

**T.C.**  
**BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> PARÇACIK TAKVİYE ORANININ VE SİNERLEME  
PARAMETRELERİNİN ALÜMİNYUM KOMPOZİTLERİNİN  
AŞINMA DAVRANIŞINA ETKİSİ**

**MELİH ARABACI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Jüri Üyeleri :** Prof. Dr. Hakan ÇETİNEL (Tez Danışmanı)  
Doç. Dr. Gülcan TOKTAŞ  
Dr. Öğr. Üyesi Selda KAYRAL

**BALIKESİR, OCAK - 2024**

## ETİK BEYAN

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak tarafımda hazırlanan “**Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Parçacık Takviye Oranının ve Sinterleme Parametrelerinin Alüminyum Kompozitlerinin Aşınma Davranışına Etkisi**” başlıklı tezde;

- Tüm bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Kullanılan veriler ve sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tüm bilgi ve sonuçları bilimsel araştırma ve etik ilkelere uygun şekilde sunduğumu,
- Yararlandığım eserlere atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,

Beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ederim.

**Melih ARABACI**

## ÖZET

**Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> PARÇACIK TAKVİYE ORANININ VE SİNERLEME  
PARAMETRELERİNİN ALÜMİNYUM KOMPOZİTLERİNİN AŞINMA  
DAVRANIŞINA ETKİSİ  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MELİH ARABACI  
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. HAKAN ÇETİNEL)**

**BALIKESİR, 2024**

Kompozit malzemelerin gelişmesiyle partikül takviyeli Al kompozitleri giderek önem kazanmaya başladığından, bu malzemelerin kullanım alanları yaygınlaşmıştır. Yumuşak faz yapısına sahip ve kullanım alanı sınırlı olan Al içerisine Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> gibi partiküller ilave edilmesiyle daha sert ve tribolojik özelliği iyi olan yapı elde edilir. Bu çalışmada %5, %10, %20 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviyeli Al esaslı metal matrisli kompozitler (MMK) üretilmiştir. Metal matrisli kompozitler 40 bar ve 60 bar basınçlar altında preslenerek katı numuneler elde edilmiştir.

Bu numuneler 560°C’de 60, 90, 120 dakika sürelerinde sinterlenerek yoğunluk, sertlik ölçümleri, sürtünme katsayıları kıyaslanmıştır. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviyeli kompozitlerin aşınma testleri CSM instruments markalı aşınma cihazında 6 N ve 10 N kuvvetler uygulanarak yapılmıştır. Aşınan bölgeler taramalı elektron mikroskopuyla (SEM) ile incelenmiş hem adhesiv hem abraziv aşınmanın yanı sıra, kısmi kopmalar ve plastik deformasyonlar görülmüştür. Numunelerin profilometre cihazında aşınmış alanları hesaplanarak sonuçları incelenmiştir. Takviye oranı arttıkça sertlik değerlerinin arttığı gözlenmiştir.

**ANAHTAR KELİMELELER:** Metal matrisli kompozit, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, toz metalürjisi

Bilim Kod / Kodları : 91437, 91438

Sayfa Sayısı : 58

## **ABSTRACT**

### **THE EFFECT OF AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub> PARTICLE REINFORCEMENT RATIO AND SINTERING PARAMETERS ON WEAR BEHAVIOR OF ALUMINUM COMPOSITES**

**MSC THESIS**

**MELİH ARABACI**

**BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE**

**MECHANICAL ENGINEERING**

**(SUPERVISOR: PROF. DR. HAKAN ÇETİNEL )**

**BALIKESİR, 2024**

With the development of composite materials, particle reinforced Al composites started to gain importance and their usage areas became widespread. By adding particles such as Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> to Al which has a soft phase structure and limited usage area, a harder and better tribological property is obtained. In this study, 5%, 10%, 20% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> reinforced Al based metal matrix composites (MMK) were produced. Metal matrix composites were pressed under 40 bar and 60 bar pressures to obtain solid samples.

These samples were sintered at 560°C for 60, 90, 120 minutes and density, hardness measurements and friction coefficients were compared. Abrasion tests of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> reinforced composites were carried out by applying 6 N and 10 N forces on CSM instruments brand abrasion device. Wear regions were examined by scanning electron microscopy (SEM), both adhesive and abrasive wear, as well as partial breaks and plastic deformations. Worn areas of the samples on the profilometer device were calculated and the results were examined. It was observed that the hardness values increased as the reinforcement ratio increased.

**KEYWORDS:** Metal matrix composite, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, powder metallurgy

Science Code / Codes : 91437, 91438

Page Number : 59

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iii</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>v</b>
<b>TABLO DİZİNİ</b> .....	<b>viii</b>
<b>SEMBOL LİSTESİ</b> .....	<b>ix</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>x</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. TOZ METAL İŞLEME TEKNİKLERİ</b> .....	<b>3</b>
2.1 Alüminyum Esaslı Toz Metaller.....	4
2.1.1 Alüminyum Oksitler .....	4
2.2 Toz Metal İşleme Yönteminin Genel Avantajları .....	6
2.3 Toz Metal İşleme Uygulama Alanları .....	7
2.4 Toz Metal Üretim Teknikleri.....	7
2.4.1 Mekanik Toz Üretimi .....	8
2.4.2 Fiziko-Kimyasal Yöntemiyle Toz Üretimi .....	8
2.4.3 Kimyasal Yöntemle Toz Üretimi .....	9
2.5 Toz Metal Parça Üretimi .....	9
2.5.1 Karıştırma, Sıkıştırma, Sinterleme .....	9
2.6 Toz Metal ve Alüminyum Oksit ile İlgili Yapılan Çalışmalar .....	11
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEMLER</b> .....	<b>13</b>
3.1. Materyal.....	13
3.2 Elekten Geçirme .....	13
3.3 Tozları Karıştırma.....	13
3.4. Presleme .....	13
3.5 Sinterleme .....	15
3.6 Aşınma, Yüzey Pürüzlülük ve Sertlik Ölçüm .....	15
3.7 SEM Taramalı Elektron Mikroskobu .....	16
3.8 Numunelerin Yoğunluklarının Hesaplanması .....	17
3.9 Karışımların Sertlik Ölçümleri .....	18
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA</b> .....	<b>19</b>
4.1 Numunelerin Yoğunluk ve Sertlik Ölçümü Sonuçları .....	21
4.2 Numunelerin Karışım Oranına Bağlı Yoğunluk Deneyi Sonuçları.....	23
4.3 Numunelerin Sertlik Sonuçları .....	27
4.3.1 Numunelerin Karışım Oranına Bağlı Sertlik Sonuçları.....	27
4.3.2 Numunelerin Presleme Basıncına Bağlı Sertlik Sonuçları .....	30
4.4 Numunelerin Takviye Oranına Bağlı Aşınma Miktarı Sonuçları.....	32
4.5 Aşınma Deneyi Sonucu Ortalama Sürtünme Katsayıları Grafikleri .....	39
4.6 SEM, Sürtünme Katsayıları ve Aşınmış Alan Sonuçları.....	45
<b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER</b> .....	<b>53</b>
<b>KAYNAKLAR</b> .....	<b>55</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	<b>58</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1: Toz Metal parçaların pazar payları [3] .....	7
Şekil 2.2: Mekanik öğütme ile toz üretimi [2] .....	8
Şekil 3.1: Hidrokar Hidrolik Pres .....	14
Şekil 3.2: Protherm Fırın.....	15
Şekil 3.3: CSM Tribometer.....	16
Şekil 3.4: Quanta 250 model SEM taramalı elektron mikroskobu .....	17
Şekil 3.5: Arşimet deney düzeneği.....	18
Şekil 3.6: Sertlik Ölçme Cihazı [24] .....	18
Şekil 4.1: Ø 20 mm olacak şekilde preslenerek aşınma testi uygulanmış numune örneği .....	21
Şekil 4.2: % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> miktarının yoğunluk üzerindeki etkisi (P=40 bar; 120 dk).....	24
Şekil 4.3: % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> miktarının yoğunluk üzerindeki etkisi (P=60 bar; 120 dk) .....	24
Şekil 4.4: % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> miktarının yoğunluk üzerindeki etkisi (P=40 bar; 90 dk) .....	25
Şekil 4.5: % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> miktarının yoğunluk üzerindeki etkisi (P=60 bar; 90 dk) .....	25
Şekil 4.6: % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> miktarının yoğunluk üzerindeki etkisi (P=40 bar; 60 dk) .....	26
Şekil 4.7: % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> miktarının yoğunluk üzerindeki etkisi (P=60 bar; 60 dk) .....	26
Şekil 4.8: % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> miktarının sertlik üzerindeki etkisi (P=40 bar; 120 dk. ).....	28
Şekil 4.9: % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> miktarının sertlik üzerindeki etkisi (P=60 bar; 120 dk) .....	28
Şekil 4.10: % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> miktarının sertlik üzerindeki etkisi (P=40 bar; 90 dk) .....	29
Şekil 4.11: % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> miktarının sertlik üzerindeki etkisi (P=60 bar; 90 dk) .....	29
Şekil 4.12: % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> miktarının sertlik üzerindeki etkisi (P=40 bar; 60 dk) .....	30
Şekil 4.13: % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> miktarının sertlik üzerindeki etkisi (P=60 bar; 60 dk) .....	30
Şekil 4.14: Presleme Basıncı 40 bar için numunelerin karışım oranına bağlı sertlik değişimi.....	31
Şekil 4.15: Presleme Basıncı 60 bar için numunelerin karışım oranına bağlı sertlik değişimi.....	32
Şekil 4.16: % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> miktarının aşınma miktarı üzerindeki etkisi (P=40 bar; t=120dk.)....	33
Şekil 4.17: % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> miktarının aşınma miktarı üzerindeki etkisi (P=60 bar; t=120dk.)....	34
Şekil 4.18: % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> miktarının aşınma miktarı üzerindeki etkisi (P=40 bar; t=90 dk.)....	34
Şekil 4.19: % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> miktarının aşınma miktarı üzerindeki etkisi (P=60 bar; t=90 dk.)....	35
Şekil 4.20: % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> miktarının aşınma miktarı üzerindeki etkisi (P=40 bar; t=60 dk.)....	35
Şekil 4.21: % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> miktarının aşınma miktarı üzerindeki etkisi (P=60 bar; t=60 dk.)....	36
Şekil 4.22: % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> miktarının aşınma miktarı üzerindeki etkisi (P=40 bar; t=120dk.)....	36
Şekil 4.23: % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> miktarının aşınma miktarı üzerindeki etkisi (P=60 bar; t=120 dk.)...	37
Şekil 4.24: % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> miktarının aşınma miktarı üzerindeki etkisi (P=40 bar; t=90 dk.).....	37
Şekil 4.25: % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> miktarının aşınma miktarı üzerindeki etkisi (P=60 bar; t=90 dk.).....	38
Şekil 4.26: % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> miktarının aşınma miktarı üzerindeki etkisi (P=40 bar; t=60 dk.).....	38
Şekil 4.27: % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> miktarının aşınma miktarı üzerindeki etkisi (P=60 bar; t=60 dk.).....	39
Şekil 4.28: % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> miktarının sürtünme katsayısı üzerindeki etkisi (P=40bar;120dk) ....	40
Şekil 4.29: % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> miktarının sürtünme katsayısı üzerindeki etkisi (P=60bar; 120dk) ...	40

<b>Şekil 4.30:</b>	% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> miktarının sürtünme katsayısı üzerindeki etkisi (P=40 bar; 90dk) ....	41
<b>Şekil 4.31:</b>	% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> miktarının sürtünme katsayısı üzerindeki etkisi (P=60 bar; 90dk) ....	41
<b>Şekil 4.32:</b>	% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> miktarının sürtünme katsayısı üzerindeki etkisi (P=40 bar; 60 dk) ...	42
<b>Şekil 4.33:</b>	% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> miktarının sürtünme katsayısı üzerindeki etkisi (P=60 bar; 60 dk) ...	42
<b>Şekil 4.34:</b>	% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> miktarının sürtünme katsayısı üzerindeki etkisi (P=40 bar; 120 dk) ...	43
<b>Şekil 4.35:</b>	% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> miktarının sürtünme katsayısı üzerindeki etkisi (P=60bar; 120 dk) ...	43
<b>Şekil 4.36:</b>	% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> miktarının sürtünme katsayısı üzerindeki etkisi (P=40 bar; 90 dk) ...	44
<b>Şekil 4.37:</b>	% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> miktarının sürtünme katsayısı üzerindeki etkisi (P=60 bar; 90 dk) ...	44
<b>Şekil 4.38:</b>	% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> miktarının sürtünme katsayısı üzerindeki etkisi (P=40 bar; 60 dk) ...	45
<b>Şekil 4.39:</b>	% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> miktarının sürtünme katsayısı üzerindeki etkisi (P=60 bar; 60 dk) ...	45
<b>Şekil 4.40:</b>	2 ve 6 nolu numunelerin 100 x'te SEM görüntüleri .....	46
<b>Şekil 4.41:</b>	2 ve 6 nolu numunelerin 1000 x'te SEM görüntüleri .....	47
<b>Şekil 4.42:</b>	2 ve 6 nolu numunelerin sürtünme katsayıları.....	47
<b>Şekil 4.43:</b>	2 ve 6 nolu numunelerin aşınmış alanları .....	47
<b>Şekil 4.44:</b>	9 ve 27 nolu numunelerin 100 x'te SEM görüntüleri .....	49
<b>Şekil 4.45:</b>	9 ve 27 nolu numunelerin 1000 x büyütmedeki SEM görüntüleri .....	50
<b>Şekil 4.46:</b>	9 ve 27 nolu numunelerin sürtünme katsayıları.....	50
<b>Şekil 4.47:</b>	9 ve 27 nolu numunelerin aşınmış alanları .....	51
<b>Şekil 4.48:</b>	31 ve 35 nolu numunelerin 100 x'te SEM görüntüleri .....	51
<b>Şekil 4.49:</b>	31 ve 35 nolu numunelerin 1000 x'te SEM görüntüleri .....	52
<b>Şekil 4.50:</b>	31 ve 35 nolu numunelerin sürtünme katsayıları.....	52
<b>Şekil 4.51:</b>	31 ve 35 nolu numunelerin aşınmış alanları .....	52

## TABLO LİSTESİ

### Sayfa

<b>Tablo 2.1:</b> Aşınma dayanıklı bazı seramiklerin fiziksel özellikleri [15] .....	5
<b>Tablo 4.1:</b> Numunelerin Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> miktarına, preslendiği basınca, sinterleme süresi ve aşınma yüküne göre isimlendirilmesi .....	19
<b>Tablo 4.2:</b> Numunelerin Yoğunluk ve Sertlik Değerleri .....	21





## SEMBOL LİSTESİ

<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	:Alüminyum Oksit
<b>SiC</b>	:Silisyum Karbür
<b>MMK</b>	:Metal Matrisli Kompozit
<b>SEM</b>	:Taramalı Elektron Mikroskobu
<b>T/M</b>	:Toz Metal



## ÖNSÖZ

Lisansüstü çalışmalarında bana desteğini esirgemeyen, bilgi, tecrübe, deneyimleri ile sabırla yol gösteren Sayın Hocam Prof. Dr. Hakan ÇETİNEL'e sonsuz teşekkür ederim.

Tez aşamasında bana yol gösteren Doç. Dr. Mehmet AYVAZ'a, Doç. Dr. Simge İrizalp'e, Dr. Öğr. Üyesi Seda Arabacı'ya, mesleğime ve hayatımdaki başarılarında her zaman destek olan aileme çok teşekkür ederim.

**Balıkesir, 2024**

**Melih ARABACI**



## 1. GİRİŞ

Kompozit malzemelerin gelişmesiyle partikül takviyeli Al kompozitleri giderek önem kazanmış, bu malzemelerin kullanım alanları yaygınlaşmıştır. Günümüzde, maliyet ve kalitenin odak noktası haline geldiği bir ortamda, parça üretimi toz metal teknikleriyle giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Toz metalurjisi yöntemi, mikron boyutlarındaki pek çok malzemenin tozlarını kullanarak yeni parçaların oluşturulmasını mümkün kılar. Alüminyum ve alaşımları, farklı alanlarda kullanım için incelenen matriks malzemeler arasında yer almaktadır.

Alüminyum yumuşak bir faz yapısına sahiptir ve bu haliyle kullanım alanı sınırlıdır, içerisine  $Al_2O_3$  ve SiC gibi partiküller ilave edilmesiyle dispersiyon sertleşmesi etkisi oluşturularak daha hem daha sert ve hem de tribolojik özelliği de daha iyi olan bir yapı elde edilir. Alüminyum toz metal parçaların kullanılmasının en önemli nedeni, karmaşık şekilli parçaların üretiminde harcanan para ve zamanın azaltılması, karmaşık şekilli parçalarda net veya net ölçüye yakın sonuçlar elde edilmesidir. Al toz metal parçaların en önemli özelliği diğer toz metal parçalarla kıyaslandığında daha hafif olmalarıdır. Alüminyum tozlarının oksitlenme problemlerinden dolayı sıvı faz sinterlemesi önemli bir avantaj sağlamak ve sinterleme sıcaklıklarının kontrolü oldukça önemli hale gelmektedir. Günümüzde metal matrisli kompozit (MMK) malzemelerin özel uygulama alanlarında kullanımları giderek artmaktadır [1]. MMK'lerin üstünlükleri; yüksek mukavemetleri, yorulma ve aşınma mukavemetleri özelliklerinin yanında yüksek tokluk ve elastisite modülünden gelmektedir. Metallerin sünekliği, seramiklerin dayanım ve yüksek elastisite modülü özellikleri ile birleşmeleri sonucunda mühendislik malzemeleri ortaya çıkmıştır [2]. MMK üretiminde Al ve alaşımlarının matris olarak kullanıldığı ürünlerde,  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ , SiC, gibi takviye elemanları ile kimyasal ve fiziksel olarak uygunluk göstermektedirler [3]. MMK'lerin üretim zorluklarının azaltmak ve kullanım alanlarını genişletmek için çalışmalar devam etmektedir. MMK'ler, birleştirilmeleri sayesinde otomotiv, uzay gibi birçok endüstriyel alanda kullanım potansiyelini artırmaktadır. Bu avantajlara ek olarak, tekrar üretilebilir mikro yapı, geliştirilebilir mekanik özellikler ve düşük yoğunluk gibi özellikler açısından da önemli bir rol oynamaktadırlar [4-6].

Partiküllerin hacim oranı artması ve boyutlarının azalmasıyla porozite oranının arttığı gözlenmiştir. Dökümden sonra basınç uygulanması, porozite miktarının azalmasına neden olmuştur [7].

Bu çalışmada seramik takviyeli Al esaslı metal matrisli kompozitler mekanik alaşımlama yöntemi ile üretilmiştir. Matris elemanı olarak %98 saflıkta Al esaslı toz, takviye elemanı olarak ise  $Al_2O_3$  kullanılacaktır. Üretilen kompozitlerde  $Al_2O_3$  takviye elemanı oranları ağırlıkça seçilecektir. Öncelikle elekten geçirilerek tane boyutu belirlenecek olan tozlar daha sonra karıştırılacak ve  $Al_2O_3$  parçacıklarının homojen olarak yapıya dağılması sağlanacaktır. Mekanik alaşımlama sonrası Al-  $Al_2O_3$  tozlar belirli bir basınç altında preslenerek blok numuneler üretilenektir. Üretilen blok numuneler belirli bir sıcaklıkta 60 ve 90 dakika süresince sinterlenecektir.

Kompozit numunelerin mikroyapı incelemeleri, optik mikroskop kullanılarak gerçekleştirilecek ve  $Al_2O_3$  parçacıklarının matris içindeki dağılımı belirlenecektir. Üretilen kompozitler, sertlik ölçümlerine tabi tutulacaktır. Ayrıca,  $Al_2O_3$  takviyeli kompozitlerin kuru sürtünme aşınma testleri, pin-on-disk cihazında farklı yükler altında belirli mesafelerde ağırlık kayıpları hassas terazi ile ölçülerek gerçekleştirilecektir. Aşınmış yüzeyler, optik mikroskop ile incelenecektir.

Toz metalurjisi yöntemiyle pek çok malzemenin mikron boyutlarındaki tozları kullanılarak yeni parçalar oluşturulabilir. Alüminyum ve alaşımları, çeşitli alanlarda kullanım potansiyeli araştırılan matris malzemelerindedir. Bu yöntemin amacı, malzemenin dayanımını arttırmaktır. Bu sayede, hafif ve daha mukavemetli parçalar elde edilebilmektedir.

## **2. TOZ METAL İŞLEME TEKNİKLERİ**

Toz metal işleme, partiküllerin birbirine sıkışma yoluyla bağlanarak katı bir parça haline getirilmesidir. İlk olarak toz metalurjisi yönteminin uygulanması kimyasal olarak elde edilmiş platin ve iridyum gibi yüksek sıcaklıkta eriyen malzemeler üzerine olmuştur. 1826 yılında Rusya'da tedavüle sokulan platin içeren para, toz metalurjisinin ilk endüstriyel uygulamasıdır [8].

Maliyet ve kalitenin günümüzde öncelikli hale geldiği bir ortamda, toz metal teknikleriyle parça üretimi önemli bir konu haline gelmektedir. Toz metalurjisi yöntemi, mikron boyutlarındaki çeşitli malzemelerin tozlarını kullanarak yeni parçaların oluşturulmasını mümkün kılar. Alüminyum ve alaşımları, çeşitli kullanım alanları için araştırılan matriks malzemelerindendir. Bazı alaşımların mekanik özellikleri, çökme sertleşmesi uygulamasıyla iyileştirilmektedir. Yöntemin temel hedefi, malzemenin sertliğini ve dayanımını artırmaktır. Bu sayede, hafif ancak güçlü mekanik özelliklere sahip parçalar elde edilebilmektedir. Alüminyum metal kompozitlerin makine konstrüksiyonlarında, çökme sertleşmesi uygulanan matriks malzemeler seçilerek mekanik özelliklerin en iyi şekilde geliştirilmesi amaçlanmaktadır [9,10].

## 2.1 Alüminyum Esaslı Toz Metaller

Alüminyum esaslı malzemeler sahip oldukları yüksek özellikli mukavemet özelliği nedeniyle uçak ve otomotiv endüstrisi için oldukça caziptir.

Alüminyum toz metal parçaların kullanılmasının en önemli nedeni, karmaşık şekilli parçaların üretiminde harcanan para ve zamanın azaltılması, karmaşık şekilli parçalarda net veya net ölçüye yakın sonuçlar elde edilmesidir. Al toz metal parçaların en önemli özelliği diğer toz metal parçalarla kıyaslandığında daha hafif olmalarıdır. Toz metal işleme ile üretilen alüminyum esaslı malzemelerin geliştirilmeleri veya uygulama alanlarındaki başarısı için malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi gereklidir. Konu ile ilgili bir çalışmada farklı kompozisyonlara sahip Al-Zn alaşımı ile Al-Cu-Si/SiCp kompozit malzemeler toz metal yöntemleri kullanılarak üretilmiş ve farklı presleme basınçlarında üretilen malzemelerin yoğunluk davranışları ve bazı mekanik özellikleri incelenmiştir [8].

Alüminyum alaşımları, elyaf ve partikül formunda takviye elemanları ile üretildiklerinde yüksek sertlik ve mukavemetlerinin arttığı ayrıca aşınma dirençleri ve daha yüksek sıcaklık dayanımlarının da arttığından otomotiv, uzay ve diğer mühendislik sektörlerindeki uygulamalarda kullanılmaları her geçen gün biraz daha artmaktadır 1998'de alüminyum tozu 1100 ton civarında üretilirken, üretim günümüzde 23000 tonlara çıkmıştır [9].

### 2.1.1 Alüminyum Oksitler

$Al_2O_3$ , alüminyumun oksijenle yanması veya hidroksit, nitrat veya sülfatının ısıtılmasıyla elde edilebilir. Bu malzeme, elmas, bor nitrürden sonra gelen bir kıymetli taş olarak bilinir [11].

Bir seramik tozu olup alüminyumun aşınma direncini artırır. Alüminyum oksit ( $Al_2O_3$ ) veya alumina, yüksek ergime sıcaklığı (2040 °C), yüksek sertlik (2000 -HV), düşük yoğunluk ( $3.96 \text{ g/cm}^3$ ) ve yüksek oksidasyon direnci gibi özellikleri nedeni ile kesici takım uygulamalarında kullanılan oldukça önemli bir seramik malzemedir.  $Al_2O_3$  kesici takımlar ticari olarak olarak 1950'li yıllarda Amerika Birleşik Devletlerinde Ford şirketi tarafından kullanılmaya başlanmış, ancak kullanımında tungsten karbür esaslı kesici takımlara kıyasla önemli avantajlar gözlenmemiştir. Bunun başlıca nedeni  $Al_2O_3$ 'ün diğer seramik malzemeler

gibi düşük dayanım ve düşük kırılma tokluğuna sahip olması, ve de kullanım ömrünün belirsizlik göstermesidir [12].

$Al_2O_3$ , sinterleme sıcaklığının düşük olması, sertliğinin yüksek olmasının yanında oksit ve oksit dışı malzemelerle sinterlemeye elverişli olması nedeni ile korozif sıvıların, çamurların, tozların ve gazların aktarıldığı ve işlendiği ortamlarda oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır  $Al_2O_3$  simgesi ile tanımlanan ve hegzagonal kristal yapıya sahip olan bu malzeme, alüminyumun tek kararlı oksidi olup, korundum olarak da isimlendirilir [13].

Alüminyum oksidin farklı kristal yapıda değişik modifikasyonları bulunmakta olup bunlardan  $\alpha$ -  $Al_2O_3$  formu en yoğun ve kararlı olanıdır. Toz metalürjisi alanında yüksek yoğunluklu dolayısıyla gözeneksiz ve daha düşük sinterleme sıcaklığına sahip malzeme üretimi için sürekli araştırmalar yapılmaktadır. İlk çalışmalar katkılarının  $Al_2O_3$ 'ün sinterleşme davranışına etkisi üzerine yoğunlaşmıştır [14].  $Al_2O_3$ 'ün sinterlenmesi konusunda yapılan çalışmalar katkı maddelerinin etkisi ve sinterleme mekanizmaları konularında yoğunluk kazanmıştır. Bu amaçla  $Al_2O_3$ 'e fiziksel, elektriksel, kimyasal ve mekanik özellikleri iyileştirmek amacıyla Cr, Ti, Fe, Mn, Mg, Si, Ca, Cu oksitleri ilave edilmektedir [13]. Yapılan birçok çalışmalar  $Al_2O_3$ 'e sertliğini geliştiren krom katkısı üzerinedir. Birçok diğer seramiklerde olduğu gibi Alüminyum oksidin dayanımı da tane büyüklüğü ile ilişkilidir. Bu yüzden Alüminyum oksidin matriks yapısı içinde ince ve homojen olarak dağılması dayanımı yükseltmektedir. Ancak, malzemenin kırılma tokluğu genellikle düşük olmaktadır.  $Al_2O_3$  içeren MMK'lerin kırılma tokluğu, büyük uzun veya levhamsı tanelerin ince tane yapıları bir matrikste rastgele dağıldığı durumlarda artmaktadır. Bu büyük taneler, kırılma işlemi sırasında, wisker içeren kompozit malzemelerde olduğu gibi çatlak ilerlemesine etkili bir şekilde direnç gösterirler [14].  $Al_2O_3$ 'ün fiziksel özellikleri aşağıdaki Tablo 2.1'deki gibidir;

**Tablo 2.1:** Aşınma dayanıklı bazı seramiklerin fiziksel özellikleri [15].

Özellikler	$Al_2O_3$	$Si_3N_4$	$SiAlON$	$ZrO_2$	$SiC$
------------	-----------	-----------	----------	---------	-------

Yoğunluk( $\text{gr/cm}^3$ )	3.92	3.3	3.2	5.73	3.14
Sertlik HV	1900	1300	1780	1600	2596
Elastik Modülü (GPa)	392	276	290	200	464
Çekme Mukavemeti (MPa)	262	524	450	700	-
Kırılma Tokluğu ( $\text{MPa}\sqrt{m}$ )	4.0	4.5	7.7	9.5	2.5
Ergime Sıcaklığı (°C)	2015	1900	2025	2700	-

Düşük kaliteli çeşitli safsızlıklar içeren  $\text{Al}_2\text{O}_3$  tozlarının aşınma plakası, iplik klavuzu, nozul, vana contası, motor ve pompalarda kullanılan sızdırmazlık elemanları gibi yapısal uygulamalarda kullanılabilirliği ve bu şekilde katma değeri olan ürünlere dönüştürülmesi arzu edilen bir durumdur. Alüminyum toz metal parçaların titreşim azaltıcı özelliğinden dolayı son yıllarda otomobillerin rod bağlantılarında kullanmanın uygun olacağı düşünülmektedir. Al alaşımlarına  $\text{Al}_2\text{O}_3$  takviyeleri metal matris kompozitlerinin tribolojik ve ticari uygulamalarda gün geçtikçe önemi artmaktadır. Günümüzde iyi ısı kararlılık, iyi tribolojik ve mekanik özelliklere sahip bu kompozitler aşınma direncini iyileştirmek için krank mili yataklarında ve motor bloklarında da kullanılmaktadır [16].

## 2.2 Toz Metal İşleme Yönteminin Genel Avantajları

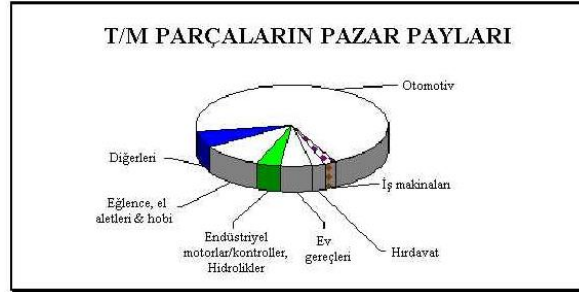
Toz Metal, işleme operasyonuna gerek kalmadan dar toleranslarda hemen hemen bitmiş parça imalat etme yöntemi olarak bilinir. Ancak bazı uygulamalarda T/M parçaların talaşlı işlenmesi hala önemini korumaktadır. Presleme esnasında elde edilemeyen bazı geometrik şekillerin oluşturulması ve daha hassas yüzeylerin elde edilmesi amacıyla uygulanan işleme operasyonu, klasik işlenebilirlik problemlerine ilaveten T/M malzemelerin yapısından kaynaklanan işleme zorluklarını da içermektedir. Bu nedenle T/M parçaların işlenmesinde, T/M yönteminin tüm imalat aşamalarının bilinmesi oldukça önemlidir. Bunların yanı sıra, talaş kaldırma maliyeti ve T/M parça birim maliyetini arttıran işleme zorluklarının optimize



edilmesi gereklidir [6]. Toz metal işleme yönteminin avantajları şunlar olarak sıralanabilir: yüksek üretim hızları, düşük maliyet, düzgün yüzey elde etme imkanı, yakın tolerans değerlerinin sağlanması, karmaşık şekilli parçaların başarılı bir şekilde imalatı, yüksek yoğunluğa sahip parça üretimi, metal matriks kompozit ve metal alaşımlarının başarılı bir şekilde üretilmesi, üstün mikro yapısal özelliklere sahip parçaların üretimi, belirli bir derecede gözeneklilik ve geçirgenlik.

### 2.3 Toz Metal İşleme Uygulama Alanları

T/M kullanım alanlarına örnek olarak diş dolguları, mermiler, otomotiv dişlileri, şarj olabilen piller ve jet motorları verilebilir. Savunma Sanayisi de T/M kullanım alanlarından biridir. Toz metal endüstrisinde demir parçaların üretimi çoğunluktadır. Düşük yoğunlukta parçalara ihtiyaç duyulduğu otomotiv endüstrisi T/M yöntemini daha hafif parça üretimine doğru yönlendirmektedir. Ayrıca toz metallerin kullanımına biyomalzemeler de eklenmektedir. Vücut ve dokularla daha uyumlu, daha az aşınma ve korozyon davranışı gösteren, daha uzun çalışma ömrüne sahip, daha ekonomik ve gerektiğinde de daha estetik görünüme sahip biyo malzemelerin keşif ve kullanım imkanı T/M ile artmaktadır. Şekil 2.1’de toz metal endüstrisinin hitap ettiği alanlar görülmektedir [6].



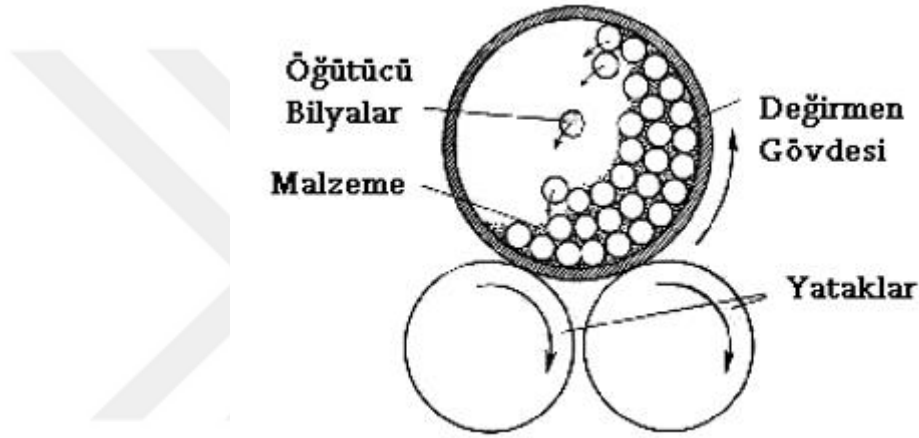
Şekil 2.1: Toz Metal parçaların pazar payları [3].

### 2.4 Toz Metal Üretim Teknikleri

Toz metal malzeme üretiminde, birkaç mikrondan birkaç yüz mikrona kadar parçalanmış partiküller genellikle toz olarak adlandırılır. Bu tozun geometrik şekli üretim yöntemine bağlı olarak değişir ve küresel, dendritik formlar gibi çeşitli şekillerde olabilir. Aynı şekilde, üretim yöntemine bağlı olarak tozun yüzey durumu, yani pürüzlülük veya gözeneklilik, farklılık gösterebilir. Tozun boyutları ve şekli parçanın imalatı açısından önem taşımaktadır.

### 2.4.1 Mekanik Toz Üretimi

Bu yöntem ile malzeme mekanik olarak kırma, öğütme işlemleriyle parçalanarak toz haline getirilir. Gevrek malzemeler genellikle bilyalı değirmenlerde öğütülerek toz haline getirilir. Ancak, gevrek olmayan sünek malzemelerin kırılması, öğütme işlemi sıvı azot ile soğutulmuş önce gevrek hale getirilerek yapılır. Sünek malzemelerin öğütülmesi özellikle alüminyum öğütülmesinde yapışmayı engelleyici yağlayıcılar kullanılarak gerçekleştirilir. Başka bir uygulama, önce hidrürler oluşturmak ve ardından bu hidrürlerin vakum ortamında giderilmesiyle metal veya tozlarının elde edilmesidir; bu yöntem özellikle titanyum malzemesi için tercih edilir. Şekil 2.2'de, mekanik olarak toz eldesi sürecini gösteren bir örnek bulunmaktadır [2].



Şekil 2.2: Mekanik öğütme ile toz üretimi [2].

### 2.4.2 Fiziko-Kimyasal Yöntemiyle Toz Üretimi

Bu yöntem ile organik bir bağlayıcıyla fiziksel bağ oluşturularak karıştırılır, ardından çözücü uçurulur ve geriye kalan malzeme de bir elekten geçirilir. Bu yöntem özellikle NiAl ve AlSi-polyester tozlarının üretiminde sıkça kullanılır. Hazırlanan karışım, döner bir püskürtücüden geçirilir ve gelen sıcak hava ile tozların ayrılması ve taşınması sağlanır. Bu yöntem özellikle zirkonyum gibi seramik malzemelerde ve WC-Co gibi sermetlerde kullanılır. Malzeme genellikle sinterleme ile yoğunlaştırılır ve stabilize edilir. Kimyasal topaklaştırmaya ek olarak mekanik topaklaştırma (Hosakawa Yöntemi) gibi bir seçenek de bulunmaktadır. Bu yöntemde, daha sert olan bir bileşen, mekanik olarak daha yumuşak olan matrise girer ve bu sayede bir kompozit toz oluşur.

### **2.4.3 Kimyasal Yöntemle Toz Üretimi**

Kimyasal yolla toz üretiminde sayısız yöntem kullanmak mümkündür, bunlar arasında Sol-gel, kimyasal çöktürme, reaksiyon ile, CVD kimyasal buhar biriktirme, redüksiyon (otoklav içindeki hidrojen vasıtasıyla metal tuzlarını redükleyerek metal eldesi), dekompozisyon (parçalama, örneğin metal karbonil bileşikleri gibi) ve elektroliz sayılabilir. CVD yönteminde ısıtma hidrojen atmosferinde gerçekleşir. Sol-Gel metodu ile seramik malzeme üretimi genellikle nükleer endüstrisinde eleme ve sınıflandırma işlemlerini yapmayan bir yöntemdir, bu yöntemle elde edilen parça boyutları  $<20\mu\text{m}$  dir, ve akıcılığı çok iyidir. Diğer ilginç kimyasal yöntem INCO firmasının geliştirdiği karbonil prosesidir, bu yöntemle nikel-grafit gibi tozlar üretmek mümkündür [2].

### **2.5 Toz Metal Parça Üretimi**

Toz metal parça hassas boyutlarda parça üretimine imkan verdiği için ekonomik sayılabilen bir üretim tekniğidir. T/M parça üretimi karıştırma, farklı basınçlar altında presleme, sinterleme gibi işlemlerden oluşmaktadır [2].

#### **2.5.1 Karıştırma, Sıkıştırma, Sinterleme**

Metal tozuna, farklı alaşım elementleri istenilen miktarda ilave edilir. Tozlarla beraber uygun yağlayıcılar (max % 0.5-1.5 oranlarında) olmak üzere takviye edilir. Bu Yağlayıcıların kullanılması sıkıştırma anında tozun kalıbın cidarlarına yapışmasına engel olmaktadır. Yoğunluğun her bölgede aynı olmasına da olanak sağlanmış olur. Çelik veya karbür kalıplar içinde ortalama 300 ve 800 MPa aralığındaki basınç altında yapılır. Sıcak sıkıştırma ile T/M parçalarının özgül ağırlıkları artırılabilir. Sıcak sıkıştırma işleminde toz karışımı özel bir yağlayıcı ile yağlanır ve kalıplar yaklaşık 130-150 °C sıcaklığında gerçekleştirilir. Sıcak sıkıştırma ile takım ömrü artırılabilir. Mumun giderilmesi aşamasında yağlayıcıların uçması sağlatılır. Toz taneciklerinin üstündeki oksitler fırının içinde redüklenir ve ilk bağlanma oluşması sağlatılır. Sinterlemedeki mekanizmalar yüzey ve hacim difüzyonudur. Difüzyon sayesinde katkıların demir içerisine difüze edilmesi sağlanır. Sinterleme fırınında soğutma olan bölgede, parçaların havayla olan teması oksitlenmelerinin engellenmesi amacıyla koruyucu gaz ile soğumaları sağlatılır. Soğumanın hızı 850-500 °C/sn civarında olur, Sinterleme esnasında değişimler görülür. Baskı kalıpları tasarlanırken değişimlerde göz önünde bulundurulur [2].

### **2.5.2 Gözeneklerin Doldurulması, Yağ Emdirme, Baskı, Buharla İşlem, Presleme**

Parçanın oluşturulduğu malzemenin sinterleme sıcaklığından düşük metal ile gözeneklerin doldurulması sağlanır. Gözeneklerin doldurulması, mekanik özelliklerinde iyileşme sağlar, fakat önemli bir konu parça boyutlarında değişimin izlenmesidir. İşlemin başka bir faydası ısıtılma sırasında istenen tabakaların kalınlıklarının hesaplanmasında porozitenin olmamasından dolayı kolaylık sağlamasıdır. Sinterlenmiş parçalarda korozyon direnci metal dışı maddeler ve ya yağ emdirilerek artırılabilir. Kendiliğinden yağlamalı olan yataklar T/M metodu ile yapılır, yataklarda porozitelerin içine yağlamasız yatak yapımı yağ emdirilmesi ile gerçekleştirilir. Sinterleme sonrasında uygulanacak ek presleme işlemi son ölçüye getirme ve baskı işlemidir. Yüzeyin kalitesini arttırmak ve son ölçüye getirilmesi için az kuvvette presleme yapılarak hafif plastik deformasyonu sağlanır. Baskı işleminin amaçları; boyut hassasiyetini arttırma ve parça yoğunluğunun arttırılmasıdır. Demir esaslı olan alaşımlara uygulanmaktadır, parçalar 550 °C ye kadar ısıtılmakta ve parçaya su buharı gönderilmektedir, parça boşluklarında Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ün oluşması sağlanır. Bu işlem ile parçadaki korozyon direnci, aşınma direnci, sertliği, ve basma yüklerine karşı dirençte artırılmış olmaktadır. Parça, mekanik özellikler açısından önemliyse tekrar presleme uygulanır ve istenen özelliklerinde eldesi sağlanır. Preslenmiş parçalar 700-800°C de sinterlenmesinde eklenen yağlayıcılar uzaklaşır ve parçada kristalleşme gerçekleşir. İşlem anında oluşan sertleşme, iç gerilimler sonrasında parçanın eski sünekliğini ve yoğunluğunun arttırılması gerekir, bu sebeple presleme yapılır, parça sonrasında sinterlenir [2].

### **2.5.3 Talaş Kaldırma, Çapak Alma, Birleştirme ve Montaj, Isıl İşlem, Yüzey**

#### **Kaplama**

Kesici takımın ömrünü arttırabilmek için tozların içine talaşlı imalatı kolaylaştırıcı MnS ilave edilir. Sinterleme sonrasında da yapıda bu katkıları kaldığı için talaşlı imalatı olumlu yönde etkiler. Presleme sonrası parçaların üzerinde görülen çapakların giderilme işlemidir. Genelde tamburun içine aşındırıcı toz ilave edilerek yapılan işlemdir. Büyük ve karmaşık parçaların birleştirilmesi suretiyle gerçekleştirilir. Kullanılan yöntemlerin bazıları; difüzyonla birleştirme işlemi, lazer ile kaynaklamadır. T/M ile üretilmiş parçalarda faz dönüşümleri parça içinde poroziteyle değil parçayı oluşturan tozların homojen olması ve bileşimi ile ilgilidir. Bu nedenle T/M ile üretilmiş parçalara ısıtılma işlemi uygulanabilmektedir. Su vermeyle sertleştirme ve temperleme sonucu T/M parçaların mukavemetinde, aşınma dirençlerinde artış oluyor iken sünekliğinde de azalma görülmektedir. Karbonitrürasyon,

Karbürleme gibi sertleştirme işlemleri uygulanabilir. Malzemelerin korozyona karşı dirençli olması bekleniyorsa elektrolizle yüzey kaplama yapılabilir. Elektrolitin T/M parçalarının boşluklarına girip olumsuz etkenlere sebep olmasını engellemek adına porozitenin gözeneklerinin doldurulması gerekir [2].

## 2.6 Toz Metal ve Alüminyum Oksit ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Al içerikli kompozitlerine SiC partikül takviyenin etkileri incelenmiştir. Aşınma deney sonuçlarında, iri tanecikli SiC (37  $\mu\text{m}$ ) takviyesiyle elde edilen kompozitlerin, ince SiC (13  $\mu\text{m}$ ) ile takviye olan kompozitlere göre daha yüksek aşınma direnci gösterdiği gözlenmiştir [17].

Üç farklı boyutta ve hacim oranında  $\alpha$ -  $\text{Al}_2\text{O}_3$  partikülleri ile takviye edilmiş 2024 Al esaslı MMK üretilmiş, porozitenin ve yoğunluk ölçümlerinin çok düşük olduğu; partikül oranının artışı ve boyutunun düşmesi ile porozite oranının arttığı gözlenmiştir. Yapılan mikroyapı incelemeleri SEM ile gerçekleştirilmiş olup, partikül boyutlarının artışı ile homojen dağılım sağlandığı tespit edilmiştir [18].

Kompozit malzemedeki yoğunluk değeri  $\text{Al}_2\text{O}_3$  hacim oranı artması ile artmıştır. SEM incelemelerinde,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ün, yeteri kadar homojen dağılım gerçekleştirmediği ve segregasyonlu bölgelerin olduğu gözlenmiştir. SEM görüntülerinde, kırılmaların genellikle matris malzemelerinde olduğu belirlenmiştir. Partiküller arasındaki mesafede gaz boşlukları saptanmıştır [19].

Al esaslı MMK'lar mekanik alaşımlama ile üretilmiştir. Takviye elemanı  $\text{Al}_2\text{O}_3$  kullanılmıştır. Kompozitlerde  $\text{Al}_2\text{O}_3$  oranları % 5, 10 ve 15 olarak seçilmiştir. Tozlar 650 MPa basınçta 600 °C sıcaklıkta 2 saat sinterlenmiştir. MMK'de seramiklerin tane boyutu küçüldükçe, sertlik değerleri azalmış, ağırlık kaybı arttığı görülmüştür. Takviye oranının artmasıyla, sertlik değerleri artarak, ağırlık kayıpları azalmıştır. SEM ile aşınan yüzeylerde incelemede, matris malzemelerinde kısmi kopma baskınken, MMK'lerde ise plastik deformasyonun baskınlığı gözlenmiştir [20]. % 5, 10 ve 15  $\text{Al}_2\text{O}_3$  takviyeli malzemeler üretilerek, pin-on-disk cihazıyla abraziv aşınma incelenmiştir. Aşınma test numuneleri üretebilmek için 400 MPa basınç ve 580 °C'de sıcaklıkta 1 saat tek yönlü olacak şekilde eksenel bir kalıpta sıcak presleme gerçekleştirilmiştir. Abraziv aşınmanın testleri pin-on-disk cihazında 200 m de 2-8 N altında değişen yüklerle gerçekleştirilmiştir.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  oranı

artıkça Al kompozit malzemede sertliğin arttığı görülmüştür. Yük artıyor iken numunelerde aşınma değerlerinin arttığı, malzemelerin takviye oranları artıyorken aşınma kayıplarının ise azaldığı görülmüştür. Aşınma performansı % 15 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeriğindeki malzemede görülmüştür [21]. Aşınma deneyinde aşınma miktarı ve kuvvet belli bir mesafe boyunca kayıt edilir, sonrasında sürtünme katsayısı, aşınma oranı hesaplanır. Sürtünme kuvveti anlık okunabiliyorken, ağırlık kayıpları deneyden önce ölçülen değer ile deney sonrası ölçülen değer arasındaki farkın alınarak hesaplanmasıdır [22]. Bhansali ve Mehrabian yaptıkları bir çalışmada SiC ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviye edilen 2024 ve 2014 Al alaşımlarının aşınma davranışlarını incelemişler, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> elemanının matris ile güçlü bir bağ oluşturmasından Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviyeli malzemenin aşınma direncinin daha iyi olduğunu bulmuşlardır. İri tanecikli Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviyesinin ince olana göre daha iyi aşınma direncinin olduğunu bulmuşlardır. Takviye oranları arttıkça aşınmaya karşı dirençte artmıştır [23]. Alüminyum kompozitlerin aşınma davranışı, takviye oranı ve sinterleme parametreleri dahil olmak üzere çeşitli faktörlerden etkilenir. Takviyenin, kompozitlerin mekanik özellikleri üzerindeki etkisi incelendi [26]. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> parçacıklarının ve sertleşmesinin, alüminyum alaşımlarının özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmış ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> parçacıklarının alaşım özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir [27]. Ayrıca, proses parametrelerinin metal matrisli kompozitlerin mikro yapısı üzerindeki önemini vurgulayarak, alüminyum metal matrisli kompozitlerde proses parametrelerinin etkisi araştırılmıştır [28]. Bilyalı öğütülmüş nanoyapılı kompozitlerin toz metalurjisi proses parametrelerini değerlendirerek kompozit malzemeler için proses parametrelerinin optimizasyonuna ilişkin bilgiler sağlanmıştır [29]. Ayrıca ve ark. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiB<sub>2</sub>/TiC kompozit seramik malzemesi için plazma sinterleme parametrelerinin tasarımına odaklanılarak kompozit seramik malzemelerin hazırlanmasında sinterleme parametrelerinin önemi incelenmiştir [30].

### 3. MATERYAL VE YÖNTEMLER

#### 3.1. Materyal

Manisa Celal Bayar Üniversitesi'nde  $Al_2O_3$ 'ün, Al esaslı toz metale eklenerek mekaniksel özelliklerini belirlemek için yapılan çalışma için toplam 1 kg  $Al_2O_3$  tozu; elendikten sonra 126 g  $Al_2O_3$  tozu, 906.3 g saf Al tozu kullanılmak üzere ayrılmıştır.

#### 3.2 Elekten Geçirme

$Al_2O_3$  tozları mikron boyutlarına göre ayırıştırmak amacıyla elekten geçirilmiştir. Göz kararıyla koyulan tozlar 30 dakika eleme cihazında titreştirilerek, cihazın alt katlarına dökülmesi sağlatılmıştır. Birinci katına 100  $\mu m$ , ikinci katına 63  $\mu m$ , üçüncü katına 53  $\mu m$  tozlar ayırıştırmıştır.

53  $\mu m$ 'lik tozlar bir yere ayrıldıktan sonra ikinci kattaki 63  $\mu m$ 'lik tozların içerisine biraz daha toz ilave ederek 53  $\mu m$ 'lik tozları fazlalaştırmak amacıyla tozlar tekrar elekten geçirilmiştir.

#### 3.3 Tozları Karıştırma

Elekten geçirilen  $Al_2O_3$ 'ler saf alüminyum tozu ile belirli miktarlarda Radwag PS 100-c-2 marka hassas tartı yardımıyla tartılarak karıştırılmıştır.

Ağırlıkça %5  $Al_2O_3$  , %10  $Al_2O_3$ , %20  $Al_2O_3$  takviye edilerek toplamaları 10 g olacak şekilde 36 numune elde edilmiştir. Homojen olarak karışması için karıştırma işlemi 37.5 dev/dakikada 2 saatte gerçekleştirilmiştir. Alüminyumun yoğunluğu 2.7  $g/cm^3$  iken  $Al_2O_3$ 'ün yoğunluğu 3.95  $g/cm^3$ 'tür.

#### 3.4. Presleme

Saf alüminyumun içine karıştırılan %5 katkı , %10 katkı, %20 katkı  $Al_2O_3$  tozlarından toplam 36 adet 20 mm çapında 10 mm yüksekliğinde numune oluşturulmuş, Şekil 3.1'deki Hidrokar hidrolik pres yardımıyla 18 adet 40 bar basınçla ve 18 adet 60 bar basınçla preslenmiştir.



**Şekil 3.1:** Hidrokar hidrolik pres.

Presleme sırasında yağlayıcı olarak %3 stearik asit ve etil alkol karışımı kullanılmıştır. Yağlayıcı olarak metal stearatlar ve mum kullanılmıştır. Yağlayıcı kullanılmasının temel nedeni, sıkıştırma esnasında tozun kalıp cidarlarına yapışmasını engellemek ve tozların birbiri üzerinde daha rahat kaymasını ve şekil almasını ve preslenmiş parçanın kalıptan çıkışını kolaylaştırmaktır. Her işlemten sonra kalıp ve zimba temizlenerek yağlanmıştır.

Sıkıştırma işlemi esnasında toz partikülleri önce uygulanan kuvvet yönünde hareket ederler. Tozlar sıvı gibi akmaz; kalıp yüzeyi ile partiküller arasında sürtünme neticesi bir reaksiyon kuvveti gelişir. Bu kuvvet uygulanan kuvvete eşit bir değere ulaşıncaya kadar sıkışma eksenel yönde devam eder. Daha sonra partiküller yatay yönde hareket ederler. Basınç bir darbe şeklinde uygulanırsa, maksimum yoğunluk ıstampının hemen altında meydana gelir ve ıstamp ile temas eden yüzeyden itibaren artan mesafe ile birlikte azalır. Bu yüzden ürün boyunca homojen yoğunluğun sağlanması amacıyla basıncın homojen bir şekilde transferi nadiren mümkündür. Çift aksiyonlu presler daha homojen yoğunluk elde edilmesini ve daha kalın ürünlerin kalıplanabilmesini sağlarlar. Yoğunlaştırma veya sıkıştırma işleminde kenar



duvarların sürtünmesi anahtar bir faktör olduğundan, presleme ile elde edilen yoğunluk kalıplanan parçanın kalınlığı ve genişliğinin bir fonksiyonudur [12].

### 3.5 Sinterleme

Preslenmiş parçanın mukavemet kazanabilmesi için, preslenen parça içindeki tozların yüksek sıcaklıkta birbirine bağlanarak gerçekleştirdiği bir ısıl işlem uygulanmaktadır. Bu ısıl işlem, sıkıştırılmış ham yoğunluktaki toz metal parçalarına düşük bir sıcaklıkta gerçekleştirilmiş olup, bu sayede parçaya mukavemet ve yüksek yoğunluk kazandırmayı amaçlamaktadır. Presleme sonrası ham parçanın mukavemeti, parçanın kalıptan bozulmadan çıkmasını ve sinterleme için taşınabilmesini sağlayacak düzeydedir. Sinterleme işlemi, ham mukavemetten çok daha yüksek bir mukavemet artışı sağlar. Oluşan numuneler, 560 °C'de, Şekil 3.2'deki Protherm fırında 60, 90 ve 120 dakika süreyle sinterlenmiştir.



Şekil 3.2: Protherm fırın.

### 3.6 Aşınma, Yüzey Pürüzlülük ve Sertlik Ölçümü

Kompozit numunelerin adhesiv aşınma deneyleri, ball-on-disc tipi CSM Tribometer cihaz ile kuru ortamda yapılmıştır (Şekil 3.3). Aşınma deneyleri; 6 ve 10 N yükler altında, 1 m/sn

sabit hızda ve 1.5 km kayma mesafesinde yüzeyleri seramik bilyeler kullanılarak oda sıcaklığında yapılmıştır. Üretilen kompozit numunelerin aşınma miktarları, 0,1 mg ölçme hassasiyetine sahip elektronik terazide, deney öncesi ölçülen ağırlıkları ile deney sonrası ölçülen ağırlıkları arasındaki fark hesaplanması ile tespit edilmiştir. Aşınma deneyi; taşıyıcı kola istenen yükün uygulanması ile numunenin, dönen T/M malzeme ile üretilen parça üzerinde kaydırılması ile yapılmıştır. Yüzeyi taşlanmış bir disk üzerinde üç aşınma testi yapılmıştır. 250 m, 500 m ve 750 m yol boyunca Şekil 3.3'teki CSM Tribometer aşınma cihazında testleri yapılarak ağırlık ölçümleri alınmıştır.



**Şekil 3.3:** CSM tribometer.

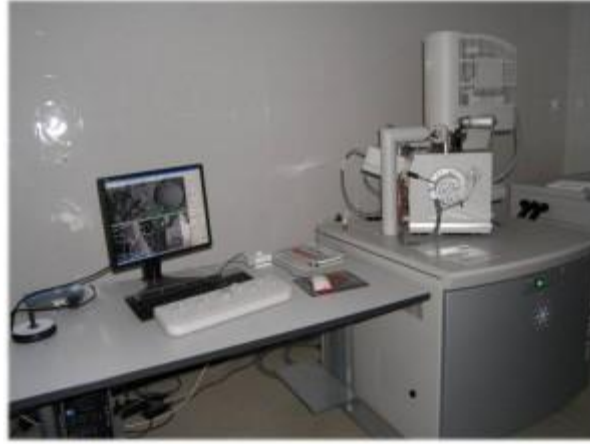
Aşınma oranı direkt tribometer yazılımında elde edilmiştir. Sertlik testi için 20 mm çapında ve 10 mm kalınlığındaki numunelerin EMCO-Test markalı Brinell sertlik ölçme cihazında 62,5 kgf yük altında 2,5 mm çapındaki bilye uç ile sertlikleri ölçülmüştür. Her bir numune için 3 farklı ölçüm yapılmış ve ortalama sertlik değerleri alınmıştır.

Test sonrası aşınan yüzeylerde, Mitutoyo Surf Test SJ – 301 marka profilometre ile aşınma alanı tayini için ölçümler yapılmıştır. Cihazdan alınan çıktılardan üzerinden aşınma alanları hesaplanmıştır. Aşınma izlerinin üzerinden sertlik ölçülmüştür. Aşınma öncesi numunelerin ağırlıkları Radwag PS 100-c-2 hassas tartı kullanılarak ölçülmüştür.

### **3.7 SEM Taramalı Elektron Mikroskobu**

Malzemelerin yapılarını mikro boyutta görüntüleyebilmek için Şekil 3.4 teki Quanta 250 SEM cihazı İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsünde SE dedektörü ile topografik 3 boyutlu görüntü, BSE dedektörü ile atomik kontrasta bağlı 2 boyutlu görüntüler elde edilmiştir. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> partiküllerinin tane boyutları incelenmiştir. Ayrıca aşınma karakteristiğinin tayini için

en iyi ve en kötü aşınma performanslarının elde edildiği numunelerin aşınma izleri SEM ile incelenmiştir.



**Şekil 3.4:** Quanta 250 model SEM taramalı elektron mikroskobu.

### **3.8 Numunelerin Yoğunluklarının Hesaplanması**

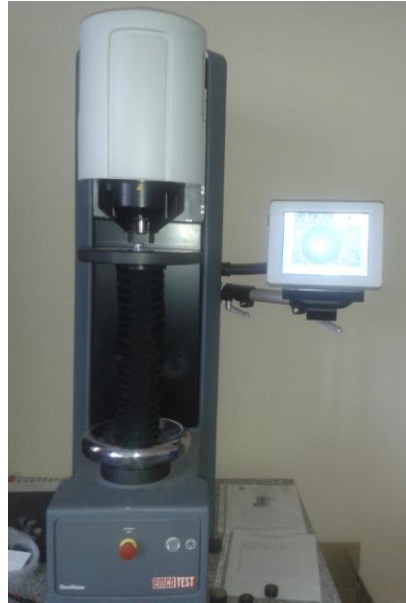
Manisa Celal Bayar Üniversitesi Metalürji ve Malzeme Bölümü'nde yer alan Şekil 3.5'de gösterilen Arşimet deney düzeneği kurularak yoğunluk hesaplanmıştır. Yoğunluğu bilinen bir sıvı behere doldurularak sıvı ortam oluşturulmuştur. Bunun için genellikle su kullanılır. Önce yoğunluğunu belirlenecek cisim kuru olarak tartılmıştır. Daha sonra cisim sıvının içerisine daldırılarak ağırlığı ölçülmüştür. Bu iki kütle arasındaki fark cismin sıvının içerisine batmasıyla birlikte yer değiştiren sıvı kütlesini vermiştir. Yer değiştiren sıvının kütlesi ve yoğunluğundan yararlanılarak hacmi hesaplanır. Bu hacim aynı zamanda yoğunluğu hesaplanmak istenen cismin hacmidir. Cismin kuru ağırlığı, hacmine bölünerek yoğunluğu elde edilmiştir.



**Şekil 3.5:** Arşimet deney düzeneği.

### 3.9 Karışımların Sertlik Ölçümleri

Numunelerin sertlikleri Manisa Celal Bayar Üniversitesi Metalürji ve Malzeme Bölümü'nde yer alan Emcotest Duravision sertlik ölçme cihazından (Şekil 3.6) ölçülerek 3 farklı noktadan ölçümleri alınmış ortalamaları hesaplanmıştır. Brinell sertlik deneyi malzeme yüzeyine belirli bir yükün belirli bir çaptaki sert malzemeden yapılmış bir bilya yardımıyla belirli bir süre uygulanması sonucu yüzeyde kalıcı bir iz meydana getirme esasına dayanır [24]. Brinell sertlik ölçümünde 62.5 kg yük uygulayarak 2.5 mm çapındaki çelik bilya yardımıyla değerler alınmıştır.



**Şekil 3.6:** Sertlik ölçme cihazı [24].

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Alüminyum tozlarına belirli miktarda  $Al_2O_3$  ilave edilerek 20 mm çapında 10 mm yüksekliğinde 36 numune hazırlanmıştır. 36 numune için isimlendirme yapılırken sırasıyla karışım oranları, preslendiği basınç değerleri, sinterleme süreleri ve aşınma yükleri dikkate alınmıştır. Örneğin ismi %5/40/120/6 N olan numune için; ilk sıradaki içeriğindeki  $Al_2O_3$  miktarı, 2. Sıra toz halden katı numune haline getirildiği bar biriminden basınç değeri, 3.sıra dakika olarak sinterleme süresi, 4.sıra aşınma testinde uygulanan Newton biriminden yüküdür.

%5 içeriğindeki  $Al_2O_3$  miktarını, 40 bar basınç toz halden çapı 20 mm yüksekliği, 10 mm numune haline getirildiği basıncı, 120 dakika sinterlenmiş olduğu süreyi, 6 N ise aşınma testinin uygulandığı yüküdür. İlk 18 numune 6 N luk aşınma yükü uygulanan, 18-36 aralığındaki numuneler ise 10 N luk aşınma yükü uygulanan numunelerdir. Tablo 4.1’de numunelerin isimlendirilmesi verilmektedir.

**Tablo 4.1:** Numunelerin  $Al_2O_3$  miktarına, preslendiği basınca, sinterleme süresi ve aşınma yüküne göre isimlendirilmesi.

	Numune Adı	% $Al_2O_3$ miktarı	Preslendiği Basınç (bar)	Sinterleme süresi (dk)	Aşınma Yükü (N)
% 5/40/120/6 N/-1-	1	5	40	120	6
% 5/60/120/6 N/-2-	2	5	60	120	6
% 10/40/120/6 N/-3-	3	10	40	120	6
% 10/60/120/6 N/-4-	4	10	60	120	6
% 20/40/120/6 N/ -5-	5	20	40	120	6
% 20/60/120/6 N/-6-	6	20	60	120	6
% 5/40/90/6 N/ -7-	7	5	40	90	6
% 5/60/90/6 N/ -8-	8	5	60	90	6
% 10/40/90/6 N/ -9-	9	10	40	90	6
% 10/60/90/6 N/ -10-	10	10	60	90	6
% 20/40/90/6 N/ -11-	11	20	40	90	6

**Tablo 4.2** (devam)

	Numune Adı	% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> miktarı	Preslendiği Basınç (bar)	Sinterleme süresi (dk)	Aşınma Yüğü (N)	
	<b>% 20/60/90/6 N/ -12-</b>	12	20	60	90	6
	<b>% 5/40/60/6 N/ -13-</b>	13	5	40	60	6
	<b>% 5/60/60/6 N/ -14-</b>	14	5	60	60	6
	<b>% 10/40/60/6 N/ -15-</b>	15	10	40	60	6
	<b>% 10/60/60/6 N/ -16-</b>	16	10	60	60	6
	<b>% 20/40/60/6 N/ -17-</b>	17	20	40	60	6
	<b>% 20/60/60/6 N/ -18-</b>	18	20	60	60	6
	<b>% 5/40/120/10 N/ -19-</b>	19	5	40	120	10
	<b>% 5/60/120/10 N/ -20-</b>	20	5	60	120	10
	<b>% 10/40/120/10 N -21-</b>	21	10	40	120	10
	<b>% 10/60/120/10 N -22-</b>	22	10	60	120	10
	<b>% 20/40/120/10 N/-23-</b>	23	20	40	120	10
	<b>% 20/60/120/10 N/-24-</b>	24	20	60	120	10
	<b>% 5/40/90/10 N/-25-</b>	25	5	40	90	10
	<b>% 5/60/90/10 N/-26-</b>	26	5	60	90	10
	<b>% 10/40/90/10 N/-27-</b>	27	10	40	90	10
	<b>% 10/60/90/10 N/-28-</b>	28	10	60	90	10
	<b>% 20/40/90/10 N/-29-</b>	29	20	40	90	10
	<b>% 20/60/90/10 N/-30-</b>	30	20	60	90	10
	<b>% 5/40/60/10 N/-31-</b>	31	5	40	60	10
	<b>% 5/60/60/10 N/-32-</b>	32	5	60	60	10
	<b>% 10/40/60/10 N/-33-</b>	33	10	40	60	10
	<b>% 10/60/60/10 N/-34-</b>	34	10	60	60	10

% 20/40/60/10 N/-35-	35	20	40	60	10
% 20/60/60/10 N/-36-	36	20	60	60	10

Çapı 20 mm, yüksekliği 10 mm olacak şekilde preslenerek aşınma testi uygulanmış numune örneği Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



**Şekil 4.1:** Ø 20 mm olacak şekilde preslenerek aşınma testi uygulanmış numune örneği.

#### 4.1 Numunelerin Yoğunluk ve Sertlik Ölçümü Sonuçları

Yoğunlukları arşimet kanuna göre hesaplanmış ve Tablo 4.2’ de belirtilmiştir. Numunelerin sertlikleri de 3 farklı noktadan ölçümleri alınarak ortalama sertlik değerleri Tablo 4.2’de verilmiştir.

**Tablo 4.2:** Numunelerin yoğunluk ve sertlik değerleri.

Numune Adı	Yoğunluk (kg/cm <sup>3</sup> )	sertlikleri (brinell)			Ort Sertlik
		1.ölçü	2.ölçü	3.ölçü	
-1-	2.6429	51.7	49.7	50.7	50.7
-2-	2.6211	61.7	64.6	63.7	63.3
-3-	2.4509	66.0	61.2	66.8	64.7
-4-	2.5921	66.8	66.5	67.9	67.1
-5-	2.4242	66.5	66	66.9	66.5
-6-	2.4890	70.8	70.1	69.6	70.2
-7-	2.4983	50.0	51	50.5	50.5
-8-	2.5947	59.2	59.3	56.3	58.3

**Tablo 4.2 (devam)**

Numune Adı	Yoğunluk (kg/cm <sup>3</sup> )	1.ölçü	2.ölçü	3.ölçü	Ort Sertlik
-9-	2.4874	61.9	59.6	62.0	61.2
-10-	2.5841	60.9	66.3	63.9	63.7
-11-	2.4861	62.8	63.2	63.7	63.2
-12-	2.5654	73.8	64.5	69.2	69.2
-13-	2.6457	45.6	43.0	43.0	43.9
-14-	2.7055	55.2	53.7	55.1	54.7
-15-	2.6364	52.3	47.1	47.6	49.0
-16-	2.7023	63.7	63.9	55.1	60.9
-17-	2.6368	49.4	51.0	52.0	50.8
-18-	2.7038	54.8	67.3	63.2	61.8
-19-	2.6429	61.4	62.1	61.7	61.7
-20-	2.6211	62.8	57.8	60.3	60.3
-21-	2.4509	57.8	68.9	67.5	64.7
-22-	2.5921	75.6	69.1	72.4	72.4
-23-	2.4507	65.5	68.1	67.8	67.1
-24-	2.592	74.0	74.1	74.0	74.0
-25-	2.4983	52.3	55.8	53.9	54.0
-26-	2.5947	65.9	56.8	56.6	59.8
-27-	2.4874	56.8	55.2	52.8	54.9
-28-	2.6041	64.0	62.3	63.0	63.1
-29-	2.4871	57.8	70.3	61.7	63.3
-30-	2.5942	65.6	64.9	67.2	65.9
-31-	2.6871	45.8	50.6	58.6	51.7
-32-	2.7144	54.8	58.4	64.3	59.2

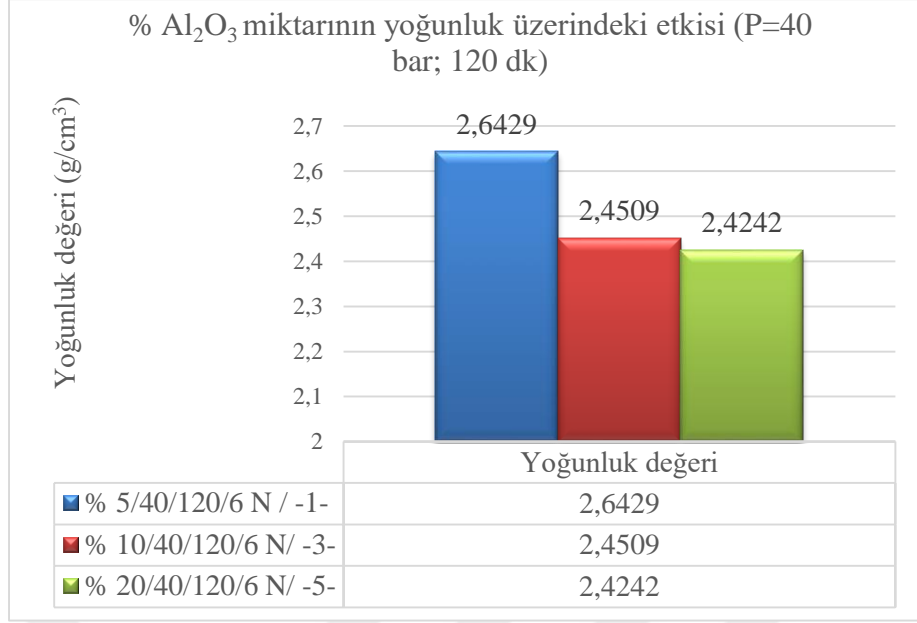


**Tablo 4.2 (devam)**

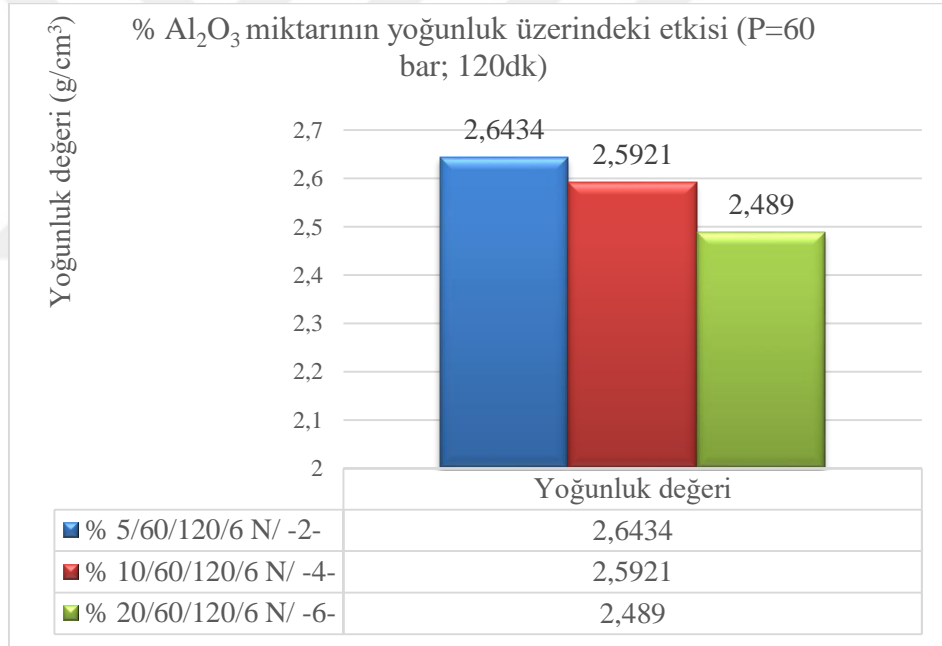
Numune Adı	Yoğunluk (kg/cm <sup>3</sup> )	1.ölçü	2.ölçü	3.ölçü	Ort Sertlik
-33-	2.6215	52.8	51.7	50.6	51.7
-34-	2.7023	62.8	60.0	63.6	62.1
-35-	2.6468	54.0	58.1	59.9	57.3
-36-	2.7038	63.1	69.2	69.1	67.1

#### 4.2 Numunelerin Karışım Oranına Bağlı Yoğunluk Deneyi Sonuçları

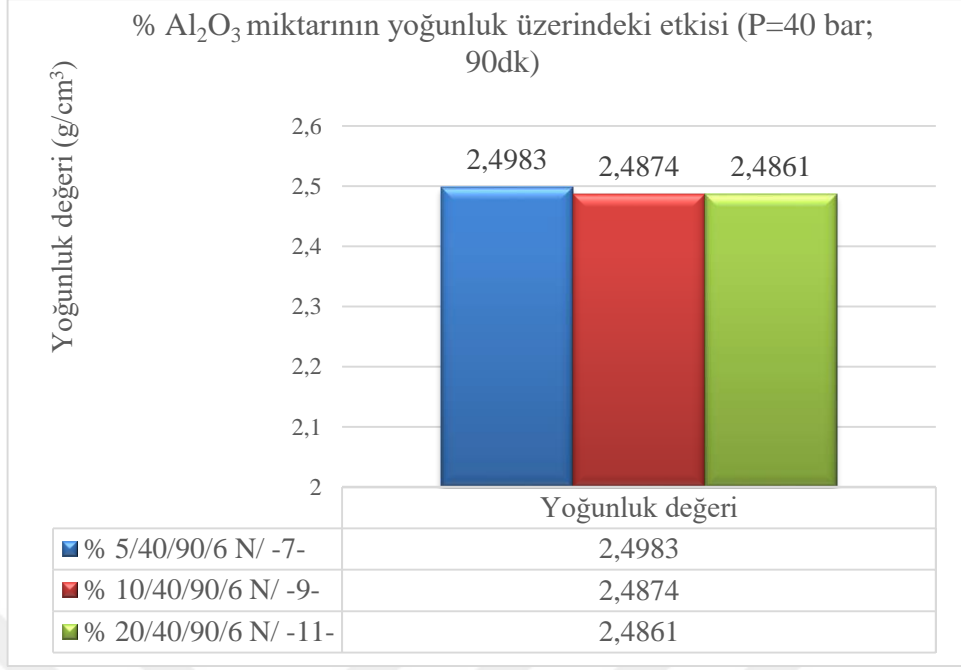
Arşimet prensibiyle yapılmış olan yoğunluk belirleme deneyinde alınan sonuçlarla numunelerin Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarına göre yoğunluk değerleri incelenmiş, preslendiği basınca ve sinterleme süresine olan etkileri değerlendirilmiştir. 40 bar presleme basıncı ve 120 dakika sinterleme süresindeki Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarındaki değişiminin yoğunluk değerleri Şekil 4.2’de; 60 bar presleme basıncı ve 120 dakika sinterleme süresindeki Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarındaki değişiminin yoğunluk değerleri Şekil 4.3’de; 40 bar presleme basıncı ve 90 dakika sinterleme süresindeki Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarındaki değişiminin yoğunluk değerleri Şekil 4.4’te, 60 bar presleme basıncı ve 90 dakika sinterleme süresindeki Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarındaki değişiminin yoğunluk değerleri Şekil 4.5’te; 40 bar presleme basıncı ve 60 dakika sinterleme süresindeki Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarındaki değişiminin yoğunluk değerleri Şekil 4.6’de; 60 bar presleme basıncı ve 60 dakika sinterleme süresindeki Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarındaki değişiminin yoğunluk değerleri Şekil 4.7’de gösterilmiştir.



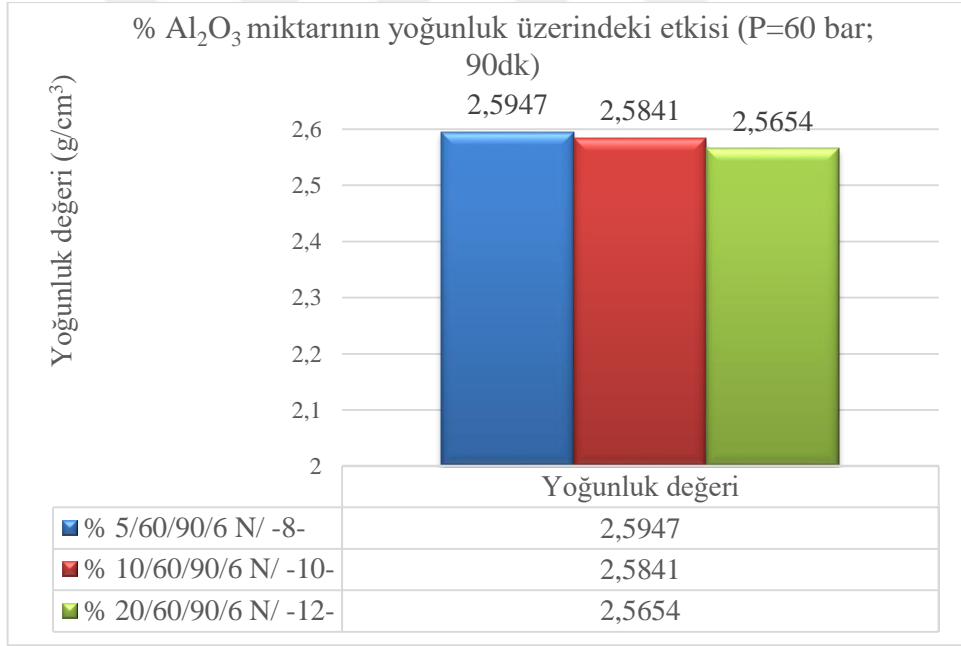
**Şekil 4.2:** % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarının yoğunluk üzerindeki etkisi (P=40 bar; 120 dk).



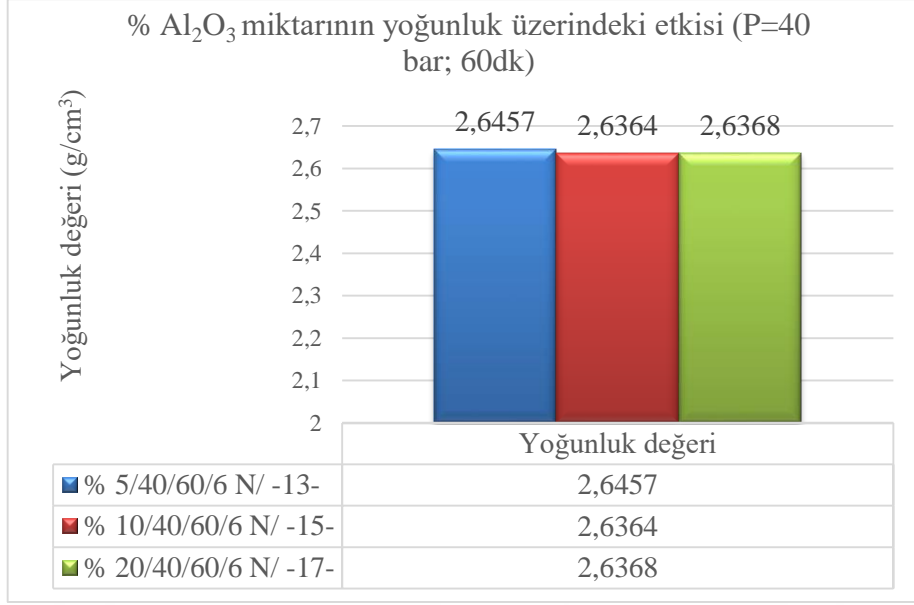
**Şekil 4.3:** % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarının yoğunluk üzerindeki etkisi (P=60 bar; 120 dk).



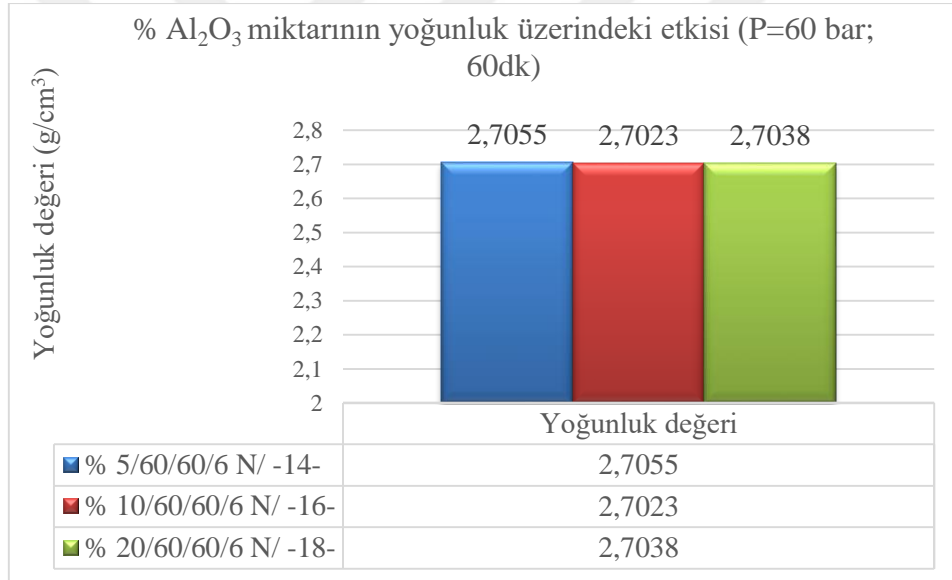
**Şekil 4.4:** % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarının yoğunluk üzerindeki etkisi (P=40 bar; 90 dk).



**Şekil 4.5:** % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarının yoğunluk üzerindeki etkisi (P=60 bar; 90 dk).



**Şekil 4.6:** % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarının yoğunluk üzerindeki etkisi (P=40 bar; 60 dk).



**Şekil 4.7:** % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarının yoğunluk üzerindeki etkisi (P=60 bar; 60 dk).

90 dk ve 120 dk sinterleme sürelerinde üretilen numunelerin yoğunluk değerleri numunelerin içeriğindeki Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarı arttıkça yüzde bir mertebesinde azalma meydana gelmiştir. 60 dakika sinterleme sürelerinde üretilen numunelerde ise takviyenin artmasıyla yoğunluktaki azalma miktarı neredeyse değişmemekte ve yaklaşık binde bir mertebesindedir. Bu duruma, toz kütlesi halinde bulunan numunelerin sinterleme esnasında tanelerinin bir araya gelme eğilimine geçerek gözenekleri kapatması ile ilişkilidir. Sinterleme süresinin 60 dakikaya inmesiyle difüzyon için yeterli süre sağlanamadığından yoğunlukta farklılık da elde edilmemiştir. Takviye oranının artmasıyla takviye/matris ara yüzeyinde oluşamayan bağ sebebiyle gözenek miktarının arttığı bir göstergesidir. Bilindiği üzere Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'ün tek başına

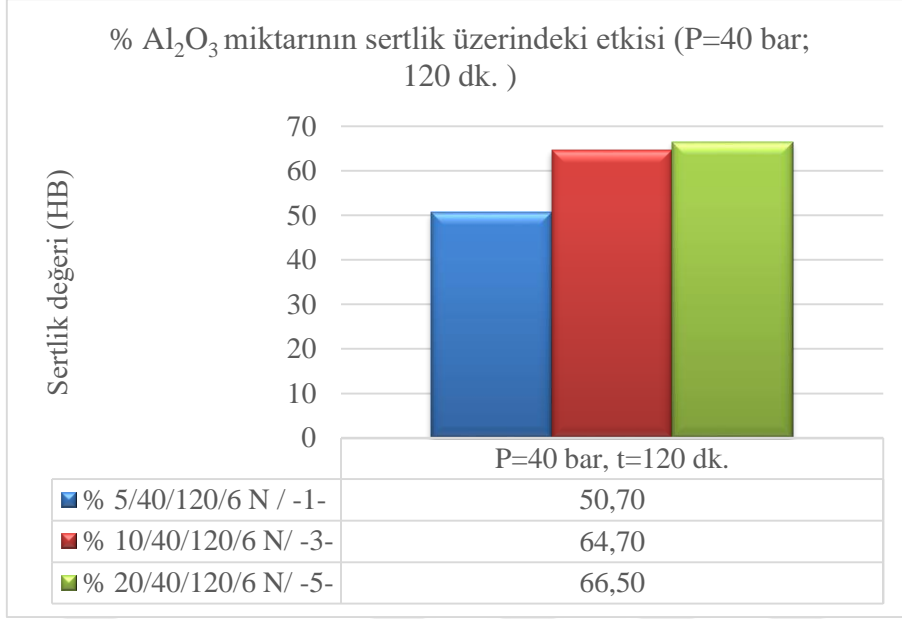
yoğunluğu, Al'inkinden 1.46 kat fazladır, ancak buna rağmen yoğunluğun azalması dikkat çekicidir. Difüzyonun yeterince oluşmaması Al tozlarının etrafındaki oksitlenmeden, nispeten düşük sinterleme sıcaklığından ileri gelmiş olabilir. Ayrıca sıkıştırma esnasında da yumuşak Al tozlarının sert ve köşeli takviye partikülleriyle tam bir mekanik bağ oluşturamaması yine gözenek miktarının takviye oranının artışı ile açıklanabilir.

### **4.3 Numunelerin Sertlik Sonuçları**

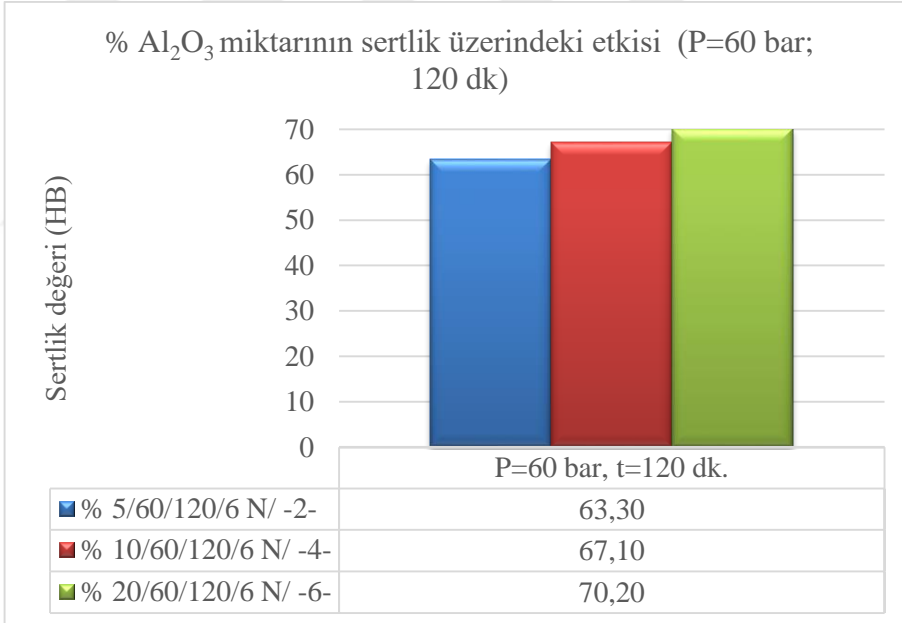
Şekil 4.8' den 4.13' e kadar farklı sinterleme süre ve presleme basınçlarında farklı takviye oranlarına göre sertlik sonuçları verilmiştir. Buna göre takviye miktarı arttıkça sertlik artışı olduğu görülmektedir. Ayrıca sıkıştırma basıncının artmasıyla gözenek miktarı azaldığından sertlik artışı dikkat çekicidir. Benzer şekilde sinterleme süresinin 90 dakikadan 120 dakikaya çıkması sertliği bir miktar arttırmaktadır. Bu da yüksek sıcaklıkta malzemenin geçirdiği sürenin artmasıyla difüzyon miktarının artmasının bir sonucu olduğu düşünülmektedir.

#### **4.3.1 Numunelerin Karışım Oranına Bağlı Sertlik Sonuçları**

Numunelerin  $Al_2O_3$  miktarına göre sertlik değerleri aşınma testinden önce ölçülmüştür. 40 bar presleme basıncı ve 120 dakika sinterleme süresindeki  $Al_2O_3$  miktarındaki değişimin sertlik değerleri Şekil 4.8'de; 60 bar presleme basıncı ve 120 dakika sinterleme süresindeki  $Al_2O_3$  miktarındaki değişiminin sertlik değerleri Şekil 4.9'da gösterilmiştir. Tüm sertlik grafiklerinde yer alan aşınma yükü gösterimi numunelerin isimlendirilmesinden kaynaklıdır. Sertlik ölçümleri aşınma testlerinden önce gerçekleştirilmiş ve dolayısıyla aşınma test değerlerinden bağımsızdır.  $Al_2O_3$  miktarı arttıkça numunelerin sertlik değerlerinin de arttığı görülmüştür.

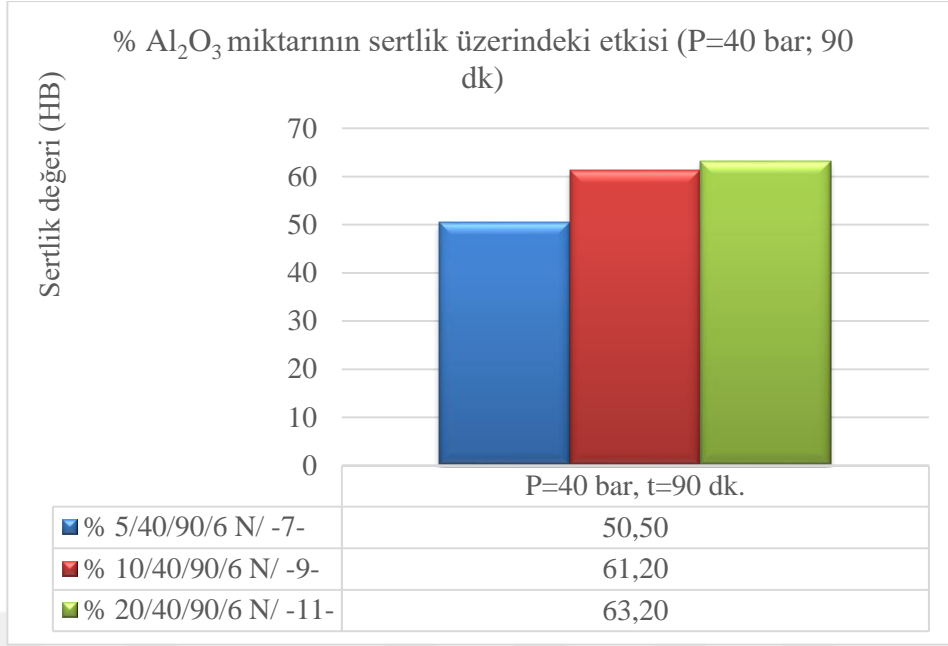


**Şekil 4.8:** % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarının sertlik üzerindeki etkisi (P=40 bar; 120 dk).

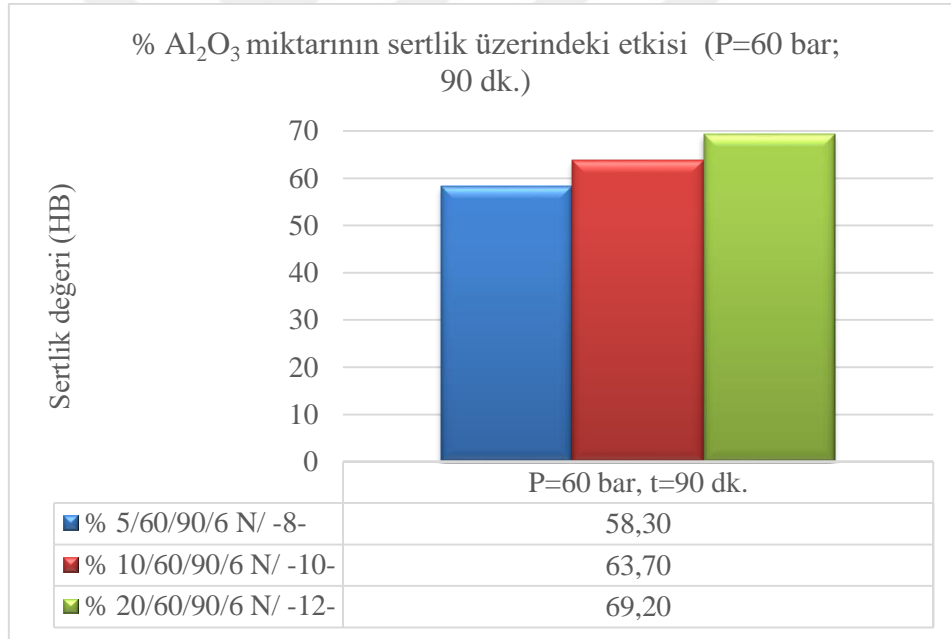


**Şekil 4.9:** % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarının sertlik üzerindeki etkisi (P=60 bar; 120 dk).

40 bar presleme basıncı ve 90 dakika sinterleme süresindeki Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarındaki değişiminin sertlik değerleri Şekil 4.10'da, 60 bar presleme basıncı ve 90 dakika sinterleme süresindeki Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarındaki değişiminin sertlik değerleri Şekil 4.11'de gösterilmiştir.

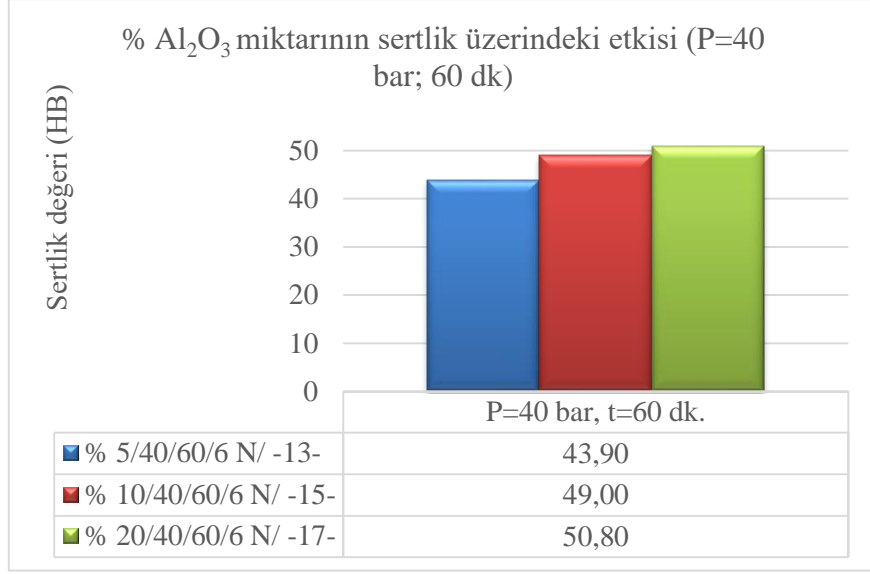


**Şekil 4.10:** % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarının sertlik üzerindeki etkisi (P=40 bar; 90 dk).

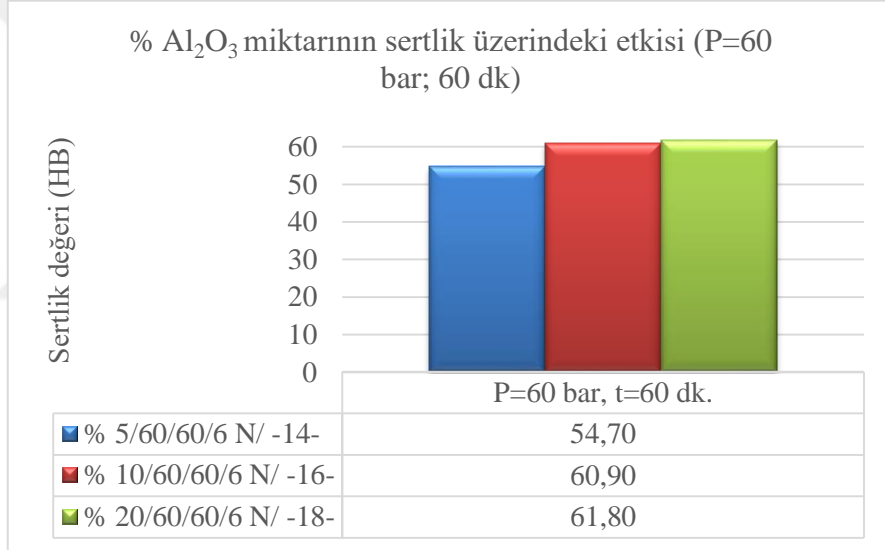


**Şekil 4.11:** % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarının sertlik üzerindeki etkisi (P=60 bar; 90 dk).

40 bar presleme basıncı ve 60 dakika sinterleme süresindeki Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarındaki değişiminin sertlik değerleri Şekil 4.12'de; 60 bar presleme basıncı ve 60 dakika sinterleme süresindeki Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarındaki değişiminin sertlik değerleri Şekil 4.13'te gösterilmiştir.



**Şekil 4.12:** % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarının sertlik üzerindeki etkisi (P=40 bar; 60 dk).



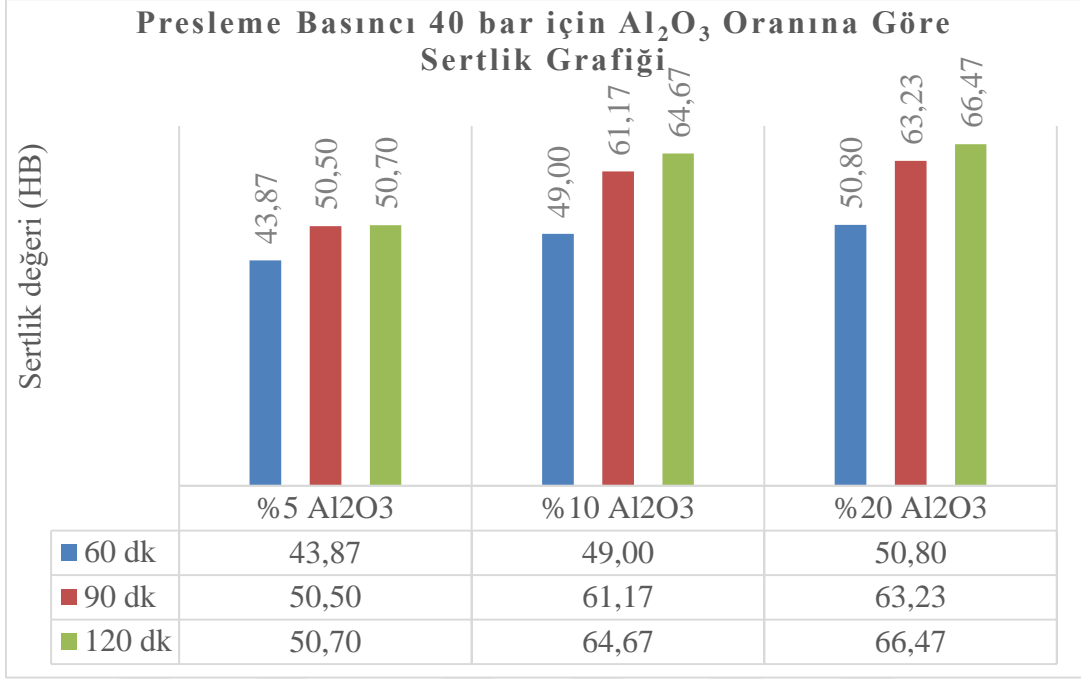
**Şekil 4.13:** % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarının sertlik üzerindeki etkisi (P=60 bar; 60 dk).

Grafiklerden Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarı arttıkça numunelerin sertlik değerlerinin de arttığı görülmüştür. Partikül hacim oranının artmasıyla MMK malzemenin sertliği artmıştır.

#### 4.3.2 Numunelerin Presleme Basıncına Bağlı Sertlik Sonuçları

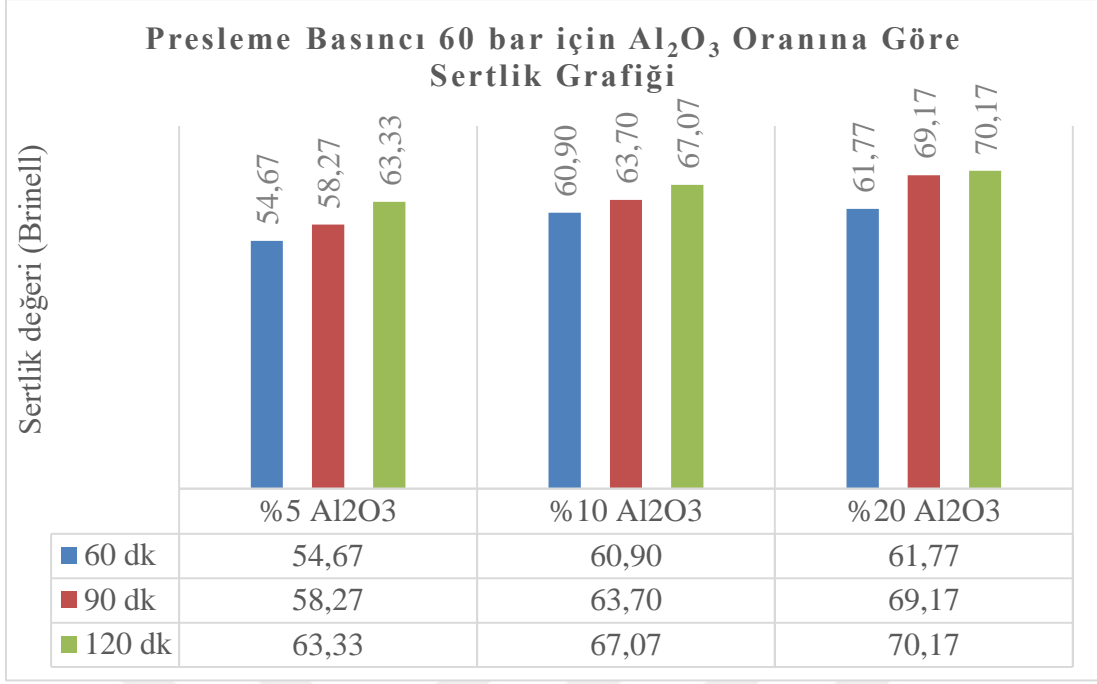
Presleme basıncı 40 bar iken farklı sinterleme sürelerinde Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarındaki değişimin sertlik değerleri Şekil 4.14'te gösterilmiştir.





**Şekil 4.14:** Presleme Basıncı 40 bar için numunelerin karışım oranına bağlı sertlik değişimi.

Presleme basıncı 60 bar iken farklı sinterleme sürelerinde Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarındaki değişiminin sertlik değerleri Şekil 4.15'te gösterilmiştir. Sinterleme süresinin 60 dakikadan 120 dakikaya çıkması ile sertlik artışı elde edilmektedir. Bu da yüksek sıcaklıkta daha uzun süre tutulan numunelerin difüzyon miktarının artmasının bir sonucu olarak karşımıza çıkmaktadır.



**Şekil 4.15:** Presleme Basıncı 60 bar için numunelerin karışım oranına bağlı sertlik değişimi.

Sertlik değerlerinin sıkıştırma basıncıyla, sinterleme süresiyle ve takviye oranı ile arttığı tespit edilmiştir. Şekil 4.14'te sertlikteki artış, sinterleme süresinin artmasıyla %5 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içerikli numunede % 16, %10 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içerikli numunede %32 olup, en fazla oran% 30.8 artış ile %20 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içerikli numunede gözlenmiştir. Şekil 4.15'te sertlikteki artış, sinterleme süresinin artmasıyla %5 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içerikli numunede % 16, %10 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içerikli numunede % 10 olup, %20 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içerikli numunede %14 olarak gözlenmiştir. En büyük sertlik 60 bar basınçta 120 dakika sinterleme süresinde %20 takviye oranına sahip numunelerde 70.17 HB değeri ile elde edilmiştir.

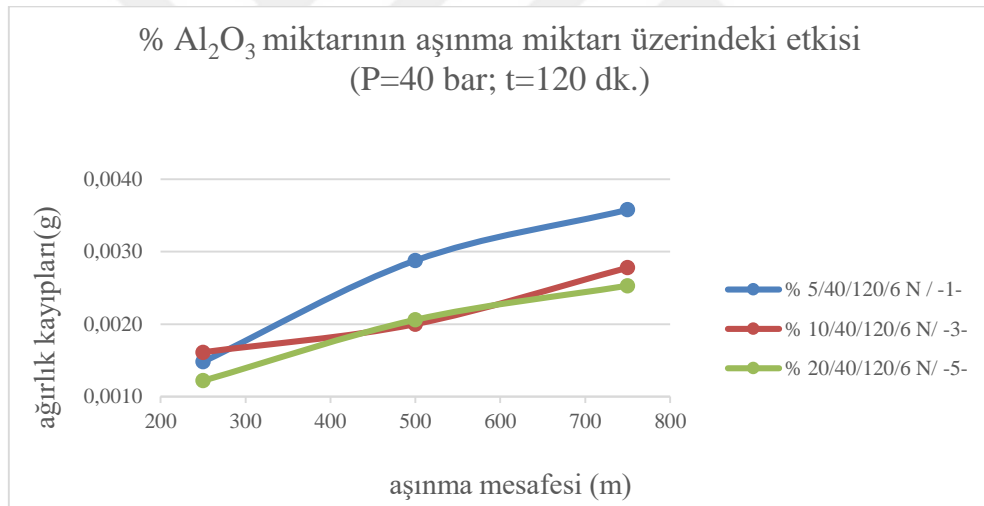
#### 4.4 Numunelerin Takviye Oranına Bağlı Aşınma Miktarı Sonuçları

Aşınma deneyleri 6 N ve 10 N yükler altında 1 m/s sabit hızda ve 1.5 km kayma mesafesinde yapılmıştır. Deney öncesi ölçülen ağırlıkları ile deney sonrası ölçülen ağırlıkları arasındaki farkın hesaplanması ile numunelerin aşınma miktarları tespit edilmiştir. 1-18 aralığındaki numunelere 6 N luk yük ile 19-36 aralığındaki numunelere 10 N'luk yük ile aşınma deneyi uygulanmıştır.

Aşağıda verilen şekillerde aşınma mesafesine bağlı ağırlık kayıpları verilmiştir. Beklendiği gibi aşınma mesafesi arttıkça ağırlık cinsinden aşınma kaybı artmıştır. Ancak aşınma yükünün artmasıyla birlikte ağırlık kaybı miktarı azalmaktadır. Bunun sebebi T/M üretimi

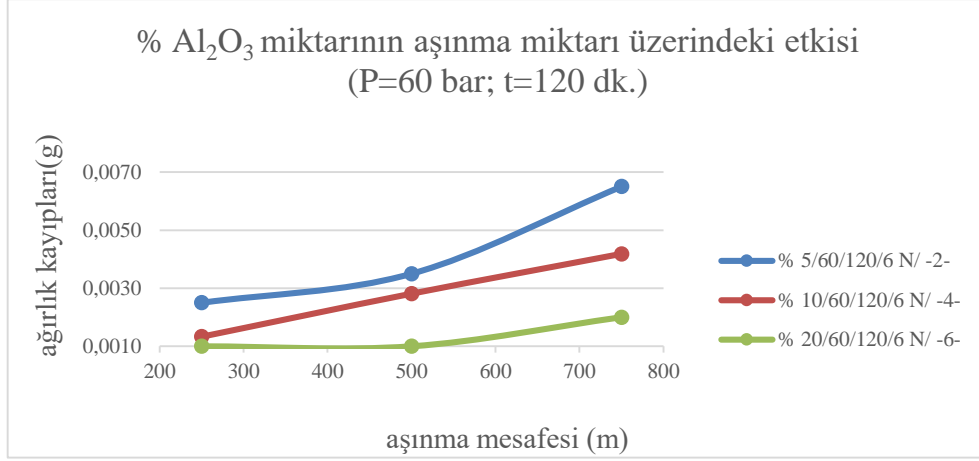
sonrası son derece gözenekli bir ürün üretilmiştir. Aşınma testinde yükün artmasıyla aşınma izi bölgesinde plastik deformasyon meydana gelerek daha sıkı bir tekstür elde edilmektedir. Sonraki bölümde verilmiş olan bazı numunelere ait SEM görüntüleri bu sonucu destekler niteliktedir. Bu durum, plastik deformasyonun etkisiyle oluşan daha sıkı ve ezilmiş Al matrisin aşınmaya daha dirençli bir sonuç vermesi ile sonuçlanmıştır. Takviye miktarının artmasıyla aşınma kaybı azalmıştır. Bu durumun bazı numunelerin kısa mesafe aşınma sonuçlarında lineer olmadığı dikkati çekmiştir. Aşınmanın kararlı (steady-state) duruma gelinceye kadar agresif sürtünme ortamında matrisle iyi bir bağlanma yüzeyi oluşturamamış takviyeler ortamdaki kolaylıkla uzaklaşabilmektedir. Bu da kısa mesafe aşınma testi sonuçlarında böyle bir ağırlık kaybı sonucu yaratmaktadır.

6 N aşınma yükü altında, 40 bar presleme basıncı uygulanan ve 120 dk sinterleme yapılan numunelerin;  $Al_2O_3$  miktarındaki değişime göre aşınma mesafesinin ağırlık kayıpları üzerindeki etkisi Şekil 4.16'da gösterilmiştir.



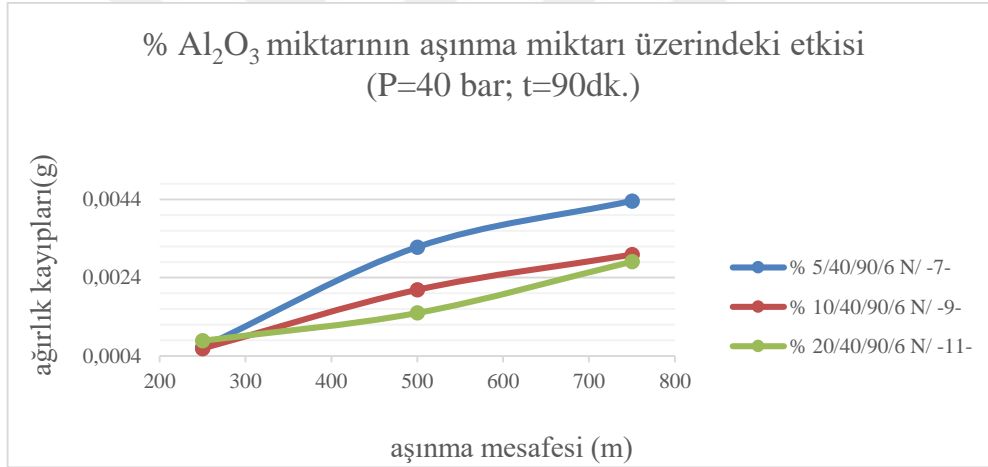
**Şekil 4.16:** %  $Al_2O_3$  miktarının aşınma miktarı üzerindeki etkisi (P=40 bar; t=120dk).

6 N aşınma yükü altında, 60 bar presleme basıncı uygulanan ve 120 dk sinterleme yapılan numunelerin;  $Al_2O_3$  miktarındaki değişime göre aşınma mesafesinin ağırlık kayıpları üzerindeki etkisi Şekil 4.17'de gösterilmiştir.



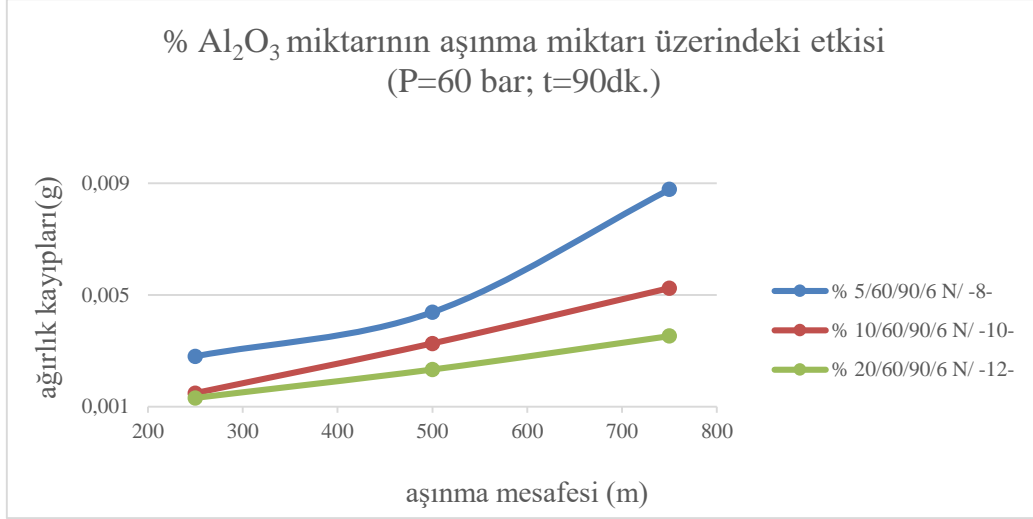
**Şekil 4.17:** % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarının aşınma miktarı üzerindeki etkisi (P=60 bar; t=120 dk).

6 N aşınma yükü altında, 40 bar presleme basıncı uygulanan ve 90 dk sinterleme yapılan numunelerin; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarındaki değişime göre aşınma mesafesinin ağırlık kayıpları üzerindeki etkisi Şekil 4.18’de gösterilmiştir.



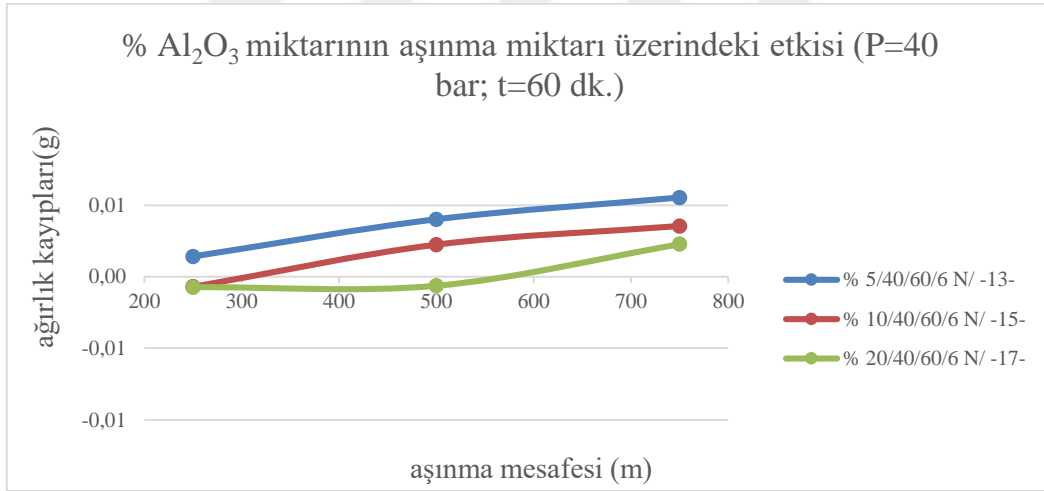
**Şekil 4.18:** % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarının aşınma miktarı üzerindeki etkisi (P=40 bar; t=90 dk).

6 N aşınma yükü altında, 60 bar presleme basıncı uygulanan ve 90 dk sinterleme yapılan numunelerin; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarındaki değişime göre aşınma mesafesinin ağırlık kayıpları üzerindeki etkisi Şekil 4.19’da gösterilmiştir.



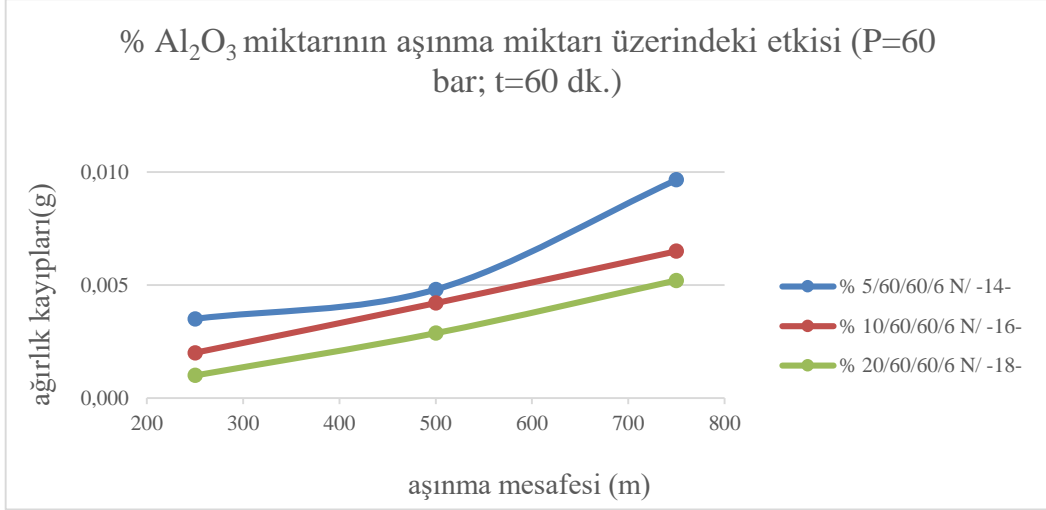
**Şekil 4.19:** % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarının aşınma miktarı üzerindeki etkisi (P=60 bar; t=90 dk).

6 N aşınma yükü altında, 40 bar presleme basıncı uygulanan ve 60 dk sinterleme yapılan numunelerin; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarındaki değişime göre aşınma mesafesinin ağırlık kayıpları üzerindeki etkisi Şekil 4.20’de gösterilmiştir.



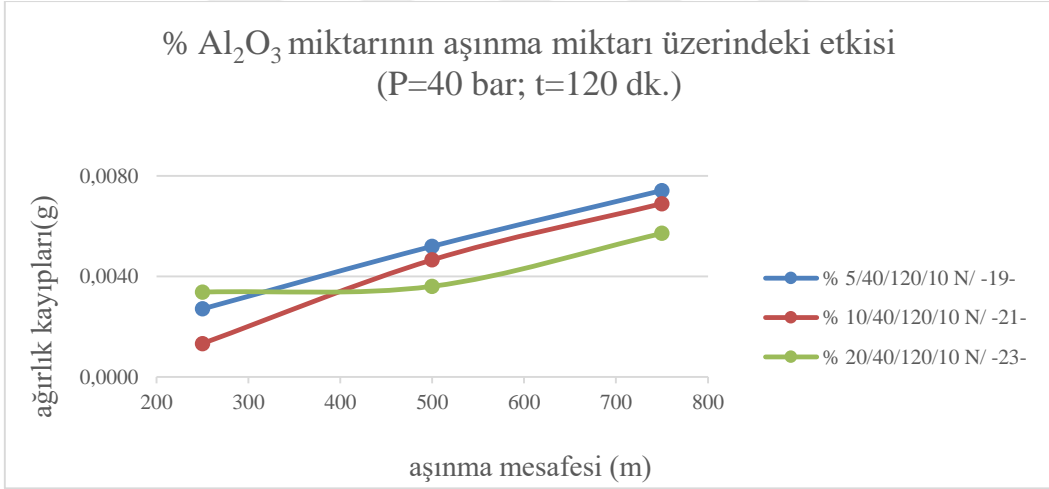
**Şekil 4.20:** % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarının aşınma miktarı üzerindeki etkisi (P=40 bar; t=60 dk).

6 N aşınma yükü altında, 60 bar presleme basıncı uygulanan ve 60 dk sinterleme yapılan numunelerin; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarındaki değişime göre aşınma mesafesinin ağırlık kayıpları üzerindeki etkisi Şekil 4.21’de gösterilmiştir.



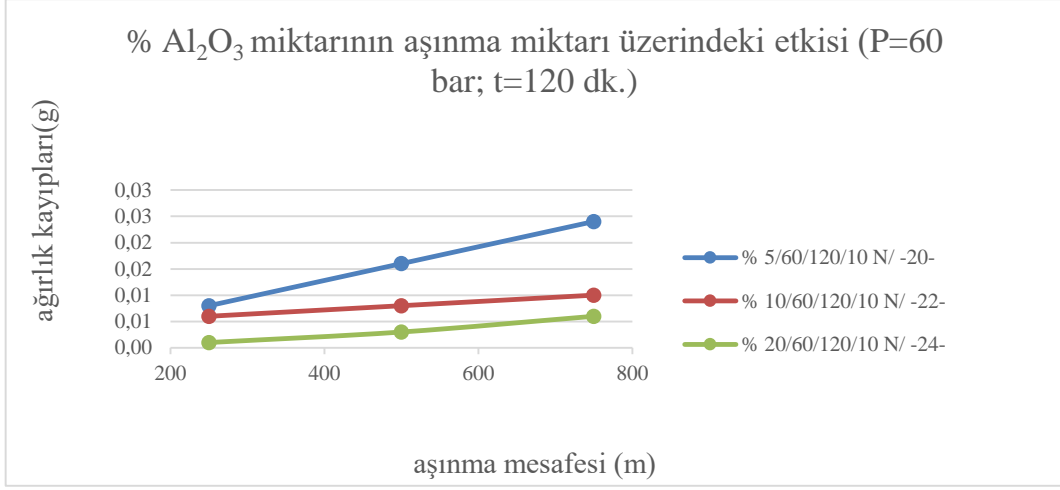
**Şekil 4.21:** % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarının aşınma miktarı üzerindeki etkisi (P=60 bar; t=60 dk).

10 N aşınma yükü altında, 40 bar presleme basıncı uygulanan ve 120 dk sinterleme yapılan numunelerin; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarındaki değişime göre aşınma mesafesinin ağırlık kayıpları üzerindeki etkisi Şekil 4.22’de gösterilmiştir.



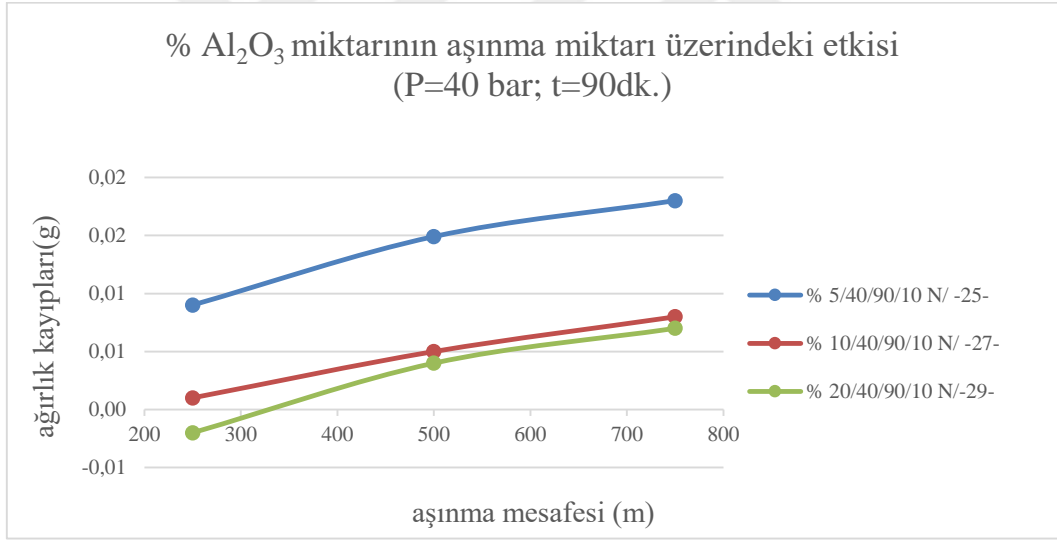
**Şekil 4.22:** % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarının aşınma miktarı üzerindeki etkisi (P=40 bar; t=120 dk).

10 N aşınma yükü altında, 60 bar presleme basıncı uygulanan ve 120 dk sinterleme yapılan numunelerin; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarındaki değişime göre aşınma mesafesinin ağırlık kayıpları üzerindeki etkisi Şekil 4.23’te gösterilmiştir.



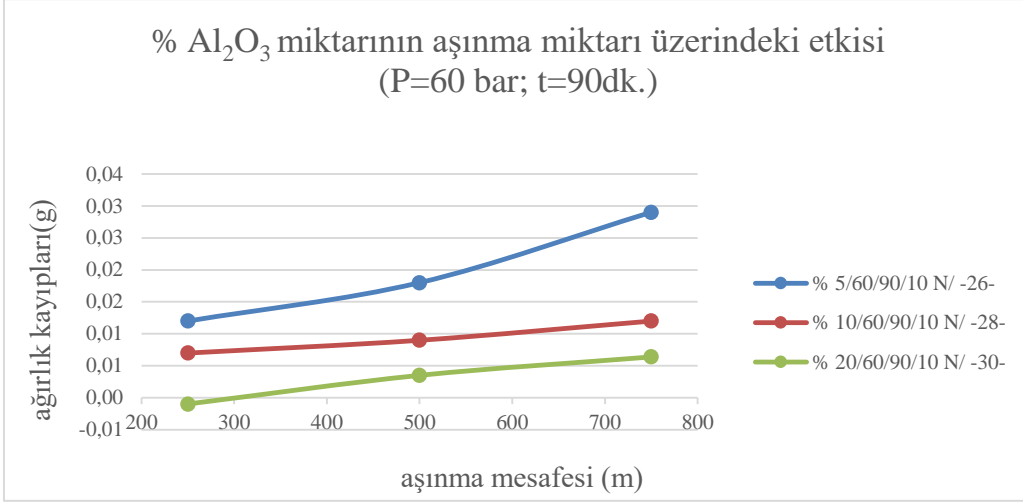
**Şekil 4.23:** % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarının aşınma miktarı üzerindeki etkisi (P=60 bar; t=120 dk).

10 N aşınma yükü altında, 40 bar presleme basıncı uygulanan ve 90 dk sinterleme yapılan numunelerin; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarındaki değişime göre aşınma mesafesinin ağırlık kayıpları üzerindeki etkisi Şekil 4.24'te gösterilmiştir.



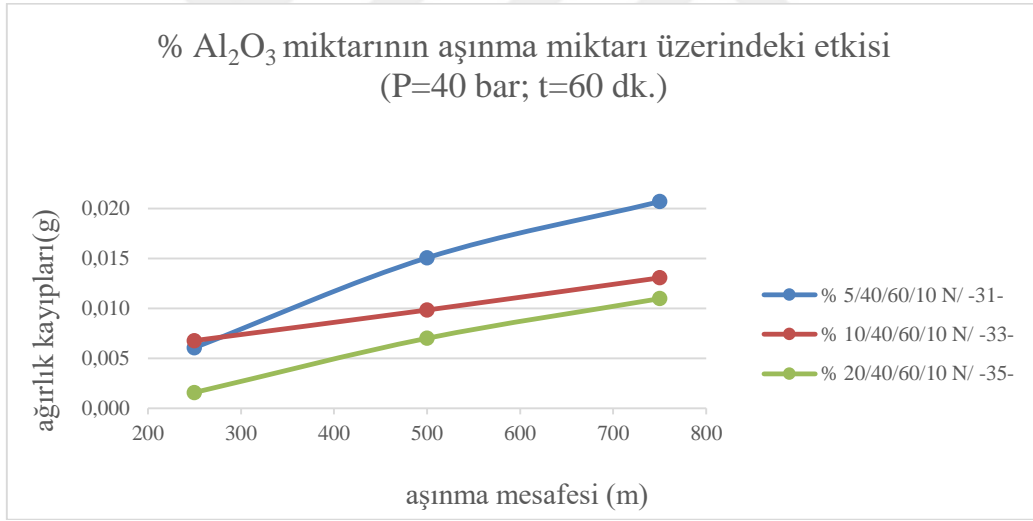
**Şekil 4.24:** % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarının aşınma miktarı üzerindeki etkisi (P=40 bar; t=90 dk).

10 N aşınma yükü altında, 60 bar presleme basıncı uygulanan ve 90 dk sinterleme yapılan numunelerin; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarındaki değişime göre aşınma mesafesinin ağırlık kayıpları üzerindeki etkisi Şekil 4.25'te gösterilmiştir.



**Şekil 4.25:** % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarının aşınma miktarı üzerindeki etkisi (P=60 bar; t=90 dk).

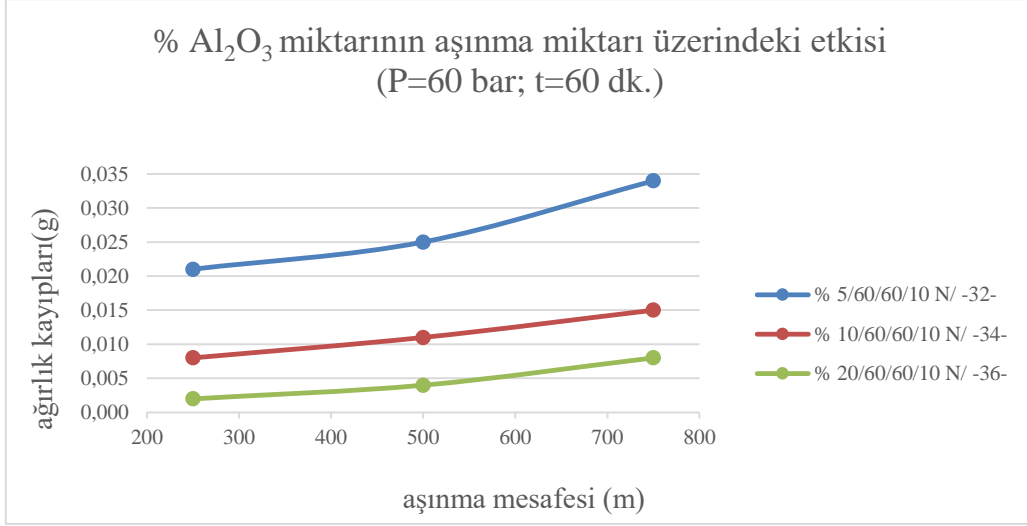
10 N aşınma yükü altında, 40 bar presleme basıncı uygulanan ve 60 dk sinterleme yapılan numunelerin; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarındaki değişime göre aşınma mesafesinin ağırlık kayıpları üzerindeki etkisi Şekil 4.26'da gösterilmiştir.



**Şekil 4.26:** % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarının aşınma miktarı üzerindeki etkisi (P=40 bar; t=60 dk).

10 N aşınma yükü altında, 60 bar presleme basıncı uygulanan ve 60 dk sinterleme yapılan numunelerin; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarındaki değişime göre aşınma mesafesinin ağırlık kayıpları üzerindeki etkisi Şekil 4.27'de gösterilmiştir.

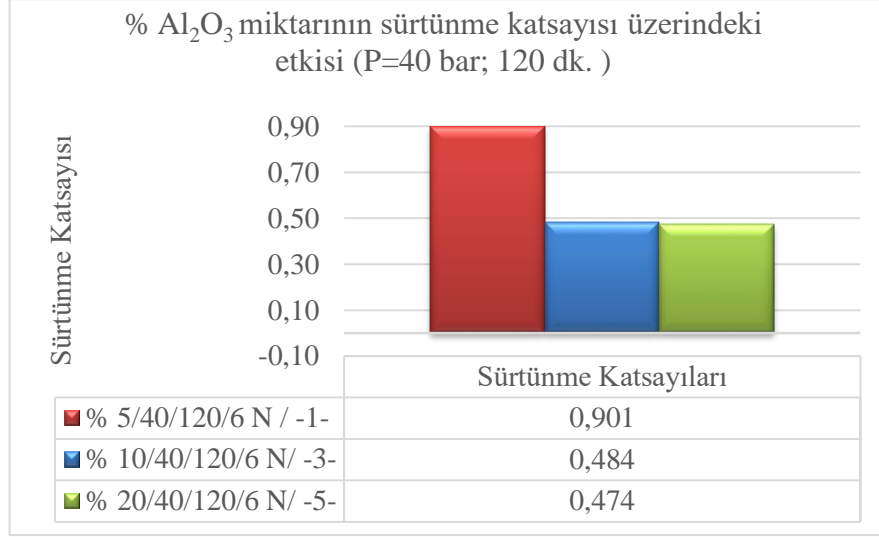




**Şekil 4.27:** % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarının aşınma miktarı üzerindeki etkisi (P=60 bar; t=60 dk.).

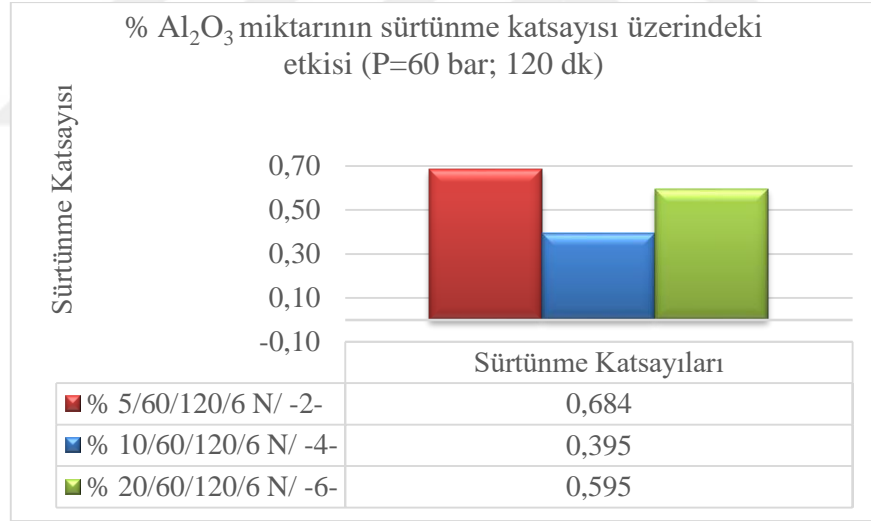
#### 4.5 Aşınma Deneyi Sonucu Ortalama Sürtünme Katsayıları Grafikleri

Aşağıdaki şekillerde ortalama sürtünme katsayısının çeşitli T/M parametrelerine göre değişimleri verilmiştir. Sürtünme katsayısının T/M parametreleri ile lineer bir ilişki ile değişim göstermediği görülmüştür. Bilindiği üzere sürtünme katsayısı pek çok faktöre bağlıdır, ancak en çok yüzey doğası ile ilişkidir. Bir malzeme çifti göreceli olarak hareket etmeye başladığında yüzey düzensizlikleri sürtünme katsayısını belirlemede kritik olmaktadır. Özellikle T/M parçalarda gözenekli yapılarından dolayı hem matris hem de takviyeler düzensiz şekilde koparak yüzeyden ayrılmaktadır. Bu durum aniden sürtünme katsayısını arttırabileceğinden sonuçları önemli ölçüde etkilemektedir. Özellikle SEM görüntülerinde matris fazıyla ara yüzey oluşturmeyen takviyeler dikkat çekicidir (Şekil 4.44b' de görüleceği gibi). Mikroyapılar incelendiğinde 560°C de sinterlenen numunelerde partiküllerin etrafında bağlanmanın oluşmadığı bölgeler göze çarpmıştır. Bu durumun özellikle aşınma esnasında malzemeden kolayca kopan takviyelerin ortamdan uzaklaşamayıp aşındırıcı birer unsur oluşturduğu düşünülmektedir. 6 N aşınma yükü altında, 40 bar presleme basıncı uygulanan ve 120 dk sinterleme yapılan numunelerin; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarındaki değişime göre sürtünme katsayılarının değerleri Şekil 4.28'de gösterilmiştir.



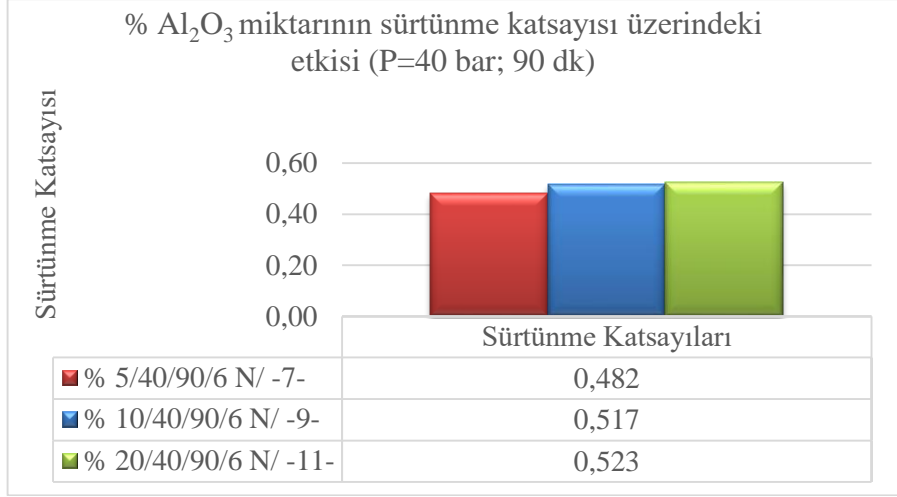
**Şekil 4.28:** % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarının sürtünme katsayısı üzerindeki etkisi (P=40 bar;120 dk).

6 N aşınma yükü altında, 60 bar presleme basıncı uygulanan ve 120 dk sinterleme yapılan numunelerin; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarındaki değişime göre sürtünme katsayılarının değerleri Şekil 4.29'da gösterilmiştir.



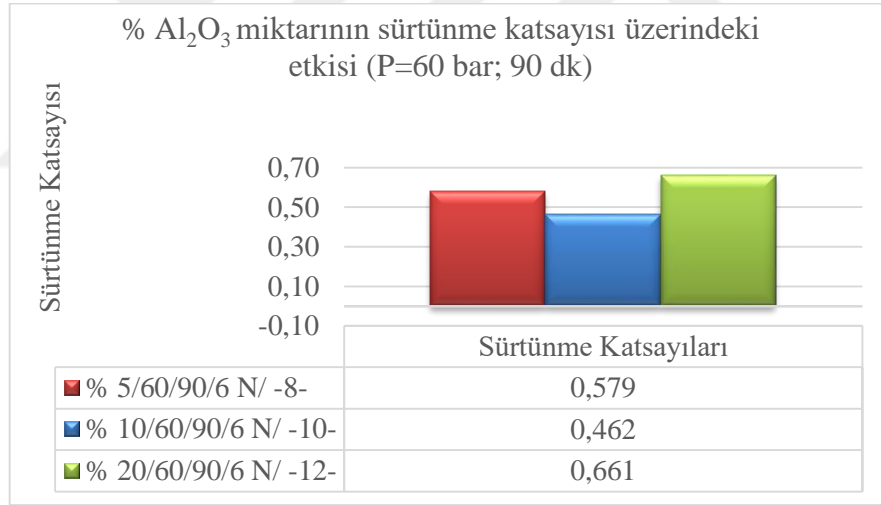
**Şekil 4.29:** % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarının sürtünme katsayısı üzerindeki etkisi (P=60 bar; 120 dk).

6 N aşınma yükü altında, 40 bar presleme basıncı uygulanan ve 90 dk sinterleme yapılan numunelerin; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarındaki değişime göre sürtünme katsayılarının değerleri Şekil 4.30'te gösterilmiştir.



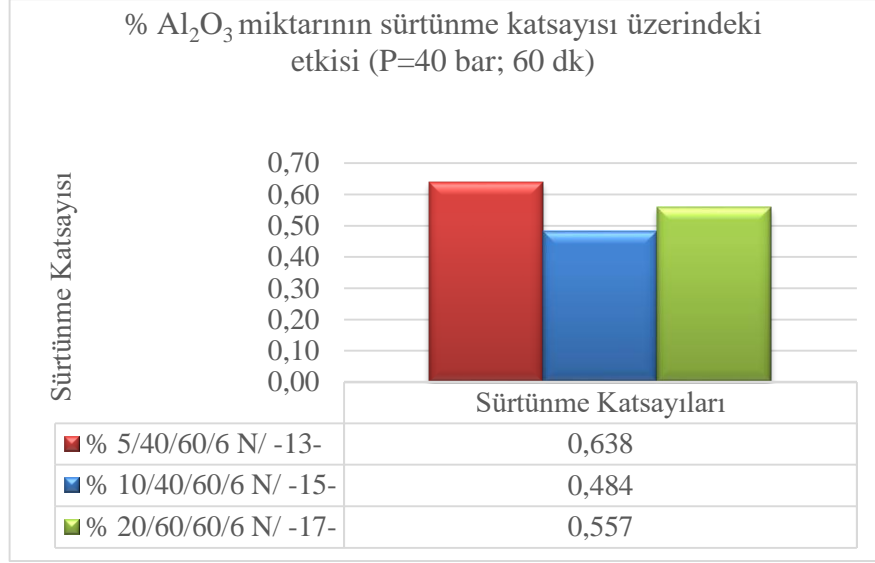
**Şekil 4.30:** % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarının sürtünme katsayısı üzerindeki etkisi (P=40 bar; 90 dk).

6 N aşınma yükü altında, 60 bar presleme basıncı uygulanan ve 90 dk sinterleme yapılan numunelerin; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarındaki değişime göre sürtünme katsayılarının değerleri Şekil 4.31'de gösterilmiştir.



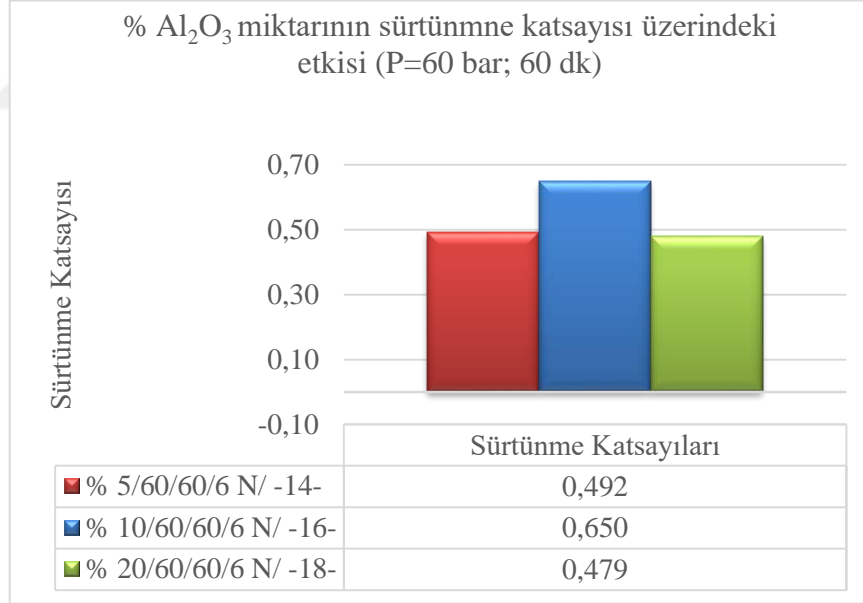
**Şekil 4.31:** % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarının sürtünme katsayısı üzerindeki etkisi (P=60 bar; 90 dk).

6 N aşınma yükü altında, 40 bar presleme basıncı uygulanan ve 60 dk sinterleme yapılan numunelerin; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarındaki değişime göre sürtünme katsayılarının değerleri Şekil 4.32'de gösterilmiştir.



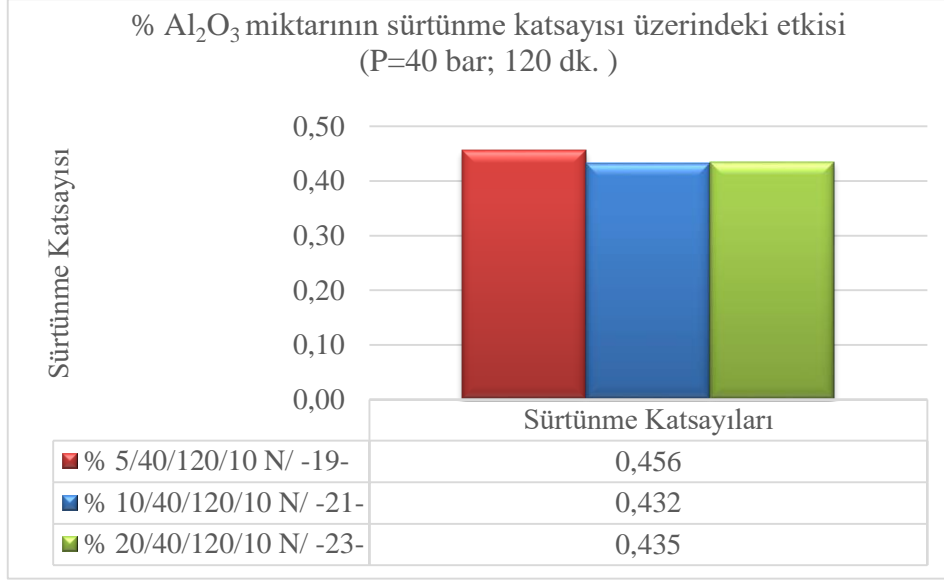
**Şekil 4.32:** % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarının sürtünme katsayısı üzerindeki etkisi (P=40 bar; 60 dk).

6 N aşınma yükü altında, 60 bar presleme basıncı uygulanan ve 60 dk sinterleme yapılan numunelerin; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarındaki değişime göre sürtünme katsayılarının değerleri Şekil 4.33'te gösterilmiştir.



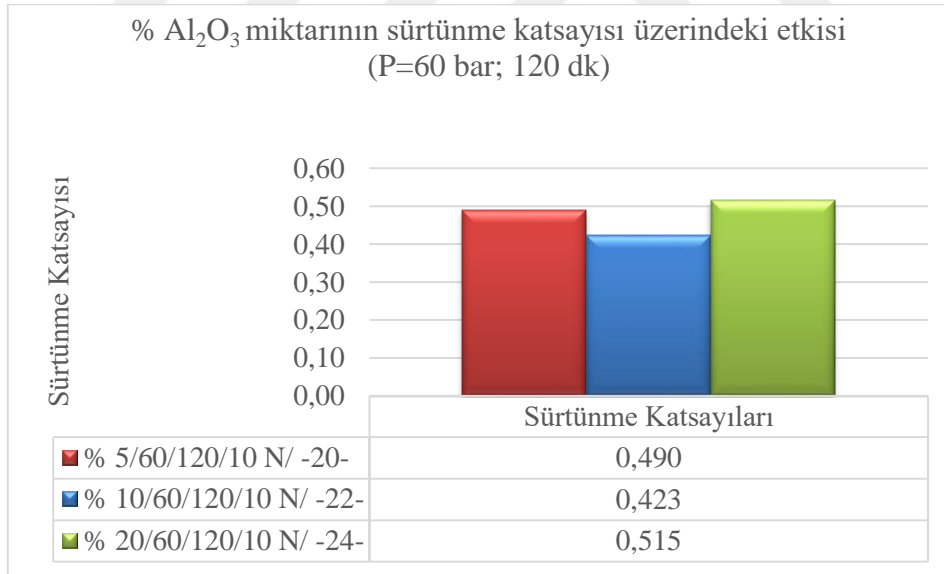
**Şekil 4.33:** % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarının sürtünme katsayısı üzerindeki etkisi (P=60 bar; 60 dk).

10 N aşınma yükü altında, 40 bar presleme basıncı uygulanan ve 120 dk sinterleme yapılan numunelerin; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarındaki değişime göre sürtünme katsayılarının değerleri Şekil 4.34'te gösterilmiştir.



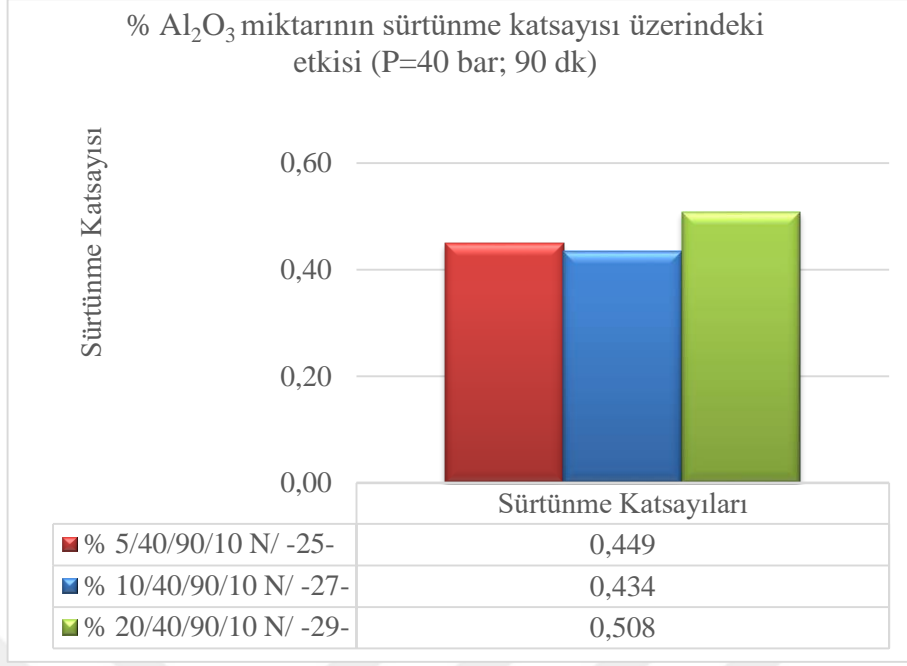
**Şekil 4.34:** % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarının sürtünme katsayısı üzerindeki etkisi (P=40 bar;120 dk).

10 N aşınma yükü altında, 60 bar presleme basıncı uygulanan ve 120 dk sinterleme yapılan numunelerin; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarındaki değişime göre sürtünme katsayılarının değerleri Şekil 4.35'te gösterilmiştir.



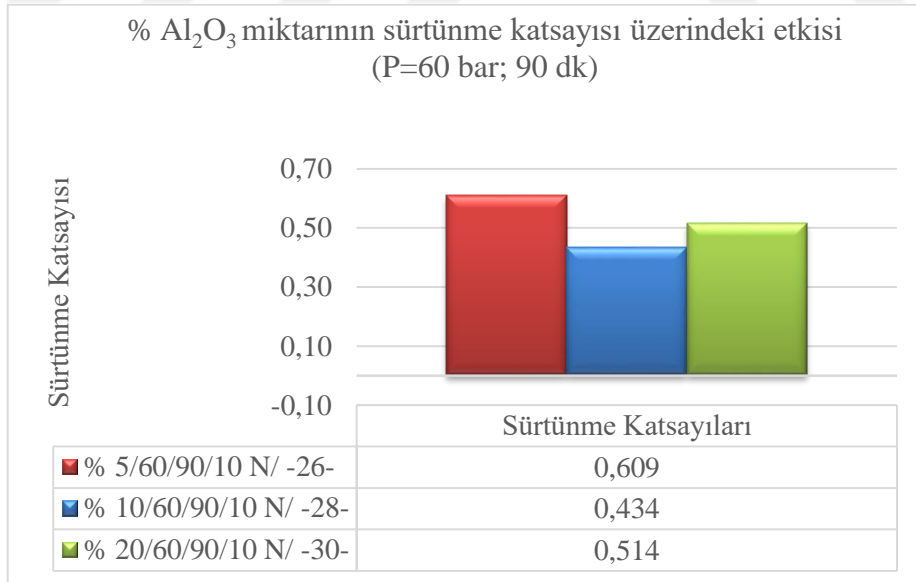
**Şekil 4.35:** % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarının sürtünme katsayısı üzerindeki etkisi (P=60 bar;120 dk).

10 N aşınma yükü altında, 40 bar presleme basıncı uygulanan ve 90 dk sinterleme yapılan numunelerin; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarındaki değişime göre sürtünme katsayılarının değerleri Şekil 4.36'da gösterilmiştir.



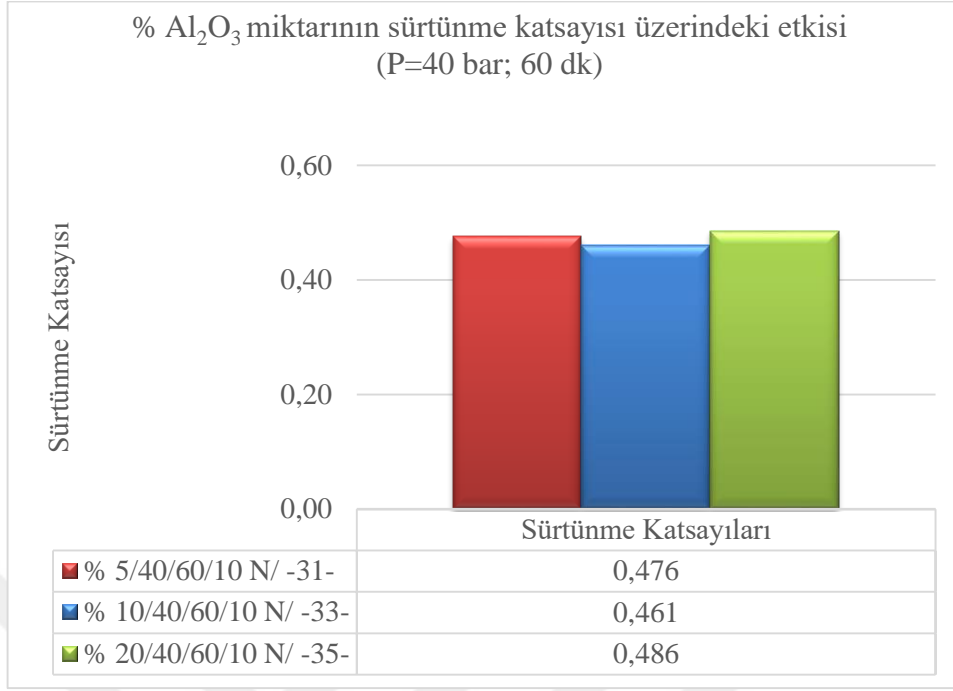
**Şekil 4.36:** % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarının sürtünme katsayısı üzerindeki etkisi (P=40 bar; 90 dk).

10 N aşınma yükü altında, 60 bar presleme basıncı uygulanan ve 90 dk sinterleme yapılan numunelerin; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarındaki değişime göre sürtünme katsayılarının değerleri Şekil 4.37’de gösterilmiştir.



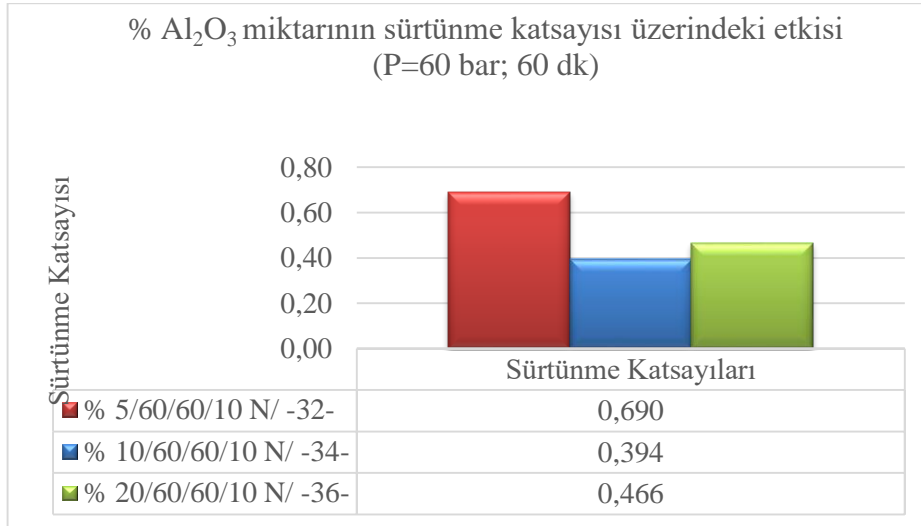
**Şekil 4.37:** % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarının sürtünme katsayısı üzerindeki etkisi (P=60 bar; 90 dk).

10 N aşınma yükü altında, 40 bar presleme basıncı uygulanan ve 60 dk sinterleme yapılan numunelerin; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarındaki değişime göre sürtünme katsayılarının değerleri Şekil 4.38’de gösterilmiştir.



**Şekil 4.38:** % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarının sürtünme katsayısı üzerindeki etkisi (P=40 bar; 60 dk).

10 N aşınma yükü altında, 60 bar presleme basıncı uygulanan ve 60 dk sinterleme yapılan numunelerin; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarındaki değişime göre sürtünme katsayılarının değerleri Şekil 4.39'da gösterilmiştir.

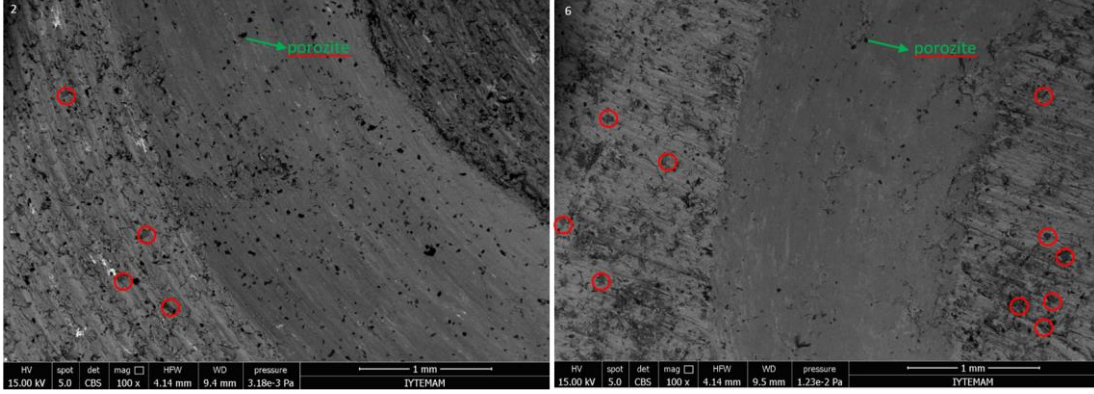


**Şekil 4.39:** % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarının sürtünme katsayısı üzerindeki etkisi (P=60 bar; 60 dk).

#### 4.6. SEM, Sürtünme Katsayıları ve Aşınmış Alan Sonuçları

%5/60/120/6N/-2-, %20/60/120/6 N/-6-, %10/40/90/6N/-9-, %10/40/90/10N/-27-, %5/40/60/10N/-31-, %20/40/60/10 N/-35- nolu numunelere SEM uygulanmıştır.

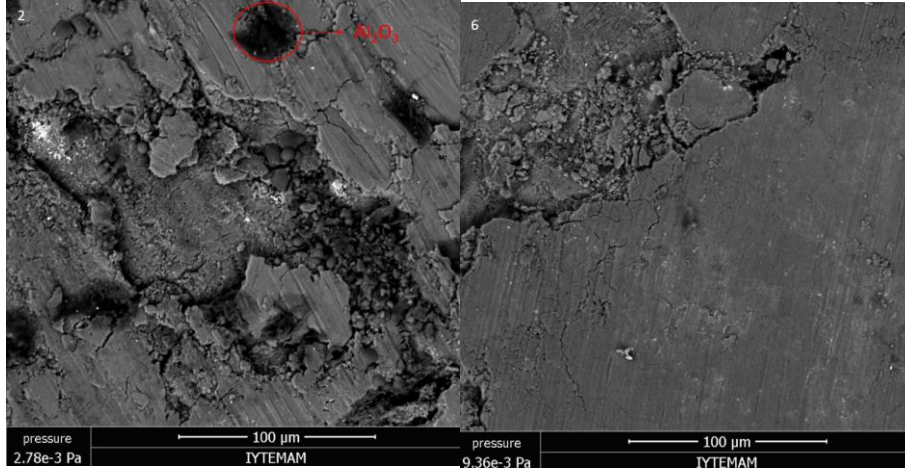
Şekil 4.40'teki 100x'teki SEM görüntüleri 2 ve 6 nolu numunelere aittir yani 60 bar basınçta sıkıştırılmış ve 120 dakika sinterlenmiştir. İlki %5 takviye oranı ile ikincisi ise %20 takviye oranı ile üretilmiştir. Ana metal kısmı incelendiğinde %20 takviye ile üretilen numunede daha fazla miktardaki  $Al_2O_3$ 'ler göze çarpmaktadır ve bazıları kırmızı yuvarlak içine alınarak gösterilmiştir. Onun dışında her iki numunede de çok sayıda gözenek dikkati çekmektedir. 120 dakika sinterleme sonunda görülmüştür ki delaminasyon aşınması çok azdır, dolayısıyla tabakalar halinde ayrılma ve yığılmadansa abrazyon aşınmanın hakim olduğu bir aşınma karakteristiği vardır. Bu da en uzun sinterleme süresi olan 120 dakikanın uzun bir difüzyon süresi ile matris ve ara yüzey arasında daha iyi bir bağlanma oluştuğunu göstermektedir.



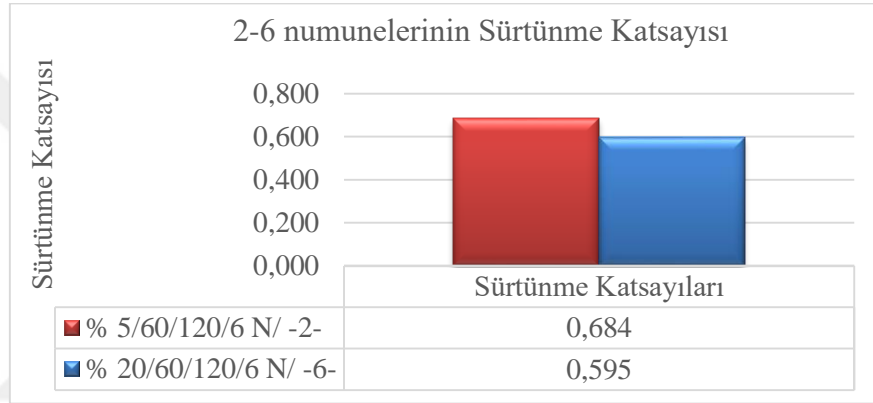
Şekil 4.40: 2 ve 6 nolu numunelerin 100 x'te SEM görüntüleri.

2 ve 6 nolu numunelere ait 1000 x'teki SEM görüntüleri Şekil 4.41'de, sürtünme katsayıları değerleri Şekil 4.42'de, profilometre cihazından hesaplanan aşınmış alanlarına ait değerleri Şekil 4.43'te gösterilmiştir.

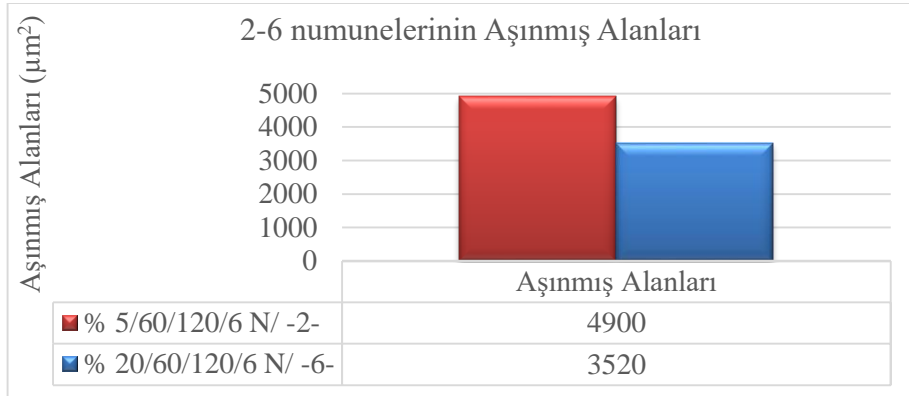




**Şekil 4.41:** 2 ve 6 nolu numunelerin 1000 x'te SEM görüntüleri.



**Şekil 4.42:** 2 ve 6 nolu numunelerin sürtünme katsayıları.



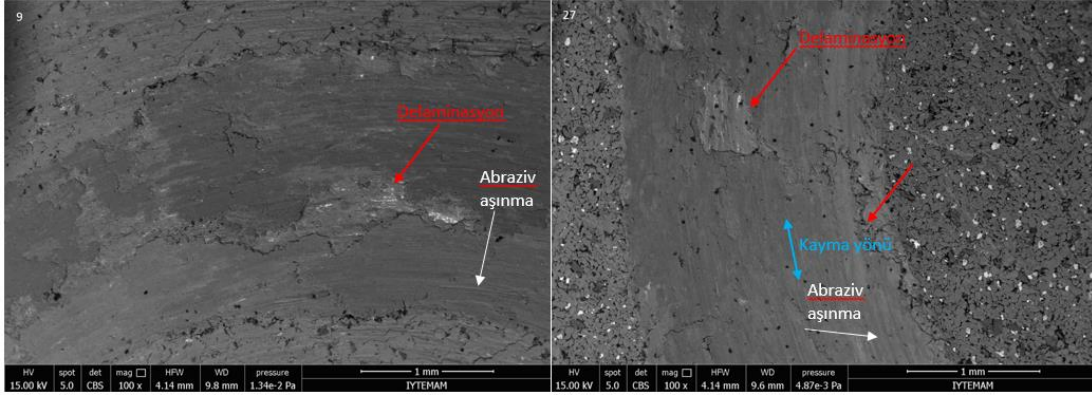
**Şekil 4.43:** 2 ve 6 nolu numunelerin aşınmış alanları.

2 ve 6 numunelerin aşınmış alan kayıpları incelendiğinde sırasıyla 4900 ve 3520 µm<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. Numunelerin içeriğindeki yüzde Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarı %5' ten %20' ye arttığında aşınma performansı yaklaşık %28 iyileşmiştir. Bu sonuçları SEM incelemeleri de desteklemektedir. İlgili numunenin SEM görüntüsü incelendiğinde 2 nolu (%5/60/120/6N)

numunede daha agresif bir aşınma olduğu göze çarpmaktadır. Ayrıca koyu renkli bölgenin test esnasında ortamdan uzaklaşan  $Al_2O_3$  partiküllerine ait boşluklar olduğu düşünülmektedir. Koyu renkli bölgelerin boyutu yaklaşık 45-50 mikron civarında olduğu görülmektedir. Elekten geçirilen tozlar 53 mikron idi. 6 nolu (%20/60/120/6 N) numuneye bakıldığında boşluk miktarının daha az olduğu göze çarpmaktadır. Öte yandan 2-6 nolu numunelerde delaminasyon oluşumu olduğu gözlenmiştir. Bu delaminasyon 2 nolu numunede daha çarpıcıdır.

40 bar basınçla basılan, 90 dakika sinterleme uygulanan, %10  $Al_2O_3$  içerikli 6 N aşınma yükü uygulanan numune (9 nolu) ve 10 N aşınma yükü uygulanan numune (27 nolu) arasındaki fark 100x'te Şekil 4.44'te gösterilmiştir.

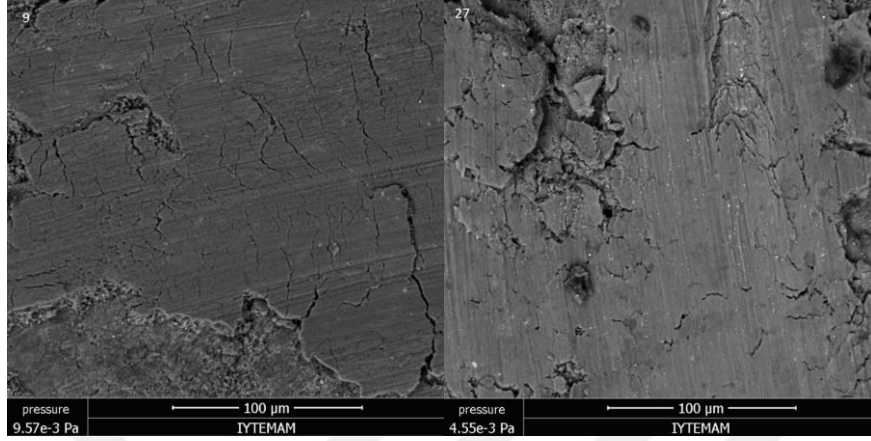




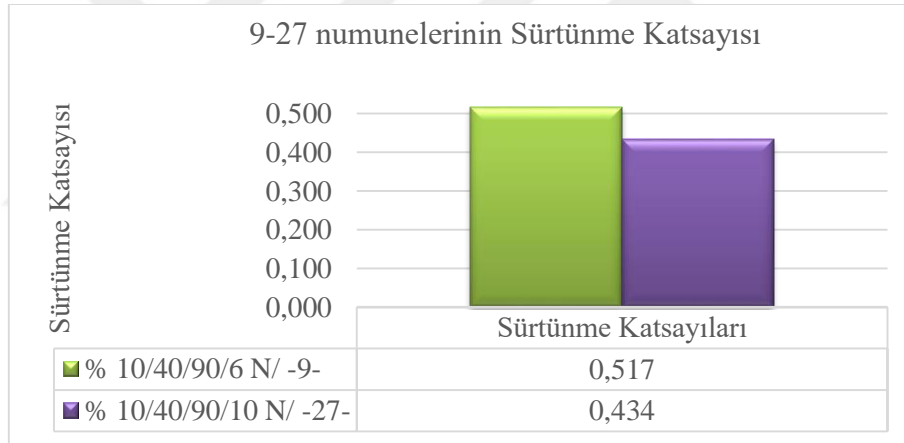
**Şekil 4.44:** 9 ve 27 nolu numunelerin 100 x'te SEM görüntüleri.

%10 takviye oranında 40 bar basınçta 90 dakika sinterlenen numunelerin 6N ve 10N altındaki SEM görüntüleri verilmiştir. Burada aşınma yükü arttıkça izin alanı çok az bir miktar genişlemiştir. Bu da aşınmanın daha çok derine doğru meydana geldiğini göstermektedir. Delaminasyon bölgeleri ve aşınma izleri ok ile gösterilmiştir. Şekil 4.44' te yer alan numunenin ana metal bölgesinde yetersiz difüzyonla bağlanmanın oluşmadığı ürün göze çarpmaktadır. Bu duruma tozların parça üretimi öncesi oksitlenmesinin bir sonucu olarak bazı numunelerde rastlanmıştır.

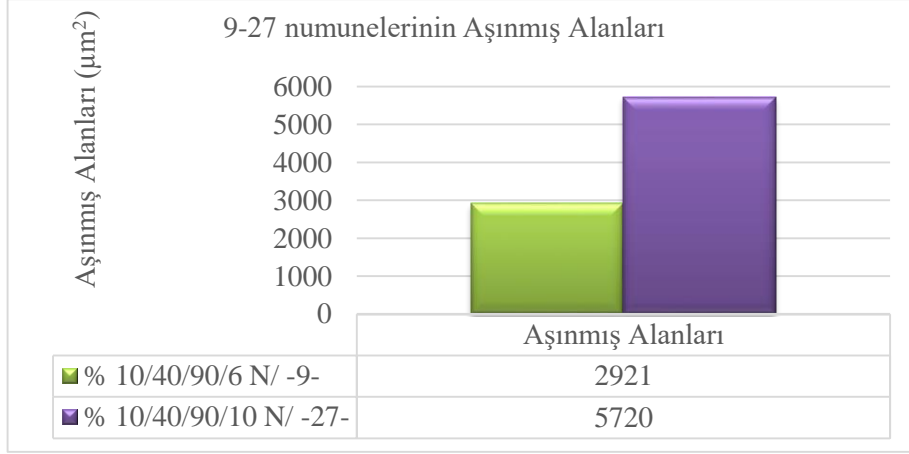
9 ve 27 nolu numunelere ait 1000 x'teki SEM görüntüleri Şekil 4.45'te, sürtünme katsayıları değerleri Şekil 4.46'da, profilometre cihazından hesaplanan aşınmış alanlarına ait değerleri Şekil 4.47'de gösterilmiştir.



Şekil 4.45: 9 ve 27 nolu numunelerin 1000 x büyütmedeki SEM görüntüleri.



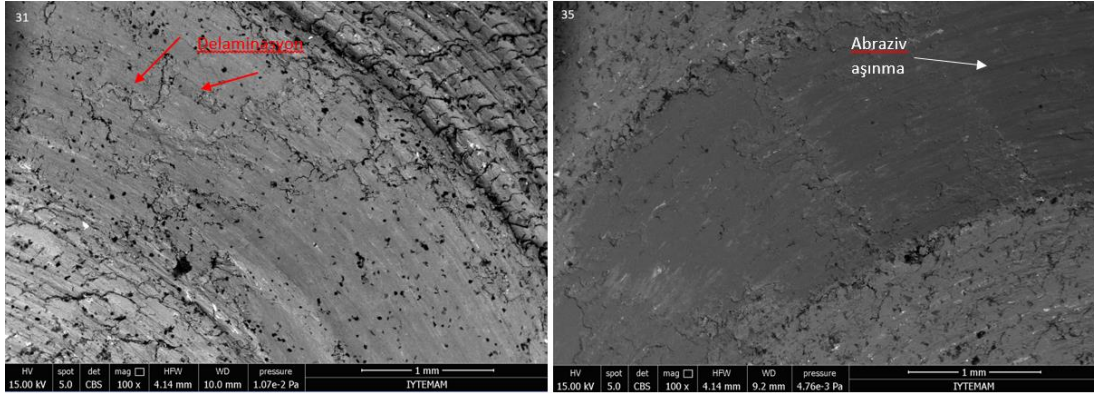
Şekil 4.46: 9 ve 27 nolu numunelerin sürtünme katsayıları.



**Şekil 4.47:** 9 ve 27 nolu numunelerin aşınmış alanları.

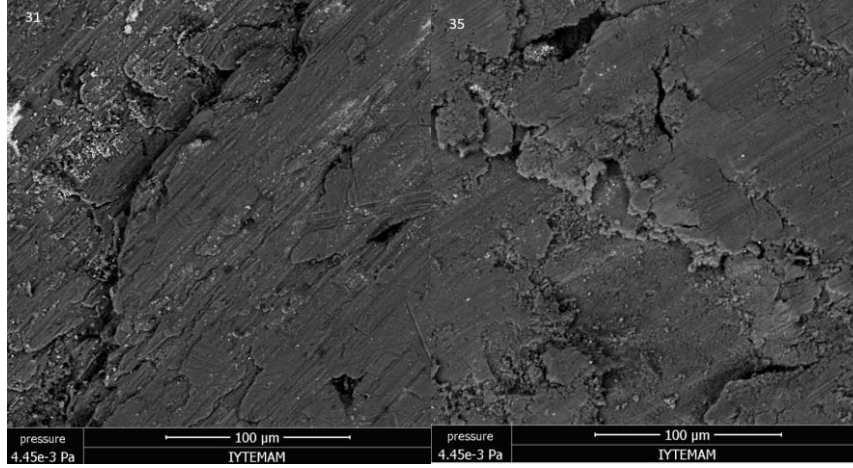
40 bar basınçla basılan, 60 dakika sinterleme uygulanan, 10 N aşınma yükü deneyi yapılan %5 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içerikli numune (31 nolu) ile %20 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içerikli numune (35 nolu) arasındaki fark 100x'te Şekil 4.48'de gösterilmiştir.

İlki %5 takviyeye sahipken diğeri %20 takviyelidir. Takviye oranının artmasıyla abraziv aşınma çizgilerinin arttığı görülmüştür. Delaminasyon aşınması %5 takviyede biraz daha baskındır.

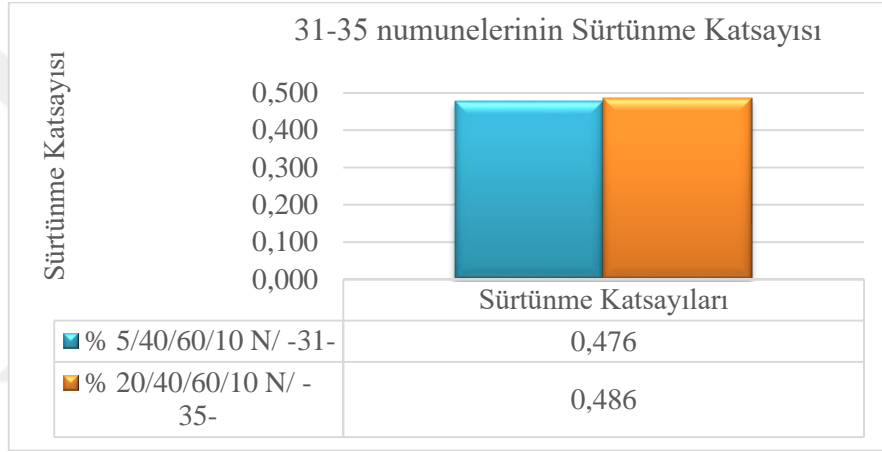


**Şekil 4.48:** 31 ve 35 nolu numunelerin 100 x'te SEM görüntüleri.

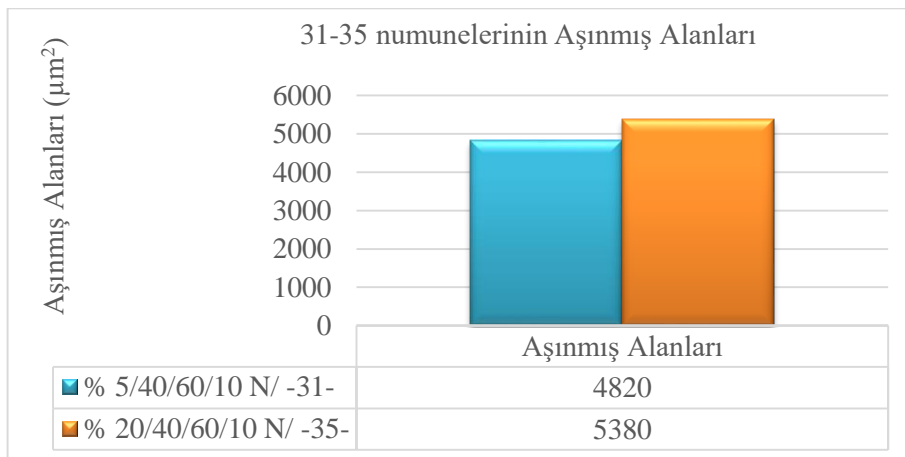
31 ve 35 nolu numunelere ait 1000 x'teki SEM görüntüleri Şekil 4.49'da, sürtünme katsayıları değerleri Şekil 4.50'de, profilometre cihazından hesaplanan aşınmış alanlarına ait değerleri Şekil 4.51'de gösterilmiştir.



**Şekil 4. 49:** 31 ve 35 nolu numunelerin 1000 x'te SEM görüntüleri.



**Şekil 4. 50:** 31 ve 35 nolu numunelerin sürtünme katsayıları.



**Şekil 4. 51:** 31 ve 35 nolu numunelerin aşınmış alanları.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada; saf alüminyum tozları içerisinde %5, %10 ve %20 oranlarında  $Al_2O_3$  tozları takviye edilerek toz karışım kompozisyonları elde edilmiştir. Toz metalurjisi tekniği kullanılarak presleme ile malzemeler 40 ve 60 bar basınç altında sıkıştırılmış ve  $560^{\circ}C$  sıcaklığında 60, 90 ve 120 dakika sürelerinde sinterlenerek üretilmiştir. Elde edilen kompozit malzemelerin sertlik ve yoğunluk değerleri tespit edilmiştir. Ayrıca değişik yükler altında aşınma deneyleri yapılmış ve aşınma sonuçları ağırlık kaybı cinsinden ve sürtünme katsayısı cinsinden değerlendirilmiştir. Ayrıca üretilen T/M parçalardan seçilmiş olan bazı parametrelerin aşınma yüzeyleri SEM mikroskopunda incelenmiş ve söz konusu parametrelerin aynı zamanda aşınma kayıpları alan cinsinden de hesaplanmıştır. Yapılan test/analizler neticesinde aşağıda belirtilen sonuçlara ulaşılmıştır:

1) T/M parçaların sertlik değerleri içeriğindeki  $Al_2O_3$  takviye miktarı arttıkça artmıştır. T/M parça içerisinde sert fazın oranı arttıkça sertlik artmıştır. Ayrıca, sertlik değerlerinin basma basıncıyla, sinterleme süresiyle ve takviye oranı ile orantılı bir şekilde arttığı tespit edilmiştir.

2) T/M parçaların yoğunluk değerleri içeriğindeki  $Al_2O_3$  takviye miktarı arttıkça genelde azalmıştır. Basma basıncı ve sinterleme süresi açısından değerlendirildiğinde basma basıncı arttıkça yoğunluk artmıştır; sinterleme süresinin artmasıyla da difüzyonun artmasıyla yoğunluk bir miktar artmıştır. 60 dk en düşük sinterleme süresinde takviye oranı artsa da yoğunluğun pek değişmediği görülmüştür, bu da difüzyon için bu sürenin yetersiz olduğunun bir sonucudur.

3) Sabit dönme hızında ve değişik yükler altında yapılan aşınma deneylerinde  $Al_2O_3$  ile takviye miktarının artmasıyla T/M kompozitin aşınma direnci artmıştır. Aşınma mesafeleri incelenmiş, mesafe arttıkça beklendiği gibi ağırlık kayıplarının arttığını bulunmuştur.

4) Sürtünme katsayısı değişimi incelendiğinde aşınma koşulları ile lineer bir ilişki olmadığı görülmüştür. Mikroyapılar incelendiğinde numunelerde partiküllerin etrafında bağlanmanın oluşmadığı bölgelerin göze çarpmasından dolayı, aşınma testi esnasında kopan partiküller etraftan uzaklaşamayarak sürtünme ortamını zaman zaman değiştirmiştir. İlerleyen çalışmalarda daha yüksek sinterleme sıcaklığında üretim yapılması ile aşınma davranışının

olumlu yönde etkileneceği düşünölmektedir. T/M parçaların aşınma deneyi sonrası yüzeyleri SEM altında incelenmiştir. Aşınma yüzeyinin hem adhesiv hem abraziv karakteristik gösterdiği görölmüştür. Yer yer delaminasyon bölgeleri ve uzun aşınma mesafelerinden sonra plastik deformasyon bölgeleri oluşmuştur.

Bu tez çalışmasında gerçekleştirilen test ve analizler neticesinde aşağıdaki unsurların ortaya konabileceği çalışmalar yapılması önerilmektedir:

T/M parça üretiminde kullanılan tozlara oksit giderme işlemi yapılmalı veya temiz yüzeyli tozlar kullanılmalı, mekanik alaşımlama koruyucu atmosfer altında gerçekleştirilmesi, mekanik alaşımlama süresine bağlı araştırma yapılarak etkilerinin incelenmesi, sıkıştırma basıncının artırılmasıyla daha iyi mekanik bağlanmanın yanı sıra yüzey pürüzlölük davranışının da incelenmesi, daha yüksek bir sinterleme sıcaklığı altında sinterleme prosedürünün gerçekleştirilmesi ve sonuçların karşılaştırılması, T/M ile üretilmiş olan numunelere SEM/EDS analizlerinin yapılması önerilmektedir.



## KAYNAKLAR (IEEE)

- [1] H. Akbulut,, M. Durman, F. Yılmaz, “Sic Seramik partikül takviyeli Alüminyum-Silisyum metal esaslı kompozitlerin üretimi ve özelliklerinin incelenmesi,” 7. *Uluslararası Metalürji ve Malzeme Kongresi*, Ankara, 1993, s. 1183-1194.
- [2] B. Baksan, R. Gürler, “Toz metalurjisinin Savunma Sanayiinde uygulanması,” Osmangazi Üniversitesi, Metalürji Enstitüsü, Eskişehir, 2003.
- [3] G.S. Hanumanth, G.A. Irons, “Particle incorporation by melt stirring for the production of metal-matrix composites,” *Journal of Materials Science*, 1993, 28, pp. 2459-2465.
- [4] P.K. Rohatgi, “Cast Aluminum matrix composites for automotive applications,” *Journal of Metals*, vol. 43, no. 4, pp. 10-15, 1991.
- [5] G. Sur, “Karma takviyeli Alüminyum matriksli kompozitlerin üretimi, mekanik özellikler ve işlenebilirliğinin incelenmesi”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, s. 1-90 (Doktora tezi), 2008.
- [6] M.A. Doğan, E. Kanca, M. Kök, “Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> partikül takviyeli 6061 Alüminyum metal matriksli kompozitlerin üretimi,” *International Iron & Steel Symposium*, Karabük, 2012.
- [7] M. Kök, “Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Partikül Takviyeli 2024 Alüminyum metal matriksli kompozitlerin üretimi,” *Fen ve Mühendislik Dergisi*, vol. 4, no.2, pp.131-142, 2001.
- [8]. [http://www.odevsitesi.com/ornekler/2005\\_6/106995-toz-metal.asp](http://www.odevsitesi.com/ornekler/2005_6/106995-toz-metal.asp) (Erişim Tarihi: 1.10.2023)
- [9][http://www.msb.gov.tr/Birimler/ARGETeknoD/ARGESemineri/Pdf/S09\\_Toiz\\_Metalurji.pdf](http://www.msb.gov.tr/Birimler/ARGETeknoD/ARGESemineri/Pdf/S09_Toiz_Metalurji.pdf) (Erişim Tarihi: 1.10.2023)
- [10] <http://www.turktoz.gazi.edu.tr/> (Erişim Tarihi: 4.2.2019)
- [11] [http://tr.wikipedia.org/wiki/Al<sup>24</sup>minyum#Oksidasyon\\_kademesi\\_1](http://tr.wikipedia.org/wiki/Al%24minyum#Oksidasyon_kademesi_1) (Erişim Tarihi: 1.10.2023)
- [12] <http://www.makinamuhendisi.com/idx/8/142/Makina-Magazin-Makale/article/Toz-Metalurjisi.html> (Erişim Tarihi: 1.10.2023)
- [13] E. Ercenk, Ş. Yılmaz, “Kaolen ilavesinin Seydişehir Alüminasının sinterlenme özelliklerine etkisi”, Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, *4th International Powder Metallurgy Conference*, s. 546-554 ,Sakarya, 2005.
- [14] Y. Üfersoy, “Emrulloğlu C.B., Emrulloğlu, Ö.Faruk, “Alüminanın enjeksiyon kalıplaması kalıplama süresinin etkisi”, Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik

- Fakültesi, Seramik Müh. Bölümü, *4th International Powder Metallurgy Conference*, Afyon, s. 582-587, 2005.
- [15] R. Yılmaz, A. Osman Kurt, “Seramik kaplamaların aşınma davranışlarının incelenmesi,” Sakarya Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi ve Mühendislik Fakültesi, *4th International Powder Metallurgy Conference*, s. 649-663 , 2005.
- [16] G.S. Hanumanth, G.A. Irons, “Particle incorporation by melt stirring for the production of metal-matrix composites”, *Journal of Materials Science*, 28: pp 2459-2465, 1993.
- [17] H. Ahlatçı, E. Candan, ve H. Çimenoğlu, “% 60 SiC-Al Kompozitlerin aşınma davranışına SiC partikül boyutunun etkisi”, *İTÜ Dergisi/D, Mühendislik*, vol. 2 no.3, 2010.
- [18] M. Kök, “Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> partikül takviyeli 2024 Alüminyum metal matrisli kompozitlerin üretimi”, *Fen ve Mühendislik Dergisi*, vol. 4, no. 2, pp.131-142, 2001.
- [19] S. Deniz, “Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviyeli Alüminyum MATrisli Kompozit Üretimi, mekanik ve Fiziksel Özellikleri ile Mikroyapı Karakterizasyonu”, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2000, (Doktora Tezi)
- [20] H. Aktaş, “Alüminyum matrisli Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> parçacık takviyeli kompozitlerin mekanik alaşımlama yöntemiyle üretimi ve kuru aşınma davranışlarının incelenmesi”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2007.
- [21] F. Yalçınkaya, “Toz metalurji metodu ile üretilen Alüminyum matrisli ve Alümina takviyeli kompozit malzemenin abrasiv aşınma davranışının incelenmesi”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2018.
- [22] F. Sirek, “Deneysel aşınma modeli verileri için uygun parametre seçimi”, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2015.
- [23] K.J. Bhansali, R. Mehrabian, “Abrasive wear of Al Matrix composites”, *Journal of Metals*, vol. 34, no.9, pp. 30-34, 1982.
- [24] [http://malzememuh.cbu.edu.tr/db\\_images/site\\_117/file/sertlik.pdf](http://malzememuh.cbu.edu.tr/db_images/site_117/file/sertlik.pdf) (Erişim Tarihi: 4.2.2019)
- [25] E., F. Kılıç, “Alüminyum alaşımlı Sic parçacık takviyeli kompozitlerin toz metalurjisi yöntemiyle üretimi ve aşınma davranışlarının incelenmesi”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans tezi, Ankara, s 1-93, 2007.
- [26] M., Al-Bahrani, M., Aljuboury & A., Cree, “Damage sensing and mechanical properties of laminate composite based mwcnts under anticlastic test”, *Materials Research Express*, 6(3), 035704, 2018. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/aaf6fe>

- [27] A., Subhi and H., Abdullah, “Effect of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particles and precipitation hardening on the properties of cast 332 Aluminum alloy”, Al-Khwarizmi Engineering Journal, 14(4), 125-132, 2018. <https://doi.org/10.22153/kej.2018.05.007>.
- [28] V., Vani and S., Chak, “The effect of process parameters in Aluminum metal matrix composites with powder metallurgy”, Manufacturing Review, 5, 7, 2018. <https://doi.org/10.1051/mfreview/2018001>.
- [29] M., Meignanamoorthy, V., Mohanavel, M., Ravichandran, T., Raja., A., Gacem, A., Mezni & M., Ganesan, “Evaluation on powder metallurgy process parameters of ball-milled AA8079-B<sub>4</sub>C nanostructured composites via taguchi grey relational analysis”, Journal of Nanomaterials, 1-12, 2022, <https://doi.org/10.1155/2022/7484053>
- [30] D., Wang, Y., Bai., B., Qiu., H., Yu, & Z., Li, (2022). Design of spark plasma sintering parameters and preparation of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiB<sub>2</sub>/TiC micro–nano composite ceramic tool material. International Journal of Applied Ceramic Technology, 20(3), 1420-1431, 2022. <https://doi.org/10.1111/ijac.14284>

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Melih ARABACI

Doğum Yeri ve Yılı :

E-posta

### Öğrenim Bilgileri

Derece	Okul/Program	Yıl
Y. Lisans	Balıkesir Üniversitesi/Makine Mühendisliği	2024
Lisans	Celal Bayar Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü	2009
Lise	Buca Anadolu Lisesi	2004