



# Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>TANECİK BOYUTUNUN VE KATKI ORANININ ALÜMİNYUM MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ VE MİKRO YAPISI ÜZERİNE OLAN ETKİLERİ

Mahmut Can ŞENEL<sup>1</sup>, Mevlüt GÜRBÜZ<sup>2\*</sup>

<sup>1,2</sup>Makina Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun, Türkiye

## ÖZET

Bu çalışmada, ağırlıkça farklı katkı oranlarında (%0-30) alümina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) takviyeli alüminyum (Al) matrisli kompozitler toz metalürjisi yöntemiyle üretilmiştir. Üretilen kompozitlerin deneysel yoğunluğu Arşimet yoğunluk ölçüm cihazıyla, sertliği mikro Vickers sertlik ölçme cihazıyla, basma dayanımı universal test makinasıyla, mikro yapı analizi taramalı elektron mikroskobuyla ve faz analizi X-ışını kırınımı cihazıyla gerçekleştirilmiştir. Kompozit malzeme üretiminde, takviye elemanı olarak nano alümina (n-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) veya mikron boyutlu alümina (m-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) tozları kullanılmıştır. Alümina tanecik boyutunun ve alümina katkı oranının Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlerin deneysel yoğunluğuna, Vickers sertliğine, basma dayanımına ve mikro yapısı üzerine olan etkileri incelenmiştir. Sonuç olarak, Al-(m-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) kompozitlerin mekanik özelliklerinin Al-(n-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) kompozitlerin mekanik özelliklerinden daha iyi olduğu ve mikro yapılarının daha yoğun olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, saf alüminyuma oranla Al-%30(m-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) kompozitin Vickers sertliğinin ve basma dayanımının sırasıyla; %101.2 ve %71.7 oranında arttığı belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kompozit malzeme, Toz metalürjisi, Alümina, Alüminyum, Mikro yapı.

## THE EFFECT OF PARTICLE SIZE AND REINFORCEMENT RATIO OF Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ON MECHANICAL PROPERTIES AND MICROSTRUCTURE OF ALUMINUM MATRIX COMPOSITES

### ABSTRACT

In this study, alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) reinforced aluminum (Al) matrix composites with different reinforcement ratios (0-30%) were fabricated by the powder metallurgy method. The density, hardness, compressive strength measurements, microstructural, and phase analysis of the fabricated composites were performed by Archimedes' density meter, Vickers hardness measurement device, universal test machine, scanning electron microscope, and X-ray diffraction device, respectively. Nano-alumina (n-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) or micron-sized alumina (m-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) powders were used as a reinforcement element to fabricate the composite materials. The effect of particle size and reinforcement ratio of alumina on the experimental density, Vickers hardness, compressive strength, and microstructure of Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composites was investigated. As a result, it was determined that the experimental density and the mechanical properties (Vickers hardness, compressive strength) of Al-(m-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) composites were better than those of Al-(n-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) composites. Also, it was detected that Vickers hardness and compressive strength of Al-30%(m-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) composite increased compared to pure aluminum with a rate of 101.2% and 71.7%, respectively.

**Keywords:** Composite material, Powder metallurgy, Alumina, Aluminum, Microstructure.

## 1. GİRİŞ

Günümüzdeki küreselleşme ve teknolojik gelişmeyle birlikte yeni nesil üstün malzemelere duyulan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Bu malzemelerden biri de kompozit malzemelerdir [1]. Kompozit malzemeler, iki veya daha fazla malzemenin üstün özelliklerini tek bir malzemede toplamak amacıyla geliştirilen yeni bir malzeme sınıfıdır [2]. Kompozit malzemeler; metal, seramik ve polimer matrisli kompozitler şeklinde sınıflandırılmaktadır. Metal matrisli kompozitlerde matris malzeme olarak metal veya metal alaşımı (Al, Mg, Cu, Ti vb.) kullanılmaktadır. Takviye elemanı olarak da genellikle metal karbür (SiC,

\* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: mgurbuz@omu.edu.tr

Geliş / Received: 29.01.2019 Kabul / Accepted: 13.11.2019 doi: 10.28948/ngumuh.518994

M. C. Şenel, M. Gürbüz

B<sub>4</sub>C, WC vb.), metal nitrür (Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, TiN, SiO<sub>2</sub> vb.) ve metal oksit (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, ZrO<sub>2</sub> vb.) gibi seramik esaslı malzemeler kullanılmaktadır [3].

Matris malzeme olarak alüminyum ve alaşımlarının, kompozit malzemelerde yoğun bir şekilde kullanılmasında sahip olduğu yüksek dayanım, iyi korozyon direnci, kolay şekillendirilebilme ve hafiflik oldukça etkilidir. Bu özellikler sayesinde alüminyum (Al) ve alaşımları; otomotiv, havacılık, uçak ve uzay teknolojisi gibi sektörlerde yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Seramik takviye elemanlarından alümina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ise; sahip olduğu yüksek basma dayanımı, yüksek korozyon direnci ve iyi yorulma dayanımı sayesinde metal matrisli kompozitlerde takviye elemanı olarak kullanılmaktadır [4].

Metal matrisli kompozitler; sıkıştırma döküm, sıcak haddeleme ve toz metalürjisi yöntemiyle üretilmektedir. Diğer yöntemler arasında, toz metalürjisi yöntemi, karmaşık parçaların kolaylıkla üretimi, son şekle yakın parça üretimi ve homojen/gözenekli parçaların kolaylıkla üretimi gibi avantajlara sahiptir. Bu sebeple, bu çalışmada toz metalürjisi yöntemiyle alümina takviyeli Al matrisli kompozitlerin üretimi amaçlanmaktadır [5, 6].

Literatürde, alümina katkılı Al matrisli kompozitlerin mekanik ve mikro yapı özelliklerinin araştırılması üzerine çeşitli çalışmalar yer almaktadır [7-11]. Sricastava ve Chaudhari çalışmalarında [7], ağırlıkça farklı alümina katkı oranlarında (ağırlıkça %1, 2 ve 3 olmak üzere) üretilen Al6061-nano alümina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) kompozitlerin mekanik özelliklerini ve mikro yapısını incelemiştir. Üretilen kompozitlerin (Al6061-%2Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>); akma dayanımının (+%81) ve Vickers sertliğinin (+%76), Al6061 alaşıma göre daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Ağırlıkça %2 nano Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katkısından sonra mikro çatlakların oluşumu sebebiyle mekanik özelliklerin kötüleştiği belirlenmiştir. Kok [8] çalışmasında farklı tanecik boyutlarında (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 16, 32 ve 66 µm olmak üzere) ve farklı katkı oranlarında (ağırlıkça %10, 20 ve 30 olmak üzere) üretilen Al2024-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlerin mekanik özelliklerini incelemiştir. Test sonuçlarına göre; tanecik boyutundaki düşüşün ve katkı oranındaki artışın, üretilen kompozitlerin çekme dayanımını ve sertliğini arttırdığı belirlenmiştir. Ezatpour ve ark. [9] çalışmalarında, ağırlıkça farklı katkı oranlarında (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: ağırlıkça %0.4, 0.8 ve 1.2 olmak üzere) üretilen Al7075-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlerin mekanik özelliklerini ve mikro yapısını incelemiştir. En iyi dayanım, Al-%0.4Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozit yapıda elde edilmiştir. Bu katkı oranından sonra, nano alümina taneciklerin toplanması sebebiyle üretilen kompozitlerin mekanik özelliklerinin kötüleştiği belirlenmiştir. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde; hem alümina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) tanecik boyutunun hem de alümina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) katkı oranının Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlerin mekanik özellikleri ve mikro yapısı üzerine olan etkisinin incelenmesine yönelik herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Bu çalışmada, toz metalürjisi yöntemiyle üretilen alümina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerde, alümina tanecik boyutunun (nano ve mikron boyutlu) ve alümina katkı oranının (ağırlıkça %0-30) kompozitin deneysel yoğunluğuna, Vickers sertliğine, basma dayanımına ve mikro yapısına olan etkileri analiz edilmiştir.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1. Materyal

Bu çalışmada, toz metalürjisi yöntemiyle kompozit malzeme üretiminde matris malzeme olarak Al tozu, takviye elemanı olarak mikron veya nano boyutlu Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tozu kullanılmıştır. Kullanılan alüminyum tozu Alfa Aesar (Birleşik Krallık) firmasında temin edilmiş olup %99 saflıkta ve 8-15 µm boyut aralığındadır. Nano alümina tozu (%98 saflıkta ve yaklaşık 300-600 nm boyut aralığında) Panadyne Inc. (Amerika Birleşik Devletleri) firmasından ve mikron boyutlu alümina tozu (%98 saflıkta ve yaklaşık 1-6 µm boyut aralığında) ise Hindalco Ind. (India) firmasından satın alınmıştır. Ticari olarak temin edilen alüminyum ve alümina tozlarının teorik yoğunlukları sırasıyla; 2.7 g/cm<sup>3</sup> ve 3.97 g/cm<sup>3</sup>'tür.

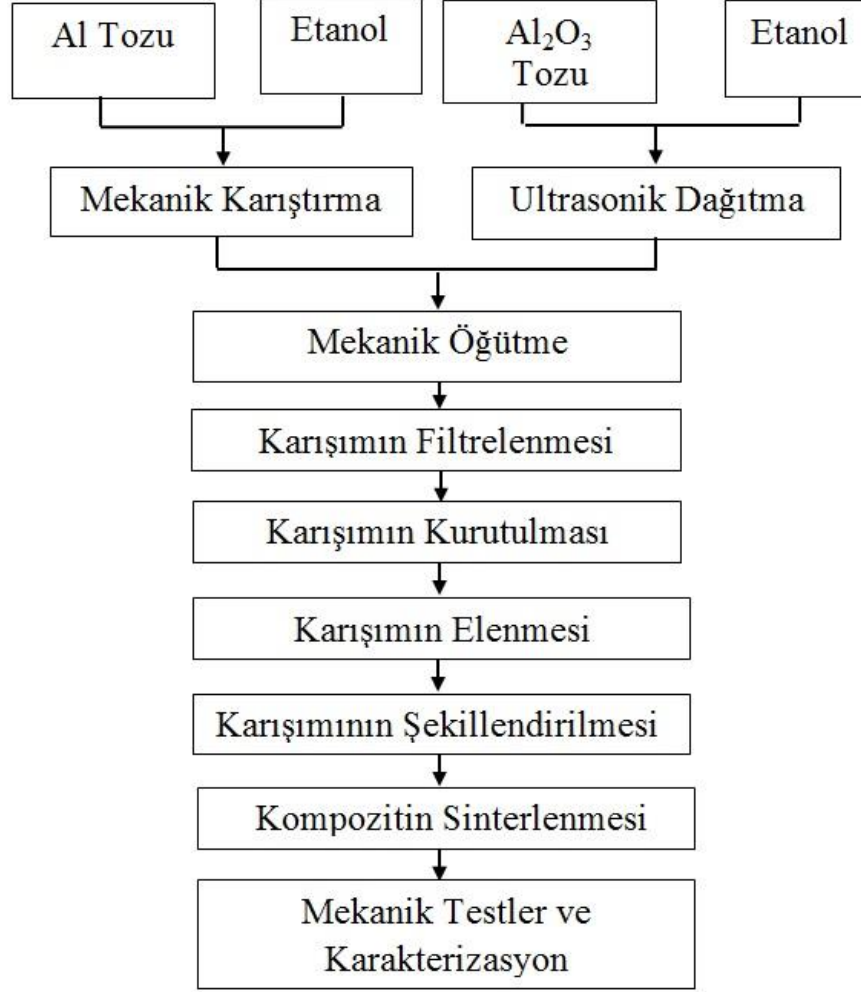
### 2.2. Yöntem

Bu çalışmada, alümina takviyeli alüminyum matrisli kompozitler toz metalürjisi yöntemiyle üretilmiştir. Kompozit malzeme üretim adımları; karıştırma, ultrasonik dağıtma, öğütme, filtreleme, kurutma, eleme, şekillendirme ve sinterleme şeklindedir (Şekil 1). Kompozit malzeme üretiminde ilk olarak alümina tozu etanol içerisinde bir saat süresince ultrasonik olarak dağıtılır. Aynı süreçte Al tozu etanol içerisinde mekanik olarak karıştırma işlemine tabi tutulur. Mekanik olarak karıştırılan alümina-etanol çözeltisi damla damla alüminyum-etanol çözeltisine eklenerek homojen bir karışım elde etmek amacıyla karışım mekanik olarak öğütülür. Daha sonra karışımdan etanolü uzaklaştırmak için karışım filtrelenir. Filtrelenen alüminyum-alümina karışımı, vakuma alınabilen etüvde bir gün boyunca 50°C sıcaklıkta vakum altında kurutma işlemine tabi tutulur. Filtrelenen karışım, tek eksenli preste 600 MPa basınç altında şekillendirilir. Şekillendirme sonucu oluşan ham kompozit malzemeler, 630 °C sıcaklıkta ve 180 dk süresince sinterlenir. Tüm sinterleme çalışmaları, vakuma alınabilen bir tüp fırında (Protherm PTF 12/50/450) yürütülmüştür [12, 13].

Sinterleme sonrası kompozitlerin yoğunluk ölçümü, Ondokuz Mayıs Üniversitesi (OMÜ) Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'ndeki Arşimet yoğunluk ölçüm kitiyle, sertlik ölçümleri yine aynı bölümde yer alan HV1000B mikro Vickers sertlik ölçüm cihazıyla gerçekleştirilmiştir. Vickers sertlik değeri 200 g yük altında, 15 sn süresince ve en az beş

***Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> TANECİK BOYUTUNUN VE KATKI ORANININ ALÜMİNYUM MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ VE MİKRO YAPISI ÜZERİNE OLAN ETKİLERİ***

sertlik verisinin ortalaması alınarak belirlenmiştir. Kompozitlerin basma testleri, OMÜ Makina Mühendisliği Bölümü'ndeki Mares marka universal test makinasında gerçekleştirilmiştir. Basma testlerinde; basma hızı 5 mm/dk., ön yük hızı 2 mm/dk. ve ön yükleme 5 MPa olarak ayarlanmıştır. Karakterizasyon çalışmaları OMÜ Karadeniz İleri Teknoloji Araştırma Merkezi'nde (KİTAM) yürütülmüştür. Kompozitlerin tanecik boyut dağılımı Malvern Mastersizer 3000 tanecik boyut ölçüm cihazıyla belirlenmiştir. Kompozitlerin mikro yapı görüntüleri Jeol JSM 7001F model taramalı elektron mikroskopuyla (SEM), faz analizi ise Rigaku Smartlab model X-ışını kırınımı (XRD) cihazıyla gerçekleştirilmiştir.

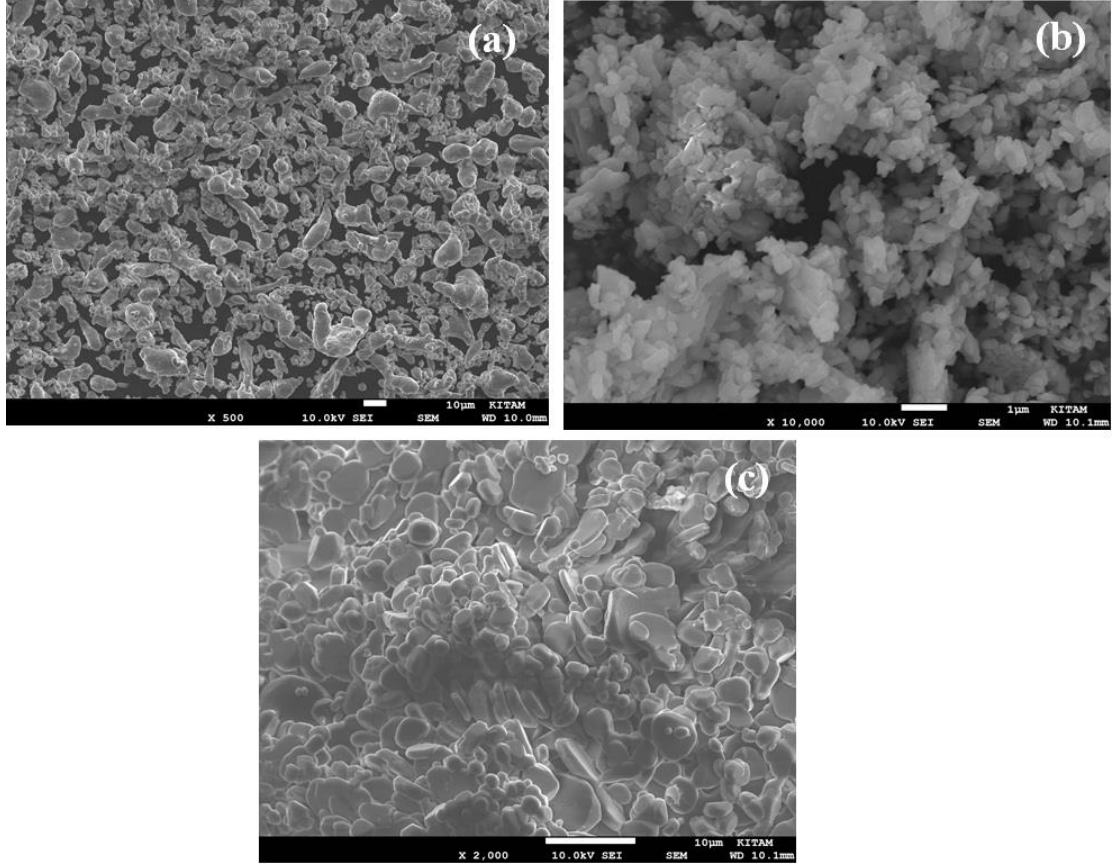


Şekil 1. Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozit malzeme üretim şeması [14, 15]

### 3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI

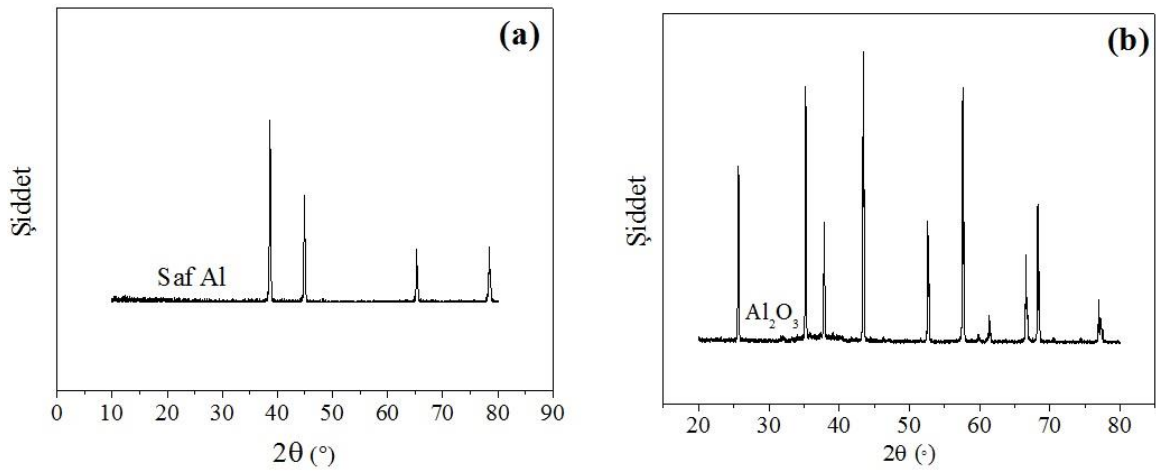
#### 3.1. Tozların Karakterizasyonu

Bu bölümde, kompozit malzeme üretiminde kullanılan tozların SEM analizi, XRD faz analizi ve tanecik boyut dağılımı gerçekleştirilmiştir. Saf alüminyum, nano alümina (n-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ve mikron boyutlu alümina (m-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) tozlarına ait SEM görüntüleri Şekil 2'de verilmiştir. Bu analizden, alüminyum ve alümina tozlarının süngerimsi ve düzensiz bir morfolojide olduğu görülmüştür. Mikro yapı görüntülerinden, saf alüminyum, nano alümina (n-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ve mikron boyutlu alümina (m-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) tozlarının sırasıyla; 8-15 µm, 300-600 nm ve 1-6 µm boyut aralığına sahip olduğu belirlenmiştir.



Şekil 2. Saf Al (a), n-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (b) ve m-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (c) tozlarına ait taramalı elektron mikroskobu görüntüleri

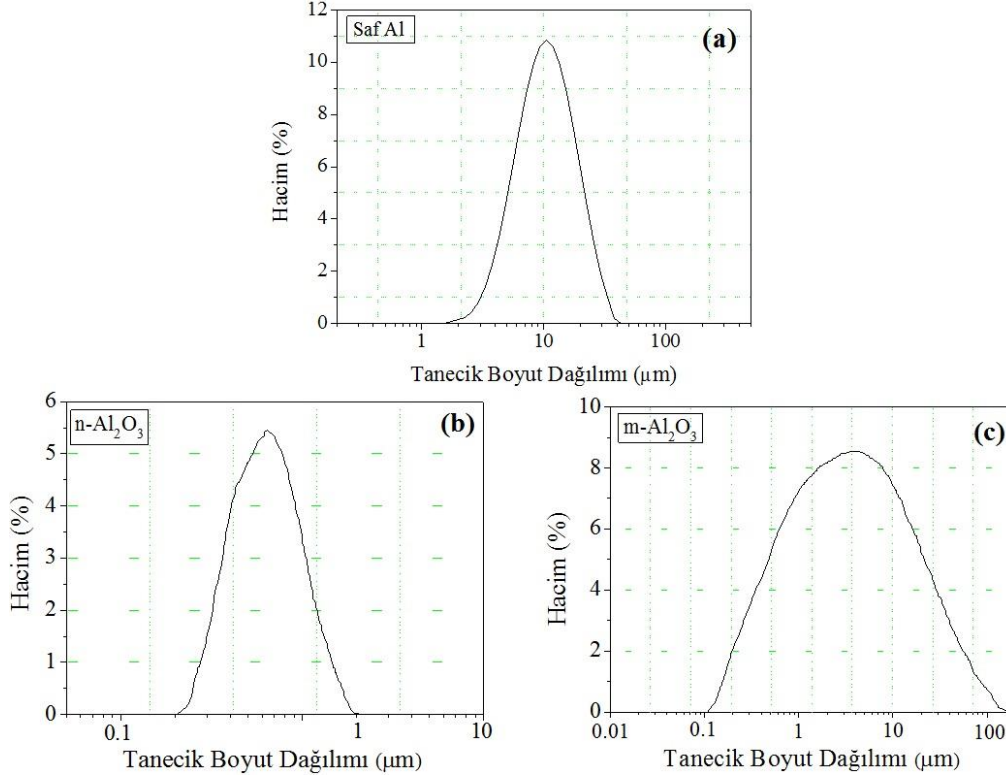
Saf alüminyum ve alümina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) tozlarına ait XRD faz analizi Şekil 3’te verilmiştir. Saf alüminyum ve alümina tozlarına ait kırınım açılarının sırasıyla;  $2\theta \sim 38^\circ, 45^\circ, 65^\circ, 78^\circ$  ve  $2\theta \sim 25^\circ, 35^\circ, 38^\circ, 43^\circ, 53^\circ, 58^\circ, 61^\circ, 67^\circ, 68^\circ, 77^\circ$  olduğu belirlenmiştir. Sinterleme sonrası kompozit malzemelerde oluşabilecek ara fazların tespiti açısından, tozların faz analizi son derece önem arz etmektedir.



Şekil 3. Saf Al (a) ve alümina (b) tozlarına ait XRD faz analizi

## Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> TANECİK BOYUTUNUN VE KATKI ORANININ ALÜMİNYUM MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ VE MİKRO YAPISI ÜZERİNE OLAN ETKİLERİ

Saf alüminyum, nano alümina (n-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ve mikron boyutlu alümina (m-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) tozlarına ait tanecik boyut dağılımı Şekil 4'te verilmiştir. Saf alüminyum, n-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve m-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tozlarına ait ortalama tanecik boyutunun sırasıyla; 10 µm, 500 nm ve 4 µm olduğu belirlenmiştir. Bu analizler, SEM analizlerini de doğrulamaktadır.



Şekil 4. Saf Al (a), n-Al<sub>2</sub>O (b) ve m-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (c) tozlarına ait tane boyut dağılımı

### 3.2. Yoğunluk Ölçüm Sonuçları

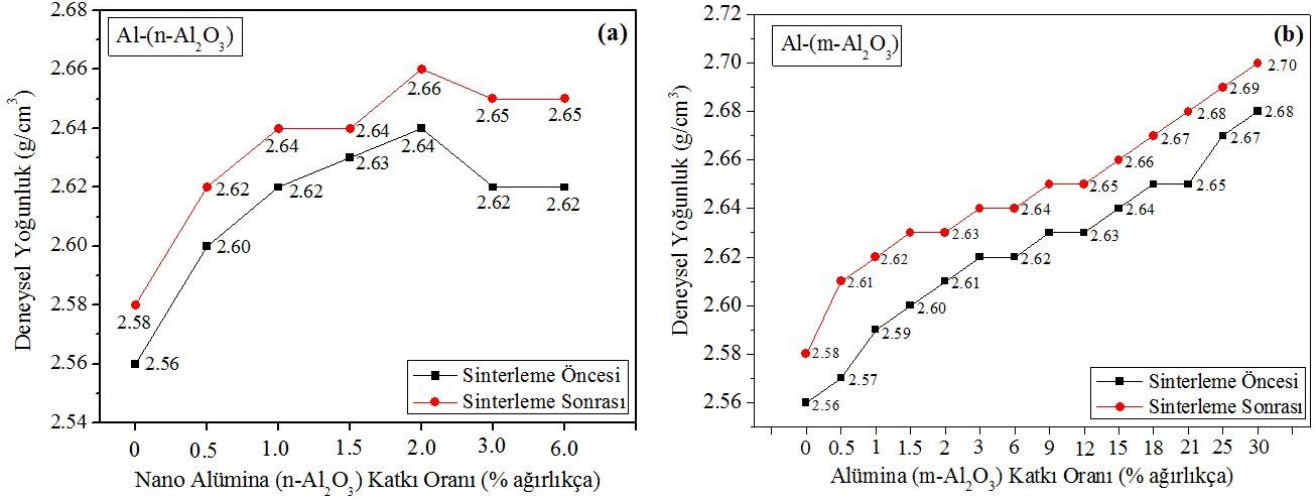
Üretilen kompozit malzemelerin deneysel yoğunluk ölçümü için Arşimet yoğunluk ölçüm cihazından faydalanılmıştır. Deneysel yoğunluk ( $\rho_D$ ) ifadesi, Eşitlik (1)'de verilmiştir [15].

$$\rho_D = (m_K / (m_D - m_A)) \cdot \rho_{su} \quad (1)$$

Bu eşitlikte,  $m_A$  kompozitlerin su içerisinde ölçülen asılı kütlesi (g),  $m_K$  kompozitlerin kuru kütlesi (g),  $m_D$  kompozitlerin sıvı içerisindeki suya doymuş kütlesi (g) ve  $\rho_{su}$  suyun yoğunluğudur (1 g/cm<sup>3</sup>).

Alümina tanecik boyutunun (nano ve mikron boyutlu) ve katkı oranının (ağırlıkça %0-30) Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlerin deneysel yoğunluğuna etkisi Şekil 5'te verilmiştir. Nano alümina (n-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) katkılı alüminyum matrisli kompozit yapılar arasında en yüksek deneysel yoğunluk (2.66 g/cm<sup>3</sup>) Al-%2Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozit yapıda elde edilmiştir. Bu katkı oranından sonra ise kompozitin deneysel yoğunluğunun düştüğü tespit edilmiştir. Bu durumun nano alümina taneciklerin topaklanmasından kaynaklandığı öngörülmektedir. Mikron boyutlu alümina (m-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) katkılı alüminyum matrisli kompozit yapılar içerisinde ise en yüksek deneysel yoğunluğa (2.70 g/cm<sup>3</sup>) Al-%30Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozit yapıda ulaşılmıştır. Bu durumun, topaklanma olmaksızın mikro yapıda yer alan alüminanın yüksek yoğunluğundan (3.97 g/cm<sup>3</sup>) kaynaklandığı düşünülmektedir. Literatürdeki çalışmayla [8] mevcut çalışma karşılaştırıldığında, Al2024-%30Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitin yoğunluğunun (2.9 g/cm<sup>3</sup>) bu çalışma kapsamında üretilen Al-%30Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitin yoğunluğundan (2.7 g/cm<sup>3</sup>) daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, farklı bir üretim yöntemi (argon gazı altında karıştırma döküm yöntemi) kullanılarak kompozitlerin üretilmesinden ve matris malzeme olarak saf alüminyum tozunun yerine Al2024 alaşım tozunun kullanılmasından kaynaklanmaktadır.

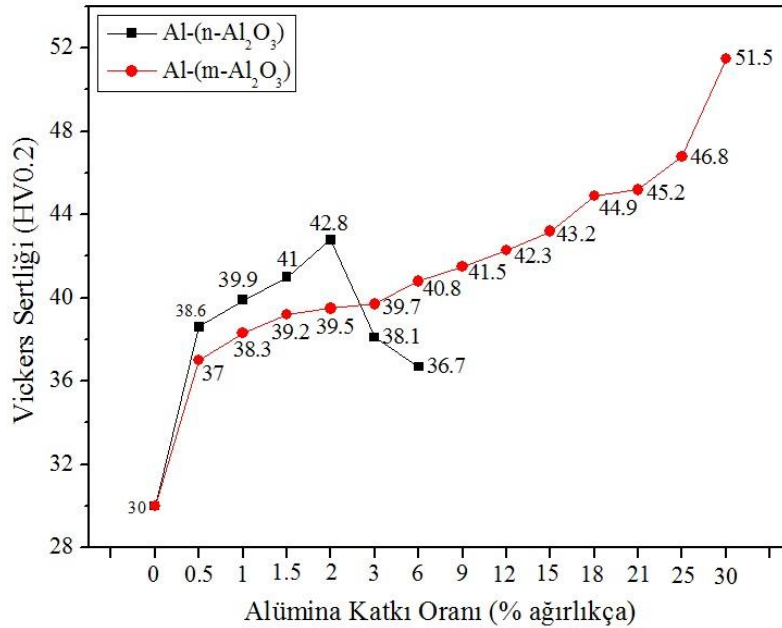
M. C. Şenel, M. Gürbüz



Şekil 5. Nano alümina (n-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) (a) veya mikro boyutlu alümina (m-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) (b) katkı oranıyla Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlerin deneysel yoğunluğundaki değişim

### 3.3. Sertlik Ölçüm Sonuçları

Toz metalürjisi yöntemiyle üretilen alümina katkılı alüminyum matrisli kompozitlerde alümina katkı oranıyla Vickers sertliklerindeki değişim Şekil 6'da verilmiştir. Sertlik verileri incelendiğinde; özellikle nano alümina (n-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) kullanılarak üretilen alüminyum matrisli kompozitlerde ağırlıkça %2 nano alümina katkısından sonra Vickers sertliğinin düştüğü tespit edilmiştir. Bu düşüşte, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> taneciklerin toplanmasından etkili olduğu düşünülmektedir. Mikron boyutlu alümina (m-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) kullanılarak üretilen alümina katkılı alüminyum matrisli kompozitler içerisinde en yüksek Vickers sertlik değerine (51.5 HV) Al-%30Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozit yapıda ulaşılmıştır. Sonuç olarak, mikron boyutlu alümina (m-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) kullanılarak üretilen Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlerde daha yüksek Vickers sertlik değerine ulaşılmıştır. Literatürdeki çalışmayla [8] mevcut çalışma karşılaştırıldığında, Al2024-%30Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitin sertliği 118 HV iken; bu çalışmada üretilen Al-%30Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitin sertliği 51.5 HV olarak belirlenmiştir. Bu durum, matris malzeme olarak kullanılan Al2024 alaşımının saf alüminyuma göre daha yüksek bir sertlik değerine sahip olmasından kaynaklanmaktadır.

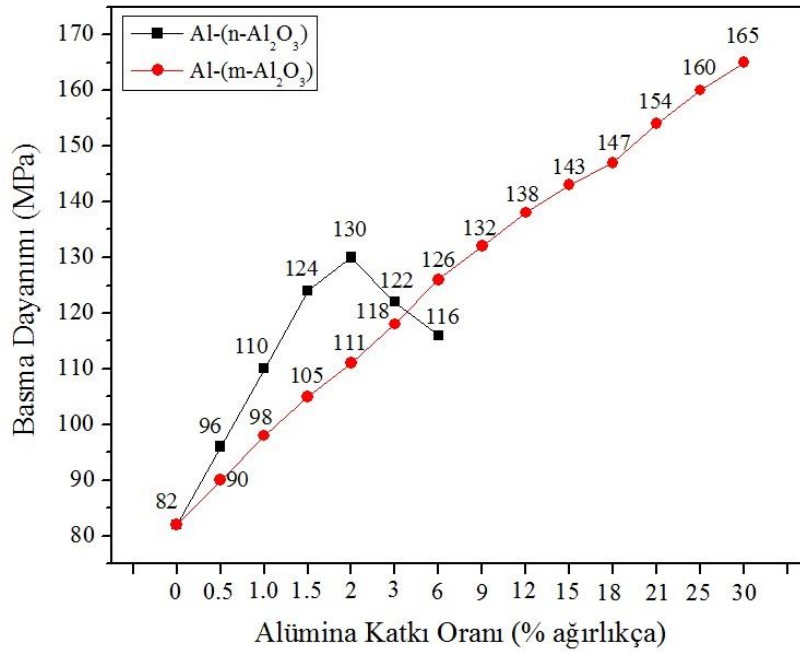


Şekil 6. Nano alümina (n-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) (a) veya mikron boyutlu alümina (m-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) (b) katkı oranıyla Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlerin Vickers sertliğindeki değişim

## Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> TANECİK BOYUTUNUN VE KATKI ORANININ ALÜMİNYUM MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ VE MİKRO YAPISI ÜZERİNE OLAN ETKİLERİ

### 3.4. Basma Test Sonuçları

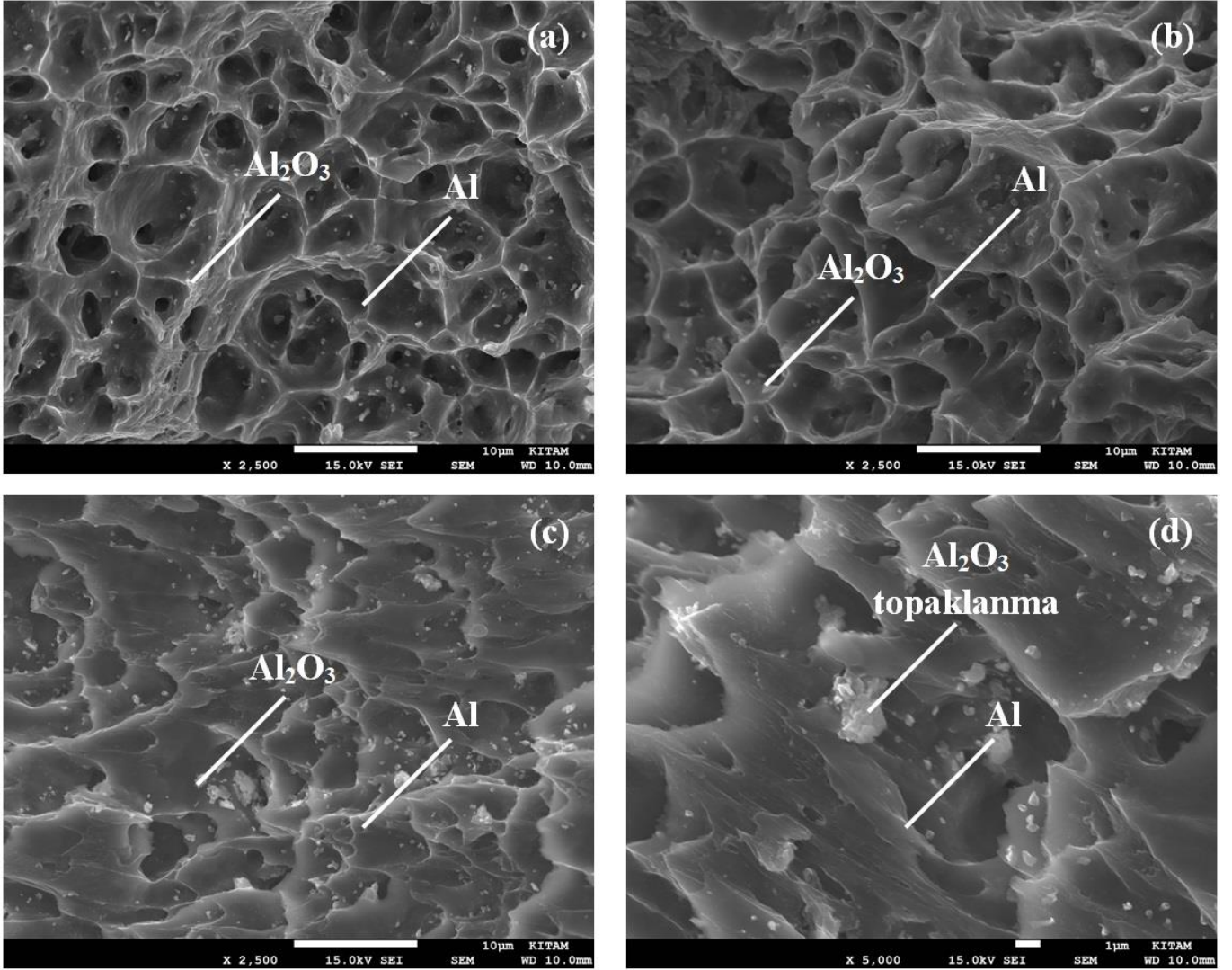
Alümina katkı oranıyla Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlerin basma dayanımındaki değişim Şekil 7’de verilmiştir. Sertlik sonuçlarına benzer olarak nano alümina (n-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) kullanılarak üretilen Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlerde, ağırlıkça %2 nano alümina katkısından sonra alümina taneciklerin toplanması sebebiyle kompozitlerin basma dayanımı düşmüştür. Mikron boyutlu alümina (m-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) kullanılarak üretilen Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitler içerisinde en yüksek basma dayanımı 165 MPa olarak Al-%30Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozit yapıda elde edilmiştir. Sonuç olarak, daha büyük tanecik boyutuna sahip alümina (m-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) kullanılarak üretilen Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlerin mekanik özelliklerinin daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Mekanik özelliklerdeki artışın/azalışın nedenlerini değerlendirmek ve mekanik özelliklerle mikro yapı arasındaki ilişkiyi ortaya koymak amacıyla Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlerin mikro yapıları incelenmiştir.



Şekil 7. Nano alümina (n-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) (a) veya mikro boyutlu alümina (m-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) (b) katkı oranıyla Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlerin basma dayanımındaki değişim

### 3.5. Üretilen Kompozitlerin Karakterizasyonu

Bu bölümde, toz metalürjisi yöntemiyle üretilen alümina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) katkılı alüminyum matrisli kompozitlerin karakterizasyonu, SEM ve XRD analizi çalışmaları ile yürütülmüştür. Nano alümina (n-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) katkılı alüminyum matrisli kompozitlerin mikro yapı görüntülerinden, mikro yapının oldukça yoğun olduğu görülmüştür (Şekil 8). Kırık yüzey mikro yapı analizinden, kırılmanın gevrek bir kırılma olduğu ve tanelerin boyun vererek iyi bir şekilde sinterlendiği tespit edilmiştir. Alüminyum matrise ağırlıkça %2.5 nano alümina (n-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) katkısıyla, alümina taneciklerin toplanması görülmüş olup bu toplanma oluşumunun kompozitin mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilediği sonucuna varılmıştır.



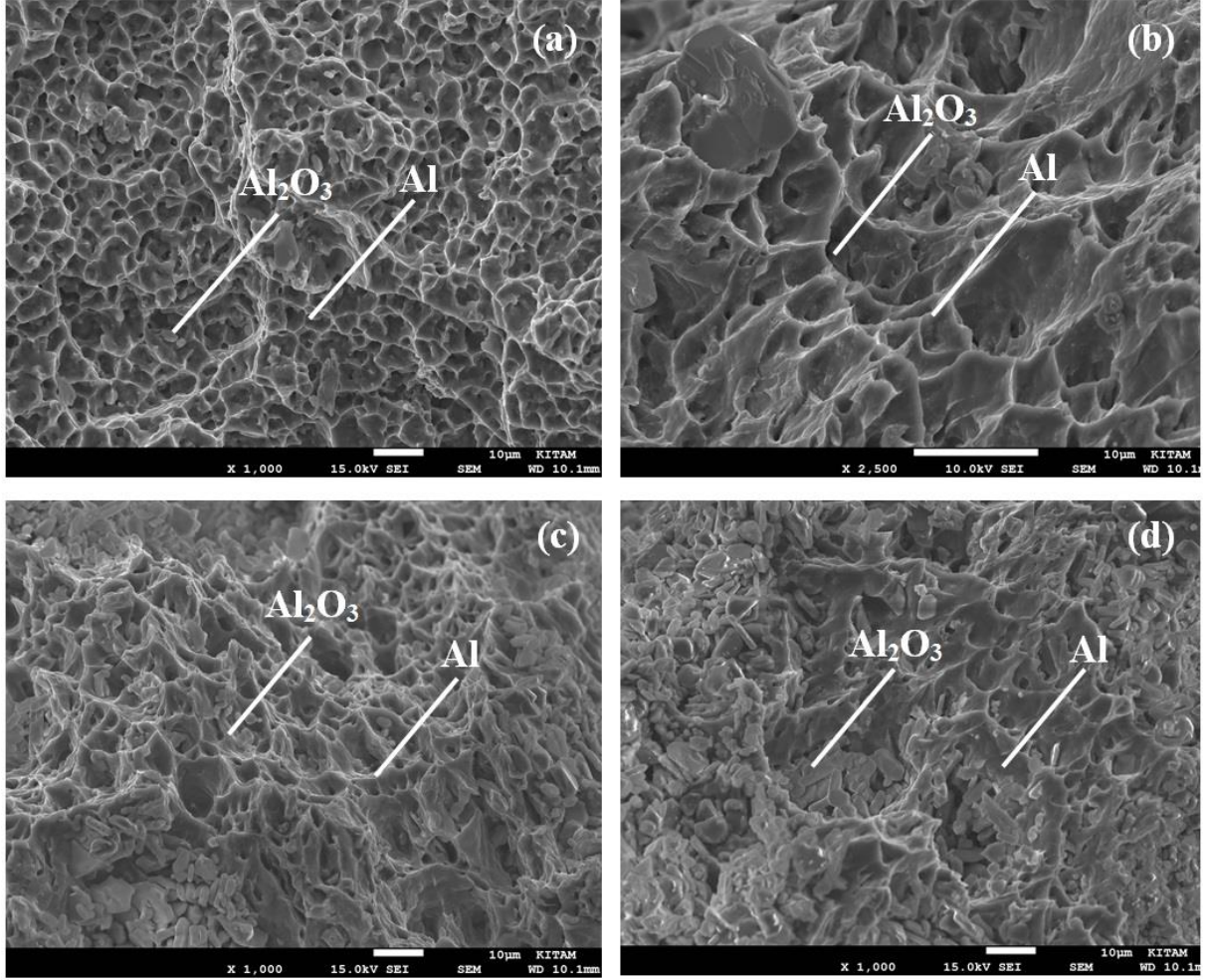
**Şekil 8.** Ağırlıkça %0.5 (a), 1 (b), 2 (c) ve 2.5 (d) nano alümina katkılı alüminyum matrisli kompozitlere ait kırık yüzey taramalı elektron mikroskobu görüntüleri

Toz metalürjisi yöntemiyle üretilen mikron boyutlu alümina ( $m\text{-Al}_2\text{O}_3$ ) katkılı alüminyum matrisli kompozitlerin kırık yüzey mikro yapı görüntüleri Şekil 9'da verilmiştir. SEM görüntülerinden, mikro yapının oldukça yoğun olduğu ve alüminyum taneciklerin iyi bir şekilde boyun vererek sinterlendiği görülmüştür. Mikro yapı incelemelerinden, alümina ( $m\text{-Al}_2\text{O}_3$ ) taneciklerin ara yüzeyde yer alarak homojene yakın bir şekilde dağıldığı tespit edilmiştir. Bu durum,  $\text{Al}\text{-}(m\text{-Al}_2\text{O}_3)$  kompozitlerin mekanik özelliklerini iyileştirmiştir.

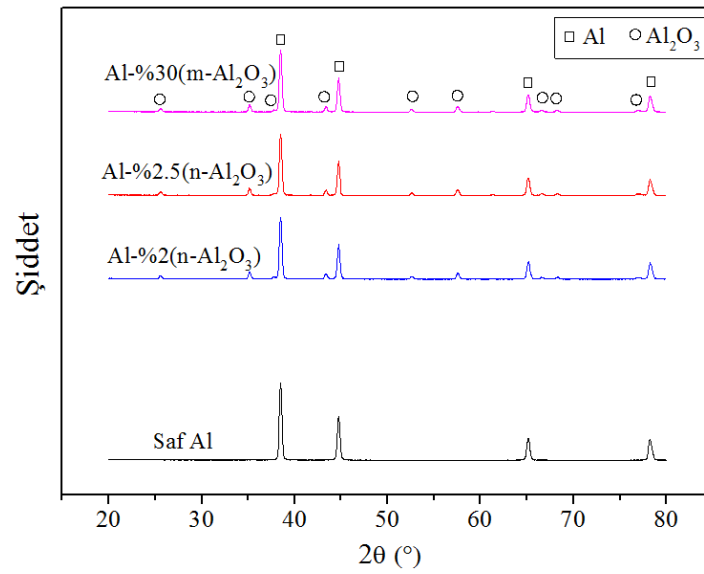
Saf alüminyum (Al) ve alümina ( $n\text{-Al}_2\text{O}_3$ ,  $m\text{-Al}_2\text{O}_3$ ) katkılı alüminyum matrisli kompozitlere ait XRD faz analizleri Şekil 10'da verilmiştir. Sinterleme sonrası alümina ( $n\text{-Al}_2\text{O}_3$ ,  $m\text{-Al}_2\text{O}_3$ ) katkılı alüminyum matrisli kompozitlerde oluşan fazlar incelendiğinde, herhangi bir ikincil faz oluşumuna rastlanmamıştır. Sonuç olarak,  $\text{Al}\text{-Al}_2\text{O}_3$  kompozit yapıdaki tüm fazların alüminyuma ( $2\theta \sim 38^\circ, 45^\circ, 65^\circ, 78^\circ$ ) ve alüminaya ( $2\theta \sim 25^\circ, 35^\circ, 38^\circ, 43^\circ, 53^\circ, 58^\circ, 61^\circ, 67^\circ, 68^\circ, 77^\circ$ ) ait olduğu tespit edilmiştir.



*Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> TANECİK BOYUTUNUN VE KATKI ORANININ ALÜMİNYUM MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ VE MİKRO YAPISI ÜZERİNE OLAN ETKİLERİ*



Şekil 9. Ağırlıkça %1 (a), 9 (b), 15 (c), 30 (d) alümina (m-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) katkıli alüminyum matrisli kompozitlere ait kırık yüzey taramalı elektron mikroskobu görüntüleri



Şekil 10. Üretilen saf alüminyum ve Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlere ait XRD faz analizi

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, farklı alümina katkı oranlarına (ağırlıkça %0-30) ve tanecik boyutuna (n-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, m-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) sahip Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitler toz metalürjisi yöntemiyle üretilmiştir. Alümina katkı oranının ve tanecik boyutunun Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlerin yoğunluğuna, Vickers sertliğine, basma dayanımına ve mikro yapısına olan etkileri incelenmiş olup elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Mikron boyutlu alümina (m-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) kullanılarak üretilen Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitler arasında en yüksek deneysel yoğunluk (2.7 g/cm<sup>3</sup>), Vickers sertliği 51.5 HV ve basma dayanımı 165 MPa olarak Al-%30(m-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) kompozit yapıda elde edilmiştir. Nano alümina (n-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) kullanılarak üretilen Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitler arasında en iyi mekanik özelliklere Al-%2(n-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) kompozit yapıda ulaşılmıştır.
- Nano alümina (n-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) taneciklerin, ağırlıkça %2 katkı oranından sonra topaklanma eğilimine girdiği ve topaklanma etkisiyle Al-(n-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) kompozitlerin mekanik özelliklerinin kötüleştiği tespit edilmiştir. Mikro yapı incelemelerinden, alüminyum matrisle ağırlıkça %2.5 nano alümina katkısı yapıldığında alümina taneciklerin topaklandığı görülmüştür.
- Kırık yüzey mikro yapı incelemelerinden, mikro yapının oldukça yoğun olduğu ve sinterlemenin etkisiyle alüminyum taneciklerin iyi bir şekilde sinterlendiği görülmüştür. XRD faz analizinden, sinterleme sonrası oluşan tüm fazların alüminyum ve alüminyaya ait olduğu belirlenmiş olup sinterlemenin etkisiyle herhangi bir ikincil faz oluşumu tespit edilememiştir.
- Mikro yapı incelemelerinden, mikron boyutlu alümina (m-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) katkılı alüminyum matrisli kompozit yapıda, alümina taneciklerin homojene yakın bir şekilde dağıldığı belirlenmiştir. Bu homojen dağılım, toz metalürjisi yöntemiyle üretilen Al-(m-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) kompozitlerin yoğunluğunun, sertliğinin ve basma dayanımının Al-(n-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) kompozitlere oranla daha yüksek olmasını sağlamıştır.

#### TEŞEKKÜR

Bu makale için sunulan imkânlardan dolayı Ondokuz Mayıs Üniversitesi (OMÜ) Rektörlüğü'ne, Karadeniz İleri Teknoloji Araştırma Merkezi (KİTAM)'a, Makina Mühendisliği, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölüm Başkanlığı'na teşekkür ederim.

#### KAYNAKLAR

- [1] A. Kalemtaş, "Metal matrisli kompozitlere genel bir bakış", *Putech & Composites*, vol. 22, pp.18-30, 2014.
- [2] M. C. Şenel, M. Gürbüz, E. Koç, "Grafen takviyeli alüminyum matrisli yeni nesil kompozitler", *Mühendis ve Makine Dergisi*, vol. 56, no. 669, pp. 36-47, 2015.
- [3] Y. Şahin, *Kompozit Malzemelere Giriş*, Ankara: Seçkin Yayınevi, 2006.
- [4] B. Öztop, M. Gürbüz, "Investigation of properties of composites produced from waste aluminum with Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> reinforcement", *Technological Applied Sciences*, vol. 13, no. 1, pp. 57-66, 2018.
- [5] J. M. Torralba, C. E. Costa, F. Velasco, "P/M aluminum matrix composites: an overview", *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 133, no. 1, 203-206, 2003.
- [6] J. W. Kaczmar, K. Pietrzak, W. Wlonsinski, "The production and application of metal matrix composite materials", *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 106, pp. 58-67, 2000.
- [7] N. Srivastava, G. P. Chaudhari, "Microstructural evolution and mechanical behavior of ultrasonically synthesized al6061-nano alumina composites", *Materials Science & Engineering A*, vol. 724, pp. 199-207, 2018.
- [8] M. Kok, "Production and mechanical properties of al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particle-reinforced 2024 aluminium alloy composites", *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 161, pp. 381-387, 2005.
- [9] H. R. Ezatpour, M. Torabi Parizi, S. A. Sajjadi, G. R. Ebrahimi, A. Chaichi, "Microstructure, mechanical analysis and optimal selection of 7075 aluminum alloy based composite reinforced with alumina nanoparticles", *Materials Chemistry and Physics*, vol. 178, pp. 119-127, 2016.
- [10] C. Chen, Z. Ding, Q. Tan, H. QI, Y. He, "Preperation of nano  $\alpha$ -alumina powder and wear resistance of nanoparticles reinforced composite coating", *Powder Technology*, vol. 257, pp. 83-87, 2014.
- [11] S.A. Sajjadi, H. R. Ezatpour, H. Beygi, "Microstructure and mechanical properties of Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> micro and nano composites fabricated by stir casting", *Materials Science and Engineering A*, vol. 528, pp. 8765- 8771, 2011.

*Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> TANECİK BOYUTUNUN VE KATKI ORANININ ALÜMİNYUM MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ VE MİKRO YAPISI ÜZERİNE OLAN ETKİLERİ*

- [12] M. C. Şenel, M. Gürbüz, E. Koç, “The effect of sintering temperature, time and graphene addition on the mechanical properties and microstructure of aluminum composites”, *Journal of Composite Materials*, vol. 52, no. 4, pp. 553-563, 2018.
- [13] G. E. Dieter, *Mechanical Metallurgy*, New York: McGraw-Hill Press, 1976.
- [14] M. C. Şenel, M. Gürbüz, E. Koç, “Fabrication and characterization of SiC and Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> aluminum matrix composites”, *Universal Journal of Materials Science*, 5, 4, 95-101, 2017.
- [15] M. C. Şenel, M. Gürbüz, E. Koç, “The fabrication and characterization of synergistic Al-SiC-GNPs hybrid composites”, *Composites Part B-Engineering*, vol. 154, pp. 1-9, 2018.

