılan bu çalışmada, Standart ZA-12 alaşımına B alaşım elementinin değişik oranlarda (%0.1, 0.2, 0.4 B) ilave edilmesi ile dökülerek üretilen alaşımların döküm yapısı ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir;

- İlave edilen B elementi standart ZA-12 alaşımını modifiye etmiştir. B ilavesinin dendrit yapısını küresel şekle getirdiği ve boyutunu küçülttüğü ve ötektik lameller arası mesafeyi azalttığı tespit edilmiştir. Bu değişim maksimum %0.2 B içeren ZA-12 alaşımında da görülmüştür.
- Alınan EDS analizi sonuçlarına bakıldığında, ZA-12 ve B içeren alaşımların, dendritik bölgeleri alüminyumca zengin iken ötektik bölgeler ise çinkoca zengin olduğu görülmüştür.
- B ilavesi ile alaşımların sertlik değerlerinde artış tespit edilmiştir. En yüksek sertlik değeri ZA-12+%0.2 B ilavesinde görülmüştür. Sertlik değeri standart ZA-12'ye göre %12.5 oranında artış göstermiştir. Sertlik değerlerindeki bu artış lineer bir değişim göstermemiştir.
- Darbe enerjisi B ilavesi ile artış göstermiştir. Sertlik sonuçlarına paralel çıkan ve en yüksek darbe direnci %0.2 B ilave edilen alaşımda görülmüştür. Maksimum darbe enerjisi 4.7 J ölçülmüştür. Standart ZA-12 numunesine göre %9.3 oranında iyileşme gerçekleşmiştir. B ilave edilen alaşımların kırık yüzeyleri birbirine benzer olup, standart ZA-12 alaşımına göre ağırlıklı olarak sünek kırılma mekanizması hakimdir.

## Teşekkür

Deneysel çalışmalara katkıları için Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümüne ve çalışmada yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. S. Can Kurnaz hocama teşekkürlerimi sunarım.

## Kaynaklar

- [1] Fatile B.O., Adewuyi B.O. and Owoyemi H.T., Synthesis and characterization of ZA-27 alloy matrix composites reinforced with zinc oxide nanoparticles, **Engineering Science and Technology, an International Journal**, 20, 1147–1154, (2017).
- [2] Şevik H., The effect of silver on wear behaviour of zinc–aluminium-based ZA-12 alloy produced by gravity casting, **Materials Characterization**, 89, 81–87, (2014).
- [3] Shivakumar, N., Vasu, V. and Narasaiah N, Processing and dry sliding wear behavior of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles reinforced ZA-27 composites, **Materials Today: Proceedings**, 4, 4006–4012, (2017).
- [4] Babic, M., Mitrovic, S. and Jeremic B., The influence of heat treatment on the sliding wear behavior of a ZA-27 alloy, **Tribology International**, 43, 16–21, (2010).
- [5] Çay, F. and Kurnaz, S.C., Hot tensile and fatigue behaviour of zinc–aluminum alloys produced by gravity and squeeze casting, **Materials and Design**, 26, 479–485, (2005).
- [6] Ataç, A.M. and Güral, A., Çinko-Alüminyum (ZA) alaşımlarının mekanik alaşımlama yöntemiyle üretilebilirliği üzerine bir çalışma, **Politeknik Dergisi**, 16, 4, 147-154, (2013).
- [7] Türk, A., Kurnaz, S.C. and Şevik, H., Comparison of the wear properties of modified ZA-8 alloys and conventional bearing bronze, **Materials and Design**, 28, 1889–1897, (2007).
- [8] Zhou, W.B., Liu, C.Y., Yu, P.F., Zhang, B., Ma, Z.Y., Luo, K., Ma, M.Z. and Liu, R.P., Effect of scandium on microstructure and mechanical properties of high zinc concentration aluminum alloys, **Materials Characterization**, 127, 371–378, (2017).
- [9] Kurnaz S.C., Production of saffil fibre reinforced Zn-Al (ZA 12) based metal matrix composites using infiltration technique and study of their properties, **Materials Science and Engineering A**, 346, 108-115, (2003).