

# TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN Al2024-Si ALAŞIMI KOMPOZİTLERDE Si MİKTARININ VE YAŞLANDIRMA SÜRELERİNİN ETKİSİ

Hasan KARABULUT<sup>1\*</sup>, Mustafa TÜRKMEN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, TOBB Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye

<sup>2</sup>Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Hereke Meslek Yüksekokulu, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye

Geliş / Received: 23.05.2016

Düzeltilmelerin gelişi / Received in revised form: 22.08.2016

Kabul / Accepted: 22.09.2016

## ÖZ

Al2024 matrisli Si takviyeli kompozitler, Al2024 alaşım tozlarının içerisine ağırlıkça ayrı ayrı %5, 10 ve 15 oranında Si ilavesi yapılarak klasik Toz Metalürjisi yöntemiyle üretilmiştir. Tozlar 0,0001 hassasiyetli terazi ile tartılarak, üç eksenli karışım yapan turbulo cihazında bir saat süreyle karıştırılmıştır. Elde edilen karışım tozlar 12 mm çapında 10 mm yüksekliğinde blok oluşturacak şekilde tek eksenli pres ile blok haline getirilmiştir. Blok haline getirilen numuneler kademeli olarak önce 300°C'de 30 dakika, ardından 590°C'de 90 dakika bekletilerek sinterlenmiştir. Üretilen numunelere farklı parametrelerde yaşlandırma işlemi uygulanarak, kompozitlerde yaşlandırma süresinin ve Si miktarının sertlik özelliklerine etkisi incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kompozit, Al2024, sertlik

## EFFECT OF THE AMOUNT OF Si AND AGING DURATIONS IN Al2024-Si ALLOYED COMPOSITES PRODUCED BY POWDER METALLURGY METHOD

### ABSTRACT

In the present paper, different weight fractions of 5, 10 and 15% Si particles reinforced Al2024 matrix composites were prepared by the powder metallurgy method. The powders were prepared using a digital weighing scale with a precision of 0.0001. The powders were stirred with turbulo machine for 1 hour. Homogeneously mixed powders were pressed to form 12 mm in diameter and 10 mm height block in one direction. The pressed samples were sintered gradually first at 300°C for 30 min then 590°C for 90 min in an argon atmosphere. Sintered samples were applied aging treatment by different parameters. The effects of Si addition and aging time on hardness behaviour of composites have been investigated.

**Keywords:** Composite, Al2024, hardness

### 1. GİRİŞ

Alüminyum ve alaşımları yüksek ısı ve elektrik iletimleri gibi avantajlarının yanı sıra yoğunluklarının da düşük olması sebebiyle endüstrisinin birçok alanında tercih edilmektedir. Artırılmış dayanımları ve estetik görünümleri ile yaşam alanlarımızın çoğunda kullanılmaktadır. Alüminyum ve alaşımlarının dayanımlarını artırmak ve diğer özelliklerini de iyileştirmek için sert takviye elemanlarıyla (fiber, whisker, parçacık gibi)

\*Corresponding author / Sorumlu yazar Tel.: +90 370 433 6603; e-mail/e-posta: hasankarabulut@karabuk.edu.tr

## TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN Al2024-Si ALAŞIMI KOMPOZİTLERDE Si MİKTARININ VE YAŞLANDIRMA SÜRELERİNİN ETKİSİ

alüminyum matrisli kompozitler üretilmektedir [1]. Kompozit malzemeler, kimyasal bileşimi ve özellikleri bakımından farklı olan birden daha fazla sayıda malzemenin makro düzeyde birleştirilmesi ile bir araya getirilen malzemelerdir [2]. Kompozit malzeme içerisindeki bileşenler ara yüzeylerle birbirinden ayrılır ve yapı içerisinde kendine has özelliklerini muhafaza ederler [3]. Kompozitlerde matris malzemesi takviye elemanlarını bir arada tutarken, takviye elemanları ise yükü taşımaktadır.

Kompozit malzemelerin üretim yöntemlerinden bir tanesi toz metalürjisi (TM) metodudur. Genel olarak toz metalürjisi, saf metal ve alaşım tozları ile seramik esaslı tozların karıştırılarak preslenmesi, sinterlenmesi ve böylece dayanımlarının artırılması amacıyla yeni malzeme üretim tekniği şeklinde tanımlanmaktadır [4, 5, 6]. Kısaca toz metalürjisi, tozların bazı işlemlerden geçirilerek yararlı mühendislik malzemelerine dönüştürülmesidir [6]. Hemen hemen her malzemeye uygulanabilen toz metalürjisi tekniği ile dökümde olduğu gibi net şekilli parçalar üretilebilmektedir [6, 7]. TM yöntemi ekonomiklik, üretilebilirlik, homojenlik ve kalite gibi birçok üstün özellikleri sağladığı için tercih edilmektedir [6, 8]. Üretim maliyetinin düşük olması ve performansının yüksek olması sebebiyle birçok farklı alanda kullanılmaktadır [6].

TM ile üretimin; diğer (döküm, kaynak, talaşlı imalat ve plastik şekil verme vb.) yöntemlerle üretilmesi zor veya üretilemez olan çeşitli alaşımların üretilebilmesi, malzeme kaybının oldukça az olması, üretim hızının yüksek olması, hassasiyet gerektiren karmaşık şekilli parçaların üretilebilmesi, üretilen malzemelerde yüksek (fiziksel ve mekanik) özellikler gibi birçok üstünlükleri vardır [6, 9, 10, 11]. Tüm bahsedilen bu üstün özellikler TM ile yapılan çalışmaların önemini artırmaktadır. Bu sebeple bu çalışmada, Al2024 matrisli Si takviyeli kompozitler klasik TM yöntemiyle üretilmiştir. Üretilen numunelerde Si miktarı ve farklı yaşlandırma sürelerinin, mikro yapı ve sertlik özelliklerine etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOT

DeneySEL çalışmalarda otomotiv ve havacılık endüstrisinde yaygın olarak kullanılan Al2024 alaşım tozları ve Si tozları kullanılmıştır. Bu tozlar Sigma Aldrich firmasından tedarik edilmiştir. Matris malzemesi olarak kullanılan Al2024 alaşım tozları 95 µm parçacık boyutunda olup kimyasal bileşimleri Tablo 1'de görülmektedir. Si tozlarının parçacık boyutları ise 44 µm'dir.

Tozların karışım oranları Tablo 2'de görülmektedir. Tozlar ağırlıkça %5, 10 ve 15 oranında Si, geri kalanı Al2024 ve %0,5 çinko stearat olacak şekilde 0,0001 g hassasiyetli terazide tartılarak harmanlandı.

**Tablo 1.** Al2024 alaşım tozlarının kimyasal analiz sonuçları

Oran (%)	Si	Fe	Cu	Mg	Mn	Cr	Zn	Ti
Minimum	-	-	3,8	1,2	0,3	-	-	-
Maksimum	0,5	0,5	4,9	1,8	0,9	0,1	0,25	0,15

**Tablo 2.** Al2024 ve Si tozlarının ağırlıkça oranları

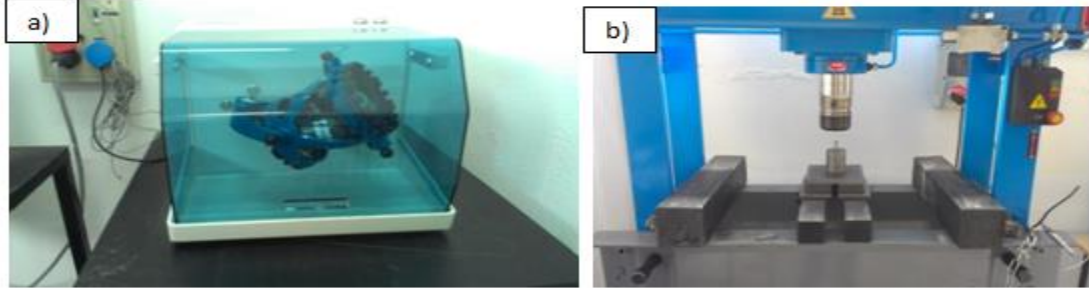
Alaşım 1	%5 Si	%95 Al2024
Alaşım 2	%10 Si	%90 Al2024
Alaşım 3	%15 Si	%85 Al2024

Karışım işlemi üç eksenli karıştırıcı ile (Şekil 1a) 1 saat süreyle bilyesiz olarak gerçekleştirildi. Karıştırılarak harmanlanan tozlar 440 MPa basınç altında Ø12 x 10 mm boyutlarında blok parçalar oluşturacak şekilde Şekil 1b'de görülen hidrolik pres ve kalıp yardımıyla tek yönlü olarak preslendi. Blok parçalar Şekil 2a'da görülen sinterleme fırını ile Şekil 3'teki akış diyagramı doğrultusunda kademeli olarak argon atmosferinde sinterlendi. Sinterlenen numunelerdeki sinterleme kalitesini ve faz dağılımını görebilmek için, uygun numuneler alınarak, zımparalama, parlatma ve dağlama işlemleri uygulandı. Üretilen kompozitlerin mikro yapıları optik mikroskop ile incelendi.

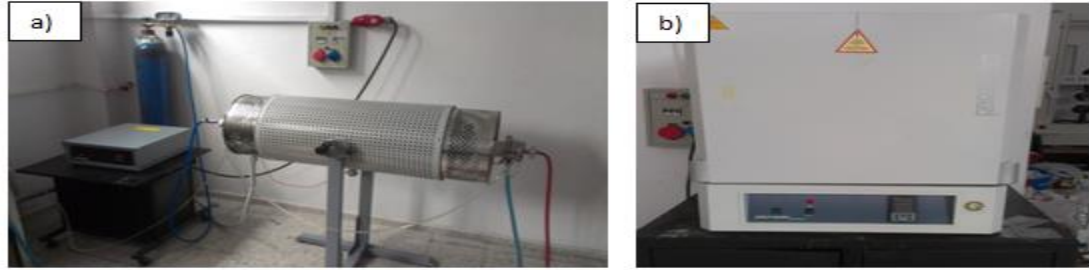
Üretilen kompozitlerin yaşlandırma işlemleri Şekil 2b'de görülen Protherm marka ve PLF 120/27 model fırın ile gerçekleştirildi. Öncelikle numuneler Şekil 4'teki diyagramda görüldüğü gibi 530°C'de 2 saat bekletilerek solüsyona alma işlemine tabi tutulmuştur. Numuneler, 2 saatin sonunda fırından alınarak bekletilmeden suda soğutulmuştur. Yaşlandırma sıcaklığı 180°C olarak belirlenmiş ve sabit tutulmuştur. Yaşlandırma süreleri ise; 30 dk, 1 saat, 2 saat, 4 saat, 6 saat ve 8 saat olarak belirlenmiştir. Yaşlandırma süresi kadar bekletildikten sonra fırından çıkarılan numuneler hava akımı olmayan bir ortamda oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır.

H. KARABULUT, M. TÜRKMEN

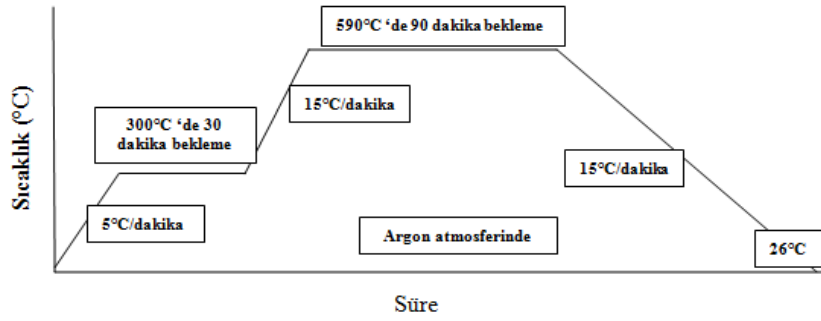
Sertlik ölçümü için numuneler 1200 mesh'e kadar su zımparaları ile zımparalanarak sertlik ölçümleri Brinell sertlik ölçüm cihazında yapılmıştır. Uygun mikro yapı numuneleri hazırlanarak, saf su içine 5 mL HNO<sub>3</sub>, 3 mL HCl, 2 mL HF asitleri kullanılarak oluşan çözeltide dağlama işleminin ardından mikro yapı görüntüleri alınmıştır.



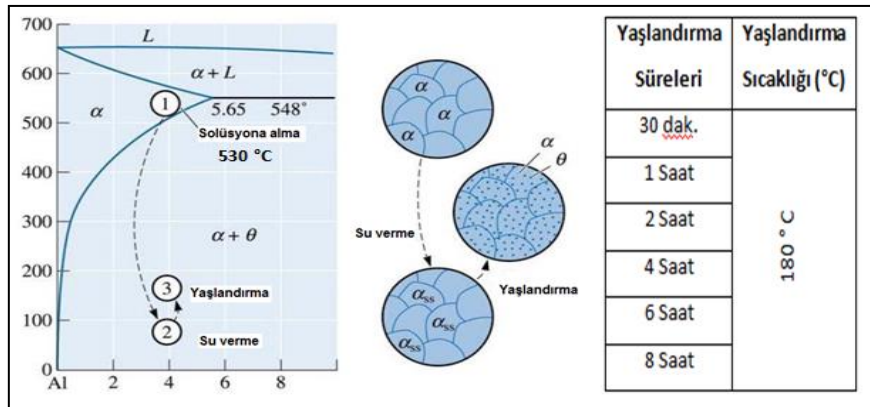
Şekil 1. a) Üç eksenli karıştırıcı, b) Hidrolik pres ve kalıp



Şekil 2. a) Atmosfer kontrollü sinterleme fırını, b) Yaşlandırma fırını



Şekil 3. Sinterleme parametreleri akış diyagramı

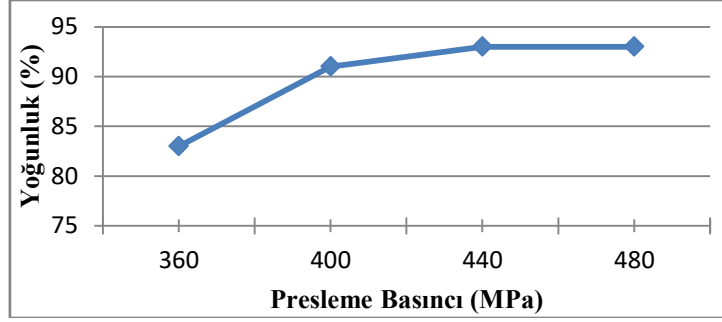


Şekil 4. Yaşlandırmanın temel prensibi ve yaşlandırma parametreleri

*TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN Al2024-Si ALAŞIMI KOMPOZİTLERDE Si MİKTARININ VE YAŞLANDIRMA SÜRELERİNİN ETKİSİ*

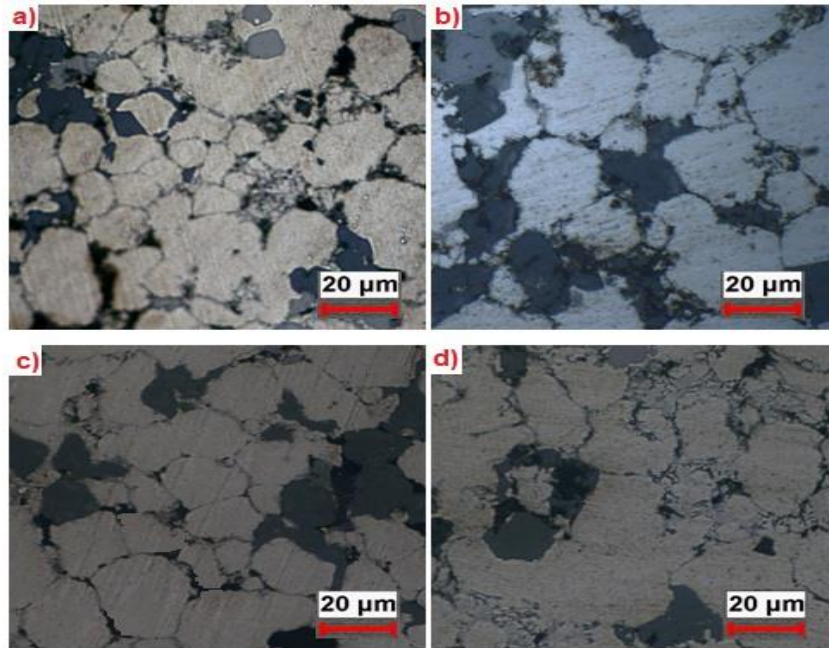
### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Şekil 5, %5 Si içeren Alaşım-1 numunelerinin farklı presleme basınçlarında ham yoğunluk değerlerini göstermektedir. Yapılan 4 farklı presleme işleminde 440 MPa ve sonrasında değerlerde çok fazla artış olmadığı için devam eden çalışmaların 440 MPa presleme basıncında preslenmesi uygun görülmüştür. Şekil 5'te görüldüğü gibi %5 Si içeren Alaşım-1 numunelerinin ham yoğunluk değerleri %93 olarak belirlenmiştir. Gökçe ve ark. [12] Al4CuXMg TM alaşımına Mg ilavesi yapmış ve ideal presleme basıncını 400 MPa olarak belirlemişlerdir. Aynı alaşıma %2 Mg ilavesinde yaklaşık olarak %97 yoğunluk elde ettikleri görülmüştür.



**Şekil 5.** Farklı presleme basınçlarında Alaşım-1 numunelerinin ham yoğunluk değerleri

Şekil 6'da yaşlandırma sonrası en yüksek değerlerin elde edildiği %15 Si içeren numunelere ait mikro yapı resimlerini göstermektedir. Mikro yapı resimlerinde genel olarak Si parçacıklarının tane sınırlarında kısmen toplanmalar oluşturduğu ve yaşlandırma sürelerinin artmasıyla nispeten gözeneklerin kapanmaya başladığı görülmektedir. Solüsyona alınan numunelerin orijinal numunelerle karşılaştırıldığında tane boyutlarında ana malzemeye göre büyüme meydana geldiği görülmektedir. Numunenin yeniden kristalleşme sıcaklığının üzerindeki bir sıcaklıkta uzun süre tutulması sonucunda gerçekleştiği düşünülmektedir. 4 saat yaşlandırma işlemi yapılan numunelerde tanelerinin daha ince olduğu ve bu durumun dayanım artışına sebep olduğu anlaşılmaktadır. Yaşlandırma süresi 8 saate çıkarıldığında ise tane kabalaşmasının olduğu ve aşırı yaşlanma ile numunelerin dayanım değerlerinin düştüğü görülmüştür.



**Şekil 6.** %15 Si içeren numunelere ait mikro yapı resimleri. a) Orijinal numune, b) Solüsyon sonrası, c) 4 saat yaşlandırma, d) 8 saat yaşlandırma

H. KARABULUT, M. TÜRKMEN

Tablo 3'te yaşlandırma süresi ve Si miktarına bağlı olarak numunelerin sertlik değerleri görülmektedir. Genel olarak Si miktarının artışı ile sertlik değerleri tüm işlemler için artış göstermiştir. Tüm kompozitlerde 4 saate kadar yaşlandırma işlemlerinde düzenli bir artış görüldüğü ve 4 saatlik yaşlandırma işleminin en iyi sertlik sonuçlarını verdiği görülmektedir. En yüksek sertlik değerleri %15 Si içeren ve 4 saat süreyle yaşlandırma işlemi yapılan kompozitlerde 120 HB (Brinel sertlik değeri) olarak ölçülmüştür. Benzer şekilde Wang ve ark. [13] Al-Si alaşımında Si miktarındaki artışın çekme dayanımlarında artışa sebep olduğunu bildirmişlerdir. Gökçe ve ark. [12], yapmış oldukları çalışmada, Mg ilavesi yapılarak TM yöntemiyle Al<sub>4</sub>CuXMg alaşımı üretmişlerdir. Bu çalışmada 6 saat yaşlandırma sonucunda %2 Mg içeren alaşımlarda yaklaşık 110 HB sertlik değeri belirlenmiştir. Narayan ve ark. [14] ise, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlerde aşınma dayanımını belirlemeye çalışmışlar, aynı çalışmada soğuma yaşlanması sonucunda 115 Hv (Vickers sertlik değeri) sertlik değerini belirlemişlerdir. Mousavi ve Seyed [15], Al-2024-SiCp kompozitlerin yaşlanma özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmalarında; 2024Al-20%(hacimce) SiC kompozitler için 495°C'de solüsyona alma ve 191°C'de 4 saat yaşlandırma işlemi neticesinde yaklaşık 170 Hv sertlik değeri elde etmişlerdir.

**Tablo 3.** Yaşlandırma sürelerine ve Si miktarına bağlı sertlik değerleri (HB)

Si Oranı (%)	Orijinal	Solüsyon	Yaşlandırma Süreleri (Saat)					
			1/2	1	2	4	6	8
5	79	71	95	105	108	108	84	83
10	88	82	104	109	112	115	103	96
15	95	88	108	112	116	120	105	100

#### 4. SONUÇLAR

TM yöntemiyle üretilen farklı oranlarda Si içeren Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> toz metal kompozitlere, yaşlandırma işlemi uygulanmış ve yaşlanma sürelerine göre mikro yapı ve sertlik değerleri belirlenerek aşağıdaki sonuçlar bulunmuştur: Üretilen numunelerin yoğunluk ölçüm sonuçlarına göre ideal presleme basıncı 440 MPa olarak belirlenmiştir. Mikro yapı incelemeleri sonucunda Si parçacıklarının tane sınırlarında kısmen topaklanmalar oluşturduğu ve yaşlandırma sürelerinin artmasıyla nispeten gözeneklerin kapanmaya başladığı tespit edilmiştir. Artan Si miktarına bağlı olarak sertlik değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. En yüksek sertlik değerlerini 180°C sıcaklık ve 4 saatlik yaşlandırma işlemine tabi tutulan %15 Si içeren numuneler göstermiştir.

#### KAYNAKLAR

- [1] JUN, D., LIU, Y.H., YU, S.R., LI, W.F., "Dry Sliding Friction and Wear Properties of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Carbon Short Fibres Reinforced Al-12Si Alloy Hybrid Composites", *Wear*, 257, 930-940, 2004.
- [2] KAW, A.K., "Mechanics of Composite Materials", Crc Press, Washington, 3, 61- 65, 1997.
- [3] HULL, D., CLYNE, T.W., "An Introduction to Composite Materials", 2nd Edition, Cambridge University Press, Cambridge, 1996.
- [4] ROBERT, M., "Powder Metallurgy Science", Metal Powder Industry Federation, New Jersey, 1984.
- [5] TOMAÇ, N., TONNESSEN, K., "Machineability of Particulate Aluminium matrix composites", *Annals of the CIRP*, 40-58, 1992.
- [6] SARITAŞ, S., TÜRKER, M., DURLU, N., "Toz Metalurjisi ve Parçacıklı Malzeme İşlemleri", *Türk Toz Metalurjisi Yayınları*: 05, Ankara, 2007.
- [7] ERDEN, M.A., GÜNDÜZ, S., KARABULUT, H., TÜRKMEN, M., "Effect of V Addition on the Microstructure and Mechanical Properties of Low Carbon Microalloyed Powder Metallurgy Steels", *Materials Testing*, 58, 5, 433-437, 2016.
- [8] ERDEN, M.A., KARABULUT, H., TÜRKMEN, M., GÜNDÜZ, S., "Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretilen Alaşımsız Çeliklerde Sinterleme Ortamının Mekanik Özelliklere Etkisi" 15th International Materials Symposium (IMSP'2014), Denizli, Turkey, 2014.
- [9] TÜRKER, M., ÖZDEMİR, T., ÖGEL, B., YAVUZ, A., "Al-SiC tozlarının mekanik alaşımlama değirmeninde öğütme zamanının kompozit toz yapısına etkisinin araştırılması", *Uluslararası Katılımlı 2. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı*, Ankara, 425, 430, 1999.

*TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN Al2024-Si ALAŞIMI KOMPOZİTLERDE Si MİKTARININ VE YAŞLANDIRMA SÜRELERİNİN ETKİSİ*

- [10] ERDEN, M.A., GÜNDÜZ, S., KARABULUT, H., TÜRKMEN, M., "Microstructural Characterization and Mechanical Properties of Microalloyed Powder Metallurgy Steels, *Materials Science and Engineering: A*, 616, 201-206, 2014.
- [11] ERDEN, M.A., GÜNDÜZ, S., KARABULUT, H., TÜRKMEN, M., "Düşük Karbonlu Ti Mikroalaşım TM Çeliğinin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin Sinterleme Sıcaklığına Bağlı Olarak Geliştirilmesi" 7th International Powder Metallurgy Conference and Exhibition, (PM7), Ankara, Turkey, 2014.
- [12] GÖKÇE, A., FINDIK, F., KURT, A.O., "Effects of Mg Content on Aging Behavior of Al4CuXMg PM Alloy", *Materials and Design* 46, 524-531, 2013.
- [13] YONGJIN W., HENGCHENG L., YUNA W., JIAN Y., "Effect of Si Content on Microstructure and Mechanical Properties of Al-Si-Mg Alloys", *Materials and Design* 53, 634-638, 2014.
- [14] NARAYAN, M., SURAPPA, M.K., PRAMILA BAI, B.N., "Dry Sliding Wear of Al Alloy 2024~A1203 Particle Metal Matrix Composites", *Wear* 181-183, 563-570, 1995.
- [15] MOUSAVI ABARGHOUE, S.M.R., SEYED REIHANI, S.M., "Aging Behavior of a 2024 Al Alloy-SiCp Composite", *Materials and Design* 31, 2368-2374, 2010.