



Magnezya Takviyeli 7075 Alüminyum Alaşımı Matrisli Kompozitlerde Üretim Parametrelerinin Abrasif Aşınma Davranışına Etkisi

Effect of Manufacturing Parameters on Abrasive Wear Behavior in Magnesia Reinforced 7075 Aluminum Alloy Matrix Composites

Muharrem Pul 

Kırkkale Üniversitesi Kırkkale Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, Kırkkale, TÜRKİYE
 Sorumlu Yazar / Corresponding Author: mpul@kku.edu.tr

Öz

Bu çalışmada 7075 alüminyum alaşımı matrisli, %5, 10, 15 ve 20 oranlarında Magnezya takviyeli kompozitler toz metalürjisi yöntemiyle üretilmiştir. Daha sonra kompozitlerin abrasif aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneyleri 40 N yük uygulanarak, 0,9 ms⁻¹ hızda, 90 m ve 180 m aşınma mesafelerinde yapılmıştır. Deneylerden elde edilen veriler mikroskop görüntüleriyle birlikte yorumlanmıştır. Farklı MgO takviye oranları, aşınma mesafeleri, sinterleme sıcaklıkları ve sürelerinin kompozitlerin abrasif aşınma davranışı üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Aşınma mesafesinin iki kat artmasına rağmen aşınma kayıplarının aynı oranda artmadığı daha az meydana geldiği görülmüştür. Kompozit yapıda meydana gelen MgO takviye topraklanmaları ve gözenekliliğin mekanik özellikler üzerinde etkili olduğu değerlendirilmiştir. Aşınmış yüzey morfolojisinin daha çok mikro-sabanlama mekanizması şeklinde gerçekleştiği görülmüştür. Kompozitlerin aşınma davranışı üzerinde en etkili parametrenin MgO takviye miktarı olduğu, sinterleme sıcaklığı ve süresindeki değişimlerin çok önemli oranda etki yapmadığı genel sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Alüminyum Matrisli Kompozit, Al 7075, MgO, Sinterleme, Abrasif aşınma

Abstract

In this study, composites with 7075 aluminum alloy matrix 5%, 10, 15 and 20 Magnesia reinforced at different ratios were produced by powder metallurgy method. Wear tests were carried out by applying a load of 40 N, at a speed of 0.9 ms⁻¹, at wear distances of 90 m and 180 m. Then, abrasive wear tests of the composites were carried out. The data obtained from the experiments were interpreted together with the microscope images. The effects of different MgO reinforcement ratios, wear distances, sintering temperatures and times on the abrasive wear behavior of the composites were evaluated. It has been observed that although the wearing distance has increased by two times, the wear losses have not increased at the same rate, but have occurred less frequently. It has been evaluated that the MgO reinforcement agglomerations and porosity occurring in the composite structure have an effect on the mechanical properties. It was observed that the eroded surface morphology occurred mostly in the form of micro-ploughing mechanism. It was concluded that the most effective parameter on the wear behavior of the composites is the amount of MgO reinforcement, and that the changes in sintering temperature and time do not have a significant effect.

Keywords: Aluminum Matrix Composite, Al 7075, MgO, Sintering, Abrasive wear

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Nowadays, new products emerge every day in all engineering fields, depending on the developments in material science. Particularly, metallic materials have a wider place in engineering applications than others. Aluminum is the most used metal in the world after steel. Aluminum is widely used in many applications due to its properties such as soft, ductile, high electrical conductivity and high corrosion resistance. By adding some alloying elements to pure aluminum, its technical properties can be improved. Especially 7xxx series aluminum alloys are stronger than other aluminum alloys. Aerospace, defense, automotive, medical device, etc. It is preferred in industrial areas. However, despite its many superior features, when compared to steel, it may be insufficient in some engineering applications due to its

disadvantages such as low strength and tensile strength and low wear resistance. In recent years, aluminum matrix composites (AMC) in which different materials are reinforced have been developed in order to strengthen aluminum and expand its usage area. The low resistance of aluminum and aluminum alloys to wear is one of the main drawbacks that limits their use. Therefore, studies to increase the resistance of aluminum to abrasion are becoming increasingly important.

For this purpose, Al 7075 alloy, which is known for its high mechanical properties, and MgO particle reinforced composite materials at different rates were produced by powder metallurgy technique at 500°C, 550°C and 600°C sintering temperatures and 90 min and 120 min sintering times. The microstructures of the produced composite samples were examined. Abrasive wear

tests were carried out to determine wear behavior. The data obtained were evaluated together with optical microscope and scanning electron microscope (SEM) images.

Materials and Methods

In this experimental study, the matrix material was powder Al 7075 alloy with an average particle size of 63 μm , and powder Magnesia with a particle size of 37-105 μm , containing 98% MgO, 1% SiO₂, 0.6% FeO and 0.4% CaO, was used as reinforcement element. used. The porosity amounts were determined by density measurements on the composite samples produced in different proportions, and the hardness measurements of all composite samples were made according to the Brinell method. In the last stage of the experimental study, abrasive wear tests were carried out. Al₂O₃ sandpaper with 400 mesh abrasive grain size was used in the experiments. Wear tests were carried out by applying a load of 40 N, a speed of 0.9 ms^{-1} , and a wear distance of 90 m and 180 m. The wear losses of the composite samples were determined by measuring the weights of the composite samples before and after the experiment with an electronic precision scale. Optical microscope images were taken from all composite sample surfaces subjected to wear testing.

Results and Discussion

As the sintering temperature increased, the thermal diffusion mechanism accelerated. It has been evaluated that there are sudden size changes in the aluminum matrix particles due to increased intergranular bonding and accumulation of the liquid phase by moving in a certain direction, especially at sintering temperatures above 550°C. These changes appear as increases in grain sizes. As a result of the desire of growing grains to move towards the center, larger gaps are formed. In this case, it can be stated that the highest sintering temperature applied, 600°C, is not very suitable in terms of porosity. At all sintering temperatures, the amount of pores decreased slightly as the MgO ratio in the structure increased.

It was observed that wear losses decreased with increasing MgO ratio at both experimental distances. Less wear loss occurred in all MgO reinforced composite samples compared to pure Al 7075 samples. It is understood that wear losses gradually decrease due to the effect of the reinforcing element MgO particles in the composite structure being in a very hard phase. Although there was a fourfold increase in MgO between the 5% MgO reinforced composite and the 20% MgO reinforced composite, there was at most a twofold difference in the increase in wear resistance or decrease in the amount of wear.

At both experimental distances, for temperatures of 500°C and 550°C, it was generally understood that the wear losses in the 120 min sintering time were slightly higher than in the 90 min sintering time. However, it can be stated that the change in sintering time does not cause significant differences in wear losses. The porous structure was more effective in causing the wear losses in composites sintered for 120 min to be higher than for 90 min. The least wear loss was obtained from the 20% MgO reinforced composite sintered at 600°C at both test distances. On the other hand, the highest wear loss occurred in the 5% MgO reinforced composite sample sintered at 600°C. In general, it can be said that the change in sintering temperatures does not have a significant effect on wear losses. It is seen that wear losses also increase as the wear distance increases. However, although there was a 100% difference between the 90 m and 180 m wear

distances applied in the experiments, the wear losses did not occur at the same rate. It can be said that the wear mechanism in the form of micro-plowing is effective on the wear surfaces of samples without MgO reinforcement. The wear losses in the 5% MgO reinforced sample, in which the Al 7075 matrix material was included more in the composite structure, were higher than the 20% MgO reinforced sample. In this study, it is understood that the parameter that most affects wear among the composite production parameters is the MgO reinforcement ratio.

When the worn surfaces of pure Al 7075 samples without MgO reinforcement were examined, it was seen that the wear lines were very similar to each other and were thinner and more regular than the wear lines on the surface of the 5% MgO and 20% MgO reinforced samples. The effect of MgO particles in the composite structure was revealed in the formation of deeper and wider wear lines on the surface of MgO reinforced samples. During the experiments, MgO particles that broke away from the composite structure also rubbed on the sample surface and had an abrasive effect. It was evaluated that the scratches and grooves formed on the surfaces were in the form of micro-cutting and micro-plowing, which occurred as a result of the slip between the sample and the rotating abrasive disc.

With the increase of sintering time, hardness values decreased and porosity values increased. Depending on the mechanical behavior of the material, more wear loss occurred in Al 7075, which is the main material of the composite structure. Likewise, the separation of MgO particles in the softened composite structure became easier. It can be said that the wear lines formed during abrasion on the Al 7075 alloy become wider and deeper as the sintering temperature increases. The load applied during the experiments on pure aluminum increased wear and caused ductile fractures on the material surface. Depending on the size of the abrasive particles in the abrasive sandpaper, continuous tearing and plastic deformation occurred. It was determined that while some of the MgO particles that broke off from the structure moved away from the surface, some of them were plastered on the surface and remained in the wear grooves.

As the sliding time in the wear experiment increased, the temperature on the surface increased and the hardness of the matrix material decreased slightly. As a result, the areas subjected to plastic deformation and the lines on the sample surface expanded, causing wear losses to increase.

Conclusion

Al 7075 matrix and 5, 10, 15, 20% MgO particle reinforced composites were successfully produced by powder metallurgy method. Porosity and reinforcement agglomerations within the composite structure had negative effects on mechanical properties. As the MgO reinforcement ratio increased, the hardness values of the composite structure increased and its density decreased. As the sintering temperature increased to 600°C, the hardness values of the composite samples at all reinforcement ratios decreased, while the amount of pores increased. It was evaluated that the most effective parameter on wear losses was the amount of MgO reinforcement. When the wear surface images were examined, it was understood that the effect of the abrasive wear mechanism appeared mostly in the form of micro-plowing, and changes in sintering temperature and time did not create significant differences on the worn surface images.

1. Giriş

Günümüzde malzeme bilimindeki gelişmeler bağlı olarak tüm mühendislik alanlarında her geçen gün yeni ürünler ortaya çıkmaktadır. Özellikle metalik malzemelerin mühendislik uygulamalarındaki yeri diğerlerine göre daha geniştir. Dünyada çelikten sonra en fazla kullanılan metal alüminyumdur. Alüminyum, yumuşak, sünek, yüksek elektriksel iletkenlik ve yüksek korozyon direnci gibi özelliklerinden dolayı birçok uygulamada yaygın olarak kullanılmaktadır [1]. Saf alüminyum içerisine bazı alaşım elementleri katılarak teknik özellikleri geliştirilebilmektedir. Özellikle 7xxx serisi alüminyum alaşımları diğer alüminyum alaşımlarına kıyasla daha güçlüdür. Havaçılık, savunma, otomotiv, tıbbi cihaz vb. endüstri alanlarında tercih edilmektedir. Ancak birçok üstün özelliğinin yanında çelikte mukayese edildiğinde, düşük mukavemet ve çekme dayanımı, düşük aşınma direnci gibi dezavantajlarından dolayı bazı mühendislik uygulamalarında yetersiz kalabilmektedir [2, 3]. Son yıllarda alüminyumun güçlendirilmesi ve kullanım alanının daha da yaygınlaştırılması amacıyla içerisine farklı malzemelerin takviye edildiği alüminyum matrisli kompozitler (AMC) geliştirilmektedir. Alüminyum matrisli kompozitler yüksek mukavemet, yüksek sertlik, azaltılmış ağırlık, gelişmiş termal özellikler, yüksek sıcaklık dayanımı, geliştirilmiş sönümleme yetenekleri ve artan aşınma direnci ile takviyesiz alüminyum alaşımlara kıyasla çeşitli avantajları vardır [4]. Genellikle seramik esaslı takviye malzemelerinin kullanıldığı AMC'ler çoğunluğu oluşturmaktadır. Uygulamada Al_2O_3 , SiC, B_4C , SiO_2 , TiC, TiB_2 , ZrO_2 , Grafen vb. takviye malzemeleri yaygın olarak kullanılmakta olup literatürde farklı çalışmalar yer almaktadır [5-9]. Bu malzemelerin refrakterlik, yüksek sertlik, yüksek basınç dayanımı, aşınma direnci vb. üstün özellikleri, onları kompozit matrisinde takviye olarak kullanıma uygun hale getirir [10]. Literatürde diğerleri kadar yaygın olmasa da, takviye elemanı olarak kullanılan malzemelerden birisi de magnezyum oksit (MgO)'dir. MgO yüksek erime noktası, yüksek basınç dayanımı, yüksek sertliği ve ayrıca mükemmel termodinamik stabilitesi nedeniyle takviye için uygun bir seçimdir [11]. MgO, erime noktası yaklaşık $2780^\circ C$ olan refrakter bir malzemedir. MgO, iyi termal şok direnci, yüksek erime noktası, düşük termal iletkenlik ve mükemmel termodinamik kararlılık gibi özelliklere sahiptir. Yoğunluğu, Young modülü ve sertliği sırasıyla 3.58 g/cm^3 , 320 GPa ve $e910 \text{ HV}$ 'dir [12].

AMC kompozitlerin farklı üretim yöntemleri vardır. Sıkıştırılmalı döküm, karıştırmalı döküm, sıvı metal infiltrasyonu, toz metalürjisi, mekanik alaşımlama ve sprey ayırıştırma MMC'leri yapmak için kullanılan tekniklerden bazılarıdır [13]. Yukarıda sıralanan sıvı faz döküm yöntemlerinin temel sınırlaması, sıvı Al alaşımları ile seramik parçacıkların zayıf ıslanabilirliğidir. Islanabilirlik, bir sıvının katı bir yüzey üzerinde yayılma yeteneği olarak tanımlanabilir ve bir sıvı ile bir katı arasındaki yakın temasın derecesini temsil eder. Zayıf ıslanabilirlik ise takviye topaklanması eğilimini artırır ve takviye partiküllerin homojen olmayan dağılımına, yüksek gözenek içeriğine ve düşük mekanik özelliklere neden olur [14]. Toz metalürjisi yönteminin diğer döküm yöntemleriyle karşılaştırıldığında, sinterleme sürecinde takviye parçacıkları ile matris alaşımı arasında daha iyi bağlanmanın olması ve matris yapısını kontrol etmenin daha kolay olması gibi bazı önemli avantajları vardır [15]. Ayrıca sinterlemedeki katı hal difüzyonu, sinterleme sıcaklığı ve süresine bağlı olarak, taneler arası boyun oluşumu ve tane büyümesini sağlayarak malzeme yapısının mekanik özelliklerini geliştirmektedir [16, 17].

Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının aşınmaya karşı düşük dirençleri, kullanımlarını sınırlayan olumsuzlukların başında

gelmektedir. Dolayısıyla alüminyumun aşınmaya karşı dayanımını arttırmak için yapılan çalışmalar giderek önem kazanmakta ve literatürde yer almaktadır [18, 19]. Alüminyum matrisli ve parçacık takviyeli kompozitlerin aşınma davranışları üzerine yapılan çalışmalarda genellikle, uygulanan yükün, aşınma mesafesinin ve hızının etkileri incelenmiştir. Deney yükünün artması, deney mesafesi ve hızının artması ile aşınma kayıplarının arttığı bilinmektedir. Ayrıca literatürdeki çalışmaların büyük bir bölümünde çelik disk üzerine pimin bastırıldığı pin on disc yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışmada literatürden farklı olarak toz metalürjisiyle üretilmiş olan kompozit numunelerin abrasif aşınmasında, MgO takviye miktarı, sinterleme sıcaklığı ve süresinin etkisi araştırılmıştır.

Bu amaçla özellikle yüksek mekanik özellikleriyle bilinen Al 7075 alaşımı ile farklı oranlarda MgO partikül takviyeli kompozit malzemeler toz metalürjisi tekniği ile $500^\circ C$, $550^\circ C$ ve $600^\circ C$ sinterleme sıcaklığında, 90 min ve 120 min sinterleme süresinde üretilmiştir. Üretilen kompozit numunelerin mikroyapıları incelenmiştir. Aşınma davranışlarını belirlemek amacıyla abrasif aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleriyle birlikte değerlendirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Bu deneysel çalışmada kullanılan ve *Nanografi Nano Technology* firmasından temin edilen matris malzemesi ortalama $63 \mu m$ parçacık boyutundaki toz Al 7075 alaşımı ile, *KÜMAŞ Magnesite* firmasından elde edilen ve içeriğinde %98 MgO, %1 SiO_2 , %0,6 FeO ve % 0,4 CaO olan $37-105 \mu m$ parçacık boyutundaki toz *Magnezya* takviye elemanı olarak kullanılmıştır. Toz metalürjisiyle üretilmiş olan Al 7075/MgO kompozit malzemelerin üretim parametreleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Toz metalürjisi üretim parametreleri [20].

Table 1. Powder metallurgy production parameters [20].

| | | Sinterleme Sıcaklıkları | | |
|--------------------------------|---------|-------------------------|---------|---------|
| | | 500°C | 550°C | 600°C |
| Sinterleme Süresi (90 min) | %0 MgO | %0 MgO | %0 MgO | %0 MgO |
| | %5 MgO | %5 MgO | %5 MgO | %5 MgO |
| | %10 MgO | %10 MgO | %10 MgO | %10 MgO |
| | %15 MgO | %15 MgO | %15 MgO | %15 MgO |
| | %20 MgO | %20 MgO | %20 MgO | %20 MgO |
| | | 500°C | 550°C | 600°C |
| Sinterleme Süresi (120 min) | %0 MgO | %0 MgO | %0 MgO | %0 MgO |
| | %5 MgO | %5 MgO | %5 MgO | %5 MgO |
| | %10 MgO | %10 MgO | %10 MgO | %10 MgO |
| | %15 MgO | %15 MgO | %15 MgO | %15 MgO |
| | %20 MgO | %20 MgO | %20 MgO | %20 MgO |
| | | 500°C | 550°C | 600°C |

Üretilmiş olan farklı oranlardaki kompozit numuneler üzerinde yoğunluk ölçümleri yapılarak gözenek miktarları tespit edilmiş ve tüm kompozit numunelerin Brinell yöntemine göre sertlik ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen gözeneklilik ve sertlik verileri proje kapsamında yapılan başka bir çalışmada yayınlanmış olup

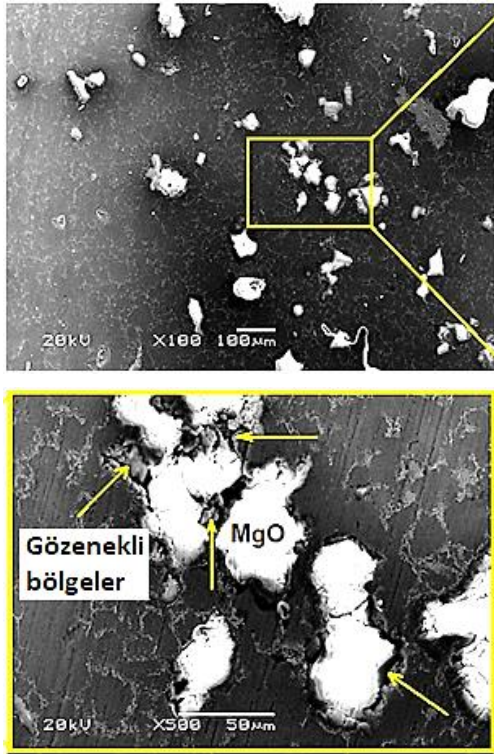
bu çalışmanın esası olan abrasif aşınma davranışlarının yorumlanmasında da dikkate alınmıştır [20].

Bu deneysel çalışmanın son aşamasında abrasif aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneylerde literatürden farklı olarak, abrasif aşınma mekanizması dikkate alınarak çelik disk yerine 400 mesh aşındırıcı tane boyutunda Al_2O_3 zımpara kağıdı kullanılmıştır. Aşınma deneyleri 40 N yük uygulanarak, $0,9 \text{ ms}^{-1}$ hızda, 90 m ve 180 m aşınma mesafesi uygulanarak yapılmıştır. Kompozit numunelerin deney öncesi ve sonrası ağırlıkları 0,0001g hassasiyetindeki elektronik terazi ile ölçülerek aşınma kayıpları belirlenmiştir. Aşınma deneyi uygulanan tüm kompozit numune yüzeylerinden optik mikroskop görüntüleri çekilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Mikroyapı

MgO takviyeli Al 7075 kompozitlerin mikroyapısını incelemek amacıyla ortalama takviye oranı olan %10 MgO takviyeli kompozit numuneden çekilmiş olan taramalı elektron mikroskopu (SEM) görüntüleri Şekil 1'de verilmektedir.



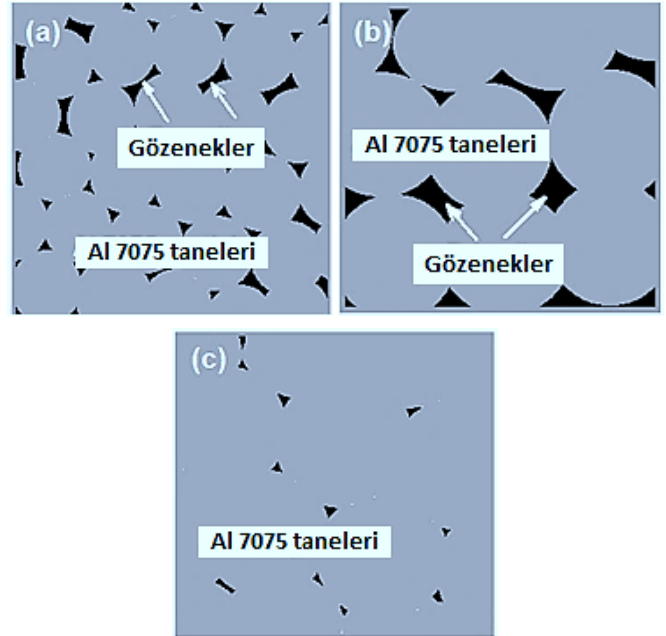
Şekil 1. Kompozit yapı.

Figure 1. Composite structure.

Şekil 1 incelendiğinde, ilk etapta MgO takviye partiküllerinin düzensiz dağılımı dikkat çekmektedir. Diğer önemli husus ise MgO partiküllerinin yan yana gelerek topaklanma eğilimi göstermesidir. MgO topaklanmasının kompozit yapı içerisinde gözenekli bölgelerin oluşmasına da yol açabilmektedir. Literatürde yer alan çalışmalarda, kompozit yapıyı oluşturan malzemelerin çok farklı ısıl davranışları, mekanik özellikleri ve yoğunluk farklılıklarından dolayı porozite oluşumundan bahsedilmektedir [21-24]. Şekil 1'de görüldüğü gibi bir araya gelerek topaklaşan MgO partikülleri arasında erimemiş ve yeterli sinterleme oluşmamış bölgeler yer almaktadır. Çok yüksek ısıl dirence sahip olan refrakter özellikli MgO partikülleri sinterleme sürecinde bir termal bariyer gibi davranarak ısı geçişini engel olmuştur. Dolayısıyla MgO partikülleri arasında kalan bölgelerde boşluklar ve gözenekler meydana gelmiştir. Matris ve takviye

parçacıkları arasındaki ıslanabilirlik, metal matrisli kompozitlerin üretiminde karşılaşılan önemli bir problemdir. Matrisin viskozitesi düşük ve ıslanma ile sistemin serbest enerjisinde bir azalmaya olursa, başarılı bir ıslatma oluşmaz. Takviye elemanı olan seramiklerin erimiş metal tarafından ıslanması işlemine, kompozit yapıyı oluşturan malzemelerin yüzey kimyası ve yüzey gerilimi etki etmektedir. Sinterleme sürecinde MgO topaklanmasının olduğu bölgelerde, matris-takviye ara yüzeyindeki ıslatmasının zorlaştığı ifade edilebilir. Başarılı bir ıslatmanın olmaması nedeniyle, kompozit yapıda gözenekli bölgeler meydana gelmektedir.

Gözenekliliğin oluşmasındaki diğer etken ise sinterleme sürecinde matris malzemesi alüminyum partiküllerinin boyun oluşumu ve biri birine bağlanma işleminin başarılı olup olmamasıdır. Sinterleme sıcaklığı ve süresinin artmasıyla birlikte Al 7075 matris tanelerinin biri birine bağlanması ve büyümesi artış göstermektedir. Tam sinterlemenin oluşmadığı ve tüm alüminyum tanelerinin birleşerek tek parça haline gelemediği sinterleme sıcaklıklarında, büyüyen taneler arasındaki boşluklarında daha büyük hacimlere ulaştığı ifade edilebilir. Şekil 2'de sinterleme sırasında sıcaklık artışına bağlı matris elemanının tane yapısındaki değişim ve gözenek (boşluk) durumu sembolik olarak gösterilmektedir. Şekil 2'de sembolize edildiği gibi, sinterleme sıcaklığının artmasıyla termal difüzyon mekanizması da hızlanmaktadır. Özellikle 550°C 'nin üzerindeki sinterleme sıcaklıklarında artan taneler arası bağlanma ve sıvı fazın belli yöne doğru hareket ederek birikmesiyle, matris partiküllerinde ani boyut değişiklikleri olabilmektedir. Bu değişiklikler tane boyutlarında büyüme olarak ortaya çıkmaktadır. Büyüyen tanelerin merkeze doğru hareket etme isteği neticesinde daha büyük boşluklar oluşmaktadır (Şekil 2-b). Ancak sinterleme sıcaklığı ve süresi arttırıldıkça sıvı faz daha önce oluşan boşlukları doldurmakta ve sinterleme işleminin sonuna yaklaşılmaktadır. Son aşamada gözenek miktarı minimum seviyeye inerek taneler arası bağlanma tamamlanmış olmaktadır (Şekil 2-c).



Şekil 2. (a) Düşük sıcaklık 500°C , (b) Yükselmiş sıcaklık 600°C , (c) Tam sinterleme sıcaklığı.

Figure 2. (a) Low temperature 500°C , (b) Raised temperature 600°C , (c) Full sintering temperature.

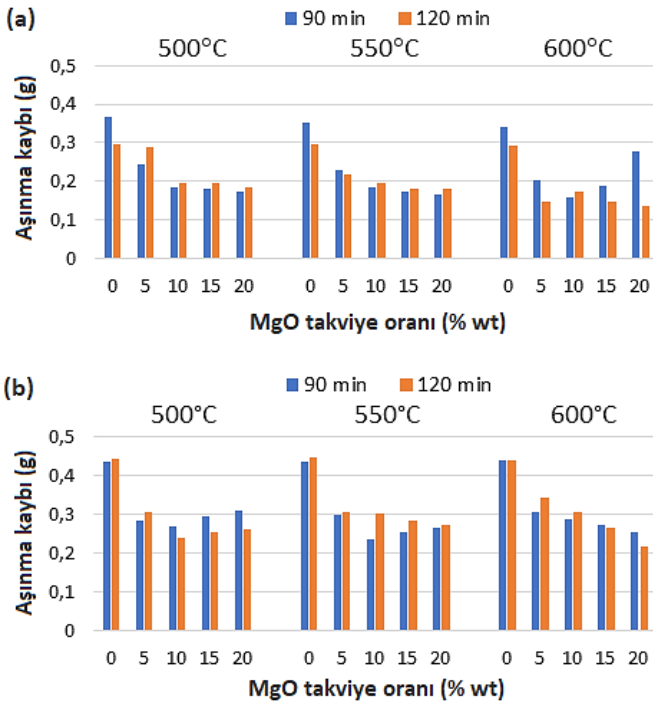
Bu durumda uygulanan en yüksek sinterleme sıcaklığı olan 600°C'nin porozite açısından çok uygun olmadığı ifade edilebilir. Literatürde benzer sonuçların rapor edildiği çalışmalar yer almaktadır [23, 25]. Diğer taraftan sinterleme süresinin 90 min'dan 120 min'ya çıkmasıyla tüm numunelerin porozite değerlerinde artış olduğu göze çarpmaktadır. Sinterleme süresinin artmasıyla taneler arası bağlanma ve tane büyümesinin arttığı bilinmektedir. Ancak yeterli sinterleme süresi uygulanmayan proseslerde büyüyen taneler arasında tam bağlanmanın olmaması nedeniyle boşluk hacminde büyümeler meydana gelmektedir. Sinterleme süresinin artmasıyla bu durum tersine dönerek artan sıvı faz bu boşlukları doldurarak gözenekliliği azaltmaktadır. Bu durumun sıcaklık artışındaki sebeplerle benzer sebepler olduğu değerlendirilmektedir. Tüm sinterleme sıcaklıklarında yapı içerisindeki MgO oranının artmasıyla gözenek miktarları bir miktar azalmıştır.

3.2. Abrasif Aşınmalar

Al 7075 matrisli %5, 10, 15 ve 20 MgO takviyeli kompozit malzemelerin 40 N yük altında, 400 mesh zımpara üzerinde 90 m ve 180 m aşınma mesafesi uygulanarak yapılan abrasif aşınma deneylerinden elde edilen verilere göre oluşturulan grafikler Şekil 3'te verilmiştir.

3.2.1. MgO oranının aşınmaya etkisi

Şekil 3'teki grafiklere bakıldığında, her iki deney mesafesinde de MgO oranının artışıyla aşınma kayıplarının azaldığı dikkat çekmektedir.



Şekil 3. %5,10, 15 ve 20 MgO takviyeli kompozitlerin numunelerin abrasif aşınma kayıpları (a) 90 m aşınma mesafesi, (b) 180 m aşınma mesafesi.

Figure 3. Abrasive wear losses of composite samples with 5, 10, 15 and 20% MgO reinforcement, (a) 90 m wear distance, (b) 180 m wear distance.

Tüm MgO takviyeli kompozit numunelerde, saf Al 7075 numunelere göre daha az aşınma kaybı meydana gelmiştir. Kompozit yapı içerisindeki takviye elemanı MgO parçacıklarının çok sert fazda olmasının tesiri ile aşınma kayıplarının giderek azaldığı anlaşılmaktadır. Benzer takviye elemanlarıyla üretilmiş

alüminyum matrisli kompozitlerin aşınma davranışları üzerine yapılan çalışmalarda, takviye miktarının artmasıyla aşınma direncinin arttığı ve aşınma kayıplarının azaldığı ifade edilmektedir [26-29]. Ancak Şekil 3'teki grafikler incelendiğinde, aşınma direncindeki artışın, MgO artış miktarıyla orantılı olmadığı da anlaşılmaktadır. %5 MgO takviyeli kompozit ile %20 MgO takviyeli kompozit arasında dört kat MgO artışı olmasına rağmen, aşınma direncindeki artış veya aşınma miktarındaki azalış arasında en fazla iki kat farklılık meydana gelmiştir. Hatta 600°C'de sinterlenmiş %20 MgO takviyeli numunede, %5 MgO takviyeli numuneden daha fazla aşınma kaybı oluşmuştur. Parçacık takviyeli metalik kompozitlerde bazen bu tür sıra dışı aşınma davranışları görülmektedir. Bu sıra dışı davranışın farklı sebepleri olmakla birlikte, düzensiz kompozit yapı oluşumları ve homojen olmayan takviye dağılımları önde gelen sebeplerdendir. Yüksek takviye oranıyla birlikte kompozit yapı içerisindeki takviye topraklanması, yüksek gözeneklilik, matris-takviye arasındaki çok düşük ıslatma gibi nedenlerden dolayı aşınma deneyleri sırasında çok fazla miktarda takviye partikülü yapı içerisinde koparak uzaklaşabilmektedir. Bu durumda belli bir orandan sonraki takviye miktarlarında aşınma kayıpları artabilmektedir. Benzer değerlendirmelerin yapıldığı çalışmalar literatürde yer almıştır [30]. Literatürdeki bir çalışmada ise takviye miktarının %10'dan %20'ye çıkmasıyla aşınma direncinde beklenen gelişmenin olmadığı vurgulanmıştır. Bu duruma takviye miktarının artmasıyla birlikte bağ yoğunluğun düşmesinin neden olduğu belirtilmiştir [31]. Genellikle artan takviye miktarıyla birlikte bazı mekanik özelliklerin artması sonucunda ilk bakışta aşınma direncinin de artacağı düşünülmektedir. Nitekim sertlik değerleri düşük olan %15 MgO takviyeli kompozit numunelerin aşınma kayıpları da fazla olmuştur. Ancak bazı durumlarda takviye miktarı en fazla ve en sert kompozit malzemede aşınma miktarının da arttığı tespit edilmiştir. Bu durumda aşınma özelliklerinin sadece sertlikle ilişkilendirilmesi eksik bir değerlendirme olmaktadır [32]. Fakat takviye elemanı miktarının kompozitin aşınma direnciyle doğrudan ilişkili olduğu söylenebilir [33]. Yapılan bir çalışmada aşınma oranının büyük ölçüde MgO yüzdesinden, ardından sırasıyla yük, kayma mesafesi ve hızdan etkilendiği rapor edilmektedir [34].

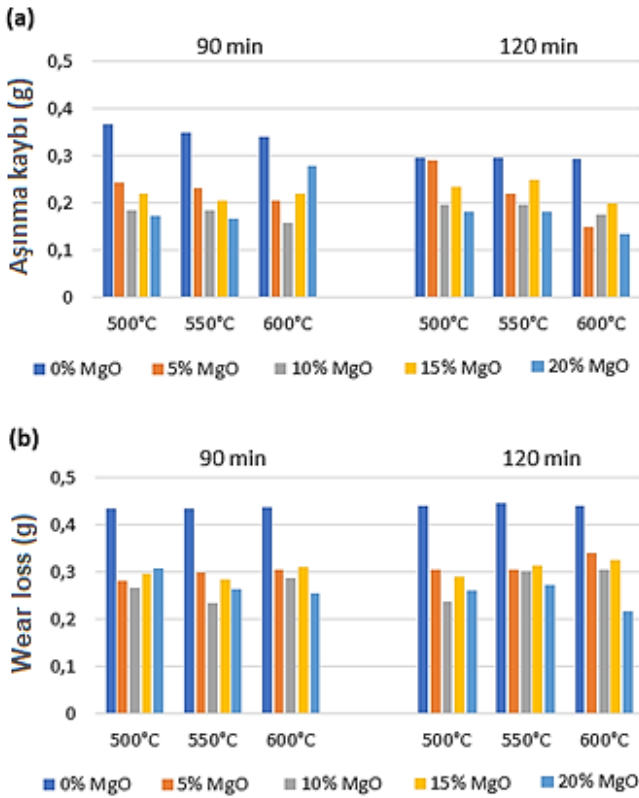
3.2.2. Sinterleme parametrelerinin aşınma davranışına etkisi

Şekil 3'teki grafikler incelenmeye devam edilirse, iki deney mesafesinde de, 500°C ve 550°C sıcaklıklar için genel olarak 120 min sinterleme süresindeki aşınma kayıplarının 90 min sinterleme süresine göre bir miktar daha fazla olduğu söylenebilir. 600°C'de ise bazı kararsız aşınma davranışları görülmektedir. Bu durum sinterleme süresinden bağımsız olarak, kompozit yapının düşük sertlik değerleri ve yüksek gözenekliliği ile açıklanabilir. Ancak sinterleme süresindeki değişimin aşınma kayıpları üzerinde kayda değer seviyede farklılıklar oluşturmadığı da ifade edilebilir. Zira sinterleme süresi %33 oranında artmasına rağmen, birkaç numune hariç aşınma kayıplarında çok fazla değişiklik olmamıştır. 120 min süre boyunca sinterlenmiş kompozitlerdeki aşınma kayıplarının, 90 min süreye göre daha fazla olmasında gözenekli yapı daha etkili olmuştur.

Metallerde sinterleme ısı işlemine etki eden en önemli parametrenin sıcaklık ve süre olduğu bilinmektedir. Ancak içerisinde seramik esaslı partikül takviye edilmiş metalik kompozitlerde, takviye malzemesinin ısı davranışı da etkili olmaktadır. Şekil 4'teki grafiklerde 500°C, 550°C, 600°C sinterleme sıcaklıklarında, 90 m ve 180 m aşınma mesafesi

uygulanarak yapılan deneylerde kompozitlerin aşınma kayıpları verilmiştir.

Şekil 4'teki grafikler incelendiğinde, 80 m aşınma mesafesi ve 120 min sinterleme süresinde 600°C'de sinterlenmiş kompozitlerdeki aşınma kayıplarının 500°C ve 550°C'ye göre bir miktar azaldığı görülmektedir (Şekil 4-a). En az aşınma kaybı iki deney mesafesinde de 600°C'de sinterlenmiş %20 MgO takviyeli kompozitten elde edilmiştir. Diğer taraftan en fazla aşınma kaybı da yine 600°C'de sinterlenmiş %5MgO takviyeli kompozit numunede meydana gelmiştir. Grafiklerde görülen bu istikrarsız değerlerin kompozitin yapısal özelliğinin sebep olduğu değerlendirilmektedir. Her ne kadar sinterleme sıcaklıkları arasında farklılık olsa da, kompozit yapı içerisindeki takviye topraklanması, gözeneklilik ve matris-takviye arasındaki termal uyumsuzluk nedeniyle beklenmeyen malzeme davranışları ortaya çıkmıştır. Dolayısıyla iki grafik genel olarak değerlendirilirse, sinterleme sıcaklıklarındaki değişimin aşınma kayıpları üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı söylenebilir. Literatürde yer alan çalışmada benzer sonuç vurgulanmıştır [35].



Şekil 4. 500°C, 550°C, 600°C'de sinterlenmiş kompozit numunelerin abrasif aşınma kayıpları (a) 90 m aşınma mesafesi, (b) 180 m aşınma mesafesi.

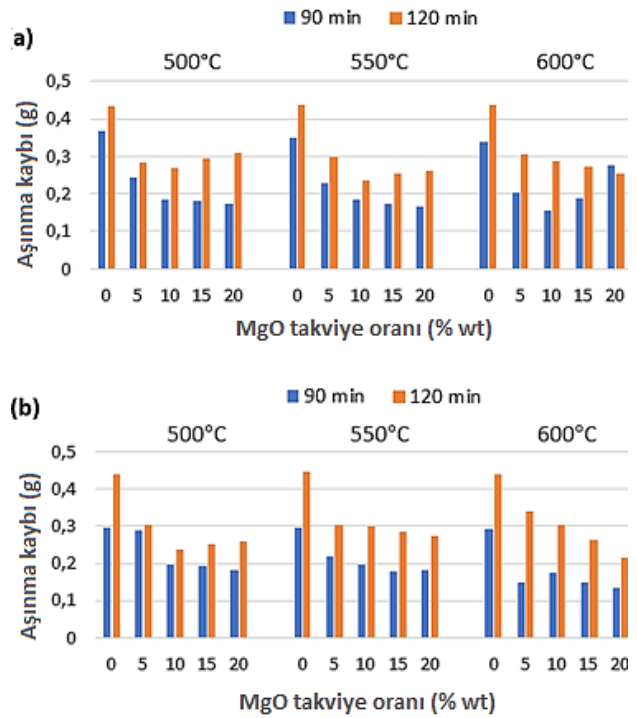
Figure 4. Abrasive wear losses of composite samples sintered at 500°C, 550°C, 600°C (a) 90 m wear distance, (b) 180 m wear distance.

3.2.3. Deney mesafesinin aşınmaya etkisi

Abrasif aşınma deneylerinde uygulanan 90 m ve 180 m deney mesafelerinin kompozitlerin aşınma davranışlarına etkisini daha net incelemek amacıyla Şekil 5'deki karşılaştırma grafikleri verilmiştir.

Şekil 5'deki grafiklere bakıldığında, aşınma mesafesinin artmasına bağlı olarak aşınma kayıplarının da arttığı görülmektedir. Bu beklenen ve literatürde sıklıkla rastlanan bir

sonuçtur [36-40]. Ancak deneylerde uygulanan 90 m ve 180 m aşınma mesafeleri arasında %100 fark olmasına rağmen aşınma kayıpları aynı oranda gerçekleşmemiştir. Aşınma mesafesiyle birlikte aşınma süreside iki katına çıktığından kompozit numunenin aşındırıcı zımpara yüzeyine sürtünmesi artmıştır. Artan sürtünme süresiyle Al 7075 matris üzerindeki sıcaklığın arttığı buna bağlı olarak yumuşayan bir miktar alüminyumun aşınma çizgilerinin ve kopan MgO partiküllerinin oluşturduğu oyuklar içerisine sıvandığı ve yüzeyi terk etmediği değerlendirilmektedir. Bu durumda aşınma kayıplarında sürtünme mesafesindeki miktar kadar artış olmamıştır. Grafikler incelendiğinde 500°C ve 550°C sıcaklıkta sinterlenmiş numunelerde 90 m ve 180 m deney mesafelerindeki aşınma kaybı farklığının ortalama %30 seviyesinde olduğu söylenebilir. 600°C'de ise aşınma mesafesi farkı ile aşınma kaybı farkları arasında daha yakın orantı olduğu görülmektedir.



Şekil 5. (a) 90 min sinterleme süresinde, (b) 120 min sinterleme süresinde Al 7075/MgO kompozitlerin aşınma kayıpları.

Figure 5. Wear losses of Al 7075/MgO composites at (a) 90 min sintering time, (b) 120 min sintering time.

Ancak bundan önceki değerlendirmelerde bahsedildiği gibi bazı sıra dışı değerlerde ortaya çıkmıştır. 90 min süreyle 600°C'de sinterlenmiş %20 MgO takviyeli numunede olağan dışı bir aşınma davranışı tespit edilmiştir (Şekil 4a). 180 m kayma mesafesinde, 90 m kayma mesafesinden daha az aşınma kaybı ölçülmüştür. Bu durumun tamamen deneye tabi tutulan numunenin yapısal kusurundan kaynaklandığı ifade edilebilir. 90 m mesafede yapılan bu deneyde numune üzerindeki çok yüksek ve geniş gözenekli bölgenin aşındırıcı zımparaya denk geldiği düşünülmektedir. Bu durumda çok fazla takviye malzemesinin kompozit yapıdan ayrıldığı ve aşınma kaybı değerini aşırı yükselttiği değerlendirilmektedir. Gözeneklilik artışının aşınma miktarlarını doğrudan etkilediği daha önce de ifade edilmiş olup benzer sonuçlar literatürde yer almaktadır [32, 41]. Bazı durumlarda bu tür parçacık takviyeli alüminyum kompozitlerin mekanik özelliklerinin incelendiği deneylerde, sıra dışı sonuçlarla karşılaşılabilir. Şekil 4'te yer alan grafiklerde bu kararsız veya sıra dışı durumlar görülmekte olup nedenleri

hakkında yukarıda bazı değerlendirmeler yapılmıştır. Ancak bu kararsız aşınma davranışların altında başka sebeplerinde yatabileceği unutulmamalıdır. Özellikle toz metalürjisi üretim yönteminin en önemli parametresi olan sinterleme işleminde uygulanan sıcaklığın etkisi dikkate alınmalıdır. Kompozit yapıyı oluşturan alüminyum bir metal olup, takviye elemanı olan MgO ise refrakter yapıdaki seramik özellikli bir malzemedir. Bu çok farklı termal özelliklere sahip malzemelerin bir araya getirilmesiyle oluşturulan yeni kompozit yapının çok stabil ve kararlı teknik özellikler göstermemesinin normal olduğu değerlendirilmektedir.

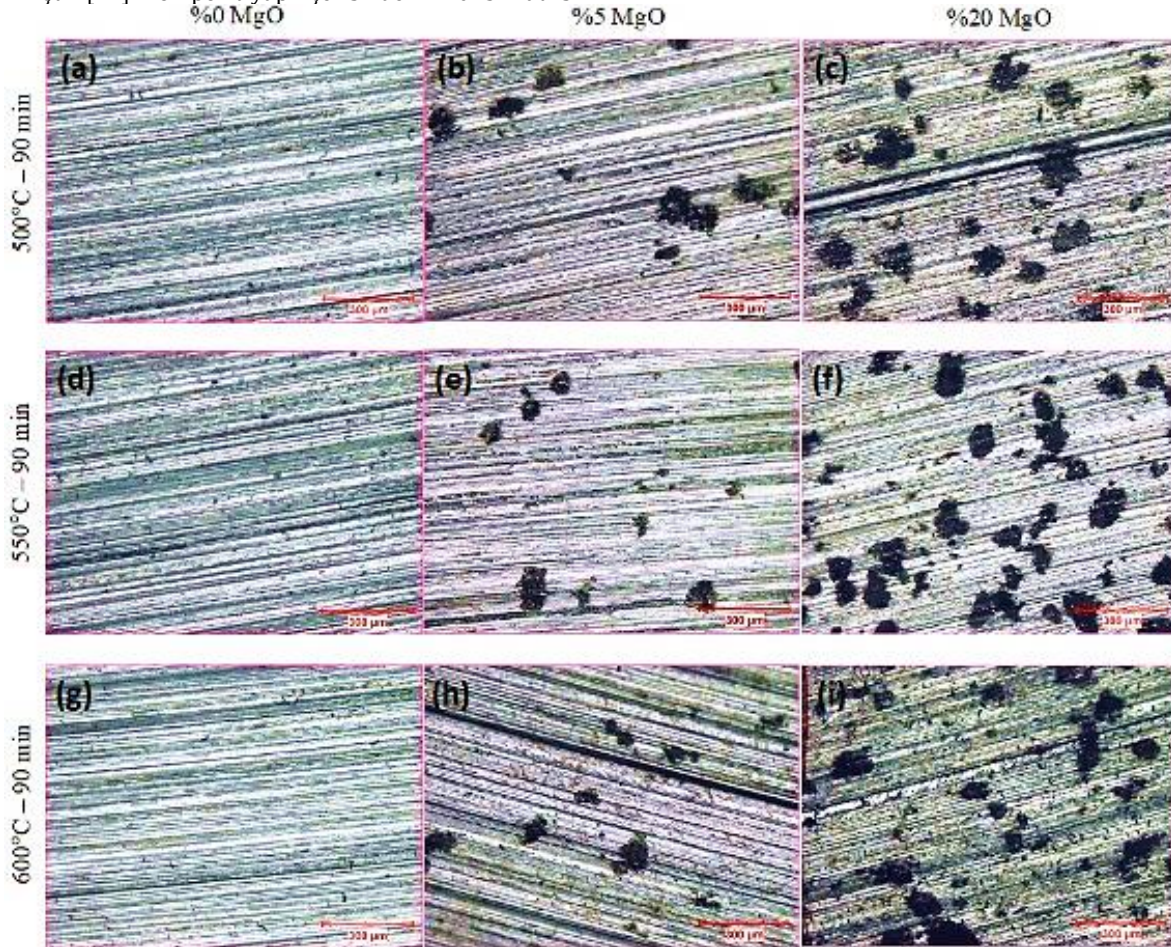
3.3. Aşınmış yüzey morfolojisi

Al 7075 matrisli %5, 10, 15 ve 20 MgO takviyeli kompozit malzemelerin 40 N yük altında, 400 mesh zımpara üzerinde 90 m ve 180 m aşınma mesafesi uygulanarak yapılan abrasif aşınma deneylerinden elde edilen verilere göre oluşturulan grafikler Şekil 3'te verilmiştir

Abrasif aşınmada yüzeyden malzeme kaybı, yükün etkisi altında aşınma artıkları şeklinde kayan aşındırıcı partiküller ve ayrıca kayma sırasında çevrede sıkışıp kalan toz partiküllerinden kaynaklanır ve aşınmanın kaybolmasına neden olur [42]. Şekil 6'daki yüzey görüntüleri incelendiğinde MgO takviye oranındaki farkın, aşınmış yüzey görüntülerine de yansıdığı dikkat çekmektedir.

MgO takviyesiz numunelerin aşınma yüzeylerinde mikro-sabanlama şeklindeki aşınma mekanizmasının etkili olduğu söylenebilir. Literatürdeki çalışmada benzer aşınma davranışı rapor edilmiştir [11]. Kompozit yapı içerisinde Al 7075 matris

malzemesinin daha fazla yer aldığı %5 MgO takviyeli numunedeki aşınma kayıpları, %20 MgO takviyeli numuneye göre daha fazla olmuştur. Şekil 6a, 6d ve 6g'deki yüzeylere bakıldığında Al 7075 matris üzerindeki aşınma çizgilerinin daha geniş ve derin olduğu görülmektedir. Kompozit yapı içerisindeki MgO takviye miktarının aşınma üzerindeki etkisi daha önceki bölümlerde açıklanmıştır. Bu çalışmada da kompozit üretim parametreleri içerisinde aşınmaya en fazla etki eden parametrenin MgO takviye oranı olduğu anlaşılmaktadır. Aşınma yüzeyi görüntülerinin, Şekil 4'deki aşınma kaybı miktarlarını teyit ettiği söylenebilir. Ancak bazı durumlarda yüksek takviye oranının olumsuz etkileriyle karşılaşılmaktadır. Kompozit malzeme içerisindeki takviye parçacıkları alüminyum malzemeye göre daha dayanıklı ve sert olduklarından aşınmaya karşı dirençleri de fazladır. Ancak bu takviye elemanları abrasif aşınma sırasında gevrek ve kırılabilir bir davranış gösterebilirler. Deneyler sırasında numune yüzeyine batan aşındırıcı zımpara partikülleri bu gevreklik nedeniyle takviye parçacıklarıyla birlikte önündeki alandan malzeme kaldırmaya çalışmaktadır. Bu durumda takviye miktarı yüksek olan kompozitlerde, azalan matris hacminin uygulanan zorlamaya fazla direnç gösterememesi nedeniyle aşınma kayıplarında artış meydana gelmektedir. 500°C'de 90 min süreyle sinterlenmiş %20 MgO takviyeli Al 7075 kompozitin, 180 m mesafede yapılan abrasif aşınma deneyinden elde edilen aşınma kaybı değerleri yukarıdaki tezi doğrular niteliktedir (Şekil 4). Şekil 9c'deki yüzey görüntüsüne bakıldığında da %20 MgO takviyeli numune yüzeyinde derin aşınma çizgilerinin olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 6. 90 min süre sinterlenmiş %5 ve %20 MgO takviyeli kompozitlerin aşınmış yüzeyleri.

Figure 6. Worn surfaces of 5% and 20% MgO reinforced composites sintered for 90 min.

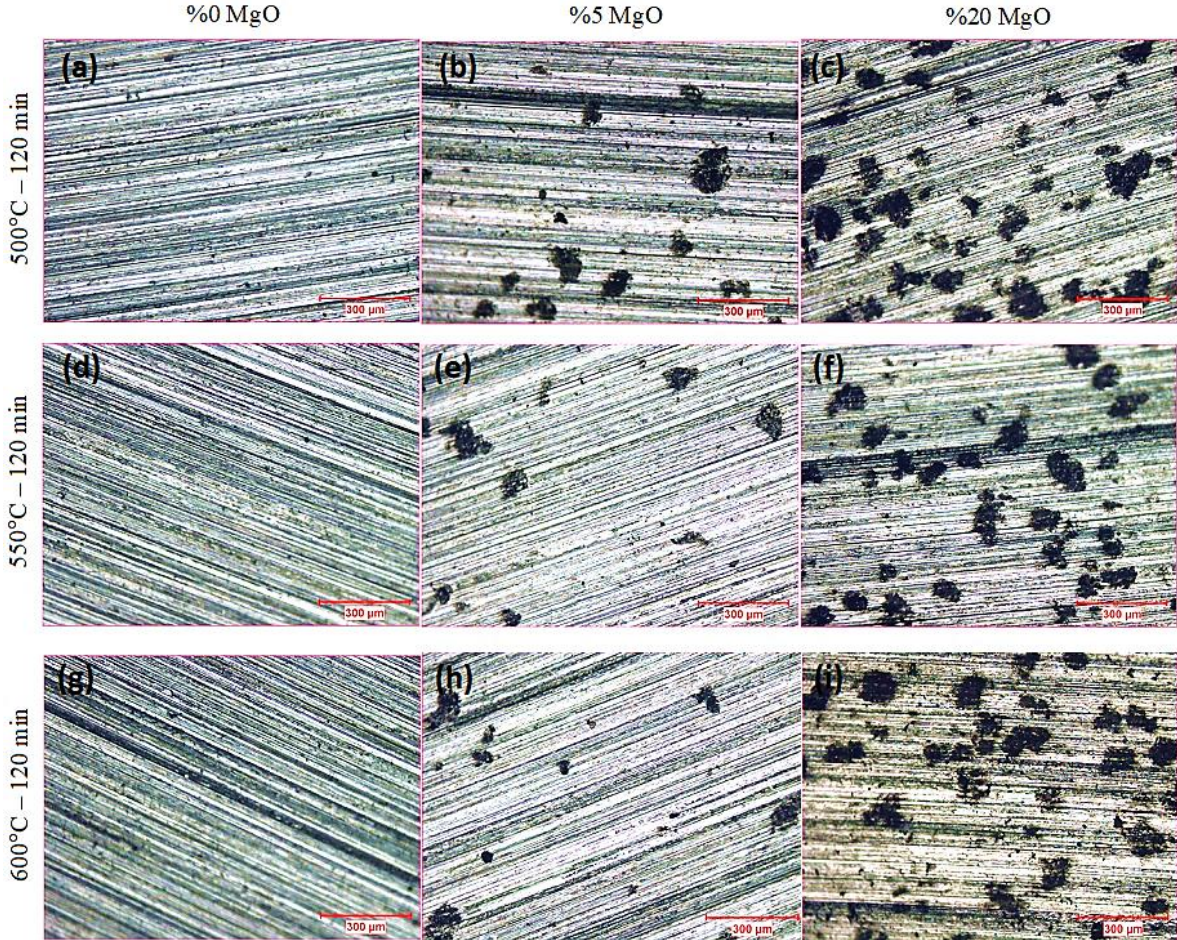
Şekil 6'daki MgO takviyesiz saf Al 7075 numunelerin aşınmış yüzeyleri incelendiğinde, aşınma çizgilerinin biri birine çok benzer özellikte olduğu, %5 MgO ve %20 MgO takviyeli numune yüzeyindeki aşınma çizgilerine göre daha ince ve düzenli biçimde görünmektedirler (Şekil 6a, 6d ve 6g). Burada abrasif aşınma deneyi sırasında sadece zımpara üzerindeki aşındırıcı partiküllerin etkisi anlaşılmaktadır. MgO takviyeli numunelerin yüzeyinde oluşan daha derin ve geniş aşınma çizgilerinin oluşmasında ise kompozit yapı içerisindeki MgO partiküllerinin etkisi de ortaya çıkmaktadır. Deneyler sırasında kompozit yapı içerisinde koparak ayrılan MgO tanecekleri de numune yüzeyine sürütürerek ayrıca aşındırma etkisi yapmaktadır. %20 MgO takviyeli numunenin yüksek aşınma kaybına uğramasının sebeplerinden biriside, saf alüminyum numunedeki ve %5, %10, %15 MgO takviyeli kompozitlerden daha sert yapıda olmasına rağmen, kopan MgO partiküllerinin ilaveten yaptığı aşındırma etkisidir. Yüzeyler üzerinde oluşan çizik ve oyukların numune ile dönen aşındırıcı disk arasındaki kaymanın bir sonucu olarak oluşan mikro-kesme ve mikro-sabanlama şeklinde olduğu söylenebilir [27].

Aşınmış yüzeylerin görüntüleri incelemeye devam edildiğinde, sinterleme sıcaklıklarının yüzey morfolojisi üzerinde kayda değer ölçüde farklılık oluşturmadığı söylenebilir. 500°C, 550°C ve 600°C'de sinterlenmiş kompozit numunelerin aşınma deneylerinden sonra çekilen mikroskop görüntülerine detaylı olarak bakıldığında, sıcaklığın artmasına bağlı olarak MgO partiküllerinin daha fazla küçük parçacıklara ayrıldığı göze batmaktadır. Bu durumu artan sıcaklıkla beraber yapı

içerisindeki gözenekliliğin de artmasıyla ilişkilendirmek mümkündür.

Özellikle 600°C'de sinterlenmiş numune yüzeyindeki çok küçük parçalara ayrılmış MgO tanecekleri dikkat çekmektedir (Şekil 6i). Yüksek miktarda gözenegin yer aldığı bölgeler içerisinde yer alan çok küçük boyuttaki MgO partikülleri, aşınma deneyi sırasında gözenekli bölgeden ayrılarak numunenin yüzeyine yayılmaktadır. Yine aynı şekilde, en düşük sertlik değerleri 600°C'de sinterlenmiş numunelerden elde edilmiştir. Düşük sertlik değerleri de MgO partiküllerinin kompozit yapı içerisinde daha kolay ayrılmasına neden olmuştur.

Şekil 7'de 120 min süreyle sinterleme yapılan numunelere ait aşınmış yüzey görüntüleri verilmiştir. Görüntülere bakıldığında, Şekil 6'da yer alan 90 min süreyle sinterlenmiş numunelerin yüzey görüntülerinden çok farklılık olmadığı söylenebilir. Ancak daha detaylı bir inceleme yapıldığında, aşınma çizgilerinin bir miktar daha geniş ve derin olduğu anlaşılmaktadır. Zira sinterleme süresinin artmasıyla, sertlik değerleri azalmış ve gözeneklilik değerleri de yükselmiştir. Bu mekanik davranışa bağlı olarak kompozit yapının ana malzemesi olan Al 7075'te daha fazla aşınma kaybı meydana gelmiştir. Aynı şekilde yumuşayan kompozit yapı içerisindeki MgO partiküllerinin ayrılması da daha kolaylaşmıştır. Şekil 7a, 7d ve 7g'deki takviyesiz Al 7075 alaşımı üzerinde abrazyon sırasında oluşan aşınma çizgilerinin sinterleme sıcaklığı arttıkça biraz daha genişleyerek derinleştiği söylenebilir.



Şekil 7. 120 min süre sinterlenmiş %5 ve %20 MgO takviyeli kompozitlerin aşınmış yüzeyleri.

Figure 7. Worn surfaces of 5% and 20% MgO reinforced composites sintered for 120 min.

Saf alüminyumda deneyler sırasında uygulanan yük, aşınmayı artırarak malzeme yüzeyinde sünek kırılmalara neden olmuştur. Aşındırıcı zımparadaki aşındırıcı partiküllerin boyutuna bağlı olarak sürekli bir yırtılma ve plastik deformasyon meydana gelmiştir. % 5 MgO ve %20 MgO takviyeli numune yüzeyindeki aşınma çizgilerinin ise daha düzensiz ve farklı genişliklerde olduğu görülmektedir. Aşınma deneyleri sırasında kompozit yapı içerisinde kopan farklı boyuttaki MgO partiküllerinin de yüzeyi çizdiği anlaşılmaktadır. Yapı içerisinde kopan MgO parçacıklarının bir kısmı yüzeyden uzaklaşırken bir kısmının da yüzeye sıvandığı ve aşınma yivlerinin içerisinde kaldığı görülmektedir. Literatürde yer alan çalışmada bu tür seramik takviyeli kompozitlerde artan takviye oranı ile aşındırıcı kaybın sıklıklarının arttığını söylenmektedir. Bunun nedeninin, kompozit yapıda bulunan sert takviye fazının büyük ölçüde kırılarak yüzeyi çizmesi ve bunun sonucunda abrasif aşınmanın artması olduğu rapor edilmiştir. Ayrıca aşınma testi sırasında yapıdan kopan donatı partiküllerinin artan donatı oranı ile arttığı ve bunun da aşındırıcı kaybında artışa neden olduğu ifade edilmektedir [35]. Başka çalışmada ise Al₂O₃ takviyeli yüzeyden kopan partiküllerin tekrar yüzeye yapışarak aşınma yüzeylerinde sıvanma tabakaları, çizikler, yırtılmalar ve dökülmeler gibi hasarlara neden olduğu rapor edilmiştir [43].

Bunların dışında 90 min süreyle sinterlenmiş kompozitlerin aşınmış yüzeyleri için yapılan değerlendirmelerin, 120 min süre ile sinterlenmiş olan numuneler için de geçerli olduğu söylenebilir. Ancak kayma süresi arttıkça yüzeydeki sıcaklıkta artarak matris malzemesinin sertliği bir miktar azalacaktır. Bunun sonucunda plastik deformasyona uğramış bölgeler ve numune yüzeyindeki çizgiler de genişleyerek aşınma kayıplarının artmasına neden olacaktır. Literatürdeki bir çalışmada benzer sonuçlar rapor edilmiştir [44].

4. Sonuçlar

Toz metalürjisiyle üretilen Al 7075/MgO kompozitlerin aşınma davranışlarında MgO takviye oranı ve sinterleme parametrelerinin etkisinin araştırıldığı bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Al 7075 matrisli ve %5, 10, 15, 20 MgO parçacık takviyeli kompozitler toz metalürjisi yöntemiyle başarılı olarak üretilmiştir.

Kompozit malzemelerin mikroyapıları incelendiğinde yer yer MgO takviye topaklanmaları ve beraberinde gözenekli bölgelerin meydana geldiği görülmüştür. Kompozit yapı içerisindeki gözeneklilik ve takviye topaklanmaları mekanik özellikler üzerinde olumsuz etkiler yaratmıştır.

MgO takviye oranının artmasıyla kompozit yapının sertlik değerleri artarken yoğunluğunda azalmalar meydana gelmiştir. Sinterleme sıcaklığının 600°C'ye çıkmasıyla tüm takviye oranlarındaki kompozit numunelerin sertlik değerleri azalırken gözenek miktarları artış göstermiştir.

Sinterleme sıcaklığı ve süresindeki farklılıkların, kompozit numunelerin aşınma kayıpları üzerinde çok önemli etkisi olmadığı anlaşılmıştır. Aşınma kayıpları üzerinde en etkili parametrenin MgO takviye miktarı olduğu değerlendirilmiştir.

Aşınma deney mesafesinin iki katına çıkarılmasına rağmen aşınma kayıpları aynı oranda gerçekleşmeyip daha az meydana gelmiştir. Bu duruma aşınma yüzeyindeki artan sıcaklıkla birlikte Al 7075 matris malzemesi sıvanmalarının sebep olduğu kanaatine varılmıştır.

Aşınma yüzey görüntüleri incelendiğinde abrasif aşınma mekanizmasının daha çok etkisinin mikro-sabanlama şeklinde

ortaya çıktığı, sinterleme sıcaklığı ve süresindeki değişimlerin aşınmış yüzey görüntüleri üzerinde belirgin farklar oluşturmadığı anlaşılmıştır.

Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur. Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Teşekkür

Bu çalışma Kırıkkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından 2021/051 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Dwivedi S.P., Manish Maurya M., Chauhan S.S. 2021. Mechanical, Physical and Thermal Behaviour of SiC and MgO Reinforced Aluminium Based Composite Material, Joint Journal of Novel Carbon Resource Sciences & Green Asia Strategy, Cilt. 8(2), s. 318-327.
- [2] Majidiana H., Ghasalia E., Ebadzadeha T., Razavia M. 2016. Effect of Heating Method on Microstructure and Mechanical Properties of Zircon Reinforced Aluminum Composites, Materials Research, Cilt. 19(6), s. 1443-1448.
- [3] Mosleh-Shirazi S., Akhlaghi F., Li D.Y. 2016. Effect of graphite content on the wear behavior of Al/2SiC/Gr hybrid nano-composites respectively in the ambient environment and an acidic solution, Tribology International, Cilt. 103, s. 620-628.
- [4] Awad A.Y., Ibrahim M.N., Hussein M.K. 2018. Effects of Rice Husk Ash-Magnesium Oxide Addition on Wear Behavior of Aluminum Alloy Matrix Hybrid Composites, Tikrit Journal of Engineering Sciences, Cilt. 25(4), s. 16-23.
- [5] El-Sayed M., Sherif, F.H., Latief, H., Junaedi, A.A. 2012. Almajid, Influence of Exfoliated Graphite Nanoplatelets Particles Additions and Sintering Temperature on the Mechanical Properties of Aluminum Matrix Composites, Int. J. Electrochem. Sci., Cilt. 7, s. 4352-4361.
- [6] Chintada S., Dora S.P., Kare D. 2021. Mechanical Behavior and Metallographic Characterization of Microwave Sintered Al/SiC Composite Materials – An Experimental Approach, Silicon, Cilt. 10, s. 1-12.
- [7] Albert T., Sunil J., Simon Christopher A. 2021. Jegan R., Anand Prabhu P., Selvaganesan M., Preparation and characterization of aluminium-titanium carbide (Al-TiC) composite using powder metallurgy, Cilt. 37(2), s. 1558-1561.
- [8] Sadooghi A., Hashemi S.J. 2019. Investigating the influence of ZnO, CuO, Al₂O₃ reinforcing nanoparticles on strength and wearing properties of aluminum matrix nanocomposites produced by powder metallurgy process, Materials Research Express, Cilt. 6(10), s. 105019.
- [9] Sweet G.A.W., Williams B.W., Taylor A. 2020. Hexemer R.L., Donaldson I.W., Bishop D.P., A microstructural and mechanical property investigation of a hot upset forged 2xxx series aluminum powder metallurgy alloy reinforced with AlN, Journal of Materials Processing Technology, Cilt. 284, s. 116742.
- [10] Ansary Yar A., Montazerian M. 2009. Abdzadeh H., Baharvandi H.R., Microstructure and mechanical properties of aluminum alloy matrix composite reinforced with nano-particle MgO, Journal of Alloys and Compounds, Cilt. 484, s. 400-404.
- [11] John Joshua K., Vijay S.J., Ramkumar P., Kim H.G. 2017. Investigation of Microstructure and Mechanical Properties of AA7068 Reinforced with MgO prepared using Powder Metallurgy, First International Conference on Recent Advances in Aerospace Engineering (ICRAAE), Mart 3-4, Coimbatore, India.
- [12] Dwivedi S.P., Maurya M., Chauhan S.S. 2021. Mechanical, Physical and Thermal Behaviour of SiC and MgO Reinforced Aluminium Based Composite Material, Joint Journal of Novel Carbon Resource Sciences & Green Asia Strategy, Cilt. 8(2), s. 318-327.
- [13] Khozani B.N., Abuchenari A. 2021. Effects of Mg and MgO Nanoparticles on Microstructural and Mechanical Properties of Aluminum Matrix Composite Prepared via Mechanical Alloying, Journal of Composites and Compounds, Cilt. 3, 91-98.
- [14] Kheder A.R.L., Marahleh G.S., Al-Jamea D.M.K. 2011. Strengthening of Aluminum by SiC, Al₂O₃ and MgO, Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering, Cilt. 5(6), s. 533-541.
- [15] Baghchesara M.A., Abdzadeh H. 2012. Microstructural and mechanical properties of nanometric magnesium oxide particulate-reinforced aluminum matrix composites produced by powder metallurgy method, Journal of Mechanical Science and Technology, Cilt. 26(2), s. 367-372.

- [16] Rahimiana M., Ehsania N., Parvin N. 2009. Baharvandic H.R., The effect of particle size, sintering temperature and sintering time on the properties of Al-Al₂O₃ composites, made by powder metallurgy, *Journal of Materials Processing Technology*, Cilt. 209, s. 5387-539.
- [17] Konieczny M. 2021. The Effect Of Sintering Temperature, Sintering Time And Reinforcement Particle Size On Properties Of Al-Al₂O₃ Composites, *Composites Theory and Practice*, Cilt. 12(1), s. 39-43.
- [18] Ahlatci H., Candan E., Çimenoğlu H. 2004. Abrasive wear behavior and mechanical properties of Al-Si/SiC composites, *Wear*, Cilt. 257, s. 625-632.
- [19] Mustafa R.J. 2010. Abrasive Wear of Continuous Fibre Reinforced Al And Al-Alloy Metal Matrix Composites, *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, Cilt. 4(2), s. 246-255.
- [20] Pul M., Erdem Ü., Türkoç M.B., Yildirim G. 2023. The effect of sintering parameters and MgO ratio on structural properties in Al7075/MgO composites: A review, *J Mater Sci*, Cilt. 58, s. 664-684.
- [21] Wua C., Fang P., Luo G., Chen F., Shen Q., Zhang L., Lavernia E.J. 2014. Effect of plasma activated sintering parameters on microstructure and mechanical properties of Al-7075/B4C composites, *Journal of Alloys and Compounds*, 615, 276-282.
- [22] Baghchesara M.A., Abdizadeh H., Baharvandi H.R. 2010. Microstructure and Mechanical Properties of Aluminum Alloy Matrix Composite Reinforced with Nano MgO Particles, *Asian Journal of Chemistry*, Cilt. 22(9), s. 6769-6777.
- [23] Venkatesh V.S.S., Deoghare A.B. 2021. Effect of Sintering Mechanisms on the Mechanical Behaviour of SiC and Kaoline Reinforced Hybrid Aluminium Metal Matrix Composite Fabricated through Powder Metallurgy Technique, *Silicon*, Cilt. 8.
- [24] Xu L., Yue X., Zhang F., Tian Q. 2020. Advance on Al₂O₃ Particulates Reinforced Aluminum Metal Matrix Composites (Al-MMCs) Manufactured by the Power Metallurgy Techniques- Microstructure and Properties, *Advances in Engineering Research*, Cilt. 93, s. 99-105.
- [25] Aydoğan S.İ., Özer M., Çinici H., Özer A. 2020. Effects of Sintering Temperature on Density and Microstructure of Al-15Si-2.5Cu-0.5Mg/B4C Composites, *International Conference on Advanced Materials Science & Engineering and High Tech Devices Applications; Exhibition (ICMATSE 2020)*, Ekim 2-4 Ekim, Ankara Türkiye.
- [26] Sahoo P., Ghosh S. 2011. Tribological Behaviour Of Aluminium Metal Matrix Composites-A Review, *Journal Of Tribology Research*, Cilt. 2(1), s. 1-14.
- [27] Salman K. D. & Abbas H. H. 2020. The Effect of MgO & TiO₂ on Wear Behavior of Composite Material. *Journal of Mechanical Engineering Research and Developments*, CODEN: JERDFO, Cilt. 43(1), s. 288-297.
- [28] Tang F., Wu X., Ge S., Ye J., Zhu H., Hagiwara M., Schoenung J.M. 2008. Dry sliding friction and wear properties of B4C particulate-reinforced Al-5083 matrix composites, *Wear*, 264, s. 555-561.
- [29] Rao R.N., Das S. 2010. Effect of matrix alloy and influence of SiC particle on the sliding wear characteristics of aluminium alloy composites, *Materials and Design*, Cilt. 31, s. 1200-1207.
- [30] Pul M., Baydaroğlu V. 2020. Investigation of mechanical properties of B4C/SiC additive aluminum based composites and modeling of their ballistic performances, *Journal of Polytechnic*, Cilt. 2(2), s. 383-392.
- [31] Rahimian M., Parvin N., Ehsani N. 2010. Investigation of particle size and amount of alumina on microstructure and mechanical properties of Al matrix composite made by powder metallurgy, *Materials Science and Engineering A*, Cilt. 527, s. 1031-1038.
- [32] Hasırcı H., Gül F. 2010. B4C /Al Kompozitlerin Takviye Hacim Oranına Bağlı olarak Abrasif Aşınma Davranışlarının İncelenmesi, *SDU International Technologic Science*, Cilt. 2(1), s. 15-21.
- [33] Buytoz S., Eren H. 2007. Effect of Particle Reinforcements on Abrasive Wear Performance of Aluminum Metal Matrix Composites, *Science and Eng. J of Firat Univ*. Cilt. 1 (2), s. 209-216.
- [34] Rajeshkumar L., Kamalakannan R., Arun Kumar K., Abineesh T. 2018. Dry Sliding Wear Behavior of AA2219 Reinforced with Magnesium Oxide and Graphite Hybrid Metal Matrix Composites, *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, Cilt. 6(7), s. 1-5.
- [35] Pul M. 2018. Effect of B4C Reinforcement Ratio and Sintering Temperature on the Mechanical Behavior in Al-B4C Composites, *Science of Sintering*, Cilt. 50, s. 51-61.
- [36] Yıldırım M., Özyürek D. 2018. An Investigation of Wear Behaviors of AA7075 Al Hybrid Composites, *High Temp. Mater. Proc.*, Cilt.37(7), s. 619-624.
- [37] Ipek R. 2005. Adhesive wear behaviour of B4C and SiC reinforced 4147 Al matrix composites (Al/B4C-Al/SiC). *Journal of Materials Processing Technology*, Cilt. 162-163, s. 71-75.
- [38] Yashavanth Kumar T., Anil Kumar G., Satheesh J., Madhusudhan T. 2016. A Review On Properties Of Al-B4C Composite Of Different Routes, *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, Cilt. 3(5), s. 860-865.
- [39] Karakoç H. 2020. Production of Powder Metal Al7075/B4C/Si3N4 Composite Materials and Investigation of Wear Properties, *Journal of Polytechnic*, Cilt. 23(4), s. 1141-1151.
- [40] Joshua K.J., Vijay S.J., Selvaraj D.P., Ramkumar P. 2017. Influence of MgO particles on Microstructural and Mechanical Behaviour of AA7068 Metal Matrix Composites, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, Cilt. 247, s. 012011.
- Islak S., Çelik H. 2015. Effect of Sintering Temperature and Boron Carbide Content on the Wear Behavior of Hot Pressed Diamond Cutting Segments, *Science of Sintering*, Cilt. 47, s. 131-143.
- [41] Ravi Prakash M., Saravanan R., Nagaral M., Fabrication and Wear Behavior of Particulate Reinforced Metal Matrix Composites-An Overview, *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)*, Cilt. 14(1), s. 10-20, 2017.
- [42] Özkan Z., Gökmeşe H., Gökmen U. 2022. Investigation of the Microstructure-Hardness and Wear Performances of Hybrid/Composite Materials Al₂O₃/SiC Particle Reinforced in AA 7075 Matrix, *Science of Sintering*, Cilt. 54, s. 1-11.
- [43] Megahed M., Attia M.A. 2017. Abdelhameed M., El-Shafei A.G., Tribological Characterization of Hybrid Metal Matrix Composites Processed by Powder Metallurgy, *Acta Metall. Sin. (Engl. Lett.)*, Cilt. 30(8), s. 781-790.