

SiO₂ Takviye Edilmiş Al Kompozitlerin Abrasiv Aşınma Davranışını Etkileyen Faktörlerin İstatistiksel Analizi

¹Ferhat GÜL, ²Muhammed İLİVAN

¹G.Ü. Teknoloji Fak, Metalurji ve Malz. Müh. Böl. Beşevler-ANKARA, fgul@gazi.edu.tr
²Dumlupınar Üniversitesi, Pazarlar Meslek Yüksekokulu Kütahya, milivan@dpu.edu.tr

Özet

Bu çalışma, Al₁₀Si/SiO₂ kompozitlerin abrasif aşınma davranışını etkileyen başlıca tribolojik faktörlerin istatistiksel analizini kapsamaktadır. Bu çalışmada, silika partikülleri takviye edilmiş alüminyum matris kompozitlerin iki gövdeli aşınma davranışı araştırılmıştır. Araştırma için kompozit malzeme vakum infiltrasyon yöntemi ile üretilmiştir. Araştırma için seçilmiş olan faktörler, takviye parçacık boyutu, uygulanan yük, abrasiv parçacık boyutu, matrisin bileşimi olup, kayma hızı ve kayma mesafesi sabit tutulmuştur. Al₁₀Si alaşımının mikroyapısı ve aşınma özellikleri üzerinde takviye parçacık boyutunun etkisi araştırılmıştır. Aşınma testleri pin on disk tipi aşınma cihazında 10, 20, 30 N ve 60, 100, 220, 400 Mesh aşındırıcı zımpara kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma, AlSi/SiO₂ kompozitlerin abrasiv aşınma davranışını istatistiksel analiz metodu kullanılarak optimizasyonunu ortaya koymaktadır. İstatistiksel analiz sonuçları, kompozitin abrasif aşınmasının, artan aşındırıcı boyutu ile arttığını göstermektedir. Öte yandan matrisin aşınma dayanımı ise, azalan yük ile artış göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Pin on disk, Abrasif Aşınma, Metal Matris Kompozit, İstatistiksel Analiz,

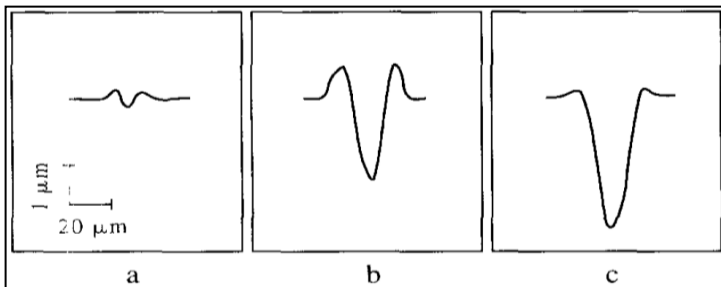
Statistical Analysis of Factors Affecting Abrasive Wear Behavior of Al Composites Reinforced by SiO₂

Abstract: This study covers statistical analysis of the major tribological factors affecting the abrasive wear behavior of Al₁₀/SiO₂. In this study, the two-body abrasive wear behavior of aluminum matrix composites reinforced with silica particles has been investigated. The composite material for investigation was infiltrated by a vacuum infiltration process. The factors selected for investigation were reinforcement particle size, applied load, abrasive particle size, composition of matrix keeping sliding distance and sliding speed constant. The effect of reinforcement particle size on the microstructure and wear properties of Al₁₀Si alloy has been investigated. Wear tests have been carried out on a pin on disc wear test apparatus under loads of 10, 20, 30 N, with 60, 100, 220 and 400 Mesh abrasive paper. Wear tests have been carried out on a pin on disc wear test apparatus under loads of 10, 20, 30 N, with 60, 100, 220 and 400 Mesh abrasive paper. This study presents the optimization of the abrasive wear behavior of Al₁₀Si/SiO₂ composites using statistical analysis method. Statistical analysis results show that abrasive wear of composite increased by increasing abrasive particle size. On the other hand, abrasive wear of matrix alloy increased by increased applied load.

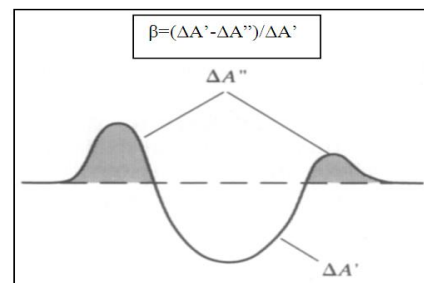
Keywords: Pin on disc, Abrasive wear, Metal Matrix Composites, Statistical Analysis,

1.Giriş

Ulaşım endüstrisinde hafif, enerji tasarrufu sağlayan malzemelere artan talep, özel alaşım ve işlem tekniklerinin gelişmesine yol açmaktadır. Seramik malzeme ile takviye edilmiş metal matriks kompozit malzemeler, geleneksel alaşımlar ile kıyaslandığı zaman bunların yüksek özgül mukavemeti, modülü ve aşınma direnci iyi bilinmektedir [1-6]. Bu nedenle havacılık, ulaşım, savunma uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır [7]. Metal matriks kompozit malzemelerde genellikle kullanılan matriks malzemeler, alüminyum, titanium, magnezyum ve alaşımlarıdır [3,8]. Genellikle takviye olarak ise geniş bir sınıflandırma ile karbürler, oksitler, boridler ve nitritler kullanılmaktadır [8]. Özel olarak ise kompozit üretiminde TiC, SiC, TiN, B₄C, SiO₂, Al₂O₃ gibi takviyeler kullanılmaktadır [9]. Parçacık takviyeli kompozit malzemeler, parça üretimi için ekstrüzyon, dövme ve hadde gibi geleneksel metodların kullanılma olasılığı nedeniyle nispeten düşük maliyetinden dolayı ticari olarak cazip görünmektedir. Alaşım bileşimi, takviye malzeme, şekli boyutu ve hacim oranı, takviye dağılımı gibi birçok faktör kompozit özelliklerini etkilemektedir [10-11]. Abrasif aşınma, sadece eskiyen veya yıpranan malzemenin yerine konulması gibi ekonomik sonuçlar yaratmamakta, aynı zamanda bekleme zamanları ve üretim kayıplarına neden olmaktadır. Birçok ortamlarda sözkonusu olabileceği gibi, özellikle parçacık malzeme akışının olduğu ortamlarda çok daha yoğun bir şekilde abrasif aşınma gerçekleşmektedir [12]. Abrasif aşınmada, aşınma yüzeyinde gözlenen iki durum mevcuttur. Bunlardan bir tanesi aşındırıcı partikül numune üzerinde kaydığı zaman oluk açarak veya bir başka deyişle çizerek aşınma iken, bir diğeri ise abrasif partikülün numune üzerinde yuvarlanması ile meydana gelen yuvarlanma aşınmasıdır. Test şartlarına bağlı olarak çizerek aşınma veya yuvarlanarak aşınma ve yahut da bunların eş zamanlı meydana geldiği karma model baskın hale gelebilmektedir [13]. Malzemelerin ve aşınma şartlarına bağlı olarak farklı aşınma yüzey oluşumları gerçekleşmektedir. Şekil 1'de üç abrasive aşınma modelindeki kesit profilleri gösterilmektedir. Buna göre (a)'da görülen kazıma, (b)'de görülen kenar oluşumu ve (c)'de ise kesme oluşumu gösterilmektedir. Şekil 2'de ise bir aşınma izinde bu kısımların oranına bağlı olarak aşınma oranı tanımlanmıştır. Buna göre aşınma derecesi $\beta = (\Delta A' - \Delta A'') / \Delta A'$ ile tanımlanmaktadır. Şekil üzerinden bakıldığında, kesme sonucu oluşan $\Delta A'$ alanı, $\Delta A''$ kenar oluşumu alanına göre ne kadar büyük ise, aşınma derecesi o kadar yüksek olacaktır. Netice olarak kazıma sonucu, kısmi olarak kenar oluşumu ve kısmi olarak ise, kesme meydana gelmektedir. Kesme sonucu malzeme aşınma kaybına uğrarken, kenar oluşumu ile malzeme kayba uğramamaktadır [14].



Şekil 1. Bir aşınma çizliğinin kesit profilleri
(a)Kazıma(b)Kenar oluşumu (c)kesme modu [13]



Şekil 2. Bir aşınma çizliğinde aşınma derecesinin tanımı [13]

Wu ve arkadaşlarının 56,9 μm, 4,2 μ ve 2 μm B₄C takviyeler kullanarak üretmiş oldukları

kompozitlerin parçacık boyutu ve uzaysal dağılımı konusunda yapmış oldukları çalışma neticesinde, ince parçacık içeren kompozit malzemede takviyelerde topaklanma gözlenirken, iri parçacık içeren kompozitte bulunan takviyelerin homojen bir şekilde dağıldığı gözlenmiştir. Öte yandan ince parçacık takviye dağılımı sahip malzemenin ise, daha yüksek akma ve kırılma dayanımı sergilediği tespit edilmiştir [7]. Marta Gajewska ve arkadaşları tarafından AA 7475 alaşımında 40 µm'dan ortalama 1µm ve 1µm'dan küçük olmak üzere 3 farklı boyutta takviye ilave etmiş oldukları, AlN takviye malzeme ilavesi neticesinde sertliğin ile matrikse göre artış gösterdiğini, ancak en yüksek artışın 1 µm takviye ilavesi ile matrikse göre % 30 oranında gelişme sağladığı, 40 µm ve 1µm'dan küçük takviyeler ile de matrikse göre sertlik de gelişme sağlandığı, ancak bunun 1 µm takviye ilavesi ile elde edilen sertlik değerinden düşük olduğu belirtilmektedir [16]. Yang ve arkadaşlarının YAl₂ takviye edilmiş MgLiAl alaşımlarının gerilim-gerinim davranışı üzerine takviye hacim oranının etkisini inceledikleri çalışmada, % 10-40 oranında takviye malzeme kullanmışlardır. Elde edilen çalışma sonuçlarına göre artan takviye hacim oranı ile sürekli olarak malzemenin mukavemetinin gelişme gösterdiği ancak gerinim değerinde artan takviye ile sürekli azalma olduğu belirlenmiştir[17]. Kök ve Özdin tarafından vorteks yönetmi kullanılarak, ağırlıkça % 10-30 Al₂O₃ parçacıklar ile takviye edilmiş alüminyum 2024 alaşımı ile gerçekleştirilen çalışmada 20 µm(600 Grit) 46 µm(320 Grit) ve 60 µm (240 Grit) zımparalarda yapılan aşınma testleri sonucunda, kompozitlerin matriks alaşımından oldukça önemli derecede yüksek aşınma direnci elde edilmiştir [18]. Prabhu tarafından savurma tekniği kullanılarak yapılan Al7075/SiC kompozit malzemede artan parçacık yoğunluğu ile artmış olan hatalardan dolayı kompozitin yoğunluğunun azaldığı ifade edilmektedir. Partiküllerin topaklanmasından meydana gelen porozite, kompozitin yoğunluğunu azaltmaktadır. Porozite oranı, artan SiC hacim oranı ile artış göstermektedir[19]. Kompozit malzemelerde bulunan takviye boyutunun, kompozitin özellikleri üzerine yapılmış çok sayıda çalışma bulunmaktadır [20-23]. daha önce yapılan çalışmalarda artan takviye boyutu ile aşınma kaybının azaldığı belirlenmiştir [24-25]. Öte yandan Diler ve İpek tarafından yapılan çalışmada, toz metal üretim yönteminde kullanılan matriks partikül büyüklüğünün azalması ve takviye partikül büyüklüğünün artması ile aşınma kaybının azaldığı, belirli bir hacim oranı için ise, daha büyük boyutlu takviyelerin, aşınma direnci üzerinde olumsuz etkiye sahip olduğu anlaşılmaktadır [20]. Kumar ve arkadaşları Al-4Cu/TiB₂ partikülleri ile hazırlanmış oldukları kompozit malzemede 2 µm boyutunda takviye 30 ve 90 µm boyutunda ise aşındırıcı parçacıklar kullanmışlardır. Bu takviyelerin aşınma direncini geliştirdiğini, ancak hem kompozitin hem de matriksin aşınma oranının artan yük ve abrasif aşındırıcı partikül boyutu ile arttığı ifade edilmektedir [26]. Tijong ve arkadaşlarının saf bakır malzemeye 240 Grit boyuta sahip hacimce % 5 TiB₂ takviye ilave ederek elde etmiş oldukları kompozit malzemede abrasif aşınma direncinde önemli bir artış göstermiş, daha fazla orandaki takviye artışı ile kompozit malzemenin, SiC aşındırıcının mikrokese etkesine karşı direncinin artması ile abrasif aşınma direncinin daha geliştiği belirlenmiştir [27]. Yue ve arkadaşlarının alüminyum borat whisker/Al 6061 kompozit malzemenin hazırlanmasında ezme döküm yöntemi kullanarak, borat whisker malzemenin yüzeyinin CuO kaplanması ve kompozitlere ısıl işlem uygulanması üzerine çalışma gerçekleştirmişlerdir. Kompozitin matriks /kompozit arayüzeyinde MgAl₂O₄ oluştuğu, bunda ısıl işlem sırasında, alüminyum borat whisker ile Al 6061 içerisinde bulunan Mg ile önemli arayüzey reaksiyonlarını etkin şekilde önlediği belirlenmiştir. Döküm hali uygulamalarında CuO kaplı alüminyum borat whisker içeren kompozitlerin, kaplanmamış whisker takviyeli kompozitlerden daha az abrasif kütle kaybı sergilediği ve bu kompozitlere ısıl işlem uygulanmasının, abrasif aşınma kaybında önemli derecede azalma sağladığı

belirlenmiştir [28]. Anova istatistik alanında, gözlemlenen varyansı, farklı bölümlere ayırma tekniği kullanılarak, değişkenlerden bazılarının diğerleri üzerinde etkilerinin belirlenmesini sağlayan işlemler dizisidir. Varyans analizi sayesinde işlemler üzerinde hangi faktörün ne seviyede etkili olduğu istatistik olarak incelenir. Varyans analizinde, etkili olan faktörlerin, çıktı değerlerini hangi oranda etkilediğini ve sistemde kullanılan seviyelerin etki derecelerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır [29].

Bu çalışmanın amacı, Al10Si alaşımında Mg ilavesinin, Al10Si/SiO₂ kompozit malzemede takviye parçacık boyutunun, uygulanan yükün ve kullanılan abrasiv aşındırıcı boyutunun abrasiv aşınma üzerine etkisinin istatistiksel açıdan belirlenmesidir.

2. Malzeme ve Method

2.1. Toz Kompaktların Hazırlanması

Kompozit üretim işlemi için vakum infiltrasyon yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde, ilgili boyuttaki takviye tozları, 8 mm iç çapına ve 10 mm dış çapa ve 150 mm uzunluğa sahip olan çelik borular içerisine yerleştirilmiştir. Bu amaçla 250 ve 180 µm boyutlara sahip SiO₂ takviye parçacıklar kullanılmıştır. Boru içerisindeki toz malzemenin alt kısmına süzgeç ve alüminyum folyo ve üst kısmına süzgeç, alümina battaniye ve 35 gr ağırlığında çelik ağırlık yerleştirilerek, 3 dakika sabit şiddette vibrasyon uygulanarak kompaktlar hazırlanmıştır.

2.2. Vakum İnfiltrasyon İşlemi

İnfiltrasyon ünitesi, ergitme ünitesi, içerisinde toz kompakt bulunan bir çelik boru, vakum ve koruyucu gaz kontrolünün yapıldığı infiltrasyon kontrol biriminden meydana gelmektedir. İnfiltrasyon işlemi için bileşimi Tablo 1'de verilen 3 Kg Etial 171 alaşımı ergitilmiş, sıvı metal 800 °C sıcaklığa ulaştığında, içerisinde toz kompakt bulunan çelik boru sıvı metale daldırılarak ve aynı anda 500 mmHg değerinde vakum uygulanmaktadır. Daldırmanın ardından 3 dakika süre ile işleme devam edilmekte ve infiltrasyon süresi sona erdiğinde, infiltre edilmiş çelik boru sıvı metalin içerisinden çıkartılarak, vakum pompası kapatılmaktadır. İnfiltrate edilen kompozitler daha sonra oda sıcaklığına havada soğutulmaktadır. Ergitme ve infiltrasyon işlemi için ±2°C hassasiyete sahip K-tipi bir termokapl bulunan sıcaklık kontrol ünitesi kullanılmıştır.

Tablo 1. Kompozit ve matris alaşımlarının kimyasal bileşimi ve kodlama sistemi

Kod	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Pb	Al
A1	9,42	0,38	0,05	0,43	0,36	0,015	0,04	0,06	0,10	0,011	kalan
A2	9,01	0,361	0,048	0,41	4,8	0,014	0,037	0,056	0,1	0,01	kalan
K1	A1 matris + 250 µm SiO ₂										
K2	A1 matris + 180 µm SiO ₂										

2.3. Metalografik İnceleme

SiO₂ takviyeli Al-10 Si döküm alaşımı kompozitler vakum infiltrasyon yöntemi kullanılarak üretildikten sonra, standart metalografik zımparalama ve polisaj işlemleri uygulanarak numuneler hazırlanmıştır. Metalografik işlemlerden sonra numuneler Prior marka optik metal mikroskobunda incelenmiş ve numune mikroyapıları bilgisayar ortamına aktarılmıştır.

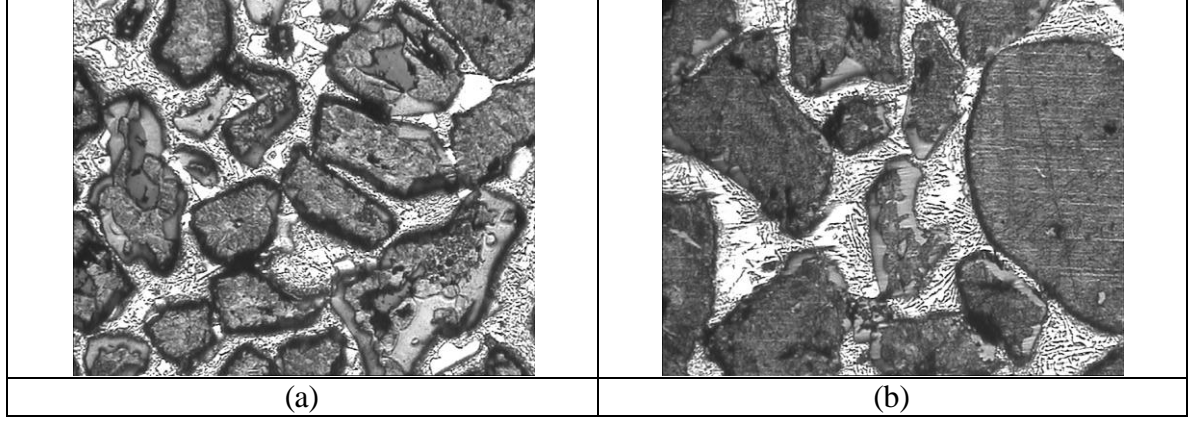
2.4. Abrasif Aşınma Testleri

Abrasif aşınma testleri pin on disk cihazında 10 N, 20 N ve 30 N yük 0,1 m/s kayma hızı ve 7,5 m kayma mesafesinde 60, 100, 220 ve 400 Mesh Al₂O₃ zımparalar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Aşınma testi sırasında numune disk üzerinde numune yarıçapı kadar disk eksenine yönünde hareket ettirilerek, malzemenin yeni zımpara yüzeyine teması temin edilmiştir. Abrasif aşınma testlerinden önce yüzeyleri hazırlanan numuneler 0,1 mg hassasiyetine sahip hassas terazide tartılmış, aşınma testinden sonra alkol ile temizlenip kurulan numuneler, tekrar tartım işlemine tabi tutulmuştur. Yapılan her bir test 3 kez tekrar edilerek ortalamaları alınmıştır.

3. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma

3.1. Mikroyapsal Karakterizasyon

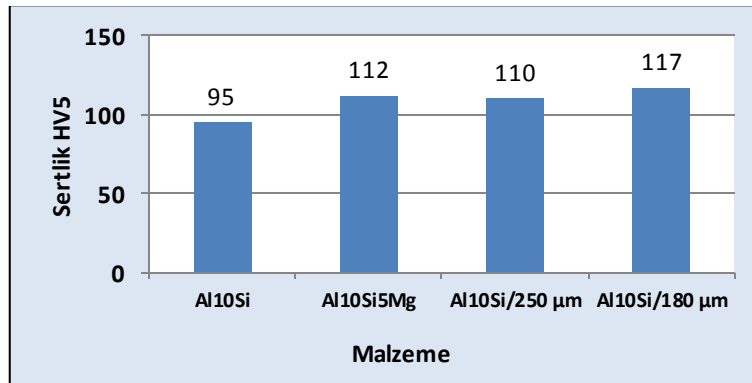
Vakum infiltrasyon tekniği kullanılarak elde edilen 250 µm ve 180 µm boyutuna sahip silika takviye edilmiş kompozit malzemelerin mikroyapıları Şekil 3'de verilmiştir. Matriks içerisinde SiO₂ partiküllerinin homojen olarak dağıldığı ve matriks alaşım Mg ilavesi içermemesine rağmen oldukça başarılı bir ıslatma davranışı sergilediği görülmektedir. Singh ve arkadaşlarının döküm alüminyum alaşım/silimanit partikül takviyeli kompozit malzemeler üzerinde yapmış olduğu malzemede, takviye malzemenin matriks içerisinde homojen şekilde dağıldığı tespit edilmiştir. Söz konusu çalışmada 140 µm silimanit partikülleri kullanılmış ve kompozit sıvı karıştırma yöntemi ile üretilmiş olup, matriks ile takviye arasında güçlü mekanik bağ olmasına rağmen, kompozitin mukavemeti matriksin mukavemetinden önemli derecede düşük olmasına rağmen, kompozitin sertlik ve aşınma dayanımının matriks malzemeden önemli derecede daha yüksek olduğu belirlenmiştir [30,2,]. Öte yandan Kaushi ve Rao tarafından 6082 Al alaşımına sırasıyla 32 µ and 40 µm boyutlarında SiC ve grafit takviyeli kompozitlerin karıştırma döküm yöntemi neticesi, kompozit içerisinde takviyelerin boyutunun nispeten küçük olmasına rağmen, homojen olarak dağıldığı ifade edilmektedir [2]. Diler ve İpek tarafından, Al-SiC_p kompozit malzemede ise, düşük takviye hacim oranına sahip kompozitlerde takviyeler homojen dağılım sergilerken, yüksek takviye oranına sahip ve matriks partikül büyüklüğünün takviye partikül büyüklüğünden fazla olduğu kompozitlerde ise takviyeler arasında topkalanmaların gözlemlendiği ifade edilmiştir [20]. Şekil 3'de 250 µm ve 180 µm boyutlarda takviye içeren kompozit malzemelerde takviye boyut dağılımının da uygun olduğu görülmektedir. Şöyleki farklı boyutlardaki takviyeler sayesinde matriks içerisinde, takviyelerin daha dengeli bir şekilde dağıldığı, büyük takviyelerin boşluklarına nispeten daha küçük takviyelerin yerleştiği görülmektedir. Bunun yanında ıslatmama veya buna dayalı takviye topaklanması gözlenmediği için, elde edilen kompozit malzemelerin mikroyapısal açıdan başarılı bir şekilde üretilebildiği anlaşılmaktadır.



Şekil 3. (a)250 mikron SiO₂ (b) 180 mikron SiO₂ içeren Al10Si kompozitin mikroyapısı, X35

3.2. Sertlik Testi Sonuçları

Kompozit malzemeler, matris malzemelerine göre sahip oldukları daha yüksek sertliğe sahip takviye malzemeler nedeniyle, sertlik ve diğer özelliklerinde artış temin etmektedir. Al10Si alaşımı, 95 HV5 sertliğe sahip iken, alaşıma yapılan % 5 oranında Mg ilavesi ile sertlik değeri 112 HV5 değerine ulaşmıştır. 7 Mohs sertliğe SiO₂'in 95 HV5 sertliğe sahip Mg içermeyen Al10Si döküm alaşımına takviye olarak ilave edilmesi ile, 250 µm SiO₂ ile sertlik 110 HV5, 180 µm SiO₂ ile 117 HV5 değerine ulaşmıştır. Elde edilen bu değerler malzemenin yoğunluğunda bir artış meydana gelmeden gerçekleşmiştir. Bunun sebebi Al10Si alaşımının yaklaşık olarak yoğunluğu 2,64 gr/cm³ iken, ilave edilen SiO₂'in yoğunluğu ise 2,65 gr/cm³ olduğundan üretilen kompozitin özgül ağırlığında önemli bir artış meydana gelmemektedir. Mg içeren alaşımın ise özgül ağırlığı 2,585 gr/cm³ değerine düşmektedir. Ancak bu çalışmada kompozit üretimi için, bu %5 Mg içeren Al10Si alaşımı kullanılmamıştır. Bunun sebebi Mg içermeyen matris malzeme ile üretilen kompozit ile, kompozit yapılmadan sadece alaşımlama ile elde edilen özelliklerin kıyaslanması amaçlanmaktadır. Matris malzeme, % 5 Mg içeren alaşım ve kompozitlerin sertlik değişimleri Şekil 4'de gösterilmiştir. Şekil 4 incelendiğinde kompozit yapmadan sadece Mg ilavesi ile matris sertliğinde yaklaşık olarak % 17 oranında bir artış gerçekleşmektedir. Öte yandan 250 µm SiO₂ ilavesi ile sertlikte sadece % 15 oranında bir artış, 180 µm SiO₂ kullanımı ile % 23 oranında bir artış elde edilmiştir. Bu sertlik değerlerinin bu şekilde çıkmasında sertlik ölçme tekniğinin de etkili olabileceği kabul edilmelidir. Yapılan ölçüm sırasında sertlik ucunun takviye malzemelere denk gelmediği ölçümlerde sertliğin düşük olabileceği düşünülebilir. Numune boyutlarının uygun olduğu çalışmalarda sertlik ölçümünün Brinell sertlik yöntemi ile yapılması uygun olacaktır.

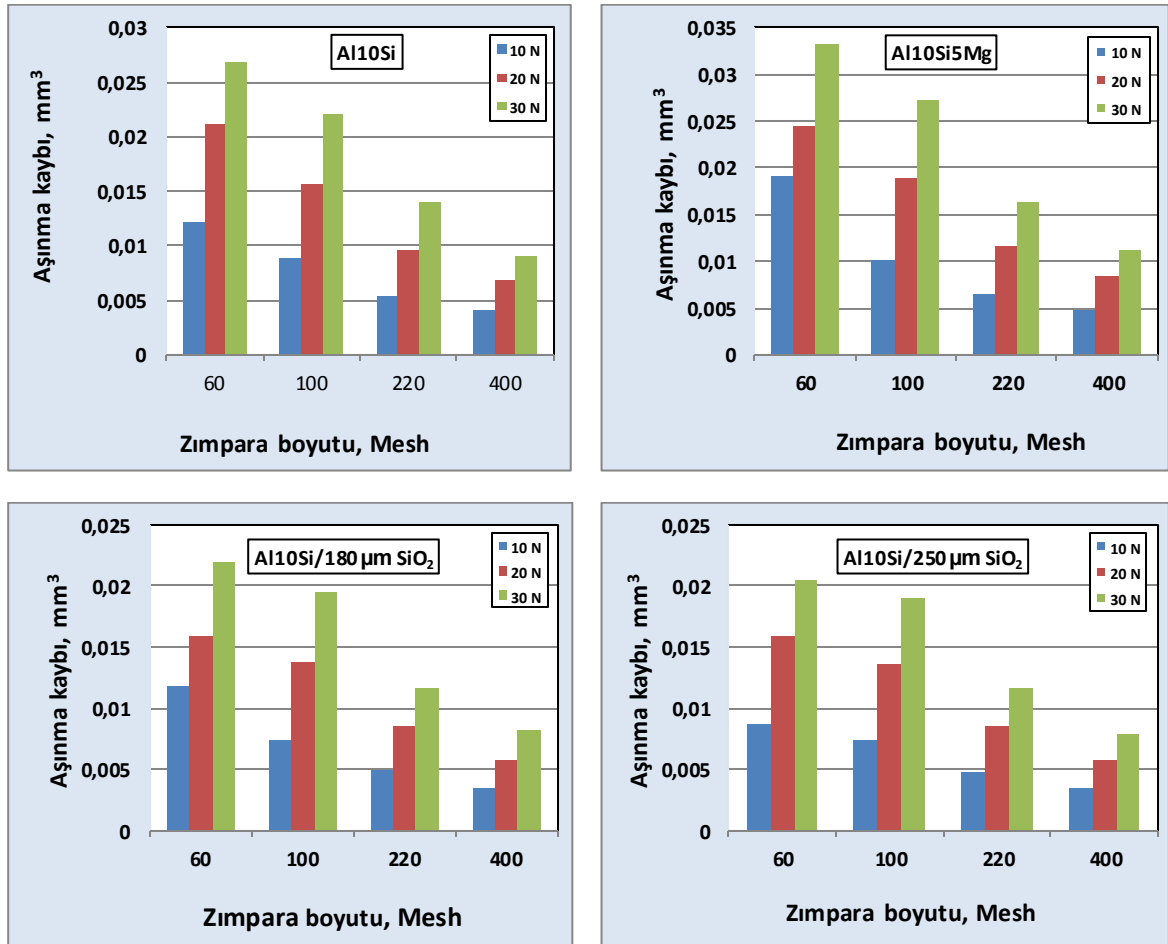


Şekil 4. Matriks, Mg içeren alaşım ve kompozitlerin sertlik değerleri

3.3. Abrasif Aşınma Testi Sonuçları

Al10Si matriks alaşımı, Al10Si5Mg alaşımı ile 250 μm SiO₂, 180 μm SiO₂ takviyeli Al10Si alaşımı kompozitlerin abrasiv aşınma kayıpları Şekil 5’de verilmiştir. Buna göre genel olarak düşük yük ve ince zımpara şartlarında aşınmanın düşük olduğu, artan yük ve zımpara parçacık iriliğine bağlı olarak aşınmanın arttığı görülmektedir. Bu çalışmada 250 μm SiO₂ takviye seçilmesinin sebebi, en kalın zımpara 60 Mesh zımparanın parçacık boyutunun 250 μm olmasıdır. Netice olarak bu çalışmada özellikle kullanılan en iri aşındırıcı boyutu, takviye boyutu olarak seçilmiştir. İlgili takviye ve zımpara aşındırıcı parçacık boyutlarının karşılıkları Tablo 2’de verilmiştir.

Netice olarak en iri partiküller hem kompozitte kullanılan takviye, hem de aşındırıcı kullanılan zımpara boyutuna tekabül etmektedir. Ondan sonra sıradaki ~80 Mesh (180 μm) SiO₂ takviye olarak kullanılmış, daha sonraki 3 boyut ise 100 Mesh (149 μm), (68 μm) 220 Mesh, 400 Mesh (35 μm) olup, sadece abrasif aşındırıcı Al₂O₃ olarak kullanılmıştır. Kullanılan tüm zımparalar, 250 μm kompozite eşit veya daha ince aşındırıcı parçacıklar içermektedir. 180 μm içeren kompozit için ise, takviye malzemeden daha kalın ve daha ince zımparalar ile aşınma testine tabi tutulmuş bulunmaktadır.



Şekil 5. Alaşım ve kompozitlerin farklı yük ve zımpara boyutlarında hacimsel aşınma kayıpları

Tablo 2. Kompozitte kullanılan takviye ve aşınmada kullanılan aşındırıcı zımpara boyutları

Mesh	Parçacık boyutu (μm)	Açıklama
60	250	Zımpara(Al_2O_3) ve takviye (SiO_2)
~80	180	Takviye (SiO_2)
100	149	Zımpara (Al_2O_3)
220	68	Zımpara (Al_2O_3)
400	35	Zımpara (Al_2O_3)

Diğer taraftan malzemeler açısından bakıldığında, en fazla aşınmanın Al10Si5Mg alaşımında meydana geldiği görülmekte, bunu kompozit malzemelerde de matriks olarak kullanılan Al10Si alaşımı takip etmektedir. Kompozitlerde ise $180 \mu\text{m}$ SiO_2 içeren kompozit matriks alaşımdan daha az, $250 \mu\text{m}$ SiO_2 takviye içeren kompozit ise tüm yük ve zımpara şartlarında en az aşınma sergilemiştir. Bunun sebebi $180 \mu\text{m}$ takviye edilen kompozit için kullanılan 60 Mesh zımparanın ($250 \mu\text{m}$), takviye boyundan büyük olması nedeniyle kolaylıkla yüksek aşınma göstermesidir. En kalın zımpara parçacık boyutu 60 Mesh($250 \mu\text{m}$) ile aynı boyutta takviyeye sahip kompozitte ise abrasive aşınma ince takviyeli kompozite nazaran daha düşük gerçekleşmiştir. Daha önce, kompozit malzemelerin abrasive aşınması üzerine yapılan çalışmalarda da benzeri sonuçlar elde edilmiş olup, genel olarak takviye ilavesi ile ve artan takviye boyutu ile abrasif aşınma direncinin artmış olduğu belirlenmiştir [30,2,8,26].

3.4. İstatistiksel Analiz Çalışmaları

Kontrol faktörlerinin sonuçlara etkisi Varyans analizi (Anova) kullanılarak elde edilmiştir.. Anova sonuçlarına göre, abrasif aşınmaya etki eden en önemli parametrelerin sırasıyla zımpara parçacık boyutu ve uygulanan yük olduğu tespit edilmiştir. Varyans analizi çalışmaları için minitab V16 kullanılmıştır. Buna göre elde edilen elde edilen değerler Tablo 3-7 ve Şekil 6'da verilmiştir. Varyans analizi tabloları incelendiğinde faktörlerinin tek başlarına A değişkenindeki değişkenliği ile ilgili olarak N faktörü anlamsız, Y ve Z faktörleri ise anlamlı olarak bulunmuştur. Yapılan varyans analizine göre belirleme katsayısı Y faktörü için % 10,96, Z faktörü için % 14,62 olduğu görülmüş, A'daki değişkenliğin yani tek başına yük faktörü % 10,96'ünü, zımpara faktörü ise % 14,62'sini açıklayabilmiştir. Öte yandan Tablo 6'da Anova sisteminde Z, N, Y faktörü için A yanıt değişkenine bakıldığında modeldeki tüm faktörlerin anlamlı olduğu en düşük numune olmak üzere, zımpara ve yükün etkin faktörler olduğu görülmektedir. Tablo 7. Tek yönlü Anova sisteminde Z, N, Y ve Z*N, Z*Y, N*Y faktörleri için A yanıt değişkeni açısından tüm faktörün anlamlı olduğu % 99,0 oranında modelin anlamlı olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 6'da ise Z, Y ve N faktörlerinin a yanıt değişkenine göre ortalama değerleri verilmiştir.

Tablo 3. Tek yönlü Anova sisteminde N faktörü için A yanıt değişkeni

One-way ANOVA: A versus N					
Source	DF	SS	MS	F	P
N	3	0,0002182	0,0000727	1,49	0,229
Error	44	0,0021426	0,0000487		
Total	47	0,0023608			
S = 0,006978		R-Sq = 9,24%		R-Sq(adj) = 3,05%	

Tablo 5. Tek yönlü Anova sisteminde Z faktörü için A yanıt değişkeni

One-way ANOVA: A versus Z					
Source	DF	SS	MS	F	P
Z	3	0,0011787	0,0003929	14,62	0,000
Error	44	0,0011822	0,0000269		
Total	47	0,0023608			
S = 0,005183		R-Sq = 49,93%		R-Sq(adj) = 46,51%	

Tablo 4. Tek yönlü Anova sisteminde Y faktörü için A yanıt değişkeni

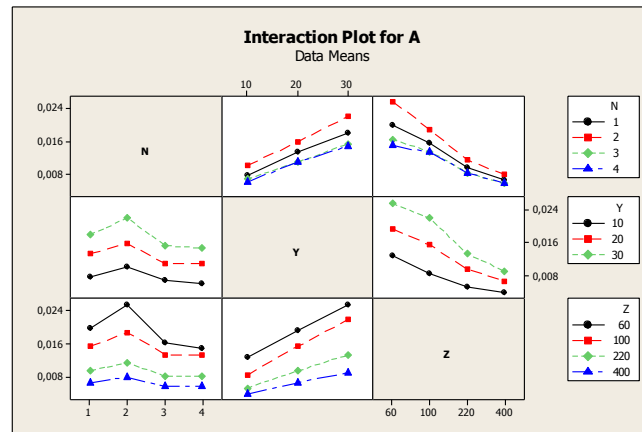
One-way ANOVA: A versus Y					
Source	DF	SS	MS	F	P
Y	2	0,0007731	0,0003865	10,96	0,000
Error	45	0,0015877	0,0000353		
Total	47	0,0023608			
S = 0,005940		R-Sq = 32,75%		R-Sq(adj) = 29,76%	

Tablo 6. Anova sisteminde Z, N, Y faktörü için A yanıt değişkeni

Analysis of Variance for A, using Adjusted SS for Tests						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
N	3	0,0002182	0,0002182	0,0000727	14,86	0,000
Y	2	0,0007731	0,0007731	0,0003865	78,98	0,000
Z	3	0,0011787	0,0011787	0,0003929	80,28	0,000
Error	39	0,0001909	0,0001909	0,0000049		
Total	47	0,0023608				
S = 0,00221231		R-Sq = 91,91%		R-Sq(adj) = 90,26%		

Tablo 7. Tek yönlü Anova sisteminde Z, N, Y ve Z*N, Z*Y, N*Y faktörleri için A yanıt değişkeni

Analysis of Variance for A, using Adjusted SS for Tests						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
N	3	0,0002182	0,0002182	0,0000727	144,21	0,000
Y	2	0,0007731	0,0007731	0,0003865	766,47	0,000
Z	3	0,0011787	0,0011787	0,0003929	779,05	0,000
N*Y	6	0,0000164	0,0000164	0,0000027	5,42	0,002
Y*Z	6	0,0000926	0,0000926	0,0000154	30,59	0,000
N*Z	9	0,0000728	0,0000728	0,0000081	16,05	0,000
Error	18	0,0000091	0,0000091	0,0000005		
Total	47	0,0023608				
S = 0,000710156		R-Sq = 99,62%		R-Sq(adj) = 99,00%		



Şekil 6. Z, Y ve N faktörlerinin a yanıt değişkenine göre ortalama değerleri

4. Sonuçlar

Al₂O₃/SiO₂ kompozit malzemelerin abrasif aşınma testleri neticesi aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

İlave edilen Mg ile alaşımların sertliğinde önemli derecede artış meydana geldiği, bunun yanında abrasif aşınmanın da arttığı görülmektedir. SiO₂ partiküllerinin ilavesi ile malzeme sertliğinin arttığı, takviye parçacık boyutu azalırken, sertlikte daha fazla artış meydana geldiği belirlenmiştir.

Yapılan varyans analizi çalışmasına göre aşınmada en etkili faktörlerin sırasıyla zımpara boyutu, uygulanan yük, takviye boyutu olduğu anlaşılmaktadır.

Kaynaklar

- [1] Garcia-Cordovilla C., Narciso J., Louis,E. Abrasive wear resistance of aluminium alloy /ceramic particulate composites, *Wear*, 192 (1996) 170-177.
- [2] Kaushik N.Ch., Rao R.N., Effect of grit size on two body abrasive wear of Al 6082 hybrid composites produced by stir casting method *Tribology International* 102, (2016), 52–60.
- [3] Kaushik N.Ch., Rao R.N., Effect of applied load and gritsize on wear coefficients of Al6082–SiC–Gr hybrid composites under two body abrasion. *Tribology International* 103, (2016), 298–308.
- [4] Varol T., Canakci A., Effect of particle size and ratio of B₄C reinforcement on properties and morphology of nanocrystalline Al2024-B₄C composite powders, *Powder Tec.* 246 (2013) 462–472.
- [5] Hekner B., Myalski J., Valle N., Botor-Probierz A., Sopicka-Lizer M., Wieczorek J., Friction and wear behavior of Al-SiC(n) hybrid composites with carbon addition, Accepted Manuscript, *Composites Part B*, DOI: 10.1016/j.compositesb.2016.09.103
- [6] Selvaraj S.K., Nagarajan M.K., Kumaraswamidhas L.A., An investigation of abrasive and erosion behaviour of AA 2618 reinforced with Si₃N₄, AlN and ZrB₂ in situ composites by using optimization techniques, *Archives of civil and mechanical engineering* 17 (2017) 43 – 54.
- [7] Wu C, Ma K., Wu J., Fang P., Luo G., Chen F., Shen Q., Zhang L., Schoenung J.M., Lavernia E.J., Influence of particle size and spatial distribution of B₄C reinforcement on the microstructure and mechanical behavior of precipitation Strengthened Al alloy matrix composites *Science&Engineering*, A675 (2016) 421–430.
- [8] Kaushik N.Ch., Rao R.N., The effect of wear parameters and heat treatment on two body abrasive wear of Al–SiC–Gr hybridcomposites, *Tribology International*, 96 (2016) 184–190.
- [9] Sharifitabar, M., Kashefi M., Khorshahian S., Effect of friction stir processing pass sequence on properties of Mg–ZrSiO₄–Al₂O₃ surface hybrid micro/nano-com., *Mat.and Design*, 108 (2016) 1–7.
- [10] Slipenyuk A., Kuprin V, Milmana Y., Spowart J.E., Miracle D.B., The effect of matrix to reinforcement particle size ratio (PSR) on the microstructure and mechanical properties of a P/M processed AlCuMn/SiCp MMC, *Materials Science and Engineering*, A 381 (2004) 165–170.
- [11] Madeira S., Carvalho O., Carneiro V.H., Soares D., Silva F.S., Miranda G., Damping capacity and dynamic modulus of hot pressed AlSi composites reinforced with different SiC particle sized, *Composites Part B* 90 (2016) 399-405.
- [12] Forsström D., Jonsén P, Calibration and validation of a large scale abrasive wear model by coupling DEM-FEM Local failure prediction from abrasive wear of tipper bodies during unloading of granular material, *Engineering Failure Analysis*, 66 (2016) 274–283.
- [13] Cozza R.C., Third abrasive wear mode: is it possible *J. Mater. Res. Tec.* 2014, 3, 19-193.
- [14] Cozza R.C., Effect of sliding distance on abrasive wear modes transition *J. Mater. Res. Technol.* 2015;4(2):144–150.
- [15] Kato K., Abrasive wear of metals, *Tribology Internetal*, Vol 30, No 5 (1997) 333-338.
- [16] Gajewska M., Dutkiewicz J., Morgiel J., Effect of reinforcement particle size on microstructure and mechanical properties of AlZnMgCu/AlN nano-composites produced using mechanical alloying, *Journal of Alloys and Compounds*, 586 (2014) S423–S427.
- [17] Yang X., Wua G.Q, Sha W., Zhang Q.Q, Huang Z., Numerical study of the effects of reinforcement/matrix interphase on stress–strain behavior of YAl₂ particle reinforced MgLiAl composites, *Composites: Part A* 43 (2012) 363–369.
- [18] Kök M., Özdin K., Wear resistance of aluminium alloy and its composites reinforced by Al₂O₃ particles, *Journal of Materials Processing Technology* 183 (2007) 301–309.

- [19] Prabhu T.R., Processing and properties evaluation of functionally continuous graded 7075 Al alloy/SiC composites Archives of civil and mechanical engineering 17 (2017) 20-31
- [20] Diler E.A. Ipek R., Main and interaction effects of matrix particle size, reinforcement particle size and volume fraction on wear characteristics of Al-SiCp composites using central composite design, Composites: Part B 50 (2013) 371–380.
- [21] Uematsu Y, Tokaji K., Kawamura M. Fatigue behaviour of SiC-particulate-reinforced aluminium alloy composites with different particle sizes at elevated temperatures Composites Science and Technology, Volume 68, Issue 13, October 2008, Pages 2785–2791.
- [22] Wang Z., Song M., Sun C., He Y., Effects of particle size and distribution on the mechanical properties of SiC reinforced Al-Cu alloy composites, Materials Science and Engineering: A Volume 528, Issue 3, 25 January 2011, Pages 1131–1137.
- [23] Nan C.W., Clarke D.R., The influence of particle size and particle fracture on the elastic/plastic deformation of metal matrix composites, Acta Materialia V 44- 9, Sep. 1996, Pages 3801-3811.
- [24] Liang YN, Ma ZY, Li SZ, Li S, Bi J. Effect of particle size on wear behaviour of SiC particulate-reinforced aluminum alloy composites. J Mater Sci Lett 1995;14:114–6.
- [25] Alpas AT, Zhang J. Effect of microstructure (particulate size and volume fraction) and counterface material on the sliding wear resistance of particulate-reinforced aluminum matrix composites. Metall Mater Trans A, 1994;25:969–83.
- [26] Kumar S., Sarma V.S., Murty B.S., Influence of in situ formed TiB₂ particles on the abrasive wear behaviour of Al-4Cu alloy Materials Science and Engineering A, 465 (2007) 160–164.
- [27] Tjong S.C., Lau K.C., Abrasive wear behavior of TiB₂ particle-reinforced copper matrix composites Materials Science and Engineering A282 (2000) 183–186.
- [28] Yue H.Y., Wang B., Gao X., Zhang S.LLin., X.Y., Yao L.H., Guo E.J., Effect of interfacial modifying on the microstructures, mechanical properties and abrasive wear properties of aluminum borate whiskers reinforced 6061Al composite, Journal of Alloys and Compo. ,692(2017)395-402.
- [29] Dişbudak T., Şensoy S., 7075 Alüminyum Alaşımının Tornalamasında Kesme Parametrelerini Yüzey Pürüzlülüğüne Etkilerinin Analizi, Jour. of Eng. and Tech. Sciences (2014/1), 13-17.
- [30] Singh M., Mondal D.P., Jha A.K., Das S., Yegneswaran A.H. 2001. Preparation and properties of cast aluminium allo-sillimanite particle composite, Composites: Part A, 32, 787-795.