



## Alümina Katkılı ve Nikel ile Alaşımlandırılmış Alüminyum Esaslı Kompozitlerde Özelliklerin Karakterizasyonu

### *Characterization of Properties in Alumina Doped and Nickel Alloyed Aluminum Based Composites*

Nurgül SAK<sup>1,\*</sup>, Muzaffer ZEREN<sup>1</sup>, Rıdvan YAMANOĞLU<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Kocaeli Üniversitesi, Umuttepe Kampüsü, Kocaeli, 41380, Türkiye

#### Araştırma Makalesi

Gönderilme Tarihi : 23/03/2018

Kabul Tarihi : 07/06/2018

#### Anahtar Kelimeler

Al-Ni Alaşımları  
Karakterizasyon  
Kompozit Malzemeler  
Toz Metalurjisi

#### Research Paper

Received Date : 23/03/2018

Accepted Date : 07/06/2018

#### Keywords

Al-Ni Alloys  
Characterization  
Composite Materials  
Powder Metallurgy

#### Özet

Bu çalışmada, saf alüminyum ve alümina tozlarına farklı miktarlarda (ağırlıkça% 10'a kadar) saf nikel tozları eklenmiştir. Tozlar, bir bilyalı değirmen kullanılarak yarım saat boyunca mekanik olarak karıştırılmıştır. Toz karışımları vakum altında sıcak preste 20, 30 ve 40 dakika süreyle 600° C'de sinterlenmiştir. Numunelerin mikroyapıları ve aşınmış yüzeyleri taramalı elektron mikroskobu kullanılarak incelenmiştir. Çalışmada sinterlenmiş kompakt numunelerin yoğunluğu, sertliği ve aşınma özellikleri araştırılmıştır. Numunelerin yoğunluğu ve sertliğinin artan nikel içeriğine bağlı olarak arttığı görülmüştür. Sonuçlar, nikel katkısının alüminyum ile alümina arasında güçlü bir bağlanma ara yüzeyi sağlayarak matris üzerinde sertlik ve aşınma davranışını geliştirdiğini göstermiştir.

#### Abstract

In this study different amounts (up to 10 wt-%) of pure nickel powders were added to pure aluminium and alumina powders. The powders were mechanically mixed using a ball mill for half an hour. Powder mixtures were sintered at 600° C for 20, 30 and 40 minutes in a hot press under vacuum. Microstructures and wear surfaces of the specimens were investigated using a scanning electron microscope. The density, hardness and wear characteristics of compact samples sintered in the study were investigated. It has been observed that the density and hardness of the samples increase due to the increased nickel content. The results showed that, the nickel additive improved the hardness and wear behavior on the matrix by providing a strong bonding interface between aluminum and alumina.

## 1. Giriş

Alümina düşük yoğunluk, yüksek sıcaklıklarda iyi korozyon dayanımı, yüksek aşınma direnci, yüksek ergime sıcaklığı, iyi mekanik özelliklerine ilaveten düşük maliyet gibi ilgi çekici yönleri sahip olması nedeniyle çok geniş kullanım alanına sahip bir malzemedir. Bu gelecek vaat eden özelliklerinin yanısıra dezavantajları da mevcuttur. Bunlardan en önemlisi düşük kırılma tokluğuna sahip

olmasından kaynaklanan kırılma ve gevrek bir malzeme yapısına sahip olmasıdır. Metalik faz takviyesiyle alüminanın tane boyutunun küçültülebildiği veya kırılma davranışının iyileştirildiği, kırılma, gevreklik gibi olumsuz özelliklerinin giderildiği, yapılan literatür çalışmalarında görülmüştür. Alüminyum ise metal olarak değerli kılın özelliklerinin başında çok iyi oksidasyon dayanımı, düşük yoğunluk, düşük ergime sıcaklığı, çok iyi darbe dayanımı, kolay şekillendirilebilirliği ve hafif bir

\* Sorumlu Yazar (Corresponding Author): nurgul-drn@hotmail.com

malzeme olması gelir. Alüminyum ve alaşımlarının dezavantajı ise uygulama sıcaklıklarının sınırlı olmasıdır. Son zamanlarda araştırmacılar, alümina ve alüminyumun bu istenmeyen özelliklerinin elimine edilmesi amacıyla farklı bir malzeme ile takviye edilerek yeni bir kompozit malzeme oluşturulmasını hedeflemişlerdir [1,2].

Yüksek sıcaklıkta kullanılacak malzemelerin yüksek korozyon direnci, düşük yoğunluk gibi iyi mekanik özelliklere sahip olması istenir. Son zamanlarda araştırmacılar, metaller ile seramikler arasında genellikle kimyasal açıdan birbirine benzemeyen iki veya daha fazla metalin belli bir kompozisyon ve stokiometri aralıklarında oluşturduğu intermetalik malzemelere artan bir ilgi göstermişlerdir. İntermetalik bileşikler, hem kullanım sıcaklığı hem de mekanik özellikler açısından metalik malzemeler ile seramik malzemeler arasındaki boşluğu doldurmaya aday malzemelerdir. İntermetalik malzemeler, genel olarak malzemenin aşınma ve korozyon davranışında bir artış ve mekanik özelliklerinde iyileşme imkânı sunar. Günümüzde intermetaliklerle ilgili araştırmalar, yüksek sıcaklık malzemeleri olarak çok çeşitli uygulamalarda kendini göstermektedir. Bu uygulamalar içinde en çok Al-Ni alaşımları tercih edilmektedir [1,3].

Yüksek mukavemetleri, oda sıcaklığından yüksek sıcaklığa kadar gösterdikleri mikro yapısal kararlılıkları, nispeten düşük maliyetleri ve yüksek sertlikleri ile ilgi uyandıran intermetalik malzemeler, bu özelliklerinin yanı sıra yüzeylerinde oluşan  $Al_2O_3$  tabakası ile sağladıkları oksidasyon ve korozyon direnci ve alüminyum içeriği sayesinde yüksek mukavemet/ağırlık oranı ile ön plana çıkmaktadır [4-6].

Alüminyum, kompozit malzemelerin üretiminde önemli metal matris bileşeni olarak tercih edilen bir malzemedir.

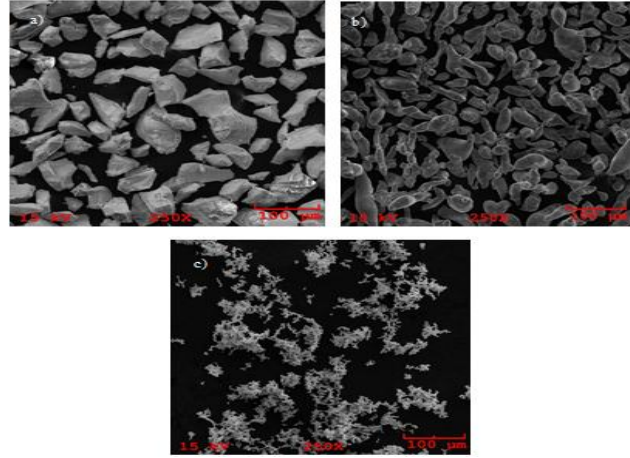
Havacılık ve otomobil endüstrisi için mükemmel mekanik ve tribolojik özelliklere sahip, düşük maliyetli, hafif bir malzeme olduğu için sürekli artan bir talep görmektedir [7]. Son zamanlarda, alüminyum esaslı metal matris kompozitleri yaygın olarak havacılık uygulamaları başta olmak üzere, dizel motorlar için pistonlar, yüksek performanslı otomobillerin şaftları ve hibrid otomobillerin disk frenleri gibi uygulama alanlarında da tercih edilmektedir [8,9]. Araştırmacıların çoğu, malzeme özelliklerini geliştirmek için alüminyum metalleri ve alaşımlarını seramik parçacıklarla güçlendirerek üstün mekanik özellikler elde etmeye çalışmaktadır [8,10]. Araştırmalar incelendiğinde, partikül takviyeli metal matrisli malzemelerin çoğu aşınma rejiminde takviyesiz matris malzemelerine kıyasla önemli ölçüde daha yüksek aşınma oranlarına sahip olduğu gözlemlenmiştir [11,12]. Alüminyum esaslı metal matrisli kompozitler, alüminyum metalinin matris malzemesi olarak kullanıldığı,  $SiC$ ,  $Al_2O_3$ ,  $B_4C$ ,  $Ti_2B$  vb. gibi çoğunlukla seramiklerle güçlendirilmiş

malzemelerdir. Bu malzemelere yönelik geçmişten günümüze yapılan çalışmalarda kompozitlerin aşınma davranışını da geliştirdiği bilinmektedir [12-14]. Saf alüminyumun mekanik özelliklerini geliştirmek için en umut verici alaşım elementlerinden biri de Nikel'dir. Alüminyum sadece katı halde (600 °C'de % 0,028 ve 500 °C'de % 0,006 gibi) çok sınırlı miktarda Nikel atomunu çözebilir. Al-Ni sisteminde farklı intermetalik bileşikler mevcuttur. Bu intermetalik bileşikler, yüksek sıcaklıklarda oksitlenmeye karşı, yüksek ergime noktası, düşük yoğunluk ve yüksek direnç göstermektedirler [15,16].

Bu çalışmada, farklı nikel içeriğine sahip alaşımlar toz metalurji yöntemiyle başarıyla üretilmiştir. Nikel içeriğinin kompozit malzemeye etkisi yoğunluk, sertlik, aşınma testleri ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) incelemeleriyle araştırılmıştır.

## 2. Deneysel Çalışmalar

Bu çalışmada elementel toz olarak ticari saflıktaki Al,  $Al_2O_3$  ve Ni tozları kullanılmıştır. Tozlar Sentas-BİR A.Ş. firmasından temin edilmiştir. Başlangıç tozlarının taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri Şekil 1'de verilmiştir.



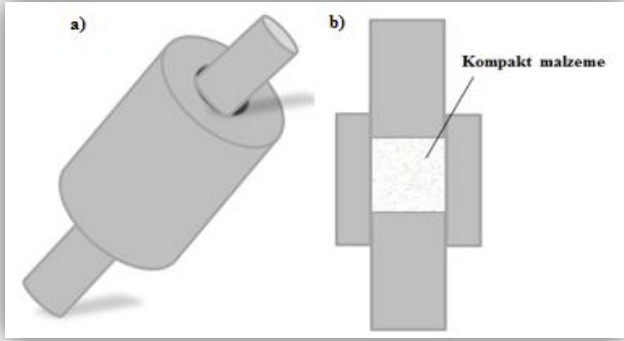
Şekil 1. Başlangıç tozları SEM görüntüsü a) Alümina tozu b) Alüminyum tozu c) Nikel tozu

Başlangıç tozlarının farklı morfolojiye sahip olduğu görülmektedir. Partiküller arasındaki boyut ve şekil farklılığı, tozların üretim yöntemlerinden kaynaklanmaktadır.

İlk olarak %0 Ni-%40  $Al_2O_3$ -%60 Al numuneleri hazırlanarak çalışmaya başlanılmıştır. Toz karışımları vakum atmosferi altında sıcak presleme tekniği kullanılarak bir grafit kalıp içerisinde kompakt hale getirilmiştir. %40  $Al_2O_3$  oranı sabit tutularak ve Al oranını değiştirerek %5 ve %10 Ni oranlarında 20, 30 ve 40 dakika gibi farklı sürelerde 600° C'de sinterlenerek numuneler elde edilmiştir.

Nikel içeriğinin matris üzerindeki etkisini anlamak için sertlik ve aşınma testleri yapılmıştır. Vickers sertlik testleri, Future-Tech tipi Vickers sertlik test cihazı kullanılarak 10 kg yük altında ve 10 saniye yükleme süresi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Nikelin malzemenin sertlik ve aşınma özelliklerine etkisini belirlemek için, sıcaklık parametreleri sabitlenerek nikel oranları ve sinterleme süreleri değiştirilmiştir. Tozların yoğunlaştırılması için DIEX VS 50 otomatik sinterleme makinesi kullanılmıştır. Kullanılan kalıbın ve kompakt malzemenin şematik bir gösterimine Şekil 2'de yer verilmiştir.



Şekil 2. Sıcak pres prosesi için kullanılan kalıp ve kompakt malzeme

Alaşımın tribolojik özelliklerini anlamak için oda sıcaklığında aşınma testleri yapılmıştır. Aşınma testlerinde Nanovea MT / 60 / NI tipi ball-on-disk tribometre kullanılmıştır.

Alaşımın aşınma testi öncesinde metalografik olarak hazırlanmış ve yüzeyleri alkol ile temizlenmiştir. Daha sonra sıcak hava üfleyicisi ile numuneler kurutulmuştur. Tüm aşınma testleri, kuru sürtünme koşullarında, karşı yüzey olarak AISI 52100 çelik bilyaları (çap 5 mm)

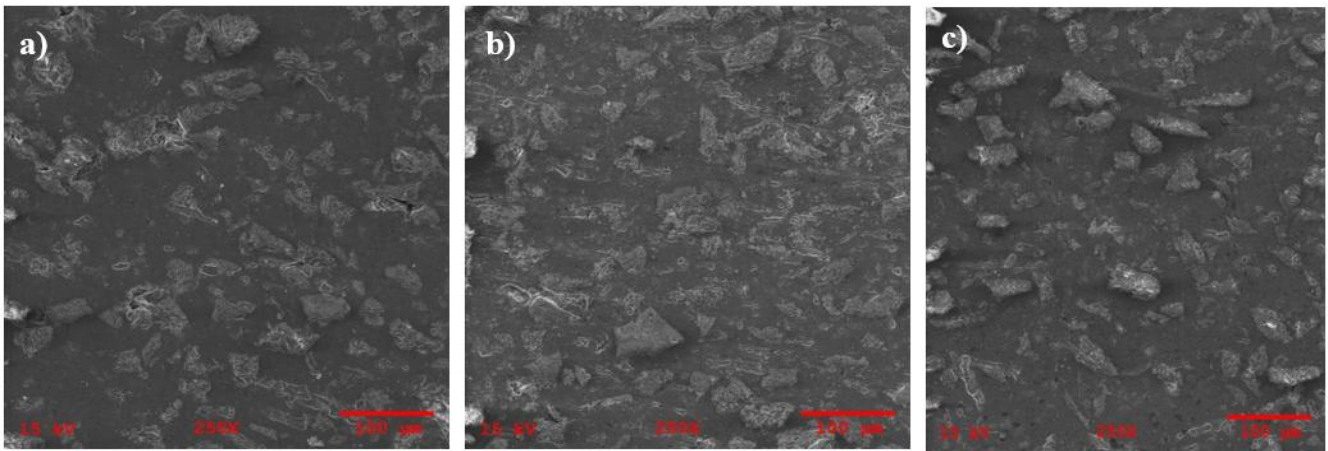
kullanarak 10 N normal yük altında gerçekleştirilmiştir. Çalışma parametreleri yapılan literature çalışmaları neticesinde belirlenmiştir [8,18]. Aşınma davranışının belirlenmesinde ağırlık kaybı tercih edilmiştir. Kayma hızı 0,13 m/s ve kayma mesafesi 300 m olarak tüm numuneler için sabit tutulmuştur.

Aşınma testleri sırasında sürtünme katsayıları sürekli olarak kaydedilmiştir. Aşınma testi sonrası numunelerin ağırlık kaybı ölçülmüştür. Test sonrası numunelerin aşınma yüzeyleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak incelenmiştir.

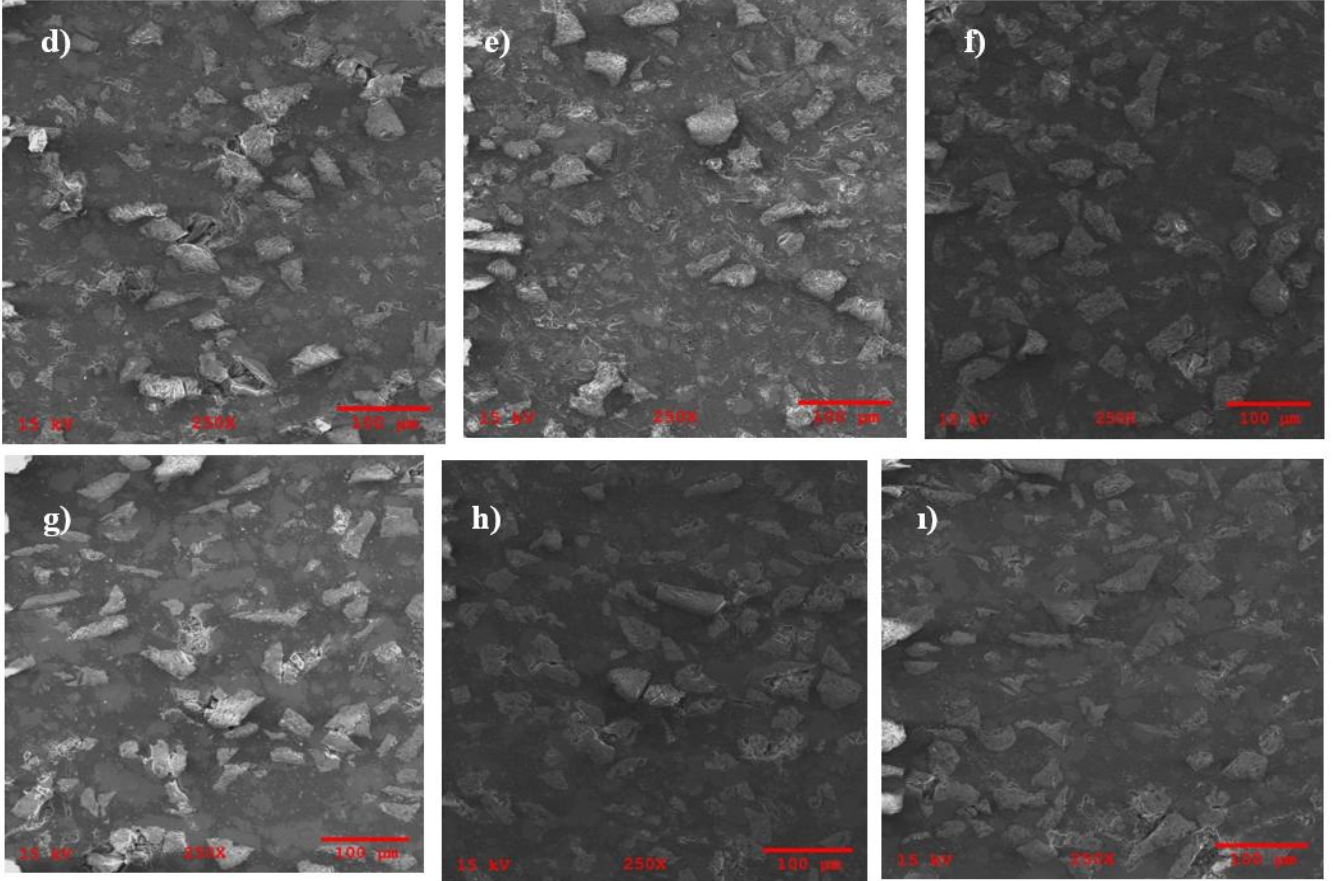
### 3. Bulgular ve Tartışma

#### 3.1. Mikroyapısal İncelemeler

Alaşımın SEM görüntüleri öncesinde metalografik hazırlama işlemlerine tabi tutulmuştur. Zımparalama işleminde 600, 1000 ve 2000 gridlik zımparalar kullanılmıştır. Numunelere parlatma işlemi 6, 3 ve 1  $\mu\text{m}$ 'lik elmas pasta ile yapılmış ve her bir numune için yaklaşık 15 dk kadar sürmüştür. Şekil 3'te farklı Ni içeren (ağırlıkça %10'a kadar) numunelerin mikroyapı görüntülerine yer verilmiştir. SEM görüntülerinden homojen dağılıma sahip içyapılar elde edildiği anlaşılmaktadır. Seçilen farklı sinterleme parametreleri ile bu numuneler için uygun sinterleme süresinin mikroyapı üzerine etkisi de bu çalışmada araştırılmıştır. Mikroyapılar incelendiğinde artan sinterleme süresi ve artan nikel miktarının da matriste homojen bir dağılım sağlanmasına katkı sağladığı görülmüştür. Takviyesiz numunelerle kıyaslandığında ortaya çıkan gerilme dayanımı kompozit malzemelere güç kazandırır ve bu güçlenmeden sorumlu olan mikroyapısal değişiklikler, tribolojik testlerde de kendini göstermiştir [16,17].

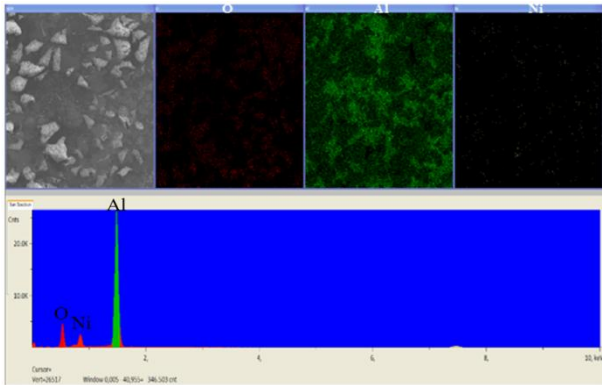


Şekil 3. Farklı sinterleme süresi ve artan nikel içeriğine sahip numunelerin mikroyapı görüntüleri a) 20 dk için Nikel içermeyen numune b) 30 dk için Nikel içermeyen numune c) 40 dk için Nikel içermeyen numune d) 20 dk için % 5 nikel içeren numuneler e) 30 dk için % 5 nikel içeren numuneler f) 40 dk için % 5 nikel içeren numuneler



**Şekil 3(Devam).** Farklı sinterleme süresi ve artan nikel içeriğine sahip numunelerin mikroyapı görüntüleri a) 20 dk için Nikel içermeyen numune b) 30 dk için Nikel içermeyen numune c) 40 dk için Nikel içermeyen numune d) 20 dk için % 5 nikel içeren numuneler e) 30 dk için % 5 nikel içeren numuneler f) 40 dk için % 5 nikel içeren numuneler

SEM ile yapılan mikroyapı incelemeleri neticesinde, artan sinterleme süresi ve artan nikel miktarının matriste homojen bir dağılım sağladığı için %10 Ni ihtiva eden 40 dakika sinterleme süresine sahip alaşıma EDX analizi yapılmıştır.

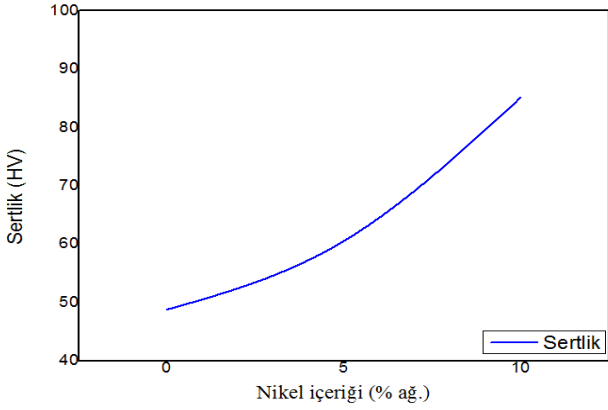


**Şekil 4.** %10 Ni içeren 40 dk sinterleme süresine sahip alaşımın elementel dağılım analizi

Şekil 4'te 40 dakika sinterleme süresine sahip alaşımın elementel dağılım analizlerine aşağıda yer verilmiştir. Elementel analiz verilerine göre ve alaşımın elementel bileşim oranı göz önüne alındığında dağılımın homojen bir şekilde olduğunu söylenebilir.

### 3.2. Yoğunluk

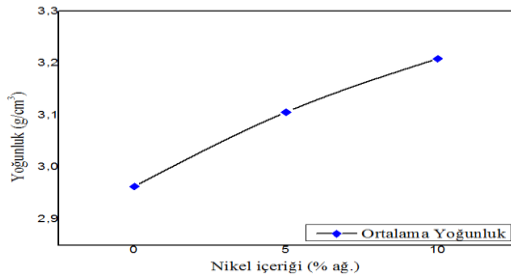
Şekil 5'te yoğunluğun artan nikel içeriği ile birlikte farklı sinterleme sürelerine ait numuneler üzerindeki değişimini göstermektedir. Şekil 5'ten sinterlenmiş numunelerin yoğunluğunun artan nikel içeriğiyle birlikte arttığı görülmektedir. Nikelin 8,9 g/cm<sup>3</sup> olan yüksek yoğunluk değeri artan nikel içeriğiyle birlikte alaşımlarında yoğunluğunun artmasına yol açmıştır. En düşük yoğunluk değeri 20 dakika sinterleme süresine sahip nikel katkısız numune ile elde edilirken, en yüksek yoğunluk değerine 40 dakika sinterleme süresine sahip %10 nikel ihtiva eden numune ile ulaşılmıştır.



Şekil 5. Numunelerin farklı sinterleme süresi ve artan nikel içeriğine bağlı yoğunluk değişimi

### 3.3. Sertlik

Sinterlenmiş numunelere yapılan beş testin ortalaması alınarak sertlik ölçümü tamamlanmıştır. Şekil 6'da sertlik sonucu elde edilen değerler gösterilmiştir.



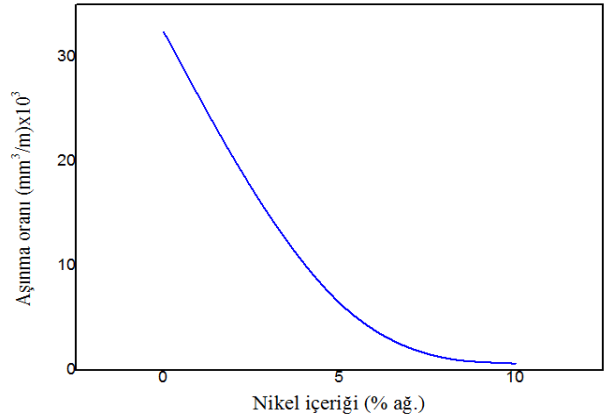
Şekil 6. Nikel ilavesiyle numunelerin sertlik değişimi

Görüldüğü gibi, numunelerin sertliği Ni içeriği arttıkça artmaktadır. En yüksek sertlik değeri 40 dakika sinterleme süresine ve %10 Ni-%40 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-%50 Al içeriğine sahip numune ile kaydedilmiştir. Sertliğin artması, nikel katkısının ve sinterleme süresinin artışıyla ilişkilendirilmiştir. J. H. Jin ve D.J. Stephenson birlikte yaptıkları çalışmada, toz metalurji metoduyla farklı bileşim oranlarında Ni-Al alaşımlar elde ettikten sonra sertlik ve aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Bileşimdeki Al oranının azalışı ve ağırlıkça nikel katkısının artışı, alaşımda sertlik artışına neden olduğunu tespit etmişlerdir [19]. Nikel miktarının artışı ve Al miktarının azalması sertlik artışına neden olduğu ileri sürülebilir.

### 3.4. Aşınma Testi

Alaşımlar üzerindeki nikel etkisini incelemek için sinterlenmiş numunelere aşınma testleri uygulanmıştır. Elde edilen yoğunluk ve sertlik verilerine göre 40 dakika sinterleme süresine sahip alaşımlar aşınma testine tabi

tutulmuştur. Kullanılan çelik bilya 100Cr6 olup sertliği maksimum 218 HV civarındadır. Elde edilen aşınma değerleri Şekil 7'de gösterilmektedir.



Şekil 7. Nikel ilavesiyle aşınma oranı değişimi

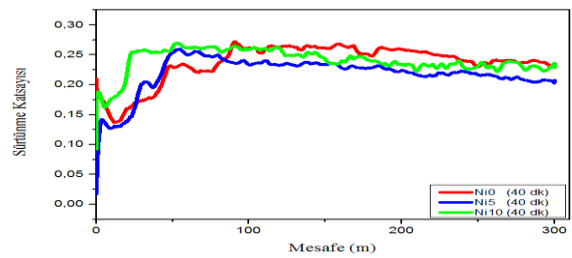
Nikel miktarının artışı malzemenin aşınma direncinde bir artışa neden olmuştur.

Alaşımda kullanılan yüksek Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> partikül konsantrasyonunun miktarının aşınma davranışı üzerinde önemli ölçüde etkisi söz konusudur. M. Al-Qutub ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmadan yüksek Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> partikül konsantrasyonunun daha yüksek aşınma oranlarına yol açtığı anlaşılmaktadır [9]. Aşınma oranı hesabına Tablo 1'de yer verilmiştir.

Tablo 1. Alaşımların aşınma oranı hesabı

Numuneler	Yoğunluk (g/cm³)	Ağırlık Kaybı (mg)	Hacimsel Kayıp (mm³)	Aşınma Oranı (mm³/m)	Spesifik Aşınma Oranı (cm³/m. N)
%0 Ni	2,96	28,8	9,72	32,4x10 <sup>-3</sup>	3,24
%5 Ni	3,11	1,3	0,42	1,4x10 <sup>-3</sup>	0,14
%10 Ni	3,21	0,6	0,19	0,6x10 <sup>-3</sup>	0,06

Alaşımların aşınma oranı artan nikel içeriğiyle azalma göstermiştir. Şekil 8'de görüldüğü üzere, alaşımların karşı yüzey ile kompozit arasındaki temas gerilmesi aşınma testinin ilk aşamasında maksimum bir değere sahiptir.



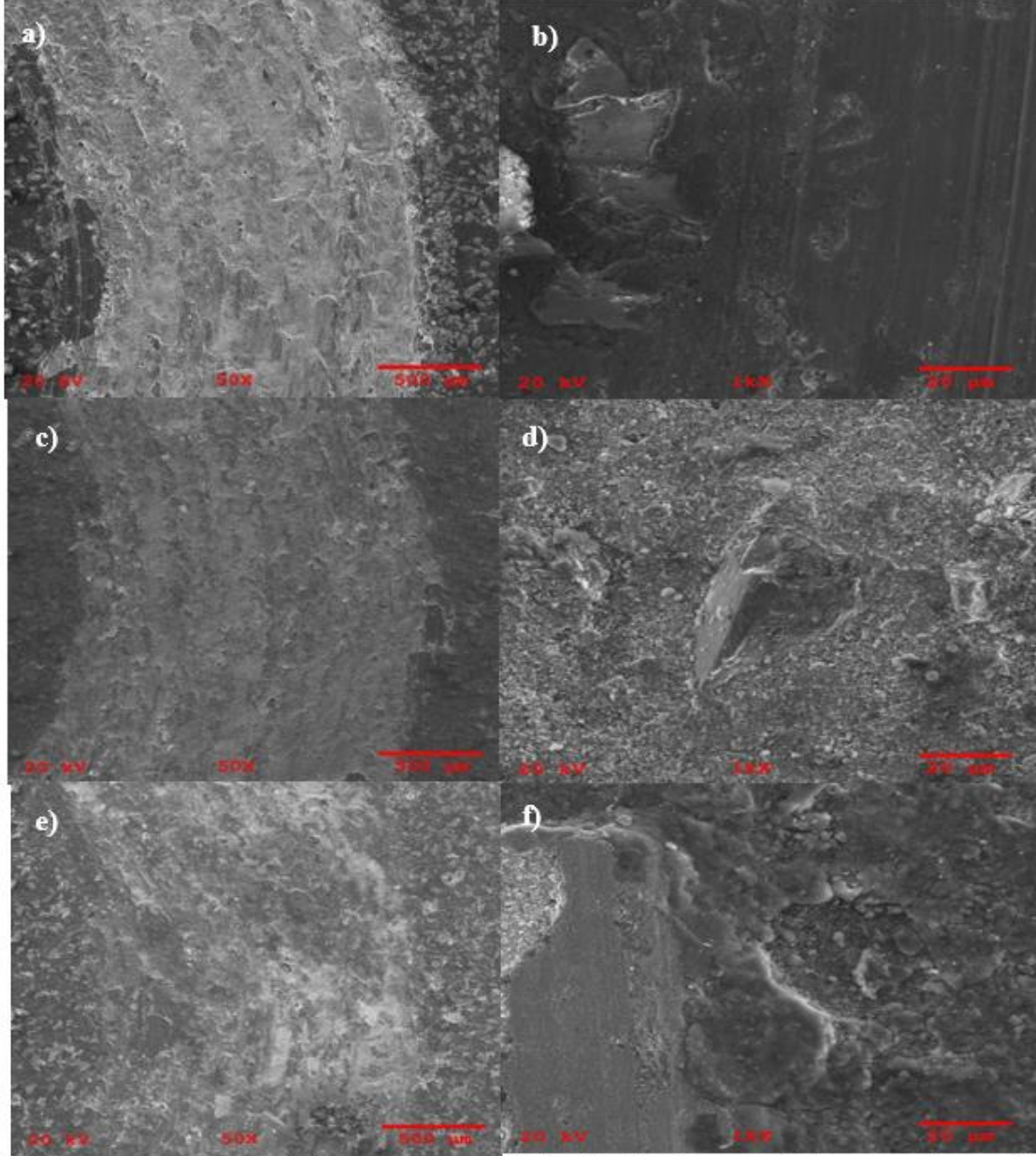
Şekil 8. Sinterlenmiş numunelerde sürtünme katsayısı ve kayma mesafe değişimi

Aşınma testinde 100 m kayma mesafesinden sonra tüm numuneler kararlı duruma gelmiştir. Sonuçlar nikel varlığının sertliği arttığını ve sürtünme katsayısını düşürdüğünü göstermiştir.

### 3.5. Aşınmış Yüzey Araştırmaları

Malzemenin aşınma özelliklerini anlayabilmek için,

numunelerin aşınma yüzeyleri SEM ile incelenmiştir. Şekil 9'da aşınma izlerine ait görüntüler verilmiştir. Aşınmış yüzeyler, ağırlıkça %10 nikel içeriğine sahip olan numune mikroyapı görüntülerinde görüldüğü üzere daha homojen ve pürüzsüz hale gelmiştir. Setlik artışına bağlı olarak deformasyon azalmıştır.



Şekil 9. Aşınmış yüzeylerin SEM görüntüleri, Nikel katkısız farklı büyütme a) 50x b) 1000x, %5 Ni farklı büyütme c) 50x d)1000x, %10 Ni farklı büyütme e)50x f)1000x

### 4. Sonuçlar

Toz metalurjisi yüksek dayanımlı, hafif, aşınmaya dirençli metal matrisli kompozitleri üretmek için fırsatlar sunan bir yöntemdir. Bu yöntem kullanılarak alümina

katkılı ve nikel ile alaşımlandırılmış alüminyum esaslı kompozitler üzerindeki mikroyapı, sertlik ve aşınma etkisi araştırılmıştır.

Elde edilen sonuçlar aşağıda listelenmiştir.

- SEM görüntülerinde takviye edilen nikel parçacıklarının matriste homojen olarak dağıldığı gözlemlenmiştir.

- Makro sertlik ölçümlerinde, artan nikel içeriğinin bir etkisi olarak alaşımın sertliğinin arttığı gözlemlenmiştir. En yüksek sertlik değeri 40 dakika sinterleme süresine ve %10 Ni- %40 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>- %50 Al içeriğine sahip numune ile elde edilmiştir. Sertliğin artmasına sebep olarak nikel katkısı ve sinterleme süresi etkili olmuştur.

- Aşınmaya maruz kalan malzemelerde en düşük ağırlık kaybını veren, aşınma dayanımı yüksek ve aşınan yüzeylerde daha az deformasyona uğramış malzemelerin elde edilmesi istenir. Yapılan triboloji testi neticesinde elde edilen tüm sonuçlar göz önünde bulundurulduğunda; Nikel ilavesiyle kompozitin aşınma özelliklerinin geliştiği görülmüştür.

### Kaynaklar

- [1] Torralba J. M., da Costa C. E., Velasco F., 2003. P/M Aluminum Matrix Composites: An Overview. *Journal of Materials Processing Technology*, **133**, 203–206.
- [2] Çerezci T., Nikel Partikül Takviyeli Alümina Seramik Kompozitlerin Sentezi ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2008, 21604.
- [3] Giuranno D., Tuissi A., Novakovic R., Ricci E., 2010. Surface Tension and Density of Al-Ni Alloys. *Journal of Chemical Engineering & Engineering Data*, **55**, 3024.
- [4] Adamiec J., 2007. Ni3Al Alloy Properties Related to High-Temperature Brittleness. *Archives of Materials Science and Engineering*, **28** (6), 333-336.
- [5] Krasnowski M., Kulik T., 2007. Nanocrystalline FeAl Matrix Composites Reinforced with TiC Obtained by Hot-pressing Consolidation of Mechanically Alloyed Powders. *Intermetallics*, **15**, 1377-1383.
- [6] Stoloff N., Liu C. T., Deevi S. C., 2000. Emerging Applications of Intermetallics. *Intermetallics*, Elsevier Science B. V., **8**(9-11), 1313-1320.
- [7] Koli D. K., Agnihotri G., Purohit R., 2013. Properties and Characterization of Al- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Composites Processed by Casting and Powder Metallurgy Routes (Review), *International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology (IJLTET)*, **2**(4), 486-496.
- [8] Al-Qutub A. M., Samed M. A., 2008. Wear and Friction of Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Composites at Various Sliding Speeds. *Journal of Materials Science*, **43**(17), 5797-5803.
- [9] Shibata K., Ushio H., 1994. Tribological application of MMC for reducing engine weight. *Tribology International*, **27** (1), 39–44.
- [10] Sharma P., Sharma S., Khanduja D., 2015. A Study on Microstructure of Aluminium Matrix Composites. *Journal of Asian Ceramic Societies*, **3**(3), 240–244.
- [11] Alpas A.T., Zhang J., 1994. Effect of Microstructure (Particulate Size and Volume Fraction) and Counter face Material on the Sliding Wear Resistance of Particulate-Reinforced Aluminum Matrix Composites. *Metallurgical and Materials Transactions*, **25A**, 969-983.
- [12] Deuis R. L., Subramanian C., Yellup J. M., 1997. Dry Sliding Wear of Aluminium Composites(A Review). *Composites Science and Technology*, **57**, 415-435.
- [13] Yashpal, Sumankant, Jawalkar C. S., Verma A. S., Suri N.M., 2017. Fabrication of Aluminium Metal Matrix Composites with Particulate Reinforcement: A Review. *Materials Today: Proceedings*, **4**, 2927–2936.
- [14] Mazahery A., Abdizadeh H., Baharvandi H. R., 2009. Development of High-Performance A356/ Nano-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Composites. *Materials Science and Engineering*, **A 518**, 61–64.
- [15] Karakulak E., Yamanoglu R., Zeren M., DüNDAR E. E., 2014. Production and Characterization of Hot Pressed Al-Ni Alloys. *Metal, Brno, Check Republic*, 21-23 May, 1-7.
- [16] Shockley J. M., Descartes S., Vo P., Irissou E., Chromik R. R., 2015. The influence of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Particle Morphology on the Coating Formation and Dry Sliding Wear Behavior of Cold Sprayed Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Composites. *Surface & Coating Technology*, **270**, 1-31.
- [17] Shen Y. L., 2010. Constrained Deformation of Materials, Springer DOI 10.1007/978-1-4419-6312-3.
- [18] Yamanoglu R., 2014. Production and Characterization of Alx-Ni In Situ Composites Using Hot Pressing, *J. Min .Metall. Sect. B-Metall.*, **50** (1), 45 – 52.
- [19] Jin J. H., Stephenson D. J., 1998. The Sliding Wear Behaviour of Reactively Hot Pressed Nickel Aluminides. *Wear*, **217**, 200-207.