

AKÜ FEMÜBİD 22 (2022) 025702 (353-365)

AKU J. Sci. Eng. 22 (2022) 025702 (353-365)

DOI: 10.35414/akufemubid.1021086

Araştırma Makalesi / Research Article

Al2024/SiC Kompozitlerin Yüksek SiC Takviyesi ile Üretimi ve Karakterizasyonu

Serhatcan Berk AKÇAY¹, Temel VAROL^{*1}, Hüseyin Can AKSA¹, Onur GÜLER¹¹ Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Trabzon.

e-posta: serhatakcay@ktu.edu.tr

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7492-4287>^{*}Sorumlu yazar e-posta: tvarol@ktu.edu.trORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1159-5383>

e-posta: hcaksa@ktu.edu.tr

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9086-6526>

e-posta: onurguler@ktu.edu.tr

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9696-3287>

Geliş Tarihi: 09.11.2021

Kabul Tarihi: 10.03.2022

Öz

Anahtar kelimeler

Al2024; Mekanik
Öğütme; Metal Matris
Kompozit; Sıcak
Presleme; SiC

Bu çalışmada, ağırlıkça %10, %20 ve %40 SiC takviyesi içeren Al2024/SiC parçacıklarının mekanik öğütme (MÖ) yöntemiyle üretimi ve üretilen bu parçacıkların sıcak presleme (SP) yöntemiyle sıkıştırılması gerçekleştirilmiştir. Yapı içerisinde değişen ağırlık oranlarında (%10, 20 ve 40) SiC toz takviyesinin morfoloji, mikro yapı, element analizi, sertlik ve yoğunluk özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda MÖ işlemi ile elde edilen homojen parçacıklar sayesinde mikro yapıda homojen bir element dağılımı gözlemlenmiştir. Ancak, yapıda ağırlıkça artan SiC toz miktarının porozite oluşumuna neden olduğu belirlenmiştir. Ağırlıkça %10, %20 ve %40 SiC içeriğine sahip kompozit numunelerin % bağıl yoğunluk değerleri sırasıyla %99.060, %98.301 ve %95.252 olarak ölçülmüştür. Yapıdaki SiC tanecik takviyesinin ağırlığının artmasıyla sertlik değerlerinde çok yüksek bir artış gözlenmiştir. Ağırlıkça %10, %20 ve %40 SiC toz içeren Al2024/SiC kompozit malzemeler için sertlik değerleri sırasıyla 177.23 HV(0.5), 250.617 HV(0.5) ve 316.67 HV(0.5) olarak ölçülmüştür.

Production and Characterization of Al2024/SiC Composites with High SiC Reinforcement

Abstract

Keywords

Al2024; Hot-Pressing;
Mechanical Milling;
Metal Matrix
Composite; SiC

In this study, the production of Al2024/SiC particles containing 10%, 20% and 40% by weight SiC reinforcement by mechanical milling (MM) method and the compaction of these produced particles by hot pressing (SP) method were carried out. The effects of SiC particle reinforcement in varying weight ratios (%10, 20 and 40) in the structure on morphology, microstructure, elemental analysis, hardness and density properties were investigated. As a result of the experimental studies, a homogeneous elemental distribution was observed in the microstructure thanks to the homogeneous particles obtained by the MM process. However, it was determined that the amount of SiC particles increasing in weight in the structure caused the formation of porosity. The % relative density values of the composite samples with 10, 20 and 40 wt% SiC contents were measured as 99.060%, 98.301% and 95.252%, respectively. A very high increase in hardness values was observed with the increase in weight of SiC particle reinforcement in the structure. Hardness values were measured as 177.23 HV(0.5), 250.617 HV(0.5) and 316.67 HV(0.5) for Al2024/SiC composite materials containing 10, 20 and 40 wt% SiC particles, respectively.

1. Giriş

Alüminyum (Al), yer kabuğunda yaklaşık %8 oranında bulunan (Bengt, 2015) ve en bol metalik elementler arasında yer alan (Ashikhmina vd. 1979) bir element olmakla birlikte, sahip olduğu düşük yoğunluk ($2,7 \text{ gr/cm}^3$) (Hatch 1984) özelliği ile havacılık, otomobil, uzay sanayii gibi birçok endüstriyel alanda yaygın olarak kullanılmakta olan bir metaldir. Saf Al, %99,99 saflık değerine sahip hali ile 45 MPa çekme mukavemeti değeri ve 50 mm'de %50 uzama özelliğine sahiptir (Hatch 1984) ve bu değerleri ile oldukça sünek olduğu anlaşılmaktadır. Saf haldeki Al'nin mukavemet artırma yöntemleri araştırma konusu olmuştur. Farklı elementler ile alaşımlama yöntemi de saf Al'nin mukavemetini arttırmak için kullanıla temel yöntemlerden birisidir. Al alaşımları, hafif olmaları ve kolaylıkla şekillendirilebilme özelliklerine ek olarak kolaylıkla birleştirilebilme, işlenebilme ve kaplama yöntemlerine uygunlukları ile mühendislik malzemesi olarak kullanılması oldukça uygun malzemelerdir. Ayrıca, Al alaşımlarının sahip olduğu elektriksel ve termal iletkenlik özellikleri, korozyona karşı çok üstün bir direnç göstermeleri de kullanım alanlarını arttırmaktadır (Frank, 2000). Al alaşımları kimyasal kompozisyonlarında yer alan ana alaşım elementlerine göre isimlendirilmektedir. 2XXX alaşımı olarak isimlendirilen Al alaşımı, temel alaşım elementleri olarak Al ve bakır (Cu) içeren, magnezyum (Mg) başta olmak üzere farklı alaşım elementlerini de içinde barındıran bir alaşımdır. Al ile Cu elementleri arasında oluşan CuAl_2 bileşiği gibi yüksek sertliğe sahip fazlar, malzemenin sertlik ve dayanım özelliklerini arttırmaktadır. Ayrıca, şekillendirilebilirlik özellikleri yüksek olan 2XXX serisi Al alaşımları yüksek mukavemet gerektiren uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Gavgalı vd. 1995, Durmuş vd. 2003, Erdoğan vd. 2014). Al2024 alaşımı, 2XXX serisi Al alaşımları içerisinde yer almaktadır ve duralümin olarak adlandırılmaktadır. Al alaşımları arasında sertlik, mukavemet ve uzama değerleri bakımından kıyaslandığında en yüksek özelliklere sahip alaşımlardan bir tanesi olarak karşımıza çıkmaktadır. Al2024 alaşımı, sahip olduğu üstün

özellikler ile otomotiv endüstrisi başta olmak üzere, raylı sistemler, savunma sanayii, havacılık sanayii gibi birçok farklı alanda kullanılmaktadır (Aydın ve Bayram 2010).

Metal matrisli kompozit (MMK)'ler sünek bir metalik matris içerisine sert ya da sünek bir takviye malzemesinin takviye edilmesi ile üretilmektedirler. Seramik toz takviyeli MMK'ler takviye edilmemiş metaller ile kıyaslandıklarında seramik tozların yapıya kazandırdığı yüksek sertlik özelliklerinden dolayı çok daha yüksek mekanik özellikler sergilemektedir. Ayrıca yine seramik tozun yapıya kazandırmış olduğu yüksek aşınma direnci de seramik takviyeli MMK'lerin kullanım alanlarını arttırmaktadır. Al ve alaşımları MMK üretimi için yaygın olarak kullanılmakta olan metal ve alaşımları arasında yer almaktadır. Bununla birlikte alümina (Al_2O_3), bor karbür (B_4C) ve silyum karbür (SiC) gibi sert seramik tozlar ile takviye edilmiş Al alaşımlarının fiziksel ve mekanik özellikleri, tribolojik özellikleri ve korozyon direnci özelliklerine dair literatürde birçok çalışma mevcuttur. MMK üretimi için takviye malzemesi olarak kullanılabilen SiC, sahip olduğu yüksek ergime sıcaklığı ($1380 \text{ }^\circ\text{C}$), düşük yoğunluk ($3,21 \text{ gr/cm}^3$) ve yüksek sertlik ($\text{HV}_{10} \geq 22 \text{ GPa}$) (CeramTec 2021) özellikleri ile yüksek sıcaklık uygulamaları da olmak üzere birçok farklı alanda kullanılmaktadır. Ancak, oldukça sert olması nedeniyle işlenmesi zor olan SiC, takviye malzemesi olarak kompozit yapıların oluşturulmasında daha yaygın bir kullanıma sahiptir (Basavarajappa vd. 2007, Kök ve Özdin 2007, Uthayakumar vd. 2013, Ji vd. 2013, Veličković vd. 2017, Panwar ve Chauhan 2018).

MÖ yöntemi ergitilerek üretilmesi zor olan ya da ergitme yöntemi ile birbiri içinde çözünemeyen iki ya da daha fazla bileşenin deformasyona bağlı olarak katı çözelti halinde üretilmelerini içeren bir üretim yöntemidir. Özellikle metal ve seramik tozlarının kullanılması ile üretimi gerçekleştirilecek olan MMK'lerin hazırlanmasında MÖ yöntemi oldukça etkin bir yöntem olarak karşımıza çıkmakta ve homojen toz karışımı elde edebilmek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Suryanarayana vd. 2011, Luo vd. 2012, Varol ve Çanakçı 2013).

Bai ve diğerleri (2019) yapmış oldukları çalışmada, ortalama toz boyutu 3µm olan SiC tozların hacimce %25 olacak şekilde Al2124 matrise takviye edildiği MMK malzemeleri kullanmışlardır. Yapmış oldukları çalışmada kullanmış oldukları SiC takviyeli MMK yapının tungsten karbür (WC) ve polikristalin elmal ile işlenebilirliği üzerine çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Erturun ve Şahin (2019), mekanik öğütme yöntemiyle Al-SiC kompozitlerin üretimini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarının sonucu olarak öğütülmüş kompozit tozların toz boyutlarının öğütülmemişlere göre daha küçük olduğunu ortaya koymuşlardır. Ek olarak, artan öğütme süresinin SiC tozlarının Al matris içine gömülmesine ve buna bağlı olarak hem yüksek sertlik hem de homojen bir dağılım elde edilmesine katkı sağladığını ortaya koymuşlardır. Arık (2019), Al-SiC kompozit üretimi üzerine yaptığı çalışmasında Al ve SiC tozlar ve 10 mm çapa sahip bilyeler kullanarak 2 saat süre ile mekanik karıştırma işlemi gerçekleştirmiştir. Ardından 500 MPa basınç altında üretmiş olduğu kompozit tozları preslemiştir. Çalışması kapsamında gerçekleştirdiği eğme testleri neticesinde Al-SiC kompozit malzemelerin eğilme deformasyonunun saf Al ile kıyaslandığında neredeyse %22,8 daha düşük olduğunu ortaya koymuştur. Sertlik değerlerinde ise kompozit malzemenin sertlik değerinin saf Al ile kıyaslandığında %30,9 daha yüksek olduğu sonucuna ulaşmıştır. Ye ve diğerleri (2019) yapmış oldukları çalışmada, ağırlıkça %65 oranında 10µm ve 50 µm toz boyutuna sahip SiC toz içeriğine sahip Al/SiC kompozitlerin mekanik özellikleri üzerine deneysel çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Yapmış oldukları çalışmalar sonucunda 10 µm toz boyutuna sahip SiC tozlar ile takviye edilmiş Al matrisli kompozitlerin, 50 µm SiC tozlar ile takviye edilmişlere göre daha yüksek akma dayanıma sahip olduğunu raporlamışlardır. Dwivedi ve diğerleri (2014) yapmış oldukları çalışmada, A356/SiC kompozitlerin karıştırmalı döküm yöntemiyle üretimi ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi üzerine çalışmalar yürütmüşlerdir. Yapmış oldukları çalışmalar neticesinde %15 SiC takviyeli kompozit yapının sertliğinin 104,66 BHN ve çekme mukavemetinin 309,83 MPa olduğu

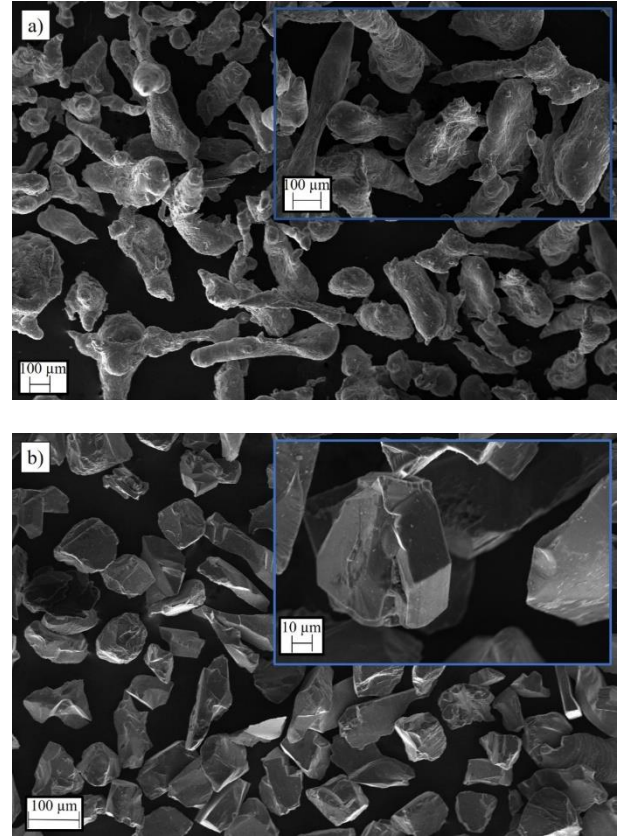
sonucuna ulaşmışlardır. Soltani ve diğerleri (2017), Rahman ve Rashed (2015) yapmış oldukları çalışmalarda Al/SiC kompozitlerin karıştırmalı döküm yöntemiyle üretimi ve karakterizasyonu üzerine çalışmalar gerçekleştirmişler ve %20 SiC takviyeli Al/SiC kompozitin 10 N yük altında en yüksek aşınma direncine sahip olduğunu raporlamışlardır. Rana ve diğerleri (2015) yapmış oldukları çalışmada, 35 µm toz boyutuna sahip SiC tozlar kullanarak Al5083/SiC kompozitlerin mekanik karıştırma yöntemiyle üretimi ve mekanik özelliklerinin karakterizasyonu üzerine çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Yapmış oldukları çalışmalar neticesinde ağırlık artan SiC takviye oranı ile sertlik ve çekme mukavemetinin arttığını, bununla birlikte %10 SiC içeren Al5083/SiC kompozitin 77 BHN sertlik ve 350 MPa çekme mukavemetine sahip olduğunu raporlamışlardır. Venkataraman ve Sundararajan (2000) yapmış oldukları çalışmada, Al7075/SiC kompozitlerin toz metalurjisi yöntemiyle üretimi ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi üzerine çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Kullanılan SiC tozların ortalama toz boyutunun 2,5 µm olduğu çalışmalarında %40 SiC takviyeli Al7075/SiC kompozitin sertlik değerinin 78 HV olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Erturun ve diğerleri (2020) yapmış oldukları çalışmada farklı ağırlıkça takviye oranlarına sahip Al, Zn, Mg, Cu ve SiC partikülleri 5 ve 10 saat süre ile mekanik öğütme işlemine tabi tutmuşlardır. Deneysel çalışmaları neticesinde 10 saatlik öğütme süresinin kullanıldığı %6 Zn içeriğine sahip malzemenin kristal boyutunun 51 nm'den 35 nm'ye düştüğünü ve bunun en uygun kristal boyutu olduğunu ortaya koymuşlardır. Elde ettikleri sonuçlar neticesinde mekanik öğütme süresinin artmasıyla kristal boyutunun azaldığını raporlamışlardır. Kaushik ve Rao (2016) yapmış oldukları çalışmada, mekanik karıştırma yöntemi ile Al6082/SiC/Gr hibrit kompozitlerin üretimini gerçekleştirmişlerdir. Yapmış oldukları çalışmada kullandıkları SiC tozlara ait ortalama toz boyutunun 32 µm, Gr tozlara ait ortalama toz boyutunun ise 40 µm olduğunu ve mekanik karıştırma işleminin 400 devir/dk karıştırma hızında 10 dakika süre ile gerçekleştirildiğini raporlamışlardır. Yapmış oldukları çalışmaların

sonucunda Al6082, Al6082/SiC ve Al6082/SiC/Gr kompozitlere ait sertlik değerlerinin sırasıyla 52 HBW, 67 HBW ve 60 HBW olduğunu ortaya koymuşlardır. Bandil ve diğerleri (2019) yapmış oldukları çalışmada, Al-Si alaşımının yaklaşık toz boyutu 50 μm (300 mesh) olan SiC tozlar ile %0-20 ağırlıkça takviye oranlarında takviye edilmesi ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi üzerine çalışmalar gerçekleştirmişlerdir ve yapmış oldukları çalışmalar neticesinde ağırlıkça %15 SiC takviyeli kompozit yapının en yüksek sertliğe sahip olduğunu raporlamışlardır.

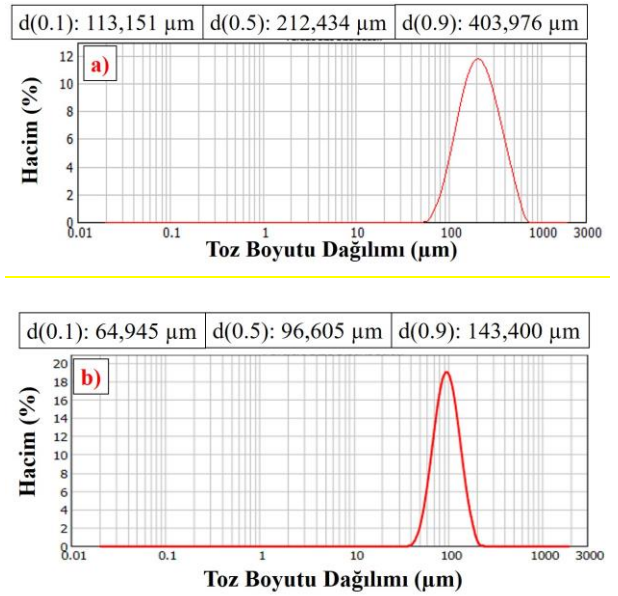
Bu çalışmada, Al2024 ve SiC tozların MÖ ve SP yöntemleri kullanılarak MMK olarak üretimi ve karakterizasyonu çalışmaları gerçekleştirilmiştir. MÖ yöntemi ile üretilen Al2024/SiC tozlar ağırlıkça %10, %20 ve %40 SiC takviyesi içermektedir. Deneysel çalışmalar sonucu üretilen malzemelerin morfoloji, mikroyapı, elementel analiz, sertlik ve yoğunluk özellikleri belirlenmiştir.

2. Deneysel Çalışmalar

Bu çalışmada matris malzemesi olarak Al2024 (%99,9 saflık) ve takviye malzemesi olarak SiC (%99,9 saflık) tozlar kullanılmıştır. Al2024 tozlar çubuk benzeri morfolojiye sahiptir ve ortalama toz boyutu 212,434 μm 'dir. SiC tozlar ise düzensiz morfolojiye sahiptir ve 96,605 μm ortalama toz boyutuna sahiptir. Al2024 ve SiC tozların morfoloji incelemelerini içeren SEM görüntüleri Şekil 1'a ve b'de, toz boyutu dağılım grafikleri ise Şekil 2a ve b'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Matris ve takviye tozların morfoloji incelemelerine ait SEM görüntüleri; Al2024 (a) ve SiC (b).



Şekil 2. Matris ve takviye tozlara ait toz boyutu dağılım grafikleri; Al2024 (a) ve SiC (b).

Al2024/SiC tozların üretimi MÖ, kompozit malzeme üretimi ise SP yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Al2024/SiC tozların üretimi için gerçekleştirilen MÖ işlemlerinde ve tozların yoğunlaştırılarak kompozit malzeme üretimi için gerçekleştirilen SP deneylerinde kullanılan parametreler Çizelge 1'de yer almaktadır. MÖ işlemleri WC bilye (10 mm) ve hazne kullanılarak bilyeli öğütme makinesinde gerçekleştirilmiştir. MÖ işlemlerinde tozların işlem süresince ortaya

çıkan deformasyon ve bu deformasyonlara bağlı olarak gelişen ısı nedeniyle topaklanması ve özelliklerinin olumsuz etkilenmesini engellemek için işlem kontrol katkısı (İKK) olarak metil alkol kullanılmıştır. MÖ işleminde bilye : toz oranı (BTO) 10:1 olacak şekilde belirlenmiştir. MÖ sonrası elde kompozit tozlar sıcak iş takım çeliğinden yapılan presleme kalıbı içerisine şarj edilmiş ve ardından 100 ton kapasiteli hidrolik presleme cihazı ile SP işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 1. MÖ ve SP işlemlerinde kullanılan deney parametreleri.

Kod	MÖ				SP			
	Al2024 (% ağ.)	SiC (% ağ.)	Dönüş Hızı (dev./dk.)	İKK (L)	Süre (saat)	Sıcaklık (°C)	Basınç (N/mm ²)	Süre (saat)
1	90	10						
2	80	20	400	0,01	6	560	500	3
3	60	40						

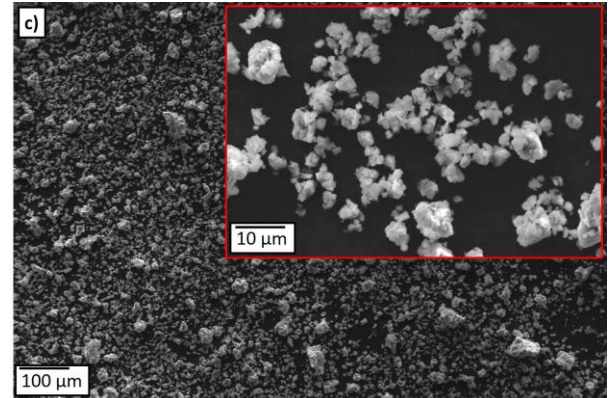
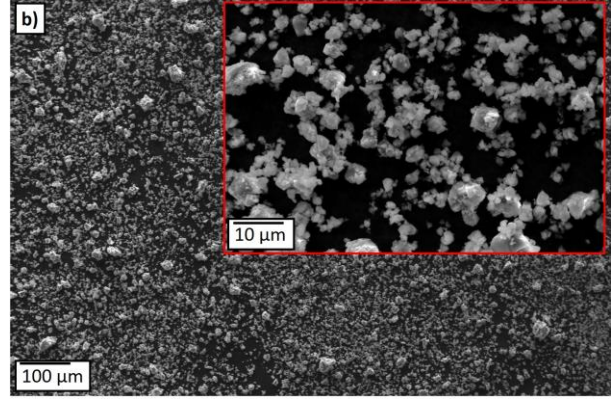
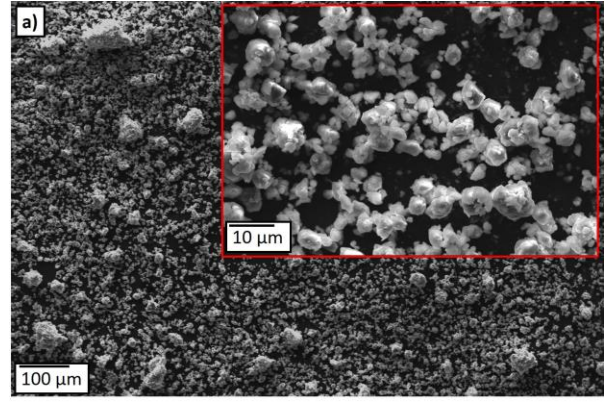
Bu çalışma kapsamında MÖ yöntemi ile üretimi gerçekleştirilen Al2024/SiC tozlara ve SP yöntemi ile yoğunlaştırma işlemlerinin ardından elde edilen kompozit numunelere ait morfoloji ve mikroyapı incelemeleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kompozit numunelere ait elementel haritalama analizi deneyleri EDS ile gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçümleri otomatik sertlik ölçüm cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçümleri Vickers sertlik ölçümü yöntemi ile gerçekleştirilmiş ve HV/0,5 sertlik birimi ile hesaplanmıştır. Yoğunlaştırılmış numunelere ait yoğunluk değerlerinin belirlenmesi için Arşimet prensibine uygun olarak Arşimet yoğunluk ölçümü deney düzeneği kullanılmış ve yoğunluk hesaplamaları gerçekleştirilmiştir.

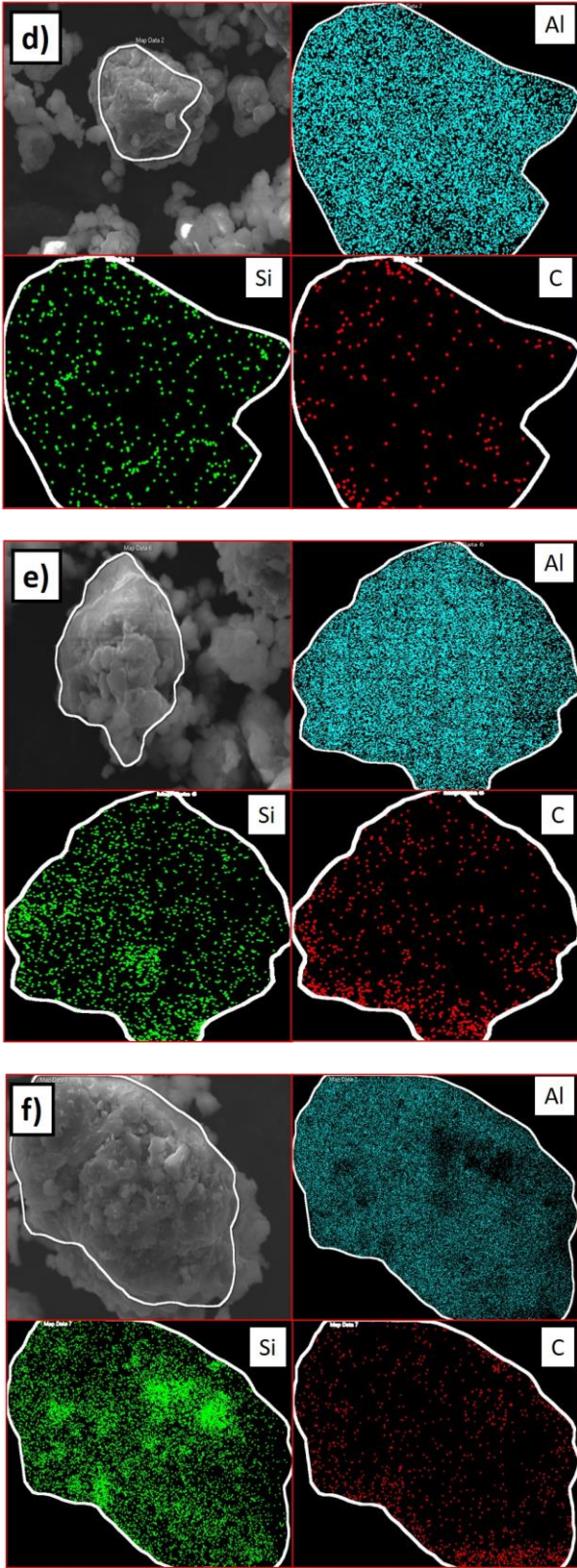
3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Morfoloji incelemeleri ve toz boyutu ölçümleri

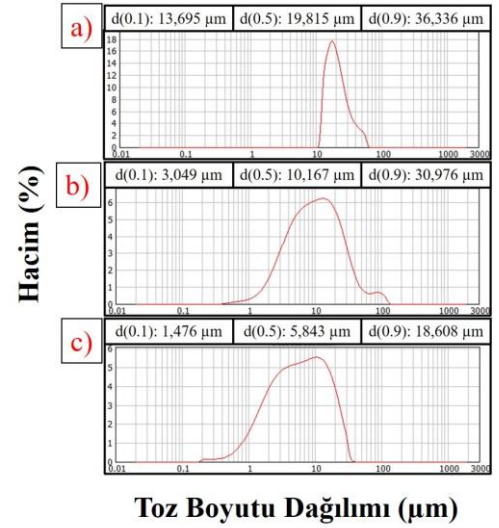
Al2024 ve SiC tozların Çizelge 1'de yer alan ağırlıkça oranları ve MÖ parametreleri doğrultusunda gerçekleştirilen MÖ işlemleri sonrasında elde edilen Al2024/SiC tozların morfoloji incelemelerine ait SEM görüntüleri Şekil 3a-c'de gösterilmektedir. Şekil 3.a incelendiğinde 1 numaralı deney olan %10 SiC takviyeli kompozit tozların MÖ işlemi sonrasında farklı bir morfolojiye sahip oldukları ve kompozit toz boyutunun oldukça azaldığı görülmektedir. Bununla birlikte, sünek matris tozların gevrek takviye tozlarının etrafında tıpkı bir kaplama tabakası gibi topaklandığı da anlaşılmaktadır. Bu durum 2 ve 3 numaralı deneylerde de benzer şekildedir ve kompozit toz boyutu ağırlıkça artan takviye oranı ile giderek azalmaktadır. Benzer sonuçlar literatür

çalışmalarında da yer almaktadır. Ek olarak, %10, %20 ve %40 SiC takviyeli kompozit tozlara ait her bir toz tanesi üzerinde yapılmış EDS haritalama deney sonuçları Şekil 3d-f'de gösterilmiştir. Şekil 3d-f incelendiğinde SiC yapısını oluşturan Si ve C elementlerine ait haritalama desenlerinin Al elementine kıyasla daha az olduğu ancak artan takviye oranıyla her iki elementin haritalama desenlerinin belirgin hale geldiği görülmektedir. Burada gerçekleşen mekanizma Al tozların MÖ sırasında SiC tozların etrafını çevrelemesi ve SiC tozların Al matris içerisine hapsolmesidir. Haritalama görüntülerinden anlaşılacağı gibi %10 takviye oranında homojen bir dağılım gözlenirken %20 takviye oranında bir miktar SiC tozun topaklanma eğilimine geçtiği belirlenmiştir. En yüksek oran olan %40 SiC takviyeli kompozit tozlarda ise topaklanma bölgelerinin arttığı açıkça görülmektedir. Seramik SiC takviye tozların %40 gibi yüksek oranlarda matris Al2024'e ilave edilmesiyle topaklanma bölgeleri tespit edilmiş olsa da ilave tozların matris içerisinde dağılımının başarılı bir şekilde gerçekleştiği, başka bir deyişle ıslatma özelliği kötü olarak bilinen seramik takviye-metal matris ara yüzeyine rağmen tamamıyla bir topaklanmanın gerçekleşmediği açıktır. Kamrani ve diğerleri (2007) yapmış oldukları çalışmada, 41,8 µm ortalama toz boyutuna sahip Al tozlar ile ortalama toz boyutu 1 µm olan SiC tozların hacimce %0, 1, 3, 5, 7 ve 10 SiC içeriği ile MÖ yöntemi kullanarak üretilmesi üzerine çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Yapmış oldukları çalışma neticesinde artan takviye oranı ile elde edilen Al/SiC tozların toz boyutlarının sürekli azaldığını ortaya koymuşlardır. Literatürde yer alan çalışmalar benzer şekilde, artan takviye oranıyla azalan toz boyutu eğiliminde olan Al2024/SiC tozlara ait toz boyutu dağılım grafikleri Şekil 4a-c'de yer almaktadır. Şekil 4a-c incelendiğinde, %10, %20 ve %40 SiC takviyesi ile üretilen tozlara ait ortalama toz boyutlarının sırasıyla 19,815 µm, 10,167 µm ve 5,843 µm olarak belirlendiği görülmektedir. Bu durum literatür çalışmalarıyla uyumlu olarak MÖ işleminde, yapı içerisinde ağırlıkça artan seramik toz takviyesinin toz boyutunun azalmasına yol açtığını göstermektedir.





Şekil 3. MÖ yöntemi ile üretilen Al₂O₃/SiC tozların morfoloji incelemelerine ait SEM görüntüleri; %10 SiC takviyesi (a), %20 SiC takviyesi (b), %40 SiC takviyesi (c) ve EDS haritalama deney sonuçları; %10 SiC takviyesi (d), %20 SiC takviyesi (e), %40 SiC takviyesi (f).

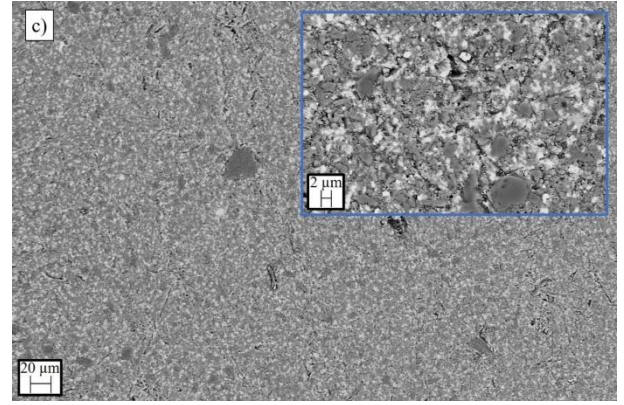
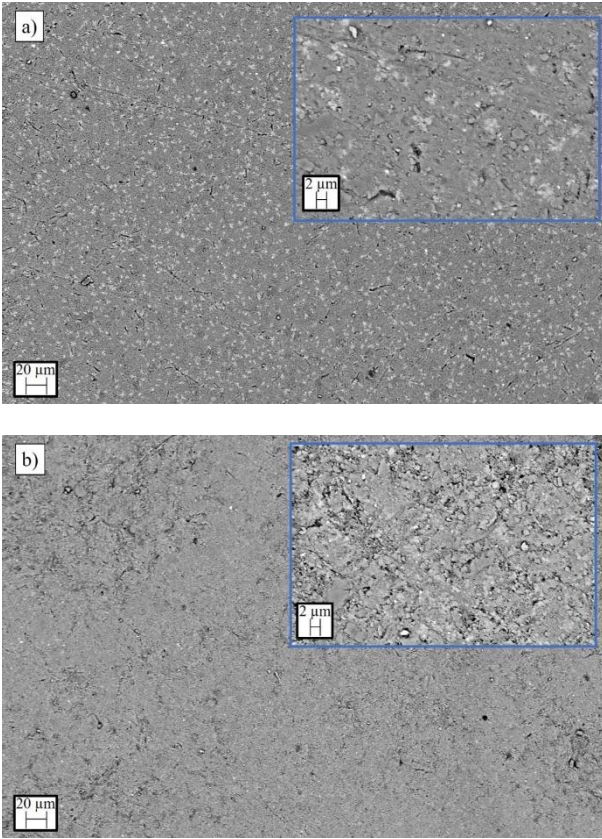


Şekil 4. MÖ yöntemi ile üretilen Al₂O₃/SiC tozlara ait toz boyutu dağılım eğrileri; %10 SiC takviyesi (a), %20 SiC takviyesi (b) ve %40 SiC takviyesi (c).

3.2. Mikroyapı incelemeleri ve elementel haritalama

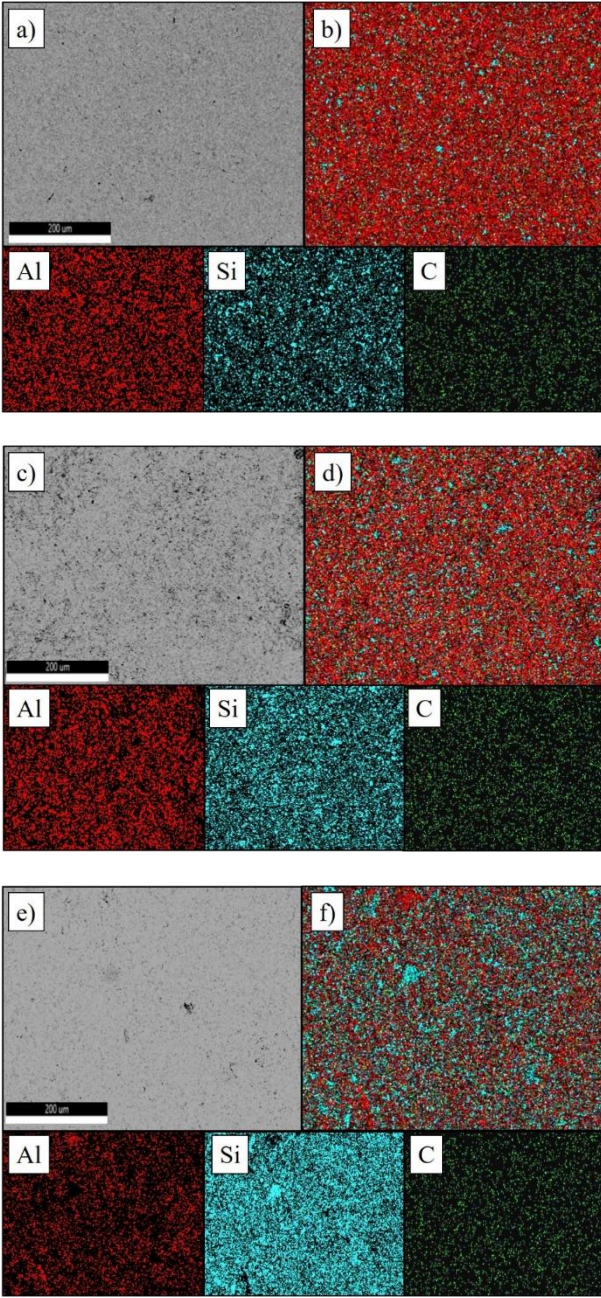
Şekil 5a-c, ağırlıkça farklı SiC takviyesi içeren Al₂O₃/SiC kompozit malzemelerin mikroyapı incelemelerine ait SEM görüntülerini içermektedir. Şekil 5a-c incelendiğinde, ağırlıkça artan SiC takviyesi ile mikro yapıda porozite oluşumu eğiliminin arttığı görülmektedir. Bu durum sert tozların yoğunlaştırılabilme kabiliyetinin düşük olması ile ilişkilendirilebilir. Literatürde yer alan çalışmalarda benzer durumlar söz konusudur. Çanakçı ve Varol (2014) yapmış oldukları çalışmada, Al₇₀Si₃₀-SiC kompozitlerin üretimi ve karakterizasyonu üzerine çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Yapmış oldukları çalışmada ağırlıkça %2,5, 5 ve 10 SiC ve %10, 20, 30 ve 50 oranında Al içeren ağırlıkça %kalan olarak da geri dönüştürülmüş Al₇₀Si₃₀ talaşları kullanarak Al₇₀Si₃₀/Al-SiC kompozitlerin üretimini gerçekleştirmişlerdir. Üretim yöntemi olarak SP yöntemi kullanmışlardır. Çalışmalarında kullandıkları SiC tozlara ait ortalama toz boyutunun 16 µm olduğunu belirlemişlerdir. SP ile yoğunlaştırılan Al₇₀Si₃₀/Al-SiC kompozitlerin mikro yapılarında artan SiC takviye oranıyla porozite oluşumunun arttığını gözlemişler ve bu durumun SiC tozların aglomerasyonu ve yoğunlaştırılabilme kabiliyetinin düşük olması ile ilişkili olduğunu raporlamışlardır. Hafizpour ve diğerleri (2009)

yapmış oldukları çalışmada, hacimce %0-30 arasında değişken oranda takviye edilen ve toz boyutu 50 nm ile 40 µm arasında değişken olan SiC toz takviyeli Al matrisli kompozitlerin sıkıştırılabilirliği ve karakterizasyonu üzerine çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Yapmış oldukları çalışmaların sonucunda, sert toz miktarının artması ve toz boyut oranına bağlı olarak yoğunlaşabilme kabiliyetinin doğrudan etkilendiği sonucuna ulaşmışlardır. Bu bağlamda literatürde yer alan çalışmalarla benzer sonuçlanan mikroyapı incelemeleri göstermektedir ki, artan sert takviye toz miktarı MMK'nin yoğunlaştırılabilme kabiliyeti üzerindeki en önemli parametrelerden biridir ve porozite oluşumuna yol açmaktadır.



Şekil 5. Al2024/SiC kompozit numunelerin mikroyapı incelemelerine ait SEM görüntüleri; %10 SiC takviyesi (a), %20 SiC takviyesi (b) ve %40 SiC takviyesi (c).

MÖ ve SP yöntemi ile üretilen Al2024/SiC kompozit malzemelere ait elementel haritalama görüntüleri Şekil 6a-f'de yer almaktadır. Şekil 6a ve b incelendiğinde, %10 SiC toz takviyesi içeren yapıda homojen bir dağılım olduğu görülmektedir. Bu durum Al2024/SiC tozların MÖ yöntemi ile üretilmesinin homojen bir mikroyapı elde etmek için oldukça etkin bir yöntem olduğunu kanıtlamaktadır. Homojen bir dağılım ihtiva eden yapının her bölgesinde fiziksel ve mekanik olarak aynı performansın sergileneceği göz önüne alındığında, bu çalışmada kullanılan MÖ ve SP parametrelerinin Al2024/SiC kompozit malzemelerin üretilmesi için oldukça etkin olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 6c-e ve d-f incelendiğinde, yapı içerisinde ağırlıkça artan SiC toz takviyesi ile Si ve C elementlerine ait yoğunluğun arttığı açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 6. Al2024/SiC kompozit numunelere ait mikroyapı; %10 SiC (a), %20 SiC (c), %40 SiC (e) ve elementel haritalama; %10 SiC (b), %20 SiC (d) ve %40 SiC (f) görüntüleri.

3.3. Sertlik ve Yoğunluk

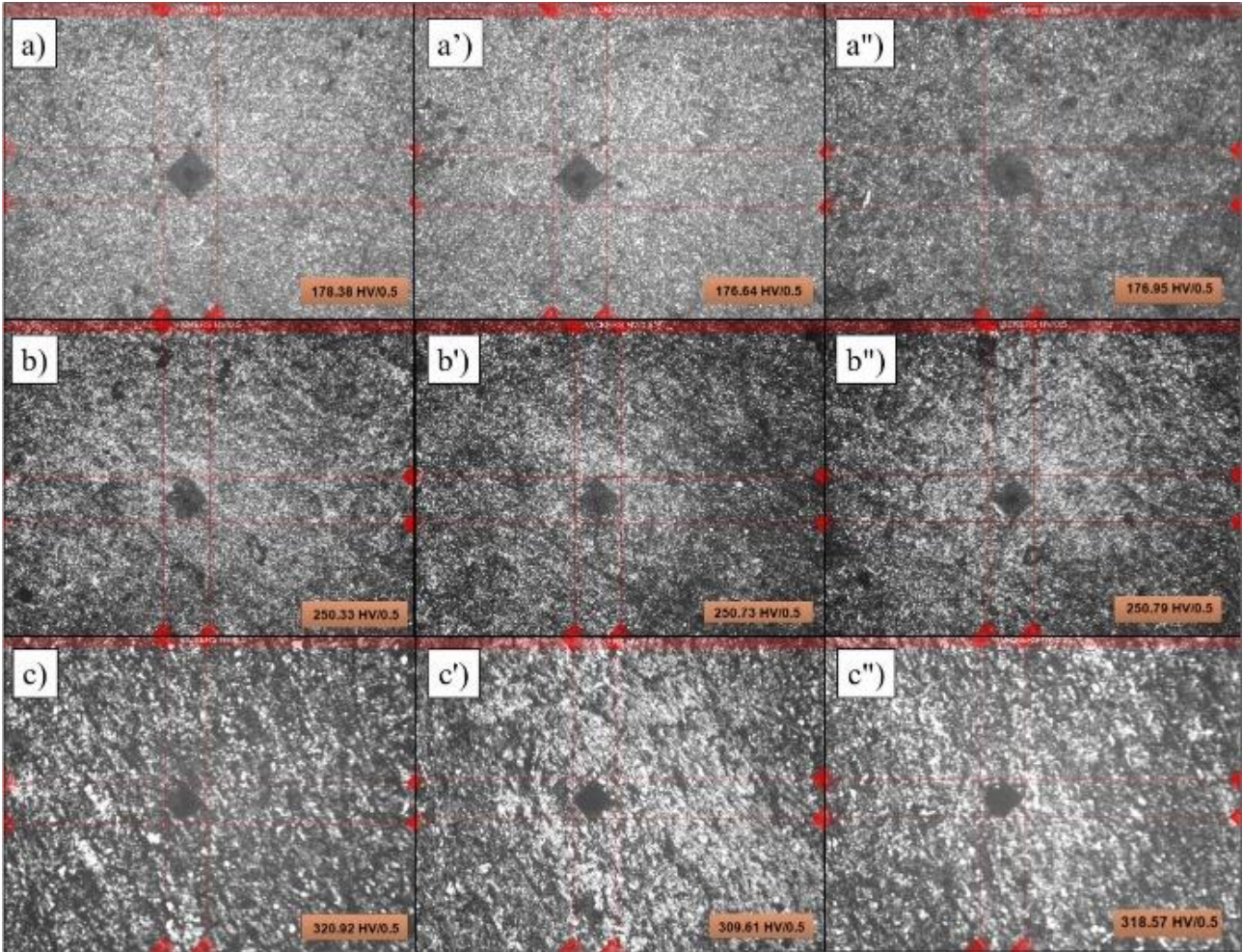
Al2024/SiC kompozit malzemelerin sertlik değerlerinin belirlenmesi için gerçekleştirilen sertlik ölçüm deneylerine ait sertlik izi belirleme ve ölçümü görüntüleri Şekil 7'de gösterilmektedir. Şekil 7 incelendiğinde, her bir deney numunesi için üç farklı bölgeden sertlik ölçümü yapıldığı ve sertlik değerlerinin mikro yapının farklı bölgelerinde birbirine çok yakın olarak ölçüldüğü görülmektedir. Bu durum, elementel haritalama

bölümünde de anlatıldığı üzere mikro yapıda homojen dağılıma sahip olan matris ve takviye fazlarının yapının her bölgesinde aynı performansı gösterebilecek bir kompozisyon oluşturduğunu desteklemektedir. Ayrıca, artan SiC toz takviyesi ile yapının sertliğinin önemli ölçüde arttığı görülmektedir. Sertlik değerleri %10 SiC takviyeli kompozit numune için ortalama 177,323 HV(0,5), %20 SiC takviyeli kompozit numune için ortalama 250,617 HV(0,5) ve %40 SiC takviyeli kompozit numune için 316,367 HV(0,5) olarak belirlenmiştir. Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde, MÖ ve SP yöntemi kullanılarak üretilen Al/SiC kompozit numunelere ait sertlik değerleri ile tutarlı olan sertlik değerleri elde edilmiştir. Gu (2006) yapmış olduğu çalışmada, nano (20-50nm) ve mikro (45 µm) SiC tozlar ile Al tozların %10 SiC takviyesi ile 20:1 BTO ve İKK olmadan MÖ yöntemi kullanarak Al/SiC ve Al/SiCnano tozların üretimini gerçekleştirmişlerdir. 450 °C sıcaklık parametresi ile SP yöntemi kullanarak yoğunlaştırdıkları kompozit malzemelerde artan presleme basıncı ile SiC tozların yapıda daha homojen bir dağılıma sahip olduğu gözlemlenmiştir. SiC tozların yapıda homojen dağılması, sahip oldukları yüksek sertlik özelliklerini yapının tüm bölgelerinde sergileyebileceklerini de ifade etmektedir. Kamrani ve diğerleri (2009) yapmış oldukları çalışmada, hacimce %1, 3, 5, 7 ve 10 SiC toz takviyesi içeren Al/SiC nanokompozitleri MÖ yöntemi kullanarak üretmişlerdir. Üretmiş oldukları Al/SiC tozları double pressing/sintering olarak isimlendirilen iki kez presleme ve sinterleme işlemlerinin uygulandığı proses ile önce argon atmosferinde 200 MPa basınç altında presledikten sonra 640 °C sıcaklıkta sinterlemişlerdir. Ardından, SiC toz içeriğine bağlı olarak 500-700 MPa aralığında presleme ve sonrasında 635 °C sıcaklıkta sinterleme işlemiyle nihai kompozit malzeme üretimini gerçekleştirmişlerdir. Üretmiş oldukları kompozit numunelere ait sertlik değerlerinin artan SiC takviye oranı ile arttığını ve %1 SiC takviyeli kompozit numune için 105 HV(0,5) olan sertlik değerinin %7 SiC takviyeli kompozit numune için 158 HV(0,5) olarak belirlendiğini raporlamışlardır. Literatür çalışmaları dikkate alındığında, bu

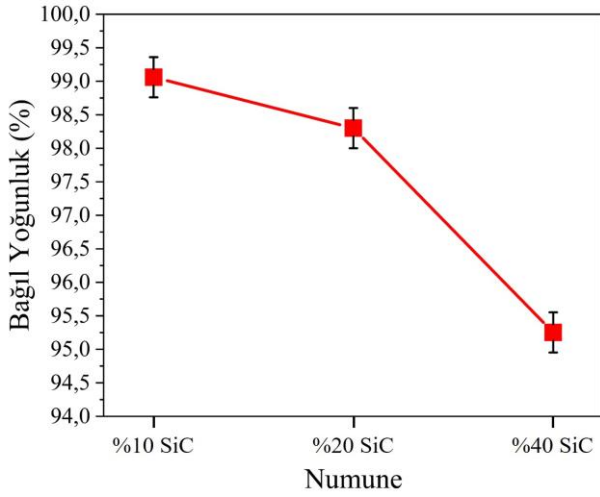
çalışmada yüksek SiC takviye oranları ile literatür çalışmalarından farklı olarak daha yüksek sertlik değerlerine ulaşılmıştır.

Bağıl yoğunluk değeri (%) Şekil 8’de yer almaktadır. Şekil 8 incelendiğinde, artan SiC toz miktarı ile %bağıl yoğunluğun azalan bir davranış gösterdiği anlaşılmaktadır. Bu durum, SiC toz miktarının sıkıştırılabilirlik, başka bir deyişle yoğunlaştırılabilirlik, özelliğinin düşük olması ile açıklanabilir. Bağıl yoğunluk değerleri %10, 20 ve 40 SiC takviyeli Al2024/SiC kompozit malzemeler

için sırasıyla %99,060, %98,301 ve %95,252 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler göstermektedir ki yoğunlaştırılabilirliği düşük olan seramik tozların yapı içerisinde ağırlıkça oranı artsa bile bu çalışmada uygulanan SP işlemi ve parametreleri kompozit malzemelerin %100 yoğunluğa yakın değerlere ulaşabilmesini sağlamaktadır. Bu sonuç, bu çalışma kapsamında yoğunlaştırma deneylerinde kullanılan SP yöntemi parametrelerinin Al2024/SiC kompozit malzemelerin üretimi için oldukça uygun olduğunu destekler niteliktedir.



Şekil 7. Al2024/SiC kompozit malzemelere ait sertlik ölçüm deneyi incelemeleri; %10 SiC takviyesi (a, a', a''), %20 SiC takviyesi (b, b', b'') ve %40 SiC takviyesi (c, c', c'').



Şekil 8. Al2024/SiC kompozit numunelere ait bağlı yoğunluk grafiği.

4. Sonuçlar

- Bu çalışma kapsamında MÖ yöntemi ile ağırlıkça %10, 20 ve 40 SiC takviyesi içeren Al2024/SiC tozların üretimi başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Başlangıç morfolojileri ve toz boyutları ile kıyaslandığında (Al; çubuk benzeri morfoloji ve 212,434 µm ortalama toz boyutu ve SiC; düzensiz morfoloji ve 96,605 µm ortalama toz boyutu) MÖ işlemi sonrasında homojen bir morfoloji ve ağırlıkça artan seramik toz (SiC) oranı ile azalan bir toz boyutu sonuçları ortaya çıkmıştır. MÖ işleminin ardından gerçekleştirilen toz boyutu ölçümleri %10, 20 ve 40 SiC takviyesi içeren Al2024/SiC tozlar için sırasıyla 19,815 µm, 10,167 µm ve 5,843 µm'dir.
- SP yöntemi ile üretimi gerçekleştirilen Al2024/SiC kompozit numunelere ait mikroyapı görüntüleri ağırlıkça artan SiC toz takviyesi ile mikroyapı içerisinde porozite oluşumunun arttığını göstermektedir. Bu durum SiC tozların yüksek sertliğe sahip olması ve şekillendirilebilirlik özelliklerinin düşük olmasıyla ilişkilidir.
- Sertlik deneyleri sonucunda yapı içerisinde artan SiC toz miktarı ile sertlik değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Sertlik ölçüm deneyleri sonucunda ağırlıkça %10, 20 ve 40 SiC takviyesi içeren numunelere ait ortalama sertlik değerleri sırasıyla 177,23 HV(0,5), 250,617 HV(0,5) ve 316,67 HV(0,5) olarak belirlenmiştir.
- Arşimet yöntemi ile gerçekleştirilen yoğunluk ölçümleri sonrasında elde edilen bağlı yoğunluk

değerleri ağırlıkça %10, 20 ve 40 SiC içeren Al2024/SiC kompozit numuneler için sırasıyla %99,060, %98,301 ve %95,252'dir. Bu sonuçlar, yapı içerisinde artan SiC toz içeriğinin bağlı yoğunluğun azalmasına neden olduğunu ortaya koymaktadır.

TEŞEKKÜR

Karadeniz Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinatörlüğü, FBA-2020-8478 numaralı proje ile bu çalışmanın yürütülmesinde maddi destek sağlamıştır. Yazarlar, desteklerinden dolayı BAP'a teşekkür etmektedir.

Kaynaklar

- Arık, H., 2019. Toz Metalurjisi Metoduyla Al-SiC Kompozit Malzeme Üretimi ve Aşınma Özelliklerinin Araştırılması. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, **7**(3), 741-754.
- Ashikhmina, N. A., Bogotikov, A. I., A. V. Gorshkov, A. V. Mokhov Et Al., Dokl. Akad. Nauk. SSSR. 746 (1979) **4**, 958 – 961.
- Aydın H. Ve Bayram A. 2010. Farklı Isıl İşlem Koşullarındaki 2024 Alüminyum Alaşımlarının Korozyon Sonrası Mekanik Özelliklerindeki Kaybın Belirlenmesi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **15**(1), 159-168.
- Bai, W., Roy, A., Sun, R., and Silberschmidt, V. V. 2019. Enhanced machinability of SiC-reinforced metal-matrix composite with hybrid turning. *Journal of Materials Processing Technology*, **268**, 149-161.
- Bandil, K., Vashisth, H., Kumar, S., Verma, L., Jamwal, A., Kumar, D., Singh, N., Sadasivuni, K.K. and Gupta, P. 2019. Microstructural, mechanical and corrosion behaviour of Al-Si alloy reinforced with SiC metal matrix composite. *Journal of Composite Materials*, **53**(28-30), 4215-4223.
- Basavarajappa, S., Chandramohan and G., Davim J. P. 2007. Application Of Taguchi Techniques To Study Dry Sliding Wear Behaviour Of Metal Matrix Composites. *Materials And Design*, **28**, 1393-1398.
- Canakci, A. and Varol, T. 2014. Microstructure And Properties Of AA7075/Al-SiC Composites Fabricated

- Using Powder Metallurgy And Hot Pressing. *Powder Technology*, **268**, 72–79.
- Durmuş, H.K., Okur, A. and Meriç, C. 2003. A Study On The Effects Of Cooling Conditions On Hardness Of AA 2014 And AA 2024 Aluminum Alloys. *Journal Of Engineering Sciences*, **9**, 9-13.
- Dwivedi, S.P., Sharma, S., Mishra, R.K. 2014. Microstructure And Mechanical Properties Of A356/SiC Composites. *Procedia Materials Science*, **6**, 1524–1532.
- Erdoğan, M., Güneş, İ. ve Erçetin, A. 2014. AA 2024 Alüminyum Alaşımının Doğal Yaşlandırma Yöntemi ile Mekaniksel Özelliklerin İncelenmesi. *15th International Materials Symposium (IMSP'2014)*, Denizli, Türkiye.
- Erturun, V. ve Sahin, O., 2019. Investigation of Microstructural Evolution in Ball-Milling of SiC Reinforced Aluminum Matrix Composites. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, **57**, 687–696.
- Erturun, V., Çetin, S. ve Sahin, O., 2020. Investigation of Microstructure of Aluminum Based Composite Material Obtained by Mechanical Alloying. *Metals and Materials International*, **27**(6), 1662-1670.
- Frank, W. B., Haupin, W. E., Vogt, H., Bruno, M., Thonstad, J., Dawless, R. K. and Taiwo, O. A., 2000. Aluminum. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry.
- Gavgalı, M., Çetin, R., 1995. The Effect Of Homogenisation Temperature On The Micro Structure Of Aluminium Ingot Alloy (AA2014). *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, **2**, 41-46.
- Gu, W. L., 2006. Bulk Al/SiC Nanocomposite Prepared By Ball Milling And Hot Pressing Method. *Transactions Of Nonferrous Metals Society Of China*, **16**, 398-401.
- Hafizpour, H.R., Sanjari, M. and Simchi, A., 2009. Analysis Of The Effect Of Reinforcement Particles On The Compressibility Of Al–SiC Composite Powders Using A Neural Network Model. *Materials & Design*, **30**(5), 1518–1523.
- Hatch, J. E., 1984. Aluminum Its Properties and Physical Metallurgy. *American Society for Metals, Metals Park, Ohio*.
- Ji, R., Liu, Y., Zhang, Y., Cai, B., Li, X., and Zheng, C., 2013. Effect of machining parameters on surface integrity of silicon carbide ceramic using end electric discharge milling and mechanical grinding hybrid machining. *Journal of Mechanical Science and Technology*, **27**(1), 177-183.
- Kamrani, S., Simchi, A., Riedel, R., Seyed Reihani, S. M., 2007. Effect Of Reinforcement Volume Fraction On Mechanical Alloying Of Al–SiC Nanocomposite Powders. *Powder Metallurgy*, **50**(3), 276–282.
- Kaushik, N. C. and Rao, R. N. 2016. Effect of grit size on two body abrasive wear of Al 6082 hybrid composites produced by stir casting method. *Tribology International*, **102**, 52-60.
- Kok, M., Ozdin, K., 2007. Wear Resistance Of Aluminium Alloy And Its Composites Reinforced By Al₂O₃ Particles. *Journal Of Materials Processing Technology*, **183**, 301–309.
- Luo, X. T., Yang, G. J. and Li, C. J., 2012. Preparation Of Cbnp/Nicral Nanostructured Composite Powders By A Step-Fashion Mechanical Alloying Process. *Powder Technology*, **217**, 591-598.
- Panwar, N. and Chauhan, A., 2018. Fabrication methods of particulate reinforced Aluminium metal matrix composite-A review. *Materials Today: Proceedings*, **5**(2), 5933-5939.
- Rahman, M. H. and Al Rashed, H. M., 2014. Characterization of silicon carbide reinforced aluminum matrix composites. *Procedia Engineering*, **90**, 103-109.
- Rana, R.S., Purohit, R., Soni, V.K., 2015. Characterization Of Mechanical Properties And Microstructure Of Aluminium Alloy-SiC Composites. *Materials Today: Proceedings*, **2**, 1149–1156.
- Sjögren, B., Iregren, A., Montelius, J., & Yokel, R. A., 2015. Aluminum. In *Handbook on the Toxicology of Metals*, 549-564.
- Soltani, S., Khosroshahi, R. A., Mousavian, R. T., Jiang, Z. Y., Boostani, A. F., and Brabazon, D., 2017. Stir casting process for manufacture of Al–SiC composites. *Rare Metals*, **36**(7), 581-590.

Suryanarayana, C., Klassen, T. and Ivanov, E., 2011. Synthesis Of Nanocomposites And Amorphous Alloys By Mechanical Alloying. *Journal Of Materials Science*, **46**(19), 6301-6315.

Uthayakumar, M., Aravindan, S., Rajkumar, K., 2013. Wear Performance Of Al–SiC–B4C Hybrid Composites Under Dry Sliding Conditions. *Materials And Design*, **47**, 456–464.

Varol, T. and Çanakçı, A., 2013. Synthesis And Characterization Of Nanocrystalline Al 2024–B4C Composite Powders By Mechanical Alloying. *Philosophical Magazine Letters*, **93**(6), 339-345.

Veličković, S., Stojanović, B., Babić, M. and Bobić, I., 2017. Optimization of tribological properties of aluminum hybrid composites using Taguchi design. *Journal of composite materials*, **51**(17), 2505-2515.

Venkataraman, B., Sundararajan, G. 2000. Correlation Between The Characteristics Of The Mechanically Mixed Layer And Wear Behavior Of Aluminium. Al-7075 Alloy And Al-MMC's. *Wear*, **245**, 22–38.

Ye, T., Xu, Y. and Ren, J., 2019. Effects Of SiC Particle Size On Mechanical Properties Of SiC Particle Reinforced Aluminum Metal Matrix Composite. *Materials Science And Engineering: A*, **753**, 146–155.

İnternet Kaynakları

ceramtec.com.tr/Seramik-Malzemeler/Silisyum-Karbur/
(06.11.2021)