



**Burak Öztop**

Amasya University, burak.oztop@amasya.edu.tr, Amasya-Turkey

**Mevlüt Gürbüz**

Ondokuz Mayıs University, mgurbuz@omu.edu.tr, Samsun-Turkey

DOI	<a href="http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2018.13.1.2A0136">http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2018.13.1.2A0136</a>	
ORCID ID	0000-0003-3947-9103	0000-0003-2365-5918
CORRESPONDING AUTHOR	Burak Öztop	

### **Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> TAKVİYESİYLE ATIK ALÜMİNYUMDAN ÜRETİLMİŞ KOMPOZİTLERİN ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

#### **ÖZ**

Bu çalışmada, pahalı saf alüminyum veya ticari alüminyum alaşımları yerine atık alüminyum içecek kutularından elde edilen matrise ağırlıkça %0-3 arasında silisyum nitrür (Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>) ilave edilerek karıştırmalı döküm yöntemi ile kompozit üretimi gerçekleştirilmiş ve takviye oranlarının üretilen kompozitlerin yoğunluk, sertlik ve mikroyapıya etkisi araştırılmıştır. Kompozitlerde ağırlıkça %1 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> takviyesine kadar sertliğin 70HV'den 87.9HV'ye arttığı belirlenmiştir. Mikroyapı analizlerinden, takviye elemanının homojen olarak dağıldığı, ancak ağırlıkça %1 oranından sonra tozların topaklandığı görülmüştür. Bu da hem mikroyapıyı hem de sertliği olumsuz etkilemiştir. Ayrıca yapılan yoğunluk ölçümleri sonucunda yoğunluğun genel olarak 2.53g/cm<sup>3</sup>, porozitenin ise %6.3 olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Atık Alüminyum İçecek Kutusu, Alüminyum Matrisli Kompozit, Karıştırmalı Döküm, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, Kompozit

### **INVESTIGATION OF PROPERTIES OF COMPOSITES PRODUCED FROM WASTE ALUMINUM WITH Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> REINFORCEMENT**

#### **ABSTRACT**

In this study, composites were produced by stir casting method by adding 0-3% of Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> to matrix which obtained from waste aluminum beverage cans instead of expensive pure aluminum or commercial aluminum alloys. The effects of reinforcement ratio on density, hardness and microstructure of the produced composites were investigated. It has been determined that the hardness increases (from 70HV to 87.9HV) up to 1% Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> reinforcement in composites. From the microstructure analysis, it was seen that the reinforcing element was homogeneously dispersed, but the powder was agglomerated after 1% by weight. This affects negatively both microstructure and hardness. In addition, density measurements showed that density and porosity were calculated as 2.53g/cm<sup>3</sup> and %6.3.

**Keywords:** Waste Aluminium Beverage Can, Aluminum Matrix Composite, Stir Casting, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, Composite

#### **How to Cite:**

Öztop, B. ve Gürbüz, M., (2018). Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> Takviyesiyle Atık Alüminyumdan Üretilmiş Kompozitlerin Özelliklerinin İncelenmesi, **Technological Applied Sciences (NWSATAS)**, 13(1):57-66, DOI:10.12739/NWSA.2018.13.1.2A0136.



## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Geleneksel metaller ve alaşımları ile seramik malzemeler günümüzde enerji, iletişim, ulaşım, havacılık ve uzay sektörlerinin ihtiyaçlarını karşılayamadıklarından dolayı, daha iyi özellikler gösteren kompozit malzemelerin üretimi ve kullanımları hızla artmaktadır [1 ve 2]. Metal matrisli kompozit (MMK) malzemeler, metallerin süneklik ve tokluk, seramiklerin ise yüksek mukavemet özelliklerini birleştirmeleri neticesinde mukavemet/ağırlık oranı, çekme ve basma dayanımı, korozyon direnci ve aşınma dayanımı gibi özelliklerinin yüksek olması sebebiyle mühendislik malzemelerinin önemli bir sınıfını oluşturmaktadırlar. MMK üretiminde matris malzemesi olarak hafiflik, yüksek elektrik, yüksek ısı iletkenliğine ve geniş uygulama alanlarına sahip olmaları nedeniyle alüminyum (Al) ve alaşımları kullanılmaktayken, takviye malzemesi olarak ise silisyum karbür (SiC), silisyum nitrür ( $Si_3N_4$ ), alüminyum oksit ( $Al_2O_3$ ) vb. seramik parçacıklar kullanılmaktadır. Bu seramiklerden biri olan  $Si_3N_4$ , yüksek mekanik özelliği, aşınma ve korozyon dayanımı ile yüksek ısıl şok dayanımı gibi özelliklerinden dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır.  $Si_3N_4$ 'ün bu özellikleri, alüminyum matrisli kompozitlerin (AMK) üretiminde de kullanımını özgün kılmaktadır [1 ve 3].

Al ve alaşımları sahip olduğu üstün fiziksel ve mekanik özelliklerinden dolayı, başta inşaat, havacılık, ulaştırma, ambalaj ve elektronik sektörleri olmak üzere birçok alanda kullanılmaktadır. Son yıllarda bu alanlarda kullanılan alüminyum atıklarının değerlendirilmesi oldukça önemli hale gelmiştir. Hurda ve atıktan alüminyum üretiminde harcanan enerji, boksit cevherinden alüminyum üretiminde harcanan enerjinin yaklaşık %5'i kadar olduğu için bu malzemelerin geri dönüşümü büyük önem taşımaktadır. Ayrıca, alüminyumun geri dönüşümü, hem doğal kaynakların hem de enerji kaynaklarının kullanımı azaltacağından çevrenin korunması açısından da önemlidir [4]. İçecek kutuları, alüminyumun en yaygın kullanıldığı alanlardan birisi olarak karşımıza çıkmaktadır. Günümüzde dünyada kullanılan metal kutuların %80'i alüminyumdan üretilmektedir. Yine en yaygın geri dönüşümü yapılan atıklardan biri de alüminyum içecek kutularıdır ve hurda alüminyumun %50'si atık içecek kutularından elde edilmektedir [5 ve 6].

Alaneme ve Bodunrin, AA6063 alaşımına hacimsel olarak %6, 9, 15, 18 oranlarında 28  $\mu m$   $Al_2O_3$  parçacıkları ilave ederek iki aşamalı karıştırma döküm yöntemi kullanarak ürettikleri alüminyum metal matrisli kompozit malzemelerin mekanik davranışlarını araştırmışlardır. Üretilen kompozitlerin, düşük gözenek seviyelerine ( $\leq 3,51$ ) sahip olduğu ve artan takviye oranıyla gözenek oranının arttığı görülmüştür. Matris malzemesi içerisinde  $Al_2O_3$  parçacıklarının homojen dağıldığı tespit edilmiştir.  $Al_2O_3$  hacim oranının artışı ile kopma uzaması ve kırılma tokluğu azalırken, çekme dayanımı, akma dayanımı ve sertlik artmıştır [7]. Bajaj, karıştırma döküm yöntemini kullanarak, ağırlıkça %2.5, 5, 7.5, 10 oranlarında SiC,  $Al_2O_3$  ve SiC+ $Al_2O_3$  takviyeli, alüminyum döküm alaşımı (LM6) matrisli kompozit malzeme üretimi gerçekleştirmiştir. Elde edilen numunelerin sertlik, çekme ve darbe deneyleri ile mekanik özellikleri incelenmiştir. Takviye oranının artışı ile sertliğin, çekme dayanımı ve darbe dayanımının artış gösterdiği belirlenmiştir. Mekanik özelliklerde en fazla artış, SiC ve  $Al_2O_3$  takviye elemanlarının birlikte ilave edilmesiyle elde edilen kompozitlerde tespit edilmiştir [8]. Kok, farklı boyutlarda (16, 32, 66  $\mu m$ ) ve farklı yüzde ağırlık oranlarında (%10, 20, 30)  $Al_2O_3$  parçacıkları, 2024 alüminyum alaşımına takviye ederek vorteks yöntemi ve sonrasında basınç altında presleme işlemi



uygulayarak kompozit malzeme üretmiştir. Yoğunluk ölçümleri, örneklerin çok az gözeneklilik içerdiğini göstermiştir ve porozite miktarının, ağırlıkça yüzde takviye oranının artması ve parçacık boyutunun küçülmesiyle arttığı tespit edilmiştir. Kompozitlerin sertlik ve çekme dayanımı, parçacıkların yüzde ağırlık oranının artışıyla ve parçacık boyutunun azalmasıyla artış göstermiştir [9]. Sharma ve ark., AA6082-T6 alaşımına ağırlıkça çeşitli yüzdelerde (%3, 6, 9, 12)  $Si_3N_4$  parçacıkları ilave ederek konvansiyonel karıştırma döküm yoluyla ürettikleri alüminyum matrisli kompozitlerin mikroyapıları ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Alüminyum matris içinde  $Si_3N_4$  parçacıklarının varlığı, taramalı elektron mikroskopu görüntüleri ile belirlenirken,  $Si_3N_4$  parçacıklarının dağılımı da X-ışını kırınım yöntemi ile tespit edilmiştir. Alüminyum matris içinde  $Si_3N_4$  parçacıklarının ağırlık yüzdesi arttıkça çekme mukavemeti ve sertlik gibi mekanik özellikler iyileşmiştir ve yoğunluk ile porozite de artan bir eğilim göstermiştir [10].

Singh ve ark., karıştırma döküm yöntemi kullanarak AMK üretimi yaptıkları çalışmada,  $Al_2O_3$  parçacık boyutu (75, 105, 150 $\mu m$ ), ağırlıkça yüzde  $Al_2O_3$  oranı (%3, 6, 9) ve karıştırma zamanı (15, 20, 25 dak) gibi giriş proses parametrelerinin, sertlik, darbe dayanımı ve çekme dayanımı üzerine etkilerini araştırmışlardır. Karıştırma zamanı ve takviye elemanının ağırlık yüzdesinin artması, takviye parçacık boyutunun ise azalması ile birlikte tüm bu mekanik özellikler artış eğilimi göstermiştir [11]. Singla ve ark., alüminyum esaslı SiC parçacıklı MMK geliştirmek ve üretim sırasında seramik malzemenin matris içinde homojen dağılımını sağlamak için iki aşamalı karıştırmanın uygulandığı bir karıştırma döküm tekniği kullanmışlardır. Alaşım yarı katı halde iken elle karıştırma yapılmıştır ve sonra tamamen sıvı hale gelene kadar ısıtılarak bir mekanik karıştırıcı ile karıştırma işlemi uygulanmıştır. Deneyler, SiC ağırlıkça takviye oranı %5, 10, 15, 20, 25 ve 30 şeklinde değiştirilerek gerçekleştirilmiştir. SiC ağırlık yüzdesi arttıkça sertlik ve darbe dayanımının arttığı gözlenmiştir. En iyi sonuçlar ağırlıkça %25 takviye oranında elde edilmiştir. Bu takviye oranının arttırılmasıyla, SiC parçacıklarının kümelenmesi sebebiyle sertlik ve darbe dayanım değerlerinde azalma meydana gelmiştir [12].

Sujan ve ark., SiC ve  $Al_2O_3$  parçacık takviyeli AMK'ların fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Al356 alaşımına, ağırlıkça %5, 10, 15 oranlarında  $Al_2O_3$  ve yine aynı oranlarda SiC ilave edilerek karıştırma döküm yöntemi ile kompozit malzemeler üretilmiştir. Sonuçlar, kompozit malzemelerin yüksek çekme dayanımı, yüksek darbe dayanımı, yüksek sertlik ve düşük termal genleşme katsayısı gibi gelişmiş fiziksel ve mekanik özellikler sergilediğini göstermiştir [13]. Sur ve ark., ergimiş metal karıştırma yöntemi ile ürettikleri MMK'larda, matris malzemesi olarak 2014 alüminyum alaşımı, takviye malzemesi olarak da üç farklı boyutta (29 $\mu m$ , 45 $\mu m$  ve 110 $\mu m$ ) SiC partikülleri kullanmışlardır. Üretilen MMK malzemelerde porozitenin en düşük seviyede tutulabilmesi için kalıba döküm işleminin ardından, elle basmalı hidrolik presse 3 ton'luk yük 5 dakika süre ile uygulanmıştır. MMK malzemelerin üretimleri esnasında azalan partikül boyutu ve artan takviye oranı ile kompozitlerin sertliklerinin arttığı, yine aynı şartlarda porozite miktarının ve partiküllerin topaklanmasının da arttığı bununla birlikte homojen dağılımın sağlanmadığı görülmüştür [14].



## 2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Alüminyum içecek kutularının endüstriyel olarak tekrar değerlendirilmesi büyük öneme sahiptir. Pahalı saf alüminyum veya ticari alüminyum alaşımları yerine atık alüminyumun içerisine kaliteli ve ucuz takviye malzemesi ilave edilmesiyle üstün özelliklere sahip AMK malzeme üretilebileceği öngörülmektedir. Bu sayede hem üretim maliyetleri düşürülerek AMK malzemelerin ticari kullanımı yaygınlaştırılacak hem de bir anlamda geri dönüşüm uygulaması yapılmış olunacaktır. Bu çalışmada,  $\text{Si}_3\text{N}_4$  takviyesinin atık alüminyumdan üretilen kompozitlerin yoğunluk, sertlik ve mikroyapısına olan etkisinin ne olduğunun ortaya çıkarılması amaçlanmıştır. Daha önce yapılan çalışmalarda görüldüğü üzere kompozit malzeme üretiminde matris malzemesi olarak atık alüminyumun kullanılmasına yönelik çalışma bulunmaması bu çalışmayı özgün kılmaktadır.

## 3. MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

### 3.1. Matris ve Takviye Malzemesi

#### (Matrix and Reinforcement Material)

Bu çalışmada matris malzemesi olarak daha önce yapılmış çalışmalarda kullanılan saf alüminyum veya ticari alüminyum alaşımları yerine atık alüminyum içecek kutuları, takviye malzemesi olarak ise tane boyutu ortalama  $0.8\mu\text{m}$  olan  $\text{Si}_3\text{N}_4$  tozu kullanılmıştır.  $\text{Si}_3\text{N}_4$  tozlar matris içerisine ağırlıkça %0.5, %0.75, %1, %1.25, %2 ve %3 oranlarında ilave edilmiş ve kompozit malzemeler karıştırılmalı döküm yöntemi kullanılarak üretilmiştir.

### 3.2. Kompozit Malzemelerin Üretilmesi

#### (Production of Composite Materials)

Öncelikle, atık alüminyum içecek kutuları ergitilip boya giderimi yapıldıktan sonra kalıplara dökülerek matris malzemesi elde edilmiştir. Her bir matris numunesi için 16 adet içecek kutusu ergitilerek ortalama 170g ağırlığında alüminyum külçeler elde edilmiştir. AMK malzeme üretimi için karıştırma sistemli elektrikli ergitme fırını tasarlanmış ve imalatı yapılmıştır. Paslanmaz çelik malzemedan imal edilen dış pota üzerine 1.5kW gücünde tek panjurlu seramik plakalı rezistans bağlanarak, sıcaklığı  $900^\circ\text{C}$ 'ye kadar çıkabilen bir elektrikli fırın elde edilmiştir. Fırın içerisindeki sıcaklığın kontrolü için tek modüllü kontrol cihazı ve standart 8mm rakorlu M12 K-tip termokupl kullanılmıştır. Fırının içerisine yine paslanmaz çelikten yapılan bir başka pota yerleştirilmiş olup bu pota hem ergitme hem de döküm potası olarak tasarlanmıştır. Karıştırma işlemini gerçekleştirmek için kullanılan karıştırma mili paslanmaz çelik malzemedan ve bir ucu 40mm çapında dört kanatlı olarak imal edilmiştir. Takviye malzemelerinin matris malzemesi içine karıştırılabilmesi için devir sayısı ayarlanabilen (200-3000rpm) masa üstü mekanik karıştırıcı kullanılmıştır.

Islanabilirliklerini arttırmak için ısıl işlem fırınında  $1100^\circ\text{C}$ 'de 5 saat oksitlendirilen  $\text{Si}_3\text{N}_4$  parçacıkları, belirlenmiş olan ağırlıkça yüzde takviye oranlarına göre tartılarak hazırlanmıştır. Ergitme fırınının sıcaklığı  $700^\circ\text{C}$ 'ye çıkarılarak, potadaki matris malzemesi ergidikten sonra takviye ilavesi ve karıştırma işlemi sırasında takviye malzemesinin ıslanabilirliğini kolaylaştırmak ve matris-takviye ara yüzeyi oluşturmak için sıcaklık  $630-650^\circ\text{C}$  arasına indirilmiştir. Matris içerisine bir miktar takviye malzemesi ilave edilerek 30 saniye 400rpm hızla mekanik karıştırıcı ile karıştırılmıştır. Sonra bir miktar daha takviye malzemesi ilave edilerek yine 400rpm hızla 30 saniye karıştırıldıktan sonra üçüncü seferde kalan takviye malzemesi ilave edilerek 400rpm hızla 5 dakika



kariştırma işlemi uygulanmıştır. Sıcaklık 700±10°C'ye çıkarılarak karişım aynı hızla 1 dakika süreyle kariştırılarak homojenleştirme yapılmıştır. Karişım bu sıcaklıkta 10 dakika bekletilmiş ve döküm öncesi yüzeydeki oksit filmi alınmıştır. Hemen ardından karişım, n ısıtma yapılmış (450-500°C) metal kalıba dklm ve kompozit malzeme kalıp içinde bir süre bekletildikten sonra kalıptan çıkarılarak oda sıcaklığında soğuması sağlanmıştır.

### 3.3. Yoğunluk ve Porozite lm (Density and Porosity Measurement)

Takviyesiz matris malzemesinin ve üretimi yapılan kompozit malzemelerinin deneysel olarak yoğunluk lmleri Arşimet prensibine göre tespit edilmiştir. Teorik yoğunlukları ise karişımlar kuralına [(matris özgül ağırlılığı x yüzde matris ağırlık oranı)+(takviye elemanı özgül ağırlılığı x yüzde takviye ağırlık oranı)] göre tespit edilmiştir. Kompozitlerin teorik ve deneysel yoğunlukları kullanılarak içerdikleri porozite oranları, Denklem 1 ile hesaplanmıştır.

$$\% \text{ porozite} = (\rho_{\text{teorik}} - \rho_{\text{deneysel}} / \rho_{\text{teorik}}) \cdot 100 \quad (1)$$

### 3.4. Sertlik lm (Hardness Measurement)

Takviyesiz matris malzemesinin ve üretimi yapılan kompozit malzemelerinin sertlik değerlerini tespit etmek ve takviye oranlarının arttırılmasıyla meydana gelen sertlik değişimlerini belirlemek için sertlik lmleri Vickers sertlik ölçüm yöntemi kullanılarak TMTECK marka HV-1000B tipi sertlik ölçüm cihazında 20 saniye süre ile 1.96N (200g) yük altında gerçekleştirilmiştir. Her numune için 6 kez ölçüm yapılmış ve ölçülen değerlerin ortalamaları alınarak sertlik değerleri tespit edilmiştir.

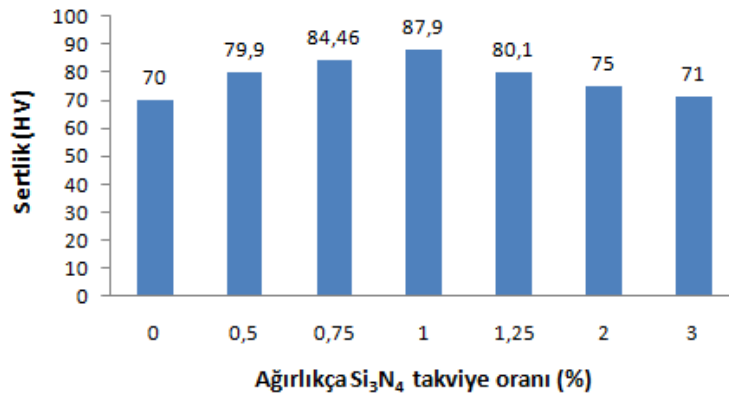
### 3.5. Mikroyapı Analizi (Microstructure Analysis)

retimi gerçekleştirilen kompozit malzemelerde matris içerisinde takviye malzemelerinin dağılımının homojen olup olmadığını tespit etmek amacıyla, hazırlanan numunelerin kırık yüzeylerinden gerçekleştirilen mikroyapı incelemeleri için EDS donanımlı Jeol JSM 7001F tipi taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır.

## 4. BULGULAR VE TARTIşMA (FINDINGS AND DISCUSSIONS)

### 4.1. Sertlik (Hardness)

Takviyesiz matris malzemesi ile Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> takviyeli kompozit malzemelerin sertlik değerleri grafik olarak şekil 1'de verilmiştir.



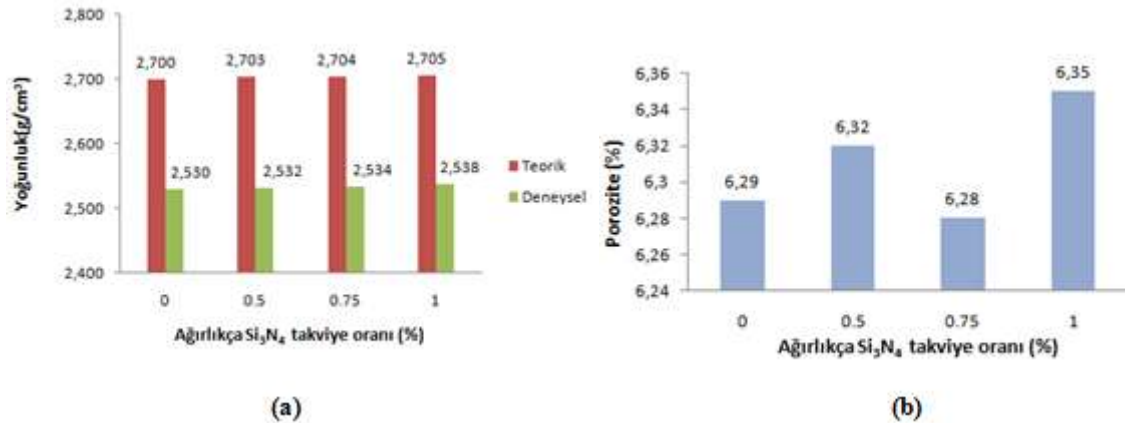
şekil 1. Malzemelerin sertliğinin Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> yüzde ağırlık oranı ile değişimi

(Figure 1. Change with Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> percent weight ratio of hardness of the materials)

Bu sonuçlara göre, üretilen kompozitlerin sertliğinin arttığı ve en yüksek sertliğin 87.9 HV ile %1 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> takviye oranında elde edildiği görülmüştür. Matris içerisindeki sert Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> tozların varlığı, sertliği olumlu yönde etkilemekte ve bunun sonucu olarak da takviye oranının artması ile sertlik artmaktadır [7 ve 13]. Takviye oranının artmasıyla kompozitlerin sertliğinde görülen artış, takviye malzemesinin sertliğinin yanı sıra aynı zamanda matris içerisinde homojen olarak dağılması sonucu gerçekleşmektedir. Tozların birbiriyle etkileşime girmesi, kümelenmelerine ve homojen olmayan topakların oluşmasına neden olmaktadır. Bu da parçacıklarının matris içinde yoğunluğunun bölgesel olarak azalmasına dolayısıyla da sertlik değerinde düşüşe neden olmaktadır [12]. Takviye oranının ağırlıkça %1'in üzerine çıkması sonucunda sertlik değerinin gittikçe azalmasının bu duruma bağlı olarak gerçekleştiği düşünülmektedir.

#### 4.2. Yoğunluk Ölçümü ve Porozite Oranı (Density Measurement and Porosity Ratio)

Yoğunluk ve porozite oranı, en yüksek sertlik değeri ağırlıkça %1 takviye oranı ile elde edildiği için %0 ile %1 arasındaki takviye oranlarında üretilen kompozitler için belirlenmiştir. Takviyesiz matris malzemesinin ve kompozit malzemelerin karışımlar kuralına göre hesaplanan teorik yoğunlukları, Arşimet prensibine göre elde edilen deneysel yoğunlukları ve bu yoğunluklar kullanılarak hesaplanan porozite oranları Şekil 2'de verilmiştir.



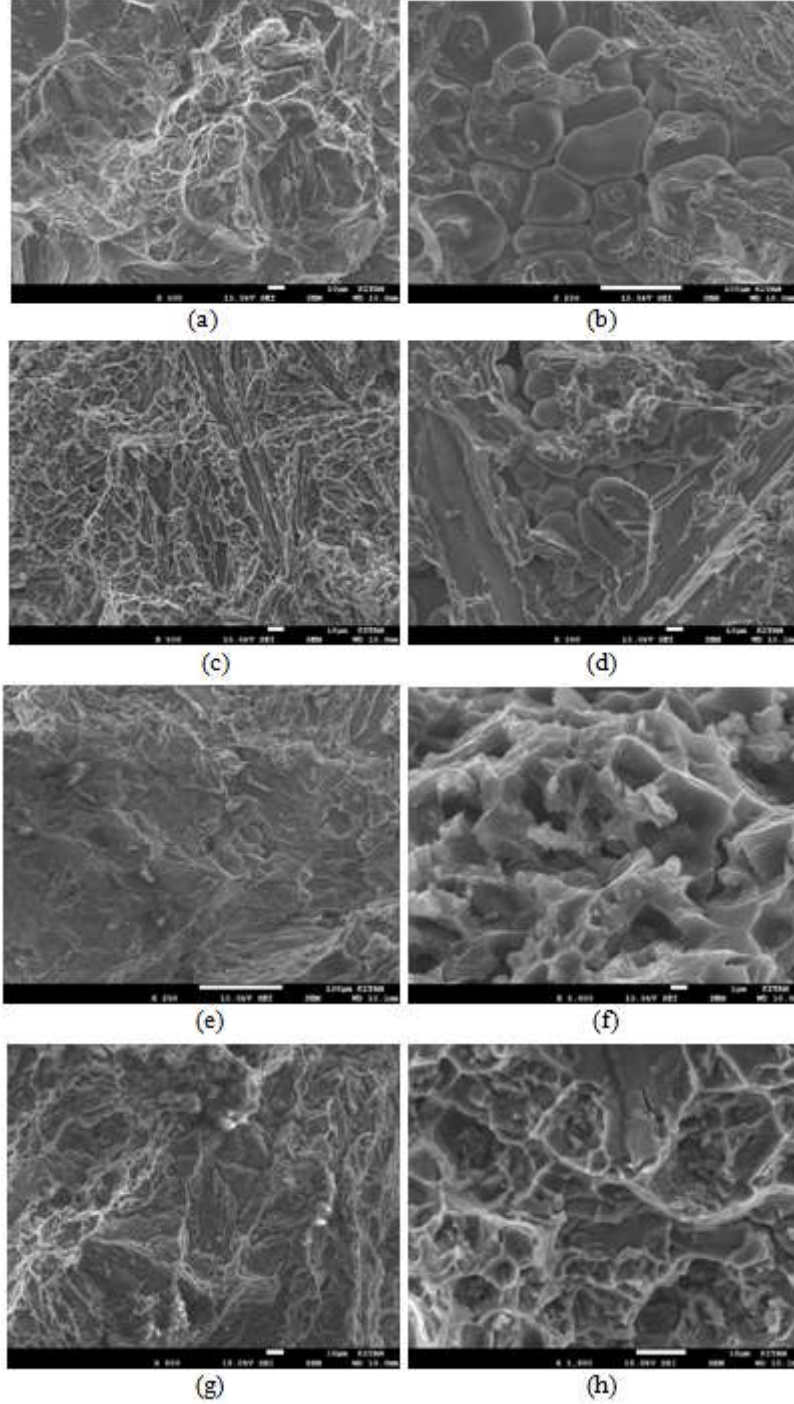
Şekil 2. (a) Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> ağırlık oranıyla yoğunluk değişimi, (b) Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> ağırlık oranıyla porozite değişimi

(Figure 2. (a) Density change by weight ratio of Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, (b) Porosity change by weight ratio of Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>)

Şekil 2.a'da görüldüğü gibi Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>'ün yoğunluğunun matris malzemesinin yoğunluğundan fazla olması nedeniyle, ağırlıkça takviye oranlarının artmasıyla kompozit malzemelerin yoğunluklarının genel olarak 2.53g/cm<sup>3</sup> olduğu görülmektedir. Şekil 2.b'de ise Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> parçacıklarının ağırlık oranının artmasıyla kompozit malzemelerdeki porozite değerinin genel olarak %6.3 civarında olduğu belirlenmiştir. Ağırlıkça %1 seramik takviyesi için kompozit malzemelerin üretimleri sırasında parçacık ilave süresinin daha uzun olması nedeniyle hava ile temas eden yüzey alanı arttığından dolayı porozite artmaktadır ve bu durum daha önce yapılmış benzer çalışmalarda da araştırmacılar tarafından ifade edilmektedir [9, 14, 15 ve 16].

#### 4.3. Mikroyapı (Microstructure)

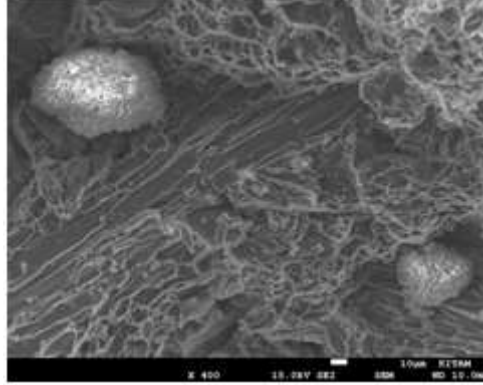
Şekil 3'de ağırlıkça %0 ile %1 arasında takviye oranlarında üretilen kompozit malzemelerin kırık yüzey SEM görüntüleri verilmiştir. Bu görüntüler incelendiğinde, artan ağırlıkça  $\text{Si}_3\text{N}_4$  miktarına bağlı olarak parçacık dağılımının arttığı ve nispeten homojen dağıldığı görülmektedir.



Şekil 3. Takviyesiz ve  $\text{Si}_3\text{N}_4$  takviyeli Al kompozitlerin kırık yüzey görüntüleri: (a-b) %0  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , (c-d) %0.5  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , (e-f) %0.75  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , (g-h) %1  $\text{Si}_3\text{N}_4$

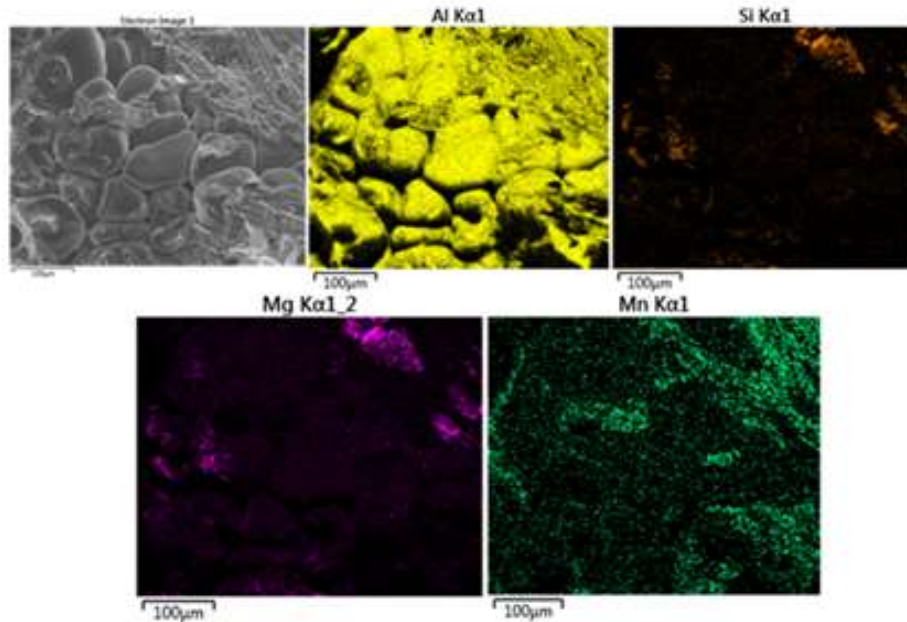
(Figure 3. Fracture surface images of unreinforced and  $\text{Si}_3\text{N}_4$  reinforced composites)

Ağırlıkça %1 takviye oranı üzerindeki ilavelerde matris içerisinde parçacıkların topaklandığını göstermek için ağırlıkça %3  $\text{Si}_3\text{N}_4$  takviyeli kompozitin kırık yüzey SEM görüntüsü Şekil 4'de verilmiştir.



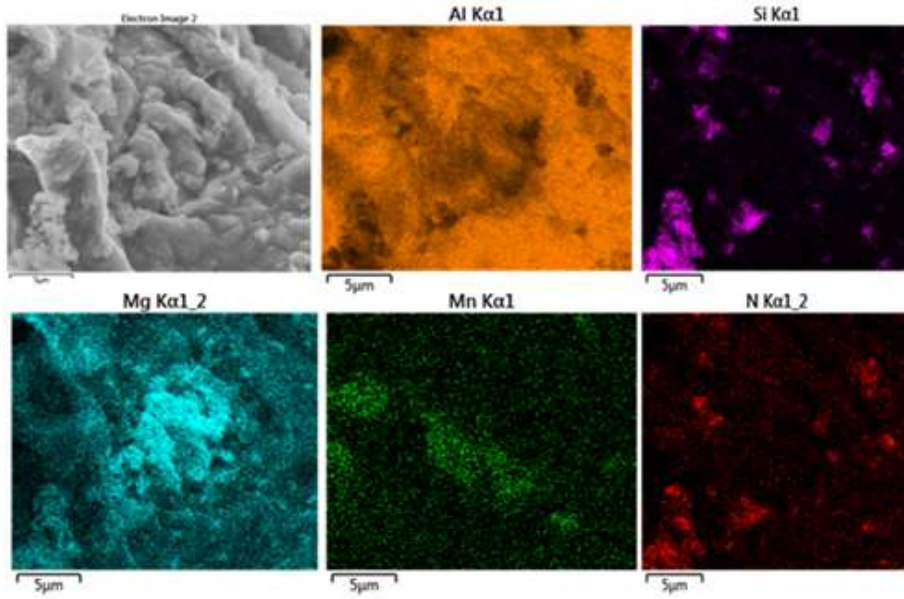
Şekil 4. %3  $\text{Si}_3\text{N}_4$  takviyeli kompozit malzemenin kırık yüzey görüntüsü  
(Figure 4. Fractured surface image of 3%  $\text{Si}_3\text{N}_4$  reinforced composite material)

Şekil 5'de takviyesiz Al matris ve Şekil 6'da ise en yüksek sertliğin elde edildiği ağırlıkça %1  $\text{Si}_3\text{N}_4$  takviyeli kompozit malzeme için elementel haritalama sonuçları verilmiştir. Takviyesiz matris malzemesinde Al, Si, Mg ve Mn elementleri bulunmakta iken ağırlıkça %1  $\text{Si}_3\text{N}_4$  içeren kompozit için yapılan haritalamada ise bunlara ilave olarak N elementi de gelmektedir. Görüntüler incelendiğinde Si ve N'nin dağılımı birbiri ile aynı olup parçacıkların homojen olarak dağıldığı gözlenmektedir.



Şekil 5. Takviyesiz Al için elementel haritalama sonuçları  
(Figure 5. Elemental mapping results for unreinforced Al)





Şekil 6. Ağırlıkça %1 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> takviyeli kompozit malzeme için elementel haritalama sonuçları  
(Figure 6. Elemental mapping results for 1wt% Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> reinforced composite material)

##### 5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmanın sonucunda, atık alüminyum içecek kutularından elde edilen matrise Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> takviyesiyle kompozit malzemelerin üretimi, karıştırma döküm yöntemi kullanılarak başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Takviye yüzde ağırlık oranının artmasıyla sertlik, 70HV'den 87.9HV'ye yükselmiş ve en yüksek sertlik ağırlıkça %1 takviye oranında elde edilmiştir. Bu oranın üzerindeki ilavelerde ise artan Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> miktarıyla topaklanmanın artması sonucu sertliğin düştüğü belirlenmiştir. Takviye yüzde ağırlık oranının artmasıyla, kompozit malzemelerin yoğunlukları ve porozitesi genel olarak ortalama 2.53g/cm<sup>3</sup> ve %6.3 olarak ölçülmüştür. Kompozitlerin kırık yüzey SEM görüntülerinden, ağırlıkça %1 takviye oranına kadar artan Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> miktarına bağlı olarak parçacık dağılımının arttığı ve takviye malzemesinin homojen olarak dağıldığı belirlenmiştir. Bu oranın üzerinde ise homojen olmayan topakların oluştuğu gözlenmiştir.

##### NOT (NOTICE)

Bu çalışma 21-23 Eylül 2017 tarihinde Bayburt'ta düzenlenen "2<sup>nd</sup> International Conference on Advanced Engineering Technologies (ICADET'17)" sempozyumunda sözlü bildiri olarak sunulmuştur.

##### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Özkök, Ö., (2004).  $\alpha$ -Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> İçeren Alüminyum Matrisle Kompozit Malzeme Üretimi ve Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Ankara: Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
2. Kılıç, C., (2008). Sıkıştırma Döküm Yöntemi İle Üretilmiş ve Soğuk Haddelenmiş AlMg<sub>3</sub>/SiCp Kompozitinin Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Edirne: Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
3. Kurt, T., (2002). Diyatomit'ten Karbo-Termal İndirgeme ve Nitrüleme Yoluyla Silisyum Nitrür (Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>) Seramik Toz Üretimi. Yüksek Lisans Tezi. Ankara: Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.



4. Pulat, D., Altubay, M., Erzi, E., Yüksel, Ç. ve Dışpınar, D., (2014). Alüminyum Geri Dönüşümünde Verimlilik ve Akışkanlığın İncelenmesi. 15<sup>th</sup> International Materials Symposium (IMSP'2014).Denizli, Bildiriler Kitabı, ss:905-909.
5. Ediz, Ç., (2011). Alüminyumun Geri Dönüşüm Süreci ve Süreçte Kullanılan Malzemelerin Alüminyum Bileşenlerine Etkileri. Yüksek Lisans Tezi. Bilecik: Bilecik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
6. İzgi, N., (2011). Alüminyumun Geri Dönüştürülmesi ve Özelliklerinin Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
7. Alaneme, K.K. and Bodunrin, M.O., (2013). Mechanical Behaviour of Alumina Reinforced AA 6063 Metal Matrix Composites Developed by Two Step-Stir Casting Process. Acta Technica Corviniensis-bulletin of Engineering, Volume:6, Number:3, pp:105-110.
8. Bajaj, P., (2011). Mechanical Behaviour of Aluminium Based Metal Matrix Composites Reinforced with SiC and Alumina. Master's Thesis. Patiala: Thapar University Master of Engineering in Production & Industrial Engineering.
9. 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, Volume:161, Number:3, pp:381-387.
10. Sharma, P., Sharma, S., and Khanduja, D., (2015). Production and Some Properties of Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> Reinforced Aluminium Alloy Composites. Journal of Asian Ceramic Societies, Volume:3, Number:3, pp:352-359.
11. Singh, L., Ram, B., and Singh, A., (2013). Optimization of Process Parameter for Stir Casted Aluminium Metal Matrix Composite Using Taguchi Method. International Journal of Research in Engineering and Technology, Volume:2, Number:8, pp:375-383.
12. Singla, M., Dwivedi, D. D., Singh, L., and Chawla V., (2009). Development of Aluminium Based Silicon Carbide Particulate Metal Matrix Composite. Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering, Volume:8, Number:6, pp:455-467.
13. Sujjan, D., Oo, Z., Rahman, M., Maleque, M., and Tan, C. K., (2012). Physio-Mechanical Properties of Aluminium Metal Matrix Composites Reinforced with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and SiC. World Academy of Science, Engineering and Technology, International Science Index 68, International Journal of Chemical, Molecular, Nuclear, Materials and Metallurgical Engineering, Volume:6, Number:8, pp:678-681.
14. Sur, G., Şahin, Y. ve Gökkaya, H., (2005). Ergimiş Metal Karıştırma ve Basınçlı Döküm Yöntemi ile Alüminyum Esaslı Tanecik Takviyeli Kompozitlerin Üretimi. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Volume:20, Number:2, pp:233-238.
15. Çöçen, Ü., Önel, K., and Özdemir, İ., (1997). Microstructures and Age Hardenability of Al-5%Si-0.2%Mg Based Composites Reinforced with Particulate SiC. Composites Science and Technology, Volume:57, Number:7, pp:801-808.
16. Özdemir, İ., Çöçen, Ü., and Önel, K., (2000). The Effect of Forging on the Properties of Particulate-SiC-Reinforced Aluminium-Alloy Composites. Composites Science and Technology, Volume:60, Number:3, pp:411-419.