

# Sıcak Ekstrüze Edilmiş Al 2024 Matrisli B<sub>4</sub>C/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Takviyeli Hibrit Kompozitlerin Üretimi ve Karakterizasyonu

Uğur GÖKMEN

Gazi Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Makine ve Metal Tek. Böl. ANKARA

(Geliş / Received : 27.01.2016 ; Kabul / Accepted : 18.03.2016 )

## ÖZ

Yapılan çalışmada son yıllarda özellikle uzay sanayiinde yaygın olarak tercih edilen Al 2XXX serisi alaşımların özel bir türü olan Al 2024 tozu (Al-Cu-Mg) içerisine ağırlıkça farklı oranlarda (% 5-10-15) B<sub>4</sub>C ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> parçacıkları ilave edilerek hibrit/kompozitler üretilmiştir. Matris tozu ve takviye elemanları 3 boyutlu karıştırıcı ile 45 dakika karıştırılmıştır. Karışım tozlar tek yönlü basınç (400 MPa) altında preslenerek toz metal numuneler elde edilmiştir. Elde edilen blok numuneler 600°C sıcaklıkta sinterlenmiş ve devamında 500°C sıcaklıkta kalıp içerisinden geçirilerek ekstrüze edilmiştir. Ekstrüze işlemi sonrası numuneler tel erozyon yöntemi ile kesilerek standart boyutlarda çapraz kırılma test numuneleri elde edilmiştir. Yapılan ölçümler sonunda sinterlenmiş numunelerin ekstrüzyon sonrası yoğunluklarının daha da arttığı görülmüştür. Takviye elemanın miktarındaki artışa bağlı olarak sertlik ve çapraz kırılma dayanım değerlerinde artış tespit edilmiştir. Bu çalışmada en yüksek çapraz kırılma dayanımı (920 MPa) ve en yüksek sertlik (110 HB) değerleri sırasıyla %10 B<sub>4</sub>C ve %15 B<sub>4</sub>C takviyeli numunelerde sağlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Hibrit kompozit, toz metalurjisi, sıcak ekstrüzyon

## Fabrication and Characterization of Hot Extruded Hybrid Composites Al 2024 Matrix Reinforced With B<sub>4</sub>C/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

### ABSTRACT

In this study, 2024 alloy powder (Al-Cu-Mg), commonly used for aerospace industry, reinforced with B<sub>4</sub>C and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particles (5-10-15% wt.) were used to produce hybrid/composite. Matrix powder and reinforcement components were mixed in a three dimensional mixer for 45 minutes and then compacted under uniaxial press (400 MPa) in order to produce powder blocks. These blocks were sintered at 600°C and then extruded at 500°C. Then samples were cut with wire erosion method to ensure the appropriate standard dimension for transverse rupture strength (TRS) tests. The increase was observed in the density of extruded parts in comparing with the sintered samples. Furthermore, rising in hardness and transverse rupture strength values were determined depending on the increase in the amount of the reinforcing components. In the study, maximum transverse rupture strength of 920MPa and hardness of 115HB were reached with at %10 B<sub>4</sub>C and %15 B<sub>4</sub>C reinforced samples respectively.

**Keywords:** Hybrid composite, powder metallurgy, hot extrusion

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kompozit malzemeler geliştirilmiş fiziksel ve mekanik özelliklerinden dolayı modern teknolojinin aranan malzemeleri haline gelmiştir. Metal Matrisli Kompozitler (MMK) son yıllarda önemli gelişmeler göstermiştir. MMK'ler içerisine ilave edilen güçlü seramik takviyeler ile iyi aşınma direnci, yüksek sertlik, özel dayanım ve mükemmel korozyon direnci sergileyen yeni nesil mühendislik malzemeleridir [1]. Alüminyum matrisli kompozitler ise günümüz teknolojisinde metal matrisli kompozitlerin en yaygın tercih edilen türlerinden birini oluşturmaktadır [2]. Alüminyum hafifliğinin ve geliştirilebilir dayanımının yanı sıra iyi elektriksel ve ısı

iletkenlik, yüksek ısı ve ışık yansıtma özelliğine de sahiptir [3]. Al matrisli kompozitler yüksek aşınma direnci, düşük yoğunluk, geliştirilmiş elastik modül ve esnek üretim kabiliyeti sebebiyle başta otomotiv ve havacılık endüstrisi olmak üzere birçok sektörde uygulama alanı bulabilen malzemelerdir [4, 5]. Özellikle 2xxx serisi Alüminyum alaşımları, geliştirilmiş mekanik özellikleri ile uçak ve otomobillerin yapısal parçalarında tercih edilmektedir [6]. İleri üretim yöntemleriyle üretilmiş Al 2024 alüminyum alaşımında bakır, magnezyum, mangan bulunurken, diğer alaşım elementleri eser miktarda bulunmaktadır [7].

Alüminyum matris içerisine kompozit malzeme oluşturmak için ilave edilen seramik parçacıkların en yaygın türleri arasında Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiC ve B<sub>4</sub>C bulunmaktadır ve Alüminyumun matris yapı içerisine ilave edilen bu seramik parçacıklar MMK'lerin gelişmesinde anahtar bir

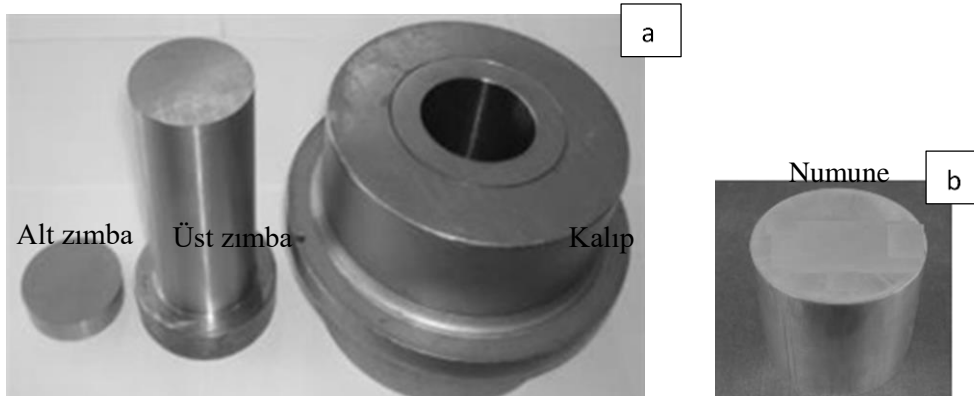
\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: uugurgokmen@gazi.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2016.19.4 445-453

rol oynamıştır [8-10]. 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. Hibrit yapılar oldukça geniş bir alanda malzeme tasarımına imkân sunmaktadır [11, 12]. Kompozit malzemeler farklı yöntemler ile üretilebilirler, bu yöntemlerin en yaygın tercih edilenleri döküm ve toz metalürjisidir. Döküm yöntemi şekil ve boyut sınırının olmadığı parçaların üretiminde geleneksel döküm aparatları kullanılarak yapıldığı için basit ve ekonomiktir [13]. Şekil ve boyut sınırlamasının ön plana çıktığı ve farklı tür seramik parçacıkların matris yapı içerisinde aktif rol oynamasının istendiği yapısal malzemelerde ise toz metalürjisi yöntemi ön plana çıkmaktadır. Toz metalürjisi yöntemi MMK'lerin üretiminde en sık kullanılan tekniklerden birisidir. Ayrıca döküm yöntemi ile toz metalürjisi yöntemi mukayese edildiğinde toz metalürjisinin avantajlarından birisi toz metal parçalar içerisinde takviye elemanı dağılımının ve bir diğerinin ise mikroyapı üzerinde kontrolün daha iyi olduğu belirtilmiştir [2]. Ekstrüzyon işlemi MMK'lerin mekanik özelliklerini geliştirmek için kullanılan yöntemlerdendir [13]. Sıcak ekstrüzyon yöntemi ile Al esaslı kompozit malzeme yüzeyindeki oksit tabakası yok edilebilir ve bunun sonucunda parçacıklar arası sınırlar iyileşebilir. Ayrıca matris yapı içerisindeki takviye elemanı topaklanması giderilebilir ve böylece daha homojen dağılmış takviye elemanları içeren bir yapı elde edilebilir [14].

Yapılan çalışmada toz metalürjisi yöntemiyle değişen oranlarda (ağırlıkça %5-10-15)  $B_4C$  ve  $Al_2O_3$  takviyeli Al 2024 matrisli kompozitler üretilmiştir. Üretim sonrası aynı matris içerisine %5  $B_4C$  ve %5  $Al_2O_3$  ilave edilerek hibrit kompozit yapılar oluşturulmuştur. Üretilen kompozitler sıcak ekstrüzyon edilerek yoğunlaştırma ikinci işlemine tabi tutulmuştur. Sıcak ekstrüzyon işlemi sonrası elde edilen numuneler mekanik ve mikroyapısal olarak karakterize edilmiştir.



Şekil 1. a) Kalıp seti b) Toz metal blok numune (a) Die components b) Powder metal block sample)

## 2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

### 2.1. Malzeme (Materials)

Yapılan çalışmada Toz Metalürjisi (TM) ve sıcak ekstrüzyon yöntemi kullanılarak kompozit numuneler üretilmiştir. Matris malzemesi olarak ön alaşımlı Al 2024, takviye elemanı olarak  $B_4C$  ve  $Al_2O_3$  tozları kullanılmıştır. Al 2024 tozunun kimyasal kompozisyonu Çizelge 1'de verilmiştir. Tozların ortalama parçacık boyutları Malvern Mastersizer E versiyon 1.2b marka lazer saçınım toz boyut ölçme cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Kullanılan tozların fiziksel özellikleri Çizelge 2'de sunulmuştur.

Çizelge 1. Matris alaşımının kimyasal kompozisyonu (Chemical composition of the matrix alloy)

Element	Cu	Mg	Mn	Fe	Al
Oran (%) Ağırlıkça)	4,4	1,8	0,25	0,5	Kalan

Çizelge 2. Kullanılan tozların fiziksel özellikleri (Physical properties of powders used)

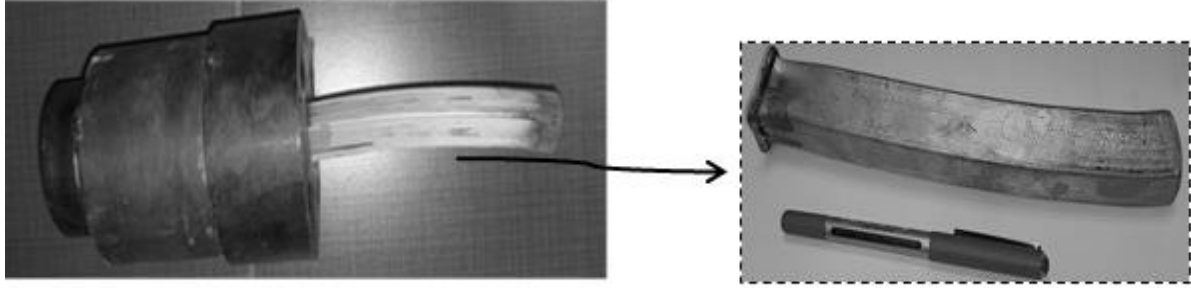
Malzeme	Fiziksel Özellikler		
	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Ergime sıcaklığı (°C)	Toz boyutu (µm)
Al 2024	2,74	630	<160
$B_4C$	2,50	2350	<20
$Al_2O_3$	3,97	2040	<32

### 2.2. Metot (Method)

Ön alaşımlı Al 2024 tozu ağırlıkça % 5-10-15 oranlarında  $B_4C$  ve  $Al_2O_3$  tozları ile ayrı ayrı karıştırılmıştır. Al 2024 tozu içerisine ağırlıkça % 5  $B_4C$  ve % 5  $Al_2O_3$  tozları ilave edilerek hibrit kompozitler elde edilmiştir. Karıştırma işlemi turbula marka T2F tipi üç boyutlu karıştırıcı ile homojen bir dağılım elde etmek amacıyla 45 dakika süreyle gerçekleştirilmiştir. Karışım tozlar özel tasarlanmış kalıp seti içerisinde 400 MPa basınç altında tek yönlü preslenerek 62 mm çapında, 80 mm uzunluğunda silindirik toz metal blok numuneler

üretilemiştir. Şekil 1’de kullanılan kalıp seti ve sıkıştırma işlemi sonrası elde edilen numune görülmektedir.

Presleme işlemi ile elde edilen toz metal blok numuneler Protherm marka fırın içerisinde 600°C sıcaklıkta 1 saat bekletilerek sinterleme işlemine tabi tutulmuşlardır. Sinterleme işlemi sonrası yoğunlaştırma (ikincil işlem) amacıyla numuneler özel tasarım ekstrüzyon kalıbı içerisine yerleştirilerek 500°C sıcaklıkta 1 saat bekletilmiştir. Daha sonra blok numuneler 1/4 oranında ekstrüze edilmiştir. Ekstrüzyon sonrası numune görüntüsü Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Ekstrüzyon kalıbı ve işlem sonra elde edilen numune (Extrusion die and sample)

Ekstrüzyon işlemi sonrası elde edilen ürünler tel erozyon yöntemi ile kesilerek toz metal ürün Standartlarına (MPFI-41, 1998) uygun çapraz kırılma numunesi haline getirilmiştir. Kolaylık sağlamak amacıyla her numuneye ayrı bir kod verilmiştir, kodların yanındaki rakamlar % ağırlık oranlarını temsil eder. Numune kodları Çizelge 3’te gösterilmiştir.

Çizelge 3. Farklı numunelerin ayrıntılı bileşimleri (Exhaustive composition of various samples)

Numune kodu	Kompozisyon (% Ağırlıkça)
AB0	Al2024
B5	Al2024 + % 5 B <sub>4</sub> C
B10	Al2024 + % 10 B <sub>4</sub> C
B15	Al2024 + % 15 B <sub>4</sub> C
A5	Al2024 + % 5 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
A10	Al2024 + % 10 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
A15	Al2024 + % 15 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
B5A5	Al2024 + % 5 B <sub>4</sub> C + % 5 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>

### 2.3. Karakterizasyon (Characterization)

Toz metalurjisi ve sıcak ekstrüzyon yoluyla üretilen ürünlerin yoğunlukları Sartorius marka 0,0001 g hassasiyetine sahip terazi ve yoğunluk kiti kullanılarak Arşimet prensibine göre belirlenmiştir. Elde edilen kompozit numuneler karakterizasyon işlemleri için 240-400-800-1200’ lük zımparalar ile su altında zımparalanmış ve daha sonra parlatma keçelerinde 1 ve 3 µm’ lik elmas pasta kullanılarak parlatma yapılmıştır. Üretilen hibrit kompozitlerin içerisinde dağılımı

B<sub>4</sub>C/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> parçacıkların matris malzeme ile ara yüzeyleri Leica marka optik mikroskop ve JEOL JSM 6060LV marka taramalı elektron mikroskobu (SEM) yardımı ile incelenmiştir ve EDS analizleri yapılmıştır. SEM yardımı ile kırık yüzeyler karakterize edilmiştir.

Kompozit numunelerin sertlik ölçümleri Emco test duravison 2000 marka sertlik ölçüm cihazı kullanılarak Brinell olarak ölçülmüştür. Sertlik değerleri her numune için 5 farklı bölgeden alınan ölçümlerin ortalaması alınarak belirlenmiştir. Sinterlenmiş ve ekstrüzyon işlemine tabi tutulmuş numunelerin çapraz kırılma

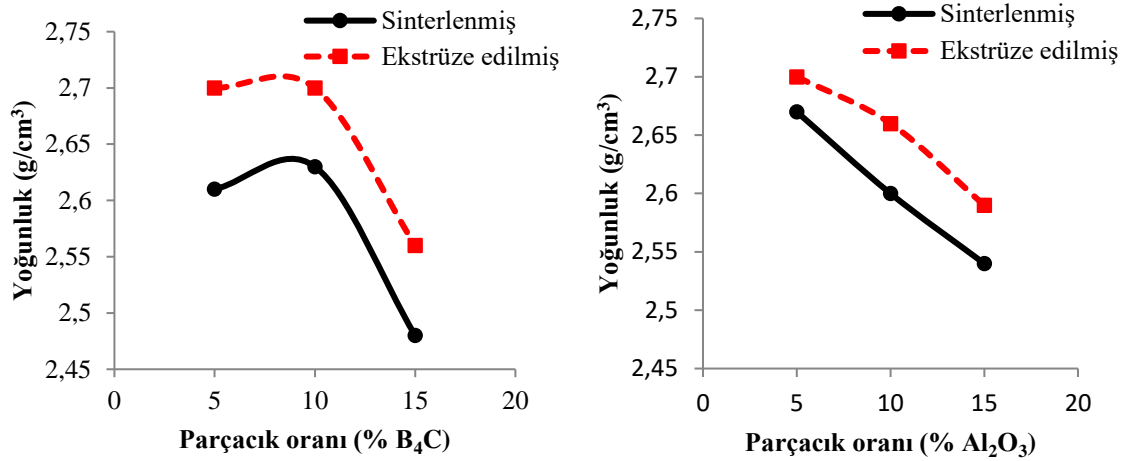
testleri Instron 3369 model test cihazı kullanılarak yapılmıştır. Çapraz kırılma testleri her bir kompozit için 3 farklı numunenin ortalaması alınarak gerçekleştirilmiştir. Test numunelerinin hazırlanmasında ve testlerin yapılmasında MPIF Standart 41 ve daha önce yapılmış çalışmalar referans alınmıştır [15].

### 3. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA (EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSION)

#### 3.1. Yoğunluk ve Mikroyapı Analizi (Density and Microstructure Analysis)

Üretilen kompozit ve hibrit kompozitlerin yoğunluk değerleri hesaplanmış ve mikroyapıları karakterize edilmiştir. Arşimet prensibi uygulanarak hesaplanan yoğunluk değerleri Şekil 3’te verilmiştir. İlave edilen takviye elemanlarının miktarındaki artışa bağlı olarak yoğunlukta azalma tespit edilmiştir. Her iki takviye elemanı kullanılarak hazırlanan MMK’de sinterleme ve ekstrüzyon işlemi sonrası yoğunluk değerlerinde değişiklik tespit edilmiştir. Takviye miktarının artışına bağlı olarak yoğunluk değerlerinde meydana gelen azalmanın nedenin matris malzeme ile parçacık ara yüzeyinde tespit edilen boşluklardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

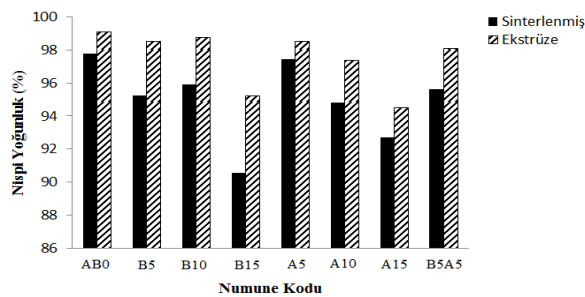
Parçacık miktarındaki artışa bağlı olarak ara yüzeyde gözlenen boşluk miktarının arttığı ve bu duruma paralel olarak yoğunluğun azaldığı tespit edilmiştir. Sinterleme işleminin akabinde yapılan sıcak ekstrüzyon ile yoğunlukta meydana gelen artışın sebebinin matris malzeme ile parçacık ara yüzeyinde bulunan boşlukların kısmen kapanmasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Wang ve arkadaşları benzer bir çalışmada Al-Cu toz metal matrisi içerisine hacimce % 10, 15 ve 20 oran-



Şekil 3. Al 2024 içerisindeki B<sub>4</sub>C ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranındaki artışa bağlı olarak yoğunluk değişimi (Density variation depending on the added B<sub>4</sub>C and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particles in the Al 2024)

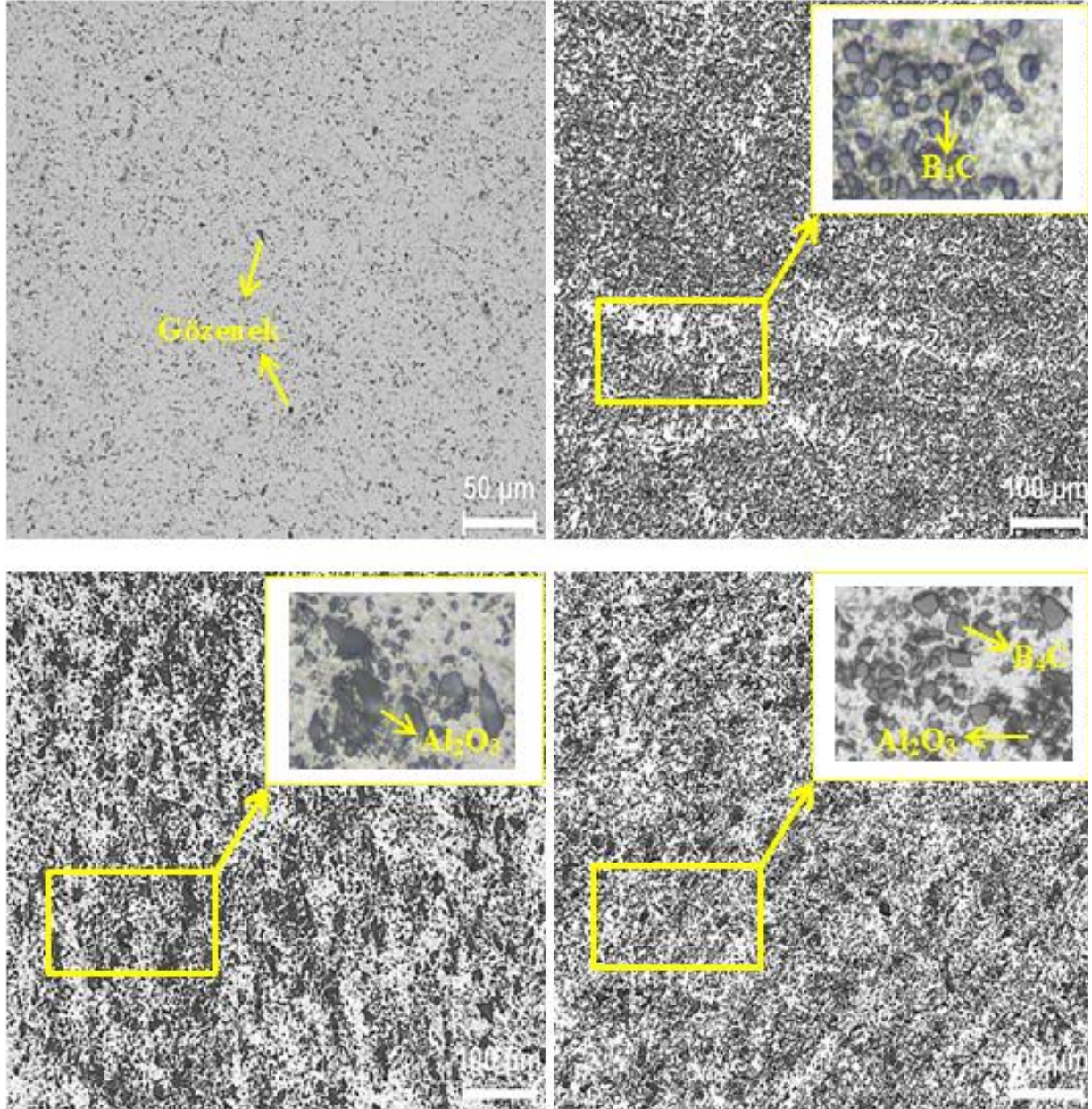
larında SiC ilave etmişler ve elde ettikleri MMK'ı karakterize etmişlerdir. Araştırmacılar yaptıkları çalışmada parçacık miktarındaki artışa bağlı olarak yoğunlukta bir azalmanın olduğu ve ekstrüzyon işlemi sonrası üretilen kompozitlerin yoğunluğunda artış meydana geldiğini tespit etmişlerdir. Ekstrüzyon işlemi ile oluşan yüksek basınçtan dolayı yüzeyde oluşmuş olabilecek oksit tabakasının parçalandığını bu duruma bağlı olarak matris malzeme ile parçacık arayüzeyinde meydana gelen yapışmanın geliştiğini ve yapı içerisinde bulunan gözeneklerin kapandığını belirtmişlerdir [16]. Üretilen kompozit numunelere ve hibrit kompozite ait sinterleme ve akabinde yapılan ekstrüzyon işlemi sonrası elde edilen yoğunluk değerleri Şekil 4'te mukayese edilmiştir. Şekil 4'te verilen yoğunluk değerleri incelendiğinde matris malzemeye kıyasla kompozitlerin yoğunluğunun daha düşük olduğu, takviye elemanı artışına bağlı olarak yoğunluğun azaldığı ve üretilen hibrit kompozitin (B5A5) ağırlıkça % 10 B<sub>4</sub>C ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren (B10 ve A10) numunelere daha yakın olduğu gözlenmektedir. Aynı oranda takviye elemanı içeren numunelerde farklı yoğunluk değerlerinin tespit edilmesinin sebebinin kullanılan parçacık boyutundaki değişimden kaynaklandığı düşünülmektedir. Parçacık boyutundaki artışa bağlı olarak toz metal parçaların yoğunluğunda azalma olduğu bilinmektedir [2].

Şekil 5'te sinterleme ve ekstrüzyon işlemi yapılmış %10 B<sub>4</sub>C, %10 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren ve hibrit kompozit (B5A5) numuneye ait optik mikroskop resimleri verilmiştir. Karşılaştırma yapabilmek için matris içerisinde aynı oranda parçacık bulunan numuneler tercih edilmiştir. Parçacık ve matris malzeme arayüzeyi ilişkisini gösteren yüksek büyütmede alınan mikroyapı görüntüleri Şekil 5 üzerinde kutucuklar ile sergilenmiştir. Şekil 5'te verilen optik mikroskop görüntülerine göre Al 2024 matris içerisinde bulunan parçacıklar homojen olarak dağılmıştır. Matris yapı üzerinde bulunan gözeneklerin ise birbirinden bağımsız olduğu gözlenmiştir. Şekil 5 üzerinde verilen yüksek büyütme ile alınmış görüntüler incelendiğinde numunelerde kısmen topaklanma olduğu tespit edilmiştir. Şekil 6-8'de verilen SEM görüntüleri Al 2024 matris ve parçacıklar arasında tespit edilen kısmi topaklanmaları destekler niteliktedir. Toz metal kompozit malzemeler de parçacıkların topaklanmaya, gözeneklere sebep olduğu ve bu durumun malzeme performansını etkilediği bilinmektedir [17]. Yapılan incelemelerde ekstrüzyon işlemi öncesi takviye parçacıklarının yapı içerisinde meydana getirdiği topaklanmanın daha fazla olduğu ekstrüzyon işlemi sonrası topaklanmaların dağıldığı ve daha homojen bir yapının oluştuğu gözlenmiştir.



Şekil 4. Al 2024 matrisli hibrit/kompozitlerin yoğunluk değerlerinin karşılaştırılması (Comparison of density values of Al 2024 matrix hybrid/composites)

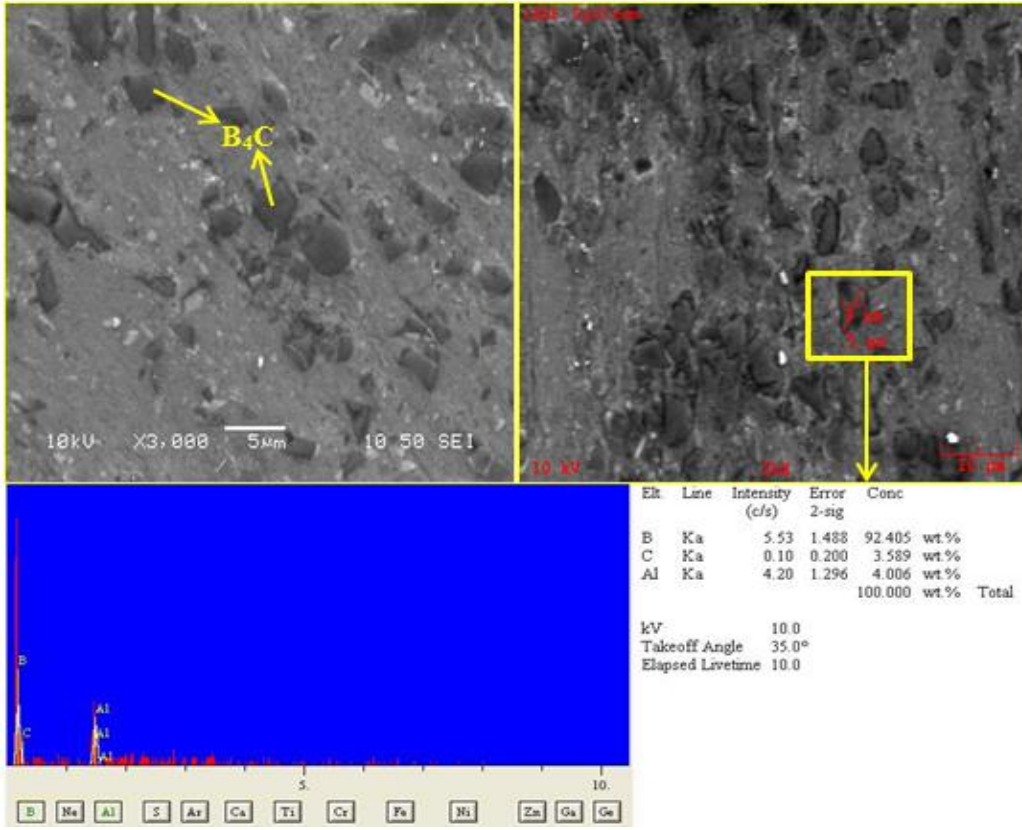




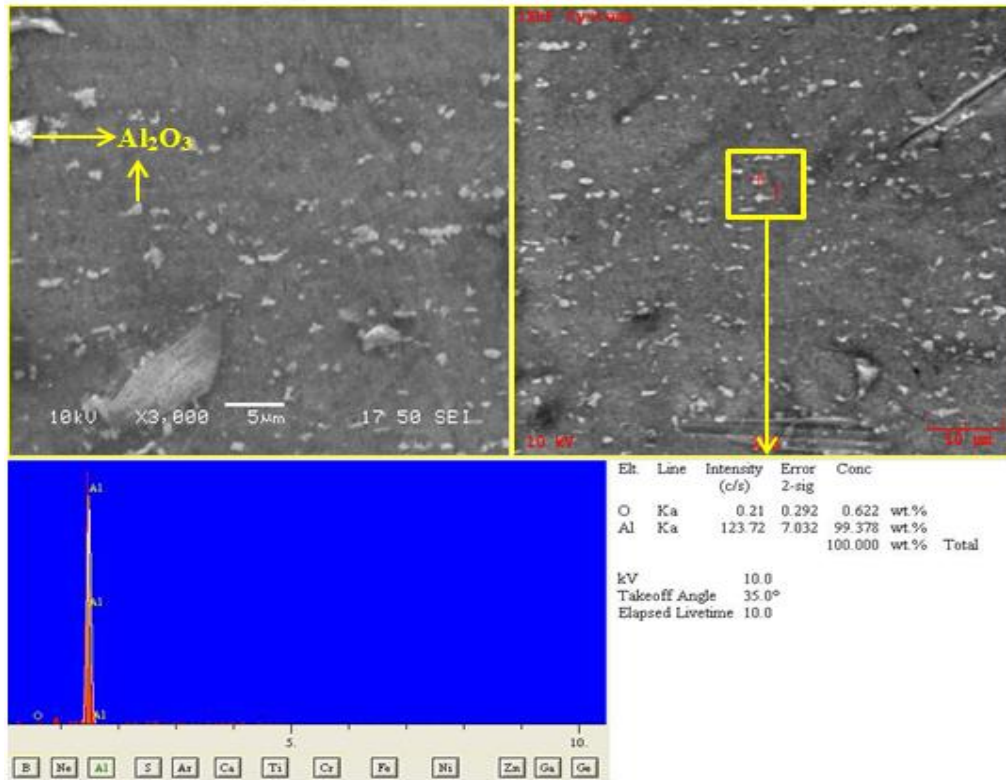
**Şekil 5.** Hibrit/Kompozitlerin optik mikroyapı resimleri: (a)AB0, (b)B10, (c)A10, (d)B5A5 (Optical microstructure images of hybrid/composites for: (a)AB0, (b)B10, (c)A10, (d)B5A5)

Şekil 6-8 de Al 2024 matris içerisinde B<sub>4</sub>C ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> parçacıklarının dağılımını gösteren SEM resimleri ve EDS analiz değerleri verilmiştir. Şekil 6-8 de verilen görüntülere göre kompozit içerisinde var olan parçacıkların homojen olarak dağıldığı söylenebilir. Matris yüzeyi ile B<sub>4</sub>C ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> parçacıkları arasında kısmen boşluklar ve ayrıca Şekil 6 ve 7’de verilen SEM görüntülerine göre bazı bölgelerde kısmen parçacık kümelenmelerinin olduğu gözlenmiştir. Fakat kompozit yapının tamamında bu parçacık kümelenmelerinin olmadığı tespit edilmiştir. Yapılan sıcak ekstrüzyon

işleminin parçacık kümelenmelerini dağıttığı ve matris içerisinde seramik parçacık dağılımının homojen olmasını desteklediği düşünülmektedir. Al 2024 matris ile seramik parçacıkları arasında boşluklar izlenmiştir. Şekil 8’de verilen hibrit kompozite ait SEM görüntüsü incelendiğinde B<sub>4</sub>C parçacıkları etrafında Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> parçacıklarının kısmen kümelendiği görülmektedir ve bu duruma bağlı olarak aynı oranda parçacık içeren numunelere kıyaslı hibrit kompozit malzemenin yoğunluğunda bir miktar artış olduğu düşünülmektedir.

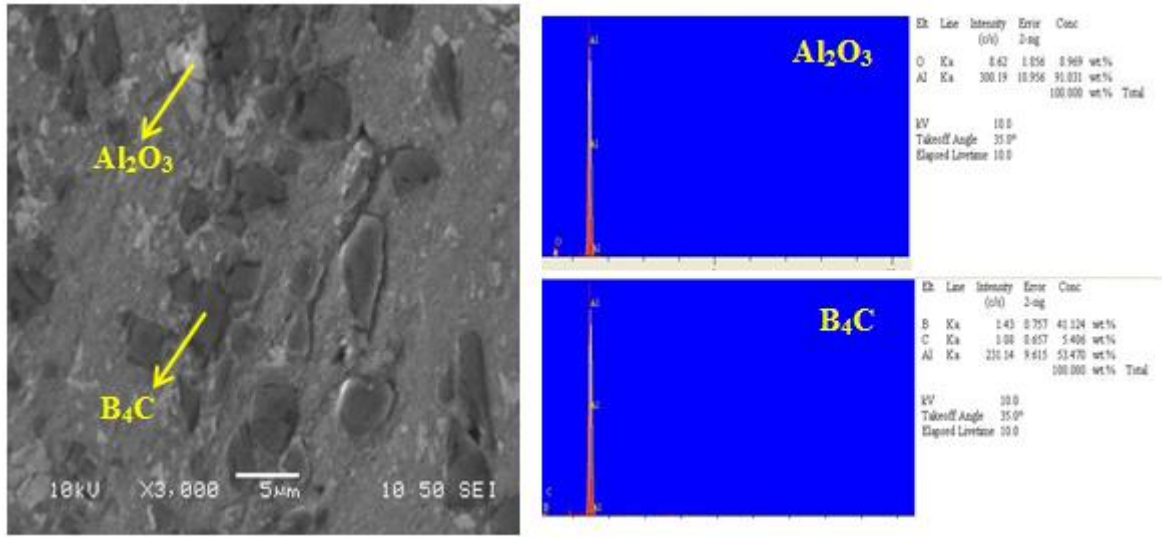


Şekil 6. B<sub>4</sub>C (%10 ağırlıkça) içeren Al 2024 esaslı kompozitin SEM görüntüleri ve EDS analiz değerleri (EDS analysis values and SEM pictures of Al 2024 based B<sub>4</sub>C (10 wt.%) reinforced composites)



Şekil 7. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (%10 ağırlıkça) içeren Al 2024 esaslı kompozitlerin SEM görüntüleri ve EDS analiz değerleri

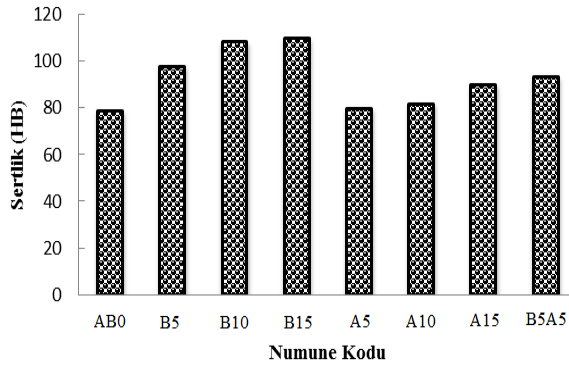




**Şekil 8.** B<sub>4</sub>C ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren Al 2024 esaslı hibrit kompozitin SEM görüntüleri ve EDS analiz değerleri (EDS analysis values and SEM pictures of Al 2024 based B<sub>4</sub>C and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> reinforced hybrid composites)

### 3.2. Mekanik Özellikler (Mechanical Properties)

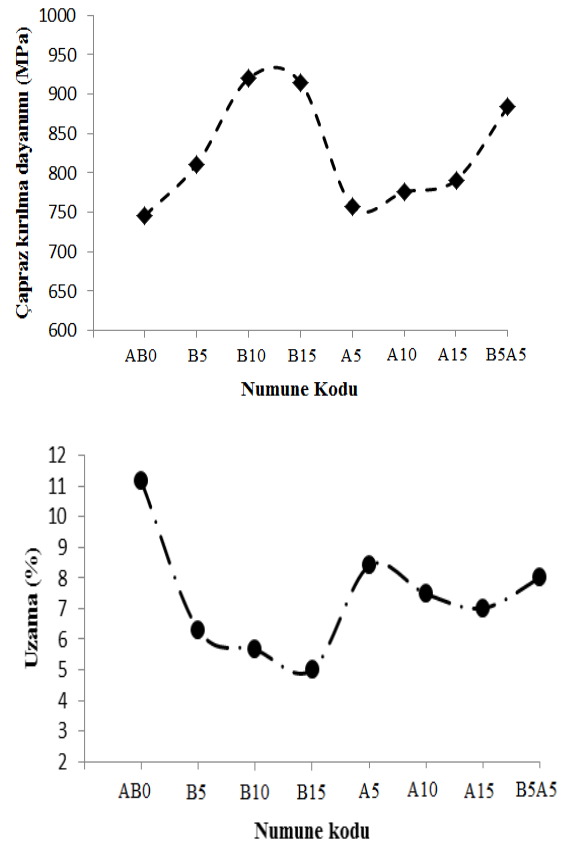
Şekil 9'da Al 2024 matrisli B<sub>4</sub>C ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> parçacık takviyeli sinterleme ve sıcak ekstrüzyon işlemlerine tabi tutulmuş MMK numunelerin Brinell sertlik değerleri görülmektedir. Al 2024 matris içinde artan parçacık miktarına bağlı olarak sertlikte artış tespit edilmiştir. En düşük sertlik değeri takviye elemanı içermeyen Al 2024 numude ölçülmüştür. Al metal matrisli kompozitler üzerine yapılan benzer çalışmalarda aynı durum gözlenmiştir [18, 19]. En yüksek sertlik değerine 110 HB ile ağırlıkça %15 oranında B<sub>4</sub>C içeren numunelerde ulaşılmıştır. %10 ve 15 B<sub>4</sub>C içeren numunelerin sertlik değerlerinin yakın çıktığı tespit edilmiştir.



**Şekil 9.** Hibrit/kompozitlerin sertlik değerleri (Hardness values of hybrid/composites)

Al 2024 matris içinde aynı oranda B<sub>4</sub>C ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren numunelere ait sertlik değerleri mukayese edildiğinde B<sub>4</sub>C içeren kompozitlerin sertlik değerlerinin önemli oranda daha yüksek çıktığı gözlenmektedir. B<sub>4</sub>C parçacıkların SiC ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> parçacıklardan daha düşük yoğunluğa ve daha yüksek sertliğe sahip oldukları bilinmektedir [20]. Bu duruma paralel olarak aynı miktarda B<sub>4</sub>C içeren MMK'lerin Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren MMK'lere kıyasla daha yüksek sertlik sergiledikleri tespit

edilmiştir. Al 2024 matrisli B<sub>4</sub>C ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviyeli hibrit kompozite (B5A5) ait sertlik değerinin ağırlıkça %15 oranında Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren kompozit numuneden daha yüksek çıktığı tespit edilmiştir. Hibrit kompozit içerisinde bulunan %5 oranındaki B<sub>4</sub>C'nin ve ekstrüzyon işlemi sonrası elde edilen yüksek yoğunluğun sertlikte artışa neden olduğu düşünülmektedir.

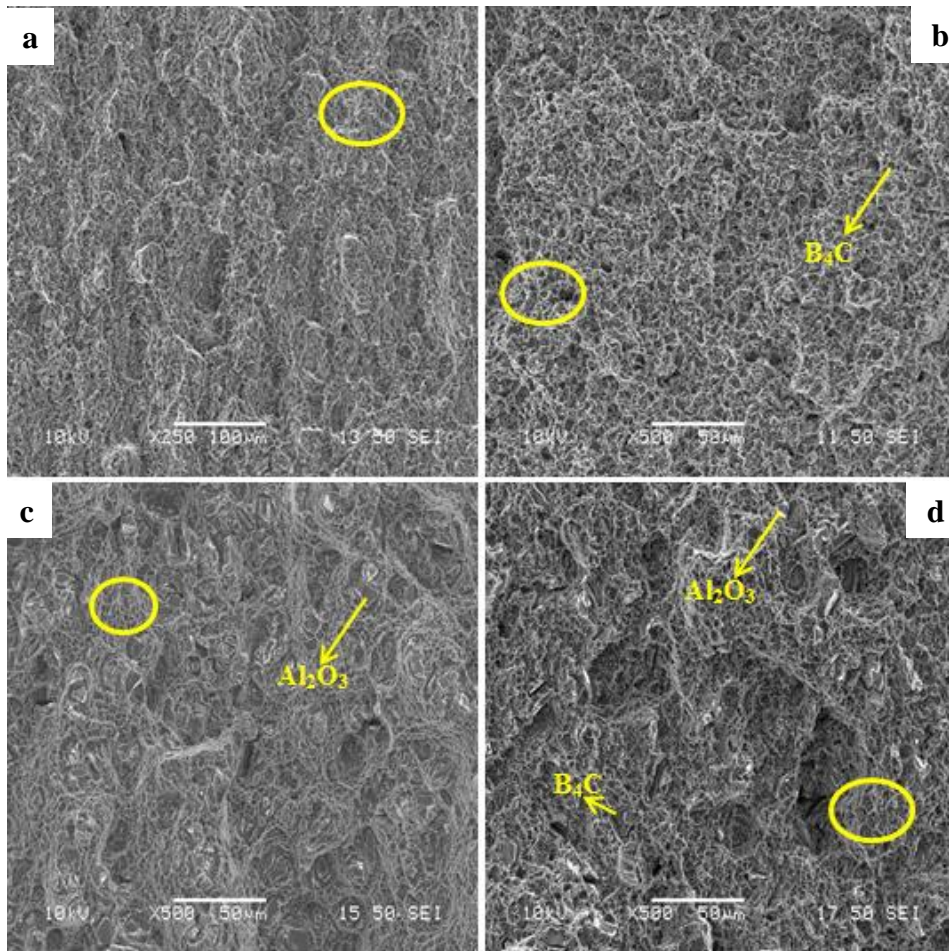


**Şekil 10.** Hibrit/kompozitlerin çapraz kırılma dayanımları ve uzama değerleri (Elongation values and transverse rupture strength of hybrid/composites)

Şekil 10'da Al 2024 MMK'lere uygulanan çapraz kırılma testi sonrası elde edilen dayanım değeri ve uzama değerleri verilmiştir. En yüksek çapraz kırılma dayanımı 920 MPa ile %10 B<sub>4</sub>C içeren kompozit numunede elde edilmiştir. Ağırlıkça %10 ve 15 B<sub>4</sub>C içeren numunelerde ulaşılan çapraz kırılma dayanımı değerlerinin birbirlerine yakın olduğu gözlenmiştir. En düşük çapraz kırılma dayanımı 746 MPa ile takviye elemanı içermeyen numunelerde tespit edilmiştir. Hibrit kompozit numunelerde (B5A5) elde edilen çapraz kırılma değeri Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviyeli numunelerden daha yüksek çıkmıştır. Bunun sebebinin hibrit kompozitlerde elde edilen sertlik değerinin daha yüksek olmasından dolayı olduğu düşünülmektedir. Üretilen MMK'lerde ulaşılan en yüksek uzama miktarı takviye elemanı içermeyen numunelerde (AB0) ve en düşük uzama değeri %15 B<sub>4</sub>C içeren kompozitlerde tespit edilmiştir. Uzama değerlerinde gözlenen değişim MMK'lerin sertlikleri ile paralellik sergilemektedir. Hibrit kompozit malzemelere (B5A5) ait çapraz kırılma ve uzama miktarlarında gözlenen değişimin ekstrüzyon işlemi ile B<sub>4</sub>C ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> parçacıkların birbirleri etrafında toplanarak parçacık/matris ara yüzeyini geliştirdiği bu duruma paralel olarak yoğunlukta artış meydana gelmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

### 3.3. Kırık Yüzey Analizi (Fractography)

Şekil 11'de MMK numunelere (AB0, B10, A10, B5A5) ait çapraz kırılma işlemi sonrası elde edilen kırık yüzey SEM görüntüleri sunulmuştur. Al alaşımlarında hasarın genellikle büyük çökeltilerin ve parçacık kümelenmelerinin olduğu bölgelerde bazen de küçük çökeltiler etrafında ve mikro çatlaklar ile başladığı bilinmektedir [21]. Bütün numuneler çukurcuklu sünek kırılma davranışı sergilemiştir. Şekil 11'de seçilmiş kompozit numunelere ait SEM görüntüleri üzerinde görülen sarı halkalar çukurcuklara örnek olarak gösterilmektedir. Matrisin sünek olarak kopması parçacığın matris yüzeyine daha iyi gömüldüğüne bir işaret olarak düşünülmektedir. Çukurcukların boyutunun büyümesinin parçacık matris ilişkisini geliştirdiği ve sünek davranışı arttırdığı, küçük çukurcukların ise düşük süneklığe işaret ettiği bilinmektedir [22]. Şekil 11'de verilen görüntüler incelendiğinde Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren kompozitte (A10) elde edilen çukurcukların daha derin ve geniş olduğu tespit edilmiştir ve kırılma olayı parçacık etrafından gerçekleşmiştir. Parçacık ilavesiyle çukurlu kopma modlarının daha mikro düzeyde olması süneklığın kısıtlı olmasına neden olmuştur.



Şekil 11. Çapraz kırılma testi sonrası numune kırık yüzeyleri: (a)AB0, (b)B10, (c)A10, (d)B5A5 (The fracture surfaces after transverse rupture strength test for: (a)AB0, (b)B10, (c)A10, (d)B5A5)



#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Yapılan çalışmada B<sub>4</sub>C ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> parçacık takviyeli Al 2024 metal matrisli hibrit/kompozit numuneler geleneksel toz metalürjisi ve sıcak ekstrüzyon yöntemi ile üretilmiştir. Sinterleme ve ekstrüzyon işlemleri sonucu elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur;

- Bütün numunelerde sinterleme işlemi akabinde yapılan sıcak ekstrüzyon işlemi ile yoğunlukta artış tespit edilmiştir.
- Al 2024 matris içerisine ilave edilen parçacık miktarındaki artışa bağlı olarak yoğunlukta azalma olduğu gözlemlenmiştir.
- Üretilen Al 2024 MMK'lerde en yüksek sertlik değerine ağırlıkça %15 B<sub>4</sub>C içeren numunelerde ulaşılmıştır. En düşük sertliği takviye elemanı içermeyen numuneler sergilemiştir. Hibrit kompozit numunelerde Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren kompozitlerden daha yüksek sertlik değeri elde edilmiştir.
- Al 2024 matrisli hibrit kompozit numuneler aynı oranda (ağırlıkça %10) B<sub>4</sub>C içeren numunelerden daha sünek davranış ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren numunelerden daha yüksek çapraz kırılma dayanımı sergilemiştir.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Kok, M., "Production and mechanical properties of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particle-reinforced 2024 aluminium alloy composites", *Journal of Materials Processing Technology*, 161 (3): 381-387, (2005).
2. Rahimian, M., Ehsani, N., Parvin, N., Baharvandi, H.R., "The effect of particle size, sintering temperature and sintering time on the properties of Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composites, made by powder metallurgy", *Journal of Materials Processing Technology*, 209: 5387-5393, (2009).
3. Sekmen, M., Günay, M., Şeker, U., "Alüminyum Alaşımının İşlenmesinde Kesme Hızı ve Talaş Açısının Yüzey Pürüzlülüğü, Yığıntı Talaş ve Yığıntı Katmanı Oluşumu Üzerine Etkisi", *Politeknik Dergisi*, 18 (3): 141-148, (2015).
4. Arik, H., Özçatalbaş, Y., Türker, M., "Dry Sliding Wear Behavior of in situ Al-Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> MMC Produced by Mechanical Alloying Technique", *Materials and Design*, 27: 799-804, (2006).
5. Sharma, P., Sharma, S., Khanduja, D., "A study on microstructure of aluminium matrix composites", *Journal of Asian Ceramic Societies*, 3: 240-244, (2015).
6. Min, K.H., Kang, S.P., Kim, D.G., Kim, Y.D., "Sintering, characteristic of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-reinforced 2xxx series Al composite powders", *Journal of Alloys and Compounds*, 400: 150-153, (2005).
7. Aksöz, S., Özdemir, A.T., Bostan, B., "AA2014 Alüminyum Alaşım Tozlarının Karbon İle Sentezlenmesi ve Özellikleri'nin Belirlenmesi", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimari Fakültesi Dergisi*, 27 (1): 109-115, (2012).
8. Garreno-Gallardo, C., Mendoza-Duarte, J.M., Lopez-Melendez, C., Estrada-Guel, I., Martinez-Sanchez, R., "Evaluation of Mechanical Properties of Aluminum Alloy (Al-2024) Reinforced with Carbon-Coated Silver Nanoparticles (AgCNP) Metal Matrix Composites", *Microscopy and Microanalysis*, 21, 3: 1041-1042, (2015).
9. Shorowordi, K.M., Laoui, T., Haseeb, A.S.M.A., Celis, J.P., Froyen, L., "Microstructure and interface characteristics of B<sub>4</sub>C, SiC and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> reinforced Al matrix composites: a comparative study", *Journal of Materials Processing Technology*, 142: 738-743, (2003).
10. Venkatesh, B., Harish., "Mechanical Properties Of Metal Matrix Composites (Al/SiCp) Particles Produced By Powder Metallurgy", *International Journal of Engineering Research and General Science*, 3(1): 1277-1284, (2015).
11. Ahmadi, A., Toroghinejad, M.R., Najafzadeh, A., "Evaluation of microstructure and mechanical properties of Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiC hybrid composite fabricated by accumulative roll bonding process", *Materials and Design*, 53: 13-19, (2014).
12. Ahamed, A.R., Asokan, P., Aravindan, S., Prakash., M.K., "Drilling of hybrid Al-5%SiC<sub>p</sub>-5%B<sub>4</sub>C<sub>p</sub> metal matrix composites", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 49(9): 871-877, (2010).
13. Rahmani Fard, R., Akhlaghi, F., "Effect of extrusion temperature on the microstructure and porosity of A356-SiCp composites", *Journal of Materials Processing Technology*, (187) 188: 433-436, (2007).
14. Zheng, R., Hao., Xiaoning, Yuan, Y., Wang, Z., Ameyama, K., Ma., Chaoli, "Effect of high volume fraction of B<sub>4</sub>C particles on the microstructure and mechanical properties of aluminum alloy based composites", *Journal of Alloys and Compounds*, 576: 291-298, (2013).
15. Arik, H., Bağcı, C., "Investigation of Influences of Pressing Pressure and Sintering Temperature on the Mechanical Properties of Al-Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> Composite Materials", *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 27: 53-58, (2003).
16. Wang, Z., Song, M., Sun, C., Xiao, D., He, Y., "Effect of extrusion and particle volume fraction on the mechanical properties of SiC reinforced Al-Cu alloy composites", *Materials Science and Engineering A*, 527: 6537-6542, (2010).
17. Dobrzanski, L.A., Wlodarczyk, A., Adamiak, M., "Structure, properties and corrosion resistance of PM composite materials based on EN AW-2124 aluminum alloy reinforced with the Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ceramic particles", *Journal of Materials Processing Technology*, 162-163 27-32, (2005).
18. Karabulut, Ş., "Optimization of surface roughness and cutting force during AA7039/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> metal matrix composites milling using neural networks and Taguchi method", *Measurement*, 66: 139-149, (2015).
19. Varol, T., Canakci, A., Ozsahin, S., "Artificial neural network modeling to effect of reinforcement properties on the physical and mechanical properties of Al2024-B<sub>4</sub>C composites produced by powder metallurgy", *Composites: Part B*, 54: 224-233, (2013).
20. Topcu, I., Gulsoy, H.O., Kadioglu, N., Gulluoglu., A.N., "Processing and mechanical properties of B<sub>4</sub>C reinforced Al matrix composites", *Journal of Alloys and Compounds*, 482: 516-521, (2009).
21. Steglich, D., Brocks, W., Heerens, J., Pardoen, T., "Anisotropic ductile fracture of Al 2024 alloys", *Engineering Fracture Mechanics*, 75: 3692-3706, (2008).
22. Bauri, R., Surappa, M.K., "Processing and properties of Al-Li-SiCp composites", *Science and Technology of Advanced Materials*, 8: 494-502, (2007).