



## FUSED SİLİKA TAKVİYE EDİLMİŞ ALÜMİNYUM ALAŞIMI KOMPOZİTLERİN ABRASİF VE ADHASİF AŞINMA DAVRANIŞININ ARAŞTIRILMASI

Ferhat GÜL\*

Gazi Ün. Teknoloji Fak. Metalurji ve Malzeme Müh. Böl. Beşevler-ANKARA

| Anahtar Kelimeler  | Özet   |
|--|--|
| <i>Fused Silika,<br/>Vakum İnfiltrasyon,<br/>Kompozit,<br/>Aşınma,<br/>Mg.</i> | Bu çalışmada, vakum infiltrasyon yöntemi ile üretilen fused silika takviye edilmiş Al-10Si kompozitlerin abrasif ve adhasif aşınma davranışları araştırılmıştır. Abrasif aşınma testleri, 60, 100, 220, 400, 500, 800, 1000 ve 1200 numaralı Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> zımparalar ile, 10, 20 ve 30 N yükler altında, 0.2 m/s kayma hızında disk üzerinde pim aşınma cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Adhasif aşınma testleri ise 20, 40 ve 60 N yük, 1 m/s kayma hızı ve 1800 m kayma mesafesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İnfiltrasyon yönteminde, matriks malzemesi olarak Al10Si ve Al10Si+%5 Mg alaşımları kullanılmıştır. Al10Si alaşımına % 5 Mg ilavesinin, 60 Mesh zımpara ve 20-30 N yük şartlarında, matriksin aşınma kaybının artırdığı, ancak kompozitlerinin aşınma kaybını azalttığı tespit edilmiştir. Deneysel abrasif aşınma sonuçlarının analiz edilmesi için minitab V16 istatistiksel analiz programı kullanılmıştır. İstatistiksel analiz sonuçları, abrasif aşınma testlerinde en etkin parametrelerin uygulanan yük ve aşındırıcı boyutu olduğunu göstermektedir. |

## INVESTIGATION OF THE ABRASIVE AND ADHESIVE WEAR BEHAVIOR OF ALUMINUM ALLOY COMPOSITES REINFORCED BY FUSED SILICA

| Keywords   | Abstract  |
|--|---|
| <i>Fused Silika,<br/>Vacuum Infiltration,<br/>Composite,<br/>Wear,<br/>Mg.</i> | In this study, abrasive and adhesive wear behaviors of fused silica particle reinforced Al10Si composites produced by vacuum infiltration method were investigated. Abrasive wear tests were carried out under the normal loads of 10, 20 and 30 N, 0.2 m/s sliding speed against to 60, 100, 220, 400, 500, 800, 1000 and 1200 grades abrasive Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> papers using a pin-on-disc type apparatus. Adhesive wear tests were performed using applied loads of 20, 40 and 60 N, sliding speed of 1 m/s and sliding distance of 1800 m. In the infiltration process, Al10Si and Al10Si+%5 Mg alloys were used as the matrix materials. It was found that the addition of 5% Mg into Al10Si alloy increased the wear loss of matrix materials at the test condition under 60 Mesh abrasive paper and 20-30N, but decreased the wear loss of their composites. Minitab V16 statistical analysis program was used for analyzing of experimental abrasive wear results. Statistical analysis results showed that the most effective parameters in the wear tests were applied load and abrasive size. |

### Alıntı / Cite

Gül, F. (2017). Investigation Of The Abrasive And Adhesive Wear Behavior Of Aluminum Alloy Composites Reinforced By Fused Silica, *Journal of Engineering Sciences and Design*, 5(1), 337-350.

### 1. Giriş

Geleneksel malzemeler ile kıyaslandığı zaman, yüksek özgül modül ve mukavemete, gelişmiş termal, sürünme, aşınma ve korozyon direncine, iyi yüksek sıcaklık kararlılığına, iyi özgül ısı kapasitesi ve ısıl iletkenliğe sahip, yüksek performanslı, çevreye dost olan metal matriks kompozit malzemeler, ileri

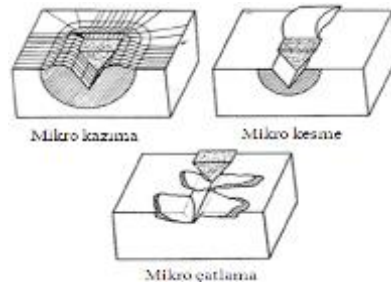
malzeme grubu olarak sınıflandırılmaktadır (Kumar vd. 2006, Umale vd. 2013, Ubeyli vd. 2008, Muthukrishnan vd. 2011, Ghosh vd. 2015, Çiftçi 2009, Zhan vd. 2004, Salih vd. 2012, Uzkut vd. 2013, Patel vd. 2015, Naravade vd. 2014, Sayuti vd. 2012). Bu malzemelerde matriks, takviye ve matriks/takviye arayüzeyi olmak üzere üç ana kısım bulunmaktadır (Ubeyli 2008). Metal matriks kompozit malzemelerde

\* İlgili yazar/Corresponding author: [fgul@gazi.edu.tr](mailto:fgul@gazi.edu.tr), +90 312 202 88 01

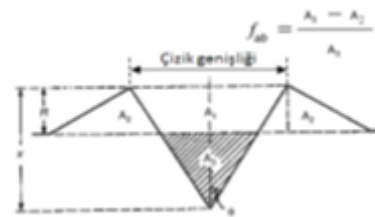
takviyeler partikül, whiskers veya sürekli fiberler şeklinde kullanılabilir (Ubeyli vd. 2008, Ghosh vd. 2015). Matriks ve takviye malzemenin hacim oranları kadar, bu elemanların fiziksel ve mekanik özellikleri, metal matriks kompozit malzemelerin özelliklerini belirlemektedir.

Nihai olarak elde edilen bu kompozit malzeme, kompoziti oluşturan her bir malzemenin kendi başına sahip olamayacağı özellikler sergilemektedir (Ubeyli vd. 2008, Zhan vd. 2004). Elektrik, mekanik ve hatta kimyasal gibi bu farklı özellik kombinasyonları, farklı tip bu takviye malzemeler kullanılarak başarılabılır (Rajmohan vd. 2013). Bu amaçla SiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiC, TiB<sub>2</sub>, grafit, uçucu kül, SiO<sub>2</sub>, lal taşı, SiCrFe ve CrFeC vb. takviye malzemeler kullanılmaktadır (Kumar vd. 2006, Umale vd. 2013, Verma vd. 2015, Liv vd. 2013, Sujan vd. 2012, Swamy vd. 2011, Reddy and Zitoun 2010, Yi-qi and Jung-il 2011). Metal matriks kompozitler, matriksin yüksek süneklik ve tokluk ve takviyenin ise yüksek mukavemet ve modül özelliklerini bir araya getirmektedir (Salih vd. 2012). Metal matriks kompozit malzemelere artan talep, özellikle otomotiv ve havacılık endüstrisindeki birçok uygulamalarda geleneksel malzemelerin yerini almaktadır (Kumar vd. 2006, Muthukrishnan and Davim 2011, Çiftçi 2009, Uzkut 2013, Naravade and Belkar 2014, Verma vd. 2015, Bansal and Saini 2015, Kök 2008, Mangino and Pitarresi, Dariusz vd. 2015). Döküm alüminyum matriks kompozitler, takviye edilmemiş alaşımlar ile kıyaslandığı zaman, daha yüksek özgül mukavemet ve modüle ve daha iyi aşınma direncine sahip bulunmaktadır (Attar vd. 2015). Son zamanlarda sert takviyeler nedeniyle, alaşımlar ile kıyaslandığı zaman, üstün özelliklere sahip olan alüminyum metal matriks kompozit malzemeler yaygın olarak kullanılmaktadır (Çiftçi 2009, Yi-qi and Jung-il 2011, Singh vd. 2015). Metal matriks kompozit malzemelerin üretiminde, porozite, zayıf ıslatabilirlik, uygun olmayan parçacık dağılımı gibi problemler bulunmaktadır (Singh vd. 2015, Jayashere vd. 2013). Sıvı metal tarafından seramik malzemenin ıslatılması, bir yüzey kimyası ve yüzey gerilimi problemidir. Her hangi bir kirlilik veya oksidasyonu içeren partikül yüzey kimyası, sıvı yüzeyi ve oksit katmanı dikkate alınmalıdır. Islatabilirliği geliştirmek için katının yüzey enerjisinin geliştirilmesi, sıvı matriks alaşımının yüzey enerjisinin azaltılması ve partikül-matriks ara yüzey enerjisinin azaltılması gibi yöntemler uygulanmaktadır (Jayashere vd. 2013). Bir katının sıvı tarafından ıslatılabilirliği, metal matriks kompozit malzemelerin sıvı metal yöntemi ile üretiminde önemli olmaktadır. Başarılı bir teknik kullanılarak seramiklerin kaplanması, arayüzey bağlarını geliştirmekte ve seramik ve sıvı metal arasında ıslatabilirliği arttırmaktadır. Xu ve arkadaşları tarafından alümina malzeme üzerine yapılan Zirkonyum (Zr) kaplama ile seramik malzemenin ıslatabilirliğinin arttığı ve 160 nm'den 670 nm'ye artan Zr kalınlığı ile ıslatabilirliğin geliştiği belirlenmiştir (Esmailly vd. 2016). İbrahim ve

arkadaşları tarafından üretilen kompozit malzeme çalışma sonuçları, matriksde titanyumun bulunmasının B<sub>4</sub>C takviyelerinin ıslatılmasını geliştirdiğini ve bunların matrikse yapışmasını arttırdığını ortaya koymaktadır (İbrahim vd. 2015). Öte yandan Esmaily ve arkadaşlarının Mg/SiC kompozit malzeme üretim çalışmalarında, SiC'ün 1100° C'de 45 dakika süreyle oksitlenmesi, arzu edilmeyen intermetaliklerin ve Al karbürlerin daha az şekilde oluşmasına neden olacak şekilde yüzeyde SiO<sub>2</sub> oluşturulmuştur (Esmailly vd. 2016). Metal matriks kompozitlerin kalitesi, matriks ile takviye arasındaki bağ yapısına bağlı bulunmaktadır ve tüm yapı içerisinde bu takviyelerin homojen dağılımı aynı zamanda önemlidir (Gawdzinska vd. 2016). Kompozit malzemelerin aşınmasında, geleneksel malzemelerde rastlanan aşınma mekanizmaları (Şekil 1) dışında, ayrıca takviye matriks arayüzey bağının zayıflığından dolayı parçacık ayrılmasına da rastlanmaktadır (Salvo vd. 2014, Candan vd. 2001). Öte yandan tanımlanan ilişkiye göre abrasif aşınma faktörü Şekil 2'de gösterilmiştir (Pintaude). Bu durum, şekildeki A2 alanlarının toplamı, A3 alanına eşit olduğu zaman, kesme olayı meydana gelmeden doğrudan kazıma meydana gelmesini ifade etmektedir. Şekilde A3 hacmi, kesme işlemi neticesi meydana hacim kaybı iken, A2 ise, tarlada yapılan saban işlemi sırasında toprağın sürülerek yanlarda yükselti oluşturması sonucu meydana gelen hacmi ifade etmektedir. Genel olarak gerçek uygulamada oranları değişmekle birlikte matriks malzemelerde, mikro kesme, mikro kazıma veya çatlama mekanizması ile abrasif aşınma meydana gelebilmektedir. Bunun dışında kompozit malzemelerde bunlara ilave olarak, matriks/takviye arayüzey bağının zayıf olduğu veya arada porozitenin bulunduğu kompozitlerde nispeten çatlama ile birlikte takviyenin matriksten ayrılarak kopması durumu meydana gelebilmektedir (Candan vd. 2001).



Şekil 1. Abrasif aşınmada meydana gelen aşınma mekanizmaları (Salvo vd. 2014).



Şekil 2. Abrasif aşınma faktörü tanımı (Pintaude)

Kompozit malzemelerde yaygın abrasif aşınma mekanizmalarına, yapılan deneysel çalışmalarda sıklıkla rastlanmaktadır. Bunlar kompozitin aşınma karakteristiği üzerinde belirleyici olmaktadır.

Varyans analizinde, ikiden fazla örnek için  $\bar{X}$ 'lerin genel ortalama  $\bar{X}$ 'dan sapmalarının kareler toplamını, bu sapsmalara sebep olan unsurlar itibariyle kısımlara ayırmak ve analiz etmek amaçlanmaktadır (yunus.hacettepe). Bağımsız değişkende çok sayıda grup bulunuyor ise ANOVA kullanılmaktadır. ANOVA, bağımsız değişkenlerin kendi aralarında nasıl bir etkileşime girdiklerini ve bu etkileşimlerin bağımlı değişken üzerindeki etkilerini analiz etmek amacıyla kullanılmaktadır (deu.edu.tr). Varyans analizinde, incelenen tüm değişkenlerin aldıkları değerlerin toplanıp, incelenen değişken sayısına bölünmesiyle genel ortalama elde edilmektedir. İncelenen grupların ayrı ayrı ortalaması bulunarak grup ortalaması hesaplanmaktadır. İncelenen bütün değişkenlerin aldıkları değerlerin, genel ortalamaya göre farklarının kareleri toplanarak, genel kareler toplamı elde edilmektedir. Her grubun ortalamasının, genel ortalamaya göre farklarının kareleri toplanarak, gruplar arası kareler toplamı elde edilir. Her bir değişkenin, içinde bulunduğu grubun ortalamasına göre farklarının kareleri toplanarak grup içi kareler toplamı elde edilir (safagurcan.org). Varyans analizi için Taguchi, Spss ve Minitab gibi programlar kullanılmaktadır (Tanyıldızı ve Coşkun).

Adhasif aşınma, malzemelerin birbirine göre nispi hareketi sırasında temas yüzeylerinin bölgesel olarak bağlanması nedeniyle oluşan kütle transferidir (Deuis and Subramanian 1997). Radhika ve arkadaşlarının farklı ağırlık oranlarında alümina ve ağırlıkça % 3 grafit takviyeli Al10SiMg kompozit malzemede, minimum aşınma oranı % 5,49 alümina oranında, 1500 m kayma mesafesinde ve 33 N yük altında elde edilmiştir (Radhika vd. 2015). Sıvı metalurji yöntemi ile üretilmiş ve yaşlandırma ısıl işlemi uygulanmış LM 25/AlB<sub>2</sub> kompozitlerin adhasif aşınma davranışı üzerinde yapılan Taguchi istatistiksel analiz çalışmasında, kayma hızının % 56, yükün % 23 ve kayma mesafesinin ise % 6 oranında etkili olduğu belirlenmiştir. En düşük aşınma için kayma hızının 3 m/s, yükün 10 N ve kayma mesafesinin 1200 m olduğu belirlenmiştir (Arunagiri and Radhika 2016). Naplocha ve Kaczmar tarafından Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> saffil ve grafit takviyeli 2024 ve 7075 kompozit malzemelerin farklı yükler altında ve küresel grafitli dökme demir karşılık malzeme üzerinde yapmış oldukları çalışmada, artan fiber içeriği ile aşınma direncinin azaldığı ve karşılık malzemeye transfer olan fiber parçacıklarının kompozitin yoğun abrasif aşınmasına neden olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca ilave edilen grafit fiberlerin kompozitin mukavemetini arttırdığı ve aşınma direncini geliştirdiği belirlenmiştir (Naplocha and Kaczmar 2016). Bansal ve Saini tarafından yapılan SiC ve grafit takviyeli 356 alaşımında ise SiC takviye ilavesi ile kompozit sertliğinin arttığı, SiC ve grafit

ilavesi ile maksimum çekme ve aşınma dayanımının arttığı, sünekliğini ise azaldığı belirlenmiştir. Bununla beraber aşınmanın, kayma hızı ve kayma mesafesine bağlı olarak değişim gösterdiği tespit edilmiştir. 1,5 m/s kayma hızı ve 2000 m kayma mesafesine kadar artan yükte SiC takviyeli kompozitin aşınması azalırken, bu değerlerin ve artan yük ile bu kompozitin aşınma kaybı artmış ve SiC+grafit takviyeli kompozit daha düşük adhasif aşınma kaybı sergilemiştir. Bu durum ilave edilen grafitin yağlayıcı olarak görev yapmasına dayandırılmıştır (Bansal and Saini 2015).

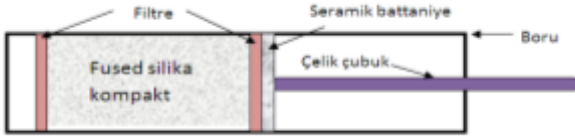
Bu çalışmanın amacı, Al10Si/fused silika kompozit malzemelerin abrasif ve adhasif davranışlarının belirlenmesi ve abrasif aşınma testinde kullanılan zımpara parçacık boyutu ve uygulanan yükün matriks ve kompozitin abrasif aşınma direnci üzerine etkisinin istatistiksel olarak belirlenmesidir.

## 2. Deneysel Çalışmalar

### 2.1. Kompozit Numunelerin Hazırlanması

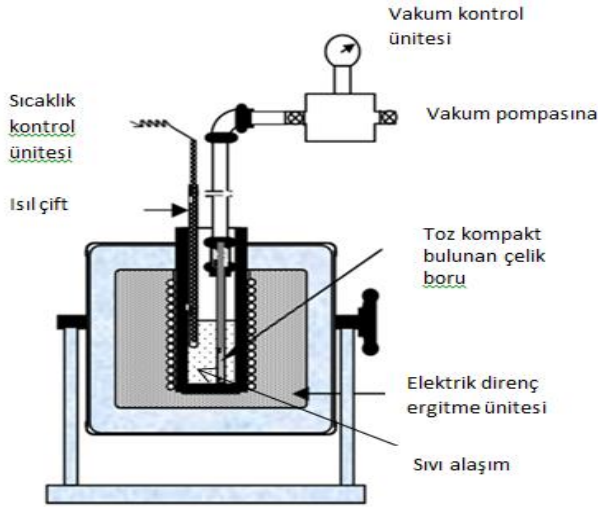
10 mm dış çapında, 8 mm iç çapında 200 mm uzunluğunda çelik borular, infiltrasyon işlemi için kullanılmıştır. Takviye parçacıklarının dökülmesini önlemek için çelik boruların alt kısmı, alüminyum folyo ile kaplanmış, paslanmaz çelik süzgeç yerleştirilerek kapatılmıştır. Alt ucu kapatılmış boru içerisine 50 mm yükseklik oluşturacak miktarda 180 µm boyutunda, fused silika parçacıkları tartılarak doldurulmuştur. Fused silika parçacıklarının homojen bir şekilde sıkıştırılmasını sağlamak amacıyla, vibrasyon cihazına dikey olarak yerleştirilip, tozların üst kısmına 55 gr ağırlığında çelik çubuklar yerleştirilerek 3 dk. süresince sabit şiddette vibrasyon uygulanmıştır. Vibrasyonun tamamlanmasından sonra, boru içerisinde 50 mm uzunluğunda sıkışmış toz kompaktlar elde edilmiştir. İnfiltrasyon sırasında takviye tozlarının vakum ünitesi içerisine emilmesini önlemek için takviye tozun üstüne çelik süzgeç, alümina battaniyeden oluşan filtre yerleştirilmiştir. İnfiltrasyon sürecinde filtreyi sabitlemek amacıyla borunun ve filtrenin üst kısmına 6 mm çapında 55 gr ağırlığında çelik çubuk yerleştirilerek, Şekil 3'te şematik olarak görüldüğü gibi kompaktlar hazır hale getirilmiştir. Hazırlanan kompaktlar ile kompozit üretiminde, Şekil 4'de gösterilen vakum infiltrasyon ünitesi kullanılmıştır. Vakum infiltrasyon ünitesi; alüminyum alaşımının ergitildiği elektrik direnç ergitme ünitesi, ergitme ünitesinin sıcaklığının kontrol edilmesini temin eden sıcaklık kontrol sistemi, infiltrasyon gerçekleştirildiği ve takviye kompakt tozunun bulunduğu çelik boru, vakum değerinin kontrolünün sağlandığı infiltrasyon kontrol ünitesi ve vakum pompasından meydana gelmektedir. İnfiltrasyon işleminde, elektrik direnç ergitme ünitesinde, kimyasal bileşimi Tablo 1'de verilen 3,5 kg. ağırlığında ticari Etial 171 Al-Si alaşımı ergitilmiştir. Sıvı metal sıcaklığı, infiltrasyon sıcaklığı olan 800 °C'ye ulaştırıldığında kompakt tozların bulunduğu çelik boru,

sıvı metal içerisine daldırılmıştır. Borunun sıvı metal içerisine daldırması ile birlikte vakum işlemi ve vakum süresi başlatılmıştır. Belirlenen vakum değeri 3 dk. uygulanarak infiltrasyon işlemi gerçekleştirilmiş ve sistem ventili ve vakum pompası kapatılarak, boru sıvı metal içerisinden çıkartılarak infiltrasyon işlemi tamamlanmıştır. Fused silika takviye edilmiş Al10Si alaşımı kompozit üretimi sırasında infiltrasyon işleminde Al10Si matriks malzeme ve Al10Si5Mg matriks malzeme, Al10Si/fused silika (180 µm) ve



Şekil 3. Kompozit üretimi için hazırlanan kompakt

Al10Si5Mg/fused silika(180 µm) takviye edilmiş kompozit olmak üzere dört farklı numune elde edilmiştir. Sıvı alaşıma Mg ilave işlemi, %5 Mg ilavesinden sonra sıvı sıcaklığının yükselmesi ve homojenliğinin sağlanması amacıyla yaklaşık 10 dk bekletilmiştir. Numunelerin üretiminde kullanılan deney şartları Tablo 2’de gösterilmektedir.



Şekil 4. Vakum infiltrasyon ünitesinin şematik olarak gösterilmesi

Tablo 1. Kullanılan Al10Si alaşımının kimyasal bileşimi

| Si    | Fe   | Cu   | Mn    | Mg    | Al    |
|-------|------|------|-------|-------|-------|
| 9.42  | 0.38 | 0.05 | 0.431 | 0.36  | kalan |
| Cr    | Ni   | Zn   | Ti    | Pb    |       |
| 0.015 | 0.04 | 0.06 | 0.10  | 0.011 |       |

Tablo 2. Vakum infiltrasyon yöntemi ile üretilen numunelerin deney şartları

| Numune | Takviye -         | Alaşım      | Vakum |
|--------|-------------------|-------------|-------|
| 1) M1  | -                 | Al10Si      | 200   |
| 2) M2  | -                 | Al10Si+5 Mg | 200   |
| 3) C1  | Fused silika -180 | Al10Si      | 500   |
| 4) C2  | Fused silika -180 | Al10Si+5 Mg | 500   |

## 2.2. Metalografik İnceleme

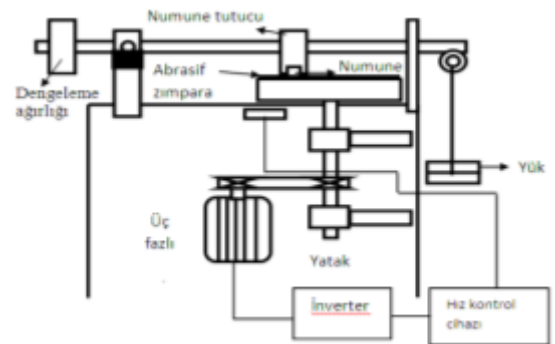
Metalografik inceleme için, infiltrasyonda kullanılan çelik boruların uç kısmından kesilen numuneler epoksi reçine ile soğuk gömme işlemine tabi tutulmuştur. Numunelere standart polisaj işlemleri uygulanarak metalografi numuneleri hazırlanmıştır. Matriks yapının incelenmesi için Soif marka mikroskop ve dağlama işlemi için % 0,5 HF içeren dağlayıcı kullanılmıştır. Hazırlanan numuneler optik mikroskopta incelenerek, mikroyapı fotoğrafları farklı büyütme oranlarında bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Uygulanan aşınma testinden sonra, aşınma yüzeylerinin incelenmesi için Leica marka M205 C model stereo mikroskop kullanılmıştır.

## 2.3. Sertlik Testi

Matriks ve kompozit malzemelerin sertlik değerlerinin tespit edilmesi için numunelerin yüzeyleri 1200 Mesh zımpara ile zımparalanmış ve 5 Kg yük altında Vickers sertlik testi uygulanmış, her numune için 5 sertlik testi yapıp bunların ortalamaları alınmıştır.

## 2.4. Abrasif ve Adhasif Aşınma Testleri

Abrasif aşınma testinde, vakum infiltrasyon yöntemi ile üretilen numunelerden 6,25 mm çapında tornalanarak elde edilen numuneler kullanılmıştır. Abrasif aşınma testleri, 60, 100, 220, 400, 500, 800, 1000 ve 1200 Mesh numaralı Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> zımparalar ile, 10, 20 ve 30 N yükler altında, 0,2 m/s kayma hızında ve 25 m kayma mesafesinde, Şekil 5’te şematik olarak gösterilen disk üzerinde pim aşınma test cihazında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5. Disk üzerinde pim aşınma test cihazının şematik olarak gösterilmesi

Aşınma testi sırasında, numunenin sürekli zımparanın aşınmamış yüzeyi ile temas etmesini sağlamak için numune, ilerleme hızı kontrol edilebilen özel mekanizmaya sahip bir sistem ile, her tam dönüşte bir numune çapı kadar kaydırılmıştır. Aşınma testi sonrasında, aşınma numunesi alkol ile temizlenerek 0,1 mg hassasiyete sahip hassas terazi ile tartılmıştır. Adhasif aşınma testlerinde ise 20, 40 ve 60 N yük, 1 m/s kayma hızı, 1800 m kayma mesafesi, karşılık diski olarak 62 Rc sertliğe sahip, suverilmiş temperlenmiş AISI 52100 rulman çeliği kullanılmıştır. Aşınma testi her numune için üç defa tekrarlanarak ortalama ağırlık kaybı değerleri elde edilmiştir.

## 2.5. İstatistiksel Analiz Deney Tasarımı

Aşınma parametreleri, numuneye uygulanan işlem, uygulanan yük ve zımpara boyutu olarak seçilmiştir. Fused silika takviye edilmiş alüminyum kompozit malzemenin abrasif aşınma testlerinde kullanılan değişkenler ile bunları seviyeleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Abrasif aşınma testinin istatistiksel analizde kullanılan değişkenler ve seviyeleri

| Değişkenler | Numune no (N) | Uygulanan yük, Newton, (Y) | Aşındırıcı zımpara boyutu, Mesh (Z) |
|-------------|---------------|----------------------------|-------------------------------------|
| Seviye      |               |                            |                                     |
| Seviye 1    | 1             | 10                         | 1200                                |
| Seviye 2    | 2             | 20                         | 1000                                |
| Seviye 3    | 3             | 30                         | 800                                 |
| Seviye 4    | 4             | -                          | 500                                 |
| Seviye 5    | -             | -                          | 400                                 |
| Seviye 6    | -             | -                          | 220                                 |
| Seviye 7    | -             | -                          | 100                                 |
| Seviye 8    | -             | -                          | 60                                  |

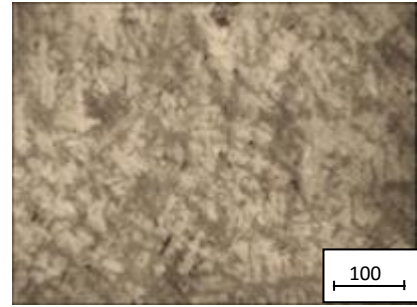
Deneysel olarak elde edilmiş olan abrasif aşınma değerlerinden, istatistiksel analiz için aşınma parametrelerinin, aşınma kaybı üzerindeki etkilerini tespit etmek için varyans analizi kullanılmıştır. Bu çalışmalarda % 95 güven aralığı düzeyi esas alınmıştır.

## 3. Deney Sonuçları ve Tartışma

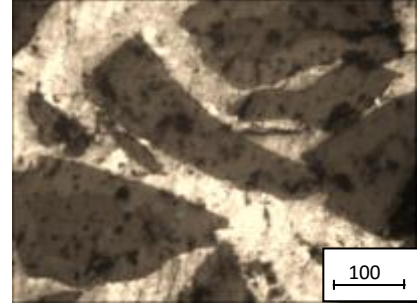
### 3.1. Mikroyapısal İnceleme ve Sertlik Sonuçları

Vakum infiltrasyon yöntemi ile üretilen Al10Si/fused silika ve Al10Si5Mg/fused silika kompozitler ve bu malzemelerin matriks mikroyapıları Şekil 6'da görülmektedir. Matriks mikroyapısı incelendiğinde, yapının primer  $\alpha$ -Al ve  $\alpha$ -Al+Si'den oluşan ötektikten meydana geldiği ve yapının ince olmadığı ve ötektik silisyumların nispeten kaba şekilde dağıldığı Şekil 6 (a)'da dikkat çekmektedir. Söz konusu matriks ve kompozit malzemelerin üretim sürecinde soğuma hızının değişimine neden olacak farklı bir soğutma

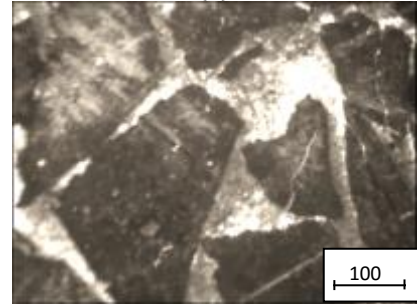
işleminde özellikle kaçınılmıştır. Kompozit malzemelerin mikroyapısından, takviye dağılımının homojen olduğu ve ayrıca takviye matriks arayüzeyinin yüksek büyütmelemlerde incelenmesinde, matriks/takviye arasında ıslatabilirliğin yeterli olduğu, matriks sıvının takviyeler arasındaki kanallara rahatlıkla ilerleyebildiği, belirgin bir gözenekliliğin bulunmadığı, ancak her iki grup kompozitte de takviyelerde çatlamanın meydana geldiği ve bu çatlaklar içerisine sıvı alaşımın nüfus ettiği görülmektedir. Bunun sebebi takviye olarak kullanılan fused silikanın çok saf olmasından dolayı, ısıl şok hassasiyetinin fazla olması nedeniyle infiltrasyon işlemi için borunun daldırılması sırasında, ani ısınmanın bir sonucu meydana gelen ısıl şok çatlakları olabileceği tahmin edilmektedir.



(a)



(b)

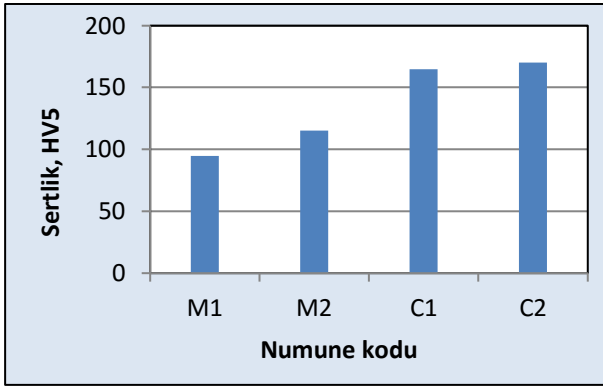


(c)

Şekil 6. a) Al10Si(M1), X150, b) Al-10Si/fused silika kompozit(C1) X150 c) Al-10Si5 Mg/fused silika kompozitinin (C2) X 150, mikroyapısı

Ayrıca ilave edilen takviye parçacıkların aşırı derecede köşeli ve sivri uçlu olduğu dikkat çekmektedir. Bu keskin köşeliliğin kompozitlerin bazı özelliklerine olumlu ve olumsuz etkilerinin bulunabileceği düşünülmektedir. Özellikle çekme

şartlarında kullanılması durumunda bu takviye formunun zararlı olabileceği dikkate alınarak, bu durumda bu malzemenin öğütülerek keskin köşelerin ortadan kaldırılması temin edilebilecektir. Daha önce Acılar ve Gül tarafından SiC takviyeli kompozitler üzerine yapılan çalışmalarda (Acılar ve Gül, 2002, Acılar ve Gül, 2003), sıvıya Mg ilavesi yapılmadan infiltrasyonun gerçekleşmesi mümkün olamamış veya üretilebilen kompozitlerde ise sıvıya Mg ilavesi ile özelliklerin geliştiği belirlenmiştir. Şekil 7'de görülen sertlik grafiği incelendiğinde, matriks malzemenin en düşük sertliği sahip olduğu, bu matriks malzemeye ilave edilen Mg ile sertliğin yaklaşık % 17 oranında arttığı, daha sonra Mg içermeyen matrikse fused silika ilavesi ile bu artışın % 75'e yükseldiği, Mg içeren matrikse fused silika ilavesi ile bu artışın % 80'e çıktığı görülmektedir. Söz konusu sertlikteki artışların oldukça önemli derecede olduğu görülmektedir.

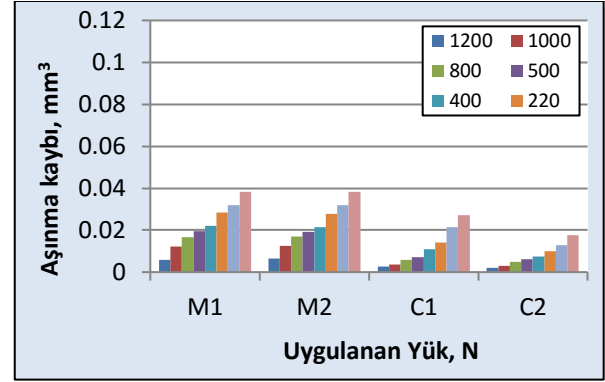


Şekil 7. Matriks ve kompozit malzemelerin sertliği

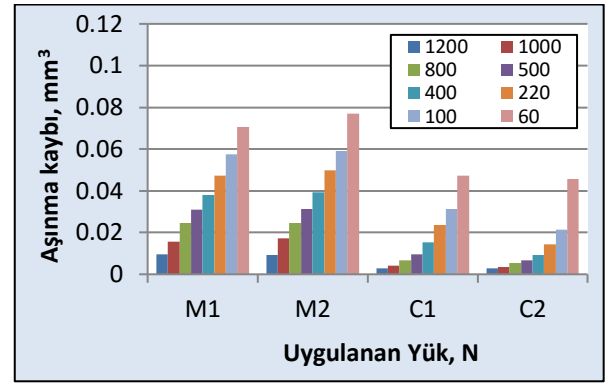
### 3.2. Abrasif Aşınma Testi Sonuçları

Şekil 8'de matriks ve kompozit malzemelerin farklı yükler altında sergilediği aşınma kayıpları gösterilmektedir. Matriks ve kompozit malzemelerde yük ve aşındırıcı parçacık boyutu artarken, aşınma kaybının arttığı görülmektedir. Özellikle kompozitlerde aşırı yük ile birlikte aşındırıcı parçacık boyutunun artması, ciddi oranda aşınmanın artmasına neden olmaktadır. Özellikle Mg içeren matrikse sahip fused silika takviye edilmiş kompozit malzemenin, düşük aşındırıcı boyutlarında oldukça aşınmaya yüksek direnç gösterdiği görülmektedir. Öte yandan artan aşındırıcı boyutu ile birlikte aşınma oranı artmakla beraber, bu kompozit malzeme yine de Mg içermeyen kompozit ve Mg içeren ve içermeyen matriks alaşımlarına kıyasla önemli derecede yüksek aşınma direnci sergilemektedir. Şekil 8.(b ve c)'de görüldüğü gibi Mg içeren matriks ise 60 Mesh, 20 ve 30 N yükler altında en yüksek aşınma sergilemektedir. Singh ve arkadaşlarının (Singh vd. 2001) sıvı karıştırma tekniği ile ağırlıkça % 10 oranında 70-230 µm boyutunda silimanit parçacıkları ilave ettiği ve 57 HV sertliğe sahip LM6 alaşımının, kompozit olarak sertliği 85 HV değerine ulaşmış, karışım kuralına göre 107 HV sertlik beklenirken, teorik değerden % 20

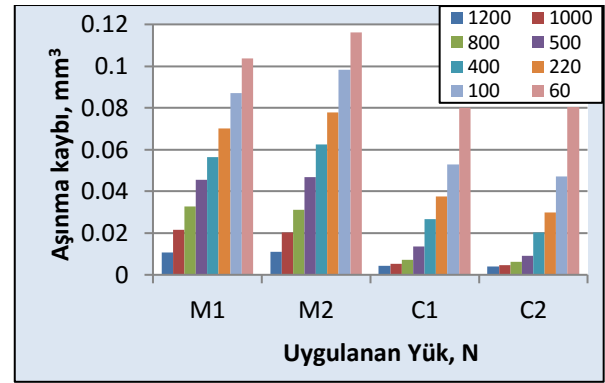
daha düşük sertlik elde edilmiştir. Öte yandan Modi ve arkadaşları (Modi vd. 2001) tarafından vortex metodu ile üretilen Zn-Al matrisli ağırlıkça % 10 alumina içeren kompozit malzemede yapmış oldukları düşük gerilmeli adı verilen üç gövdeli aşınma testlerinde, en yüksek aşınma SiC aşındırıcıda, daha sonra kum aşındırıcıda, en düşük aşınma ise zirkon aşındırıcıda meydana gelmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 8. a) 10 N, b) 20 N ve c) 30 N yükler ve farklı zımparalar altında aşındırılan matriks Al10Si(M1), matriks Al10Si5Mg(M2) ve Al10Si/Fused silika(C1) ve Al10Si5Mg/fused silika(C2) kompozitlerin aşınma oranlarının değişimi

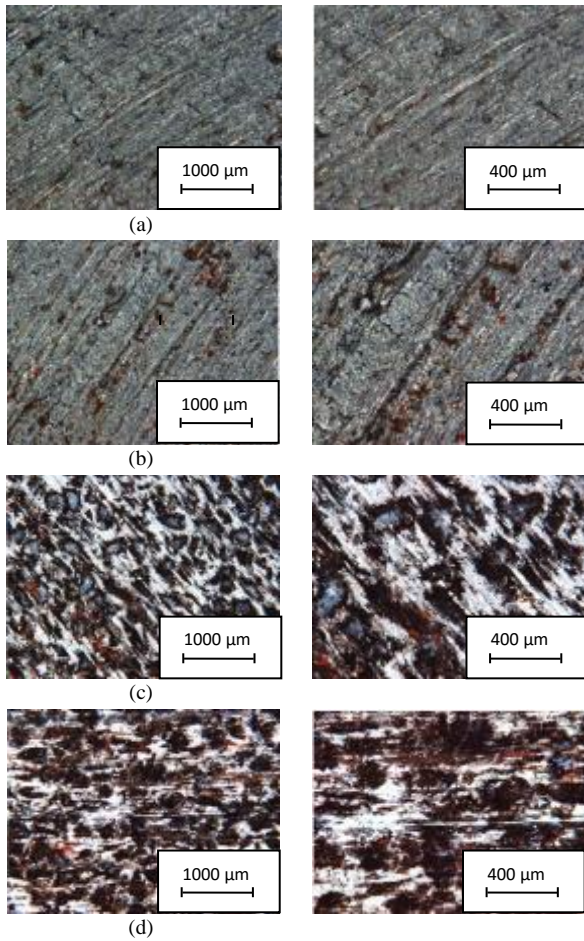
Ayrıca kayma mesafesi ile aşınmanın düşmesi, aşınma etkin deformasyonun artması nedeniyle yüzeyaltı bölgenin işlem sertleşmesinin açık bir göstergesi olduğu ifade edilmektedir. Araştırmacılar yüzey altı sertlik çalışmasında, etkilenmeyen bölgedeki sertliği 115 HV olan malzemenin, yüzey altı sertliğini 140 HV olarak tespit etmişlerdir. Genel olarak artan malzeme sertliği ile aşınma direncinin arttığı bilinmektedir. Bu artış her zaman doğrusal bir şekilde gerçekleşmeyebilir. Sertlikte çok ciddi artış meydana gelirken, aşınma direnci yavaş artış gösterebilir. Burada kompozit hazırlamada kullanılan takviye malzeme olan fused silikanın aşındırıcı alüminadan daha yumuşak olduğu bilinmektedir. Ayrıca diğer kompozitlerde olduğu gibi ince aşındırıcı parçacık boyutu kullanılarak yapılan aşınma testlerinde kompozit malzemeler matriks malzemelere göre oldukça yüksek aşınma direnci gösterdiği, ancak aşındırıcı parçacık boyutu aşırı arttığı zaman kompozit malzemenin matriksten daha kötü aşınma direnci sergileyebileceği bilinmektedir. Singh ve arkadaşları (Singh vd. 2002) ve Modi ve arkadaşları (Modi 2001) yapmış oldukları çalışmada, ince aşındırıcı boyutunda kompozitin, matrikse göre çok yüksek aşınma direncine sahip olduğunu, ancak artan aşındırıcı boyutu ile kompozitin aşınma direncinin matrikse yaklaştığı veya bazı durumlarda kompozitin daha yüksek aşınma gösterdiğini ortaya koymuşlardır. Bu aşındırıcı boyutundaki artış ile bazı şartlarda iri takviye içeren kompozitlerde daha fazla aşınmanın meydana geldiği, Candan ve arkadaşlarının çalışmalarında tespit edilmiştir. Bu araştırmacıların basınçlı infiltrasyon tekniği ile ürettikleri Al/SiC parçacık takviyeli kompozitlerde, 13 µm ve 37 µm boyutunda takviyelerden 150 µm aşındırıcı boyutuna kadar iri takviye boyutuna sahip kompozitin aşınma direnci yüksek iken, daha iri aşındırıcı kullanımı durumunda ise ince takviye boyutuna sahip kompozitin daha yüksek aşınma direnci gösterdiği belirlenmiştir. Nispeten kaba aşındırıcı kullanılarak yapılan çalışmada, iri takviye malzemenin kırılmasının kompozitin abrasif aşınma direncini azalttığı ifade edilmektedir (Candan vd. 2001).

Şekil 9 (a) ve (b)'de görüldüğü gibi Mg içermeyen matrikse kıyasla % 5 Mg içeren matriksde, daha derin ve geniş bölgesel çukurlar dikkat çekmektedir. Bu yüksek yük şartlarında iri aşındırıcı parçacıkların da etkisi ile bazı fazların sertleşme veya başka nedenlerden dolayı yerinden çıkabileceği, bu şekilde aşınmaya direncinin azaldığı ve bölgesel ayrılmalar nedeniyle aşınmanın arttığı düşünülmektedir. Öte yandan Mg içeren matriksde artan sertlik nedeniyle, kazımanın kısmen ortan kalkarak, mikrokemesinin baskın aşınma mekanizması haline geldiği düşünülmektedir. Bu durum Şekil 2'de A3 alanının artıp, A2 alanlarının azalması ile izah edilebilir. Bu malzemenin aşınma yüzeyi incelendiğinde, aşırı derecede çatlakların ve yüzey pürüzlüğünün olduğu dikkat çekmektedir. Yüzeyler incelendiğinde gerek matriks ve gerekse kompozit malzemelerde sürekli

çiziklerin olduğu ve bu aşınma kanallarının derinlik ve genişliğinin kompozit malzemelerde azaldığı görülmektedir. Kaushik ve arkadaşlarının Al-SiC-grafit kompozit üzerinde yapmış oldukları çalışmada (Kaushik and Rao, 2016) matriks ve kompozit malzemelerde sürekli aşınma çizgilerinin bulunduğu, ancak kompozit malzemedeki kanalların daha az derin olduğu ve bu çiziklerin daha ince ve daha düz olduğu ifade edilmektedir. Bunun sebebi de kompozit malzemedeki daha az miktarda meydana gelen mikrokazıma mekanizması ile aşınmaya dayandırılmaktadır. Öte yandan Canakçı ve arkadaşlarının B<sub>4</sub>C takviyeli kompozit malzemeler üzerinde yapmış olduğu çalışmada, aşınma açısından daha iri takviyeli kompozitin, ince takviyeli kompozitlerden daha etkili olduğu ifade edilmektedir (Çanakçı ve Arslan 2012). Zımpara malzemesi olarak kullanılan alüminanın, fused silikadan daha sert olmasına rağmen, hazırlanan kompozit malzemelerdeki takviye malzemelerin iri olması nedeniyle, kompozit malzemeler matriks malzemelerden daha az aşınma sergilemişlerdir. Öte yandan Şekil 9 (c) ile (d) kıyaslandığı zaman, Mg içermeyen matriksli kompozitin aşınma yüzeyinin daha pürüzlü olduğu ve netice itibarı ile kısmen kazıma mekanizması ile birlikte takviyelerin matriksten ayrılarak boşluklarının kaldığı, Mg içeren matriksli kompozitte de mikro kesme mekanizmasının nispeten baskın olduğu anlaşılmaktadır. Bunun yanında aşınma verileri de incelendiğinde, 60 Mesh zımpara hariç, tüm zımpara şartlarında aşınma kaybının en fazla Mg içermeyen matriksde, daha sonra Mg içeren matriksde, daha sonra Mg içermeyen kompozitte ve en az aşınmanın ise Mg içeren kompozitte meydana geldiği anlaşılmaktadır. 1200 Mesh zımpara üzerinde yükün 10 N'dan 30 N'a yükselmesi ile Mg içermeyen ve içeren matrikslerde (M1 ve M2) ve kompozit malzemelerde (C1 ve C2) aşınma kaybında sırasıyla 1.8, 1.66, 1.66, 1.94 kat artış gerçekleşmiştir.

Aynı durum 500 Mesh zımparada ise sırasıyla 2.34, 2.45, 1.90, 1.43 kat oranında aşınma kaybında artış meydana gelmiştir. 60 Mesh zımparada ise sırası ile yükün bu artışı, aşınma kaybında 2.7, 3.03, 2.94, 4.55 kat artış meydana getirmiştir. Ancak yine 10 N yük altında kompozitlerdeki aşınma kaybının çok düşük olmasından dolayı, bu artışa rağmen kompozit malzemelerin aşınma kayıpları, matriks malzemelere göre oldukça düşük kalmaktadır. Şöyleki örneğin Mg içermeyen matriks ve kompozit malzeme kıyaslandığında, 60 Mesh zımpara ve 30 N yük altında kompozit malzeme % 29 daha düşük aşınma kaybı sergilerken, Mg içeren matrikse göre, Mg içeren kompozit ise % 53.9 daha düşük aşınma kaybı sergilemektedir. Söz konusu değerlere ince zımpara boyutlarında bakıldığında, 400 Mesh zımpara ve 30 N yük altında Mg içermeyen kompozit malzeme, matrikse göre % 76, Mg içeren kompozit malzeme, sözkonusu matrikse göre ise % 84 oranında daha düşük aşınma kaybı sergilemektedir. Öte yandan Mg

içeren matriks ile Mg içeren kompozit kıyaslandığı zaman, bu kompozitin aşınma kaybının % 67 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Aynı matrisden yapılan kompozitin aşınması durumunda, gelen yükü takviye malzemelerin taşıyabilmesi nedeniyle aşınma direnci sergilediği anlaşılmaktadır. Bu durumun takviye yüzeyinden aşınma gerçekleştiği ve zaman zaman da aşındırıcı alümina parçacıklarının zımpara kağıdından koparak, aşınma atıklarına karıştığı veya kompozit malzemeye battığı görülmüştür. Netice olarak Mg içerikli kompozitte matriks ve takviye arasındaki güçlü bağ yapısı sayesinde takviye, matriks içerisinde tutunmakta ve matriks ve takviyeden meydana gelen mikroklesme mekanizması ile meydana gelen aşınma bu kompozitin düşük aşınma sergilemesini temin etmiştir.



Şekil 9. 30 N yük ve 60 Mesh zımpara üzerinde aşındırılan a) M1 ve b) M2 matriksin, c) (C1), d) C2 kompozitin, 30 N yük ve 1200 Mesh zımpara üzerinde aşındırılan e) M1 ve f) M2 matriksin, g) (C1), h) C2 kompozitin aşınma yüzeyleri,

Abrasif etki ile aşınma, bir partikül ile katı malzeme arasında temas sonucu meydana gelen aşınma şeklidir. Yüzey üzerinden geçen sert parçacığın etkisiyle aşınma meydana gelmektedir. Abrasif aşınma, aşınmanın hızlı ve aşırı formu olup, şayet dikkatli kontrol edilmez ise, önemli maliyetlere neden olmaktadır (Kovarikova vd. 2009). Dolayısıyla abrasif aşınma, yükün etkisiyle matriks ve takviye ile

aşındırıcının etkileşimi sonucu meydana gelen dinamik bir olaydır.

### 3.2. Abrasif Aşınma Testi Minitab İstatistiksel Analiz Sonuçları

Değişkenlerin, abrasif aşınma kaybı üzerinde etki seviyelerini tayin etmek için gerçekleştirilen varyans analizi sonuçları, serbest değişkenlerin yalnız başına aşınmaya etkileri açısından Tablo 4-6'da toplu etkileri ise Tablo 7 ve 8'de verilmiştir. Bu tablolardaki DF ifadeleri serbestlik derecelerini, SS ifadeleri kareler toplamını, MS ifadeleri ortalama kare, R-Sq(adj) belirleme katsayısını, F anlamlılık değerini, P anlamlılığını açıklamaktadır. Program içerisinde kullanılan N ifadesi numuneyi, Y ifadesi aşınmada uygulanan yükü, Z ise kullanılan zımpara boyutunu ve A ise aşınma ağırlık kaybı değerini ifade etmektedir.

Abrasif aşınmada kullanılan numuneler uygulanan işlemlerin etkilerinin incelendiği Tablo 4'de numune faktörünün, aşınma üzerinde istatistiksel olarak anlamlı olduğu anlaşılmaktadır. Gerçekleştirilen varyans analizine göre malzeme veya işlem faktörüne göre belirleme katsayısının % 17,26 olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 4. Tek yönlü ANOVA analizinde numune faktörü için aşınma kaybı değişkeni

| Source | DF | SS     | MS    | F    | P     |
|--------|----|--------|-------|------|-------|
| Numune | 3  | 86274  | 28758 | 7,60 | 0,000 |
| Hata   | 92 | 347955 | 3782  |      |       |
| Toplam | 95 | 434229 |       |      |       |

S = 61,50 R-Sq = 19,87% R-Sq(adj) = 17,26%

Bunun nedeni bu deney tasarımında uygulanan yük ve zımpara boyutu parametrelerinin aşınma kaybında etkili olmaları sebebiyledir. Öte yandan Tablo 5 incelendiğinde uygulanan yük faktörünün ise istatistiksel açıdan anlamlı olduğu tespit edilmiştir. Yapılan varyans analizine göre belirleme katsayısı, uygulanan yük faktörü için işlem faktörüne göre daha düşük bulunmuş olup, bu faktör tek başına aşınmadaki değişkenliğin % 14,55'ini açıklamaktadır.

Tablo 5. Tek yönlü ANOVA analizinde yük faktörü için aşınma kaybı değişkeni

| Source | DF | SS     | MS    | F    | P     |
|--------|----|--------|-------|------|-------|
| Numune | 2  | 71001  | 35500 | 9,09 | 0,000 |
| Hata   | 93 | 363228 | 3906  |      |       |
| Toplam | 95 | 434229 |       |      |       |

S = 62,50 R-Sq=16,35% R-Sq(adj) = 14,55%



Tablo 6'da elde edilen sonuçlar incelendiğinde zımpara boyutu faktörünün ise istatistiksel açıdan yine anlamlı olduğu tespit edilmiştir. Yapılan varyans analizine göre belirleme katsayısı, zımpara boyutu faktörünün diğer faktörlere göre en yüksek olarak elde edilmiş olup, bu faktör tek başına aşınmadaki değişkenliğin % 43,15'ini açıklamaktadır. Tablo 7'deki varyans çözümlemesine göre numune, yük ve zımpara parametrelerinin modelde anlamlı bulunmuştur. Hesaplanan F değerine bakıldığında yük değişkeninin model için anlamlılığının daha yüksek olduğu söylenebilir. Model için belirleme katsayısı % 81,18 bulunmuştur. Bu sonuç, deneyde F değişkenini böyle bir modelle açıklanabileceğini gösterir.

Tablo 6. Tek yönlü ANOVA analizinde zımpara faktörü için aşınma kaybı değişkeni

| Source                                     | DF | SS     | MS    | F     | P     |
|--|----|--------|-------|-------|-------|
| Zımpara                                    | 7  | 205557 | 29365 | 11,30 | 0,000 |
| Hata                                       | 88 | 228672 | 2599  |       |       |
| Toplam                                     | 95 | 434229 |       |       |       |
| S = 50,98 R-Sq = 47,34% R-Sq(adj) = 43,15% |    |        |       |       |       |

Tablo 7. Tek yönlü ANOVA analizinde numune, yük ve zımpara faktörleri için aşınma kaybı değişkeni

| Source                                       | DF | Seq SS | Adj SS | Adj MS | F     | P    |
|--|----|--------|--------|--------|-------|------|
| Numune                                       | 3  | 86274  | 86274  | 28758  | 33,43 | 0,00 |
| Zımpara                                      | 7  | 20557  | 20557  | 29365  | 34,14 | 0,00 |
| Yük  | 2  | 71001  | 71001  | 35500  | 41,27 | 0,00 |
| Hata   | 83 | 71397  | 71397  | 860    |       |      |
| Toplam                                       | 95 | 434229 |        |        |       |      |
| S = 29,3293 R-Sq = 83,56% R-Sq(adj) = 81,18% |    |        |        |        |       |      |

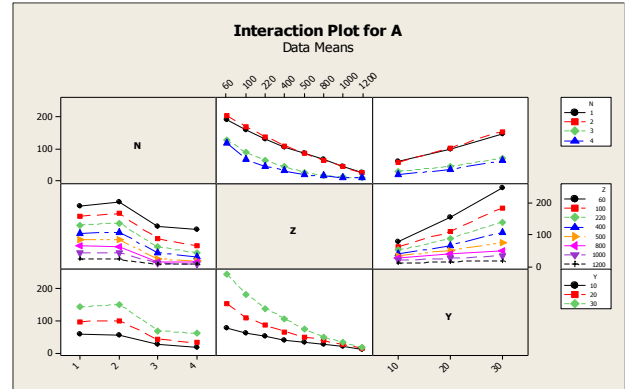
Üç faktörlü deney tasarımına göre yapılan varyans analizinde aşağıda verilen bulgular elde edilmiştir. Varyans analizinde faktör düzeylerinin yanıt değişkeni üzerinde etkili olduğu kararı verildikten sonra, farklılığın kaynağı olan grupların tespit edilmesi için çeşitli yöntemler vardır. Bu çalışmada faktör düzeylerine göre aşınma değişkenindeki farklılıklar ortaya konmuştur. Tabloya göre numune, yük ve zımpara faktörlerinin her üç düzeyine göre de aşınmanın ortalamaları birbirinden farklılık göstermektedir. Öte yandan Z\*N, Z\*Y ve Y\*N değişkenleri modelde anlamlı bulunmuştur. Elde edilen F değerine incelendiğinde yük değişkeninin model için anlamlılığının daha yüksek olduğu ifade edilebilir. Varyans analizi tablosu incelendiğinde A üzerinde en fazla etkiye sahip faktörün yük faktörü olduğu görülmektedir.

Varyans analizine göre modelin belirleme katsayısı % 98,41 olarak bulunmuştur. Buna göre A'daki değişkenliğin % 98,41'i üç faktörlü model aracılığıyla

Tablo 8. Tek yönlü ANOVA analizinde numune, yük ve zımpara faktörleri ile zımpara\*numune, zımpara\*yük ve yük\*numune faktörleri için aşınma kaybı değişkeni

| Source                                       | D F | Seq SS  | Adj SS  | Adj MS | F     | P    |
|--|-----|---------|---------|--------|-------|------|
| Numune                                       | 3   | 86274,1 | 86274,1 | 28758, | 396,6 | 0,00 |
| Zımpara                                      | 7   | 205556, | 205556, | 29365, | 404,9 | 0,00 |
| Yük  | 2   | 71000,9 | 71000,9 | 35500, | 489,6 | 0,00 |
| N*Z  | 21  | 13226,0 | 13226,0 | 629,8  | 8,69  | 0,00 |
| Z*Y  | 14  | 45429,1 | 45429,1 | 3244,9 | 44,75 | 0,00 |
| N*Y  | 6   | 9696,9  | 9696,9  | 1616,1 | 22,29 | 0,00 |
| Hata   | 42  | 3045,3  | 3045,3  | 72,5   |       |      |
| Toplam                                       | 95  | 434229, |         |        |       |      |
| S = 8,51516 R-Sq = 99,30% R-Sq(adj) = 98,41% |     |         |         |        |       |      |

bu değişkenler tarafından açıklanmaktadır. Bu sonuç, deneyde F değişkenini böyle bir modelle açıklanabileceğini gösterir. Şekil 10'da ise tek yönlü Anova analizinde numune, yük ve zımpara faktörlerinin aşınma kaybı değişkenine göre ortalama değerleri verilmiştir. Buna göre numune, yük ve zımpara faktörlerinin her üç düzeyinde aşınmanın ortalamaları birbirinden farklılık göstermektedir.

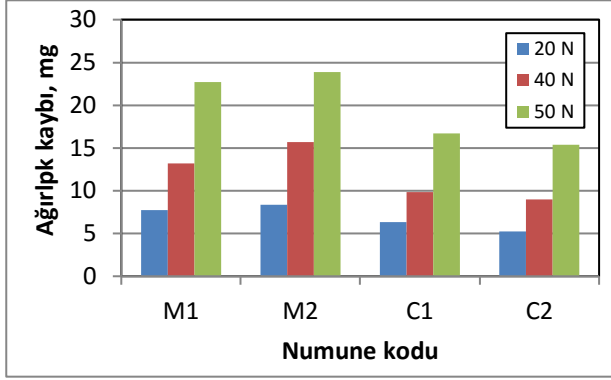


Şekil 10. Tek yönlü ANOVA analizinde numune, yük ve zımpara faktörlerinin aşınma kaybı değişkenine göre ortalama değerleri

### 3.3. Adhasif Aşınma Sonuçları

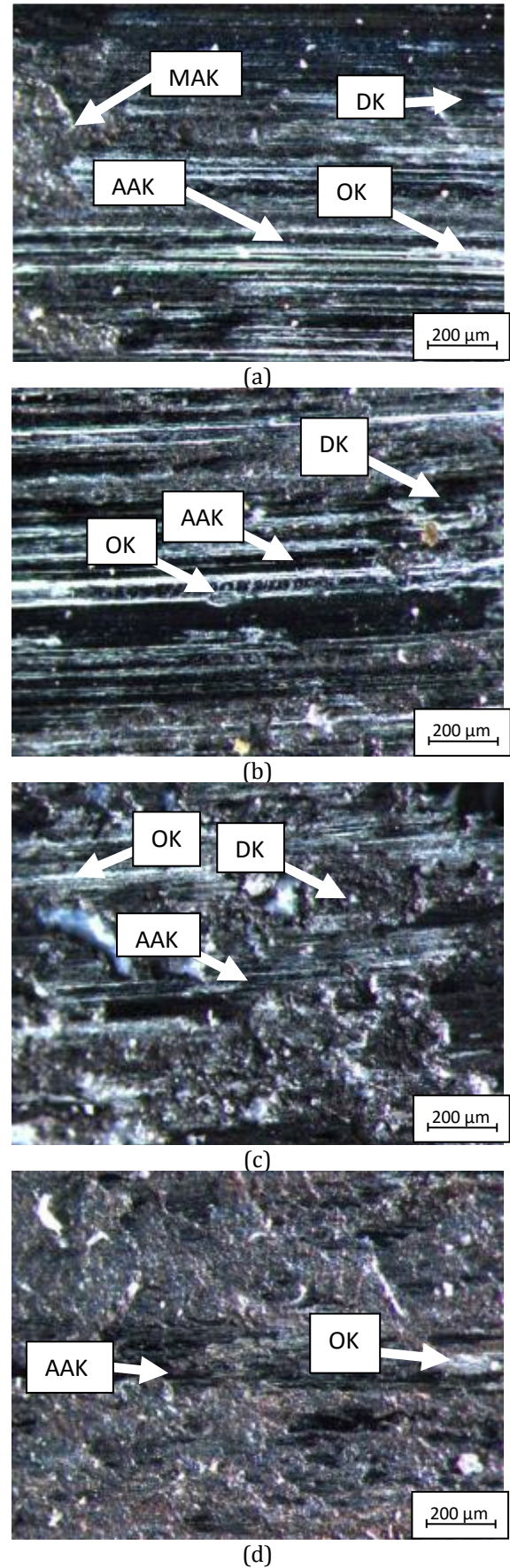
Adhasif aşınma testi sonucu elde edilen aşınma kayıpları Şekil 11'de verilmiştir. Buna göre en düşük aşınma kaybının sırası ile C2 kompozit malzemede elde edilmiş, bunu C1 kompozit, M1 matriks ve ve M2 matriks izlemektedir.

M1, M2 matriks, C1 ve C2 kompozit malzemelerin adhasif aşınma testi sonucu elde edilmiş aşınma yüzeyleri sırasıyla Şekil 12(a-d)'de verilmiştir. Şekil 12(a)'da M1 matriks malzeme aşınma yüzeyinde görüldüğü gibi yüzeyin abrasif aşınma kanalları (AAK), kazıma bölgesi (KB), okside olmuş katman (OK), mekanik alaşımlanmış katman (MAK) ve



Şekil 11. Numunelerin adhasif aşınma kayıpları

delamina olmuş katmandan (DK) meydana geldiği görülmektedir. Benzer şekilde M2 matriks malzemede de, malzemenin sahip olduğu kısmen düşük sertlik nedeniyle yoğun deformasyon ile oluşan bir aşınmanın meydana geldiği görülmektedir. Netice olarak ortaya çıkan yoğun deformasyon sonucunda da yüzeyde meydana gelen mekanik alaşımlama sonucu oluşan katman giderek sertleşerek yüzeyden kopma göstermektedir. Söz konusu aşınma yüzeyleri 60 N gibi yüksek yük uygulamasında elde edildiği için oluşan aşınma kanallarının derin ve geniş olarak gerçekleştiği görülmektedir. Naplocha ve Kaczmar tarafından 2024 ve 7075 alaşımı/alümina saffil ve grafit fiber kompozit malzemede yapılan aşınma çalışmasında, aşınmış matriks malzeme yüzeyinde deformasyon ve aşınma kanalları gözlenmiştir. Söz konusu kanallar ve deformasyon şartları üzerinde uygulanan yük ve kayma hızının etkili olduğu belirtilmektedir (Naplocha and Kaczmar, 2011). Deuis ve arkadaşları ise çalışmalarında tribosistem ile ilgili Heilmann'ın görüşlerine yer vermişlerdir. Heilmann'a göre transfer katmanının, kuru ve yağlanmış şartlarda, aşınma atıkları oluşmadan önce meydana geldiği ve bunların aşınan ve karşılık malzemenin karışımından meydana geldiği belirtilmektedir. Öte yandan düşük yüklerde matriks malzemelerde oksitleyici aşınma Al-Si yüzeyinde ve karşılık çelik malzemede alüminyum oksit katmanı oluşmaktadır. Bu şartlarda aşınma düşük olmaktadır. İkinci durum ise yükün daha fazla arttığı ve metalik aşınmanın meydana geldiği durumdur. Bu durumda Al-Si aşınma yüzeyinde plastik deformasyon, kayma yüzeyleri arasında malzeme transferi ve aşınma atıklarının oluşumunun gerçekleştiği ifade edilmektedir (Deuis and Subramanian 1997). Soleymani ve arkadaşlarının sürtünme karıştırma işlemi uygulayarak yüzey katmanını modife ettikleri Al5083 malzeme üzerinde yaptıkları çalışmada, işlem yapılmamış malzemedeki



Şekil 12. 60 N yük altında matriks malzemelerin aşınma yüzeyi (a) M1, (b) M2 matriks, (c) C1 (d) C2 kompozit malzeme

kısmen iri tane boyutu ve düşük sertlik nedeniyle yüzeyler arasında yoğun bir yapışma ve aşınmanın meydana geldiği belirtilmektedir. Sürtünme karıştırma işlemi uygulanan malzemede ise artan sertlik ile birlikte abrasif aşınma ve delaminasyonun aktif aşınma mekanizmaları olduğu ifade edilmektedir (Soleymani vd. 2011). Bu çalışmada kullanılan matriks malzeme de içerisinde ötektik silisyum partiküllerinin bulunduğu bir kompozit niteliğindedir. Bu nedenle matriks malzeme aşınma yüzeylerinde abrasif aşınma ile birlikte, mekanik alaşımlanmış bölgelerin oluşması ve bunların katman şeklinde ayrılarak delaminasyonun meydana gelmesi ile aşınma gerçekleşmektedir. Söz konusu aşınma yüzeyleri 60 N yük altında elde edildiği için ise kısmen oksidasyon oluşmuş yüzeylere rastlanabilmektedir.

Şekil 12 (c ve d)'de görüldüğü gibi, matriks malzemelere kıyasla kompozit malzemelerde, deformasyonun ve aşınma izlerinin önemli oranda azaldığı dikkat çekmektedir. Söz konusu kompozitlerin yük taşıma kapasitesinin yeterli gelmesinden dolayı, uygulanan yüke direnç göstererek aşınma kaybında azalma temin etmiştir. Netice olarak kompozit malzeme içerisinde bulunan takviyeler sayesinde matriks fazına fazla yük taşıma görevi bırakılmadığından, aşınma hasarı düşük olmuştur. Ancak daha önce yapılan çalışmalarda özellikle düşük sertliğe sahip karşılık malzeme kullanılan çalışmalarda, karşılık diskinde de aşınmaların meydana gelebildiği ve Al-Si/SiC kompozit malzemede SiC takviye malzeme hacimsel oranı artarken, 17-4 PH paslanmaz çelik karşılık malzemede de bu aşınmanın arttığı belirlenmiştir (Deuis and Subramanian, 1997). Radhika ve arkadaşlarının % 3-9 alümina ve % 3 grafit takviyeli alüminyum kompozit malzemelerin aşınma testi sonucu, kompozit malzeme aşınma yüzeyinde, kompozit içinde bulunan takviyeler nedeniyle aşınma yüzeyinde oluşan kanallarının oldukça sığ olduğu ve aşınmanın bu sayede azaldığı belirlenmiştir (Radhika vd. 2015). Bu çalışmada yapılan tüm adhasif aşınma testlerinde 1 m/s kayma hızı ve 1800 m kayma mesafesi kullanılmıştır. Kullanılacak kayma hızı, kayma mesafesi ve uygulanan yük değerleri ile üretilen kompozitin performansına dayalı olarak baskın aşınma mekanizmaları değişim gösterebilecektir. Örneğin LM25/AlB<sub>2</sub> kompozit malzemede 10, 20, 30 ve 40 N yük, 1, 2, 3 ve 4 m/s hız, 400, 800, 1200 ve 1600 m kayma mesafeleri kullanılmasına rağmen, minimum aşınma hızı için optimum değerler, 3m/s hız, 10 N yük ve 1200 m

kayma mesafesi olarak bulunmuştur (Arunagiri and Radhika 2016).

#### 4. SONUÇLAR

- Al<sub>10</sub>Si ve Al<sub>10</sub>Si<sub>5</sub>Mg matriksli fused silika takviye edilmiş kompozitler vakum infiltrasyon tekniği kullanılarak başarılı bir şekilde üretilmiştir.
- Kompozit üretimi sırasında alaşıma Mg ilavesinin gerçekleştirilmesi, üretilen kompozitin sertliğinin ve aşınma direncinin önemli derecede artmasını temin etmiştir.
- Matriks ve kompozit malzemelerin abrasif aşınması sırasında aşınma oranı, artan zımpara boyutu ve uygulanan yük ile artma göstermektedir.
- Özellikle kompozit malzemeler, artan aşındırıcı parçacık boyutu ve yük ile sahip oldukları yüksek aşınma direnci üstünlüğünü nispeten kaybetmektedir.
- Ancak ağır abrasif aşınma şartları dışında, fused silika takviye edilmiş kompozitlerin daha iyi aşınma direnci sergilediği tespit edilmiştir.
- Minitab istatistik analiz programına kullanılarak yapılan çalışmada, en yüksek etkiye sahip olan faktörlerin uygulanan yük ve zımpara boyutu olduğu belirlenmiştir.
- Matriks malzemelerin ve kompozit malzemelerin adhasif aşınma testlerinde kompozit malzemelerin, matriks malzemelere oranla daha iyi aşınma performansı gösterdiği belirlenmiştir.
- Adhasif aşınma testinde matriks malzemelerde baskın aşınma mekanizması abrasif aşınma ve delaminasyon iken, kompozit malzemelerde abrasif aşınmanın etkili olduğu, delaminasyon ve oksidasyonun azaldığı gözlenmiştir.

#### Conflict of Interest / Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No conflict of interest was declared by the authors.

#### KAYNAKLAR

- Acılar M. ve Gül, F. 2002, Al-SiCp Kompozitlerin Vakum İnfiltrasyon Yöntemi İle Üretiminde Yöntem Değişkenlerinin İncelenmesi, 3rd International Powder Metallurgy Conference, Turkish Powder Metallurgy Association Gazi University, Ankara, Turkey, September 4-8, 958-972.
- Acılar M. ve Gül, F. 2003, Vakum İnfiltrasyon Yöntemi İle Üretilen Al-SiCp Kompozitlerde Mg İlavesi ve SiC Oksidasyonunun Etkisi, 3. Uluslararası İleri

- Teknolojiler Sempozyumu, 18-20 Ağustos Ankara, 213-227.
- Arunagiri K.S., Radhika N., 2016, Studies on Adhesive Wear Characteristics of Heat Treated Aluminium LM25/AlB<sub>2</sub> Composites Tribology in Industry Vol. 38(3), 277-285.
- Attar S. Nagaral, M., Reddappa, H. N. and Auradi V., Attar A., 2015, A Review on Particulate Reinforced Aluminum Metal Matrix Composites February Journal of Emerging Technologies and Innovative Research Volume 2(2), 224-229.
- Bansal S. and Saini J. S., 2015, Mechanical and Wear Properties of SiC/Graphite Reinforced Al359 Alloy-based Metal Matrix Composite Mechanical and Wear Properties of SiC/Graphite Reinforced Al 359 Alloy-based Metal Matrix Composite Defence Science Journal, Vol. 65(4), 330-338.
- Candan, E. Ahlatci, H. Çimenoğlu, H. 2001, Abrasive wear behaviour of Al-SiC composites produced by pressure infiltration technique, Wear 247, 133-138,
- Çanakçı A., Arslan F., 2012, Abrasive wear behaviour of B<sub>4</sub>C particle reinforced Al2024 MMCs International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Volume 63, Issue 5-8, November, 785-795.
- Çiftçi İ., Cutting 2009, Tool Wear Mechanism When Machining Particulate Reinforced MMCs, Technology 12(4), 275-282.
- Dariusz M., bek J. Chmielewski M., Wojciechowski T., 2015, The measurement of the adhesion force between ceramic particles and metal matrix in ceramic reinforced-metal matrix composites, Composites: Part A 76, 124-130.
- Deuis R.L. Subramanian C., 1997, Dry Sliding Wear Of Aluminium Composites-A Review” & J. M. Yellup Composites Science and Technology 57, 415-435.
- Esmaily, M. Mortazavi, N. Svensson, J.E. Halvarsson, M. Wess\_en, MJohansson, . L.G. Jarfors A.E.W. C., 2016, A new semi-solid casting technique for fabricating SiC-reinforced Mg alloys matrix composites Composites Part B 94, 176-189.
- Gawdzińska K., Chybowski L, Przetakiewicz W., 2016, Proper matrix-reinforcement bonding in cast metal matrix composites as a factor of their good quality, Archives of Civil and Mechanical Engineering 16, 553-563.
- Ghosh S., Sahoo P., Sutradhar G., 2015, Study of Tribological Characteristics of Al-SiC Metal Matrix Composite International Journal of Advanced Materials Research Vol. 1, No. 2, 53-58.
- Ibrahim M.F., Ammar H.R., Samuel A.M., Soliman, M.S. Samuel F.H. 2015, On the impact toughness of Al-15 vol.% B<sub>4</sub>C metal matrix composites Composites Part B 79, 83-94.
- Jayashree P .K., Gowri P.K, Shankar M.C, Kinia A., Sharma S.Sa , and Shettya R., 2013, Review on Effect of Silicon Carbide (SiC) on Stir Cast Aluminium Metal Matrix Composites, International Journal of Current Engineering and Technology, Vol.3(3), 1061-1071.
- Kaushik, N.Ch. Rao R.N., 2016, The effect of wear parameters and heat treatment on two body abrasive wear of Al-SiC-Gr hybrid composites, Tribology, International 96 184-190
- Kovarikova I., Szewczykova B., Blaskovitssp P., Hodulova E., Lechovic E., Study an Characteristic of Abrasive Wear Mechanism, doi:[http://www.mtf.stuba.sk/docs/internetovy\\_casopis/2009/1/kovarikova.pdf](http://www.mtf.stuba.sk/docs/internetovy_casopis/2009/1/kovarikova.pdf) (Güncel erişim : 22.01.2017)
- Kök M., (2008), A Study on the Machinability of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Particle Reinforced Aluminum Alloy Composite, 11 th Inorganic Bonded Fiber Composites Conference, November 5,7 Madrid, Spain, pp 272-281.
- Kumar M.P., Sadashivappa K., Prahukumar G.P, Basavarajappa S., 2006, Dry Sliding Wear Behaviour of Garnet Particles Reinforced Zinc-Aluminium Alloy Metal Matrix Composites, Materials Science, Vol. 12, No. 3. 209-213.
- Li D., Yua Y., Qinb Q.H., Zhoua X., Zoua A., Huaa X, Zhanga J., Wu W., 2013, Size Effect of SiC Particle on Microstructures and Mechanical Properties of SiCp/Al Composites Fourth International Conference on Smart Materials and Nanotechnology in Engineering, Proc. of SPIE Vol. 8793, 1-6
- Mangino E, Pitarresi G., 2007, The future use of structural composite materials in the automotive industry, International Journal of Vehicle Design 44(3-4), 1-40.
- Modi, O.P., Yadav, R.P., Prasad B.K., Jha, A.K., Das, S., Yegneswaran, A.H., 2001, Three-body abrasion of a cast zinc-aluminium alloy: influence of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dispersoid and abrasive medium, Wear 249, 792-799
- Modi, O.P., 2001, Two-body abrasion of a cast Al-Cu (2014 Al) alloy-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particle composite: influence of heat treatment and abrasion test parameters, Wear 248, 100-111.

- Muthukrishnan N., and Davim J. P., 2011, An investigation of the effect of work piece reinforcing percentage on the machinability of Al-SiC metal matrix composites, *Journal of Mechanical Engineering Research* Vol. 3.(1), 15-24.
- Naplocha K., Kaczmar J.W., 2011, Wear mechanisms of fibre reinforced composite materials based on 2024 and 7075 aluminum alloys, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, Vol 49(2), 180-187.
- Naravade R.H., Belkar R.K., 2014, Statistical Analysis of Factors Affecting the Dry Sliding Wear Behaviour of Al/SiCp on Automobile Friction Material The International Journal Of Engineering And Science (IJES) Volume 3, Issue 12, 05-13.
- Patel S.K. Nateriya R., Dixit G., 2015, Microstructural Analysis, Microhardness and Compressive Behaviour of Dual Reinforced Particles ADC-12 Alloy Composite International Journal of Engineering Technologies and Management Research A Vol.1 (Iss.1), 23-34
- Pintaude G., Characteristics of Abrasive Particles and Their Implications on Wear <http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/15604.pdf>
- Qian-Gang Xu, Li-Wei Guo, Li Zhang, Hong Liu, 2016, Wettability of zirconium-coated alumina by molten aluminum Surface & Coatings Technology 302, 150-157.
- Radhika N., Vijaykarthik K.T., Shivaram P., 2015, Adhesive Wear Behaviour Of Aluminium Hybrid Metal Matrix Composites Using Genetic Algorithm, *Journal of Engineering Science and Technology* Vol. 10(3), 258-268.
- Rajmohan T., . Palanikumar K., Ranganathan S., 2013, Evaluation of mechanical and wear properties of hybrid aluminium matrix composites *Trans. Nonferrous Met. Soc. China* 23, 2509-2517
- Reddy A.C and Zitoun E., 2010, Matrix Al-alloys for silicon carbide particle reinforced metal matrix composites, *Indian Journal of Science and Technology* Vol. 3(12), 1184-1187.
- Salih A.İ., Hammed M.G, Ibrahim, M.I., 2012, Studying the dry sliding wear behavior of Al-4%Cu/ SiC Metal Matrix Composite with heat treatment, *Tikrit Journal of Pure Science* 17(4), 138-143.
- Salvo E. S., Ribero L.A., Burgos M.C., Nascimento C., Ito E.N, 2014, Rheological and mechanical characterization of poly (methyl methacrylate)/silica (PMMA/SiO<sub>2</sub>) composites, *Mat. Res.* vol.17(4), 926-932.
- Sayuti M., Sulaiman S., Vijayaram T.R., Baharudin B.T.H.T and Arifin M.K.A. 2012, Manufacturing and Properties of Quartz (SiO<sub>2</sub>) Particulate Reinforced Al-11.8%Si Matrix Composites, Chapter 18, *Composites and Their Properties*, materials Science, Composite Materials, "Composites and Their Properties" book edited : August 22, 411-436.
- <http://www.safagurcan.org/doktora/varyansanalizi.doc> (Güncel erişim:22.01.2017)
- Singh G., Goyal K., Goyal D.K., 2015, Fabrication and Investigation of Mechanical Properties of Al-flyash-SiC Composites *Universal Journal of Mechanical Engineering* 3(5), 173-184.
- Singh, M., Mondal, D.P., Jha, A.K., Das, S., Yegneswaran, A.H., 2001, Preparation and properties of cast aluminium alloy-sillimanite particle composite Composites: Part A 32, 787-795.
- Singh, M., Mondal, D.P., Modi, O.P., Jha, A.K., 2002, Two-body abrasive wear behaviour of aluminium alloy-sillimanite particle reinforced composite, *Wear* 253, 357-368
- Soleymani S., Abdollah-zadeh A., Alidokht S.A., 2011, Tribological Properties of Surface Layer of an Al Alloy by Friction Stir Processing, *Journal of Surface Engineered Materials and Advanced Technology*, 1, 95-100
- Sujan, D., Oo Z., Rahman M. E., Maleque M. A., Tan C. K., 2012, Physio-mechanical Properties of Aluminium Metal Matrix Composites Reinforced with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and SiC *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Chemical, Molecular, Nuclear, Materials and Metallurgical Engineering* Vol:6(8) 678-681.
- Swamy A. R. K., Ramesha A., Kumar G.B. V, Prakash J. N., 2011, Effect of Particulate Reinforcements on the Mechanical Properties of Al6061-WC and Al6061-Gr MMCs, *Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering*, Vol. 10(12), 1141-1152.
- Tanyıldızı H, Coşkun A., 2013, Varyans (ANOVA) analizi yöntemi ile silis dumanı katkılı hafif betonun mekanik özelliklerine deney parametrelerinin etkilerinin belirlenmesi", *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 29(3), 227-233.
- Umale T., Singh A., Reddy Y., Khatitkrar R. K., Spate S. G., 2013, Abrasive Wear Behaviour of Copper-SiC and Copper-SiC and Copper-SiO<sub>2</sub> Composites *International Conference on Ceramics*, Bikaner,

India International Journal of Modern Physics:  
Conference Series Vol. 22, 416-423.

Ubeyli M., Acır A., Karaka, M. S., Demir T., 2008, On the Surface Roughness of Al-4 % Cu/B<sub>4</sub>C Metal Matrix Composites Machined by Milling Operation, Science and Engineering of Composite Materials 15, 131-139.

Uzku M., 2013, Abrasive Wear Behaviour of SiCp-Reinforced 2011 Al-Alloys Composites Materials and technology 47 (5), 635-638.

Varyans Analizi (ANOVA), Kovaryans Analizi (ANCOVA), Faktöriyel ANOVA, Çoklu Varyans Analizi (MANOVA)  
Doi:[http://yunus.hacettepe.edu.tr/~tonta/course\\_s/fall2007/sb5002/sb5002-10-varyans-analizi.pdf](http://yunus.hacettepe.edu.tr/~tonta/course_s/fall2007/sb5002/sb5002-10-varyans-analizi.pdf) (Güncel erişim:22.01.2017)

Verma A.S, Sumankant, N. Mohan Yashpald S. 2015, Corrosion Behavior of Aluminum base Particulate Metal Matrix Composites: A review, 4th International Conference on Materials Processing and Characterization, Materials Today: Proceedings, Volume 2, Issues 4-5, 2840-2851  
[http://www.deu.edu.tr/userweb/s.ucdogruk/ISTATI\\_STIKII/VARYANS\\_ANALIZI\\_30.05.2013.PPT](http://www.deu.edu.tr/userweb/s.ucdogruk/ISTATI_STIKII/VARYANS_ANALIZI_30.05.2013.PPT)  
(Güncel erişim:22.01.2017)

Yi-qi W., Jung-il S., 2011, Dry sliding wear behavior of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> fiber and SiC particle reinforced aluminium based MMCs fabricated by squeeze casting method, Trans. Nonferrous Met. Soc. China 21, 1441-1448

Zhan Y., Zhang G. and Zhuang Y., 2004, Wear Transitions in Particulate Reinforced Copper Matrix Composites Materials Transactions, Vol. 45, No. 7, 2332-2338.