


Savurma Döküm Yöntemi ile Üretilmiş AlB_2/Al Kompozit Malzemelerin Aşınma Davranışlarının İncelenmesi

İlknur KESKİN ÖNER^{1*} , Ömer SAVAŞ² 

¹ Department of Marine Engineering, Naval Architecture and Maritime Faculty, Yıldız Technical University, İstanbul, Turkey, keskin@yildiz.edu.tr

² Department of Marine Engineering, Naval Architecture and Maritime Faculty, Yıldız Technical University, İstanbul, Turkey, osavas@yildiz.edu.tr

ÖZ

Bu çalışmada, fonksiyonel olarak derecelendirilmiş AlB_2/Al kompozitlerin abrasif aşınma özellikleri Taguchi yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Aşınma deneylerinde Pin-on-disk tekniği kullanılmıştır. Deneyler sonrasında farklı aşınma şartlarında oluşacak ağırlık kayıplarını tahmin eden bir regresyon denklemi elde edilmiş ve geliştirilen denklem yardımıyla farklı şartlarda yapılan aşınma sonuçları, deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Kompozitlerin aşınma özellikleri üzerine uygulanan yükün yaklaşık %17, aşınma ortamının %53 ve AlB_2 ile güçlendirilmesinin %18 oranında etkili olduğu görülmüştür. Geliştirilen regresyon modelinin değişik aşınma şartlarında ağırlık kayıplarının tahmininde kullanılabileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Abrasif aşınma, AlB_2 , Metal matrisli kompozitler, Taguchi

Investigation of Wear Behavior of AlB_2/Al Composite Materials Produced by Centrifugal Casting Method

ABSTRACT

In this study, the abrasive wear properties of functionally graded AlB_2/Al composites were investigated using the Taguchi method. Pin-on-disc technique was used in wear tests. After the experiments, a regression equation estimating the weight losses that will occur under different wear conditions was obtained and with the help of the developed equation, the wear results made under different conditions were compared with the experimental results. It has been observed that the applied load on the wear properties of the composites is approximately 17%, the wear medium is 53% and the reinforcement with AlB_2 is 18% effective. It has been seen that the developed regression model can be used to predict weight losses under different wear conditions.

Keywords: Abrasive wear, AlB_2 , Metal matrix composites, Taguchi

* Sorumlu yazar : osavas@yildiz.edu.tr

1. Giriş

Hafif ve yüksek performanslı metallere duyulan ihtiyaç Alüminyum Matrisli kompozitlerin (AMK) araştırılması ve gelişmesinin yolunu açmıştır. Geleneksel alüminyum alaşımlarına göre AMK'ler, yüksek spesifik mukavemet, üstün aşınma direnci ve yüksek sıcaklıklarda stabiliteye sahiptir (Rosso, 2006). Silisyum karbür (SiC) ve Alüminanın (Al₂O₃) alüminyum tarafından ıslatıla birliğinin yüksek olması ve fiyatlarının düşük olmasından dolayı güçlendirici faz olarak tercih edilmektedir. Yeni üretim proseslerinin keşfedilmesi ve geliştirilmesi AMK'ler için yüksek potansiyele sahip çeşitli seramik ve intermetalik güçlendiricilerin olduğunu göstermiştir (Ma, Tjong and Li, 1999; Tjong and Ma, 2000).

Alüminyum matrisli AIB₂ borür takviyeli kompozit malzemeler üzerine oldukça kısıtlı çalışmalar mevcuttur (Deppisch et al., 1997; Kayıkcı and Savaş, 2015b). AIB₂ takviyeli kompozitler in-situ üretim yöntemi (takviye fazının matris içerisinde kendiliğinden oluşması) ile kolay ve ucuz bir şekilde üretilebilmektedir. Yapılan önceki çalışmalarda alüminyum içerisine AIB₂ ilavesinin malzemenin mekanik özelliklerini iyileştirdiği ve aşınmaya dayanım kabiliyetini artırdığı görülmüştür. Erman ve ark (İnci and Savaş, 2020) %10 AIB₂ takviye oranına sahip saf Al ve Al-Cu matrisli kompozitlerin abrasif aşınma davranışlarını farklı test koşullarında (yük, kayma hız ve mesafesi v.b.) incelemiştir. Araştırma sonucunda matrise %10 oranında AIB₂ ilavesinin hem AIB₂/Al hem de AIB₂/Al-Cu kompozitlerinin aşınma özelliklerini önemli oranda iyileştirdiğini rapor etmişlerdir.

AIB₂/Al kompozitlerin aşınma davranışlarını araştırmaya yönelik olarak yaptıkları çalışmada, matris içerisinde artan AIB₂ oranı ile kompozitlerin aşınma özelliklerinin önemli ölçüde iyileştiğini belirtmişlerdir (Fıçıcı, 2016).

Fonksiyonel derecelendirilmiş kompozitlerde (FDK) takviye oranı kalıp iç bölgesinden dış bölgesine doğru değişim göstermektedir. Bu nedenle kompozitlerin fiziksel ve mekanik özellikleri takviye oranının değişimine bağlı olarak değişim göstermektedir (Melgarejo, Suárez and Sridharan, 2008; Kayıkcı and Savaş, 2015a)(Nadu, 2016; Naebe and Shirvanimoghaddam, 2016). Bu yüzden FDK'ler yüksek yüzey aşınma direnci ile yüksek tokluk özelliğini bir arada bulundurabilmektedir (Karun, 2017). Bu amaçla kısıtlı da olsa savurma döküm tekniğinden faydalanarak fonksiyonel derecelendirilmiş AIB₂/Al kompozitlerin üretimi üzerine yapılan çalışmalar mevcuttur (Savaş and Karataş, 2022)(Melgarejo, Suárez and Sridharan, 2008)(Kayıkcı and Savaş, 2015a) (Savaş et al., 2013).

Radhika ve ark (Radhika and Raghu, 2016) fonksiyonel derecelendirilmiş AIB₂ takviyeli Al matrisli kompozitlerin abrasif aşınma davranışlarını farklı yük, kayma mesafesi ve abrasif aşındırıcı tipleri altında (SiC ve Al₂O₃) incelemiştir. Artan yükte aşınma hızının arttığı ve artan AIB₂ takviye oranıyla birlikte azaldığını belirlemişlerdir. Ayrıca çalışmada SiC partiküllerinin Al₂O₃'ye göre daha aşındırıcı özelliğe sahip olduğu tespit edilmiştir.

Aşınma, malzeme yüzeylerinde kütle kaybıyla meydana gelen bir hasar türüdür. Malzemelerin servis ömrünü önemli ölçüde düşürmektedir. Bu nedenle yüksek servis ömrü için malzemelerin aşınma özelliklerini belirlemek önemlidir. Yapılan önceki çalışmalarda kompozitlerinin abrasif aşınma özellikleri üzerine en çok etki eden faktörlerin takviye oranı, uygulanan yük ve aşındırıcı partikül boyutu olduğu görülmektedir. Bu çalışmada, savurma döküm tekniği ile üretilen AIB₂ takviyeli kompozitlerin abrasif aşınma davranışları Taguchi tekniği kullanılarak incelenmiştir. Fonksiyonel derecelendirilmiş kompozit malzemelerin özellikleri yöne bağlı olarak değiştiği için kompozitlerin aşınma özellikleri savurma yönünde iki bölgeye ayrılmış ve aşınma deneyleri farklı yük ve farklı aşınma ortamlarında

gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonunda Taguchi deneysel yaklaşımı kullanılarak farklı aşınma şartlarında aşındırılan kompozitlerin ne oranda aşınacağını tahmin eden bir lineer regresyon denklemi elde edilmiştir. Denklem doğru çalışıp çalışmadığı deneysel sonuçlarla karşılaştırılarak ortaya konulmuştur.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada önceki çalışmalarda savurma döküm tekniği kullanılarak üretilen fonksiyonel derecelendirilmiş AlB₂/Al kompozit malzemelerin aşınma özelliklerinin incelenmesi hedeflenmiştir (Savaş and Karataş, 2022). Üretilen kompozit malzemelerin savurma yönünde AlB₂ ile güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş iki bölgeye sahip olduğu görülmüştür. Aşınma deneyleri bu iki bölge üzerinde yapılmıştır. Aşınmaya maruz bırakılacak kompozit malzemenin özellikleri Tablo 1’de görülmektedir.

Tablo 1. Kompozit malzeme özellikleri (Savaş and Karataş, 2022).

Bölge	Takviye oranı, %	Yoğunluk, gr/cm ³	Sertlik, HB
AlB ₂ ile güçlendirilmemiş	%0	2,70	51,55
AlB ₂ ile güçlendirilmiş	%8	2,72	82,25

Kompozitlerin aşınma analizleri abrasif aşınma tekniği ile ağırlık kayıpları dikkate alınarak yapılmıştır. Fonksiyonel derecelendirilmiş AlB₂/Al kompozit malzemelerin, savurma yönünde AlB₂ ile güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş iki bölgeye sahip olduğu görülmektedir. Bu nedenle aşınma deneylerinde AlB₂ ile güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş bölgelerinden alınan numuneler kullanılmıştır. Test öncesinde numuneler 6 mm çapında pim şekline getirilmiştir. Test parametreleri olarak AlB₂ takviye oranı, yük ve aşındırıcı partikül boyutu seçilmiştir. Yük faktörü için faktör seviyeleri 1 ve 2 N, takviye oranı faktörü için faktör seviyesi %0 (AlB₂ ile güçlendirilmemiş bölge) ve %8 (AlB₂ ile güçlendirilmiş bölge), aşındırıcı partikül boyutu faktörü için faktör seviyeleri 46 (320 grid su zımparası) ve 18 mikron (1000 grid SiC esaslı su zımparası) olarak belirlenmiştir. Kayma mesafesi 100 m’de, kayma hızı ise 4,5 m/s’de sabit tutulmuştur. Tablo 2’de belirlenen faktör ve seviyeleri verilmiştir.

Tablo 2. Aşınma deneyi için seçilen faktör ve seviyeleri.

Faktörler	Seviye 1	Seviye 2
AlB ₂ Takviye oranı	%0	%8
Yük, N	1 N	2 N
Aşındırıcı parçacık boyutu	18 µm	46 µm
Kayma Mesafesi	100 m	
Kayma Hızı	4,5 m/s	

Aşınma deneyleri için Taguchi yaklaşımına göre L8 ortogonal serisi seçilmiştir. Belirlenen faktör ve seviyelerine göre 8 adet deneme reçetesi Tablo 3’de verilmiştir. Her bir deneme reçetesinin aşınma testlerinde numunelerin ağırlıkları test öncesi ve test sonrasında 0,0001 g hassasiyete sahip terazi ile ölçülmüş ve aşınma miktarları bu ölçümlerin farkı alınarak belirlenmiştir. Her bir deneme reçetesi en az üç kez tekrarlanmıştır.

Tablo 3. L8 ortogonal serisi deney reçeteleri

Deney No	Takviye oranı, %	Aşındırıcı Partikül Boyutu, µm	Uygulanan Yük, N
1	0	18	1
2	0	18	2
3	0	46	1
4	0	46	2
5	8	18	1
6	8	18	2
7	8	46	1
8	8	46	2

3. Sonuç ve Tartışma

L8 ortogonal serisine göre belirlenmiş deneme reçeteleri dikkate alınarak 8 adet aşınma testi yapılmıştır. Aşınma testleri sonucunda elde edilen ağırlık kaybı değerleri Tablo 4’de verilmiştir. Tablo 4’de her bir deneme için elde edilmiş 3 adet ağırlık kaybı değeri, onların ortalamaları ve S/N oranları görülmektedir. Ağırlık kayıplarının düşük olması aşınma özelliklerinin iyi olduğunu gösterdiği için deneme reçetelerinin S/N oranları Denklem 1’de verilen en düşük en iyidir kalite karakteristiğine göre hesaplanmıştır (Ross, 1998).

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (1)$$

Denklemden, n ; deney reçetesi için ölçüm sayısı, y_i ; deneme reçetesinin ağırlık kaybı.

Tablo 4’de ağırlık kayıplarının 2,7 mg ile 74,0 mg arasında değişim gösterdiği görülmektedir. En yüksek S/N oranı 5. deney reçetesinde -7,35 dB değerinde, en düşük S/N oranı 4. deney reçetesinde -36,99 dB olarak ölçülmüştür. Faktör seviyeleri eş zamanlı olarak değiştirildiği için Tablo 4’de verilen sonuçlar, hangi faktörün daha etkili olduğunu konusunda bilgi vermemektedir.

Tablo 4. Aşınma deneyi sonuçları.

Deney No	Ağırlık Kaybı, mg				S/N oranı, dB
	Gözlem 1	Gözlem 2	Gözlem 3	Ortalama	
1	6,8	7,7	8,3	7,60	-17,64
2	9,8	4,2	4,6	6,20	-16,53
3	12,0	13,2	13,0	12,73	-22,11
4	70,0	68,2	74,0	70,73	-36,99
5	1,5	2,6	2,7	2,27	-7,35
6	3,8	4,2	4,5	4,17	-12,42
7	8,3	7,0	7,1	7,47	-17,49
8	24,0	25,1	25,0	24,70	-27,86

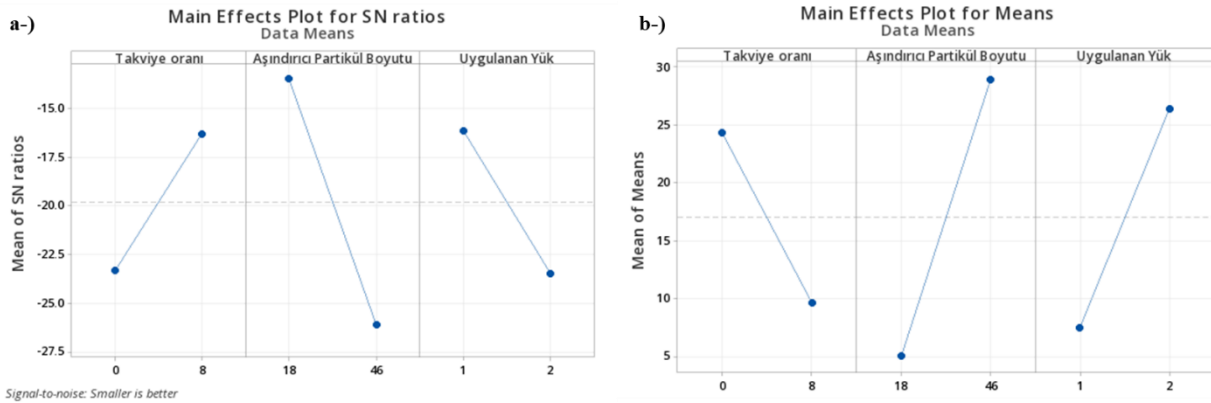
Taguchi yaklaşımına göre faktörlerin etkilerini ortaya koymak için S/N oranları dikkate alınarak bir varyans istatistik yöntemi (ANOVA) analiz tablosu hazırlanmaktadır. Tablo 5’te hazırlanan ANOVA tablosu verilmiştir. Tabloda her bir faktör ve kontrol edilmeyen faktörler (hata) için hesaplanan kareler

toplamı, serbestlik derecesi, Varyans (V), F(faktör) değerleri ve % etki oranları görülmektedir (Ross, 1998).

Tablo 5. Varyans istatistik yöntemi (ANOVA) analiz tablosu.

Faktörler	Serbeslik Derecesi, f	Kareler Toplamı SS	Etki oranı, %	Karalar Ortalaması SS	Teorik F F(hesap)	P
Takviye oranı (A)	1	99,15	16,63	99,146	20,19	0.021
Aşındırıcı Partikül Boyutu (B)	1	318,91	53,49	318,913	64,95	0.004
Uygulanan Yük (C)	1	106,62	17,88	106,619	21,71	0.019
Aşındırıcı Partikül Boyutu	1	56,76	-	56,762	11,56	0.042
Hata	3	14,73	11,99	4,910		
Total	7	596,17	100			

Tablo 5’de F(tablo) değeri en yüksek olduğu için aşınma üzerine en etkili faktörün aşınma ortamı olduğu ve onu sırasıyla uygulanan yük ve takviye oranı faktörlerinin izlediği görülmektedir. Tabloda faktörlerin hepsinin %90 güven düzeyi için etkili olduğu dikkati çekmektedir. Bunu dışında Tablo 5’de uygulanan yük (C) ve aşındırıcı partikül miktarının (B) karşılıklı etkileşiminde önemli ölçüde etkili olduğu görülmektedir. Kompozelerin ağırlık kayıpları üzerine uygulanan yükün %21,71, takviye oranının %16,63 ve aşındırıcı partikül boyutunun ise %53,49 oranında etkili olduğu görülmektedir. Kontrol edilemeyen faktörün ise aşınma üzerine toplamda %12 oranında etkilediği dikkati çekmektedir.

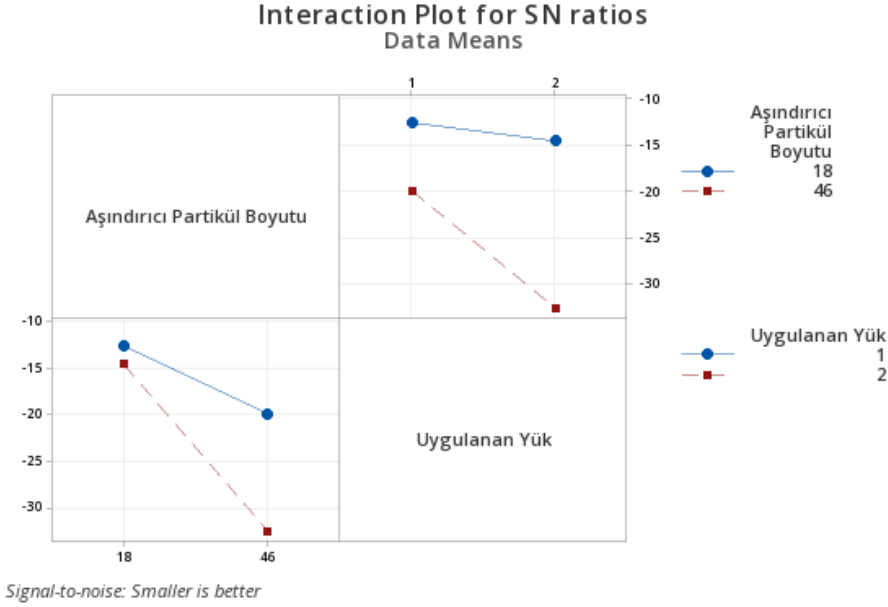


Şekil 1. a) S/N oranları ve **b)** ağırlık kayıpları için yanıt grafiği.

Şekil 1’de her bir faktör seviyesinin ortalama S/N oranları ve ortalama ağırlık kayıpları dikkate alınarak çizilen ‘yanıt grafiği’ verilmiştir. Grafikte S/N oranları için faktörlerin yüksek olan seviyeleri en düşük ağırlık kaybını veren deney reçetesini (optimum deney reçetesi) göstermektedir. Buna göre optimum deney reçetesi A2B1C1 olarak belirlenmiştir. Grafikte en düşük ağırlık kaybının AIB2’ce zengin bölgelerin 1 N yük altında ve 18 µm’lük aşındırıcı partikül (1000 grid zımpara) ortamında aşındırılması sonucunda elde edilebileceğini göstermektedir.

Şekil 2’de aşındırıcı partikül boyutu (B) ve uygulanan yük (C) faktörünün karşılıklı etkileşim grafiği verilmiştir. Grafikte aşındırıcı partikül boyutunun artması ile S/N oranlarının düştüğü görülmektedir. Ancak bu azalma 2 N yük altında daha yüksek olduğunu göstermektedir. Yani yüksek aşındırıcı partikül

ortamlarında yapılan deneylerde yükün etkisi daha açık bir şekilde görülürken, düşük aşındırıcı partikül ortamlarında yük etkisini istenilen ölçüde gösterememektedir.



Şekil 2. Aşındırıcı partikül boyutu ve yük etkileşimi yanıt grafiği.

Taguchi yaklaşımına göre yapılan deneylerin doğru olduğunu göstermek için doğrulama deneylerinin yapılması gerekmektedir. Doğrulama deneyleri optimum deney reçetesine (A2B1C2) göre yapılmaktadır. Deneylerin doğru yapıldığı, doğrulama deney sonuçlarının hesaplanan tahmini güven aralığında olması ile belirlenmektedir. Bu çalışmada doğrulama deneyi A2B1C1 deney reçetesine göre Denklem (2)-(4) kullanılarak hesaplanmıştır (Ross, 1998).

$$\bar{\mu} = \bar{A2} + \bar{B1} + \bar{C1} - \bar{3T} \quad (2)$$

$$IC = \sqrt{\frac{F(f) V_e}{n}} \quad (3)$$

$$\bar{\mu} - IC \leq \mu \leq IC + \bar{\mu} \quad (4)$$

Denklemlerde: $\bar{\mu}$ tahmini ortalama S/N değerleridir, μ doğrulama testi ortalama S/N değerleridir, $F(f)$ F oranıdır, V_e hata varyansıdır, n verilen koşuldaki test sayısıdır.

Yapılan bu çalışmada Tablo 4’de ki 5 numaralı deney reçetesi optimum deney reçetesine (A2B1C1) sahiptir. Bu nedenle ekstra bir deney yapmak yerine, doğrulama deneyleri için 5 numaralı deney sonuçları kullanılmıştır. Optimum şartlara göre hesaplanan ortalama S/N oranı, tahmini güven aralığı ve doğrulama deneyi ortalama S/N oranları Tablo 5’te verilmiştir.

Tablo 6. Tahmini ve doğrulama testi sonuçları.

Nicelik	Sonuçlar
Optimum deney şartlar	A2B1C1
Tahmini Ortalama S/N oranı	-8,90 dB
$\alpha= 0,1$ için güven aralığı	-11,23 dB < μ < -6,57 dB
Doğrulama deneyi S/N oranı	-7.35 dB

Tablo 6’de doğrulama deney sonucunun S/N oranı -7,35 dB’dir. Bu değer tabloda da görüldüğü gibi hesaplanan tahmini güven aralığı içerisinde yer almaktadır. Bu sonuç yapılan deneylerin doğru yapıldığını göstermektedir.

Denklem 5’de regresyon denklemi verilmiştir. Verilen denklem yardımıyla istenilen deneme reçetesi için ortalama tahmini S/N oranları hesaplanabilmektedir.

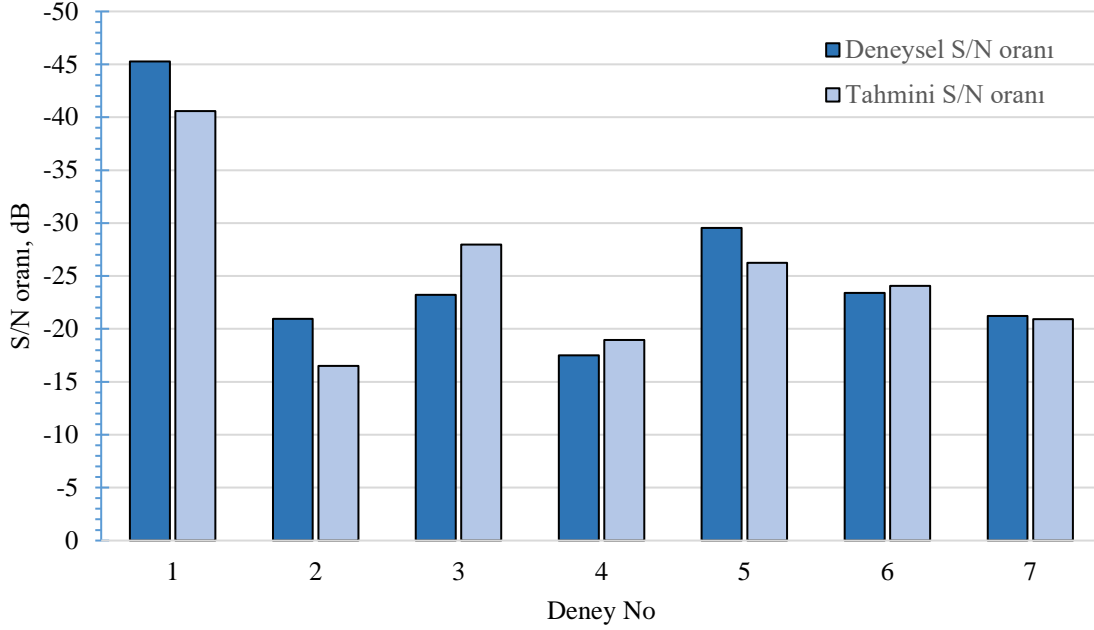
$$S/N = 2.06 + (0.880 \times \text{Takviye oranı}) - (0.451 \times \text{Aşındırıcı Partikül Boyutu}) - (7.30 \times \text{Uygulanan Yük}) \quad (5)$$

Regresyon denkleminin doğru çalışıp çalışmadığını test etmek amacı ile Tablo 7’de verilen kontrol deney reçeteleri hazırlanmıştır. Deney reçeteleri önceki setlerde olmayan yükler altında ve aşındırıcı partikül ortamlarında yapılmıştır. Tabloda kontrol deney reçeteleri dikkate alınarak yapılan aşınma deney sonuçları verilmiştir. Tabloda edilen ağırlık kayıpları, onlara bağlı olarak hesaplanan deneysel S/N oranları ve Denklem 4 kullanılarak hesaplanan, tahmini ortalama S/N oranları verilmiştir.

Tablo 7. Kontrol deney reçeteleri ve deney sonuçları.

Deney No	Faktörler			Ağırlık Kaybı, mg			Deneysel ortalama S/N oranı	Tahmini ortalama S/N oranı
	Takviye oranı, %	Aşındırıcı Partikül Boyutu, μm	Uygulanan Yük, N	Gözlem 1	Gözlem 2	Gözlem 3		
1	0	46	3	230,8	152	157	-45,27	-40,59
2	0	25	1	6,4	9,1	15,8	-20,95	-16,52
3	0	18	3	15	18,3	8,4	-23,23	-27,96
4	8	46	1	8,3	7	7,1	-17,49	-18,95
5	8	46	2	28,1	25,2	35,7	-29,54	-26,25
6	8	25	3	11,1	8,6	21,4	-23,39	-24,08
7	8	18	3	13,6	11,5	8,9	-21,21	-20,92

Şekil 3’de deneysel olarak ölçülen S/N oranları ve Tahmini ortalama S/N oranları arasındaki farkın daha iyi görülebilmesi için hazırlanmış sütun grafiği verilmiştir.



Şekil 3: Deneysel olarak ölçülen S/N oranları ve tahmini S/N oranları

Şekil 3’de deneysel olarak ölçülen S/N oranlarının, tahmini S/N oranlarına çok yakın olduğu görülmektedir. Bu sonuç çalışma sonucunda geliştirilen regresyon denkleminin doğru çalıştığını göstermektedir. Sonuçlar Taguchi yaklaşımıyla yalnızca 8 deneyle güvenilir olarak çalışan bir denklem geliştirilebileceğini göstermektedir.

Önceki çalışmalara benzer şekilde, Şekil 1’deki gibi artan yük ile ağırlık kayıplarının arttığı görülmektedir (Prasad, Bakshi and Murty, 2015)(Kumar et al., 2008)(Kane, Mishra and Dutta, 2016). Bunun muhtemel nedeni, uygulanan yüklerle birlikte aşındırıcı partiküllerinin aşınma yüzeyine daha fazla nüfuz ederek aşınma miktarını arttırmasından kaynaklanmaktadır. Yapılan önceki çalışmalardan aşındırıcı partikül boyutunun artması ile birlikte aşınma miktarının arttığı rapor edilmiştir (Ozdin, 2007) (Radhika and Raghu, 2016) (Kumar et al., 2007) (Radhika and Raghu, 2018) (Kok, 2006). Buna benzer şekilde bu çalışmada da artan aşındırıcı partikül boyutu ile aşınma miktarı artmıştır. Bunun muhtemel nedeni büyük çaplı aşındırıcı partiküllerde keskin köşelerinin daha fazla olması sonucu aşınan yüzeylere daha fazla pantere olmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 1’de alüminyum matris içinde artan AIB₂ oranı ile aşınma miktarının düştüğü görülmektedir. Bunun nedeni Tablo 1’de de görüleceği üzere AIB₂ ile güçlendirilen bölgelerin sertlik değerinin daha yüksek olmasıdır. Yapılan önceki çalışmalarda artan sertlik değeri ile aşınma miktarının azaldığı rapor edilmiştir (Radhika and Raghu, 2016) (Ficici, 2016) (Kumar et al., 2008) (Savaş, 2019). AIB₂ ile güçlendirilen bölgelerin aşınma miktarının güçlendirilmemiş bölgelere nazaran sertliğinin daha düşük olmasının nedeni, artan sertlikle birlikte aşındırıcı partiküllerinin aşınan yüzeylere aşındırıcı partiküllerin penetre olamamasından kaynaklanmaktadır.

4. Sonuç

1. Fonksiyonel derecelendirilmiş kompozitlerin ağırlık kayıpları üzerine % 90 güven düzeyi için en etkili faktörün aşındırıcı partikül boyutu olduğu ve onu sırasıyla yük ve takviye oranı faktörlerinin izlediği tespit edilmiştir.

2. Alüminyum içerisine ilave edilen % 8 oranında AIB₂ ile kompozitlerin aşınma özelliklerinin % 17 oranında iyileşme sağladığı tespit edilmiştir. Uygulanan yükün %18 ve aşındırıcı partikül boyutunun % 53 oranında aşınma özelliklerini etkilediği görülmüştür.
3. Taguchi yaklaşımı ile 8 adet deney reçetesi ile bir regresyon denklemi oluşturularak, farklı şartlarda fonksiyonel derecelendirilmiş kompozitlerin aşınma miktarlarının tahmini başarılı bir şekilde yapılmıştır.
4. Bundan sonraki çalışmalarda AIB₂ kompozitlerin aşınma davranışlarının belirlenmesinde takviye oranı, yük, aşındırıcı partikül boyutu faktörlerinin yanında kayma mesafesi, kayma hızı vb. faktörleri ele alınarak bir lineer regresyon model oluşturmak, daha doğru aşınma miktarlarının tahminini sağlayacaktır.

5 Beyanname

5.1 Rakip Çıkarlar

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

5.2 Yazarların Katkıları

ÖNER : Fikir, Tasarım, Denetleme, Analiz ve/veya Yorum, Literatür Taraması, Yazı Yazan

SAVAŞ : Fikir, Tasarım, Denetleme, Analiz ve/veya Yorum, Literatür Taraması, Yazı Yazan

5.3 Teşekkür

This study was supported by Yıldız Technical University (YTU), Scientific Research Project Coordination (BAP) (project no: FLO-2022-4918). Thanks to YTU BAP for the financial support.

Kaynaklar

- Deppisch, C. et al. (1997) 'Processing and mechanical properties of AIB₂ flake reinforced Al-alloy composites', 225(96), pp. 153–161.
- Ficici, F. (2016) 'The experimental optimization of abrasive wear resistance model for an in-situ AIB₂/Al-4Cu metal matrix composite', *Industrial Lubrication and Tribology*, 68(6), pp. 632–639. doi: 10.1108/ILT-12-2015-0198.
- İnci, E. and Savaş, Ö. (2020) 'AIB₂ Borür Takviyeli Alüminyum Matrisli Kompozitlerin Abrasif Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi Üzerine Deneysel Bir Çalışma An Experimental Study on Investigation of Abrasive Properties of AIB₂ Borid Reinforced Aluminium Matrix Composites', (19), pp. 873–880. doi: 10.31590/ejosat.724381.
- Kane, S. N., Mishra, A. and Dutta, A. K. (2016) 'Preface: International Conference on Recent Trends in Physics (ICRTP 2016)', *Journal of Physics: Conference Series*, 755(1). doi: 10.1088/1742-6596/755/1/011001.
- Karun, A. S. (2017) *Fabrication and Characterization of Functionally Graded Metal and Polymer Composites by Sequential and Centrifugal Casting Techniques*.
- Kayıkçı, R. and Savaş, Ö. (2015a) 'Fabrication and properties of functionally graded Al/AIB₂ composites', *Journal of Composite Materials*, 49(16), pp. 2029–2037. doi: 10.1177/0021998314541490.
- Kayıkçı, R. and Savaş, Ö. (2015b) 'Fabrication and properties of in-situ Al/AIB₂ composite reinforced with high aspect ratio borides', *Steel and Composite Structures*, 19(3), pp. 777–787. doi: 10.12989/scs.2015.19.3.777.

- Ko, M. (2006) 'Abrasive wear of Al 2 O 3 particle reinforced 2024 aluminium alloy composites fabricated by vortex method', 37, pp. 457–464. doi: 10.1016/j.compositesa.2005.05.038.
- Kumar, S. et al. (2008) 'Tensile and wear behaviour of in situ Al-7Si/TiB2 particulate composites', *Wear*, 265(1–2), pp. 134–142. doi: 10.1016/j.wear.2007.09.007.
- Kumar, S., Sarma, V. S. and Murty, B. S. (2007) 'Influence of in situ formed TiB2 particles on the abrasive wear behaviour of Al-4Cu alloy', *Materials Science and Engineering A*, 465(1–2), pp. 160–164. doi: 10.1016/j.msea.2007.02.117.
- Ma, Z. Y., Tjong, S. C. and Li, Y. L. (1999) 'The performance of aluminium-matrix composites with nanometric particulate Si ± N ± C reinforcement', 59, pp. 263–270.
- Melgarejo, Z. H., Suárez, O. M. and Sridharan, K. (2008) 'Composites : Part A Microstructure and properties of functionally graded Al – Mg – B composites fabricated by centrifugal casting', 39, pp. 1150–1158. doi: 10.1016/j.compositesa.2008.04.002.
- Nadu, T. (2016) 'Review of Centrifugal Casting of Aluminium Composites', pp. 933–935.
- Naebe, M. and Shirvanimoghaddam, K. (2016) 'Functionally graded materials: A review of fabrication and properties', *Applied Materials Today*. Elsevier Ltd, 5, pp. 223–245. doi: 10.1016/j.apmt.2016.10.001.
- Ozdin, K. (2007) 'Wear resistance of aluminium alloy and its composites reinforced by Al 2 O 3 particles', 183, pp. 301–309. doi: 10.1016/j.jmatprotec.2006.10.021.
- Pramod, S. L., Bakshi, S. R. and Murty, B. S. (2015) 'Aluminum-Based Cast In Situ Composites: A Review', *Journal of Materials Engineering and Performance*. Springer US, 24(6), pp. 2185–2207. doi: 10.1007/s11665-015-1424-2.
- Radhika, N. and Raghu, R. (2016) 'Effect of Abrasive Medium on Wear Behavior of Al/AIB2 Functionally Graded Metal Matrix Composite', *Tribology Online*, 11(3), pp. 487–493. doi: 10.2474/trol.11.487.
- Radhika, N. and Raghu, R. (2018) 'Effect of Centrifugal Speed in Abrasive Wear Behavior of Al-Si5Cu3/SiC Functionally Graded Composite Fabricated by Centrifugal Casting', *Transactions of the Indian Institute of Metals*. Springer India, 71(3), pp. 715–726. doi: 10.1007/s12666-017-1204-9.
- Rosso, M. (2006) 'Ceramic and metal matrix composites: Routes and properties', *Journal of Materials Processing Technology*, 175(1–3), pp. 364–375. doi: 10.1016/j.jmatprotec.2005.04.038.
- Ross PJ. In: Taguchi techniques for quality engineering, loss function, orthogonal experiments, parameter and tolerance design. New York: McGraw-Hill Inc.; 1988.
- Savaş, Ö. et al. (2013) 'Production of Functionally Graded AIB2/Al-4%Mg Composite by Centrifugal Casting', *Periodicals of Engineering and Natural Sciences (PEN)*, 1(2), pp. 2–7. doi: 10.21533/pen.v1i2.23.
- Savaş, Ö. (2019) 'The production and properties of Al3Ti reinforced functionally graded aluminum matrix composites produced by the centrifugal casting method', *Materials Research Express*, 6(12). doi: 10.1088/2053-1591/ab562c.
- Savaş, Ö. and Karataş, C. (2022) 'Technology and Environment ISSN (Print): 1844-6116 ISSN (Online): 2501-8795 PRODUCIBILITY OF FUNCTIONALLY GRADED AIB 2 / Al COMPOSITE MATERIAL *Journal of Marine Technology and Environment* ISSN (Print): 1844-6116 ISSN (Online): 2501-8795', pp. 79–83. doi: 10.53464/JMTE.ISSN.
- Tjong, S. C. and Ma, Z. Y. (2000) 'Microstructural and mechanical characteristics of in situ metal matrix composites', *Materials Science and Engineering R: Reports*, 29(3), pp. 49–113. doi: 10.1016/S0927-796X(00)00024-3.



© 2020 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).