

TM METODU İLE ÜRETİLEN Al_2O_3 -TAKVİYELİ ALUMİNYUM ESASLI KOMPOZİTLERİN AŞINMA DAVRANIŞI İÇİN İSTATİSTİKSEL MODEL OLUŞTURULMASI

Yusuf ŞAHİN¹, K. Emre ÖKSÜZ²

¹ysahin@gazi.edu.tr Gazi Üniversitesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, Besevler, 06500 Ankara
²kerimemreoksuz@gmail.com Cumhuriyet Üniversitesi, Malzeme&Metalurji Mühendisliği Bölümü,
Sivas

ÖZET

Bu çalışmada; TM metodu ile %0, %10 ve %20 Al_2O_3 içerikli mikro-boyutlu Alüminyum bazlı kompozit malzemeler (MMKs) üretilmiş ve bu kompozitlerin kuru şartlarda aşınma davranışları için istatistik bir model geliştirilmiştir. Bu modelde; kayma hızı, yük ve kayma mesafesi gibi parametreler dikkate alınarak malzeme kaybına etkileri incelenmiştir. Deneysel tasarım ve Taguchi metodu da kısaca özetlenmiştir. Deney sonuçları;MMK'ün ağırlık kaybı Al_2O_3 parçacık oranıyla az oranda düşerken kayıp yükün artışıyla da artış göstermiştir. Ayrıca, Al ve 10wt.% Al_2O_3 içerikli MMK'lerde yükün etkili olduğunu 20wt.% Al_2O_3 içerikli MMK'lerde ise kayma hızının daha baskın etken olduğunu göstermiştir. Ayrıca, bu bulunan ortalama değerler ANOVA tarafında desteklenmiştir.

Anahtar kelimeler: Alüminyum, Al_2O_3 parçacığı, Toz metalürji, Kompozit, Yük, Aşınma

ABSTRACT

In this work, the metal matrix composites (MMCs) containing 0, 10, 20 wt. % Al_2O_3 particles with sizes of 26 μm and its pure Al matrix were produced using powder metallurgy (PM) method. The produced samples will be sintered in a tube type of sintering furnace at 610°C temperature and a statistical model was developed in terms of speed, load and sliding distance for the dry wear behaviour under different conditions against smooth hardened steel. Experimental design and Taguchi method were also described shortly. It was found that weight loss of the MMCs decreased slightly with increasing weight fraction of Al_2O_3 particles and increased with increasing load. Moreover, the load was found to be effective for the standard mean values for pure Al and 10wt.% Al_2O_3 particle-reinforced MMC's, but sliding speed was found for the 20wt.% Al_2O_3 particle-reinforced MMC's. Furthermore, these results were also confirmed by analysis of variance (ANOVA).

Key Words: Pure Aluminium, Al_2O_3 , Powder metallurgy, Composites, Wear, Yük

1. GİRİŞ

Günlük yaşamımızı kolaylaştıracak üstün özelliklere sahip ve ekonomik malzeme arayışı genellikle malzeme bilimciler tarafından devam etmektedir. Bu yöndeki çalışmalar neticesinde kullanılan metal, seramik ve polimer esaslı malzemelerin özellikleri iyileştirilerek kompozit malzemeler insanlığın faydasına sunulmaktadır. Kompozit malzeme denildiğinde; iki ya da daha fazla sayıdaki aynı veya farklı gruptaki malzemenin en iyi özelliklerini, yeni ve tek bir malzemede toplamak amacı

ile makro düzeyde birleştirilmesiyle oluşturulan malzemeler olarak tarif edilir [1]. Bir kompozit malzeme bünyesinde; çekirdek olarak adlandırılan takviye elemanı ve bunun etrafını çevreleyen matris malzemesi bulunmaktadır. Takviye elemanının temel fonksiyonu; gelen yükü taşımak, matrisin rijitlik ve dayanımını arttırmaktır [2]. Buradaki mekanik ve fiziksel özellikleri elde etmede uygun matris-takviye elemanı seçimi büyük rol oynar. Yükün, matristen takviye elemanına iletilmesi, ara yüzey bağı vasıtasıyla gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle, matris ile takviye elemanı arasındaki ara yüzey bağının güçlü olması gerekmektedir. Ara yüzey bağının güçlü olması da çiftlerin uyumuna ve matrisin ıslatabilirlik özelliğinin iyi olmasına bağlıdır [3]. Ayrıca takviye elemanının matris içerisine homojen olarak dağılabilmesi, üretim tekniğinin yanında matris-takviye elemanı çiftinin seçimine bağlıdır. Parçacık takviyeli metal kompozitler (MMK), whisker veya fiber metal matris kompozitlere göre, izotropik mekanik özellikler gösteren ve daha ucuz olan malzemelerdir. MMK'ler; yüksek sıcaklıkta mukavemet, boyutsal kararlılık, hafiflik gibi özelliklerin önemli olduğu alanlarda, en kuvvetli aday durumundadır. Bu nedenle, havacılık sektörü yanında otomotiv endüstrisi ve diğer alanlarda da yüksek mukavemet, sertlikle birlikte düşük yoğunluk ve iyi aşınma direnci sağladıklarından dolayı kullanılmaktadır [4, 5]. Diğer yandan, parçacık boyutu ve matris tane boyutunun düşmesiyle daha yüksek mekanik özelliklerin elde edildiği son yıllar yapılan çalışmalarda rapor edilmiştir [6,7,8]. Çünkü daha küçük parçacık olması, içten kristal hataların daha düşük olması demektir. Bu da kırılmanın daha güç olacağını ifade eder.

Son yıllarda Toz Metalürjisi (TM) alanında gelişmelere paralel olarak MMK malzemelerde büyük ilerlemeler kaydedilmiştir. Özellikle otomotiv, havacılık ve denizcilik alanlarında sürekli olarak daha hafif ve dayanıklı malzemelere olan ihtiyaç bu talebin artmasına neden olmuştur. Buna karşılık maliyetlerinin yüksek olması ve üretim zorlukları açısından bu malzemelerin kullanımları da sınırlı kalmaktadır. Toz metalürjisi yöntemiyle üretilmiş malzemelerin birçoğunu diğer geleneksel metotlarla üretmek hemen hemen imkansız ya da çok güçtür. Alüminyum bazlı kompozit malzemelerin üretimi ve karakterizasyonu ile ilgili çok sayıda çalışmanın mevcut olduğu ancak TM yönteminde sinterleme sıcaklığı ve süresiyle ilgili daha az sayıda çalışmanın mevcut olduğu görülmektedir [9,10,11]. TM yöntemi, metal veya seramik tozların şekillendirilip sinterlenmesi metoduyla makine parçası üretme teknolojisidir. Birçok alaşımın TM yöntemiyle üretimi mümkün olduğu gibi kompozit malzemelerin de üretimi mümkündür [12,13]. MMK'lerde, iyi aşınma direnci, dayanım ve yüksek sıcaklık gerektiren yerlerde kullanılabilir. Döküm yöntemiyle elde edilen MMK'lerde üretim şartlarına bağlı olarak farklı boyut ve oranlarda yığılma ve arayüzey reaksiyonu gözlenmektedir [14]. TM yöntemi ise seramik tozlar hem daha üniform olarak dağılım göstermekte hemde mukavemet özellikleri iyileşmektedir [1].

Bu çalışmada; saf Alüminyum ve bu matris ile yaklaşık %10wt.ve %20wt. Al_2O_3 parçacıklarla TM yöntemiyle takviye edilerek mikro-bazlı kompozitler TM metodu ile üretilmiştir. Ayrıca, üretilen bu kompozitlerin aşınma davranışı için istatistiksel bir model geliştirilmiştir.

2. Deneysel Tasarım

Bir deneyin tasarlanması, basit olarak deneyde izlenecek sıra (yol) olarak tanımlanır. Uygulamada çoğu kez deneyi yapan kişi, verileri toplamada ve sonuçlara ulaşmada sabırsızdır. Fakat bu deney tasarımıyla ilgili önemli bir evresi ihmal edilir. Deneysel tasarımlar, veri toplamadaki hatayı azaltmaya yardımcı ederler. Deneysel olarak çalışılacak bir projede, tasarım ve çözümleme evresindeki her bir aşamanın dikkatlice uygulanması gerekir [15].

Deney tasarımı; prosesi ya da sistemi etkileyen faktörler (değişkenler) üzerinde değişiklikler yaparak prosesi ya da sistem tepkisinin (response) gözlenmesini sağlayan testler serisidir. Deneyde kullanılacak faktörlerin tiplerinin belirlenmesi deneyin planlama prosesini doğrudan etkileyeceğinden dolayı büyük önem taşımaktadır. Deneyi etkileyen faktörler kontrol edilebilen faktörlerdir. Örneğin, kompozitin aşınmasında; uygulanan yük, kayma mesafesi, aşındırıcı tane boyutu, malzeme cinsi gibi faktörler kontrol edilebilen faktörlerdir. Kontrol edilmeyen faktörler ise deneyi yaparken kontrol altında olmayan faktörlerdir. Bizim odaklanmış olduğumuz çalışmada;

kompozitin aşınma kaybı, takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü gibi faktörler kontrol edilmeyen faktörlerdir.

Deneyel tasarım metotları, birçok disiplinde uygulama alanı bulmaktadır. Deneyel tasarım mühendisliği çalışmalarda üretim prosesinin performansını geliştirmede önemli bir rol oynamaktadır [1]. Prosesin geliştirilmesinde deneyel tasarım tekniklerinin uygulanması ile;

- Ürün geliştirilmesi,
- Değişkenliğin azaltılması,
- Hedef gereksinimlere yakın sonuçların sağlanması,
- Maliyetler düşürülmesi, sağlanır.

Deneyel tasarım metotları mühendislik tasarım çalışmalarında da önemli role sahiptir. Yeni bir ürün geliştirilebilir veya var olan ürün iyileştirilebilir.

Deneyel bir çalışmadan en iyi çıktı sistematik bir yaklaşım dikkate alındığı zaman elde edilir. Farklı çalışmalar için farklı parametreler ve değişkenler olmasına rağmen genel olarak deneyel bir çalışma;

- Problemin tanımı,
- Bağımlı ya da yanıt değişkenlerinin seçimi,
- Bağımsız parametrelerin seçimi,
- Bağımsız parametrelerin seviyelerinin belirlenmesi ve etken düzeylerinin nasıl birleştirileceği basamaklarını içermektedir.

Deneyel tasarım; a) alınan gözlemlerin sayısı, b) deney sırası, c) kullanılacak rasgeleleştirme yöntemi, d) deneyi tanımlayan matematiksel model temel bileşenlerinden oluşmaktadır.

Deneyel çözümleme ise;

- Veri toplama ve işleme,
- Deney istatistiklerinin hesaplanması,
- Deneyel sonuçların yorumlanmasını içerir.

Matematiksel modelleme, bir fiziksel sistemin ya da işlemin temel özelliklerinin eşitlik ya da formül şeklinde verilmesidir. Bir matematiksel model çok genel olarak şu şekilde ifade edilebilir:

Bağımlı Değişken = f (Bağımsız değişken, parametreler, etkili fonksiyon)

Bağımlı değişken, sistemin durumunu veya davranışlarını yansıtan bir özellik olup eşitliğin sağındaki değerlere bağlı olarak değişmektedir. Bağımsız değişken ise, sistemin durum veya davranışlarının belirlendiği zaman veya uzay gibi boyutlardır. Parametreler, sistemin özelliklerini ya da yapısını belirleyen katsayılardır. Etkili fonksiyonlar ise sistem üzerine etkisi olan dışsal kuvvetlerdir.

2.1 Modellemede Kullanılan Teknikleri

Mühendislik alanlarında en çok uygulanan deneyel tasarım ve modelleme teknikleri;

- Adım adım uygulanan istatistiksel geleneksel teknikler,
- Merkezi kompozit tasarım (MKT),
- Yanıt yüzey tekniği (YYT),
- Faktoriyel tasarım teknikleri (FTT),
- Taguchi tekniği (TT),
- Digraph ve matris metodu, Stokastik teknikler kullanılmaktadır.

Burada yapılan çalışmada; Makine mühendisliği yanında Malzeme mühendisliği ile ilgili olduğundan dolayı, deneyel tasarım ve modelleme tekniği olarak Taguchi Tekniği kullanıldığı için kısaca bunlar açıklanacak, diğer teknikler üzerinde durulmayacaktır.

2.1.1 Taguchi Tekniği (TT)

Her hangi bir proseste parametrelerin daha verimli bir şekilde seçilmesini sağlamak, harcanan zamanı ve malzemeyi azaltmak için TT alternatif bir yaklaşım olarak devreye girmektedir. Temel olarak TT yaklaşımı, yüksek kalite sistemleri için güçlü bir yöntemdir.

Bu yaklaşım; maliyet, kalite ve performans tasarımlarını optimize etmek için basit, verimli ve sistematik bir metot olarak görünmektedir. Bu nedenle, son yıllarda çok geniş bir kullanım alanı bulunmaktadır. TT, bir ürün veya da prosesin mühendislik optimizasyonunu [16].

- Sistem tasarımı,
- Parametre tasarımı,
- Tolerans tasarımı, gibi üç adımlık bir yaklaşım içerisinde çözebilmeyi amaçlamaktadır.

Taguchi Tekniği'nin parametre tasarımı kısmı; aşağıdaki basamaklardan oluşur. Bunlar;

- Kalite karakteristiklerinin (bağımlı parametreler) ve tasarım parametrelerinin (bağımsız parametreler) belirlenmesi,
- Tasarım parametreleri ve etkileşimlerinin seviyelerinin belirlenmesi,
- Uygun bir lineer grafik ya da ortogonal dizinin belirlenmesi ve bu ortogonal diziyeye parametrelerin uygun seviyelerinin yerleştirilmesi,
- Ortogonal diziyeye yerleştirilen seviyelerde deneysel çalışmanın gerçekleştirilmesi,
- Deneysel sonuçları kullanarak S/N oranlarının hesaplanması ve sonuçların analiz edilmesi,
- Optimal tasarım parametrelerinin seçilmesi,
- Doğrulama testlerinin yapılması, şeklinde özetlenebilir.

İlk olarak, sistem tasarımı kısmında yapılan problemin tanımına göre bağımlı parametreler ve bağımsız parametrelerin ne olacağına karar verilir. Eğer sonucu etkileyecek parametre sayısı fazla ise etkisi az olacağı düşünülenler ihmal edilir. Yine deney maliyetleri göz önünde bulundurularak, deney parametrelerinin sayısı artırılır ya da azaltılır [17].

Bir sonraki adımda ise belirlenen tasarım parametrelerinin, yani sonuçları etkileyecek olan bağımsız parametrelerin uygun seviyeleri belirlenir. Bu aşamada bir faktörün dağılımını seviyelere doğru bir şekilde yansıtmak gerekir. Çünkü dağılım popülasyon sayısı ile sınırlıdır. Seviye sayısının fazla olması deney sayısını arttırmaktadır. Bazı deney örneklerinde deney seviyeleri deney maliyetlerini arttıran unsurlar olmaktadır.

Deney seviyeleri arasındaki farklılıklarda bağımsız parametrelerin bağımlı parametre üzerindeki etkisini düzgün yansıtmamaya neden olabilecektir. Dolayısıyla seviyeler arasındaki farklar eşit bir şekilde azalmalı ya da artmalıdır. Deneysel bir çalışmada deney seviyeleri bir faktörün alabileceği alt ve üst limit değerleri göz önünde bulundurularak belirlenir. Üçüncü aşama ise uygun bir lineer grafik ya da ortogonal dizi belirlemek ve bu ortogonal diziyeye parametrelerin uygun seviyelerini yerleştirmektir.

2.1.2 Ortogonal Diziler

Taguchi kısmi faktöriyel deney tasarımlarına "ortogonal dizi" ismini vermiştir. Taguchi'nin bu noktada yaptığı deney tasarımlarını sadeleştirerek pratisyenlerin anlayacağı bir düzeye getirmek olmuştur. Ortogonal diziler Taguchi tarafından aşağıdaki gibi kodlanmıştır [16].

$$LX(Y^Z) \quad (1)$$

Bu formülde;

- L: Latin kare tabanlı anlamı,
- X: Tasarımdaki deney sayısı,
- Y: Deneydeki seviye sayısı,

Z: Denejde kullanılabilir maksimum faktör sayısını göstermektedir.

Taguchi tarafından hazırlanan dizilerin listesi aşağıdaki çizelgede verilmiştir. L18 ($4^1 \times 2^4$) tasarımında 4^1 bir adet dört seviyeli, 2^4 dört adet iki seviyeli faktör anlamına gelmektedir [15,16].

3. DENEYSEL İŞLEMLER

3.1 Malzeme Detayı

Bu çalışmada; saf Al (%99.98) tozu matris malzemesi olarak seçilmişken takviye malzemesi olarak Al_2O_3 seramik tozları kullanılmıştır. Al tozları yaklaşık 45 μm iken Al_2O_3 tozları ise yaklaşık olarak 26 μm boyutta temin edilmiştir. Alüminyum tozları içerisine ağırlıkça %10 ve %20 oranlarında Al_2O_3 seramik tanecikleri katılarak toz karışımları TM usulü ile (wt.%), 26 μm -%10wt.% Al_2O_3 bazlı karışımlar hazırlanmıştır.

Yukarıdaki oranlarda hazırlanan bu tozlar, daha sonra bu kalıpta blok parçalar haline getirilmek üzere soğuk presleme işlemine tabi tutulmuştur. Bu karışımlar; yaklaşık 120 dak süre ile 3B Turbula içerisinde karıştırma işlemine tabi tutulmuştur. Kalıp içerisine belirli karışım tozu şarj edilerek ve 600 MPa basınç altında sıkıştırılarak silindirik şekilde numuneler elde edilmiştir. Presleme öncesi; karışım tozu içerisine, yaklaşık %2 oranında çinko stearat karışım içerisine şarj edilmiştir. Kalıpta sıkıştırılmış toz kütleleri, numuneler grafit bir kayık içerisinde tüp fırının merkezine yerleştirilerek 10 °C/dak ısınma hızıyla farklı sinterleme sıcaklıklarına, 610 °C'e kadar ısıtılmıştır. Bu sürekli ısıtılma işlemi esnasında N_2 gazı kontrollü olarak uygulanmıştır [18]. Numunelerin yüzeyleri 1200'lük zımpara ile gerekli yüzey kalitesinde zımparalanarak sinterleme sonrasında oluşabilen oksit tabakası temizlenir. Al alaşımının ve farklı boyut ve hacim oranlarında Al_2O_3 partikül takviyeli kompozit malzemelerin, Rockwell B ve Vickers sertlik ölçümleri gerçekleştirilir. Her bir numune için 5 ölçüm yapılarak bunların ortalaması, sertlik değeri olarak alınır. Bu malzemelerin Vickers sertlik ölçümleri, G.Ü. Makine Eğitimi Bölümü Talaşlı İmalat ABD laboratuvarlarında Bulut Makine tarafından üretilen sertlik cihazı ile yapılmıştır.

3.2 Deneysel Tasarım

Üretilen MMK'lerin aşınma davranışını belirlemek amacıyla kayma hızı, yük ve kayma mesafesi gibi temel parametrelerin etkisi araştırılmıştır. Parametreler ve seviyeleri Tablo 1 de gösterilmiştir. Bu tabloda görüldüğü gibi, L9 (3^3) tasarım türü benimsenmiştir. Taguchi karakteristiklerinden aşınma miktarı incelendiği için, en-az-en iyi kriteri seçilmiştir. Daha sonra da hangi parametrelerin daha etkin olup olmadığını belirlemek amacıyla istatistiksel varyans analizi yapılmıştır.

Tablo 1. Kontrol faktörleri ve seviyeleri

Parametreler	Code	First level	Second level	Third level
Kayma hızı,m/s	S	0.5	1.0	1.5
Uygulanan yük,N	L	10	20	30
Kayma mesafesi,m	D	600	900	1800

3.3 Aşınma Deneyleri

Aşınma deneyleri, disk üzerinde pim prensibine göre çalışan cihaz ile kuru ortamda yapılır. Deneysel çalışmada Pim-on-Disk tipi standart bir aşınma deney cihazı kullanılır. Kompozit numuneler 10 mm çapında ve yaklaşık 70 mm uzunluğunda aşınma deneyi için hazırlanır. Üretilen kompozitlerin aşınma davranışları için; uygulanan yük, sertliği, tane boyutu, sinterleme sıcaklığı, süresi, basıncı ve PCA katkı oranı vb. faktörlerin etkileri deneysel veya teorik olarak istatistiksel yöntemlerle

araştırılacaktır. Kompozitlerin aşınma miktarları, Precisa B-220A marka terazide numunelerin deney öncesi ölçülen ağırlıklarından deney sonrası tespit edilen ağırlıklarının çıkarılması ile bulunur. Daha sonrada ölçülen yoğunluklar kullanılmak suretiyle hacimsel aşınma miktarları hesaplanmıştır. Deneylerde her bir kompozit malzeme için en az üç adet numune test edilerek bu değerlerin ortalaması alınır. Aşınma deneylerinde kuru ortamda yüzeyleri 0,15 µm yüzey hassasiyetinde taşlanmış Ç5190 çelik diskler kullanılacaktır.

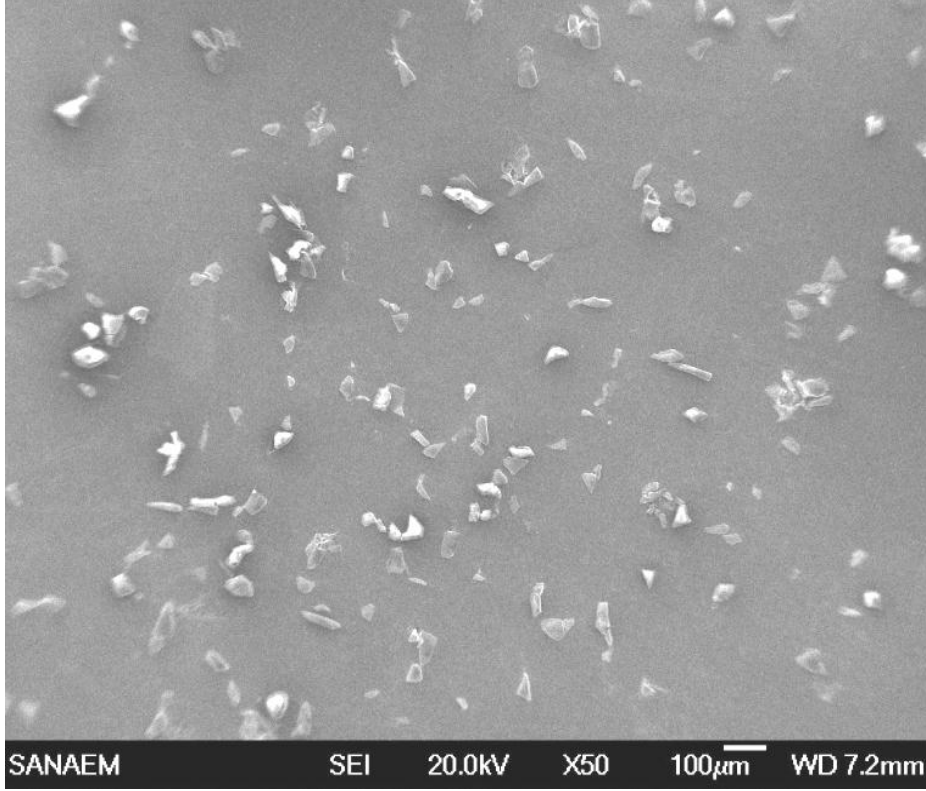
Deneyler; farklı yükler altında 2.1 km kayma mesafesinde 1 m/sn sabit hızda, oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler dışında, farklı yükler altında sabit kayma hızında, oda sıcaklığında abrasiv aşınma deneyleri de gerçekleştirilmiştir. Aşınma işlemi; döner bir disk üzerine pens aracılığı ile bağlanan numunenin taşıyıcı kola istenen kuvvetle bastırılması yoluyla yapılmıştır. Döner disk üzerinde üç iz bulunmaktadır. Deney sabit kayma hızında yapıldığı için her izde çap değişeceğinden çevresel hızdan dolayı kayma hızı da değişecektir. Kayma hızını sabit tutmak için için diskin devir sayısının farklı olması gerekmektedir. Bu nedenle, disk üzerindeki kompozit numunenin temas ettiği noktaların çapları bilindiğinden her bir iz için ayrı ayrı devir sayılarının hesaplanmıştır. Ayrıca devir sayılarının ölçümü ve kontrolü elektronik takometre ile de yapılmıştır.

4. DENEYSEL SONUÇLAR

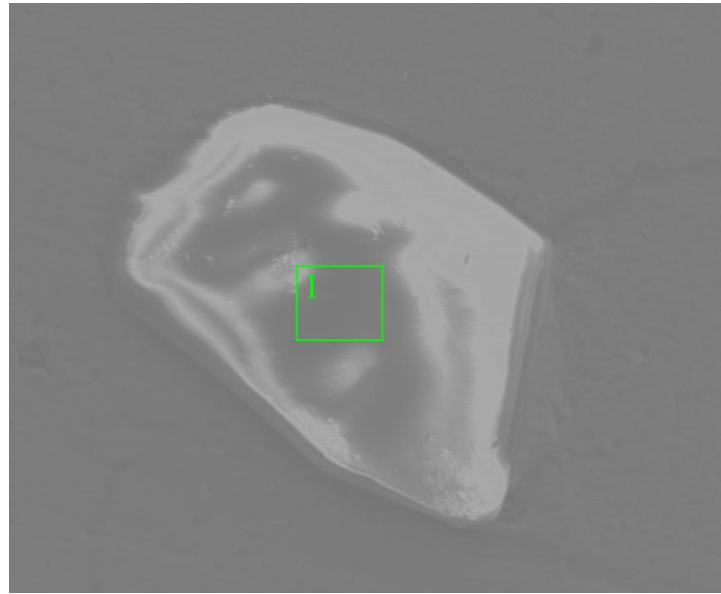
Bu çalışmada; Saf Al, ve bunun Al₂O₃ ile mikro-ölçekli kompozitler TM yöntemiyle üretilmiştir. Saf Alüminyum esaslı ağırlıkça %10, %20 oranlı 26µm parçacık boyutlu Al₂O₃'le takviyeli kompozitlerin üretimi gerçekleştirilmiştir. Burada; sinterleme sıcaklığının kompozitin mikroyapısı yanında sertlik ve aşınma davranışı üzerine etkisi incelenmiştir.

4.1 Kompozitin Mikroyapısı

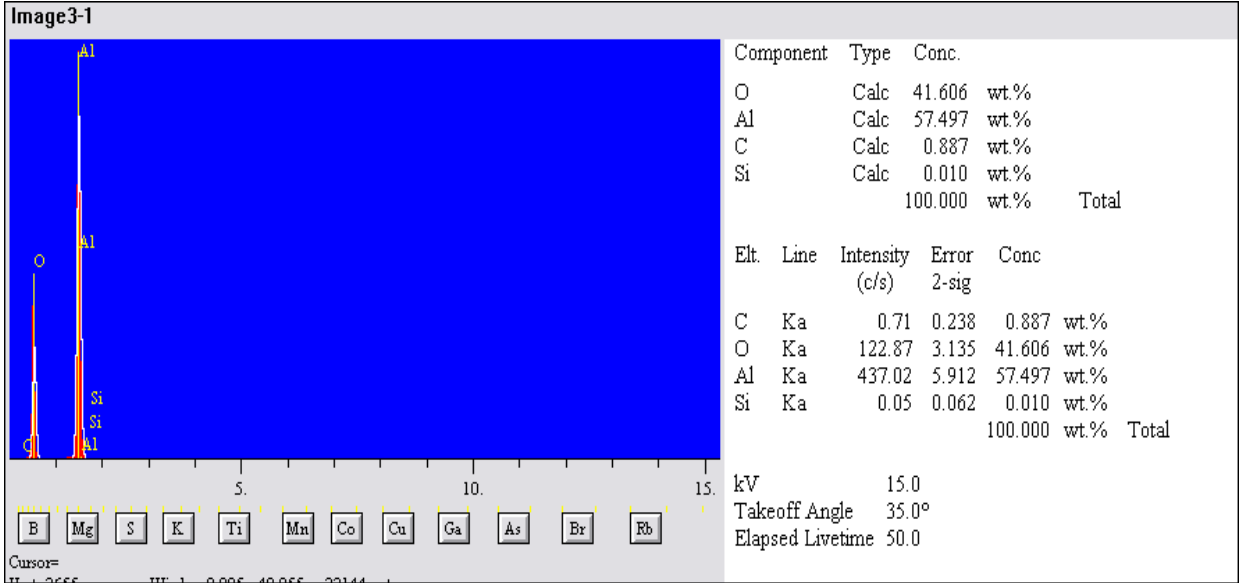
TM yöntemi ile üretilen alüminyum esaslı Al₂O₃ parçacık takviyeli kompozitlerin sinterleme sonrası mikro-yapıları Şekil 1,2, ve Şekil 3 de gösterilmiştir. Bunlardan Şekil 1 de 26µm-10wt.% Al₂O₃/Al kompozitin yapısı görülmekte olup tane sınırlarının belirgin olarak ortaya çıkmadığı gözlenmiştir. Burada sinterleme sıcaklığı 610 °C uygulanmıştır. Şekil 2 de ise 26µm-10wt.% Al₂O₃/Al kompozitin yapısı daha büyük büyütmede alınmış fotoğrafı gösterilmiştir. Bu mikroyapıda ise seramik parçacıklarının yapı içindeki dağılımının normal şekilde olduğu görülmektedir. Ayrıca, daha büyük büyütmede alınan bu fotoğrafta ise Al₂O₃ ile ana malzeme arasındaki ara yüzey bağının iyi olduğu gözlenmektedir. Bu kompozitin yapısında bulunan seramik parçacık için de EDS noktasal analiz yapılmıştır (Şekil 3). Buradaki yapılan analizden de görüleceği gibi, bu seramik parçacığın da bileşimini belirtmektedir. Burada kullanılan parçacığın bileşiminin Alüminyum oksitten oluştuğu, elementsel olarak yaklaşık %57,6'ı Al iken geri kalan %42 kısmının da O₂'den meydana geldiği görülmektedir. 610 °C de üretilen numuneler üzerinde sertlik ölçümleri Rockwell B (HB1) metodu 15 Kgf ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sertlik değerleri 42HB, 54.8HB ve 62.2HB elde edilmiştir.



Şekil 1. Tipik bir 26µm-10wt.%Al₂O₃/Al kompozitin yapısı, Al₂O₃ parçacıklarının ana yapı içerisinde düzgün bir dağılım sergilemeleri.



Şekil 2. Şekil 1 de verilen 10wt.%Al₂O₃/Al kompozitin mikrofotografının büyütülmüş resmi.



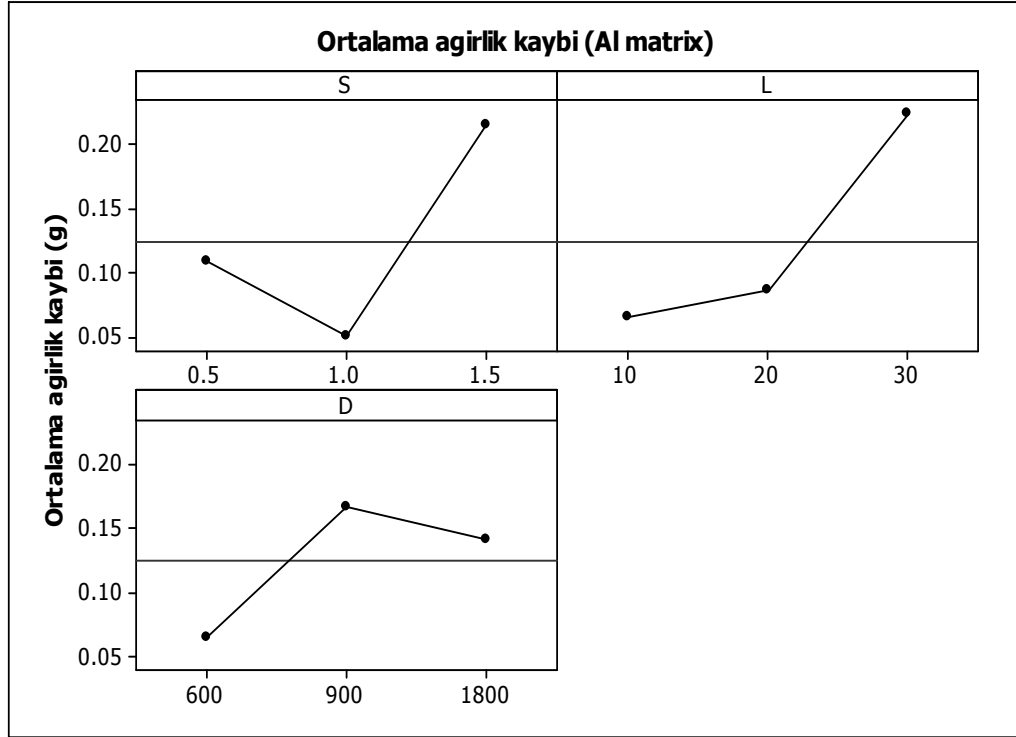
Şekil 3. Şekil 2'de verilen Al₂O₃ parçacık üzerinde yapılmış olan EDS noktasal analizi.

4.2 Ağırlık Kayıpları

Aşınma deneyi, kuru şartlarda pim-disk tipi bir deney cihazında yapılmıştır. Adhesiv aşınma deneyi; sabit bir hız ve değişik yüklemeler altında gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneyinde toplam alınan yol 2100 m'dir.

TM yöntemi ile üretilen Al ve Al esaslı Al₂O₃ parçacık takviyeli kompozitlerin aşınma kayıplarının uygulanan yüklere göre değişimleri Şekil 4 de gösterilmiştir. Bu grafiklerde gösterilen S, L ve D simgeleri; sırasıyla kayma hızı, uygulanan yük ve sürtünme mesafesini ifade etmektedir. Bu malzemeler saf Al olup 610 °C ve 120 dak sinterlemeye maruz kalan malzeme grubunun aşınma davranışlarıdır. Bu grafikten görüldüğü gibi, düşük yüklerde aşınma kaybının çok az olduğu görülmektedir. Fakat artan yüklerle birlikte bilhassa 20N'dan sonra daha etkili olduğu ve malzeme kaybının hızla arttığı görülmektedir. Çünkü daha çok temas noktasına daha fazla kuvvetin uygulanması ile gerilmenin daha da artmasına yol açmaktadır. Bu aynı zamanda daha fazla ve hızlı düzleşmenin çalışan yüzey üzerinde oluşması demektir. Bu grafikte yine hız etkisinin, özellikle 1 m/s'den sonra daha etkili olduğu görülürken kayma mesafesinin ise tersine 900 m'den sonra azaldığı ve dolayısı ile aşınma üzerine etkisinin azaldığı gözlenmektedir.

Kayma mesafesi artışı dikkate alınırsa 900m'den sonra hafif azalma görülmekte olup bunun sebebi de ana malzemenin yumuşaması ve dolayısı ile de sünekleşmesi daha fazla malzeme kaybını önlemesinden ileri gelmiş olabilir. Başka bir ifadeyle, optimum hız değeri S2 seviyesinde, yük değeri L1 seviyesinde ve kayma mesafesi değeri de D1'de elde edilmiştir. Bu değerler kullanılmak suretiyle de optimum şartların elde edilmesi teorik olarak da mümkündür.



Şekil 4. TM yöntemi ile üretilen saf Alüminyumun 610 °C ve 120 dakika sürede sinterleme sonrası aşınma kaybının yüke göre değişimi

Bu sonuçlar istatistiksel olarak da varyans analizi ile değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Ortalama malzeme kaybı değerleri hesaplanmış olup Tablo 2 de gösterilmiştir. Bu grafiklerden görüleceği gibi, bu çalışmada yükün daha etkili olduğu ($F=30.40$), bunu ise kayma hızının takip ettiğini kayma mesafesinin ($F=11.22$) ise çok fazla etkili olmadığını göstermektedir. Bunun muhtemel sebebi yumuşak ve sünek fazlı yapının oluşmasından kaynaklandığı sanılmaktadır.

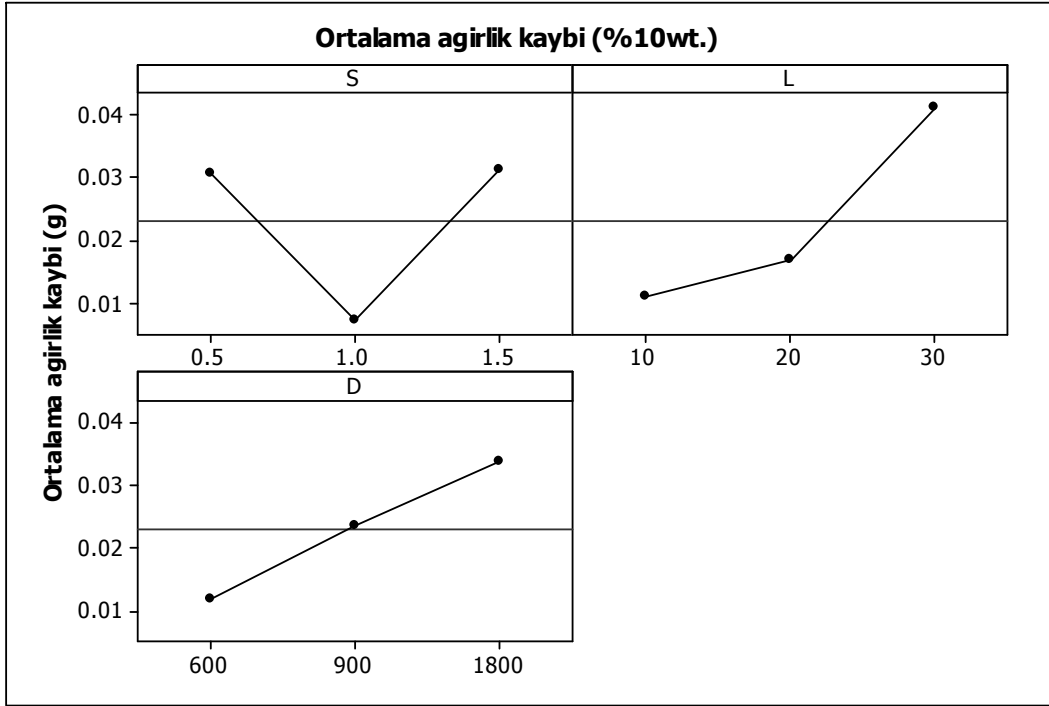
Tablo 2. Matris malzemesinde ortalama ağırlık kaybı için varyans analizi

Faktörler	SD	TK	OK	F cal	P (%)
S	2	0.042038	0.021019	28.70	40.2
L	2	0.044449	0.022224	30.40	42.52
D	2	0.016451	0.008225	11.22	15.75
Kalıcı hatalar	2	0.001469			1.53
Toplam	8	0.104406			98.47

Bu tabloda: SD=Serbestlik derecesi, TK=Toplam kareleri, OK=Ortalama kareleri, F=Fisher oranı, P=Katkı payını göstermektedir.

TM yöntemiyle üretilen Al / %10-Al₂O₃ parçacık takviyeli kompozitlerin aşınma kayıplarının uygulanan yüklere göre değişimleri Şekil 5 de gösterilmiştir. Bu malzemeler MMK olup aynı sinterleme şartlarına tabi tutulmuştur. Bu grafikten görüldüğü gibi, düşük yüklerde aşınma kaybının az olduğu görülmekte, fakat artan yükte malzeme kaybının arttığı gözlenmektedir. Bu grafikte yine hız etkisinin özellikle 1 m/s'de optimum olduğu görülürken kayma mesafesinin ise doğrusal olarak arttığı ve dolayısı ile aşınma üzerine etkisinin diğer parametreler ile karşılaştırıldığında daha az olduğu görülmektedir. Çünkü bu numunede yapı içerisinde yaklaşık %10 ağırlık oranında Al₂O₃ parçacık yerleşmiş olduğundan dolayı kayma mesafesine orantılı olarak malzeme kaybının artması, yapıda/yüzey üzerinde bulunan bazı parçacıkların da zamanla kırılması veya yüzeyden kopması

ve ayrılmasına yol açmış olabilir. Bunun sonucu olarak da daha fazla kayıp ortaya çıkmış olacaktır. Yük etkisi ve hız etkisinin aynı olduğu görülmektedir.



Şekil 5. TM yöntemi ile üretilen Al-%10wt.Al₂O₃ parçacık takviyeli MMK'lerin 610 °C ve 120 dakika sürede sinterleme sonrası aşınma kaybının yüke göre değişimi.

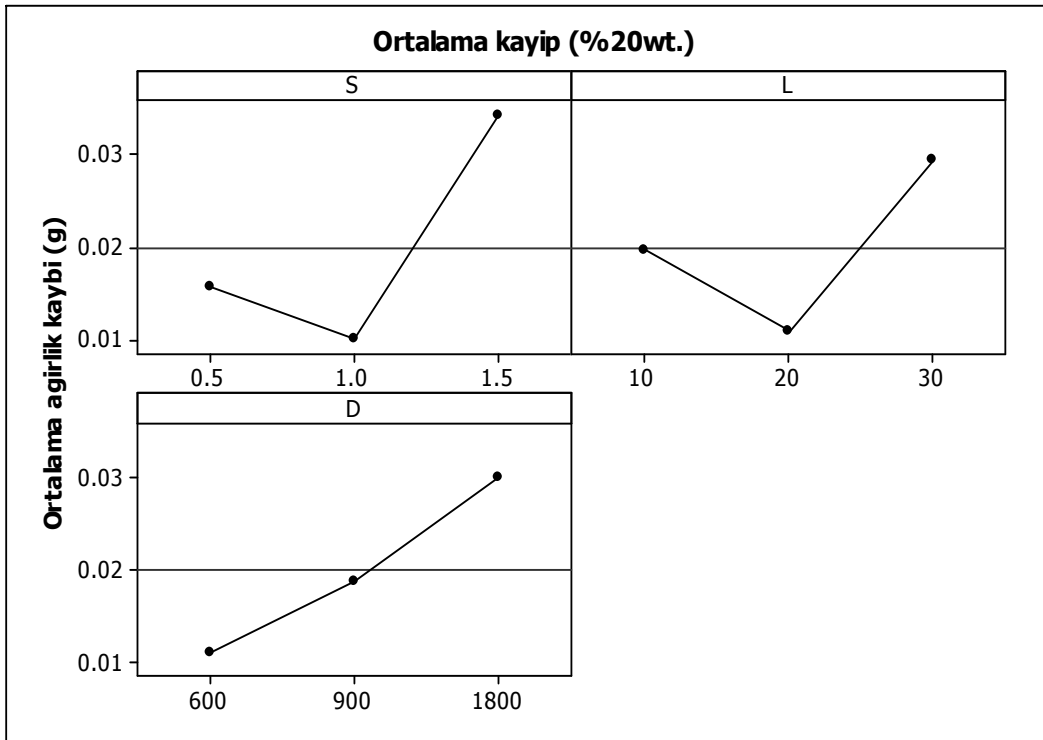
Bununla beraber, Al-%10wt.Al₂O₃ parçacık takviyeli MMK'lerin ortalama ağırlık kaybına göre, varyans analizi sonuçları Tablo 3 de gösterilmiştir. Bu sonuçlarda, Şekil 5 de gösterilen sonuçları doğrulamaktadır. Bu şekilden, uygulanan yükün en fazla etkiyi gösterdiği burada net bir tarzda rakamlarla görülmektedir. Ayrıca F oranı ve P oranı da bu etkileri ayrıntılı tarzda göstermektedir. Örneğin, L'de F=5.36 iken D'de ise bu oran F=2.47'dir. Benzer tarzda P oranı da karşılaştırma yapılabilir. Bu karşılaştırmada da L'nin yine daha fazla etkin faktör olduğu görülmektedir. Hata oranının burada daha fazla arttığı yine gözlenmektedir. Bunun sebebi ise kompozit malzemenin yapı ve mekanizmasının, genel mühendislik malzemesinden hayli farklı olduğundan ileri gelmektedir.

Tablo 3. Al-%10wt.Al₂O₃ parçacık takviyeli MMK'lerde ortalama ağırlık kaybı (g) için varyans analizi

Faktörler	SD	TK	OK	F cal	P (%)
S	2	0.001132	0.000566	3.90	30.84
L	2	0.001545	0.000772	5.36	42.02
D	2	0.000711	0.000356	2.47	19.31
Kalıcı hatalar	2	0.000288	0.000144		7.83
Toplam	8	0.003676			92.17

Şekil 6 da TM yöntemi ile Al-%20wt.Al₂O₃ parçacık takviyeli MMK'lerin aynı şartlarda üretimi ve sinterleme sonrası aşınma kaybının yüke göre değişimi gösterilmiştir. Bu şekilde sürtünme mesafesindeki artışın doğrusal olarak arttığı belli iken yük ve hız oranlarında belli değerlerde optimum noktaların oluştuğu görülmektedir. Bunun muhtemelen yapı içerisindeki parçacık dağılımı ve ara yüzey bağlantısının iyi olmasından kaynaklanmış olabileceği tahmin edilmektedir. Yük etkisi incelendiğinde burada ilginç nokta göze çarpmakta olup normalde 20N uygulamanın elbette daha çok aşınma oluşturması beklenir. Ancak burada belkide farklı numunelerde, aynı ağırlık oranında

olsa bile, parçacık dağılımı ve bağ yeteneği farklı ortaya çıkmış olabilir. Seçilen numune de parçacık dağılımı düzgün oluşmamış olabilir ya da boşluklu yapı ortaya çıkmış olabilir. Diğer bir deyişle, bazen aynı numune farklı yüklerin uygulanması halinde bile çok farklı davranış göstermeyebilir. Çünkü yüzey sertleşmiş olabilir veya sinterleme ortamından ileri gelen bir problem olabilir. Çünkü bu tür hatalar ortamdandır, deney aparatından, malzemeden veya kişiden de kaynaklanmış olabilir. Kayma mesafesi dikkate alındığında aşınmada doğrusal bir artış görülmektedir. Bunun normal bir davranış olduğunu söylemek mümkündür. Çünkü bu kompozitin yapısında yaklaşık %20 oranında seramik parçacıklar içerdiği için zaman zaman parçacıkların kopması nedeniyle yerinden uzaklaşmakta ya da sertleşerek yeniden parça içerisine gömülmeye çalışmakta, veya bir kısmında dışarı atılmaktadır. Daha sonra tekrarlanan sürtünme kuvveti ve aşınmalar nedeniyle parça kütlelerinden daha büyük parçacıkların ayrılmasına bile neden olabilmektedir. Doğrusu kayma hızının bu numunelerde egemen olmasını da buna bağlamak gerekir.



Şekil 6. TM yöntemi ile üretilen Al-%20wt. Al_2O_3 parçacık takviyeli MMK'lerin 610 °C sinterleme sonrası aşınma kaybının yüke göre değişimi.

Tablo 4 de ise Al-%20 Al_2O_3 parçacık takviyeli MMK'lerde ortalama ağırlık kaybı için varyans analizi yapılmış ve gösterilmiştir. Takviye edilen alüminyum oksit parçacığının boyutu yaklaşık 26 μm 'dir. Burada verilen tablodan en etkili faktörün kayma hızı olduğu gözlenmektedir. Özellikle, 1.5m/s hızda yapılan deneylerde numuneler üzerinde daha çok hasar oluşturulduğu sanılmaktadır. Çünkü uygulanan bu hızın şok veya darbeleme etkisinin daha çok parçacık kırılmasına, dolayısı ile de yüzeyde daha fazla deformasyona yol açtığı sanılmaktadır. Bu gayet mühtemeldir ki yüksek ağırlık 20wt.%MMK'lerde oluşan aşınma mekanizmasından kaynaklanmaktadır. Bu tablodaki katkı oranlarına bakılacak olursa, malzeme kaybı üzerine S'nin katkı payı yaklaşık %44.96 iken L'nin %24.32 ve D'de bu oran ise yaklaşık %25.35'dir. Bu da kayma hızının daha etkili olduğunu doğrulamaktadır.

Bu konuda literatürde oldukça farklı sonuçlar elde edildiği ve tam bir uyum sağlanmadığı görülmüştür. Örneğin, Şahin ve Kamil [19], MMK'lerin aşınma davranışlarını farklı şartlarda incelemiş ve yükün etkin olduğunu vurgulamışlardır [20, 21]. Şahin 2005 [22] tarafından yapılan benzer çalışmalar, fakat abrasive aşınma deneylerinde ise kullanılan abrasive tane boyutunun etkili

olduğu bunu takviye elemanı içeriği / takviye elemanı boyutunun takip ettiğini göstermiştir. Basavarajappa ve ark.[20] tarafından yapılan çalışmada Cam Epoksi ve GE+SiCp takviyeli kompozitlerde yük etkisi net olarak etkin olurken GE+SiCp+Gr esaslı kompozitler üzerinde yapılan ANOVA analizinde yük ile hız etkisinin hemen hemen aynı olduğunu göstermişlerdir. Fakat Basavarajappa ve diğ., [23], kayma mesafesinin daha etkili olduğunu rapor etmişken Mandal ve diğ., [24] de kayma hızının etkin olduğunu göstermişlerdir. Bu da tarafımızdan bulunan sonuçlarla kısmi uyumluluk arz etmektedir. Çünkü üretilen malzeme cinsine göre farklı parametrelerin etkinliğini ortaya koymuştur. Bunun mühtemel nedeni ise aşınma yüzeylerinde yapılacak olan metalografik incelemeler sonucunda ortaya çıkacaktır.

Tablo 4. Al-%20wt.Al₂O₃ parçacık takviyeli MMK'lerde ortalama ağırlık kaybına göre varyans analizi

Faktörler	SD	TK	OK	F cal	P (%)
S	2	0.000975	0.000488	8.72	44.96
L	2	0.000523	0.000262	4.68	24.32
D	2	0.000547	0.000274	4.89	25.35
Kalıcı hatalar	2	0.000111	0.000056		5.37
Toplam	8	0.002157			94.63

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada; TM yöntemi uygulanarak Saf Al ve Al'a ağırlıkça %10 ve %20 oranlarında, ortalama 26 µm boyutunda Al₂O₃ parçacıkların takviye edilerek MMK malzemelerin üretimi yapılmıştır. Üretilen metal bazlı kompozitlerin; mikroyapı incelemeleri ve sertlik ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca bu MMK'lerin kuru aşınma davranışları için istatistiksel bir model geliştirilmiştir. Deneyler; MMK malzemelerde aşınma miktarı, Al₂O₃ parçacık oranı ile az oranda düşerken yükün artması ile artış göstermiştir. Bunun dışında, Al matriks malzemesi ve 10wt.% içerikli MMK'lerde yük etkin olarak ortaya çıkarken 20wt.% MMK'lerde kayma hızının daha etkili olduğu görülmüştür. Bu da mühtemelen yüksek ağırlık oranlı MMK'lerde oluşan aşınma mekanizmasından kaynaklanmaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma 07/2009-38 numara ile Gazi Üniversitesi BAP Birimi tarafından desteklenmiştir. Bu nedenle üniversitemize teşekkür ederiz.

7. KAYNAKÇA

- [1] SAHIN, Y., **Introduction to Composite Materials**, 2nd ed., Seçkin Publication, Ankara, (2006).
- [2] DAS, S., BEHERA, R., DATTA, A., MAJUMDAR, G., ORAON, B., SUTRADHAR, G., Experimental investigation on the effect of reinforcement particles on the forgeability and mechanical properties of aluminium metal matrix composites, **Mater. Sci.&Appl.**, 1, 310-316, (2010).
- [3] SHOROWORDI, K.M, LAOUI,T., HASEEB, A.S.M.A., CELIS,J.P., FROYEN,L., Microstructure and interface characteristics of B₄C, SiC and Al₂O₃ reinforced Al matrix composites: a comparative study, **J.Mater. Process. Tech.** 142, 738-743,(2003).

- [4] MANDAL, D.P., DAS, S., High stress wear behaviour of aluminium hard particle composites: Effect of experimental parameters, particle size and volume fraction, **Tribol. Inter.** 39-6, 461-490, (2006).
- [5] ZHIQIANG, S., DI, Z., GUOBIN, L., Evaluation of dry sliding wear behaviour of silicon particles reinforced aluminium matrix composites, **Mater.& Des.** 26, 454-458, (2005).
- [6] RAHIMIYAN, M., PARVIN, N., EHSANI, N., Investigation of particle size and amount of alumina on microstructure and mechanical properties of Al matrix composite made by powder metallurgy, **Mater. Sci. Eng.** A527, 1031-1038, (2009).
- [7] MANDAL, D., DUTTA, B.K., PANIGRAHI, S.C., Effect of wt.% reinforcement on microstructure and mechanical properties of Al-2Mg base short steel fiber composites, **J.Mater. Proc. Technol.** 198, 195-201, (2008).
- [8] ZEBARJAD, S.M., SAJJADI, S.A., Microstructure evaluation of Al-Al₂O₃ composites produced by mechanical alloying method, **Mater&Des.** 27, 684-688, (2006).
- [9] WANG, H., ZHANG, R., HU, X., WANG, C., HUANG, Y., Characterization of a powder metallurgy SiC/Cu-Al composite, **Mater.Proces.Technol.** 197, 1-3, 43-48, (2008).
- [10] LIM, C.Y.H., LIM, S.C., GUPTA, M., Wear behaviour of SiC_p-reinforced magnesium matrix composites, **Wear** 255, 629-637, (2003).
- [11] MIN, K.H., KANG, S.P., KIM, D.G., KIM, Y.D., Sintering characteristic of Al₂O₃-reinforced 2xxx series Al composite powder, **J.Alloys & Comp.** 400, 150-153, (2005).
- [12] MIN, K.H., LEE, B.-H., CHANG, S.-Y., KIM, Y.D., Mechanical properties of sintered 7xxx series Al/SiC composites, **Mater. Lett.** 61, 2544-2546, (2007).
- [13] BELMONTE, M., NIETO, M.I., OSENDI, M.I., MIRANZO, P., Influence of SiC grains on the wear behaviour of Al₂O₃/SiC composites, **J.European Soc.** 26, 1273-1276, (2006).
- [14] BINDUMADHAVAN, P.N., CHIA, T.K., CHANDRASEKARAN, M., WAH, H.K., LAM, L.N., PRABHAKAR, O., Effect of particle-porosity clusters on tribological wear behaviour of A356-SiC_p metal matrix composites, **Mater. Sci.&Eng. A** 315, 217-226, (2001).
- [15] MONTGOMERY, C.D., **Design And Analysis Of Experiments**, 2nd Edition, New York, (1998).
- [16] ROY, R.K., **A Primer On The Taguchi Method**, Competitive Manufacturing Series, Van Nostrand Reinhold, New York, (1990).
- [17] ŞAHİN, Y., The prediction of wear resistance model of the metal matrix composites, **Wear**, 258, 1717-1722, (2005).
- [18] ŞAHİN, Y., Wear behavior of Al-Al₂O₃ reinforced composites, **Advanced Materials Research**, 308-310, 1577-1581, (2011).
- [19] ŞAHİN, Y., OZDİN, K., A model for the abrasive wear of Aluminium based composites, **Mater.Des**, 29, 728-733, (2008).
- [20] BASAWARJAPPA, S., ARUN, K.V., DAVIM, J.P., Effect of filler materials on dry sliding wear behaviour of polymer based composites - A Taguchi approach, **J.Miner.Mater. Charact.&Eng.**, 8, 5, 379-391, (2009).

- [21] DHARMALING, S., R.,VINOTH, K.S., Analysis of dry sliding friction and wear behaviour of aluminium composites, **J.Composite Materials**, 44, 8, 2161-2179, (2011).
- [22] ŞAHİN, Y., Optimization of testing parametres on the wear behaviour of the metal matrix composites, **Mater.Sci.&Eng.A** 408,1-8, (2005).
- [23] BASAWARJAPPA, S., CHANDRAMOHAN,G., DAVIM, J.P.,Application of Taguchi techniques to study dry wear beahviour of metal matrix composites, **J.Mater.Des.**, 28,.1393-1398, (2007).
- [24] MANDAL, N., ROY, H.,MONDAL, B.,MURMU, N.C.,MUKHOPADHYAY., Mathematical modelling of wear characteristics of 6061 Al-alloy-SiCp composites using response surface methodology, **J.Mater. Eng.&Perform.** 11,1059-1066, (2011).