



Sıcak Presleme ile Alüminyum Matrisli ve Al₂O₃ Takviyeli Toz Metal Kompozit Malzeme Üretimi ve Aşınma Davranışının Araştırılması

Halil ARIK, Pakize SEMERCİ, Görkem KIRMIZI

Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 06500, Yenimahalle/Ankara

Öz

Bu çalışmada, ortalama toz tane boyutu 72,06 µm ve % 99 saflıkta atomize alüminyum tozu ile % 99,52 saflıkta ve 45 µm altı boyutta % 15 Al₂O₃ tozu 2 saat süreyle yüksek enerjili atriörde karıştırılmıştır. Karıştırma sonrası toz tane boyutu ve morfolojisi incelenen karışım ve saf alüminyum tozlardan 30 mm çapta ve 6 mm kalınlıkta disk şeklinde toz metal kompozit numuneler üretilmiştir. Numuneler, karışım tozun ve alüminyum tozun tek yönlü eksenel kalıp içerisinde 200 MPa basınç altında, 550 °C sıcaklıkta ve 2 saat süreyle bekletilmesiyle elde edilmiştir. Üretilen toz metal alüminyum ve kompozit malzemelerin yoğunluk, sertlik ölçümleri ve mikroyapı incelemeleri yapılmıştır. Daha sonra ASTM G99-05' e uygun olarak üretilen ve hazırlanan aşınma test numuneleri üzerinde **ball-on-disk** yoluyla aşınma testleri yapılmıştır. Aşınma testlerinde TRIBOMETER T10/20 cihazı kullanılmıştır. Aşınma testleri sonrası aynı şartlar altında üretilen saf alüminyum ve Al₂O₃ takviyeli alüminyum matrisli toz metal kompozit malzemelerin aşınma değerleri karşılaştırılarak takviye elemanı olarak kullanılan Al₂O₃'ün kompozit malzemenin aşınma davranışı üzerine olan etkileri ortaya konmuştur. Elde edilen test sonuçlarına göre aynı şartlar altında üretilen ve test edilen alüminyum toz metal parçaya göre Al₂O₃ takviyeli toz metal kompozit malzeme % 62 daha sert iken aşınma testlerinde de daha iyi aşınma davranışı göstermiştir.

Makale Bilgisi

Başvuru: 12 /10/ 2017

Düzeltilme: 06/11/2017

Kabul: 22/11/2017

Anahtar Kelimeler

Toz metalürjisi

Sıcak presleme

Al-Al₂O₃ kompozit

Aşınma

Keywords

Powder metallurgy

Hot pressing

Al-Al₂O₃ composite

Wear

Investigation of Wear Behavior of Aluminum Matrix Composite Reinforced by Al₂O₃ and Produced by Hot Pressing Process

Abstract

In this study, Al powder produced by gas atomization technique has 72.06 µm average particle size and 99 % purity was mixed with as a reinforcement Al₂O₃ has 99.52% purity and 45 submicron particle size in a high energy ball mill for two hours. In order to obtain disk samples with 30 mm diameter and 6 mm thick mixed powders, after the characterization of particle size and morphology, were compacted in a single action press. Compaction process were carried out from mixed powders by hot pressing at 200 MPa pressure and 550 °C temperature for two hours. Then microstructural analysis, hardness and density measurements of powder metal composite parts were performed. After, the characterization of samples abrasion wear tests were performed according to ASTM-G99-05 by using TRIBOMETER T10/20 ball-on-disk abrasive wearing device. After the abrasive wear test of aluminum and composite powder metal parts produced under the identical test parameters, test results were compared and effect of Al₂O₃ on the wear properties of composite materials was exhibited. The test results showed that the composite parts have 62 % extra harness and better abrasion wear performance according to aluminum powder metal parts produced and tested under the identical conditions.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Alüminyum dünyada üretim ve tüketim değerleri bakımından demir ve çelikten sonra ikinci sırada bulunan metal ve alaşım gurubunu oluşturmaktadır. Hafif ve kolay şekillendirilebilir olmasından dolayı özellikle otomotiv, uzay ve havacılık sanayinde olmak üzere pek çok alanda kullanımı öncelikli olarak tercih edilen bir malzemedir. Alüminyumun pek çok üstün özellikleri yanısıra sertliğinin ve ergime

*İletişim yazarı, e-mail: harik@gazi.edu.tr

derecesinin düşük olması sertlik, mukavemet ve yüksek aşınma özellikleri gerektiren alanlarda kullanımını ciddi anlamda sınırlandırmaktadır [1-3]. Bu olumsuzlukları azaltmaya yönelik yapılan çalışmaların bir bölümünü de alüminyum matrisli ve seramik esaslı takviye elemanı ile güçlendirilmiş alüminyum matrisli kompozit (AMKp) üretimi ve karakterizasyonu çalışmaları oluşturmaktadır. Üretilen kompozit malzemelerle alüminyum ve alaşımlarına göre mukavemet, sertlik ve aşınma direnci gibi temel özelliklerde önemli iyileştirmeler sağlanabilmektedir [4]. Kompozit üretiminde SiC, B₄C, Al₂O₃, Si₃N₄, ve Al₄C₃ gibi seramik esaslı takviye elemanları kullanılırken takviye elemanının miktarı, parçacık şekli, parçacık boyutu ve matris yapı içerisindeki dağılımı üretilen kompozitin mekanik özellikleri üzerinde belirleyici öneme sahip parametrelerdir [5-6]. Kompozit malzeme üretimi genel olarak sıvı veya katı hal yöntemi olmak üzere iki farklı yolla yapılabilmektedir. Sıvı yöntemde ergiyik alüminyum içerisine ön ısıtma yapılmış seramik esaslı takviye elemanı katılarak kompozit yapı elde edilirken katı hal yönteminin en önemli uygulama şekli olan toz metalürjisi ile AMKp üretiminde matris yapıyı oluşturan alüminyum ve takviye elemanı olarak kullanılan seramik toz katı halde birbiri içerisinde karıştırılarak kompozit üretimi gerçekleştirilmektedir. Her iki üretim şeklinde de üzerinde en fazla durulan hususlar, takviye elemanının matris yapı içerisinde mümkün olduğunca homojen dağılımı ve takviye elemanı ile matris yapı ara yüzeyinde güçlü bir bağ oluşturabilmektir [7-8]. Alüminyum matrisli malzeme üretiminde en önemli hedeflerin başında malzemenin aşınma özelliklerinin iyileştirilmesi gelmektedir.

Aşınma, katı cisimlerin sürtünme yüzeylerinden çeşitli etkenlerle sürekli malzeme kayıplarının ortaya çıkmasıdır. Aşınma çeşitli makine ve teçhizatların kullanımı sırasında çok büyük ekonomik kayıplara sebep olmaktadır. Çünkü temas eden yüzeylerde, sürtünme kuvvetleri güç kaybına, aşınma ise işleme toleranslarının kötüleşmesine neden olmaktadır. Bu bakımdan kullanım süreci içerisinde bir başka malzemeyle temas halinde çalışan ve aşınmaya maruz kalan makine elemanlarının kullanım ömrünü uzatmak ve ekonomik kayıpları en aza indirmek için malzemelerin aşınma dirençlerini artırmaya yönelik çalışmalar büyük önem taşımaktadır [9-11]. Bu çalışmada katı hal yöntemi olan toz metalürjisi metoduyla ağırlıkça % 15 Al₂O₃ içeren alüminyum matrisli toz metal numuneler sıcak presleme yoluyla üretilmiş ve **ball-on-disk** yöntemiyle aşınma testleri yapılmıştır. Test sonuçları aynı şartlarda üretilen ve test edilen alüminyum toz metal malzemenin sonuçlarıyla karşılaştırılabilir olarak tartışılmıştır. Böylece takviye elemanı olarak tüketilen Al₂O₃'ün kompozit malzemenin özellikle sertlik değerlerini ve aşınmaya karşı direncini ne derece iyileştirmiş olduğu ortaya konmuştur.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL STUDY)

2.1. Malzeme (Material)

Bu çalışmada ağırlıkça % 15 Al₂O₃ içeren alüminyum tozu (Al 99,97) 2 Saat süreyle yüksek enerjili SZEGVARI marka atritörde karıştırılmıştır. Karıştırma parametreleri tablo 1'de verilmiştir. Karıştırma işlemi esnasında alüminyum tozların bilyelere, atritör kazanı yüzeylerine ve karıştırıcı döner şafta sıvanmasını önlemek için karışım toza ağırlıkça % 1,5 oranında çinko stearat (Z_n(C₁₈H₃₅O₂)₂) yağlayıcı eklenmiştir. Ayrıca karıştırma esnasında aşırı ısınmayı önlemek amacıyla sistem su ile soğutulmuş ve karıştırma süresince alüminyumun oksitlenmesini önlemek için atritör silindiri içerisinde sürekli olarak argon gazı geçirilerek ortam inert hale getirilmiştir (Şekil 1).

Tablo 1. Atritörde karıştırma parametreleri (Mixing parameters in attritor).

Numune (Al+Al ₂ O ₃)			
Al (gr)	42,5	Bilye/Karışım toz oranı (ağırlık olarak)	8:1
Al ₂ O ₃ (gr)	7,5	Karıştırma süresi (saat)	2
Yağlayıcı (gr)	0,75	Karıştırma ortamı	Ar
Çelik bilye çapı (mm)	10	Atritörün dönme devri (dev/dak)	450



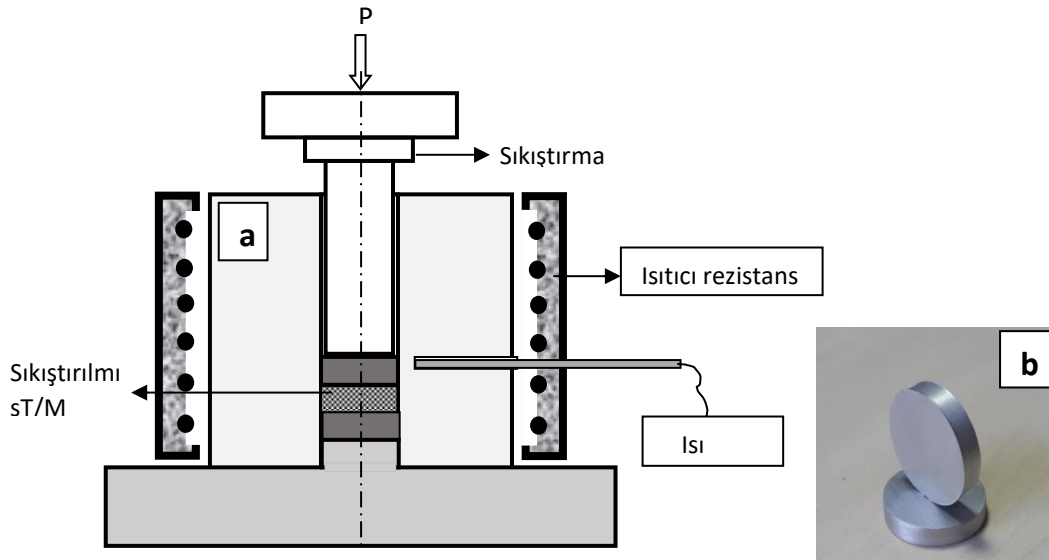
Şekil 1. Karıştırma düzeneği (Mixing set-up)

2.2. Karışım Tozun Karakterizasyonu (Characterization of mixed powder)

Başlangıç tozu olan alüminyum ve karışım tozun karıştırma sonrası toz tane boyutu ve morfolojisi incelenmiştir. Alüminyum ve karışım tozun toz tane boyutu ve dağılımı **Malvern Mastersizer E. Ver. 1.2b** cihazında ölçülmüştür. Karışım tozun tane morfolojileri ise reçineye gömülen numuneler üzerinden optik mikroskopla incelenmiştir. Soğuk olarak reçineye gömülen numuneler sırayla 600, 800 ve 1200' meshlik zımparalar ile zımparalandıktan sonra 6; 3 ve 1 mikronluk elmas pasta ile numune yüzeyleri parlatılarak, sonrasında numune yüzeylerinden optik mikroskopta metalografik inceleme yapılmıştır.

2.3. Numune Üretimi ve Aşınma Testi (Production of Samples and Wear Tests)

Karıştırma sonrası elde edilen karışım tozdan ve sade alüminyum tozdan aynı şartlar altında ayrı ayrı 30 mm çapta ve 6 mm kalınlıkta disk şeklinde aşınma test numuneleri üretilmiştir. Numunelerin üretimi, tozun tek yönlü aksenal kalıp içerisinde 200 MPa basınç altında ve 550 °C sıcaklıkta 2 saat süreyle bekletilmesiyle gerçekleştirilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. a) Karışım tozun kalıp içerisinde sıcak preslenmesi, b) Aşınma numuneleri.
(a) Hot pressing of mixed powder in die, b) Wear samples)

Toz metal numuneler sıcak presleme ile üretilerek kompozit malzemede yüksek sinterlenebilirlik ve yoğunluk hedeflenmiştir [2]. (tablo 2).

Tablo 2. Sıcak presleme parametreleri (Hot pressing parameters)

Malzeme	Ön sıkıştırma basıncı (MPa)	Presleme sıcaklığı (°C)	Presleme basıncı (MPa)	Yük altında bekleme süresi (saat)
Al	50	550	300	2
Al+%15 Al ₂ O ₃	50	550	300	2

ASTM G99-05' e göre üretilen ve hazırlanan numuneler üzerinden tablo 3'te verilen şartlarda **ball-on-disk** yoluyla aşınma testleri gerçekleştirilmiştir. Aşınma testlerinde **TRIBOMETER T10/20** aşınma cihazı kullanılmıştır (Şekil 3).

**Şekil 3.** TRIBOMETER T 10/20 aşınma test cihazı (TRIBOMETER T 10/20 wear tests machine).

Aşındırma testi öncesi numunelerin yoğunluk ölçümleri 0,1 mg hassasiyetteki **SARTORIUS** marka terazide yoğunluk kiti kullanılarak arşiment prensibine göre yapılmıştır. Yoğunluk ölçümleri sonrası numuneler üzerinde 2,5 mm çapta standart bilye ve 31,25 kg yük uygulanarak brinell sertlik ölçümleri yapılmıştır. Numune üzerinden 5 farklı noktadan ölçüm yapıp, ortalaması malzemenin sertlik değeri olarak alınmıştır. Ayrıca aşınma testi yapılacak numune yüzeyleri kademeli olarak yapılan zımparalama sonrası standartta belirtilen değer altında ortalama 0,32 µm pürüzlülük değerine getirilmiştir. Saf alüminyum ve kompozit toz metal parçaların **TRIBOMETER T10/20** aşınma cihazında gerçekleştirilen aşınma testlerindeki test şartları tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Abrasif aşınma test parametreleri (Test parameters for abrasive wear)

Yük (N)	Dönme devri (dev/dak)	Aşınma yolu (m)	İz çapı (mm)	Hız (m/s)	Aşındırıcı bilye (AISI 52100) çapı (mm)
2	500	250	16	0,42	6

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

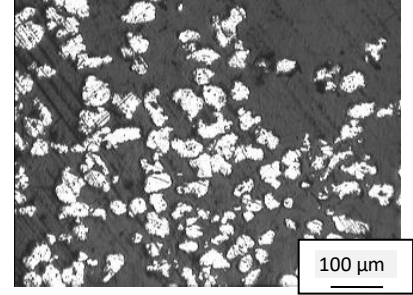
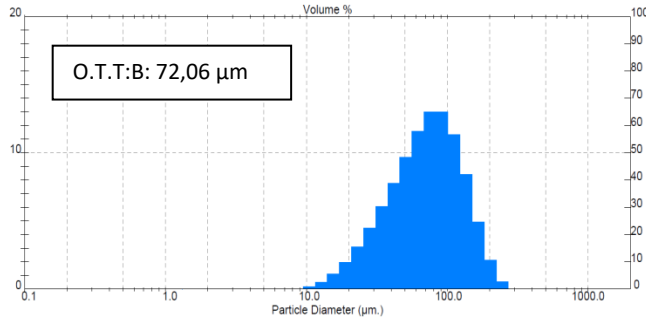
Mekanik karıştırma öncesi Al tozun ortalama toz tane boyutu 72, 06 µm iken 2 saat karıştırma sürecinde bilyelerin çarpma tesiri altında deforme olup daha küçük parçalara bölünen karışım tozun ortalama toz tane boyutu 49,60 µm'ye düşmüştür. Alüminyum tozun başlangıçtaki küresel şekli önemli ölçüde değişerek plakalı veya yüzeyinde girinti ve çıkıntıları olan karmaşık bir yüzey morfolojisine geçmiştir (Şekil 4-5). Bu durum karışım tozun kalıp içerisinde sıkıştırılabilirliğini zorlaştırır ve ham yoğunluğu düşürürken, diğer taraftan kalıp içerisinde sıkıştırma anında mekanik kilitlenmeyi artırarak toz metal parçanın ham mukavemetini artırıcı bir etkiye sahiptir. Yine karıştırma anında çelik bilyelerin çarpma tesiri altında deformasyona bağlı olarak her bir toz partikülünde önemli bir iç enerji artışı olması toz metal parçanın sinterlenmesi esnasında difüzyon hızını artırıcı bir etkiye sahiptir [12]. Kompozit üretimi

için kullanılan Al tozdan ve mekanik karıştırma sonrası elde edilen % 15 Al_2O_3 içeren karışım tozdan aynı şartlar altında sıcak presleme ile üretilen aşınma test numunelerinin yoğunluk değerleri sırasıyla % 98,73 ve % 96,16 olarak ölçülmüştür (Tablo 4). Bu değerler literatürdeki benzer çalışmalarda elde edilen değerlerden çok az da olsa bir miktar daha yüksektir. Bunun sebebi mekanik karıştırma esnasında deformasyonla toz partiküllere yüklenen enerjinin sinterleşmeye dolayısıyla yoğunluk artışına yapmış olduğu pozitif katkı olabilir [13-14].

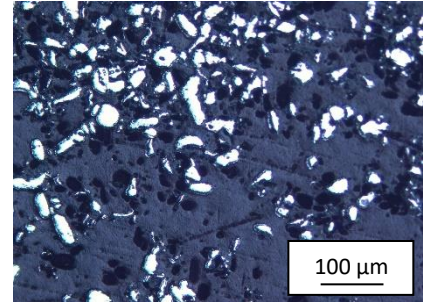
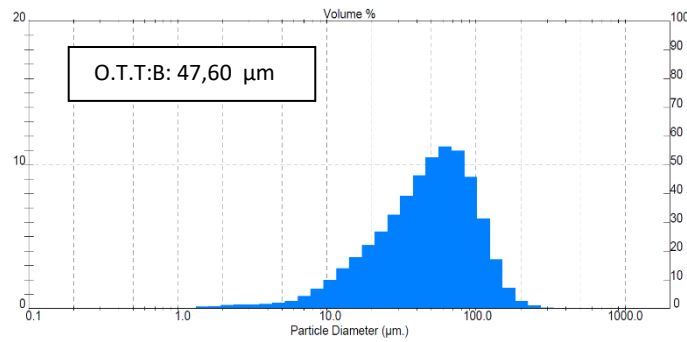
Tablo 4. Tozların ve toz metal parçaların özellikleri (Properties of powders and powder-metal)

Malzeme	Ortalama toz tane boyutu (μm)	Teorik yoğunluk (g/cm^3)	SP sonrası yoğunluk (g/cm^3)	SP sonrası yoğunluk (%)	Sertlik (HB_w)
Al	72,06	2,70	2,66	98,73	30,50
Al+%15 Al_2O_3	49,60	2,87	2,77	96,16	49,42

Alüminyum toza göre karışım tozdan elde edilen toz metal parçanın yoğunluğunun bir miktar düşük çıkmasının temel sebebi karışım tozun karıştırma sürecinde deformasyonla pekleşmesinin ve % 10 nispetinde Al_2O_3 içermesinden kaynaklı olabilir. Çünkü her iki durumda tozun kalıp içerisinde sıkıştırılabilirliğini azaltan faktörlerdir. Bu sebeple kompozit malzemenin yoğunluk değeri bir miktar düşük çıkmış olabilir. Özellikle karışım tozdan elde edilen numunelerin yoğunluk değerlerinin daha da yükselmesini engelleyen önemli sebeplerden biri de tozların karıştırılması ve kalıpta sıkıştırılması sürecinde oksitlenmeye karşı yüzde yüz bir koruma sağlanamadığından matris yapıyı oluşturan Al toz partiküller yüzeyinde oluşan oksit tabakasıdır. Özellikle mekanik karıştırma ile daha küçük parçalara bölünen, kısmen deforme olan alüminyum toz parçacıklarının oksitlenme potansiyeli daha da artmaktadır. Partikül yüzeyinde oluşan bu oksit filmi ise sinterleşme sürecinde temas noktalarından başlayarak devam etmesi gereken atomik difüzyonu yani bağlanmayı engelleyen bir olumsuzluktur. Bu çalışmada literatürdeki benzer çalışmalara göre basınç bir miktar yüksek tutularak yüzeyde olabilecek oksit filmlerinin sıcak presleme sürecinde ısı ve yük tesiri altında kırılarak difüzyonu engelleyici etkileri azaltılmaya çalışılmıştır.

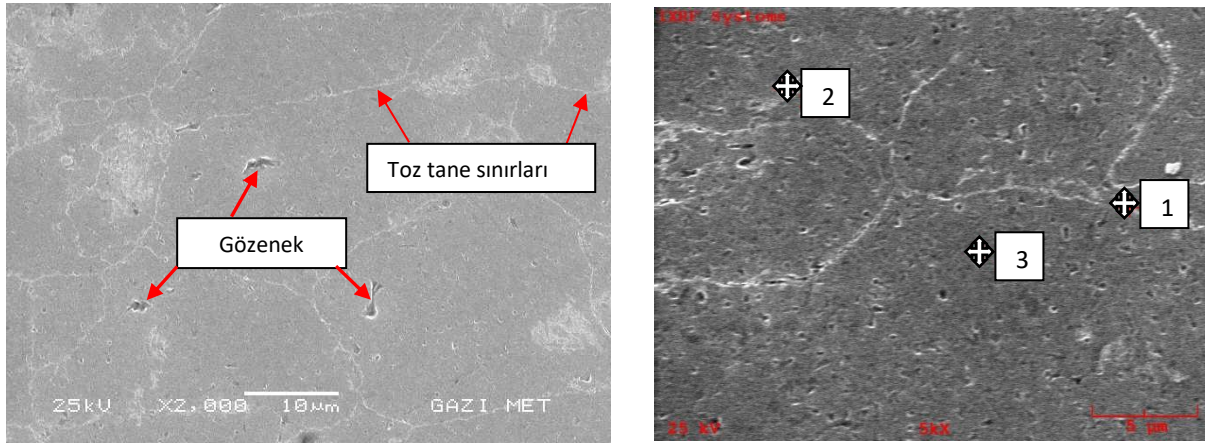


Şekil 4. Alüminyum toz tane boyut dağılımı ve parçacık morfolojisi (Mean particle size and morphology of aluminum powder).

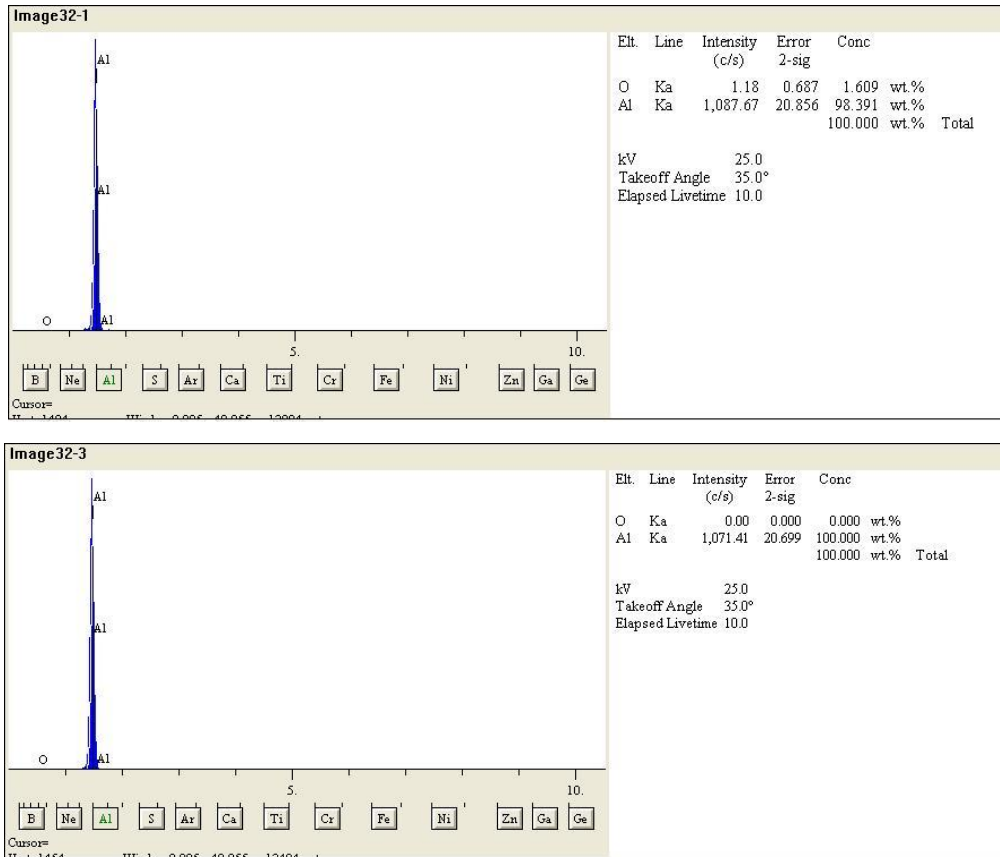


Şekil 5. Karışım tozun ($Al+%15 Al_2O_3$) toz tane boyut dağılımı ve morfolojisi (Mean particle size and morphology of mixed powder).

Toz metal numunelerin yapılan mikroyapı incelemelerinde sıcak presleme ile ısı ve basınç tesiri altında elde edilen numunelerde sinterleşmenin yüksek oranda gerçekleştiği görülmekte (Şekil 6). Sinterleme sonrası gözenekler nerdeyse tamamen kaybolurken kalan çok az gözenek genel olarak tane içerisinde görülmekte. Yapılan sıcak presleme ile üretilen kompozit numunelerde elde edilen yoğunluk değerleri soğuk presleme ve sinterleme şeklinde yapılan benzer çalışmalarda üretilen toz metal kompozit malzemelerin yoğunluklarından daha yüksektir [15-16]. Elde edilen mikroyapı görüntüleri ölçülen yoğunluk değerlerini destekler şekildedir. Sade alüminyum tozdan elde edilen toz metal parçanın mikroyapısı üzerinden alınan EDS analiz sonuçlarına göre toz tane sınırlarından alınan analizler belli oranda oksitlenmeyi gösterirken diğer bölümlerden alınan sonuçlara göre yapı yüzde yüz alüminyum olarak görünmektedir (Şekil 7).

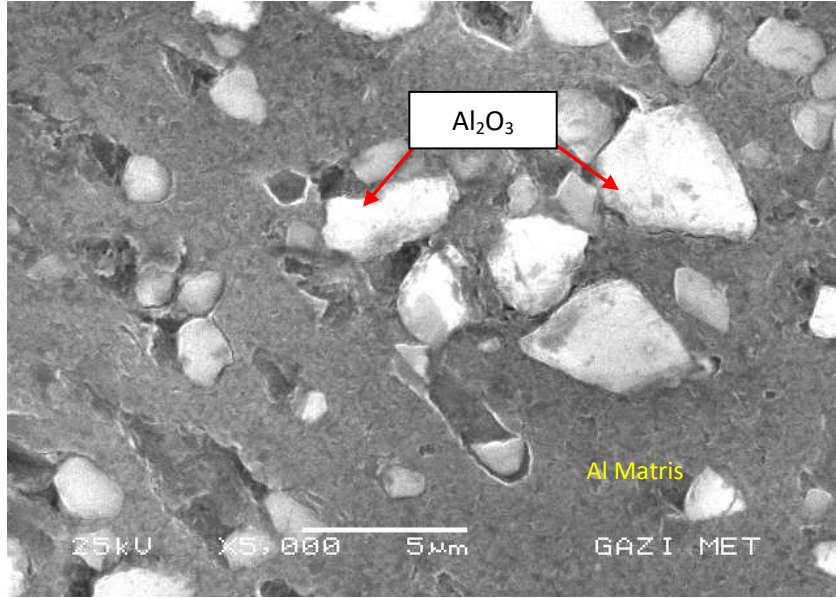


Şekil 6. Alüminyum toz metal parçanın mikroyapısı (Microstructure of aluminum PM parts)



Şekil 7. Alüminyum toz-metal parçanın 1 ve 3 nolu EDS analiz sonuçları (EDS analysis results of aluminum powder metal part)

Üretilen kompozit numunede Al_2O_3 partikülleri matris yapı içerisinde nispeten homojen olarak dağılmış iken matrisle ara yüzey bağlanmasının istenen düzeyde olmadığı görülmekte. Numunenin metalografik inceleme sürecinde Al_2O_3 partiküllerinin matris yapıdan yer yer koparak ayrılmış olduğu görülmekte (Şekil 8). Yapılan brinell sertlik ölçümlerinde aynı şartlar altında saf alüminyum tozdan üretilen toz metal parçanın sertliği 30,5 HB_w iken üretilen kompozit toz metal parçanın sertliği ortalama 49,42 HB_w olarak ölçülmüştür. Bu sertlik değeri alüminyuma karşılık % 62 oranında artışı göstermektedir (Tablo 4).

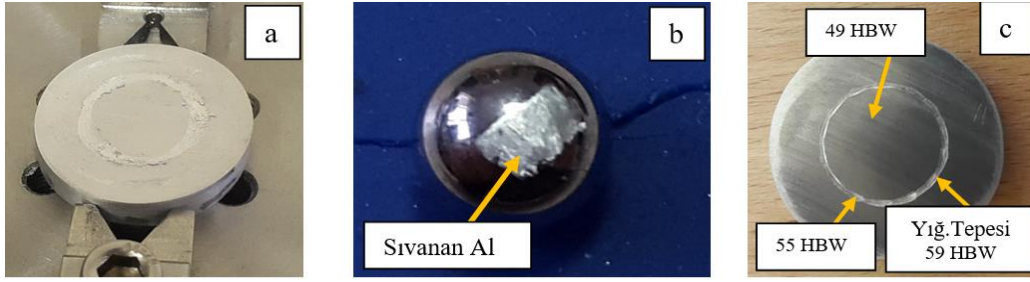


Şekil 8. Matris yapı içerisinde Al_2O_3 'nin dağılımı (Dispersion of Al_2O_3 in matrix structure)

Tablo 4. Tozların ve toz metal parçaların özellikleri (Properties of powders and powder-metal parts)

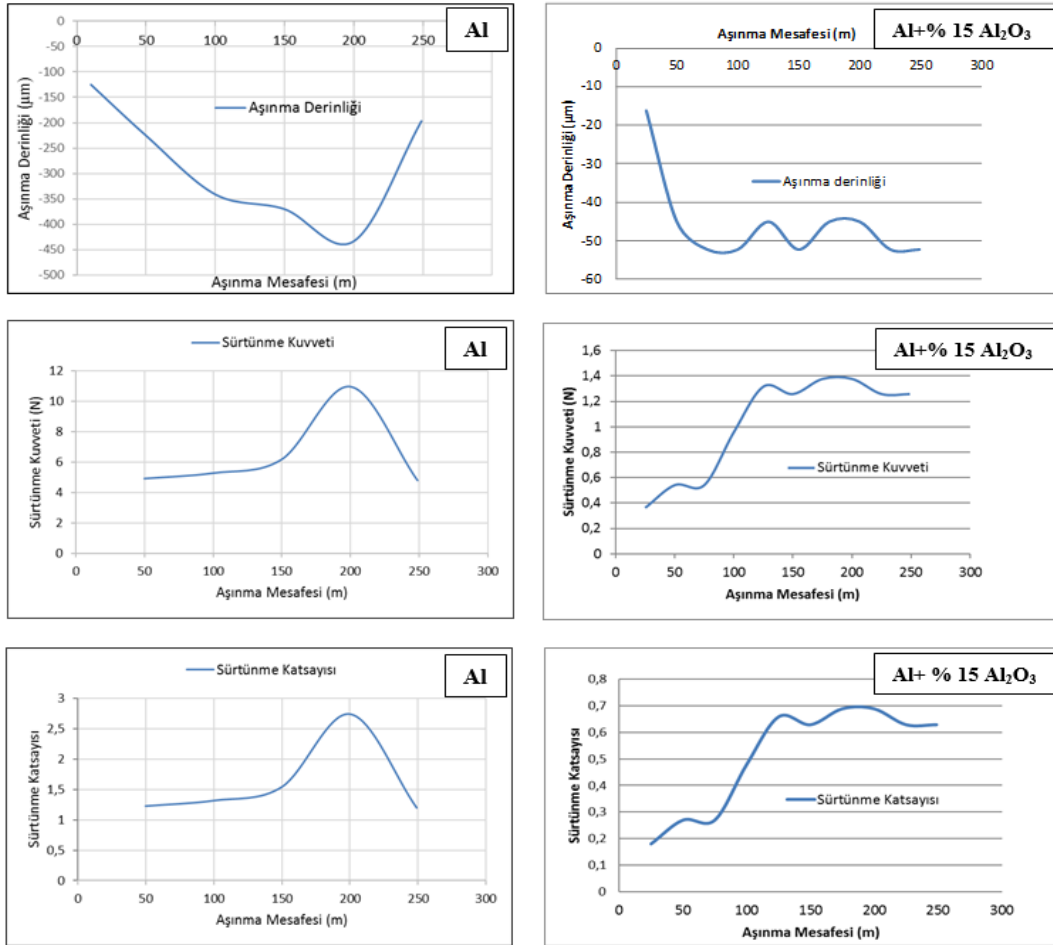
Malzeme	Ortalama toz tane boyutu (μm)	Teorik yoğunluk (g/cm^3)	SP sonrası yoğunluk (g/cm^3)	SP sonrası yoğunluk (%)	Sertlik (HB _w)
Al	72,06	2,70	2,66	98,73	30,50
Al+%15 Al_2O_3	49,60	2,87	2,77	96,16	49,42

Aşınma testlerinde ilk olarak alüminyum tozdan üretilen toz metal parçanın aşınma testi yapılmıştır. Testin başlangıcından yaklaşık 100 metre aşınma mesafesine kadar sistemin işleyişi bakımından bir sorun yaşanmazken bu mesafeden sonra testin devamında aşındırıcı bilyeyi tutan kolun aşağı yukarı sekme hareketleri gözlenirken aşınma testinde ses ve görüntü olarak bir düzensizlik ortaya çıkmıştır. Bu durum aşındırıcı bilye ile aşınan numune ara yüzeyindeki temasın sürekliliğini kesintiye uğratan bir sorun olarak ortaya çıkmıştır. Bilyenin numune üzerindeki sekme hareketi artan bir şiddetle 250 metre aşındırma mesafesinin bitimine kadar devam etmiştir. Testin bitiminde numune yüzeyinden yapılan makro incelemede oluşan aşınma izindeki dalgalanmalar (ondüle oluşumu) ve iz derinliğindeki düzensizlik kolaylıkla görülmektedir. Bu sorunun temel sebebi aşınma anında aşındırıcı bilyenin aşınan numune üzerinde deformasyon izi oluşturması ve bu deformasyon sürecinde aşınan malzemede bilyenin hareketi yönünde bir yığılma buna bağlı bir pekleşme meydana gelmesidir. Bunun sonucu olarak aşındırma testinin ilerleyen bölümünde aşındırıcı bilye bu yığılan ve bir miktar deformasyona bağlı pekleşen tepeliklerin üzerinden aşarak yoluna devam ederken belli bir genlikte sekme hareketinin oluşmasına sebep olmaktadır. Bu durum aşınma testinin sağlıklı şekilde devamı için önemli bir sorun olarak ortaya çıkmaktadır (Şekil 9-a).



Şekil 9. a) Alüminyum toz metal parçada aşınma izi; **b)** Aşındırıcı bilye üzerine sıvanan alüminyum; **c)** Kompozit toz metal parçada aşınma izi ve ondüle oluşumu (a-Wear track on aluminum powder metal part, b- Aluminum particle on ball, c- Wear track on composite part).

Bir süre sonra sürtünmeye bağlı olarak aşındırıcı bilye ve aşınan numune ara yüzeydeki ısının artmasıyla aşındırılan alüminyum toz metal parçadan aşındırıcı çelik bilye yüzeyine sıvanarak aşınmaya bağlı aşınma derinliği, sürtünme katsayısı ve sürtünme yükü gibi verilerde ciddi sapmalara sebep olmaktadır (Şekil 9-b). Bu sebeple aşındırıcı bilye yüzeyinde alüminyumun sıvandığı andan itibaren alınan verilerin kompozitin aşınma davranışı hakkında sağlıklı veriler olduğunu söyleyemeyiz. Normal olarak aşındırma mesafesinde 100 m'ye kadar aşınan numunede aşınma derinliği ve buna paralel olarak sürtünme kuvveti ve aşınma katsayısı artarken sıvanma ve aşındırıcı bilyenin geri tepme hareketlerinin gözlenmeye başlandığı andan itibaren bu değerlerin düştüğü veya ciddi sapmalar gösterdiği görülmekte (Şekil 10).

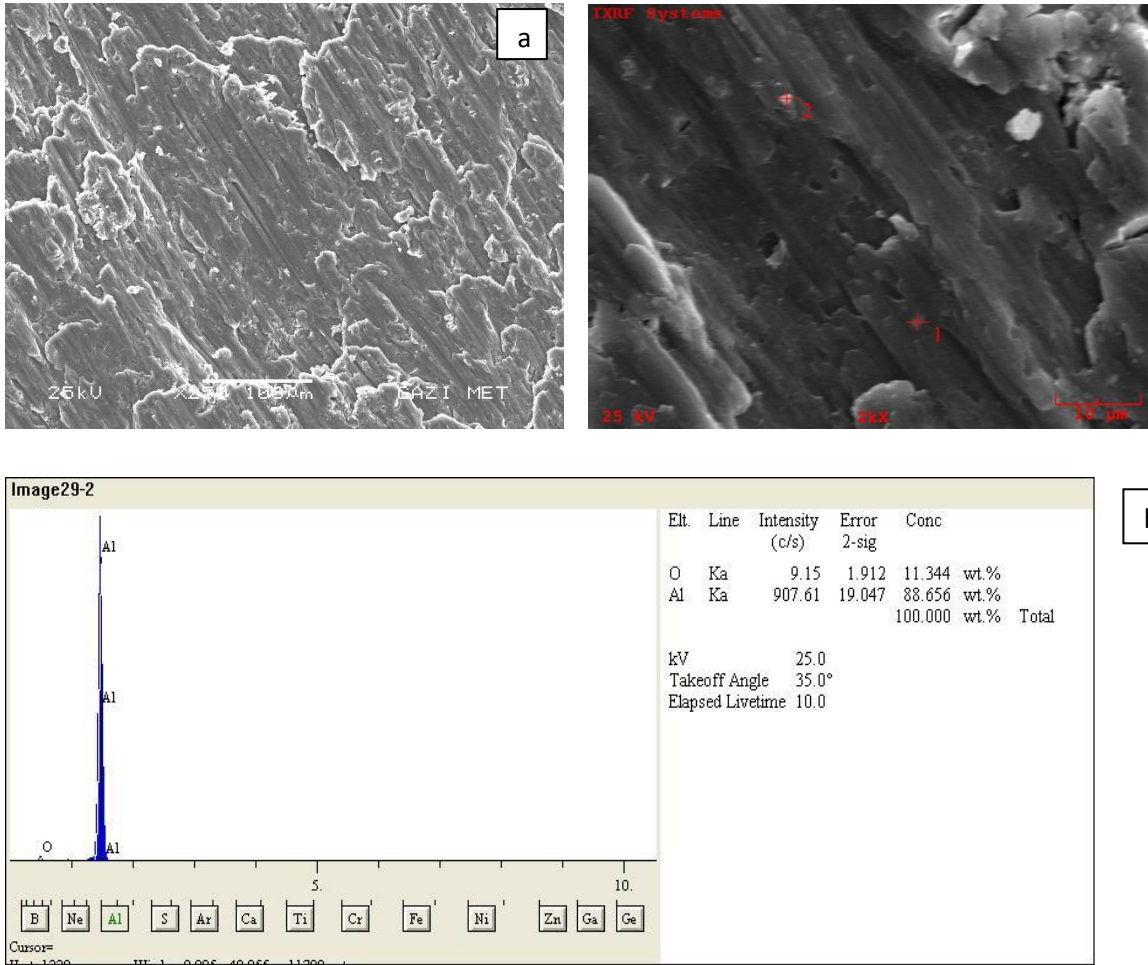


Şekil 10. Alüminyum ve kompozit toz metal parçalarda aşınma derinliği, sürtünme kuvveti ve sürtünme katsayısındaki değişim (Changing of wear track depth, friction force and coefficient of friction,

for aluminum and composite powder metal parts)

Üretilen kompozit malzemenin aşınma testi sonunda aşındırıcı bilye üzerinde sıvanan alüminyum görülmezken aşınma sürecinde meydana gelen deformasyona bağlı aşındırılan kompozit üzerindeki ondüle oluşumu bariz şekilde görülmektedir (Şekil 9-c). Kompozit üzerindeki aşınma izi üzerinden yapılan sertlik ölçümlerinde farklı sertlik değerleri elde edilmiştir. Yapılan sertlik ölçümlerinde aşınma izi üzerinde kompozitin başlangıç sertliğine göre bir artış gözlenirken yığılma tepcikleri üzerinde ana malzemeye göre sertliği 10 HB_w daha artmış olduğu görülmekte (Şekil 9-c).

Alüminyum toz-metal parçanın aşındırma testinde 250 metre aşındırma test mesafesinin ilk 100 m sonrasında ondüle oluşumu başlarken 150 metre ve devamında bilye üzerine alüminyum sıvanması görülmekte. Sıvanmanın sonucu olarak aşınma derinliği azalırken sürtünme katsayısı ve sürtünme kuvveti artmaktadır (Şekil 10). Kompozit malzemede ise bilyenin yük altında aşınan yüzeyde oluşturduğu deformasyonla aşınma iz derinliği artarken yaklaşık 100 metre aşındırma mesafesinden sonra malzemede meydana gelen pekleşmeye bağlı olarak ciddi bir artış göstermemiştir. Bu mesafeden sonra görülen sapmalar ise numune yüzeyinde oluşan ondüle formundan kaynaklanmaktadır. Kompozitin yüzeyinde oluşan aşınma izlerinin SEM görüntüleri matris yapı içerisindeki takviye elemanın kompozit malzemede deformasyonu ve aşınmayı önemli ölçüde sınırlandırmıştır. Alüminyum toz metal parçada aşınma adhesiv aşınma şeklinde gerçekleşirken, kompozit malzemede her iki adhesiv ve abrasiv aşınma mekanizmalarının etkisi altında aşınmanın gerçekleştiğini görmekteyiz [17]. Özellikle kompozitten ayrılan Al₂O₃ partiküllerinin bilye ve aşınan malzeme ara yüzeyinde aşındırıcı bir unsur olarak etki yaptığını görmekteyiz. Takviye elemanı partiküllerinin matris yapı üzerinde oluşturduğu abrasiv aşınma desenleri şekil 11-a'da görülmekte.



Şekil 11. a) Kompozit malzemede genel aşınma deseni, b) 2 nolu noktanın EDS Analiz sonucu (a. General appearance of wear track obtained composite materials, b.EDS results taken from

number two)

SONUÇ (CONCLUSION)

1. Sıcak presleme şeklinde üretilen ağırlıkça % 15 Al₂O₃ takviyeli T/M kompozitin saf alüminyuma göre sertliği % 62 artarken aynı şartlar altında yapılan ball-on disk abrasif aşınma testleri sonucu elde edilen aşınma derinliği, aşınma katsayısı ve aşınma kuvveti değerleri de önemli ölçüde düşüş görülmüştür. (Şekil 10). Saf alüminyuma göre üretilen toz metal kompozit malzemede sertlik ve aşınma özellikleri bakımından önemli ölçüde iyileştirilmiştir.
2. Kompozit malzeme aşınma testinde yoğun şekilde deforme olarak yüzeyde aşınma desenleri oluşurken takviye elemanı olarak bulunan Al₂O₃ aşınan yüzeylerde kompozitin deformasyonu ve sünekliğini saf alüminyuma göre önemli ölçüde sınırlandırmıştır (Şekil 11).
3. Yapılan aşınma testlerinde aşındırılan malzemenin yüzeyinde oluşan ondüle oluşumu ve aşındırıcı bilye üzerine sıvanması aşınma test sonuçlarının ağırlık kaybını esas alarak yorumlanmasını engellemiştir.
4. Bu sebeple alüminyum veya alüminyum matrisli yumuşak ve sünek malzemelerin **ball-on-disk** metoduyla aşındırılarak aşınma davranışlarının belirlenmesi yerine aynı şartlarda üretilen silindirik numunelerin klasik **pin-on-disk** metoduyla aşındırılması mevcut sıvanma ve ondüle oluşumu gibi uygulamada görülen problemleri ortadan kaldırabilir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Ch. Mohana Raoa, K. Mallikarjuna Raob, Abrasive Wear Behaviour of TiB₂ Fabricated Aluminum 6061, International Conference on Processing of Materials, Minerals and Energy, Ongole, Andhra Pradesh, India 29-30 July 2016.
- [2] V. Daniel Jebin, D. Shivalingappa, J. Jenix Rino, Wear Behavior of Al6063-Alumina Metal Matrix Composite, International Journal of Science and Research, Cilt 2, 446-449, 2013.
- [3] G. Naveen Kumar, V. Mahidhar Reddy, Y.V. Mohana Reddy, and K. Hemachandra Reddy, Study of Abrasive Wear Behavior of AA6063/TiCp In-Situ Composites, International Journal of Mechanical Engineering and Technology, Cilt 8, Sayı 5, 42-52, 2017.
- [4] K.S. Sridhar Raja, V.K. Bupesh Raja, Effect of Boron Carbide Particle in Wear Characteristic of Cast Aluminium A356 Composite, Journal of Mechanical and Civil Engineering, 73-77, 2014.
- [5] O. Tambe, M. Thakkar, Improvement of Wear Resistance Quality in Aluminium Metal Matrix Composite – A Review, International Journal of Scientific & Engineering Research, Cilt 8, 1417-1421, 2017.
- [6] A. Mahamood Hassan, A. Alrashdan, M.T. Hayajneh, and A. Turki Mayyas, Wear Behaviour of Al-Mg-Cu Based Composites Containing SiC Particles, Tribology International, Cilt 42, 1230-1238, 2009.
- [7] G. B. Veresh Kumar, C. S. P. Rao, N. Selvaraj, Studies on Mechanical and Dry Sliding Wear of Al6061-SiC Composites, Composites: Part B, Cilt 43, 1185-1191, 2012.
- [8] R.K. Singh, A. Telang, and S. Das, High Stress Abrasive Wear Behavior of Aluminum Alloy and Composite: A Review, Journal of Engineering and Applied Sciences, Cilt 10, 8025-8037, 2015.
- [9] S.C. Tjong, K.C. Lau, Properties and Abrasive Wear of TiB₂/Al-4%Cu Composites Produced by Hot Isostatic Pressing, Composites Science and Technology, Cilt 59, 2005-2013, 1999.

- [10] T. Yıldız, A.K. Gür, Aşınma sistemleri, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları, 86-91, 2006.
- [11] F. Gül, M. İlivan, SiO₂ Takviye Edilmiş Al Kompozitlerin Abrasiv Aşınma Davranışını Etkileyen Faktörlerin İstatistiksel Analizi, 4th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science, Alanya/Antalya, 1799-1809, 2016.
- [12] H. Kurt, H. Arık, C. Bağcı, Abrasive Wear, Structure, and Mechanical Aspects of Al-Al₂O₃ Composites Fabricated Using Various Mixing Media During P/M Routes, Powder Metallurgy and Metal Ceramics, Cilt 55, 23-36, 2016.
- [13] H. Arık, Y. Özçatalbaş, M. Türker, Dry Sliding Wear Behavior of İn Situ Al-Al₄C₃ MMC Produced by Mechanical Alloying Technique, Materials & Design, Cilt 27, 799-804, 2006.
- [14] H. Arık, Production and Characterization of in Situ Al₄C₃ Reinforced Aluminum-Based Composite Produced by Mechanical Alloying Technique, Materials & Design, Cilt 25, 31-40, 2005.
- [15] E. Nas, H. Gökkaya, G. Sur, Sıcak Presleme Yöntemi Kullanılarak Kompozit Malzemelerin Üretilebilirliği Üzerine Bir Değerlendirme”, Karaelmas Üniv. Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt 3, 56-65, 2013.
- [16] M. Önal, M. Gavgalı, In -Situ Alüminyum Metal Matrisli Kompozitler ve Sıcak Presleme ile Üretimleri, Ordu Üniv. Bil. Tek. Derg., Cilt 5, 63-73, 2015.
- [17] K. Theeratatpong, S. Dancharvijita, and Y. Boonyongmaneeratb, Comparison of ball-on-disc and Taber wear tests in assessing wear performance of electrolessly-deposited alloys, Journal of Metals, Materials and Minerals, Vol.23, 75-79, 2013.