

## SiC ile Güçlendirilen AZ91 Kompozitlerinin Farklı Yükler Altında Aşınma Davranışının İncelenmesi

Muhammet Yüce<sup>1\*</sup>, Mevlüt Gürbüz<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Makine Mühendisliği Bölümü, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Türkiye

<sup>2</sup>Makine Mühendisliği Bölümü, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Türkiye

\*Eng.myuce@gmail.com

**Özet** – Bu çalışmada magnezyum AZ91 alaşım tozuna silisyum karbür (SiC) takviyesi %1, %3, %5, %10, %20, %30, oranında eklenerek toz metalürjisi yöntemiyle AZ91 matrisine sahip kompozit üretilmiştir. Üretim esnasında geleneksel öğütme yöntemi kullanılmaksızın mekanik karıştırma ile tozlar etanol içerisinde karıştırılmış ve kurutulmuştur. Numuneler 600 MPa şekillendirilmiş ve 520 °C argon atmosferinde 60 dakika sinterlenmiştir. Üretilen numunelerin aşınma performansları incelenmiştir. Farklı oranlarda silisyum karbür katkılı magnezyum AZ91 alaşım kompozitlerinin 5 ve 10 newton yüklerde ve 200 dev/dk dönüş hızında aşınma testleri gerçekleştirildi. Aşınma testlerinde karşı disk olarak 50 HRC sertliğe sahip AISI304 paslanmaz çelik disk kullanılmıştır. Aşınma yükü 5 newton iken katkı oranının artmasıyla aşınma performansının doğrusal olarak arttığı gözlemlenmiştir. Aşınma yükünün 10 newton olmasıyla katkı oranı ile aşınma performansı arasında doğrusal bir ilişki kurulamamış ve bu durumun nelerden kaynaklanabileceği tartışılmıştır. Aşınma yükünün 5 newton olduğu çalışmada, en iyi aşınma direncini %30 SiC katkılı numune olurken, en kötü aşınma direncini %1 SiC katkılı numune sağlamıştır. 10 newtonluk yüklemde ise en iyi aşınma direnci %30 SiC katkılı numune, en kötü aşınma direncini %5 SiC katkılı numune vermiştir.

**Anahtar Kelimeler** – Magnezyum, Toz metalürjisi, Aşınma, Oksidasyon delaminasyon aşınması, Adezif aşınma, Abrasif aşınma

### I. GİRİŞ

Magnezyum metali özellikle hafifliği ve yeryüzündeki mevcut potansiyeli nedeniyle mühendislik malzemeleri içerisinde demir ve alüminyum ile birlikte en çok kullanılan metallere dendir.[1], [2] Hafiflik özelliği, yüksek spesifik mukavemeti, çelik ve alüminyuma yakın dayanım özellikleri sergilemesi yanında bu metalin birtakım olumsuz özellikleri mevcuttur.[3] Magnezyum metalinin özellikle sıkı paket hegzagonal yapısı nedeniyle malzeme içi kayma düzlemleri azdır. Bu nedenle plastik deformasyon ile şekillenmesi zordur. Yüksek kimyasal aktivitesi nedeniyle oksijen ilgisi oldukça yüksektir. Bu nedenle yüksek sıcaklıklı çalışmalarda koruyucu atmosfer kullanılmalıdır.[4]

Bu olumsuzlukların üzerinden gelebilmek için toz metalürjisi yöntemi iyi bir alternatiftir. Bu sayede oluşabilecek olumsuzlukların üzerinden

gelinebilir.[5] Ayrıca kompozitler için takviye elemanı seçimi de önemlidir. Seramik yapıli takviyelerin, metal matrisli kompozitlerin sertliğine ve aşınma direncine olumlu etkileri vardır.[5]

Kavimani ve arkadaşlar [6] çözücü bazlı toz metalürjisi tekniği ile üretilen AZ31 alaşımli kompozitlerin kuru kaymalı aşınma davranışına, indirgenmiş grafen oksit (r-GO) nanotabakaların etkisi incelenmiştir. Saravanan ve Surappa [7] baz Mg ile karşılaştırıldığında, adeziv aşınması sırasında Mg-%30 hacim SiC kompozitlerinin aşınma direncinin arttığını belirlemiştir.

Bu çalışmada magnezyum AZ91 tozlarına, SiC takviyesi ile toz metalürjisi yöntemi kullanılarak kompozit numuneler üretilmiştir. Üretilen numunelerin 5 N ve 10 N yüklerdeki aşınma etkileri incelenip mekanizmaları açıklanmaya çalışılmıştır.

## I. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada % 99.8 saflıkta ve ortalama 43 µm tane boyutunda toz magnezyum AZ91 alaşımına %1, %3, %5, %10, %20, %30, oranında SiC takviyesi ilave edilmiştir. Karışımlar etanol içerisinde mekanik olarak karıştırılmış ve birkaç dakika ultrasonik dağıtma işlemi uygulanmıştır. Mevcut karışım etil alkolden ayrılması için filtrelenmiştir. Sonrada etüvde kurutulmuştur. Kurutulan tozların topaklanmasının giderilmesi için agat havanda ezilmiş ve elekten geçirilmiştir. Hazırlanan tozlar yaklaşık 600 MPa basınçla şekillendirilmiştir. Numunelerin kodları ve % oranları tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Numunelerin ağırlıkça yüzde oranları ve kodları

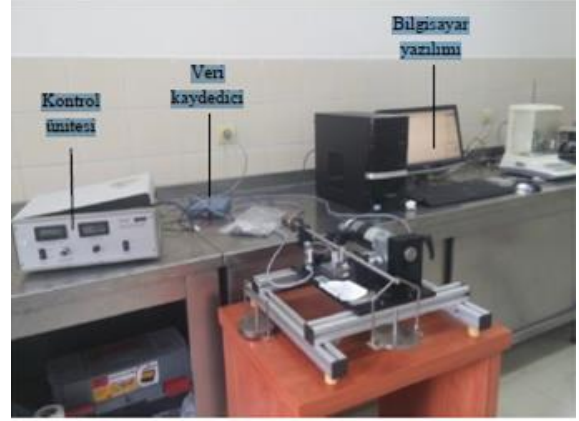
NUMUNE KODU	% AZ91 ORANI	% SiC ORANI
AZ91-0	100	0
AZ91-1SiC	99	1
AZ91-3SiC	97	3
AZ91-5SiC	95	5
AZ91-10SiC	90	10
AZ91-20SiC	80	20
AZ91-30SiC	70	30

Şekillendirilmiş numuneler 520 °C’de ve 60 dk boyunca argon atmosferinde sinterlenmiştir. Sinterleme sonrası numune görüntüsü şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Sinterleme sonrası AZ91+SiC numuneleri.

Aşınma testleri OMÜ Makine Mühendisliği Bölümü Konstrüksiyon ve İmalat laboratuvarında yer alan aşınma deney düzeneğinde (GUNT TM260) gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneğinde farklı modüller olup, disk ve silindir blok arasındaki aşınma ve sürtünme durumu incelenmektedir. Aşınma deneyleri ağırlık kayıpları hesaplanılarak aşınma oranı belirlenmesi ile bulunmuştur.



Şekil 2. Aşınma deney düzeneği.

Numunenin aşınma öncesi kütlesi ( $m_i$ ) ve aşınma sonrası kütlesi ( $m_s$ ) arasındaki kütle değişimi ( $\Delta m$ ) denklem (1.1)'e göre hesaplanır. Hacim değişimi ( $\Delta V$ ) ise kütle değişiminin ( $\Delta m$ ) deneysel yoğunluğa ( $\rho_D$ ) bölünmesiyle hesaplanır. (Denklem 1.2)

$$\Delta m = m_i - m_s \quad (1.1)$$

$$\Delta V = \Delta m / \rho_D \quad (1.2)$$

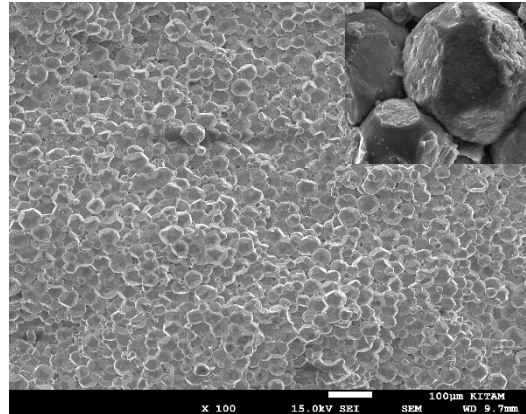
Buradan, aşınma oranını ( $W$ ), denklem (1.3) 'i kullanarak bulunur.

$$W = \Delta V / F \times L \quad (1.3)$$

Burada; ( $W$ ) aşınma oranı, ( $\Delta V$ ) hacim değişimi, ( $F$ ) uygulanan yük (*bu deney için 5N ve 10 N*), ( $L$ ) kayma mesafesidir. (*Bu deney için 500 metre*) [8]

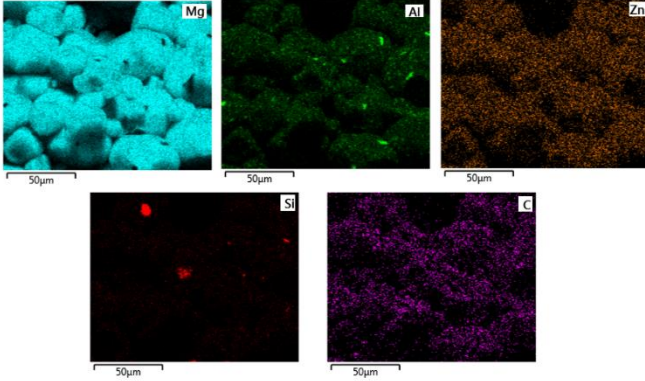
## II. BULGULAR

Şekil 3’de sinterleme sonrası katkısız AZ91 alaşımın SEM görüntüsü verilmiştir. Sinterleme sonrası numune yoğun bir mikro yapıya sahiptir. Resim üstündeki büyütülmüş görüntü tanelerin güçlü bir şekilde bağlandığını göstermektedir.[9]



Şekil 3. AZ91 kompozitin SEM analizi [9]

Şekil 4’de verilen EDX haritasında ise %3 SiC katkılı numunedeki silisyumun ve karbonun elementlerinin homojen dağıldığını görülmektedir. Ayrıca AZ91 alaşımın alaşım elementlerinin dağılımları da görülmektedir. [9]



Şekil 4. AZ91-3SiC kompozitin EDX harita analizi.[9]

#### A. AŞINMA TESTLERİ

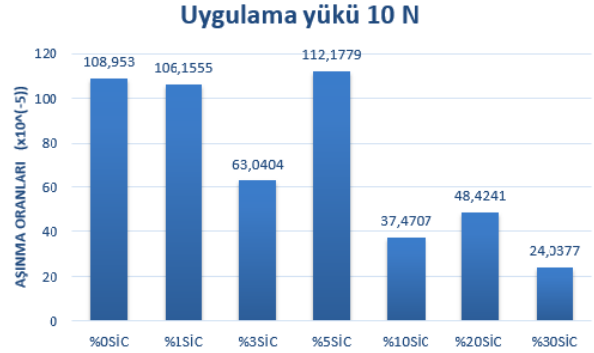
5 newton yük altında aşınma oranları sütun grafiği olarak şekil 5’de verilmiştir. Katkisız AZ91 alaşımının aşınma oranı, %1 SiC içerenden daha düşüktür. SiC oranının artması ile aşınma oranları doğrusal olarak düşmüştür.



Şekil 5. 5N yükte aşınma oranları

10 N yük uygulanması durumunda grafik 5 N uygulama yüküne göre değişmiştir. 10 N yükte katkisız numunenin aşınma oranları oldukça yüksektir. %1 katkı eklenmesi, aşınma kaybına çok az pozitif etki etmiştir. %3 katkı oranında aşınma kayda değer şekilde düşmüştür. %5 katkı içeren numunede garip bir şekilde aşınma kaybı katkisız numunenin üzerindedir. %10 SiC içeren numunede aşınma kaybında ciddi bir düşüş görülmüş ve %20 SiC katkılı numunede az bir miktar artmıştır. Ve son

olarak %30 SiC içeren numunede en az aşınma kaybı olmuştur. Bu durumda %30 SiC içeren numune en iyi aşınma direnci gösteren numunedir. Görüldüğü gibi 10 N için katkı oranı ile aşınma oranı arasında doğrusal bir ilişki yoktur.



Şekil 6. 10N yük altında aşınma oranları

### III. TARTIŞMA

Şekil 5’deki grafik ele alındığında, SiC katkısı olamayan (referans) numunenin, AZ91-1SiC numunesinden daha az aşınma oranına sahip olması magnezyumun oksidasyonuna atfedilebilir. Magnezyum metali kimyasal reaktivitesi nedeniyle oksijenle tepkimeye girme eğilimi gösterir.[3] İlk etapta sürtünme nedeniyle ortaya çıkan ısı havadan oksijeni çekmiş ve yüzeyde MgO seramik film oluşturmuş daha sonra %1 SiC parçacıkları nedeniyle seramik film sürekli kırılarak parçalanmış olabilir. Bu işlemin tekrarlı olması aşınma miktarını arttırmıştır. SiC oranının %3 ün üzerine çıkması ile aşınma oranlarında ciddi düşüşler meydana gelmiştir. Muhtemelen bu iyileşme SiC oranının %3 üzerine çıkması yüzeyden parça kaldırma mekanizması yerine lokal sertleşme sonucu aşınma etkilerinin azalması olabilir.

Sürtünme deneylerinin ilk aşamalarında, çelik diske göre yumuşak bir metal olan magnezyum kapsamlı plastik deformasyona uğrar ve tekrarlanan sürtünme eylemi altında, temas arayüzünde ince birikintiler oluşur. Mg'nin oksidasyonu için aktivasyon enerjisi çok düşük olduğundan artıklar sürtünme ısınmasının etkisiyle kolayca oksitlenir.[10] Temas eden yüzeylerde pürüzlerin deformasyonu ve oksit oluşumu belli bir döngüden sonra dengelenir. Böylece kararlı durum değerine ulaşır. Şekil 5. de 5N yükte uygulanan aşındırma testinin sürtünme katsayıları verilmiştir. Özellikle

düşük yüklemde sürtünme artması az olmuş ve daha sonra kararlı bir hale gelmiştir.

SiC katkının özellikle yüksek hacim fraksiyonları sürtünme katsayısı üzerindeki etkisinin, aşındırma sırasında uygulanan normal yüke kıyasla daha önemli olduğunu belirtilmiştir.[10] Şekil 5.'de gösterildiği gibi 5N yük altında sürtünme katsayısındaki dalgalanmalar çok düşüktür.



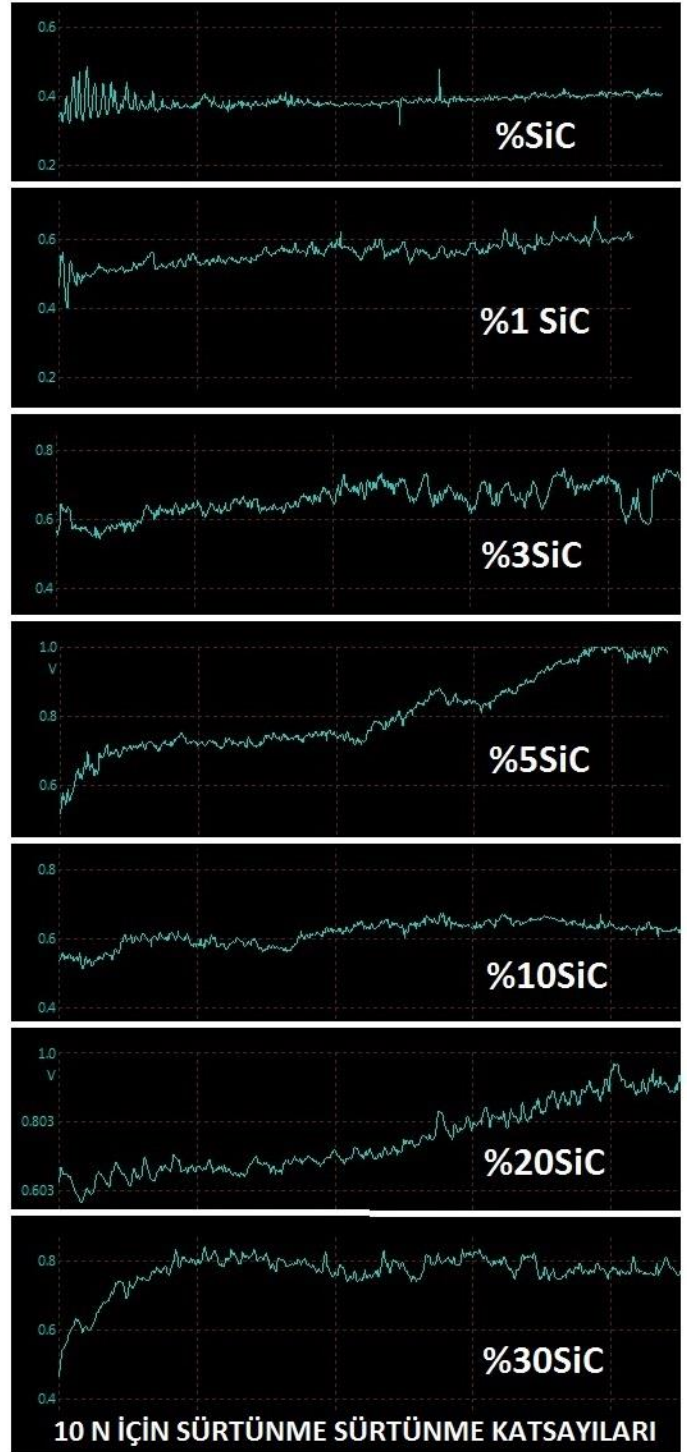
Şekil 7. 5 N için %0,3;30 SiC içeren numunelerin sürtünme katsayıları grafiği

Farklı hızlarda ve yüklerde aşınma oranlarındaki dengesizlik, ayrı ayrı anlaşılması karmaşık bir olgu olan birkaç aşınma mekanizmasından kaynaklanmaktadır. Farklı aşınma mekanizmaları yoluyla aşınma kaybının kesin tahmini mümkün değildir, ancak kuru kayma aşınması durumunda da herhangi bir aşınma mekanizmasını göz ardı etmek de mümkün değildir.[11]

Kuru kaymaya etki eden aşınma mekanizmaları; adezif aşınma, abrasif aşınma, oksidasyon delaminasyonu, yapışma ve yumuşama/erimedir. Düşük yükte ve kayma hızında sadece abrasif aşınma gözlenirken, daha yüksek yükte ve düşük hızda oksidasyon delaminasyon aşınması baskındır. Oksidasyon, yapışma ve yumuşama/erime aşınması daha yüksek yük ve hızda meydana gelir. Tek bir aşınma mekanizmasının kesin etkisini doğru bir şekilde değerlendirmek son derece zordur.[11]

Yüksek yüklerde, sürtünme katmanı oluşumunun başlangıcında, aşınmış yüzeyler üzerinde pullanma ve ayrılma beklenir. Daha yüksek yüklerde ise, oluşan oksit tabaka kaldırılır ve alt yüzey daha fazla oksitlenmeye maruz kalır. Aşınmanın başlarında, MgO oluşumu nedeniyle abrasif aşınma hakimdir ve sert SiC partiküllerinin varlığı ciddi aşınmaya neden olur. SiC fraksiyonunun artması aşınma

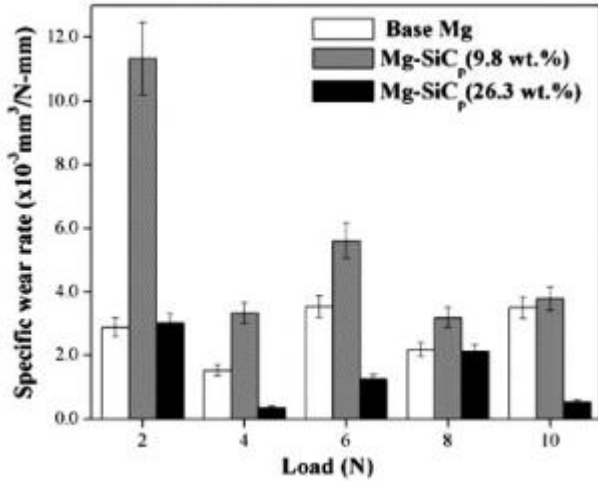
sırasında uygulanan normal yüke kıyasla sürtünme katsayısı üzerinde, daha fazla etkiye sahiptir. [10]



Şekil 8. 10N için sürtünme katsayıları

Şekil 8.'de görüldüğü üzere SiC oranının artması ile sürtünme katsayısı 0,4 den 1,0'e doğru yükselme eğilimine girmiştir. Ayrıca katkısız numunede aşınma başlangıcında sürtünme kuvvetinde dalgalanmalar olmuştur. Bu durumun oksit tabakanın kırılması ve yeniden oluşması ile ilişkili

olabileceği düşünölmektedir. Özellikle %5, %20, %30 SiC'e sahip kompozit numunelerindeki dalgalanmalar, kopan silisyum parçacıklarının ara tabakada abrasif aşınma oluşturması ve matrisin sürekli aşınması ile karalı duruma gelememiş olması nedeniyle sürtünme katsayısında sürekli dalgalanmalar ve değışiklikler oluşturmuş olduğu düşünölmektedir.



Şekil 9. Farklı yüklerde çeliğine karşı Mg ve Mg-SiC<sub>p</sub> kompozitleri için özgül aşınma oranının değışimi. [10]

Manoj Kumar ve arkadaşları [10] çalışmalarında saf Mg ve SiC takviyeli numunelerin aşınma kayıplarını incelemiştir. Yüklerdeki artışla birlikte özgül aşınma oranlarında dalgalanmalar keşfedilmiştir. Bu durumun reaksiyon ürünlerinin oluşumu ve yayılmasıyla ilgili olduğunu belirtmişlerdir. Daha yüksek yüklerde aşınma oranında genel bir düşüş görölmüştür. Bununla birlikte, ağırlıkça % 26,3 SiC takviyeli kompozitlerde 2 N'den büyük yüklerde aşınma önemli ölçüde azaldığı vurgulanmıştır. Ayrıca sürtünme başlangıç aşamasında, oksit oluşumundan dolayı abrasiv aşınma baskındır. Kompozitlerde, SiC parçacıklarının varlığından dolayı aşınma çok daha yüksektir. SiC ilavesinin faydalı etkisinin yalnızca %26,3 SiC içeren kompozitler için gerçekleştiği, Mg-%9,8 SiC kompozitlerinin tribolojik davranışına büyük ölçüde matris etkisinin hakim olduğu vurgulanmıştır. Şekil 9' da kumar ve arkadaşlarının özgül aşınma oranını gösteren sütun grafiği verilmiştir. Bu yargılar bizim 10 N yükteki aşınma etkileri ile paraleldir. Aynı zamanda Saravanan ve Surappa [7] ekstrüzyon ile elde ettiği magnezyum %30 SiC katkılı kompozitinde, 5 ila 50N yük aralığında katkısız numuneye göre aşınma oranların neredeyse iki kat daha az olduğunu

belirtmiştir ve bunu SiC ile artan mukavemete atfetmiştir.

#### IV. SONUÇLAR

Sonuç olarak düşük yüklerde yapılan aşınma deneylerinde aşınma oranlarında daha doğrusal azalmalar görölmüştür. Bunun nedenini düşük yüklerde matris malzemesinin daha baskın olması, oksit film oluşması ve takviye elemanı ile oksit filmin uyum göstermesine atfedilebilir. Yüksek yüklerdeki takviye oranı ile aşınma oranı arasında doğrusal ilişki oluşmamıştır. Bu durum aşınma mekanizmalarının farklılığına SiC'ün fraksiyonuna ve sürtünme katsayılarındaki salınımın etkisine atfedilebilir. 5 N ve 10 N yükler altında AZ91 alaşımına %30 SiC takviyesi yapıldığında kompozit en iyi aşınma direncine sahiptir.

#### KAYNAKLAR

- [1] A. E. A. Al-maamari, A. A. Iqbal, ve D. M. Nuruzzaman, "Mechanical and tribological characterization of self-lubricating Mg-SiC-Gr hybrid metal matrix composite (MMC) fabricated via mechanical alloying", *J. Sci. Adv. Mater. Devices*, c. 5, sy 4, ss. 535-544, Ara. 2020, doi: 10.1016/j.jsamd.2020.09.002.
- [2] M. Pul, "Zirkonya Katkılı AZ91 Magnezyum Alaşımının Mekanik Davranışlarının İncelenmesi", *Mühendis. Bilim. Ve Araştırmaları Derg.*, c. 2, sy 2, ss. 30-37, Eki. 2020, doi: 10.46387/bjesr.688022.
- [3] E. E. Demirci, E. Arslan, K. V. Ezirmik, Ö. Baran, Y. Totik, ve İ. Efeoglu, "Investigation of wear, corrosion and tribocorrosion properties of AZ91 Mg alloy coated by micro arc oxidation process in the different electrolyte solutions", *Thin Solid Films*, c. 528, ss. 116-122, Oca. 2013, doi: 10.1016/j.tsf.2012.07.145.
- [4] A. Gökçe, "Magnezyum ve Alaşımalarının Toz Metalurjisi İşlemleri", *Düzce Üniversitesi Bilim Ve Teknol. Derg.*, ss. 522-534, Oca. 2020, doi: 10.29130/dubited.569098.
- [5] A. Das ve S. P. Harimkar, "Effect of Graphene Nanoplate and Silicon Carbide Nanoparticle Reinforcement on Mechanical and Tribological Properties of Spark Plasma Sintered Magnesium Matrix Composites", *J. Mater. Sci. Technol.*, c. 30, sy 11, ss. 1059-1070, Kas. 2014, doi: 10.1016/j.jmst.2014.08.002.
- [6] V. Kavimani, K. Soorya Prakash, ve T. Thankachan, "Surface characterization and specific wear rate prediction of r-GO/AZ31 composite under dry sliding wear condition", *Surf. Interfaces*, c. 6, ss. 143-153, Mar. 2017, doi: 10.1016/j.surfin.2017.01.004.
- [7] R. A. Saravanan ve M. K. Surappa, "Fabrication and characterisation of pure magnesium-30 vol.% SiCP particle composite", *Mater. Sci. Eng. A*, c. 276, sy 1-2, ss. 108-116, Oca. 2000, doi: 10.1016/S0921-5093(99)00498-0.
- [8] Mahmut Can ŞENEL, "Grafen-Seramik Tanecik Takviyeli Alüminyum Matrisli Hibrit Kompozitlerin Toz Metalurjisi Metoduyla Üretimi, Mekanik Ve Mikroyapı

- Özelliklerinin İncelenmesi”, doktora tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, SAMSUN, 2018.
- [9] Muhammet YÜCE ve Mevlüt GÜRBÜZ, “SiC Takviyesinin AZ91 Alaşımının Özelliklerine Etkisi”, içinde *SiC Takviyesinin AZ91 Alaşımının Özelliklerine Etkisi*, Konya/Turkey, Eki. 2022.
- [10] B. Kumar, B. Basu, V. Murthy, ve M. Gupta, “The role of tribochemistry on fretting wear of Mg–SiC particulate composites”, *Compos. Part Appl. Sci. Manuf.*, c. 36, sy 1, ss. 13-23, Oca. 2005, doi: 10.1016/S1359-835X(04)00184-8.
- [11] A. Kumar, S. Kumar, N. K. Mukhopadhyay, A. Yadav, ve D. K. Sinha, “Effect of TiC Reinforcement on Mechanical and Wear Properties of AZ91 Matrix Composites”, *Int. J. Met.*, c. 16, sy 4, ss. 2128-2143, Eki. 2022, doi: 10.1007/s40962-021-00747-9.