



**Hasan Karabulut**

Karabük University, hasankarabulut@karabuk.edu.tr, Karabük-Turkey

DOI	<a href="http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2020.15.1.2A0179">http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2020.15.1.2A0179</a>
ORCID ID	0000-0002-3370-9994
CORRESPONDING AUTHOR	Hasan Karabulut

## Al2024 MATRİSLİ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN SICAK PRESLEME YÖNTEMİYLE ÜRETİMİNDE TAKVİYE ORANININ MİKROYAPI, SERTLİK VE AŞINMA ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

### ÖZ

Bu çalışmada, sıcak presleme yöntemiyle Al2024 esaslı ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviyeli kompozitlere ağırlıkça %10 ve %20 olmak üzere farklı iki oranda Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviyesi yapılarak kompozit üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu sebeple 2024 alüminyum alaşım tozları ile ağırlıkça %10 ve %20 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tozları ayrı ayrı 1 saat süreyle üç eksenli karıştırıcı ile karıştırılmıştır. Elde edilen karışım tozlar tek yönlü eksenel kalıp içerisinde 50MPa basınç altında, 550°C sıcaklıkta 1 saat süreyle bekletilmesiyle numuneler blok haline getirilmiştir. Üretilen kompozitlerin yoğunluk, sertlik ve aşınma özelliklerinde oluşturdukları etkinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Yapılan deney sonuçlarına göre takviye oranının artırılmasıyla kompozitlerin yoğunlukları az oranda düşmüş olup, aşınma hacim kaybı ciddi oranda düşmüştür. Bunun yanında sertlik değerleri artmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Sıcak Presleme, Al2024, Kompozit, Aşınma, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

## THE EFFECT OF REINFORCEMENT RATIO ON MICROSTRUCTURE, HARDNESS AND WEAR PROPERTIES IN THE PRODUCTION OF Al2024 MATRIX Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> REINFORCED COMPOSITES BY HOT PRESSING METHOD

### ABSTRACT

In this study, Al2024 based and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> reinforced (10% and 20% by weight) composites were produced by hot pressing method. For this reason, 2024 aluminum alloy powders and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> powders (10% and 20% by weight) were separately mixed with the triaxial mixer for 1 hour. The mixture powders were blocked in a unidirectional mold under a pressure of 50MPa at 550°C for 1 hour. It is aimed to determine the effect of composites on density, hardness and abrasion properties. According to the results of the experiments, the density of the composites decreased slightly and the wear volume loss decreased significantly by increasing the reinforcement ratio. In addition, hardness values increased.

**Keywords:** Hot Pressing, Al2024, Composite, Wear, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

### How to Cite:

Karabulut, H., (2020). Al2024 Matrisli Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Takviyeli Kompozitlerin Sıcak Presleme Yöntemiyle Üretiminde Takviye Oranının Mikroyapı, Sertlik ve Aşınma Özelliklerine Etkisi, Technological Applied Sciences (NWSATAS), 15(1):8-14, DOI:10.12739/NWSA.2020.15.1.2A0179.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Çok hızlı bir şekilde gelişen teknoloji yeni malzeme üretim çalışmalarının da bu hızla devam etmesini gerektirmektedir. Kompozit malzemelerde bu yeni malzeme gruplarından bir tanesidir. İki ya da daha fazla sayıdaki malzemelerin en iyi özelliklerini yeni ve tek bir malzemede birleştirmek amacıyla makro düzeyde birleştirilen malzemelere kompozit malzeme denilmektedir [1]. Kompozit malzemeler takviye elemanları ile bunları bir arada tutan matris malzemesinden oluşmaktadır. Kompozit malzemelerin üretim amacı genel olarak yüksek mekaniksel dayanım, rijitlik, yorulma dayanımı, aşınma dayanımı, yüksek korozyon dayanımı ve bunun yanın da ağırlıkça hafif ve estetik görünümlü malzemeler üretmektir [1]. Bu bağlamda kompozit malzemeler makine, uzay, uçak, otomotiv, tıp, gemi, kimya, elektrik, tekstil ve hatta spor endüstrisinde bile kullanılabilir. Alüminyum ve alaşımlarının özellikleri uygun takviye elemanlarının eklenmesiyle bir kaç kat arttırılabilir. Bu durum Alüminyum matrisli kompozitlerin üretilmesiyle gerçekleştirilmektedir. Alüminyum matrisli kompozitlerin birçok farklı üretim yöntemi vardır. Toz metalurjisi yöntemi alüminyum matrisli kompozitlerin üretildiği yöntemlerden biridir. Toz metalurjisi, metal veya seramik tozlarının bir kalıpta şekillendirilmesi ile bu esnada veya sonrasında ergime sıcaklıklarının altındaki bir sıcaklıkta sinterlenmesi sürecidir [2, 3 ve 4].

Toz metalurjisi yöntemi, ekonomikliği, üretilebilen parçaların homojenliği, kalitesi ve yüksek performansı ile düşük maliyeti için tercih edilmektedir [2 ve 5]. Sıcak presleme yöntemi, yüksek performanslı ve sinterleme davranışı zayıf olan malzemelerin üretilmesi için uygun bir yöntemdir [6 ve 7]. Ayrıca bu yöntem, sıvı faz yöntemi ile üretilemeyen malzemelerin üretiminde kullanılmakta olup, birçok oksit ve karbürlerin ( $Al_2O_3$ , SiC,  $B_4C$  v.d.) üretimi grafit veya yüksek sıcaklıklarda erimeyen kalıplarda yapılabilir [6 ve 8]. Bu yöntemin presleme ve sinterlenme işleminin aynı anda gerçekleştirilmesi [6], sıcaklık ve basıncın eş zamanlı olarak uygulanması [6], sert iş malzemelerinin üretiminde teorik yoğunluğuna ulaşılması [6 ve 9], düşük maliyetli olması [10] gibi birçok avantajı mevcuttur. Geçmişte yapılan bazı çalışmalar incelendiğinde; Arık ve arkadaşları [11] sıcak presleme ile alüminyum matrisli ve  $Al_2O_3$  takviyeli toz metal kompozit malzeme üretimi yaparak aşınma davranışının incelemişlerdir. Bu çalışmalarında saf Al tozlarına %15 oranında  $Al_2O_3$  ilave etmişler ve mekanik alaşımlama işleminin ardından sıcak presleme işlemini 200MPa basınç altında ve  $550^\circ C$  sıcaklıkta 2 saat süreyle bekletmeyle gerçekleştirilmişlerdir. Sıcak presleme şeklinde üretilen ağırlıkça %15  $Al_2O_3$  takviyeli toz metal kompozitin saf alüminyuma göre sertliği önemli oranda artarken aynı şartlar altında yapılan ball-on disk abrasif aşınma testleri sonucu elde edilen aşınma derinliği, aşınma katsayısı ve aşınma kuvveti değerlerinin önemli ölçüde düştüğünü bildirmişlerdir.

Gökmen yaptığı çalışmada  $Al_{2024}$  tozu içerisine farklı miktarlarda (%5-10-15)  $B_4C$  ve  $Al_2O_3$  ilavesi ile hibrit/kompozit üretmiştir [12]. Karışım tozlar tek yönlü olarak (400MPa) altında preslenmiştir. Ürettiği numuneleri  $600^\circ C$ 'de sinterleme işleminin ardından  $500^\circ C$  sıcaklıkta ekstrüze etmiştir. Çapraz kırılma test numuneleri elde edilmiştir. Sonuçta takviye elemanın oranındaki artışla sertlik ve çapraz kırılma dayanım değerlerinin arttığını belirlemiştir.

Kök, yaptığı çalışmada, Vorteks metodu ve basınç ile üç farklı boyut ve hacim oranlarında  $\alpha-Al_2O_3$  partikülleri ile takviye edilmiş 2024Al esaslı metal matrisli kompozitler üretmiştir [13]. Bu çalışmada SEM ile yapılan incelemelerde partikül boyutunun artmasıyla homojen bir dağılım sağlandığı; düşük boyutlu partiküllerin, partikül

topaklanmasına ve porozite oluşumuna neden olduklarını bildirmiştir. Karabulut ve Türkmen, klasik toz metalürjisi yöntemiyle Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> matrisli %5, 10 ve 15 oranında Si takviyeli kompozitler, üretmişlerdir [14]. Farklı parametrelerde yaşlandırma işlemi uygulamışlar ve kompozitlerde yaşlandırma süresi ile Si miktarının sertlik özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Pul, yapmış olduğu çalışmada vorteks (karıştırmalı döküm) yöntemi ile nano malzeme katkılı (farklı oranlarda (%0.5-%1.0-%2.0-%4.0) karbon nanotüp (CNT) ve nano boyutta grafen (G) takviye) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitler üretmiştir [15]. Kompozitlerin sertlik, aşınma ve işlenebilirlik deneyleri yapılmıştır. Bu çalışmada ağırlıkça %10 ve %20 oranlarında Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviyeli Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> alaşım esaslı kompozit malzemeler sıcak presleme yöntemiyle üretilecektir. Üretilen kompozitlerin yoğunluk, sertlik ve aşınma hacim kayıplarının belirlenmesi amaçlanmaktadır.

## 2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Kompozit malzemelerin kullanım alanlarının yaygınlığı ve çeşitliliği bu alanda yapılacak çalışmaların da sayısının artmasını gerektirmektedir. Bu bağlamda bu çalışmada kompozit malzemeler sıcak presleme yöntemiyle farklı takviye oranlarında üretilmiştir. Üretilen kompozitlerin mikroyapı, sertlik ve aşınma özellikleri değerlendirilerek bu alanda yapılan çalışmalara bir yenisinin eklenmesiyle daha önceki yapılan çalışmalara katkı sağlanmış olması hedeflenmektedir.

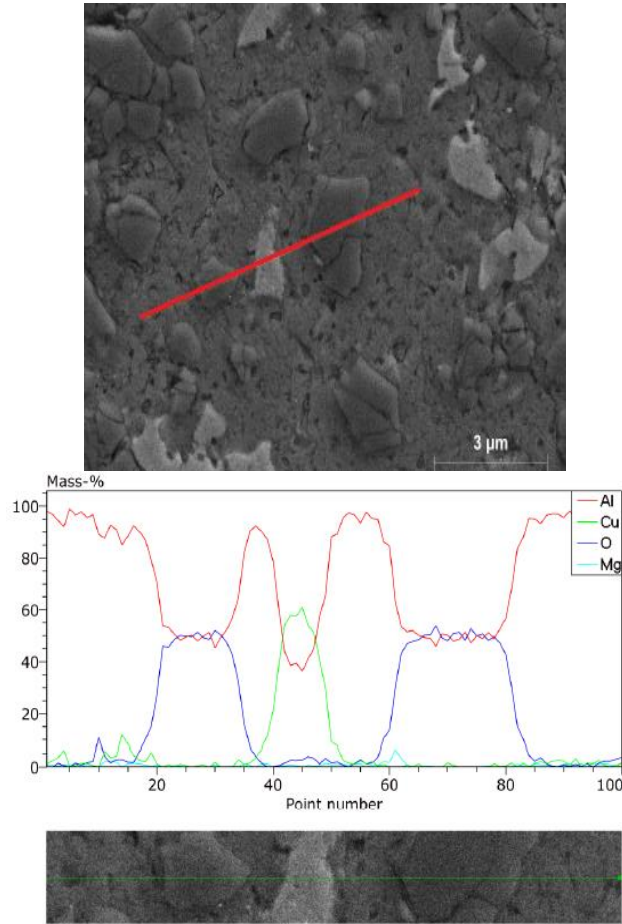
## 3. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

Bu çalışmada Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviyeli Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> alaşım esaslı kompozit malzemelerin sıcak presleme yöntemiyle üretilmesi için karıştırma işlemi öncesinde tozlar ağırlıkça %10 ve %20 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içerecek oranlarda RADWAG AS-60-220 C/2 marka hassas terazisi ile 0.0001 g hassasiyetinde tartılmıştır. Tartımı yapılan tozlar Turbula marka üç eksenli karıştırıcı ile bir saat süreyle bilyesiz olarak karıştırılmıştır. Elde edilen karışım tozlar tek yönlü aksel kalıp içerisinde 50MPa basınç altında, 550°C sıcaklıkta 1 saat süreyle bekletilmesiyle blok haline getirilmiştir. Tozların sıkıştırılma işlemi oda sıcaklığından 1000°C'ye kadar presleme ve sinterleme işlemiyle bulk numuneler üretimi yapabilen MSE HP\_1200 Sıcak Presleme Cihazı ile yapılmıştır. Numunelerin yoğunluk ölçümleri, archimets prensibiyle saf su kullanılarak belirlenmiştir. Sertlik ölçümleri QNESS Q10 A+ Mikro sertlik ölçüm cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneyleri Pim-disk aşınma cihazında oda sıcaklığında ve kuru ortamda karşı eleman olarak 6mm çapında alümina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) bilye kullanılmıştır. Deney sırasında yük 5N, kayma hızı 10cm/s, toplam kayma mesafesi 300 m ve aşınma yarıçapı 3mm olarak uygulanmıştır. Hacimsel kayıpların tespiti için yüzey profilometre cihazı ile aşınma izinin topografik ölçümü ile yapılmış, aşınan bölgelerin alanı Origin programında hesaplanmış ve kesit profilinin alanı hesaplandıktan sonra deney parametrelerinde bulunan aşındırıcı bilyenin numuneye temas ettiği noktanın numune merkezine olan uzaklığı yarıçap olarak kabul edilmiş ve hesaplanan alan ve bilyenin oluşturduğu izin uzunluğu ile çarpılarak aşınma hacim kaybı belirlenmiştir.

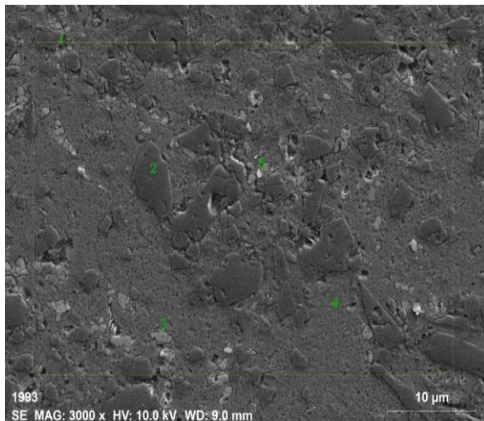
## 4. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA (EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSION)

Şekil 1'de %10 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren kompozitler için SEM Çizgi EDX sonuçları verilmiştir. Çizgi EDX boyunca alüminyum 2024 içerisinde bulunan bakır ve magnezyumun varlığı ile alümina takviyesi görülmektedir. Şekil 2'de ise %20 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren kompozitler için SEM EDX incelemeleri verilmiştir. Burada da alınan noktasal ve bölgesel

spektrumda takviye elemanı  $Al_2O_3$  ile Al 2024 alaşım elementleri bakır ve magnezyum görülmektedir. Takviye elemanı  $Al_2O_3$  dağılımının homojen olduğu hem Şekil 1'den hem de Şekil 2'den anlaşılmaktadır.



Şekil 1. %10  $Al_2O_3$  içeren kompozitler için SEM Çizgi EDX incelemeleri  
(Figure 1. SEM Line EDX examinations for composites containing 10%  $Al_2O_3$ )



Mass percent (%)

Spectrum	O	Mg	Al	Cu
1	21.76	2.23	72.18	3.83
2	51.58	0.15	47.96	0.30
3	9.35	1.92	38.84	49.88
4	1.88	3.08	93.53	1.51
5	8.33	2.32	44.44	44.90
Mean value:	18.58	1.94	59.39	20.09
Sigma:	19.80	1.09	22.94	25.02
Sigma mean:	8.86	0.49	10.26	11.19

Şekil 2. %20  $Al_2O_3$  içeren kompozitler için SEM EDX incelemeleri  
(Figure 2. SEM EDX examinations for composites containing 20%  $Al_2O_3$ )

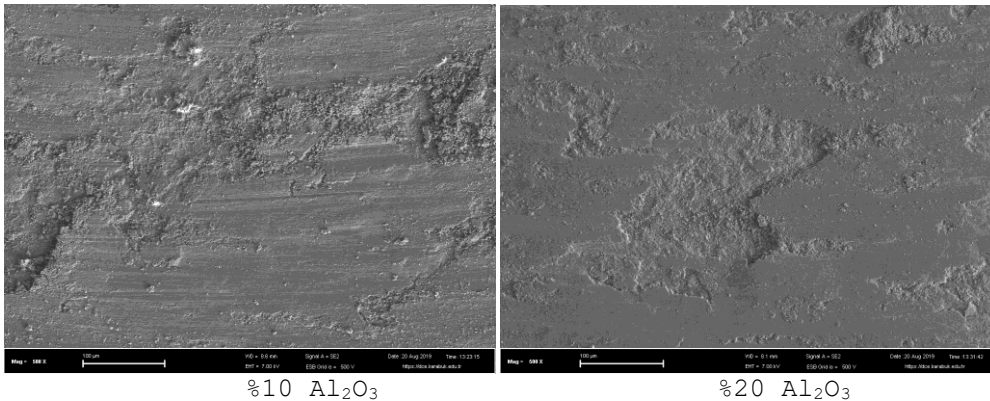
Tablo 1'de üretilen kompozit malzemelerin yoğunluk, sertlik ve aşınma hacim kaybı sonuçları verilmiştir. Numunelerin yoğunlukları

takviye oranının artmasıyla %98'dan %97'ye düşmüştür. Bu durum takviye oranlarının artmasıyla numunelerde sıkıştırılabilirliğin olumsuz yönde etkilenmesinden kaynaklanmaktadır. Bunun yanında artan takviye oranlarının gözeneklilik değerini de artırdığı bilinmektedir. Benzer şekilde Gökmen [12], Al 2024 tozu (Al-Cu-Mg) içerisine ağırlıkça farklı oranlarda (%5-10-15) B<sub>4</sub>C ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> parçacıkları ilave ederek üretmiş olduğu hibrit/kompozitlerde takviye oranlarının artmasıyla yoğunlukların daha da düştüğünü, takviye elemanın miktarındaki artışa bağlı olarak sertlik ve çapraz kırılma dayanım değerlerinde artış olduğunu bildirmiştir. Arık ve arkadaşları' da [11] Alüminyum toza göre karışım tozdan elde edilen toz metal parçanın yoğunluğunun bir miktar düşük çıkmasının temel sebebi karıştırma esnasında oluşan deformasyonla pekleşmesinden ve %10 oranında Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içermesinden kaynaklanabileceğini bildirmişlerdir. Erden ve Karabulut'un [16] Fe esaslı SiC takviyeli kompozitlerle ilgili yaptıkları çalışma da elde edilen sonuçlar bu sonuçları desteklemektedir. %10 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviye edilmiş kompozitlerde sertlik değerleri ortalama 91Hv iken bu oran takviye oranının %20'ye çıkarılmasıyla 98Hv olarak artış göstermiştir. Literatürde ısıl işlem görmemiş Al2024 alaşımının sertlik değeri 60Hv olarak bildirilmektedir [17 ve 18]. Bu durumda Al2024 alaşımına yapılan %10 ve %20 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviyesi ile bu değer yaklaşık bir buçuk kattan daha fazla artış göstermiştir. Bunun yanında çeşitli ısıl işlemlerle Al2024 alaşımın sertlik değerinin 130HB'ye kadar artış gösterdiği de bildirilmiştir [17 ve 18]. Diğer yandan, tablo 1'de belirtilen aşınma sonuçları da dikkate alındığında takviye oranının artmasıyla aşınma hacim kaybının önemli oranda azaldığı görülmektedir. Bu durum artan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> seramik takviye elemanlarının kompozitin aşınma dayanımını önemli oranda iyileştirdiğini göstermektedir. Nitekim geçmişte Arık ve arkadaşları %15 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviyeli T/M kompozitin saf alüminyuma göre aşınma özelliklerinde önemli ölçüde iyileştirme elde ettiklerini bildirmişlerdir [11].

Tablo 1. Kompozit malzemelerin yoğunluk, sertlik ve aşınma hacim kaybı sonuçları

(Table 1. Density, hardness and wear volume loss results of composite materials)

Kompozit	Relatif Yoğunluk (%)	Sertlik (Hv1)	Aşınma Hacim Kaybı (mm <sup>3</sup> )
Al2024 %10 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	98±1	91±5	0.195
Al2024 %20 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	97±1	98±5	0.058



Şekil 3. Kompozitlerin aşınma yüzeyi SEM resimleri  
(Figure 3. SEM images of composites wear surface)

Şekil 3'te kompozitlerin hacimsel aşınma sonucu elde edilen numunelerden alınmış aşınma yüzeyi SEM resimleri görülmektedir. Her iki takviye oranında da yapı içerisindeki takviye elemanının kompozit

malzemede deformasyonu engellemiş olmasının yanın da kompozit yapıdan ayrılan  $Al_2O_3$  taneciklerinin de malzemelerdeki ağırlık kaybında etkisi olduğu düşünülmektedir. Bu durum için, hem disk yüzeyinden hem de numune yüzeyinden ayrılan parçacıkların özellikle aşınma testinin ilk aşamasında sürtünme katsayısını artırdığı bildirilmektedir [18 ve 19]. Yine SEM resimlerinden anlaşılacağı üzere her iki kompozit malzemede adhesiv ve abrasiv aşınma mekanizmalarının etkisi görülmektedir. %10  $Al_2O_3$  içeren kompozitlerde aşınma izlerinin nispeten diğer kompozite göre daha derin olduğu görülmektedir.

##### 5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Sıcak presleme yöntemiyle ağırlıkça %10 ve %20  $Al_2O_3$  takviyesi içeren Al 2024 esaslı takviyeli kompozitler başarılı bir şekilde üretilmiş ve aşağıdaki sonuçla elde edilmiştir. Takviye oranının artmasıyla kompozitlerde;

- Yoğunluk değerleri bir miktar düşmüştür.
- Sertlik değerleri artmıştır.
- Aşınma hacim kaybı belirgin oranda düşmüştür.

##### NOT (NOTICE)

Bu çalışma Karabük Üniversitesi BAP Birimi tarafından KBÜBAP-18-DS-182 no'lu Destek Projesi ile desteklenmiştir.

##### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Şahin, Y., (2000). Kompozit Malzemelere Giriş. Gazi Kitabevi, Ankara.
- [2] German, R.M., (2005). Powder Metallurgy and Particulate Materials Processing, MPIF Publications, Princeton, New Jersey.
- [3] Gökçe, A., Fındık, F., and Kurt, A.O., (2011). Microstructural Examination and Properties of Premixed Al-Cu-Mg Powder Metallurgy Alloy, Materials Characterization, 62. 7:730-735.
- [4] Türkmen, M., Karabulut, H., Erden, M.A., and Gündüz, S., (2017). Effect of TiN Addition on The Microstructure and Mechanical Properties of PM Steels, Technological Applied Sciences (NWSATAS), 12(4):178-184.
- [5] Erden, M.A., (2017). Effect of Pressing Pressure on Microstructure and Mechanical Properties of Non-alloyed Steels Produced by Powder Metallurgy, Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 6(1):257-264.
- [6] Nas, E., Gökçaya, H. ve Sur, G., (2013). Sıcak Presleme Yöntemi Kullanılarak Kompozit Malzemelerin Üretilebilirliği Üzerine Bir Değerlendirme, Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi, 3(2):56-65.
- [7] Upadhyaya, G.S., (2002). Powder Metallurgy Technology. Published By Cambridge International Science Publishing.
- [8] Kingery, W.D. and Bowen, D.R., (1976). Uhlmann, Introduction to Ceramics. 2nd Ed., John Wiley&Sons, New York.
- [9] Hydrogen Program Plan, (1998). FY 1993-FY 1997, U.S. Department of Energy.
- [10] Kaya, G., (1999). Mechanical Properties of PM Al-SiC Composites Produced by Conventional Hot Pressing Method. Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Y. Lisans Tezi, Ankara, 81s.
- [11] Arık, H., Semerci, P. ve Kırmızı, G., (2017). Sıcak Presleme ile Alüminyum Matrisli ve  $Al_2O_3$  Takviyeli Toz Metal Kompozit Malzeme Üretimi ve Aşınma Davranışının Araştırılması, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım Ve Teknoloji, 5(4):87-97.

- 
- [12] Gökmen, U., (2016). Sıcak Ekstrüze Edilmiş Al 2024 Matrisli B4C/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Takviyeli Hibrit Kompozitlerin Üretimi ve Karakterizasyonu, *Politeknik Dergisi*, 19(4):445-453.
- [13] Kök, M., (2001). Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Partikül Takviyeli 2024 Alüminyum Metal Matrisli Kompozitlerin Üretimi, *Fen ve Mühendislik Dergisi* 4, 2, 131-142.
- [14] Karabulut, H., Türkmen, M., (2017). Toz Metalurjisi Yöntemi İle Üretilen Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Si Alaşımı Kompozitlerde Si Miktarının Ve Yaşlandırma Sürelerinin Etkisi, *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6, 1, 226-231.
- [15] Pul, M., (2019). Karbon Nanotüp (CNT) ve Nano Grafen (G) Takviyeli Al 2024 Kompozitlerin Vorteks Yöntemiyle Üretilerek Aşınma Ve İşlenebilme Özelliklerinin İncelenmesi, *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 11(1), 370-382.
- [16] Erden, M.A., Karabulut, H., (2019). Effect of SiC Amount on the Hardness Properties of Fe Matrix SiC Reinforced Composites, *UDCS'19 Fourth International Iron and Steel Symposium*, 4-6 April, Karabuk, 58-60.
- [17] Aydın, H., Bayram, A., (2010). Farklı Isıl İşlem Koşullarındaki 2024 Alüminyum Alaşımlarının Korozyon Sonrası Mekanik Özelliklerindeki Kaybın Belirlenmesi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 15, 1, 159-168.
- [18] [http://web.gtu.edu.tr/aluminyum/2016/02/08/aluminyum-  
alasimlarin-mekanik-ozellikleri/](http://web.gtu.edu.tr/aluminyum/2016/02/08/aluminyum-alasimlarin-mekanik-ozellikleri/)
- [19] Şimşek, İ., Özyürek, D., (2019). Investigation of the effects of Mg amount on microstructure and wear behavior of Al-Si-Mg alloys, *Engineering Science and Technology, an International Journal* 22, 370-375.