



Toz Metal AA 2014-SiC-B₄C Kompozit/Hibrit Malzemelerinin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

Hakan GÖKMEŞE^{1,*} Hakan BURAK KARADAĞ²

¹Konya Necmettin Erbakan Üniversitesi, Seydişehir Ahmet Cengiz Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 42370, Seydişehir/KONYA

²Konya Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 42360, KONYA

Öz

Bu çalışmada, toz metalurjisi yöntemiyle AA 2014 alüminyum alaşımı ve B₄C-SiC seramik parçacık takviyeli hibrit metal matrisli kompozit malzemelerinin üretimi, mikro yapı ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Bu amaçla, SiC (%5-10-15), B₄C (%5-10-15) ve B₄C-SiC (%10-%10) farklı hacim oranlarında seramik parçacık takviyeli kompozit ve hibrit kompozit malzemeleri alüminyum matris yapısında üretilmiştir. Matris ve takviye toz karışımları, tek yönlü olarak 700MPa altında blok numuneler şeklinde preslenerek, Argon atmosferinde 600°C sıcaklıkta 1 saat sinterlenmiştir. Üretimi gerçekleştirilen deney numuneleri, SEM (Taramalı Elektron Mikroskop), Optik mikroskop ve mikro sertlik (HV 0.1) ölçümleri bakımından karakterize edilmiştir. B₄C ve SiC seramik parçacıklarının hacim oranının artışına bağlı olarak, alüminyum matris yapısında homojen bir dağılım sergilediği mikro yapı görüntüleri ile tespit edilmiştir. AA 2014 alüminyum alaşımına göre, artan SiC ve B₄C seramik parçacık takviye oranına bağlı olarak, sertlik değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. B₄C-SiC parçacık takviyeli hibrit kompozit malzemelerinde ise, %15 B₄C ve %15 SiC içeren tek seramik faz takviyesine göre nispeten mikro sertlik değeri azalmıştır.

Makale Bilgisi

Başvuru: 12/12/2017

Düzeltilme: 08/02/2018

Kabul: 27/02/2018

Anahtar Kelimeler

Toz metalurjisi

Alüminyum

Hibrit kompozit

Mikro yapı

Sertlik

Keywords

Powder metallurgy

Aluminum

Hybrid composite

Microstructure

Hardness

Examination of Microstructure and Mechanical Properties of Powder Metal AA 2014-SiC-B₄C Composite / Hybrid Materials

Abstract

In this study, the production, microstructure and mechanical properties of AA 2014 aluminum alloy and B₄C-SiC ceramic particle reinforced hybrid metal matrix composite materials were investigated by powder metallurgy. For this purpose, SiC (5-10-15%), B₄C (5-10-15%) and B₄C-SiC (10%-10%) ceramic particle reinforced composite and hybrid composite materials were produced in different volume ratio on aluminum matrix structure. Matrix and reinforcement powder blends were sintered under argon atmosphere at 600°C for 1 hour by pressing one-way as block-shaped samples under 700MPa. The produced experiment specimens were characterized in terms of SEM (Scanning Electron Microscope), Optical microscope and micro hardness (HV 0.1) measurements. It was shown that aluminium matrix structure exhibited homogenous distribution depending on the increase in the volume ratio of B₄C ve SiC ceramic particles; this was detected with microstructure images. According to the AA 2014 aluminum alloy, the hardness values were found to increase due to the increasing SiC and B₄C ceramic particle reinforcement ratio. In B₄C-SiC particle reinforced hybrid composite materials, the micro hardness value was relatively reduced compared to the single ceramic phase reinforcement containing B₄C 15% ve %15 SiC.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kompozit malzemeler, yüksek rijitlik/yoğunluk ve mukavemet/yoğunluk oranlarına sahip ileri malzemelerin tasarımı ve üretimi açısından modern endüstride önemli bir yere sahiptirler. Sahip olduğu bu avantajlar, ağırlık ve mukavemetin çok önemli olduğu uzay ve havacılık gibi endüstrilerde, bu malzemelere geniş bir uygulama alanı oluşturmuştur. Bu malzemeler kullandıkları yapıların etkinliğini ve performansını önemli oranda artırmaktadır [1]. Pratikteki uygulamaların çoğunda, malzemenin

*Hakan GÖKMEŞE, e-mail: hgokmese@konya.edu.tr

mekanik özelliklerinin homojen ve izotropik olması istendiği için, parçacık takviyeli metal matrisli kompozitler ve genelde rastgele yönlendirilmiş takviye parçacıklar tercih edilmektedir [2].

Metal matrisli kompozitler (MMK) yüksek elastik modülü, yüksek çekme ve basma mukavemeti, metallerin süneklik ve tokluğunu, seramiklerin yüksek mukavemet ve yüksek elastik modül özelliklerini birleştirmelerinden dolayı, son derece önemli mühendislik malzemeleri haline gelmişlerdir [3]. Metal matrisli kompozit üretiminde, kompozitlerin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi amaçlı kullanılan yöntemlerin başında gelen parçacık takviyesi, oluşturulan kompozitin özelliklerini matrisin birkaç katına kadar çıkarabilmektedir. Genellikle parçacık takviyeli MMK malzeme üretiminde, döküm gibi sıvı hal yöntemleri olmasına rağmen, toz metalurjisi gibi bir katı hal yöntemi de tercih edilebilmektedir [4]. Günümüz teknolojik gelişmelerinin sunduğu avantajlar, birçok geleneksel üretim teknolojilerinin gelişimine yol açmaktadır. Ancak alışlagelmiş parça üretiminden daha teknolojik parça üretimine olan eğilim, dolayısıyla bu duruma paralel olarak toz metalurjisi teknolojisinin önemini giderek artırmaktadır. Özellikle parçacık takviyeli metal matrisli kompozit malzeme üretim teknolojileri arasında toz metalurjisi tekniğinin giderek önem kazanmasına sebep olmaktadır [5]. Böylelikle toz metalurjisi yöntemi yüksek ergime derecesine sahip matrisler de dâhil olmakla birlikte, geniş bir çeşitlilikte matris takviye kompozisyonlarıyla üretimi olanaklı kılmaktadır [6].

Alüminyum ve alaşımları, MMK malzemeler içinde en çok talep gören matris malzemeleridir. B_4C , SiC ve Al_2O_3 , alüminyum matrisli kompozitler içinde üzerinde en çok çalışılan takviye malzemeleridir. MMK sistemlerinde farklı matris-takviye kombinasyonları kullanılabilir. Matris malzemeleri içinde alüminyum ve alüminyum alaşımları, düşük yoğunlukları, yüksek mukavemet ve tokluk değerleri, korozyon dirençleri ve kolay işlenebilirlikleri ile en çok tercih edilen malzeme grubunu oluşturmaktadır [6]. Alüminyum matris içerisinde kompozit malzeme oluşturmak için ilave edilen seramik parçacıkların en yaygın türleri arasında Al_2O_3 , SiC ve B_4C bulunmaktadır ve alüminyumun matris yapı içerisine ilave edilen bu seramik parçacıklar MMK'lerin gelişmesinde anahtar bir rol oynamıştır [7]. Hibrit metal matrisli kompozitler ise iki veya daha fazla birbirinden farklı takviye elemanının bir arada bulunduğu, kullanılan takviye elemanlarının avantajlarından yararlanmak için bir araya getirilmiş mühendislik malzemelerinin bir türünü oluşturmaktadır [7]. Hibrit kompozit malzemelerin, uzay ve havacılık sanayinde kullanımı başta hafiflik ve sağlamlık nitelikleri sayesinde.

Özellikle titreşim, yorulma ve ısı dayanımı gibi nitelikler, uzay ve havacılık sanayinde hibrit kompozit malzemelerin önde gelen avantajlarıdır. Hibrit kompozitler hafif kara, su ve hava taşımacılığı yapısal araçları, spor malzemeleri, hafif ve ortopedik elemanlarda kullanımı giderek artmaktadır. Hibrit yapılar oldukça geniş bir alanda malzeme tasarımına imkân sunmaktadır [1, 7, 8, 9]. Dolayısıyla metal matrisli kompozit malzemelere kıyasla, mühendislik uygulamalarında iyileştirilmiş mekanik özellikler ve yeni malzeme talebine olan ihtiyaçlar doğrultusunda alüminyum hibrit kompozit malzemeleri, iki veya daha fazla takviye fazlarının kombinasyonu ile sağlanan malzeme performansları açısından, tatmin edici mühendislik malzemeleri olarak giderek önem kazanmaktadır [10].

Bu çalışmada, AA 2014 alüminyum alaşımı metal matris yapısında farklı seramik parçacık takviye hacim oranlarında, toz metal deney numuneleri üretilmiştir. Özellikle uygulamalarda çoğunlukla yer alan, tek faz parçacık takviyesinin yanı sıra B_4C - SiC birlikteliğinde hibrit kompozit malzemelerinin mikroyapısal karakterizasyonu ve sertlik sonuçları üzerindeki farklılıkları incelenmiştir.

2. MALZEME ve METOT (MATERIAL and METHOD)

DeneySEL çalışmalarda toz metal numune üretimi açısından başlangıç malzemesi olarak kullanılan AA 2014 alüminyum metal matris yapısı (90,66 μm , gaz atomize) kimyasal bileşimi Çizelge 1'de verilmiştir. Kompozit ve hibrit kompozit yapılarının üretilmesinde kullanılan parçacık takviye elemanları B_4C (5 μm , Aldrich) ve SiC (40 μm , Aldrich) fiziksel özellikleri ise Çizelge 2'de gösterilmiştir.

Çizelge 1. AA 2014 alaşımının kimyasal kompozisyonu (Chemical composition of AA 2014 alloy)

İçerik	Al	Cu	Si	Mn	Mg	Fe	Zn	Cr	Ti
Ağırlıkça %	93.5	4.06	0.6	0.57	0.56	0.47	0.106	0.03	0.01

Çizelge 2. B₄C ve SiC tozlarının fiziksel özellikleri (Physical properties of B₄C and SiC powders)

Takviye Malzemesi	Yoğunluk (g/cm ³)	Isıl Genleşme Katsayısı (10 ⁻⁶ K ⁻¹)	Ergime Sıcaklığı (0°C)	Mukavemet (MPa)	Elastiklik Modülü (GPa)
B ₄ C	2.52	6.08	2420	2759	448
SiC	3.16	4.8	1800	700	400

Presleme çalışmalarında toz metal deney numunelerinin üretilmesi bakımından, hazırlanan matris ve takviye parçacıklarının, farklı hacim oranları ve miktarları Çizelge 3' de gösterilmiştir. Her bir numune grubundan 3 adet olmak üzere, 24 adet deney numunesi çalışmalarda kullanılmıştır. Çalışmada seçilen en düşük ve yüksek hacimsel oranların merkezinde olması sebebiyle, özellikle %10 hibrit kompozit malzeme hacim oranı belirlenmiştir. Tek faz seramik takviyesi ile üretilen kompozit malzemelerin, mikro yapı ve mekanik özellikleri ile karşılaştırılmıştır. Matris ve takviye başlangıç tozlarının karıştırma işlemi, Fritsch model planetary tip cihaz kullanılarak, 30 dakika süreyle gerçekleştirilmiştir.

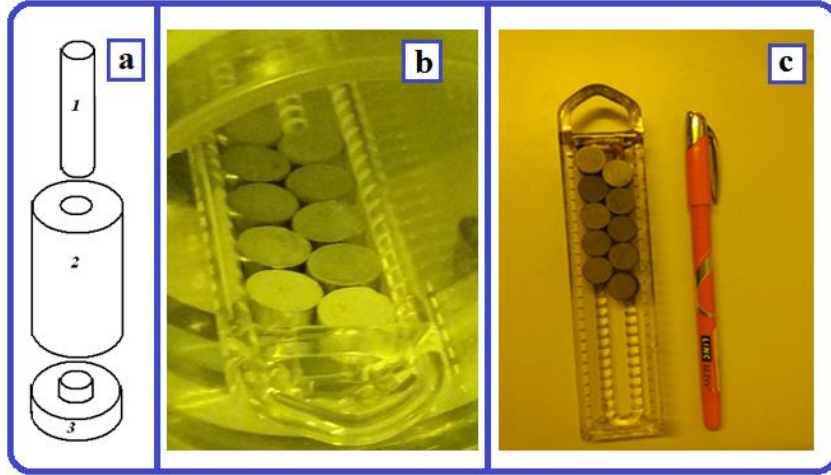
Çizelge 3. Deney numunelerinin içerik ve bileşimleri (Contents and composition of test samples)

Numuneler	AA2014 (%)	B ₄ C (%)	SiC (%)	Ağırlık (gram)
AA	100			2
AB5	95	5		1.9 + 0.1
AB10	90	10		1.8 + 0.2
AB15	85	15		1.7 + 0.3
AS5	95		5	1.9 + 0.1
AS10	90		10	1.8 + 0.2
AS15	85		15	1.7 + 0.3
ABS10	80	10	10	1.6 + 0.2 + 0.2

Çizelge 3' de belirtilen matris ve seramik parçacık takviye elamanlarının, parçacık hacim oranları ve miktarlarına bağlı olarak, hazırlanan toz karışımları Şekil 1-a' da gösterilen kalıp içerisinde, tek yönlü olarak 700MPa basınç altında preslenmişlerdir. Böylece matris/takviye toz karışımları, silindirik/blok numuneler (12 mm çap ve 10 mm yükseklik) şekline dönüştürülmüştür. Presleme işlemi sonrası deney numuneleri, atmosfer kontrollü ısıtma işlemi fırını kullanılarak, cam tüp içerisinde argon gazı akışı altında 600°C sıcaklıkta 1 saat sinterlenmiştir. Presleme işlemini takiben, sinterleme işlemi öncesi ve sonrası deney numunelerinin görünümü, Şekil 1-b ve c' de gösterilmiştir.

Toz metalurjisi yöntemi kullanılarak üretilen deney numunelerinin sinterleme işlemi ve öncesi yoğunluk ölçümleri, Kern marka hassas terazi (0,0001) kullanılarak, numunelerin ağırlıkları tespit edilmiş, Micrometrics marka piknometre ile yoğunluk ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemde Bu Deney numunelerinin mikroyapısal karakterizasyonu bakımından, sırasıyla zımparalama (600-800-1200 zımpara), parlatma (1µm elmas pasta) ve dağlama (95 ml H₂O ve 5 ml HCl) işlemleri olmak üzere, genel metalografi çalışmaları yapılmıştır.

Üretilen kompozit ve hibrit kompozit yapıları içerisinde, B_4C -SiC parçacıklarının dağılımlarının belirlenmesi amacıyla, optik mikroskop (Hardway marka) ve Hitachi SU 1510 model, taramalı elektron mikroskobu (SEM) çalışmalarda kullanılmıştır. Üretimi gerçekleştirilen saf deney numunelerine kıyasla, kompozit ve hibrit kompozit numunelerinin farklı parçacık hacim oranlarına bağlı olarak sertlik ölçümleri, Hardway marka mikro sertlik cihazı (HV0.1) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

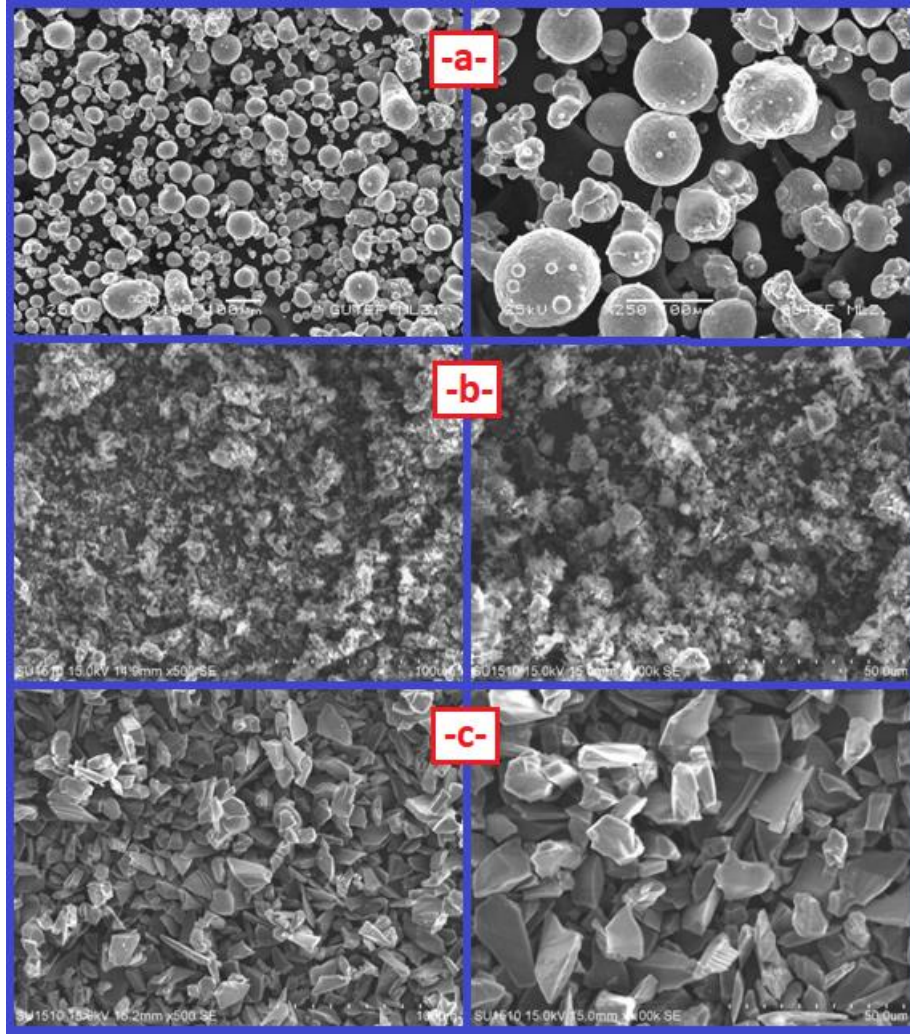


Şekil 1. Deney numunelerinin sinterleme öncesi (a-b) ve sonrası (c) görünüşleri
(The pre-sintering (a-b) and post-sintering (c) views of the test specimens)

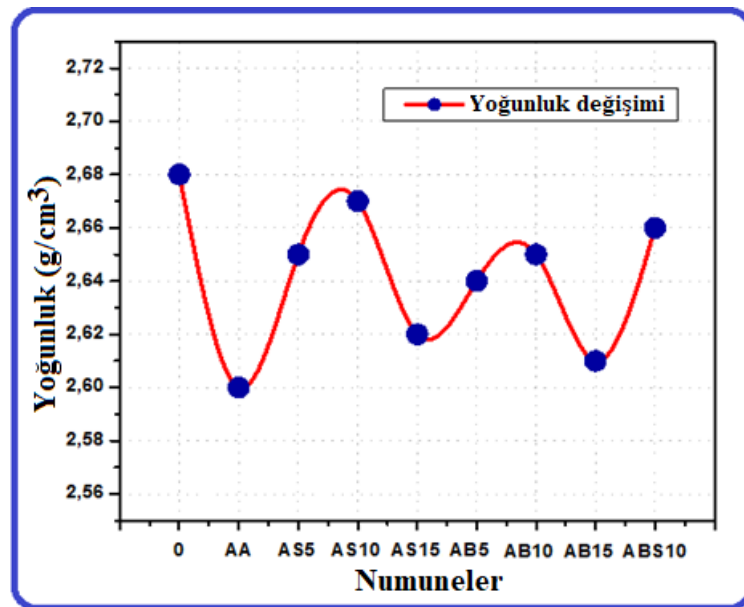
3. SONUÇLAR ve TARTIŞMA (RESULTS and DISCUSSION)

Toz metal deney numunelerinin üretilmesinde kullanılan, matris ve takviye elemanlarının SEM görüntüleri Şekil 2' de verilmiştir. Şekil 2' deki SEM görüntüleri incelendiğinde, gaz atomize AA 2014 alüminyum alaşımının, çoğunlukla küresel ve küresele yakın toz tanelerinden oluştuğu görülmektedir. B_4C seramik faz parçacıklarının ise düzensiz şekil morfolojisinde ve aynı zamanda düşük parçacık boyutu ile topaklanma eğiliminde olduğu mikro yapı görüntüsü ile tespit edilmiştir. Özellikle hibrit kompozit malzeme üretiminde önemli olan bir diğer SiC seramik faz parçacıklarının ise, küresel şekline yakın olduğu ve çoğunlukla poligonal keskin köşeli şekil morfolojisine sahip olduğu belirlenmiştir.

Üretimi gerçekleştirilen metal matrisli kompozit ve hibrit kompozit deney numunelerinin sinterleme öncesi ve sonrası hacim hesabı prensibine göre hesaplanan yoğunluk ölçüm sonuçları Şekil 3' te verilmiştir. Presleme işlemi ile sonrası (kompozit ve hibrit kompozit) deney numunelerinin yoğunluk değerleri, Alüminyum malzemesinin yoğunluk değeri olan yaklaşık 2.75 g/cm^3 değerine yaklaştırılmaya çalışılmıştır. Presleme işlemi sonrası deney numunelerinin ham yoğunluk değerleri (Figure 3, 0), yaklaşık olarak 2.68 g/cm^3 olarak tespit edilmiştir ve sinterleme sonrası saf AA 2014, kompozit ve hibrit kompozit malzeme yoğunluk değerleri ile karşılaştırılmıştır (Şekil 3).

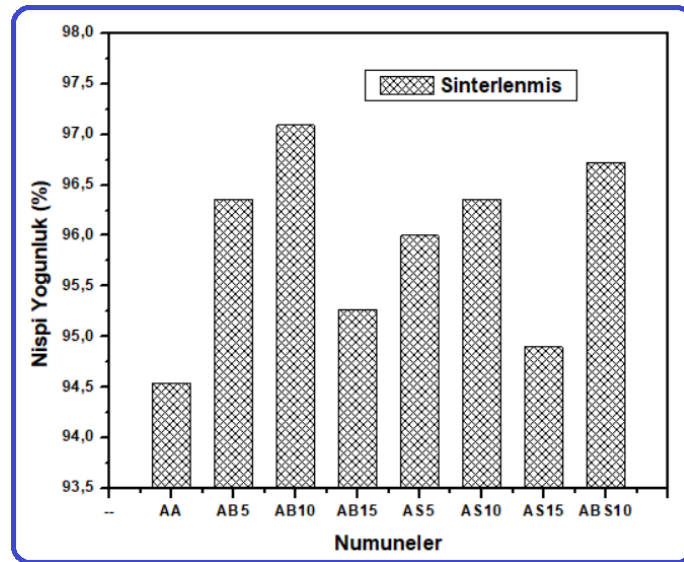


Şekil 2. Matris ve takviye tozlarının SEM görüntüleri; a) AA 2014, b) B₄C ve c) SiC (SEM images of matrix and reinforcement powders; a) AA 2014, b) B₄C and c) SiC)



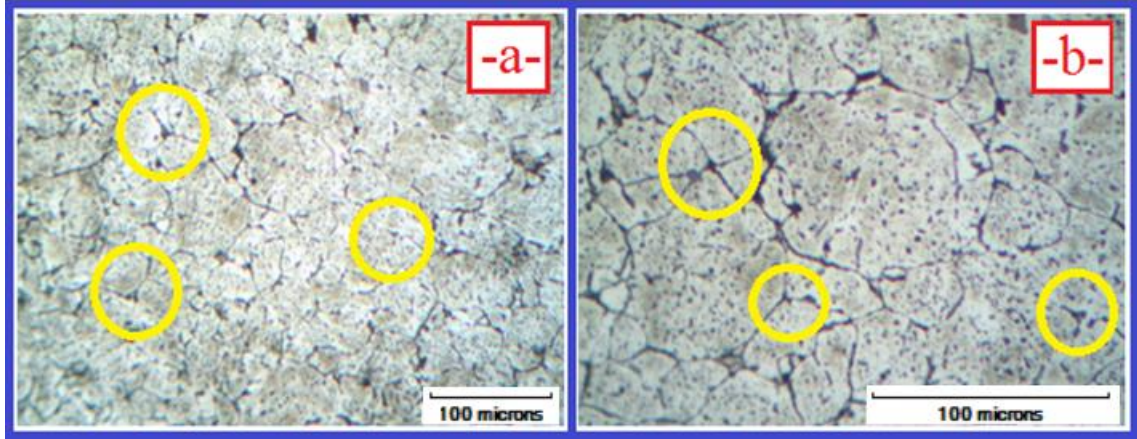
Şekil 3. Deney numunelerinin sinterleme öncesi (0) ve sonrası yoğunluk değişimleri (The density changes of the test specimens before (0) and after sintering)

Özellikle Gökmeşe ve ark.'nın AA 2014 matris malzemesi için yapılan farklı presleme basınçlarında [11] AA 2014 alaşımı ve elde edilen yoğunluk değerleri incelendiğinde, yoğunluk artışı düşük basınçlarda önce hızlıdır, fakat gözenekler kapandıkça toz, yoğunlaşmaya karşı artarak direnç gösterir. Çok tabidir ki parçacık sertliği sıkıştırma için önemli bir parametredir [12]. Bu bağlamda belirlenen optimum presleme basıncı olan 700 MPa altında presleme işlemi sonrası uygulanan sinterleme işlemi ile, AA 2014 alüminyum alaşımı, kompozit ve hibrit kompozit deney numunelerinin yoğunluk değerlerinde bir azalma olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3). Yoğunluk değerinde önemli bir azalma, $2,60 \text{ g/cm}^3$ olarak saf AA 2014 alüminyum alaşımında tespit edilmiştir. Benzer bir şekilde presleme sonrası sinterleme işlemi ile azalan yoğunluk değeri, kompozit ve hibrit kompozit malzemelerinde de tespit edilmiştir. Ayrıca üretilen kompozit/hibrit malzemelerinin nispi (%) yoğunluk değerlerinin karşılaştırması da Şekil 4' te gösterilmiştir. Özellikle hibrit kompozit malzemesinde yoğunluk değerinin, %10 seramik faz takviyeli kompozit malzeme yoğunluk değerlerine yakın olduğu tespit edilmiştir. Toz metal deney numunelerinin yoğunluk değerlerinde ortaya çıkan azalma üzerinde etkili olan durumun, AA 2014 alüminyum alaşımı matris malzemesi ile seramik parçacıkları bağlanma/ara yüzeylerinde görülen boşluklardan kaynaklı olduğu belirtilebilir. Parçacık miktarındaki artışa bağlı olarak ara yüzeyde gözlenen boşluk miktarının arttığı ve bu duruma paralel olarak yoğunluğun azaldığı belirtilebilir [7]. Ayrıca AA 2014 alüminyum alaşımli matris yapısı içerisinde yer alan temel alaşım elementi bakırın, sinterleme esnasında meydana gelen şişme etkisinden dolayı, gözeneklerin küçülmesine karşı koyarak, yoğunluk artışı önüne geçmesi, bir diğer önemli etkileşim olarak gösterilebilir [12].

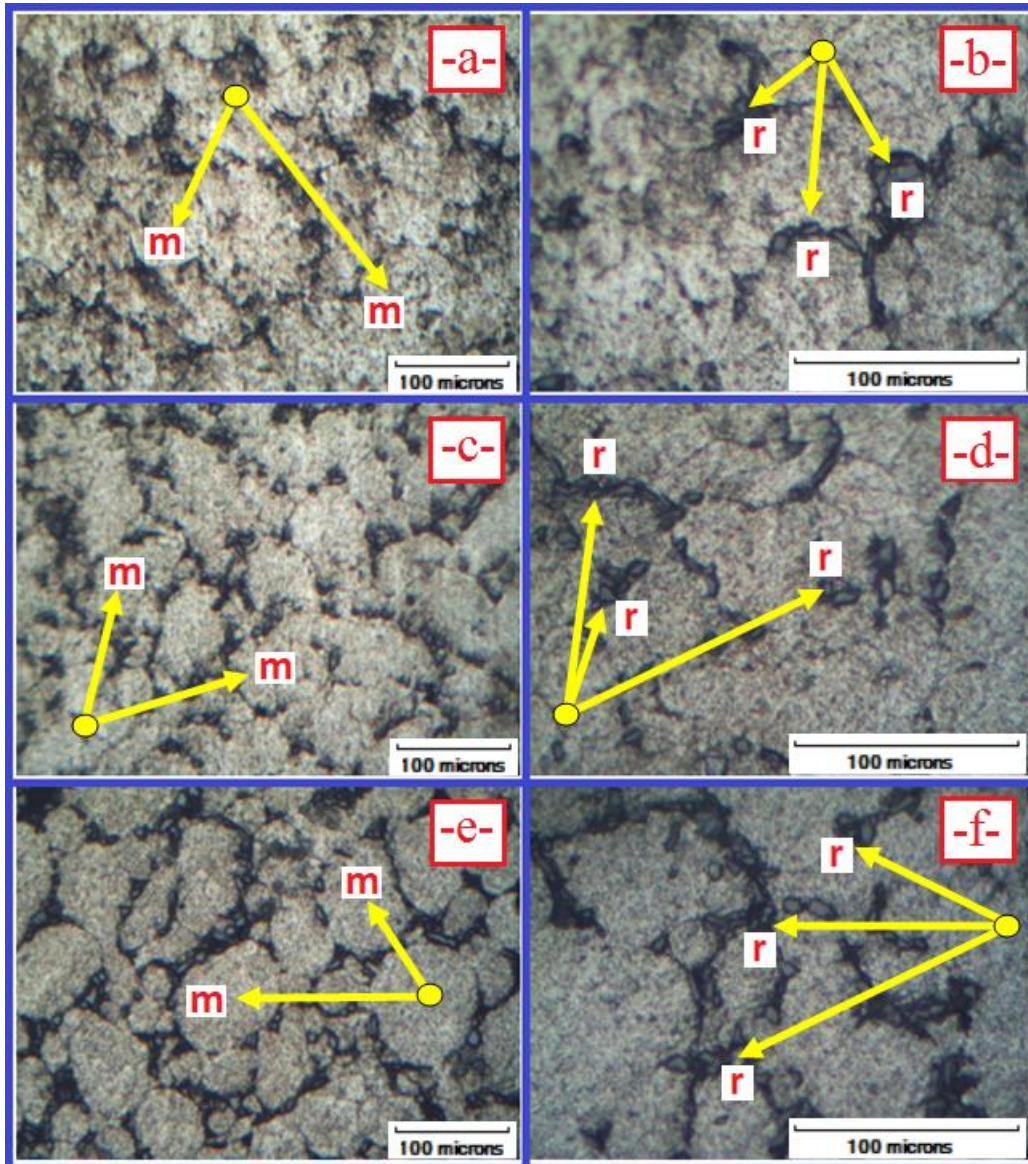


Şekil 4. Deney numunelerinin sinterleme sonrası nispi yoğunluk değişimleri (Relative density changes after sintering of the test specimens)

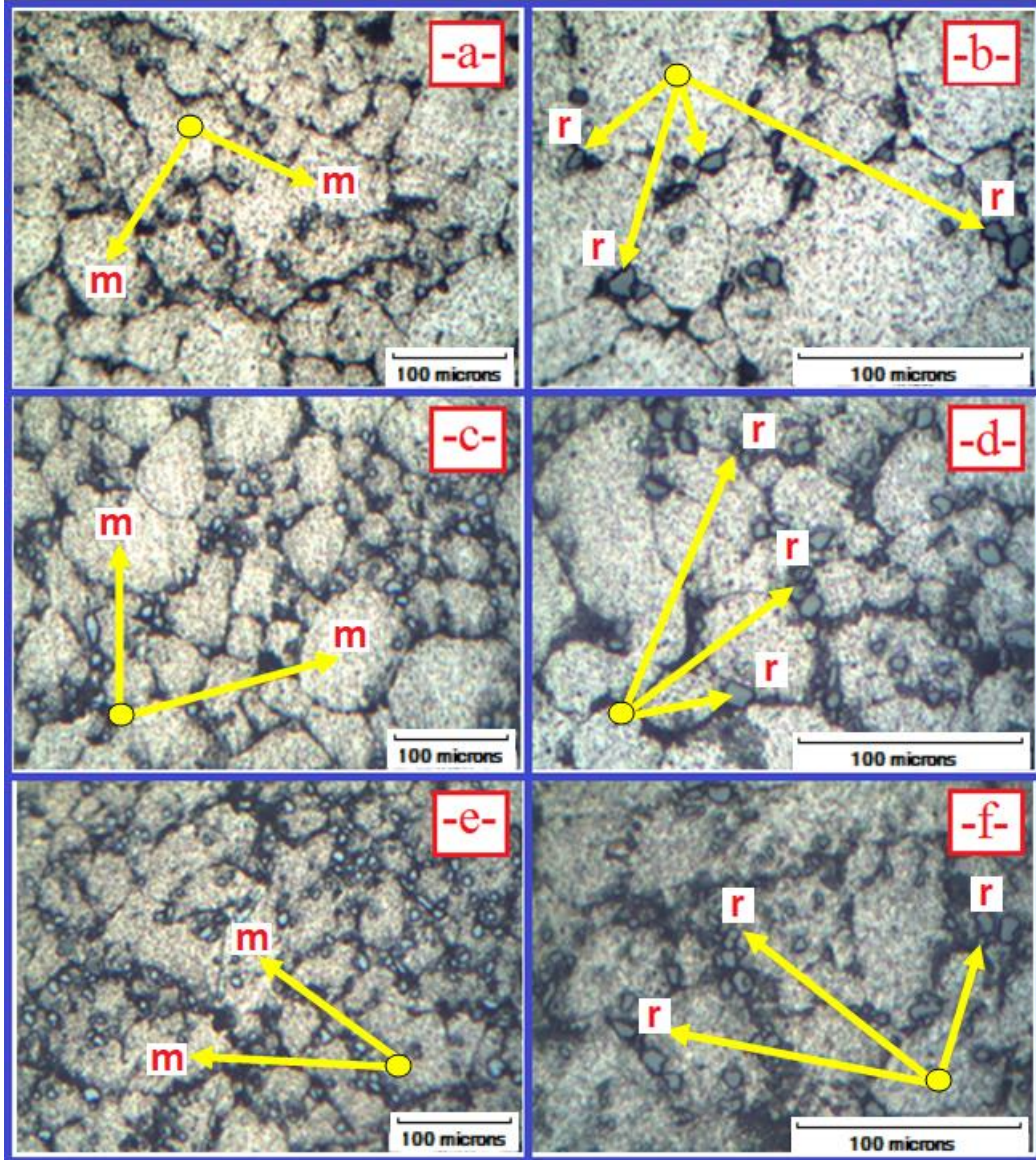
Presleme işlemini takiben, uygulanan 600°C ' de 1 saat sinterleme işlemi sonucu, matris AA 2014 alüminyum alaşımı, takviye elamanları artışına bağlı olarak elde edilen metal matrisli kompozit ve hibrit kompozit deney numunelerinin, mikro yapı görüntüleri sırasıyla Şekil 5, 6 ve 7' de gösterilmiştir. Matris AA 2014 alüminyum alaşımının düşük ve yüksek büyütmedeki optik mikroskop görüntüleri incelendiğinde (Şekil 5, sarı-yuvarlak şekil), tane yapısı-gözenek ilişkisi bakımından özellikle tane sınırlarında ve tanelerin temas noktalarındaki birleşmeden kaynaklı olarak ortaya çıkan küresel ve küresel yakın gözenek etkileşimleri açısından [13] sinterleme pratiğinin yeterli olduğu belirtilebilir. Benzer durumun sırasıyla Şekil 6 ve 7' da, %5-10-15 SiC ve %5-10-15 B₄C seramik parçacık takviyeli kompozit malzemelerinde olduğu belirtilebilir.



Şekil 5. Matris AA 2014 alümiyum alaşımı (a) ve (b); 600 °C-1 saat sinterleme (Matrix AA 2014 aluminum alloy (a) and (b); 600 °C-1 hour sintering)

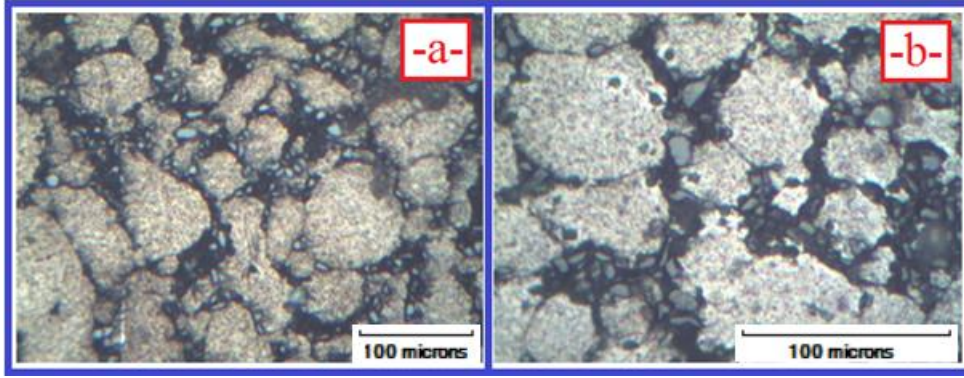


Şekil 6. 600°C-1 saat sinterleme sonrası mikro yapı görüntüleri;
 (a) AA2014-%5 SiC, (b) AA2014- %10 SiC ve (c) AA2014-%15 SiC
 (Microstructure images after sintering at 600°C-1 hour;
 (a) AA2014 - 5% SiC, (b) AA2014 - 10% SiC and (c) AA2014 - 15% SiC)



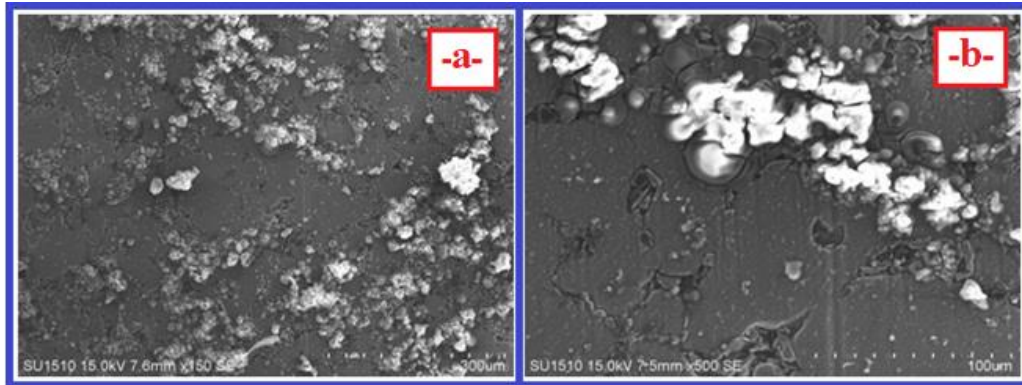
Şekil 7. 600°C-1 saat sinterleme sonrası mikro yapı görüntüleri;
 (a) AA2014-%5 B₄C, (b) AA2014- %10 B₄C ve (c) AA2014-%15 B₄C
 (Microstructure images after sintering at 600°C-1 hour;
 (a) AA2014 - 5% B₄C, (b) AA2014 - 10% B₄C and (c) AA2014 - 15% B₄C)

Şekil 6 ve 7' de gösterilen metal matrisli kompozit numunelerinde, SiC ve B₄C seramik parçacık takviyesi hacim oranındaki artışa bağlı olarak, matris (matrix-m) / takviye (reinforcement-r) ara yüzey ve dağılımları, mikro yapı görüntüleri ile açık bir şekilde görülmektedir. Düşük seramik faz parçacık takviyesine bağlı olarak, matriste nispeten dağılımın az olduğu belirtilebilir (Şekil 6, 7b-d). Ancak seramik faz parçacık hacim oranındaki artışa bağlı olarak, özellikle %15 SiC (Şekil 6-e ve f) ve %15 B₄C (Şekil 7-e ve f) hacim oranında, seramik parçacık takviye fazlarının homojen bir şekilde dağılımında olduğu belirtilebilir. Şekil 6' daki mikro yapı görüntüleri incelendiğinde, SiC seramik faz parçacıklarına nazaran, alüminyum matris yapısında B₄C' nin daha homojen ve uyumlu bir dağılım gösterdiği söylenebilir. Ancak hem SiC hem de B₄C seramik faz parçacık takviyelerinin, özellikle artan takviye hacim oranına bağlı olarak, tane sınırı ve tane sınırına yakın olan bölgelerde, yoğunlaşmaların olduğu söylenebilir. Dolayısıyla ortaya çıkan bu durum hem presleme hem de sinterleme çalışmalarında tam yoğunluklu malzeme üretim sürecinde önemli bir etkiye sahip olabilmektedir.

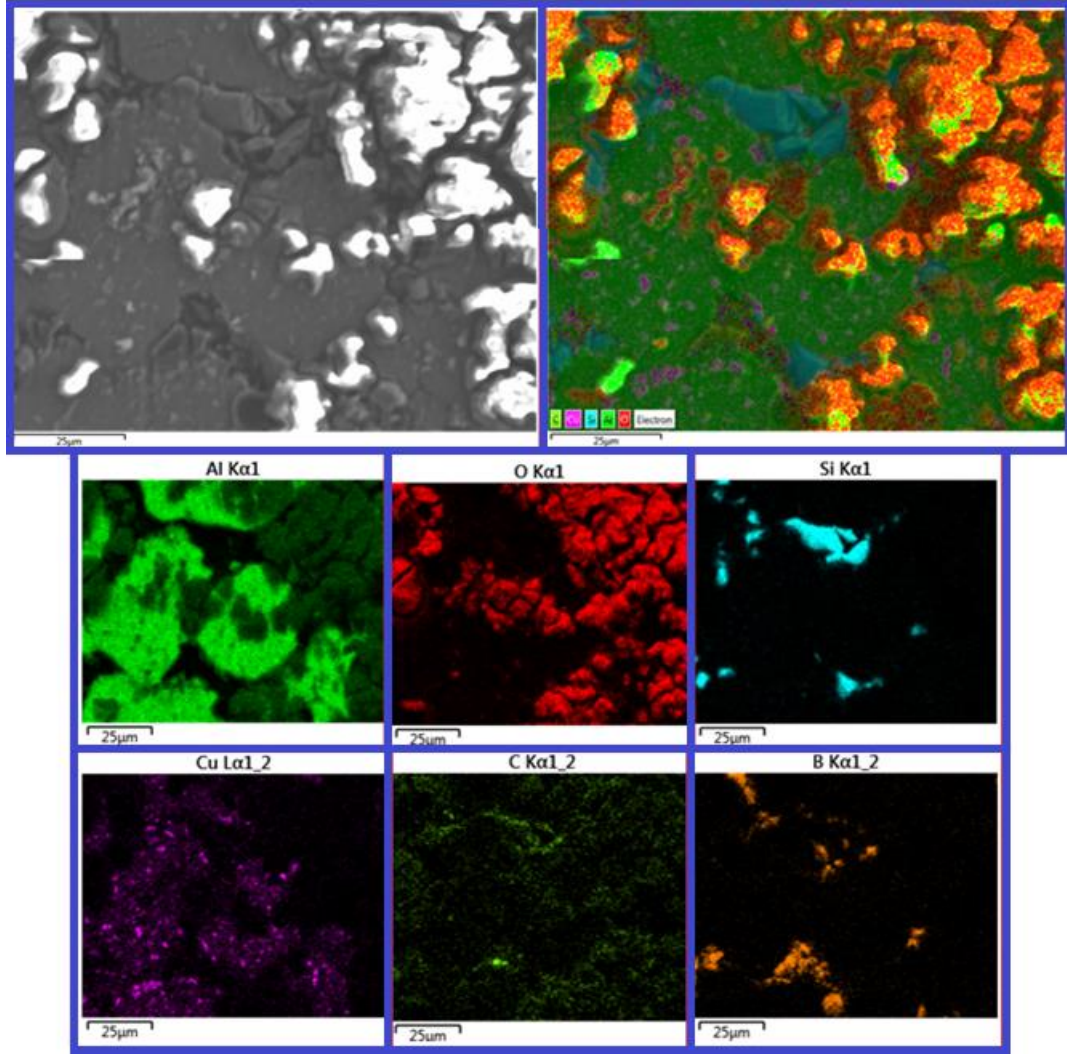


Şekil 8. 600°C-1 saat sinterleme sonrası mikro yapı görüntüleri;
(a) ve (b) AA2014-10%B₄C-10%SiC
(Microstructure images after sintering at 600°C-1 hour;
(a) and (b) AA2014-10% B₄C-10% SiC)

Özellikle toz metal kompozit malzeme üretim teknolojilerinde [14-16], tane ve tane sınırlarına yakın bölgelerde dağılım gösteren takviye elamanları, özellikle gözeneklerin küçülmesine karşı koyabilmekte dolayısıyla gerek malzeme mekanik özellikleri gerekse malzeme performansı bakımından etkili olabilmektedir. Çift faz seramik parçacık takviyesinin (10%B₄C-10%SiC), AA 2014 alüminyum metal matris yapısında dağılımı ile üretimi gerçekleştirilen hibrit kompozit malzemesinin, mikro yapı görüntüleri Şekil 8 ve 9’ da gösterilmiştir. Şekil 8’ deki mikro yapı görüntüleri incelendiğinde, hibrit kompozit deney numunesinde, parçacık takviyelerinin homojen bir şekilde dağılım gösterdiğinden bahsedilebilir. Ancak seramik parçacık takviye fazlarının matris ile temasında bazı bölgelerde yoğun bir şekilde yer aldığı ve toplanma eğiliminde bulunduğu belirtilebilir. Hibrit kompozit deney numunelerinin Şekil 9’ daki SEM görüntüleri ile, oksit oluşumları ve dağılımlarının mikro yapıda yer aldığı görülmektedir. Bu durumun malzeme mikro yapı hazırlık aşamasında ve metalografi çalışmaları sonrası deney numuneleri yüzeyinde ortaya çıktığı belirtilebilir. Mikro yapı görüntüleri doğrultusunda, özellikle seramik faz parçacıklarının yoğunluğunun, tane sınırlarında dağılım oluşturduğu anlaşılmaktadır. AA 2014 alüminyum metal matris yapısında, SiC ve B₄C seramik faz parçacıklarının takviyesi ile üretilen hibrit kompozit malzemesinde malzeme mikroyapısı olarak, elementel dağılım haritalaması yapılmıştır (Şekil 10). AA 2014 alaşımında bulunan Al ve temel alaşım elementi olan Cu’ nun; yoğunlukla matris yapısı olarak yer aldığı, numune yüzeyinde ortaya çıkan oksit dağılımının; O ile temsil edildiği, SEM mikro yapı görüntüsü bölgesel farklılıkları üzerinden anlaşılmaktadır. Özellikle seramik faz parçacıklarının, mikroyapıda yer aldığı bölgeler ve dağılımları açısından; Si, C ve B elementleri dağılımları incelenmiştir.

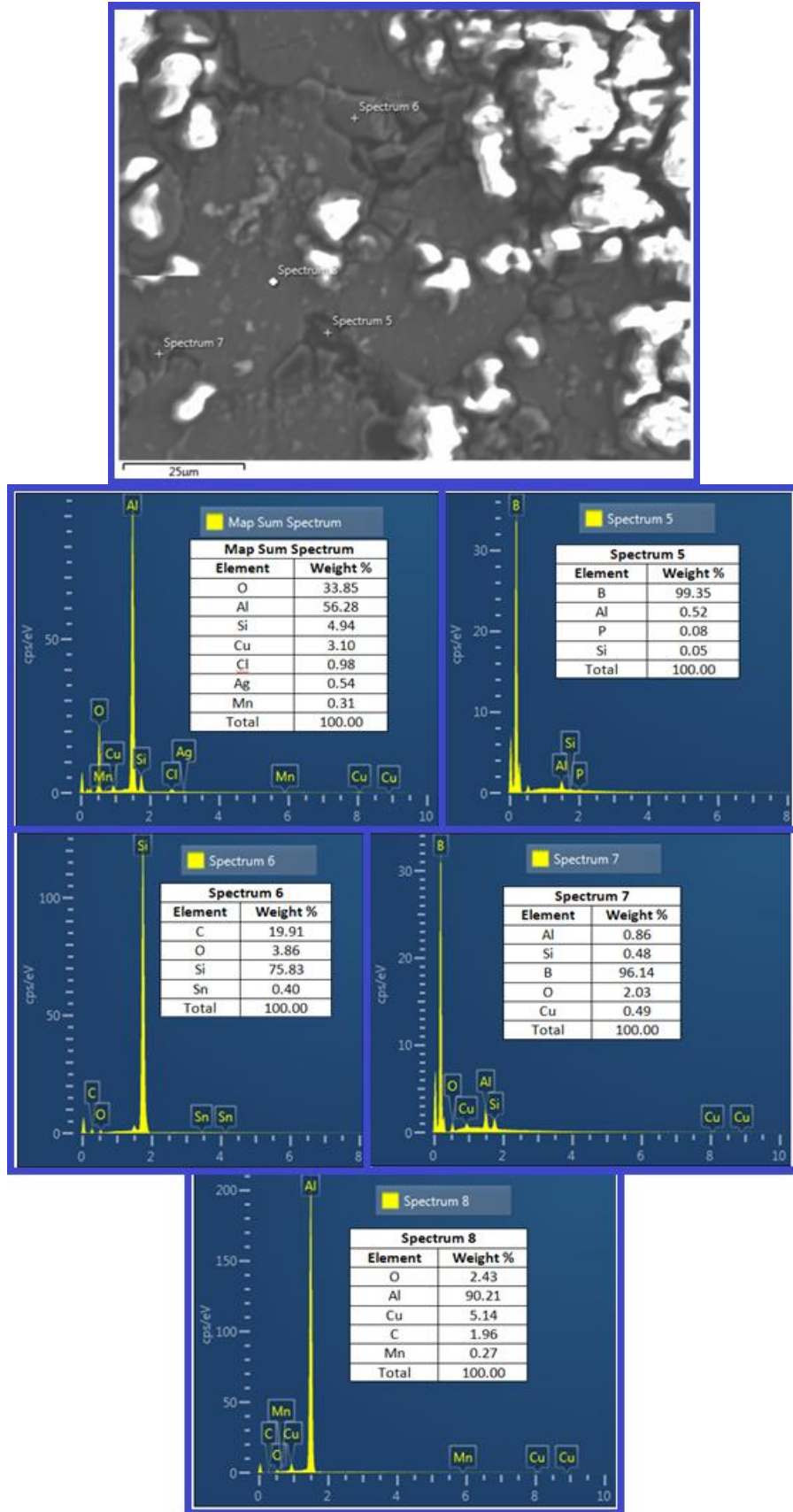


Şekil 9. 600°C-1 saat sinterleme sonrası SEM mikro yapı görüntüleri;
(a) ve (b) AA2014-10%B₄C-10%SiC
(SEM microstructure images after sintering at 600°C-1 hour;
(a) and (b) AA2014-10% B₄C-10% SiC)



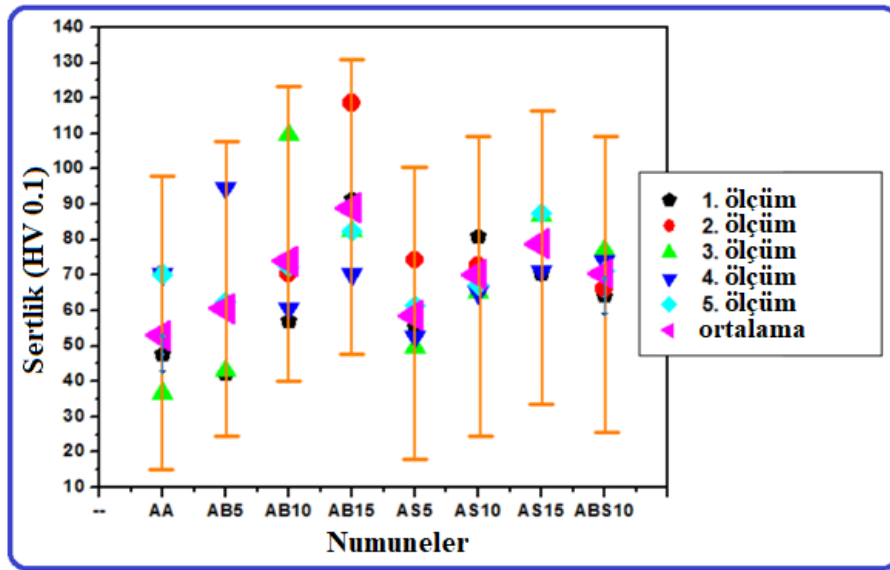
Şekil 10. AA2014-10%B₄C-10%SiC hibrit kompozit malzemesinin, elementel dağılım haritalaması
(The elemental distribution mapping of AA2014-10% B₄C-10% SiC hybrid composite material)

Böylece bu elementler üzerinden, SiC ve B₄C takviye fazlarının sergilediği dağılımları ve mikroyapısal olarak ortaya çıkan farklılıkları açık bir şekilde görülebilmektedir. Şekil 10 da, AA 2014 alüminyum matris içerisinde, SiC ve B₄C seramik faz takviye parçacıklarının dağılımını gösteren SEM resmi, genel ve nokta EDS analiz değerleri verilmiştir. Hibrit kompozit malzemesinin Şekil 10’ da verilen EDS analizi sonuçları incelendiğinde, Map Sum Spectrum ile gösterilen genel EDS analizinin yanı sıra dört farklı bölgeden alınan Spectrum 5-8 nokta EDS analizi sonuçları görülmektedir. Spectrum 5 ve 7’ de yapılan nokta analizi sonucuna göre, özellikle tane sınırlarında dağılım gösteren daha küçük ve düzensiz şekilli parçacıkların, B₄C seramik fazını tanımladığı anlaşılmaktadır. Spectrum 6’ da yapılan nokta analizi sonucuna göre, Si elementinin ağırlıkça yüzdesi bakımından, daha iri taneli ve poligonal şekline sahip parçacıkların, SiC seramik fazını temsil ettiği belirtilebilir. Ayrıca Spectrum 8’ de yapılan nokta analizi sonucuna göre, tane içinde bir bölgeden alınması sebebiyle matris yapısının yani AA 2014 alaşımı kimyasal bileşenlerini tanımladığı görülebilmektedir. Böylece hibrit kompozit malzemesinde, gerek elementel dağılım haritalaması gerekse EDS nokta analizi sonuçlarına göre, SiC ve B₄C seramik faz takviye parçacıklarının, çoğunlukla tane sınırlarında kümelenildiği belirtilebilir.



Şekil 11. AA2014-%10B₄C-%10SiC hibrit kompozit malzemesinin EDS analiz sonuçları
(EDS analysis results of AA2014-% 10B₄C-% 10SiC hybrid composite material)

Şekil 12’ de AA2014 alüminyum alaşımı, kompozit ve hibrit deney numunelerinin mikro yapı incelemeleri neticesinde, elde edilen mikro sertlik sonuçları gösterilmiştir. Şekil 12’ de verilen mikro sertlik sonuçları incelendiğinde, en düşük sertlik sonucu 53HV olarak AA 2014 alüminyum alaşımında elde edilmiştir. Tek faz SiC seramik parçacık takviyesi ile edilen kompozit deney numunelerinde, parçacık hacim oranındaki artışa bağlı olarak sertlik değerlerinin artış gösterdiği tespit edilmiştir. Böylelikle bu kompozit numunelerde en yüksek sertlik değeri, %15 SiC hacim oranında 77HV olarak ölçülmüştür. SiC seramik parçacık takviyesi ile elde edilen sertlik değerlerine benzer bir şekilde, B₄C seramik parçacık takviyesi artışına bağlı olarak, mikro sertlik değerleri artış göstermiştir. En yüksek mikro sertlik değeri %15 B₄C hacim oranında 86HV olarak ölçülmüştür. Bu durumda %15 B₄C seramik parçacık takviyesi ile üretilen kompozit malzemede SiC’ e kıyasla, yaklaşık %11’ lik bir artış değeri tespit edilmiştir.



Şekil 12. AA2014/kompozit/hibrit numunelerde matrisin mikro sertlik değişimi
(Micro hardness change of matrix in AA2014 / composite / hybrid samples)

Eşit seramik faz parçacık hacim oranı ile üretilen hibrit kompozit numunelerinde, 68 HV sertlik değeri ölçülmüştür. Kompozit deney numunelerine kıyasla mikro sertlik değerinde azalma olduğu tespit edilmiştir. B₄C seramik parçacıklarının SiC seramik parçacıklarına kıyasla daha yüksek sertlik değeri sergilediği bilinmektedir [17, 18]. Bu bakımdan hibrit kompozit malzemesi yapısında eşit hacimde yer alan SiC seramik faz parçacıklarının sertlik değerinin azalmasında etkili olduğu belirtilebilir. Böylelikle kompozit malzeme özellikleri bakımından bir değerlendirme yapıldığında, artan takviye hacim oranına bağlı olarak yüksek sertlikteki tek faz takviyeli kompozit malzemelerine nazaran hibrit kompozit malzemelerinin, azalan ve orta seviyede bir sertlik değeri ön plana çıkmaktadır. Dolayısıyla bu tarzdaki hibrit kompozit malzemelerde, azalan sertlik değerine karşı artan bir süneklik değeri ile malzeme mekanik özellik kombinasyonları bakımından, malzeme seçimi, tasarımı ve uygulamalarında etkili olabileceği düşünülmektedir. Baradeswaran ve ark., alüminyum alaşımına yapılan grafit ilavesinin sertlik, çekme ve basma dayanımı değerlerini azaltırken, grafitin yanı sıra Al₂O₃ seramik faz takviyesi ile oluşturulan hibrit kompozit bünyede, belirtilen bu olumsuzlukların iyileştirilebildiğini vurgulamışlardır [19].

Takviyesiz alaşımlara kıyasla hibrit kompozit malzemelerinin, farklı korozif ortamlarda korozyon direncinin, iyi tribolojik ve mekanik özellikler sergilediği belirtilmektedir. Bunun yanı sıra hibrit takviye kullanıldığında, tek takviyeli malzeme üretimlerine göre, ne kadar gelişim sağlanabildiği karşılaştırılabilmektedir. Optimum işlem parametreleri altında yeni nesil hibrit kompozit malzemelerinin üretimi ile malzeme mikro yapı ve mekanik özellikleri geliştirilebilir ve optimize üretim süreçleri bu tarzdaki malzemelerde elde edilebilmektedir [10].

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Yapılan çalışmada, ön alaşımlı AA 2014 alüminyum alaşımına kıyasla, metal matrisli kompozit ve hibrit kompozit malzemelerinin üretimleri gerçekleştirilmiştir. Presleme ve sinterleme işlemleri sonrası elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur;

Ön alaşımlı AA 2014 alüminyum alaşımı, SiC ve B₄C seramik faz parçacıkları takviye hacim oranları artışına bağlı olarak, kompozit ve hibrit kompozit malzemelerinin, sinterleme sonrası yoğunluk değerleri azalmıştır. AA 2014 metal matris yapısında, artan SiC ve B₄C seramik faz parçacık takviyelerinin, matris boyunca dağılımları, tane ve tane sınırlarına yakın bölgelerde kümelendiği tespit edilmiştir. SiC ve B₄C seramik faz parçacık takviyelerinin artışına bağlı olarak mikro sertlik değerleri artmıştır. En yüksek sertlik değeri %15 B₄C seramik faz parçacık takviyesi ile 86HV olarak elde edilmiştir. En düşük sertlik değeri, hiçbir takviye fazı içermeyen AA 2014 alaşımında 53HV iken, hibrit kompozit malzemesinde orta seviyede bir sertlik değeri (68HV) elde edilmiştir. Bu tarzdaki hibrit kompozit yapılarının, sertlik ve süneklik kombinasyonları ile malzeme mekanik özellikleri bakımından, malzeme uygulama alanları çeşitliliği göz önünde bulundurulduğunda önemli bir katkı sağlayabileceği belirtilebilir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Uthayakumar, M., Aravindan, S., Rajkumar, K., “Wear performance of Al–SiC–B₄C hybrid composites under dry sliding conditions”, *Materials and Design*, 47: 456–464, 2013.
- [2] Alizadeh, A., Taheri-Nassaj, E., “Mechanical properties and wear behavior of Al–2 wt.% Cu alloy composites reinforced by B₄C nanoparticles and fabricated by mechanical milling and hot extrusion”, *Materials Characterization*, 67: 119-128, 2012.
- [3] Abenojar, J., Velasco, F., Martinez, M. A., “Optimization of processing parameters for the Al + 10% B₄C system obtained by mechanical alloying”, *Journal of Materials Processing Technology* 184: 441–446, 2007.
- [4] Cunzhu, N., Jiajun, G., Junliang, L., Di, Z., “Investigation on microstructures and interface character of B₄C particles reinforced 2024Al matrix composites fabricated by mechanical alloying”, *Journal of Alloys and Compounds* 454: 118–122, 2008
- [5] Karagöz, Ş., Yamaoğlu, R., Atapek, Ş. H., “Solidification and Microstructural Characterization on Atomized Powders”, *Pamukkale University Journal of Engineering Science*, 15 (3): 309-316, 2009.
- [6] Gökmeşe, H., Bostan, B., “Microstructural characterization and synthesis by mechanochemical method of nanoparticle Al₂O₃/B₄C ceramic phase”, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 29: 2, 289-297, 2014.
- [7] Gökmen, U., “Fabrication and Characterization of Hot Extruded Hybrid Composites Al 2024 Matrix Reinforced with B₄C/Al₂O₃”, *Journal of Polytechnic*, 19 (4): 445-453, 2016.
- [8] Bozkurt, L., “Investigation of low velocity impact behavior of hybrid stacked composite plates”, *Selcuk University, Graduate School of Natural and Applied Sciences Department of Mechanical Engineering, Master Thesis*, 2011.
- [9] Motorcu, A. R., Ekici, E., “Evaluation of drilling Al/B₄C composites with carbide drills”, *Pamukkale University Journal of Engineering Science*, 22 (4): 259-266, 2016.

- [10] Bodunrin, M.O, Alaneme, K.K., L.H., Chown “Aluminium matrix hybrid composites: a review of reinforcement philosophies; mechanical, corrosion and tribological characteristics”, J Mater Res. Tech., 2015.
- [11] Gökmeşe, H., Bostan, B., “Improvements of Dry Sliding Wear Behaviour and Mechanical Properties In 2014 Al Alloy By Age-Hardening”, Scientific Research and Essays, 8:45, 2227-2234, 2013.
- [12] German, Randall M., “Powder Metallurgy and Particulate Material Transactions”, 05, Prof. Dr. Suleyman SARITAS, Prof. Dr. Mehmet TURKER, Doç. Dr. Nuri DURLU, Turkish Powder Metallurgy Association Publications, Ankara, 2007.
- [13] Gökmeşe, H., Bostan, B., “AA 2014 Alaşımında Presleme ve Sinterlemenin Gözenek Morfolojisi ve Mikro yapısal Özelliklere Etkileri”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji, 1(1): 1-8, 2013.
- [14] Cebeci, H. A., “Mekanik alaşımlama yöntemi ile üretilen SiC takviyeli al kompozitlerin aşınma davranışlarının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 14-17, (2008).
- [15] Dörtbölük, C., “Aluminyum matrisli kompozit malzemelerin toz metalurjisi yöntemiyle üretilmesi ve karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, 4-7, (2006).
- [16] Mazahery, A., Shabani., M. O., “Influence of the hard coated B₄C particulates on wear resistance of Al–Cu alloys”, Composites: Part B, 43: 1302–1308 (2012).
- [17] Jiang, Q. C., Wang, H. Y., Ma, B. X., Wang, Y., Zhao, F., “Fabrication of B₄C particulate reinforced magnesium matrix composite by powder metallurgy”, Journal of Alloys and Compounds, 386: 177–181 (2005).
- [18] Topçu, I., Gülsoy, H. O., Kadioğlu, N., Güllüoğlu, A. N., “Processing and mechanical properties of B₄C reinforced Al matrix composites”, Journal of Alloys and Compounds, 482: 516–521 (2009).
- [19] Baradeswaran, A., Perumal, A. E., “Study on mechanical and wear properties of Al 7075/Al₂O₃/graphite hybrid composites”, Composites: Part B, 56:464-471, 2014.