

Çinko-Alüminyum (ZA) Alaşımlarının Mekanik Alaşımlama Yöntemiyle Üretilirliği Üzerine Bir Çalışma

Alper Melih ATAÇ¹, Ahmet GÜRAL^{2*}

¹ Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Anabilim Dalı

² Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Farklı kimyasal bileşimlere sahip ZA-8, ZA-12, ZA-27 Çinko-Alüminyum alaşımlarının mekanik alaşımlama (MA) yöntemi ile üretilebilirliği çalışıldı. Bu amaçla 'SPEX' tipi öğütücü ile MA işlemleri en fazla 8 saate kadar yapıldı. Üretilen ZA alaşım tozlarının karakterizasyonu, sinterleme mikroyapıları ve yoğunlukları incelendi. Deneysel çalışmalarda öğütme elemanı olarak 8 mm çapında 10/1 bilye/toz oranlı çelik bilyeler kullanılmıştır. Yağlayıcı kullanılmadığında alaşım tozlarının, MA işlemlerinde pulsulaşma olmadan kırılmaya başladığı görülmüştür. MA süresine bağlı olarak, farklı boyutlara sahip ZA alaşım tozları üretilmiştir. Üretilen bu alaşım tozları tarama elektron mikroskobu (SEM) ile karakterize edilmiştir. Daha sonra çinko-alüminyum alaşım tozları kalıp içinde 625 MPa basınçta 320 °C'de sıcak preslenmiş ve aynı sıcaklıkta sinterleme yapılmıştır. Sinterleme işleminden sonra numunelerin yoğunlukları belirlenmiş ve mikroyapı karakterizasyonları için SEM ve EDS çalışmaları yapılmıştır. Tüm ZA alaşımlarında toz boyutu bakımından optimum MA süresinin 4 saat olduğu bulunmuştur. ZA alaşımlarının orijinal kimyasal kompozisyonu göz önüne alındığında, Al % oranının beklenenden daha fazla, Zn % oranının ise beklenenden daha az olduğu ortaya çıkmıştır. Element dağılım haritalama sonuçlarına göre Cu'nun yapıya homojen olarak dağıldığı ve Al'nin ve Zn'nin oksitlendiği görülmüştür. ZA alaşımlarının MA işleminden sonra sıcak presleme şartlarındaki yoğunlukları, sinterleme sonucu yoğunluk değerinden yüksek bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Toz metalurjisi, Çinko-Alüminyum alaşımları, mekanik alaşımlama, mikroyapı, karakterizasyon.

A Study on Manufacturability of Zinc-Aluminum (ZA) Alloys via Mechanical Alloying Process

ABSTRACT

Manufacturability through mechanical alloying (MA) of ZA-8, ZA-12, ZA-27 Zinc-Aluminum alloys with different chemical compositions was studied. For this purpose, MA processes were carried out by 'SPEX' type miller for up to 8 hours. Characterization, sintering microstructures and densities of produced ZA alloys were examined. In the experimental studies, steel balls which are 8 mm in diameters and with 10/1 ball-powder ratio was used. It was observed that when no lubricant is used, the alloying powders started to break up without flaky during the MA process. Depending on MA time, ZA alloying powders with different sizes were produced. These powders were characterized by scanning electron microscopy (SEM). Then Zinc-Aluminum powders were hot pressed in the mold under 625 MPa pressure at 320 °C and sintered at the same temperature. After the sintering process, densities of specimens were specified and SEM plus EDS studies were done for their microstructural characterizations. Optimum MA time was found to be 4 hours in terms of powder size in all ZA alloys. When original chemical composition of ZA alloys is taken into account, the ratio of Al was higher than expected, whereas the ratio of Zn was lower. According to element distribution map results, it was seen that Cu was homogeneously distributed through the structure and Al and Zn were oxidized. The densities of ZA alloys after the MA process and under cold press conditions were higher than their densities after sintering.

Keywords: Powder metallurgy, Zinc-Aluminum alloys, mechanical alloying, microstructure, characterization.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Geleneksel yatak malzemelerinin yerine başarılı bir şekilde kullanılan çinko-alüminyum esaslı malzemeler uzun süren araştırmalar sonucunda geliştirilmiştir [1-3]. 1930-1940 yılları arasında % 4 Al, %0,03 Mg ve çok düşük oranda bakır içeren ZAMAK-3 ve ZAMAK-5 adlı çinko-alüminyum esaslı alaşımlar basınçlı döküm yöntemi ile üretilmiştir. 1960'lı yıllarda, ILZRO (International Lead-Zinc Research Organization) tarafından desteklenen ve New Jersey

Çinko Şirketi tarafından yürütülen bir araştırma sonucunda, %12 oranında alüminyum içeren ve ilk adı ILZRO-12 olan ve daha sonra ZA-12 olarak gösterilen bir alaşım geliştirilmiştir [4,5]. Daha sonraki yıllarda, Noranda Araştırma Merkezi tarafından çinko-alüminyum esaslı alaşımlar üzerine yapılan araştırma çalışmaları sonucunda, sırasıyla ZA-8 ve ZA-27 olarak adlandırılan alaşımlar geliştirilmiştir [6-8].

Çinko-Alüminyum esaslı alaşımları, yüksek aşınma dayanımına sahip olmaları, özgül mukavemetlerinin yüksek olması, üretimlerinin kolay ve ekonomik olması ve aşırı yüklenme, yetersiz yağlama ve

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: agural@gazi.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2013.16.4.147-154

yüksek hızlı çalışma koşullarında bile ideal tribolojik davranışlara sahip olduğu bilinmektedir[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].

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 [16-18]. İşlem çeşitli kombinasyonlarda ve farklı mikro yapılara 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, tekrarlı deformasyonu, kırılması ve toz parçacıklarının kısa mesafeli difüzyonu ile işlemlerin tekrarlanarak gerçekleşmektedir [18,19]. Bu yöntemle her türlü metal alaşımı kompozit malzemelerin üretimi mümkündür [17, 20-22].

Bu çalışmada, farklı kimyasal bileşimlere sahip çinko-alüminyum alaşımlarından ZA-8, ZA-12, ZA-27 alaşımların kimyasal bileşimine uygun olacak şekilde tozlar hazırlanıp MA yöntemi ile üretilebilirliği amaçlanmıştır. Bu amaçla farklı bileşimlere sahip ZA alaşım tozları 320 °C’de sıcak preslenmiş ve yine aynı sıcaklıkta gerçekleştirilen sinterleme işlemlerinden sonra hazırlanan numunelerin yoğunlukları ile taramalı elektron mikroskobunda (SEM’de) mikroyapısal değişimleri değerlendirilmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL STUDIES)

Bu çalışmada, farklı ZA alaşımlarına uygun olarak hazırlanan tozların % ağırlıkça kimyasal bileşimleri Tablo 1’de verilmiştir. Tablo 1’de verilen MA için elementel toz şeklinde ilave edilmiştir. MA yöntemi ile üretilen bu ZA alaşımlarının tozları, saf olarak ağırlıkları 1:10⁴g hassasiyetindeki bir elektronik terazi tartılarak hazırlanmıştır.

Tablo 1. Deneysel çalışmalarda kullanılan ZA 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

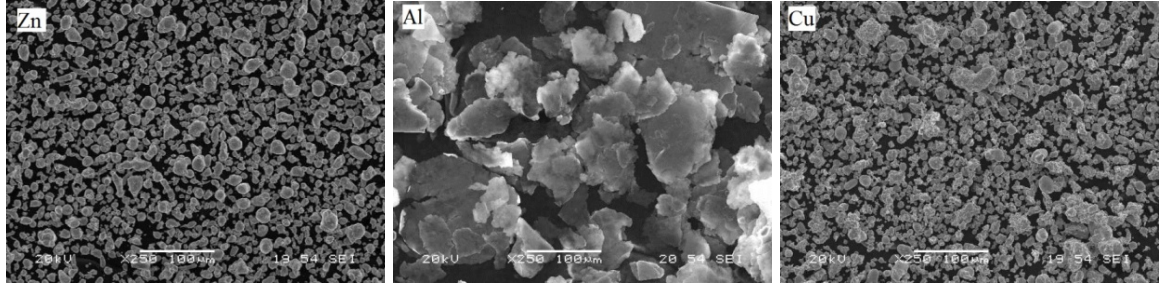
Tablo 1’de verildiği gibi farklı kimyasal bileşimlere sahip ZA alaşım tozlarının MA işlemi için uygun parametreler (atmosfer, bilye-toz oranı, işlem kontrol kimyasalı, kabın doluluk oranı, öğütme hızı, öğütme süresi) ayrı ayrı ele alınarak ön çalışmalarla belirlenmiştir. MA işleminde SPEX cihazının haznesi içerisinde optimum doluluk oranı kullanılarak alaşımlama işlemini daha az bir sürede gerçekleştirebilmektedir. Toz bilye etkileşiminde daha hızlı bir alaşımlama oluşabilmesi için çalışmada bilye-toz oranı 10:1 oranında kullanılmıştır. ZA alaşımları için en yüksek MA süresi belirlenirken cihazın çalışma performansı ve tozların tane boyutları göz önüne alınmıştır. MA yapılmış ZA alaşım tozlarının tane boyutlarını belirleyebilmek için taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak ölçüm yapılmıştır. MA yapılmış ZA alaşım tozları 320°C’de sıcak olarak 625 MPa basınçta, 10 mm çapında 6 mm yüksekliğinde preslenmiştir. Sıcak preslenen numunelerin sinterleme işlemleri, yine 320°C’de 2 saat sürede yapılmıştır. Metalografik işlemler için numunelere, klasik zımparalama ve polisaj işlemleri uygulanmıştır. Daha sonra numuneler %10 Nital dağılayıcısı kullanılarak dağlanmış ve mikroyapıları taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile ve element dağılım ve oranları ise enerji-dağıtım spektrometresi (EDS) ile belirlenmiştir. Sıcak presleme sonrasında elde edilen ZA alaşımlarının yoğunluk ölçümleri, Arşimet prensibine göre yapılmıştır.

3. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA (EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSION)

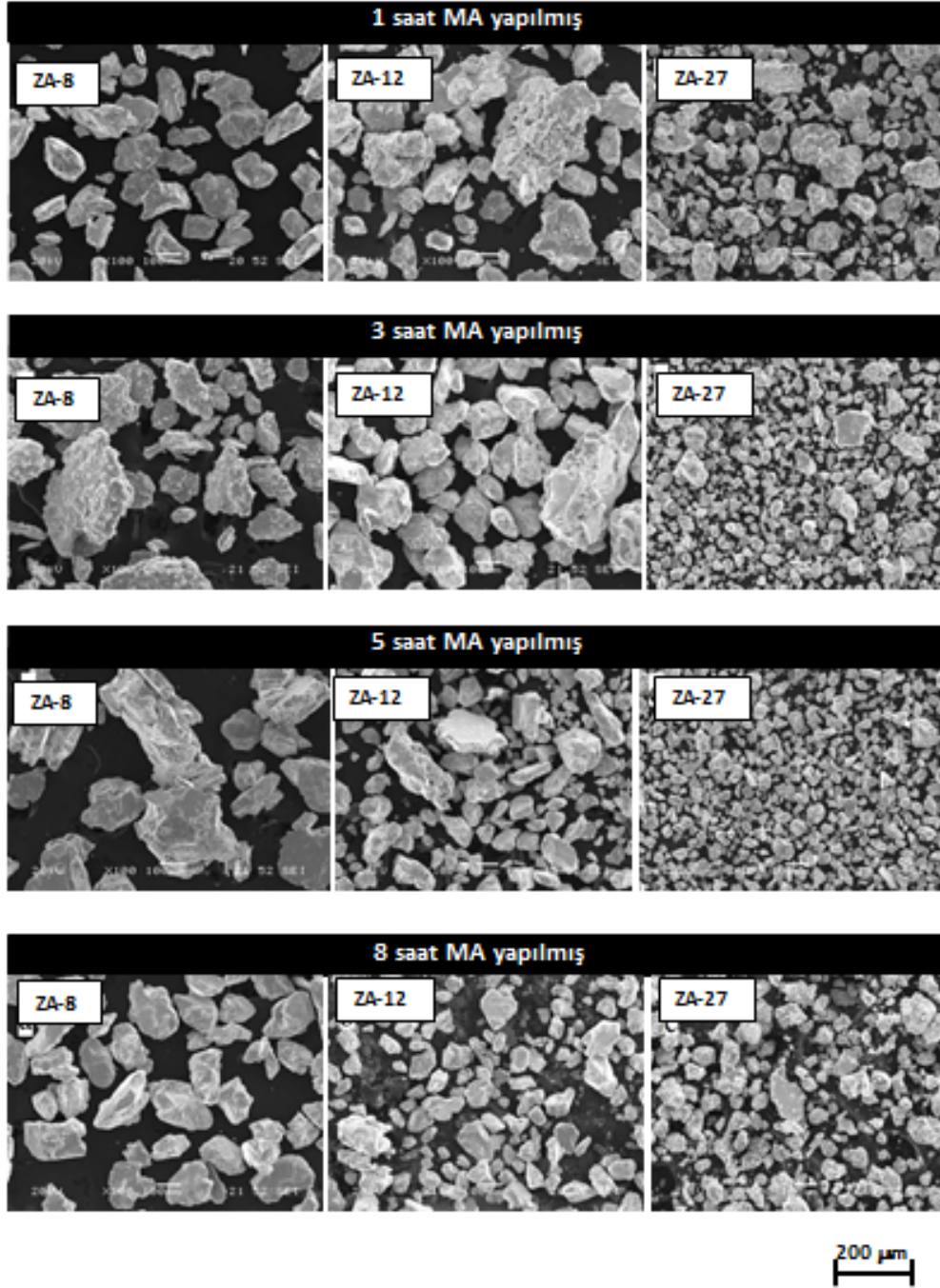
3.1. Mekanik Alaşımlanan ZA Tozlarının Karakterizasyonu (Characterization of Mechanical Alloyed ZA Powders)

ZA alaşımlarının hazırlanmasında kullanılan Zn, Al, ve Cu element tozlarının MA işlemi öncesi SEM görüntüleri Şekil 1’de gösterilmiştir. Zn tozları küresel, Al tozları yapraksı ve Cu tozlarının düzensiz şekilli olduğu görülmektedir.

Sinterleme işlemlerinden sonra element dağılım analizleri yapıldığından dolayı MA işlemleri sırasında herhangi bir yağlayıcı ve bağlayıcı kullanılmamıştır. Yağlayıcısız yapılan çalışmalarda tozlar, MA parametrelerine uygun olarak pulsulaşma olmadan kırılmaya başladığı görülmüştür. Kırılan tozlar daha sonra birleşerek farklı boyutlara sahip tozlar oluşturmuştur. Şekil 2’de farklı sürelerde MA yapılmış ZA alaşımlarının toz morfolojisi gösterilmiştir.



Şekil 1. MA işlemi öncesi ZA alaşımların hazırlanmasında kullanılan tozların SEM görüntüleri



Şekil 2. Farklı sürelerde MA yapılmış ZA alaşımlarının tozlarına ait SEM görüntüleri

MA'nın ilk evrelerinde, sünek tozların genel karakteristiği olan pulsulaşma ve soğuk kaynaklaşma, ilk toz boyutunun birkaç katına ulaşmasına neden olabilir. MA'da kullanılan Al'in sünek olması pulsulaşma eğilimini artırmıştır. Yapılan MA işlemi esnasında çinko stearat kullanılmadığı takdirde tozlar önce MA işlemi gereği pulsulaşma gerçekleşirken, pulsulaşma meydana gelmeden tozlar kırılma gerçekleştiği söylenebilir. Bununla birlikte, ZA alaşımlarında Zn oranının azalmasıyla (Al oranının artmasıyla) tüm MA sürelerinde toz boyutunda azaldığı açıkça görülmektedir (Şekil 2). YMK yapıya sahip Al'un deformasyon pekleşme hızının yüksek olması nedeniyle MA işlemi sırasında hızlı deformasyon sertleşmesinden dolayı kırılma (parçalanma) etkisi daha fazla olmuş olabilir. Oysaki Zn'nin kristal yapısı HSP ve bu kristal yapıların deformasyon sertleşmesi oldukça düşük olduğundan kırılma (parçalanma) daha az olacaktır. Bu nedenle, Zn oranı yüksek olan ZA-8 alaşımında MA işlemiyle üretilen tozların ortalama toz boyutlarının özellikle 6 saat MA süresinden sonra daha fazla olduğu görülmektedir (Şekil 3).

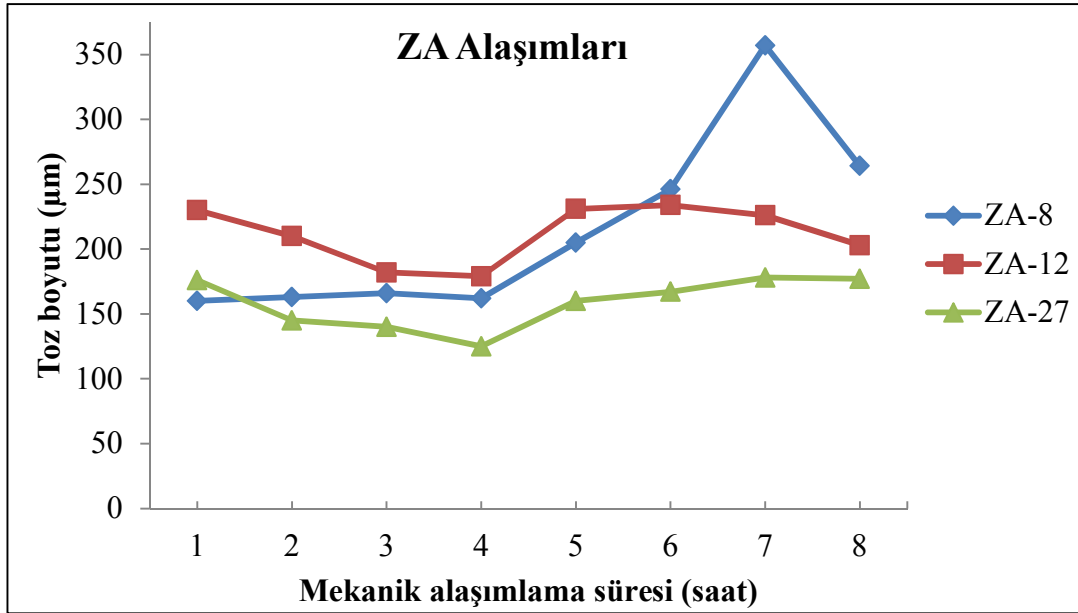
MA sürelerine göre ZA alaşımlarının ortalama toz boyutları Şekil 3'de ki gibi olduğu bulunmuştur.

tozlarında 8 saat MA işlemine kadar etkili bir azalma olmamıştır. Diğer taraftan 8 saatten sonraki çok uzun MA işlemleri, alaşım tozlarının SPEX haznesine ve öğütücü bilyelere aşırı sıvanması nedeniyle gerçekleştirilememiştir.

Bu çalışmada, seçilen MA yönteminde sıcaklığın kontrol edilememesi toz parçacık boyutlarının etkili bir şekilde düşmemesine yol açmış olabilir. Şekil 3 incelendiğinde artan Al oranı ile beraber, özellikle 6 saate kadar ZA-12 ve ZA-27 alaşımlarında toz parçacık boyutlarının kısmen de olsa daha incelendiği söylenebilir.

3.2. Sinterlenmiş ZA Alaşımlarının Mikro yapı Karakterizasyonu (Microstructure Characterization of the Sintered ZA Alloys)

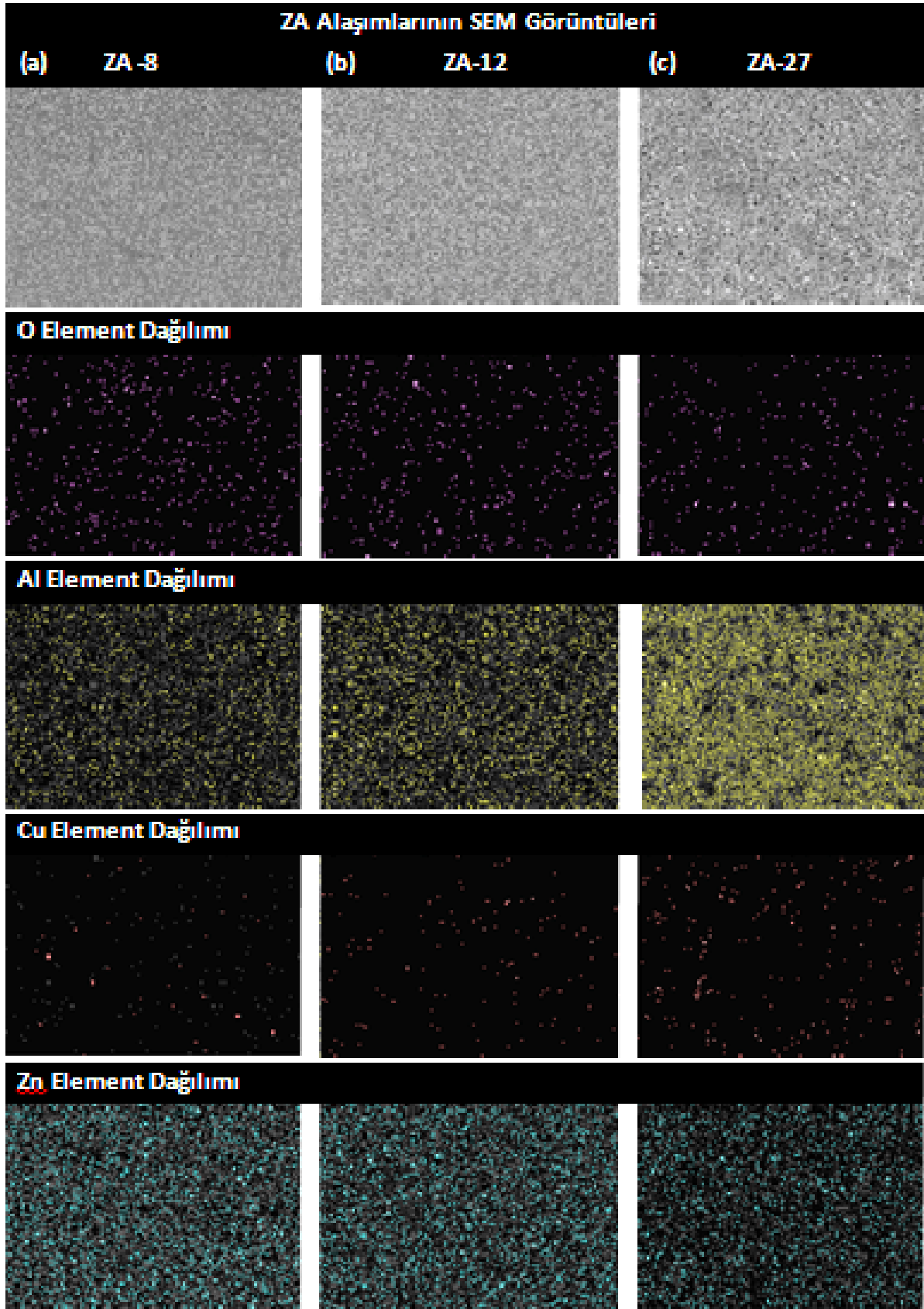
Şekil 4 ve 5'de, MA yapılmış ZA alaşımlarının sinterleme sonrası SEM görüntüleri ile element dağılım haritaları ve genel EDS analiz sonuçları verilmiştir. Tablo 1'de verildiği gibi hazırlanan ZA alaşımlarına ilave edilen kimyasal bileşimler göz önüne alındığında ZA alaşımlarının MA işlemleri sonrasında yapılan EDS çalışmalarıyla Al oranlarının yüksek seviyelerde olduğu bulunmuştur (Şekil 5). Diğer taraftan Zn oranlarının düştüğü Şekil 5'teki EDS kimyasal analiz sonuçlarından



Şekil 3. ZA alaşımlarının MA süresine göre ortalama toz tane boyutu grafiği

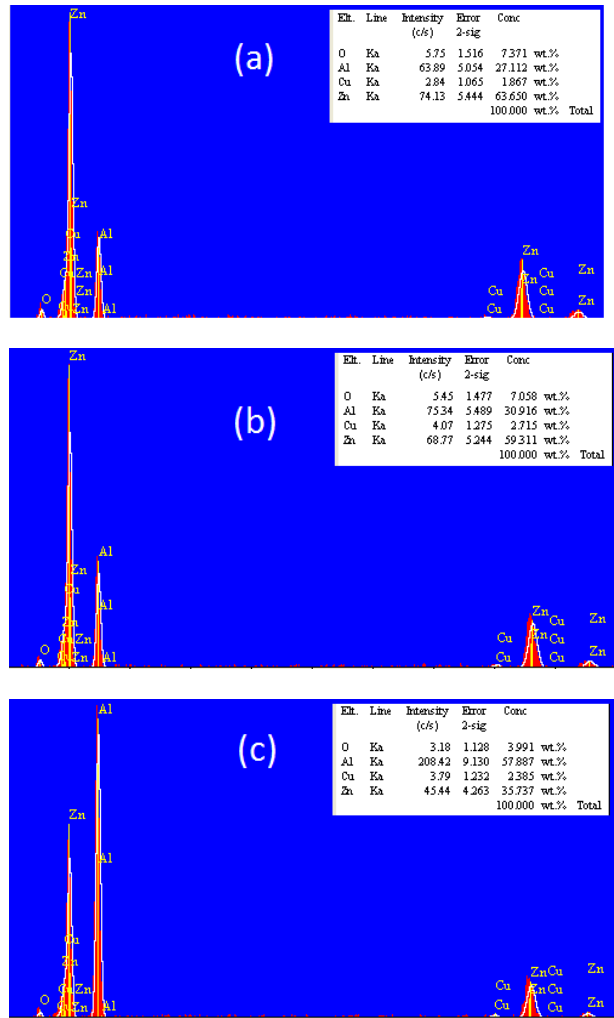
Şekil 2 ve 3'de görüldüğü tüm ZA-8 alaşım tozlarında 1 saatten 7 saate kadar MA süresine kadar toz boyutlarının genellikle artma eğiliminde olduğu görülmektedir. 7 saatten sonra azalma eğilimine girmiştir. Ancak ZA-12 ve ZA-27 alaşımı tozlarının boyutları, 4 saat MA süresine kadar nispeten azaldığı ancak 5 saat MA süresinde iken bir miktar artış olmuş daha sonraki MA sürelerinde yeniden azalma eğilimine girmiştir. Burada dikkati çeken en önemli durum; MA işlemlerinde hem alaşımlama gerçekleştirilirken hem de alaşımlanan toz boyutlarında belli bir MA süresine bağlı olarak azalması gerekirken, bu çalışmadaki ZA alaşım

görülmektedir. Bunun muhtemel nedeni Zn tozlarının mekanik öğütme işlemi sırasında öğütücü haznesine sıvanmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu nedenle ZA alaşımlarının kimyasal bileşiminde Zn oranının azalmasına bağlı olarak Al oranının artışı şeklinde önemli bir değişim gerçekleşmiştir.



Şekil 4. ZA alaşımlarının SEM mikroyapı görüntüleri ile element dağılım haritaları

50µm



Şekil 5. ZA alaşımlarının genel EDS analiz sonuçları ((a) ZA-8, (b) ZA-12, (c) ZA-27)

EDS incelemeleri sadece O, Al, Cu ve Zn elementleri seçilerek yapılmıştır. O elementi oksitlenme tavırlarını belirlemek amacıyla yapılmıştır. Zn ana matris elementi olup, Cu ve Al yapıdaki dağılımları analiz edilmiştir. Cu ise element dağılım haritasına göre mikroyapıda hem Al'da ve Zn'da homojen bir şekilde dağıldığı görülmektedir (Şekil 4 (a)).

Şekil 4 (b)'de MA yapılmış ZA-12 alaşımının SEM görüntüsü element dağılım haritası ve Şekil 5 (b)'de genel EDS analizleri verilmiştir. ZA-12 alaşımının kimyasal kompozisyonu göz önüne alınırsa (Tablo 1), Cu'nin yüksek olduğu görülmektedir. Genel EDS sonucuna göre Cu ve Al oranının yüksek, Zn'nin düşük olduğu anlaşılmaktadır.

ZA-12 alaşımının EDS ve Element dağılım haritalaması sonuçları incelendiğinde, ZA-8 alaşımına göre beklendiği gibi Al ve Cu miktarlarının daha fazla olduğu görülmektedir. Bu iki alaşımın hazırlanan kimyasal kompozisyonlarına göre (Tablo1), ZA-12 alaşımındaki Al oranı ZA-8 alaşımındaki Al oranından yüksek iken, Cu oranı düşüktür. Yapılan MA sonrasında

ZA-12 alaşımında hem Al hem de Cu oranı ZA-8 alaşımına göre daha yüksek çıkmıştır. Daha önce de açıklandığı gibi bu durumun muhtemel nedeni MA işlemi esnasında Zn tozlarının öğütücü hazne duvarlarına yapışması durumunda, elde edilen MA'lanmış tozlarda diğer elementlerin daha yüksek çıkmasına neden olduğu düşünülmektedir. Çünkü Zn'nin alümina ve özellikle çelik üzerine yapışarak sıvanma etkilerinin fazla olabileceği başka çalışmalarda bilgilendirilmektedir [23,24]. Element dağılım haritalamasına bakıldığında ise Cu'nin yapıya homojen olarak dağıldığı ve Al'nin oksitlendiği görülmektedir (Şekil 4 (b)).

Şekil 4 (c) ve Şekil 5 (c)'de MA yapılmış ZA-27 alaşımının SEM görüntüsü, element dağılım haritası ve genel EDS analiz sonuçlarına göre, ZA-8 ve ZA-12 alaşımlarına nazaran Al miktarının daha fazla olduğu, ana matris elementi olan Zn'nin daha az olduğu görülmektedir.

ZA-27 alaşımı, ZA-8 ve ZA-12 alaşımları ile karşılaştırıldığında; ZA-27 alaşımının EDS ve Element dağılım haritalaması sonuçlarına göre (Şekil 4 (c) ve Şekil 5 (c)), ZA-8 ve ZA-12 alaşımlarına nazaran Al miktarında daha fazla olduğu, ana matris elementi olan Zn'nin daha az olduğu görülmektedir. Alaşımların kimyasal kompozisyonlarına bakıldığında (Tablo 1), her üç alaşımda da ana matris elementi olan Zn'nin fazla çıkması gerekli iken, en az oranlarda ZA-27 alaşımında çıkmaktadır. ZA-27 alaşımında Cu oranı, ZA-8 ve ZA-12 alaşımlarına göre fazladır (Tablo 1). Şekil 4'deki ZA alaşımlarının element dağılım haritalamasına göre, Cu'nun yapıya homojen dağıldığı ve Al'nin oksitlendiği anlaşılmaktadır.

MA işleminden sonraki ZA alaşımları sıcak presleme sonrası yoğunlukları ve sinterleme işlemi sonrası yoğunlukları karşılaştırılmıştır. Tablo 2'de sıcak presleme sonrası, Tablo 3'de ise sinterleme sonrası numunelerin yoğunlukları verilmiştir.

Tablo 2. ZA alaşımlarının sıcak presleme sonrası yoğunlukları

MA süresi (saat)	Yoğunluk (g/cm ³)		
	ZA-8	ZA-12	ZA-27
1	5,51	5,34	4,42
2	5,96	5,51	4,55
3	5,87	5,18	4,72
4	5,93	5,48	4,63
5	6,17	5,72	4,67
6	6,03	5,67	4,64
7	6,08	5,57	4,58
8	6,95	5,81	4,61

Tablo 3. ZA alaşımlarının sinterleme sonrası yoğunlukları

MA süresi (saat)	Yoğunluk (g/cm ³)		
	ZA-8	ZA-12	ZA-27
1	5,48	5,25	4,38
2	5,84	5,42	4,47
3	5,74	5,07	4,63
4	5,81	5,43	4,59
5	6,02	5,68	4,59
6	5,95	5,60	4,60
7	5,97	5,76	4,52
8	5,52	5,19	4,59

En yüksek yoğunluk ZA-8 alaşımında gerçekleşirken, en az yoğunluk ZA-27 alaşımından sağlanmıştır. Bu ZA alaşımlarında bileşenlerinden en az özgül ağırlığa sahip Al'nin miktarının artmasının bir sonucudur. MA sonrası preslenmiş ZA alaşımlarının yoğunlukları, sinterleme sonrası yoğunluklardan biraz fazladır. Bu durumun sinterleme sonrası alaşımlarda hacimsel genişmeden kaynaklanan bir durum olduğu düşünülmektedir. Bazı alaşım sistemlerinde sinterleme işlemi ile hacimsel daralma olduğu gibi, bu çalışmada ki gibi bazı alaşım sistemlerinde hacimsel genişleme olabilmek [25]. Bu da malzemenin yoğunluğunu önemli etkiler.

Genel olarak tüm numunelerde MA süresinin artışıyla, bazı istisnalar dışında, yoğunlukta bir artış olduğu söylenebilir. Özellikle bu artışın sıcak preslenmiş numunelerde daha belirgin olduğu görülmektedir (Tablo2). Sinterleme sonrası numunelerin yoğunluklarının MA süresine doğrudan bağlı olmadığı anlaşılmaktadır (Tablo3). Bunun muhtemelen sinterleme sırasında her ne kadar koruyucu Ar gaz atmosferi kullanılsa da bazı numunelerde önemli oksitlenme durumu olduğundan kaynaklanmaktadır. Özellikle Al gibi kuvvetli oksitlenme eğilimi malzemenin hacim, kimyasal bileşim, yoğunluk ve mekanik özellikleri önemli oranda etkilemektedir.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Yapılan bu çalışmada, toz metalurjisi yöntemlerinden MA ile üretilmiş olan farklı bileşimlere sahip ZA alaşımlarının karakterizasyon özellikleri incelenmiştir. Farklı sürelerde uygulanan MA yöntemi sonrasında sıcak presleme ve sinterleme işlemi yapılmış olan ZA alaşımlarının mikroyapı karakterizasyon davranışları araştırıldı. Gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sonunda etkin parametrelerin, MA süresi ve alaşımın kimyasal kompozisyonu olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

1. ZA-8, ZA-12 ve ZA-27 alaşımlarında MA süreleri göz önüne alındığında 4. saatten sonra tozların

birleşerek irileştiği görülmüştür. Bu yüzden toz boyutu bakımından optimum süre 4 saat olarak belirlenmiştir.

2. En küçük toz boyutları ZA-27 alaşımında olduğu görülmektedir. ZA alaşımlarının MA sürelerine göre toz boyutlarında etkili bir azalma görülmemiştir.

3. Yapılan EDS sonuçlarına bakıldığında, ZA alaşımlarının kimyasal kompozisyonu göz önüne alındığında Al % oranının beklenenden daha fazla, Zn % oranının ise beklenenden daha az olduğu ortaya çıkmıştır. Bunun muhtemel nedeni Zn'nin Al'den daha fazla oranda oksitlenme eğiliminden kaynaklanmaktadır.

4. ZA alaşımlarının element dağılım haritalama sonuçlarına göre Cu'nun yapıya homojen olarak dağıldığı ve Al'nin ve Zn'nin oksitlendiği görülmüştür.

5. ZA alaşımlarının MA işleminden sonra sıcak presleme sonucundaki yoğunluk değeri, sinterleme sonucu yoğunluk değerinden yüksek bulunmuştur. Bunun nedeni olarak sinterleme sonrasında alaşımların boyutlarında büyüme olduğundan dolayı numunelerde hacimce artma, yoğunlukta azalma olarak düşünülmektedir. ZA alaşımlarında Al oranı arttıkça yoğunluk, Al'nin düşük özgül ağırlığından dolayı azalmıştır.

5. KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Savaşkan, T., "The Structure and Properties of Zinc-Aluminium Based Bearing Alloys", Ph. D. thesis, University of Aston in Birmingham, 10-15 (1980).
2. Murphy, S., Savaşkan, T., "Comparative Wear Behaviour of Zn-Al-Based Alloys in an Automotive Engine Application", *Wear*, 98(2): 151-161 (1984).
3. Calayag, T. and Ferres, D., "High Performans, High Aluminum Zinc Alloys for Low Speed Bearingsand Bushings", SAE Annual Conference, London, paper no 820643, 2241-2251 (1983).
4. Gervais, E., Loong, C. A., "New ZA in DieCasting", 11th International Pressure Die Casting Conference, Lyon-France, 1-25. (1984).
5. Barnhurst, R. J., "Zinc-Aluminum Alloy Design Manual for Continuous Rotation Bearings", Noranda Sales Corporation Ltd., January, Toronto, 85-96 (1988).
6. Lyon, R., "The Propertiesand Applications of ZA Alloys", *The British Foundry-man*, 344-349 (1986).
7. Murphy, S., "Solid-Phase Reactions in the Low-Copper Part of the Al-Cu-Zn System", *Zeitschrift Metallkunde*, 71(5): 96-102 (1980).
8. Zhu, Y., Yan, B., Huan, W., "Bearing Wear Resistance of Monotectoid Zn-Al Based Alloy (ZA-35)", *Materials Scienceand 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., "Frictionand 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, paper no 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, paper no 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. Schaffer, G.B. and Huo, S.H., On development of 7xxx series aluminium alloys, Powder Metal. Vol 42-3, 219-226, 2008
17. Cambroner, 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
18. Suryanarayana, C. Mechanical alloying and milling, Progressing in Mater. Sci. 46, 1-184, 2001
19. Thummler, F. And Oberacker, R., Introduction to powder metallurgy, The Institute of materials, 1-10, London, U.K. 1994
20. 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 (Ni₃Al)_p, Composites: Part A-33, 427-434, 2002
21. 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
22. Sankar, R. and Singh, P. Synthesis of 7075 Al/SiC particulate composite powders by mechanical alloying, Materials Letters, 36, 201-205, 1998
23. Hao, L., Lu, Y., Sato, H. and Asanuma, H., Fabrication of zinc coatings on alumina balls from zinc powder by mechanical coating technique and the process analysis, Powder Technology, 228, 377-384, 2012
24. De Abreu, Y., Da Silva, A., Ruiz, A., Réquíz, R., Angulo, N. And Alanis, R., Study of zinc coatings on steel substrate attained by two different techniques, Surface and Coatings Technology, 120-121, 682-686, 1999
25. German, R. M., "Toz Metalurjisi ve Parçacıklı Malzeme İşlemleri", Çeviri Editörleri, Sarıtaş, S., Türker, M., Durlu N., Türk Toz Metalurjisi Derneği Yayınları, Ankara, 60-80, 2007