

# Mikron Altı Boyutlu Alümina Katkısının ve Soğuk Deformasyon İşleminin Üretilen Alüminyum Kompozit Yapının Mekanik Özellikleri ve Mikroyapısına Etkisi

*Effect of Submicron-Sized Alumina Addition and Cold Working Process on Mechanical Properties and Microstructure of Aluminum Based Composite Structure*

**Mahmut Can ŞENEL<sup>\*a</sup>, Mevlüt GÜRBÜZ<sup>b</sup>**

*Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, 55210, Samsun*

• Geliş tarihi / Received: 18.02.2019 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 17.09.2019 • Kabul tarihi / Accepted: 11.10.2019

## Öz

Bu çalışma kapsamında, toz metalurjisi yöntemiyle ağırlıkça farklı alümina ( $Al_2O_3$ ) katkı oranlarında (ağırlıkça %0, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5) mikron altı boyutlu alümina takviyeli alüminyum matrisli kompozitler üretilmiştir. Üretilen kompozit malzemelere uygulanan mekanik testler sonucunda, en iyi mekanik özellikler Al-%2 $Al_2O_3$  kompozit yapıda ulaşılmıştır. Üretilen Al-%2 $Al_2O_3$  kompozitlerin mekanik özelliklerini artırmak amacıyla farklı soğuk şekil değişim oranlarında soğuk işlem uygulanmıştır. Soğuk işlemin Al-%2 $Al_2O_3$  kompozitlerin gözenekliliğine, yoğunluğuna, sertliğine, çekme dayanımına ve mikroyapısına olan etkisi incelenmiştir. Malzemelerin kristal yapısı ve mikroyapısı sırasıyla, X-ışını kırınımı (XRD) cihazı ve taramalı elektron mikroskopuyla (SEM) analiz edilmiştir. Test sonuçlarına göre; %11.8 soğuk şekil değişim oranına kadar Al-%2 $Al_2O_3$  kompozitin mekanik özelliklerinin iyileştiği tespit edilmiştir. Al-%2 $Al_2O_3$  kompozit yapıda %11.8 soğuk şekil değişimi için, Vickers sertliğinin 43HV'den 68 HV'ye (%53 oranında), çekme dayanımının ise 71 MPa'dan 92 MPa'a kadar arttığı (%30 oranında) tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Alüminyum, Alümina, Mekanik Özellik, Soğuk İşlem, Toz Metalurjisi

## Abstract

*In this study, submicron-sized alumina reinforced aluminum matrix composites with various alumina ( $Al_2O_3$ ) content (0, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5wt.%) were fabricated by the powder metallurgy method. As a result of the mechanical tests performed to the composite materials, the best mechanical properties were obtained at the Al-2% $Al_2O_3$  composite structure. Cold working at the different cold work strain ratios was performed to increase the mechanical properties of Al-2% $Al_2O_3$  composites. The effect of cold working on the porosity, apparent density, tensile strength, and Vickers hardness of Al-2% $Al_2O_3$  composites was investigated. The microstructure and crystal structure of materials were analyzed with X-ray diffraction (XRD) device and scanning electron microscopy (SEM), respectively. According to the test results, the mechanical properties of Al-2% $Al_2O_3$  composite were enhanced up to 11.8% cold working rate. It was determined that the Vickers hardness increased from 43 HV to 68 HV (+53%) and the compressive strength improved from 71 MPa to 92 MPa (+30%) for 11.8% cold working rate in Al-2% $Al_2O_3$  composite structure.*

**Keywords:** Aluminum, Alumina, Mechanical Property, Cold Working, Powder Metallurgy

<sup>\*a</sup> Mahmut Can ŞENEL; mahmutcan.senel@omu.edu.tr, Tel: (0362) 312 19 19/1315, orcid.org/0000-0001-7897-1366

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0003-2365-5918

## 1. Giriş

Kompozit malzemeler, iki veya daha fazla malzemenin üstün özelliklerini tek bir malzemede toplamak amacıyla geliştirilen yeni bir malzeme grubudur. Kompozit malzemeler; metal, seramik ve polimer matrisli kompozitler şeklinde sınıflandırılmaktadır (Şenel vd. 2015; Şahin, 2006). Metal matrisli kompozitlerde, matris malzeme olarak metal (alüminyum, magnezyum, titanyum, bakır vb.) veya metal alaşımı kullanılmaktadır. Takviye elemanı olarak da genellikle metal oksit ( $ZrO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$  vb.), metal nitrid ( $BN$ ,  $Si_3N_4$ ,  $TiN$ , vb.) ve metal karbür ( $WC$ ,  $SiC$ ,  $B_4C$ , vb.) gibi seramik esaslı malzemeler kullanılmaktadır (Öztop ve Gürbüz, 2018).

Matris malzeme olarak kullanılan alüminyumun ( $Al$ ), sahip olduğu üstün özellikler (kolay işlenebilirlik, hafiflik ve iyi elektriksel iletkenlik vb.) sayesinde günümüzde havacılık, otomotiv, uzay ve elektronik sektörlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Martinez vd., 2017). Alüminyum birtakım önemli fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip bir element olup alüminyumun atom ağırlığı  $26.98 \text{ g/mol}$  ve atom numarası 13'dür. Alüminyum oda sıcaklığında  $2.7 \text{ g/cm}^3$  yoğunluğa sahip olup alüminyumun ısı iletkenliği  $237 \text{ W/(m}^\circ\text{K)}$ , sertliği 30 HV ve ergime sıcaklığı  $660 \text{ }^\circ\text{C}$ 'dir (Şenel vd., 2017).

Takviye elemanı olarak kullanılan alüminanın ( $Al_2O_3$ ) sahip olduğu yüksek sertlik, yüksek basma dayanımı ve refrakterlik özelliği sebebiyle kesici takımlarda, pompa parçalarında, motor parçalarında, türbin yataklarında, sızdırmazlık elemanlarında ve bujilerde sıklıkla kullanılmaktadır. Alüminanın teorik yoğunluğu  $3.98 \text{ g/cm}^3$ , sertliği 200 HV ve ergime sıcaklığı  $2050 \text{ }^\circ\text{C}$ 'dir (Srivastava ve Chaudhari, 2018; Kok, 2005).

Metal matrisli kompozitler; çoğunlukla toz metalurjisi, sıcak haddeleme veya sıkıştırma döküm yöntemiyle üretilmektedir. Diğer üretim yöntemleri arasında toz metalurjisi yöntemi, son şekle yakın, homojen, gözenekli ve karmaşık parça üretimi gibi avantajlara sahiptir. Bu sebeple, bu çalışmada toz metalurjisi yöntemiyle  $Al-Al_2O_3$  kompozitlerin üretimi amaçlanmıştır (Torralba vd., 2003; Kaczmar vd., 2000).

Alüminyumun ( $Al$ ) mekanik özelliklerinin artırılması;  $Al_2O_3$ ,  $B_4C$ ,  $SiC$ ,  $Si_3N_4$  gibi seramik malzeme katkısıyla, sıcak/soğuk işleme veya mekanik alaşımlama yöntemi gibi proseslerle

gerçekleştirilmektedir (Sharma vd., 2015; Bastwros vd., 2014; Lianggang vd., 2015; Burlat vd., 2015). Bu işlemler sonucunda; sertlik, çekme-akma dayanımı ve tokluk gibi mekanik özellikler artmaktadır. Soğuk işlem, mekanik özellikleri iyileştirme işlemlerinden biridir. Soğuk işlem; deformasyon sertleşmesi, pekleşme ve soğuk şekillendirme şeklinde de ifade edilebilmektedir. Metallerin büyük çoğunluğunun mekanik dayanımı, oda sıcaklığında gerçekleşen deformasyonun etkisiyle artmaktadır. Soğuk şekil değişimi sonrasında oluşan plastik deformasyon seviyesini belirlemek amacıyla yüzde soğuk şekil değişimi (%SSD) ifadesi kullanılmaktadır (Ashtiani ve Karami, 2015; Callister ve Rethwicsch, 2014).

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde; alümina katkılı alüminyum matrisli kompozitlerin mikroyapısı ve mekanik özelliklerinin araştırılması üzerine çeşitli çalışmalar mevcuttur (Srivasta ve Chaudhari, 2018; Kok, 2005; Ezatpour vd., 2016; Sajjadi vd., 2011; Rahimian vd., 2011). Yürütülen bir çalışmada (Srivasta ve Chaudhari, 2018), ağırlıkça %1, 2, 3 nano alümina takviyeli  $Al6061$  kompozitlerin mekanik özellikleri ve mikroyapısı incelenmiştir. En iyi mekanik özellikler  $Al6061$ -% $2Al_2O_3$  kompozit yapıda elde edilmiş olup akma dayanımı +%81 ve Vickers sertliği +%76 oranında iyileşmiştir. Ağırlıkça %2 nano  $Al_2O_3$  katkısından sonra mikro çatlakların oluşumu sebebiyle mekanik özelliklerin kötüleştiği tespit edilmiştir. Bir diğer çalışmada (Ezatpour vd., 2016), ağırlıkça %0.4, 0.8, 1.2 katkılı nano alümina katkılı  $Al7075$  matrisli kompozitlerin mikroyapısı ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. En iyi mekanik özellikler, %0.4 $Al_2O_3$  katkılı alüminyum matrisli kompozit yapıda elde edilmiştir. Bu katkı oranından sonra, nano alümina taneciklerin toplanması sebebiyle üretilen kompozitlerin mekanik özelliklerinin kötüleştiği tespit edilmiştir. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde; mikron altı boyutlu alümina ( $Al_2O_3$ ) katkı oranının ve %soğuk şekil değişiminin  $Al-Al_2O_3$  kompozitlerin mekanik özelliklerine ve mikroyapısına olan etkisinin incelenmesine yönelik herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Bu çalışmada, ağırlıkça farklı katkı oranlarında (ağırlıkça %0, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5) mikron altı boyutlu alümina takviyeli alüminyum matrisli kompozitler toz metalurjisi yöntemiyle üretilmiştir. Yürütülen test çalışmalarında, en yüksek Vickers sertliğine ve deneysel yoğunluğa sahip en uygun alümina katkı oranı belirlenmiştir. Bu katkı oranı ve kompozit yapı esas alınarak

%soğuk şekil değişiminin (%SŞD) kompozitin deneysel yoğunluğuna, Vickers sertliğine, çekme dayanımına ve mikroyapısına olan etkisi analiz edilmiştir.

## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1. Materyal

Bu çalışmada, Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozit malzeme üretiminde ana malzeme olarak Al tozu, takviye elemanı olarak ise mikron altı boyutlu Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tozu kullanılmıştır. Alüminyum tozu Alfa Aesar firmasından, alümina tozu ise Panadyne Inc. firmasından temin edilmiştir. Ticari olarak temin edilen alüminyum ve alümina tozlarının genel özellikleri Tablo 1'de verilmiştir (Şahin, 2014; Kurşun, 2011).

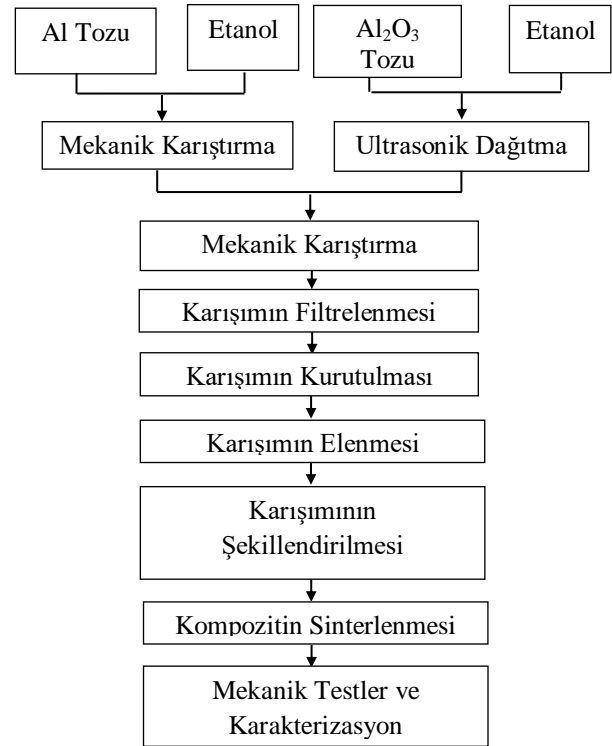
**Tablo 1.** Alüminyum ve alümina tozlarının genel özellikleri (Şahin, 2014; Kurşun, 2011).

Malzeme	Safılık Derecesi (%)	Tanecik boyut aralığı (µm)	Teorik yoğunluğu (g/cm <sup>3</sup> )
Alüminyum	99	8-15	2.7
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	98	0.3-0.6	3.97

### 2.2. Yöntem

Bu çalışmada, toz metalurjisi yöntemiyle mikron altı boyutlu alümina katkı alüminyum matrisli kompozitler üretilmiştir (Şekil 1). Öncelikle, alümina tozu etanol içerisinde ultrasonik dağıtıcıyla dağıtılır. Aynı süreçte, saf Al tozu etanol içerisinde mekanik karıştırıcıyla karıştırılır. Daha sonra, alüminyum çözeltisi azar azar alümina çözeltisine eklenerek karıştırılır. Karıştırma sonrası, karışımdan etanolü uzaklaştırmak için karışım filtrelenir ve 45°C sıcaklıkta vakum altında bir gece boyunca kurutulur. Kurutulmuş karışım, tek eksenli presle 600 MPa'lık bir basınçta sıkıştırılır. Şekillendirilen numuneler 630 °C sıcaklıkta ve 3 saat süresince sinterlenir. Soğuk şekil değişiminin kompozitin mekanik özelliklerine olan etkisini incelemek amacıyla kompozitler farklı basma gerilmeleri (50-100-150-200-250 MPa) altında preslenerek farklı %soğuk şekil değişimleri (%SŞD) elde edilmiştir. SŞD öncesi ve sonrası kompozit malzemelerin gözeneklilik oranı, deneysel yoğunluğu ve Vickers sertliği ölçülmüştür. Kompozitlerin yoğunluğu ve gözeneklilik oranı Arşimet yoğunluk ölçüm cihazıyla, Vickers sertliği HV1000B mikro Vickers sertlik ölçüm cihazıyla tespit edilmiştir.

Vickers sertliği, 200 g yük altında ve numune yüzeyindeki en az beş (5) farklı noktadan ölçülen sertlik değerinin ortalaması alınarak belirlenmiştir. Kompozitlerin çekme dayanımı, universal test makinasıyla (Mares Test-10 ton) belirlenmiştir. Toz metalurjisi yöntemiyle üretilen kompozitlerin mikroyapıları optik mikroskopla (SOIF BK300T) ve taramalı elektron mikroskopuyla (SEM, Jeol JSM-7001F), kristal yapıları ise X-ışını kırınımı (XRD, Rigaku Smartlab) cihazıyla incelenmiştir (Gürbüz vd., 2018a; Şenel, 2018).

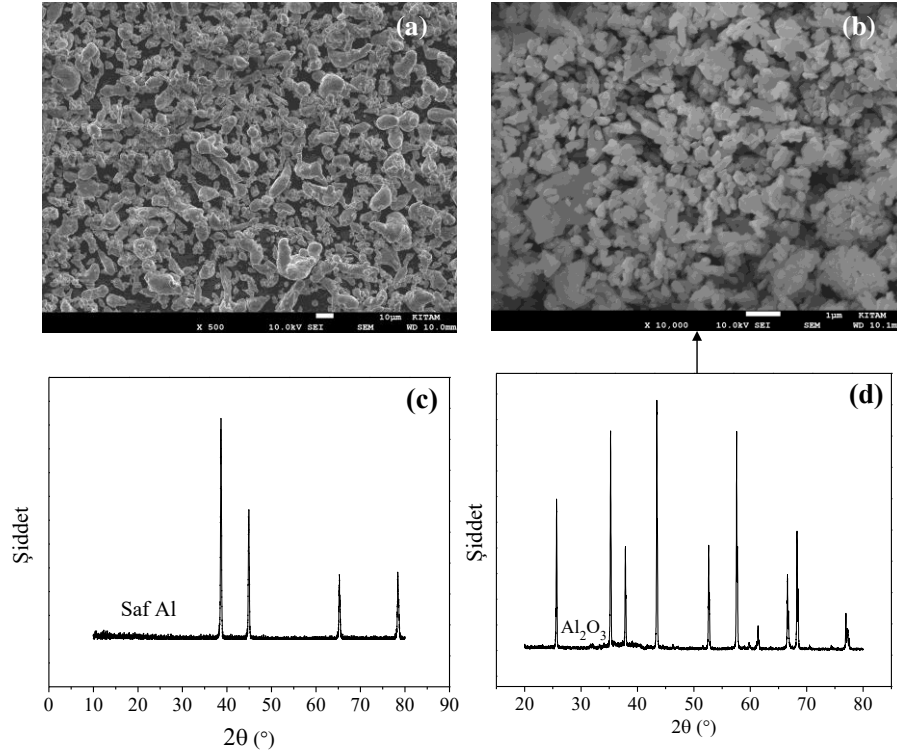


**Şekil 1.** Alümina katkı alüminyum matrisli kompozitlerin üretim şeması (Şenel, 2018).

## 3. Bulgular ve Tartışma

### 3.1. Tozların Karakterizasyonu

Tozların taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri ve X-ışını kırınımı (XRD) faz analizleri Şekil 2'de verilmiştir. SEM görüntülerinden; alüminyum (Al) ve alümina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) tozlarının süngerimsi ve düzensiz bir morfolojide olduğu, ortalama Al ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tanecik boyutunun sırasıyla 10 µm ve 0.5 µm olduğu görülmüştür (Şekil 2a ve 2b). Alümina ve saf alüminyum tozlarına ait X-ışını kırınım açılarının sırasıyla; 2θ=25°, 35°, 38°, 43°, 53°, 58°, 61°, 67°, 68°, 77° ve 2θ=38°, 45°, 65°, 78° olduğu belirlenmiştir (Şekil 2c ve 2d).



Şekil 2. Tozlara ait SEM görüntüleri ve XRD faz analizleri: (a, c) saf alüminyum ve (b, d) alümina.

### 3.2 Soğuk Şekil Değişimi Öncesi Kompozitlerin Mekanik Özellikleri

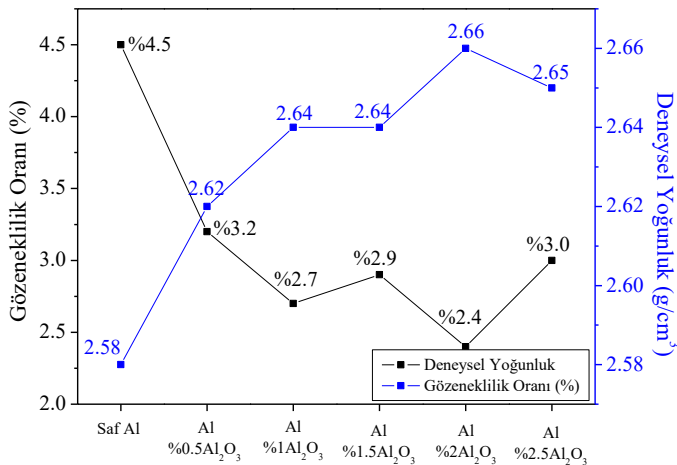
Bu bölümde, soğuk şekil değişimi öncesi Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlerin mekanik özellikleri belirlenmiştir. Kompozitlerin deneysel yoğunluğu ( $\rho$ ) ve %gözeneklilik oranı (%P) Arşimet yöntemiyle tespit edilmiş olup Eşitlik (1) ve (2)'de verilmiştir (German, 2007).

$$\rho = \left[ \frac{m_K}{m_D - m_A} \right] \times \rho_{su} \quad (1)$$

$$\%P = \frac{m_D - m_K}{m_D - m_A} \times 100 \quad (2)$$

Burada,  $\rho_{su}$  suyun yoğunluğu (1 g/cm<sup>3</sup>),  $m_K$  kompozitlerin kuru ağırlığı,  $m_D$  doymuş ağırlığı ve  $m_A$  ise askı ağırlığıdır.

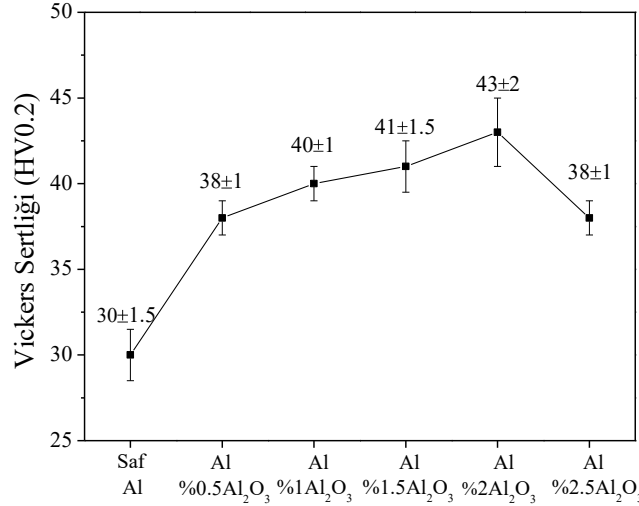
Alümina katkı oranıyla Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlerin deneysel yoğunluğundaki ve gözeneklilik oranındaki değişim Şekil 3'de verilmiştir. En düşük gözeneklilik oranı (%2.4) ve maksimum deneysel yoğunluk (2.66 g/cm<sup>3</sup>) Al-%2Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozit yapıda elde edilmiştir. Ağırlıkça %2 alümina katkısından sonra alüminyum kompozitin deneysel yoğunluğu azalmış, gözeneklilik oranı artmıştır. Bu durumun, kompozit yapıdaki mikron altı boyutlu alümina taneciklerin topaklanmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 3. Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozit yapıda alümina katkı oranıyla deneysel yoğunluk ve gözeneklilik oranındaki değişim.

Alümina katkı oranıyla Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlerin Vickers sertliğindeki değişim Şekil 4’de verilmiştir. Saf alüminyumun Vickers sertliği 30±1.5 HV iken; Al-%2Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitinki 43±2 HV’ye yükselmiştir. Ağırlıkça %2 alümina katkısından sonra alümina partiküllerin

topaklanması sebebiyle kompozitin Vickers sertliği düşmüştür. Bu sebeple, Al-%2Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozit yapı esas alınarak farklı şekil değişimi oranlarında soğuk deformasyon işlemi uygulanmıştır.



Şekil 4. Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozit yapıda alümina katkı oranıyla Vickers sertliğindeki değişim.

### 3.3. Soğuk Şekil Değişimi Sonrası Kompozitlerin Mekanik Özellikleri

Soğuk şekil değişiminin kompozitin mekanik özelliklerine olan etkisini tespit etmek amacıyla numuneler farklı basma gerilmelerine (0-250 MPa arası) maruz bırakılmıştır. Yüzde soğuk şekil değişimi (%SŞD) ifadesi, Eşitlik (3)’de verilmiştir (Callister ve Rethwicsch, 2014; Gürbüz, 2018b).

$$\%S\text{ŞD} = \frac{(A_0 - A_d)}{A_0} \times 100 \quad (3)$$

Bu eşitlikte, A<sub>d</sub> deformasyon sonrası kesit alanını ve A<sub>0</sub> ise deformasyon öncesi kesit alanını ifade etmektedir. Uygulanan basma gerilmelerine karşılık yüzde şekil değişiminin (%SŞD) %1.9’dan %23.5’e kadar arttığı belirlenmiştir (Tablo 2).

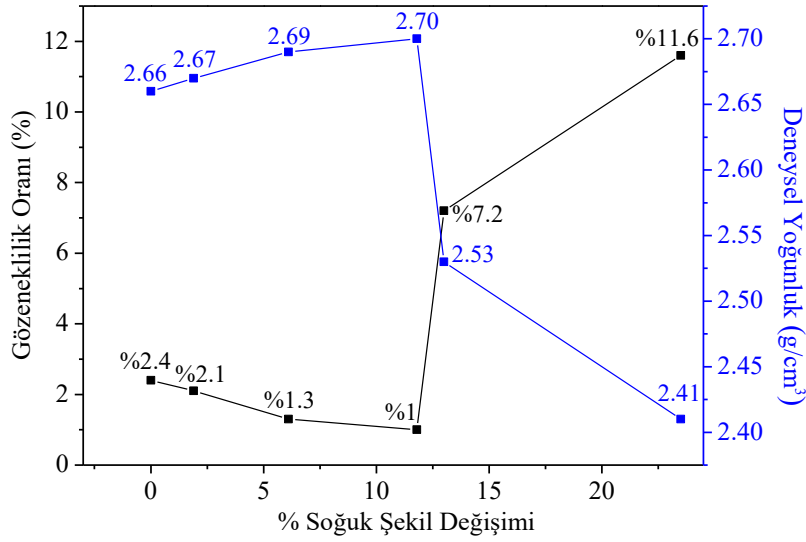
Tablo 2. Uygulanan basma gerilmesine karşılık %SŞD miktarı.

Basma Gerilmesi (MPa)	SŞD (%)
50	1.9
100	6.1
150	11.8
200	13
250	23.5

Soğuk işlemin etkisiyle Al-%2Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlerin gözeneklilik oranı ve deneysel yoğunluğundaki değişim Şekil 5’de verilmiştir.

Şekilden %11.8 SŞD’ye kadar kompozitin gözeneklilik oranının azaldığı, deneysel yoğunluğun ise arttığı görülmüştür. Bu orandan sonra ise aşırı plastik deformasyon oluşumu sebebiyle yoğunluk değerinde düşüş, gözeneklilik oranında ise artış tespit edilmiştir. Soğuk deformasyon öncesi deneysel yoğunluk ve gözeneklilik oranı 2.66 g/cm<sup>3</sup> ve %2.4 iken; %11.8 SŞD oranında bu değerler 2.7 g/cm<sup>3</sup> ve %1’dir. Deneysel yoğunluktaki artışın, artan soğuk şekil değişimi etkisiyle içyapıdaki gözeneklerin kapanmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Gökmeşe ve Bostan, 2013).

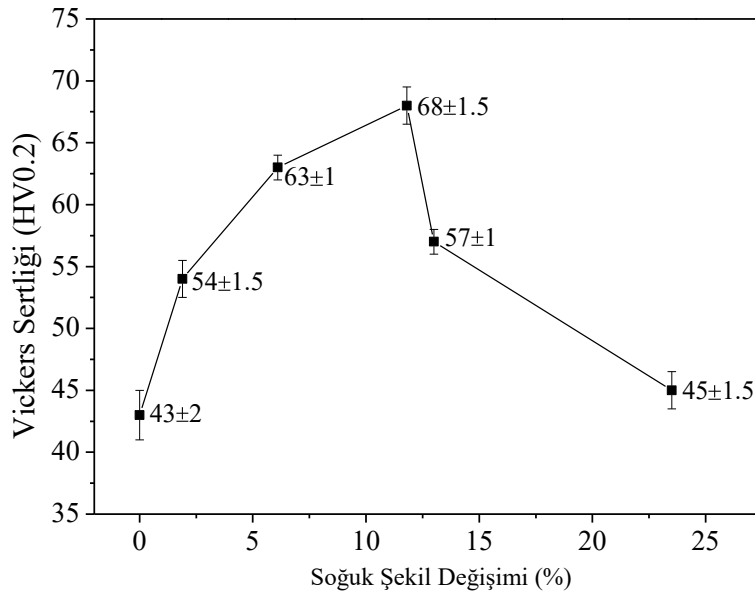
Üretilen Al-%2Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlerin yüzde soğuk şekil değişimiyle Vickers sertliğindeki değişim Şekil 6’da verilmiştir. Soğuk işlem öncesi üretilen Al-%2Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitin Vickers sertliği 43±2 HV iken; %11.8 soğuk şekil değişim oranında Vickers sertlik değeri 68±1.5 HV’ye (+%53 oranında) yükselmiştir. Daha fazla soğuk şekil değişiminde ise kompozit malzemenin yan yüzeylerinde şişme oluşmuş olup basma gerilmesinin artmasıyla malzeme yüzeyinde ve içyapıda çatlaklar meydana gelmiştir. Bu çatlaklar ise gözenek gibi davrandığından deneysel yoğunluğun ve Vickers sertliğinin düşmesine sebep olmuştur. Bu yüzden çekme testi, en yüksek Vickers sertlik değerinin elde edildiği %11.8 SŞD’ye maruz kalan Al-%2Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozit yapıya uygulanmıştır.



**Şekil 5.** Al-%2Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozit yapıda %soğuk şekil değişimiyle (%SŞD) deneysel yoğunluk ve gözeneklilik oranı değişimi.

Çok kristalli bir metal veya metal alaşımı, soğuk şekil değişimine uğradığında basma durumunda taneler basmaya dik yönde, çekme durumunda ise çekme yönünde uzama göstermektedir. Soğuk

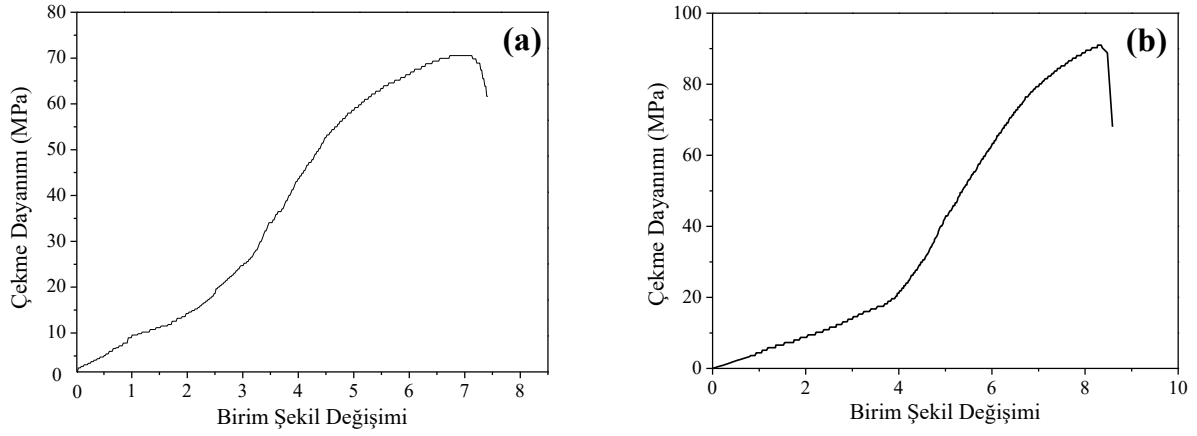
şekil değişimi sonrası oluşan pekleşme ve yoğunluk artışı sebebiyle kompozitin Vickers sertliği artmıştır (Çapan, 2003; Mansourinejad ve Mirzakhani, 2012; Hou vd., 2015).



**Şekil 6.** Al-%2Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozit yapıda % soğuk şekil değişimiyle (%SŞD) Vickers sertliğindeki değişim.

Al-%2Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlerin soğuk deformasyon öncesi ve sonrası çekme test sonuçları Şekil 7'de verilmiştir. Kompozitin çekme dayanımı soğuk deformasyon işlemi öncesi (%0 SŞD) 71 MPa iken; soğuk deformasyon işlemi (%11.8 SŞD) sonrası 92 MPa'a yükselmiştir. Özellikle sünek davranış gösteren metaller, soğuk deformasyon sonrası pekleşme etkisiyle daha yüksek sertliğe ve

çekme dayanımına sahip olmaktadır. Bu durum, plastik deformasyon sebebiyle dislokasyon yoğunluğunun artmasından kaynaklanmaktadır. Artan deformasyon etkisiyle dislokasyonlar arası mesafe azalarak dislokasyon hareketi engellenmektedir. Böylece malzemenin mekanik özellikleri iyileşmektedir (Mansourinejad ve Mirzakhani, 2012; Hou vd., 2015).

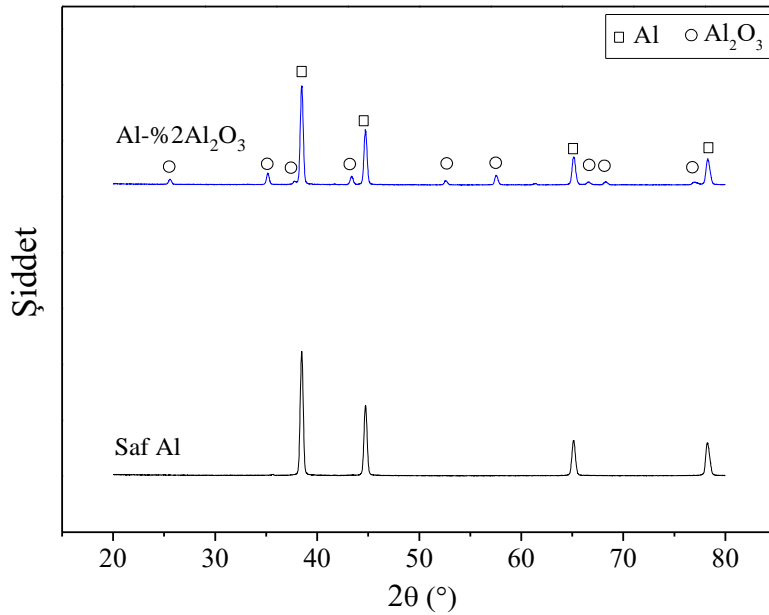


**Şekil 7.** Al-%2Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozit yapıda %soğuk şekil değişimiyle (%SŞD) çekme dayanımındaki değişim: (a) %0 SŞD ve (b) %11.8 SŞD.

### 3.4. Alümina Katkısının ve Soğuk Şekil Değişiminin Kompozitlerin Mikroyapısına Etkisi

Toz metalurjisi yöntemiyle üretilen saf alüminyum ve Al-%2Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlere ait X-ışını kırınımı (XRD) örgü desenleri Şekil 8'de verilmiştir. Şekilde saf Al'ye ait kırınım eğrisi incelendiğinde, en güçlü kırınım pikleri  $2\theta = 38$ ,

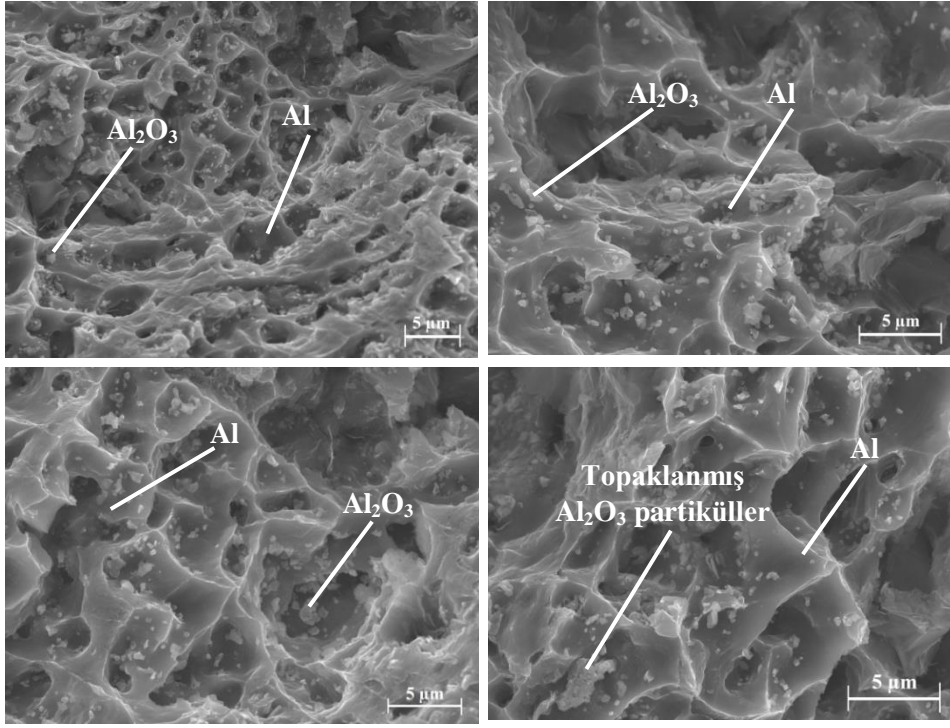
45, 65 ve 78°'de elde edilmiştir. Al-%2Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozite ait kırınım eğrisinde ise kırınım açılarının sırasıyla;  $2\theta \sim 25^\circ, 35^\circ, 38^\circ, 43^\circ, 53^\circ, 58^\circ, 61^\circ, 67^\circ, 68^\circ, 77^\circ$  olduğu belirlenmiştir. Ayrıca Al-%2Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitin faz analizinde, yalnızca Al ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> fazları yer almakta olup alüminyum karbür (Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub>) gibi istenmeyen ikincil fazlara rastlanmamıştır.



**Şekil 8.** Saf alüminyum ve Al-%2Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozit yapıya ait XRD örgü desenleri.

Üretilen Al-%1Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al-%1.5Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al-%2Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Al-%2.5Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlerin taramalı elektron mikroskobu kırık yüzey içyapı görüntüleri Şekil 9'da verilmiştir. Kırık yüzey içyapı görüntülerinden, kompozit yapının oldukça yoğun olduğu, kırılmanın gevrek bir kırılma olduğu ve alüminyum taneciklerin boyun vererek iyi bir şekilde sinterlendiği belirlenmiştir. Al-

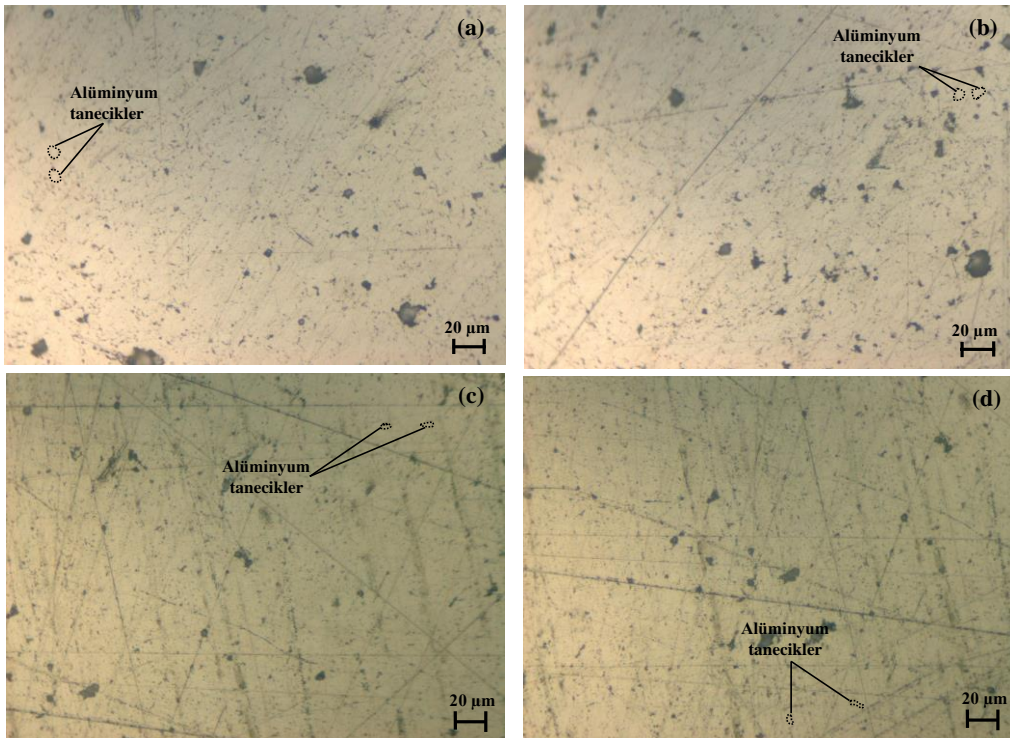
%1Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al-%1.5Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Al-%2Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozit yapılarında alümina taneciklerin arayüzeyde yer alarak homojene yakın bir şekilde dağıldığı; Al-%2.5Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozit yapıda ise alümina taneciklerin topaklandığı tespit edilmiştir. Bu topaklanmaların da Al-%2.5Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitin mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilediği sonucuna varılmıştır.



**Şekil 9.** Soğuk şekil değişimi öncesi üretilen kompozitlerin kırık yüzey içyapı görüntüleri: (a) Al-%1Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, (b) Al-%1.5Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, (c) Al-%2Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve (d) Al-%2.5Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozit yapısı.

Toz metalurjisi yöntemiyle üretilen Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitler basma gerilmeleri altında farklı yüzde soğuk şekil değişimine (%SSD) maruz bırakılmıştır. Soğuk şekil değişimine uğrayan kompozitlerin yüzeyi parlatılarak metal mikroskopuyla tanelerin görüntüleri elde edilmiştir (Şekil 10). %11.8 SSD'ye kadar Al tanelerinin farklı yönlerde yönlendiği ve daha

yuvarlak olduğu tespit edilmiştir. %23.5 soğuk şekil değişimi oranında ise tanelerin soldan sağa doğru yöneldiği ve basma gerilmesi etkisiyle yukarıdan aşağıya doğru kesitin daraldığı belirlenmiştir. Sonuç olarak, aşırı soğuk şekil değişiminin (%11.8 SSD'den fazla) kompozitin mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilediği görülmüştür.



**Şekil 10.** Soğuk şekil değişimi öncesi ve sonrası alüminyum tanelerin parlatılmış yüzey görüntüleri: (a) %0, (b) %6.1, (c) %11.8 ve (d) %23.5 SSD



#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada, Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitler ağırlıkça farklı alümina katkı oranlarında (%0, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5) toz metalurjisi yöntemiyle başarılı bir şekilde üretilmiştir. Üretilen kompozitlere uygulanan yoğunluk ve sertlik ölçümleri neticesinde; en iyi mekanik özelliklere sahip kompozit yapı Al-%2Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> olarak belirlenmiştir. Ağırlıkça %2 alümina katkısından sonra kompozit yapıda alümina taneciklerin topaklanması sebebiyle mekanik özellikler kötüleşmiştir. Bu sebeple Al-%2Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozit yapı esas alınarak, farklı presleme basınçlarında (50, 100, 150, 200, 250 MPa) soğuk şekil değişimi uygulanmıştır. En yüksek Vickers sertliği (68±1.5 HV) ve çekme dayanımı (92 MPa), %11.8 oranında soğuk şekil değişimine maruz kalan Al-%2Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozit yapıda elde edilmiştir. %11.8 oranındaki soğuk şekil değişimi etkisiyle kompozitin çekme dayanımı +%30 ve Vickers sertliği +%53 oranında artmıştır. Yürütülen mekanik testler ve mikroyapı incelemeleri neticesinde; en uygun mikron altı boyutlu alümina katkı oranı %2 ve %soğuk şekil değişimi oranı %11.8 olarak belirlenmiştir.

#### Kaynaklar

Ashtiani, H.R.Z. ve Karami, P., 2015. Prediction of the microstructural variations of cold-worked pure aluminum during annealing process. *Modeling and Numerical Simulation of Material Science*, 5, 1-14.

Bastwros, M., Kim, G.Y., Zhang, C.Z.K., Wang, S. ve Tang, X., 2014. Effect of ball milling on graphene reinforced Al6061 composite fabricated by semi-solid sintering. *Composites Part B-Engineering*, 60, 111-118.

Burlat, M., Julien, D., Levesque, M., Bui-Quoc, T. ve Bernard, M., 2008. Effect of local cold working on the fatigue life of 7475-T7351 aluminium alloy hole specimens. *Engineering Fracture Mechanics*, 75, 2042-2061.

Callister, W.D. ve Rethwisch, D.G., 2014. *Materials Science and Engineering*, John Wiley&Sons, Inc., USA, 215p.

Çapan, L., 2003. *Metallere Plastik Şekil Verme*, Çağlayan Kitabevi, İstanbul, 106s.

Ezatpour, H.R., Torabi Parizi, M., Sajjai, S.A., Ebrahimi, G.R. ve Chaichi, A., 2016. Microstructure, mechanical analysis and optimal selection of 7075 aluminum alloy based composite reinforced with alumina nanoparticles. *Materials Chemistry and Physics*, 178, 119-127.

German, R.M. 2007. *Toz Metalurjisi ve Parçacıklı Malzeme İşlemleri* (Çev. Türk Toz Metalurjisi Derneği), Türk Toz Metalurjisi Derneği Yayınları, ISBN: 975-924-632-5, Ankara, 574s.

Gökmeşe, H. ve Bostan, B., 2013. AA 2014 alaşımında presleme ve sinterlemenin gözenek morfolojisi ve mikroyapısal özelliklere etkileri. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part:C*, 1, 1, 1-8.

Gürbüz, M., Şenel, M.C., Koç, E., 2018a. The effect of sintering temperature, time and graphene addition on the mechanical properties and microstructure of aluminum composites. *Journal of Composite Materials*, 52, 4, 553-563.

Gürbüz, M., 2018b. Atık içecek kutularından üretilmiş alüminyumun mekanik özelliklerine soğuk işlemin etkisi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 20, 58, 28-35.

Hou, M.J.P., Wang, Q., Yang, H.J., Wu, X.M., Li, C.H., Li, X.W. ve Zhang, Z.F., 2015. Microstructure evolution and strengthening mechanisms of cold-drawn commercially pure aluminum wire. *Materials Science & Engineering A*, 639, 103-106.

Kaczmar, J.W., Pietrzak, K. ve Wlonsinski, W., 2000. The production and application of metal matrix composite materials. *Journal of Materials Processing Technology*, 106, 58-67.

Kok, M., 2005. Production and mechanical properties of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particle-reinforced 2024 aluminium alloy composites. *Journal of Materials Processing Technology*, 161, 381-387.

Kurşun, T., 2011. Alüminyum esaslı SiC takviyeli metal matrisli kompozitlerin birleştirilmesinde Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> oluşumunun önlenmesi ve sinerjik kontrollü darbeli MIG (GMAW-P) kaynak yöntemi. *Selçuk Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Teknik-Online Dergi*, 10, 1, 86-98.

Lianggang, G., Shuang, Y., He, Y. ve Jun, Z., 2015. Processing map of as-cast 7075 aluminum alloy for hot working. *Chinese Journal of Aeronautics*, 28, 6, 1774-1783.

Mansourinejad, M. ve Mirzakhani, B., 2012. Influence of sequence of cold working and aging treatment on mechanical behaviour of 6061 aluminum alloy. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 22, 2072-2079.

Martinez, V.P., Torres, J.T. ve Valdes, A.F., 2017. Recycling of aluminum beverage cans for metallic foams manufacturing. *Journal of Porous Materials*, 24, 707-712.

- Öztop, B. ve Gürbüz, M., 2018. Investigation of properties of composites produced from waste aluminum with  $\text{Si}_3\text{N}_4$  reinforcement. *Technological Applied Sciences*, 13, 1, 57-66.
- Rahimian, M., Parvin, N ve Ehsani, N., 2011. The effect of production parameters on microstructure and wear resistance of powder metallurgy Al– $\text{Al}_2\text{O}_3$  composite. *Materials and Design*, 32, 1031-1038.
- Sajjadi, S.A., Ezatpour, H.R. ve Beygi, H., 2011. Microstructure and mechanical properties of Al– $\text{Al}_2\text{O}_3$  micro and nano composites fabricated by stir casting. *Materials Science and Engineering A*, 528, 8765– 8771.
- Sharma, P., Sharma, S. ve Khanduja, D. 2015. Production and some properties of  $\text{Si}_3\text{N}_4$  reinforced aluminium alloy composites. *Journal of Asian Ceramic Societies*, 3, 352-359.
- Srivastava, N. ve Chaudhari, G.P., 2018. Microstructural evolution and mechanical behavior of ultrasonically synthesized Al6061-nano alumina composites. *Materials Science&Engineering A*, 724, 199-207.
- Şahin, İ., 2014. Alüminyum matrisli kompozit malzemelerin matkap ile delinmesi konusunda yapılan çalışmaların incelenmesi. *Mühendis ve Makina Dergisi*, 55, 649, 9-16.
- Şahin, Y., 2006. *Kompozit Malzemelere Giriş*, Seçkin Yayınevi, Ankara, 436s.
- Şenel, M.C., Gürbüz, M. ve Koç, E., 2015. Grafen takviyeli alüminyum matrisli yeni nesil kompozitler. *Mühendis ve Makina Dergisi*, 56, 669, 36-47.
- Şenel, M.C, Gürbüz, M. ve Koç, E. 2017. Grafen takviyeli alüminyum esaslı kompozitlerin üretimi ve karakterizasyonu. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23, 8, 974-978.
- Şenel, M.C., Gürbüz, M. ve Koç, E., 2018. The Fabrication and characterization of synergistic Al-SiC-GNPs hybrid composites. *Composites Part B-Engineering*, 154, 1-9.
- Torralba, J.M., Costa, C.E. ve Velasco, F., 2003. P/M aluminum matrix composites: an overview. *Journal of Materials Processing Technology*, 133, 1, 203-206.