



Kahramanmaraş Sütçü İmam University Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 08.11.2024
Kabul Tarihi : 13.01.2025

Received Date : 08.11.2024
Accepted Date : 13.01.2025

Al7075-B₄C KOMPOZİTLERİN TOZ METALÜRJİSİ VE SICAK PRESLEMEYLE ÜRETİMİ, MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ PRODUCTION OF Al7075-B₄C COMPOSITES BY POWDER METALLURGY AND HOT PRESSING, INVESTIGATION OF THEIR MECHANICAL PROPERTIES

Aleyna TAŞKIN¹ (ORCID: 0000-0002-8308-9957)

Elif IŞIK² (ORCID: 0000-0000-0001-8289-9512)

Mahmut Can ŞENEL^{3*} (ORCID: 0000-0001-7897-1366)

¹Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Samsun, Türkiye

²Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Sivas, Türkiye

³Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Samsun, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Mahmut Can ŞENEL, mahmutcan.senel@omu.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, Al7075 alaşımı matrise ağırlıkça %1, 3, 6, 9, 12, 15 ve 30 oranlarında bor karbür ilavesi yapılarak Al7075-B₄C kompozit malzemeler, toz metalürjisi ve sıcak presleme yöntemleri kullanılarak üretilmiştir. Bor karbür katkı oranının mikroyapı ile mekanik özellikler (yoğunluk, gözeneklilik oranı, Vickers sertliği ve basma dayanımı) üzerindeki etkisi incelenmiştir. Yürütülen testler sonucunda en yüksek yoğunluk (2,63 g/cm³), Vickers sertliği (256 HV), basma dayanımı (509 MPa) ve en düşük gözeneklilik oranı (%0,5) Al7075-30B₄C kompozitte elde edilmiştir. Mikroyapı incelemelerinde, %30 B₄C katkı oranıyla takviye partiküllerinin matris içinde homojen bir dağılım gösterdiği tespit edilmiştir. Sonuç olarak, %30 B₄C katkısının Al7075 matrisli kompozitin mikroyapısını ve mekanik özelliklerini önemli ölçüde iyileştirdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Bor karbür, Al7075 alaşımı, sıcak presleme, mekanik özellik

ABSTRACT

In this study, Al7075-B₄C composite materials were produced by adding boron carbide (1, 3, 6, 9, 12, 15, and 30wt %) to the Al7075 alloy matrix using powder metallurgy and hot-pressing methods. The effect of the reinforcement ratio on the microstructure and mechanical properties (density, porosity ratio, Vickers hardness, and compressive strength) were investigated. As a result of the tests conducted, the highest density (2.63 g/cm³), Vickers hardness (256 HV), compressive strength (509 MPa), and the lowest porosity ratio (0.5%) were obtained in the Al7075-30B₄C composite. In the microstructural examinations, it was determined that the reinforcement particles (30% B₄C) showed a homogeneous distribution in the matrix. As a result, it was seen that the reinforcement of 30% B₄C significantly improved the microstructure and mechanical properties of the Al7075 matrix composite.

Keywords: Boron carbide, Al7075 alloy, hot pressing, mechanical property

GİRİŞ

ToCite: TAŞKIN, A., IŞIK, E., ŞENEL, M.C., (2025). AL7075-B₄C KOMPOZİTLERİN TOZ METALÜRJİSİ VE SICAK PRESLEMEYLE ÜRETİMİ, MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 28(1), 460-471.

Teknolojinin ilerlemesi ile birlikte yeni malzemelere yönelim gün geçtikçe artmaktadır. Kompozit malzemeler, en az iki malzemenin üstün özelliklerinin bir araya getirilmesiyle elde edilen yeni bir malzeme grubudur. Matris yapı ve takviye elemanı olmak üzere iki ana bileşenden oluşmaktadır (Tharanikumar vd., 2024). Matris yapı takviye elemanlarını bir arada tutar ve kompozit malzemeye gelen yükü takviye elemanına iletir. Takviye elemanı ise herhangi bir gerilme durumunda yükü taşıyarak kompozit malzemenin mukavemetini iyileştirir. Kompozitler matris malzemesine göre; metal, seramik ve polimer olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır.

Metal matrisli kompozitler (MMK), matrisi metal veya metal alaşımı olan kompozitlerdir. MMK malzemeler düşük ağırlık/dayanım oranına, düşük yoğunluğa ve yüksek mukavemete sahiptir. Bu mükemmel özelliklerinden dolayı MMK'ler otomotiv endüstrisi, havacılık, biyomedikal başta olmak üzere birçok alanda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Sharma vd., 2024). Alüminyum ve alaşımları yüksek elastik modülü, yüksek tokluk ve mükemmel özgül mukavemet gibi özelliklerinden dolayı metal matrisli kompozitlerde matris malzemesi olarak sıklıkla tercih edilmektedir. Al alaşımlarından 7xxx serisine ait olan Al7075 yüksek sertliğe, düşük çatlak ilerleme hızına ve yüksek kırılma tokluğuna sahiptir. Bu özellikler Al7075'in yüksek mukavemet ve hafiflik gerektiren uygulamalarda matris malzemesi olarak kullanılmasını sağlamaktadır (Chouhan vd., 2024).

Kompozit malzemenin mekanik özelliklerini iyileştirmek amacıyla matrise takviye elemanı eklenmektedir. Al matrise genellikle silisyum nitrür (Si_3N_4), tungsten karbür (WC), alümina (Al_2O_3), zirkonyum oksit (ZrO_2), bor karbür (B_4C) gibi yüksek sertliğe sahip seramik malzemeler takviye edilmektedir. Bu malzemeler arasında B_4C , 19. yüzyılda keşfedilen ve oksit içermeyen seramikler arasında yer alan önemli bir malzemedir. Yüksek sertlik, düşük yoğunluk, kimyasal kararlılık ve yüksek ergime sıcaklığı gibi üstün özelliklere sahip olması nedeniyle, özellikle havacılık, savunma ve nükleer sanayi gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bor karbür, bilinen en sert malzemelerden biri olup sadece elmas ve kübik bor nitrürden daha yumuşaktır. Bu sertlik seviyesi, bor karbürün aşınma direncinin çok yüksek olduğu uygulamalarda kullanımını sağlamaktadır. Ayrıca bor karbür, hafifliği ve yüksek sertliği sayesinde zırh sistemleri, kurşun geçirmez yelekler ve balistik plakaların üretiminde de kullanılmaktadır. Aynı zamanda, kimyasal kararlılığı ve aşınma dayanımından dolayı aşındırıcı malzemelerde, kesici uçlarda, pompalarda ve nozul gibi parçalarda da tercih edilmektedir (Rajanish vd., 2024).

Kompozit malzemeler karıştırmalı döküm, sıvı infiltrasyon, sıkıştırılmalı döküm, ekstrüzyon, toz metalürjisi vb. birçok yöntemle üretilebilmektedir. Bu yöntemler arasında toz metalürjisi (TM), son şekle yakın parça üretimi, karmaşık geometrilere sahip parçaların üretilmesi ve düşük maliyet gibi avantajlarından dolayı kompozit malzeme üretiminde sıklıkla tercih edilmektedir. TM yönteminde toz halindeki matris ve takviye malzemesi belirli oranlarda karıştırılarak sıkıştırılır ve şekillendirilen tozlara dayanımlarını artırmak amacıyla ısıtılarak uygulanmaktadır. Ardından kompozit numunelere ikincil işlemlerin uygulanması ile üretim tamamlanmaktadır. Bu yöntem farklı malzeme kombinasyonlarının kullanılarak kaliteli malzeme üretimini sağladığı için aşınma direnci yüksek, ısıya dayanıklı ve yüksek mukavemete sahip kompozit malzeme üretimini mümkün kılmaktadır (Bharathi & Kumar, 2024).

Literatürde Al matrisli B_4C takviyeli kompozit malzemelerin üretildiği birçok çalışma bulunmaktadır. Akçay vd., toz metalürjisi ve mekanik öğütme yöntemlerini kullanarak Al matrise ağırlıkça %10, 20 ve 40 oranlarında B_4C takviye ederek kompozit malzemeler üretmişlerdir. B_4C takviye oranının artmasıyla kompozitin sertliğinin arttığı ancak yoğunluğunun azaldığı belirlenmiştir. Bu azalmanın B_4C partiküllerinin düşük yoğunluğundan kaynaklandığı belirtilmiştir. En yüksek sertlik değeri (290,70 HV) Al-40 B_4C kompozitte elde edilmiştir. En yüksek yoğunluk değeri ($2,62 g/cm^3$) ise Al-10 B_4C kompozit yapıda belirlenmiştir (Akçay vd., 2022). Karabacak ve Çanakçı, TM ile Al2024 matrise ağırlıkça %2,5 ve %5 oranlarında B_4C ve SiC takviye ederek kompozit malzeme üretmişlerdir. En yüksek sertlik (209,9 HB) ve eğilme dayanımı (799,2 MPa) ise Al2024-5 B_4C kompozitte tespit edilmiştir. Ayrıca, B_4C ve SiC takviyeli kompozitlerin korozyon dayanımının, saf Al2024 alaşımına kıyasla yaklaşık %87 oranında arttığı belirtilmiştir. Takviye partiküllerinin yüksek sertliğinden dolayı katkı oranının artmasıyla kompozitin mekanik özelliklerinde bir iyileşme gözlemlenmiştir (Karabacak & Çanakçı, 2023). Nagaral vd. karıştırmalı döküm yöntemi ile Al2024 alaşımına ağırlıkça %2, 4, 6 ve 8 oranlarında B_4C takviye edilerek üretilen kompozitlerin mikroyapılarını ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Al2024 alaşımı ile karşılaştırıldığında, Al2024-8 B_4C kompozitinde sertlik, basma, çekme ve akma dayanımlarının sırasıyla %62,6, %51,4, %54,1 ve %55,5 oranında arttığı belirlenmiştir. Ayrıca takviye elemanının matris içerisinde homojen dağıldığı tespit edilmiştir (Nagaral vd., 2021). Shantharaj vd. çalışmalarında, karıştırmalı döküm yöntemiyle Al7075 alaşım matrisine ağırlıkça %3 ve %6 oranlarında B_4C ekleyerek kompozit malzemeler üretmişlerdir. Al7075-6 B_4C kompozitin, Al7075 alaşımına göre akma dayanımında %27,2 ve çekme dayanımında %21,8 oranında artış gösterdiği ifade edilmiştir. Çalışma sonucunda, B_4C takviye oranının artması ile kompozitlerin mekanik özelliklerinin iyileştiği belirlenmiştir (Shantharaj vd., 2022). Ramadoss

vd. tarafından yapılan çalışmada Al7075 matrisli B₄C (ağırlıkça %3, 6 ve 9) ve BN (ağırlıkça %3) takviyeli kompozitler karıştırılmalı döküm yöntemi ile üretilmiştir. Üretilen kompozitlerin mikroyapıları ve mekanik özellikleri incelenmiştir. En yüksek sertlik (~100 HRC), çekme dayanımı (~250 MPa) ve basma dayanımı (~550 MPa) Al7075-9B₄C-3BN kompozitinde elde edilmiştir. Ayrıca mikroyapı analizleri sonucunda takviye elemanlarının matris içinde homojen bir şekilde dağılması ve partikül boyutunun küçülmesi nedeniyle, katkı oranı arttıkça kompozitlerin mekanik özelliklerinin iyileştiği sonucuna varılmıştır (Ramadoss vd., 2020). Topcu vd. tarafından yapılan çalışmada toz metalürjisi yöntemiyle Al-B₄C kompozitleri üretilmiştir. Al matrise ağırlıkça %5, 10, 15 ve 20 oranlarında B₄C takviye ederek ürettikleri kompozitlerin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Bor karbür katkı oranının artması ile kompozitlerin sertlik değerinin arttığı ve gözeneklilik oranının azaldığı belirlenmiştir. Ancak katkı oranının artması ile darbe dayanımının azaldığını ifade etmişlerdir (Topcu vd., 2009). Meignanamoorthy vd. yaptıkları çalışmada toz metalürjisi yöntemi ile Al8079 matrisli B₄C takviyeli (ağırlıkça %5, 10 ve 15) kompozit malzemeler üretilmişlerdir. Üretilen kompozitlerin mekanik özelliklerini incelendiğinde kompozitlerin yoğunluğu, sertliği ve basma dayanımı katkı oranının artması ile artmıştır. Bu artışın sebebinin, takviye oranının artması ile yapı içerisindeki gözeneklilik oranının azalmasından kaynaklandığı belirtilmiştir. Sonuç olarak Al8079 matrise ağırlıkça %15 B₄C takviye edildiğinde kompozitin mekanik özelliklerinin geliştiği ifade edilmiştir (Meignanamoorthy vd., 2021).

Literatür çalışmaları incelendiğinde alüminyum matrisli B₄C takviyeli kompozitlerin üretilmesi ile ilgili birçok çalışma mevcuttur. Ancak bu çalışmalar arasında toz metalürjisi ve indüksiyonla sıcak presleme yöntemiyle Al7075-B₄C kompozitlerin üretildiği herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu nedenle yapılan bu çalışmada toz metalürjisi ve sıcak presleme yöntemleri kullanılarak Al7075 matrise farklı katkı oranlarında (ağırlıkça %1, 3, 6, 9, 12, 15 ve 30) B₄C ilave edilerek kompozit malzemeler üretilmiştir. Üretilen Al7075-B₄C kompozitlerin mikroyapıları ve mekanik özellikleri incelenmiştir.

MATERYAL ve YÖNTEM

Materyal

Yapılan bu çalışmada matris malzemesi olarak Al7075 alaşımı ve takviye elemanı olarak B₄C kullanılmıştır. Al7075 alaşım tozu ve B₄C tozu Nanografi Teknoloji (Türkiye) firmasından temin edilmiştir. Al7075 alaşımı; dayanım ve tokluk değerinin yüksek ancak yoğunluğunun düşük olması gibi özelliklere sahip olması nedeniyle tercih edilmiştir. Kullanılan Al7075 alaşım tozu 2,81 g/cm³ yoğunluğa ve ~10 µm (partikül) boyutuna sahiptir. B₄C ise yüksek darbe dayanımı, yüksek aşınma direnci ve kimyasal eylemsizliğe sahiptir. Kimyasal eylemsizlik bor karbürün kimyasal tepkimelere karşı direncinin yüksek olduğunu ifade etmektedir. Bu direncin yüksek olması bor karbürün kompozit malzemelerde matris malzemesi ile tepkimeye girmeden takviye elemanı olarak kullanılabilmesini açıklamaktadır. Bu nedenle Al7075 alaşımına takviye elemanı olarak tercih edilmiştir. B₄C tozu 2,52 g/cm³ yoğunluğa, 2700-3500 HV sertliğe ve ~44 µm partikül boyutuna sahiptir (Chand vd., 2021; Ramadoss vd., 2020). Kullanılan matris ve takviye elemanının genel özellikleri Tablo 1'de verilmiştir (Şahin, 2018; Yıldırım, 2016).

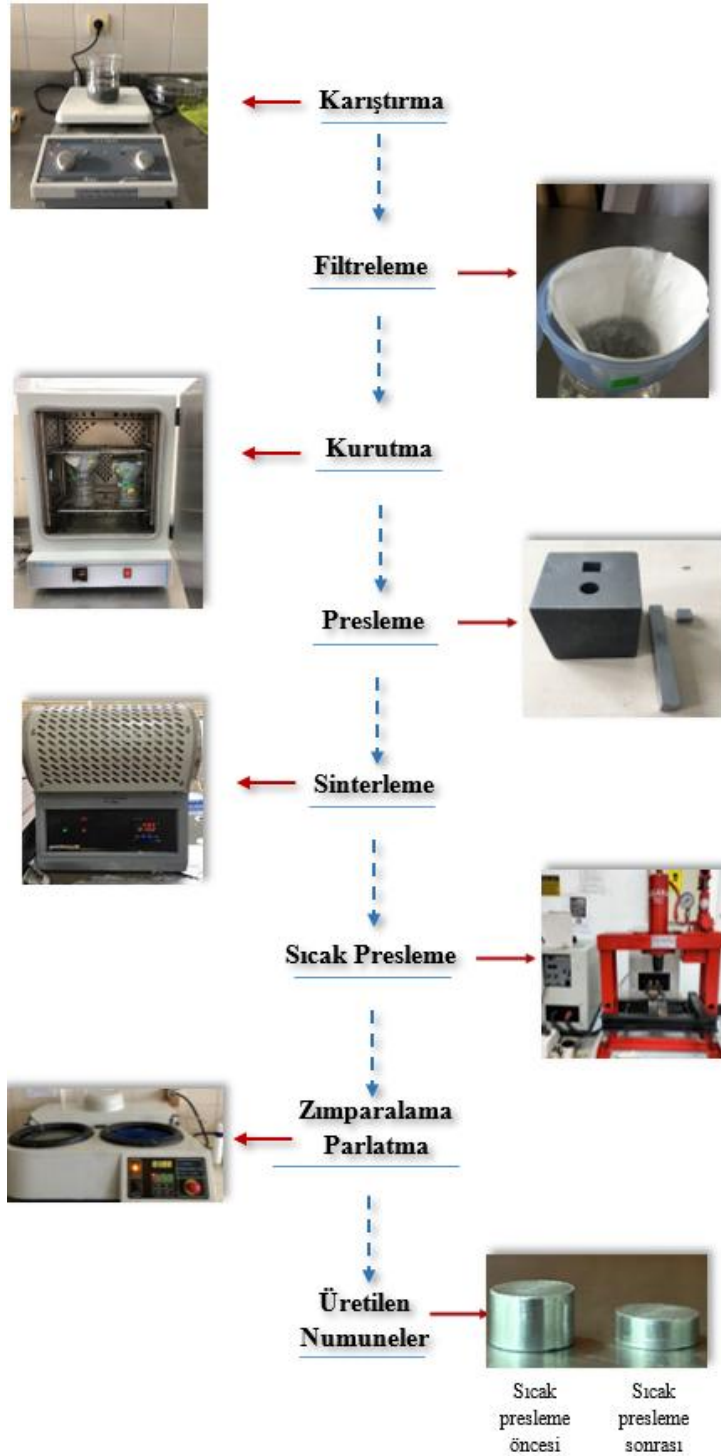
Tablo 1. Al7075 ve B₄C'nin Genel Özellikleri

Malzeme	Yoğunluk (g/cm ³)	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (GPa)	Sertlik (HV)	Ergime Sıcaklığı (°C)
Al7075	2,81	221	71,7	68	635
B ₄ C	2,52	155-162	290-450	2700-3500	2400

Yöntem

Yürütülen çalışmada toz metalürjisi ve sıcak presleme yöntemleri kullanılarak Al7075 matrisli B₄C takviyeli kompozitler üretilmiştir. Üretimin akış şeması Şekil 1'de verilmiştir. Öncelikle Al7075 tozu ısıtıcılı manyetik karıştırıcıda etanol ile birlikte 20 dk süresince 400 dev/dk hızda karıştırılmıştır. Eş zamanlı olarak B₄C tozu yüksek enerjili bilyalı değirmende 60 dk süresince 1200 dev/dk hızda öğütülmüştür. Sonrasında Al7075-etanol karışımı azar azar B₄C-etanol karışımı içerisine aktararak manyetik karıştırıcıda 20 dk süresince 400 dev/dk hızda karıştırılmıştır. Bu karışımdan etanolün uzaklaştırılması amacıyla karışım, filtrelenmiştir. Filtrelenen toz karışımdan nemi uzaklaştırmak için toz karışımı etüv fırında 45°C sıcaklıkta 16 saat süresince kurutulmuştur. Ardından tozlara 800 MPa basınç altında hidrolik pres makinesinde şekillendirme (sıkıştırma) işlemi uygulanmıştır. 11,5×11,5×4,5 mm boyutlarında numuneler elde edilmiştir. Elde edilen ham numunelere mukavemet kazandırmak amacıyla numuneler

60 dk süresince 600°C sıcaklıkta sinterlenmiştir. Sinterleme işlemi sonrasında numuneler oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. Ardından numunelere sıcak presleme işlemi uygulanmıştır. İlk olarak kompozit numuneler 70 mm çapındaki grafit kalıp içerisinde 25 MPa basınç altında sıkıştırılmıştır. 41 sn'de 500°C sıcaklığa ısıtılmış, 30 sn süresince 500°C sıcaklıkta bekletilmiş ve 10 sn süresince soğutulmuştur. Soğutma işlemi ise 4 mm çapta ve 0,5 mm et kalınlığındaki bakır borularla sağlanmıştır. Numunelerin yüzeyindeki pürüzlerin giderilmesi amacıyla numuneler 600, 1200 ve 2500 gritlik su zımparaları kullanılarak 15 dk süresince zımparalanmıştır. Sonrasında numune yüzeyleri elmas solüsyonla elmas çuha üzerinde 15 dk boyunca parlatılmıştır. Üretim sonunda elde edilen numunelere mikroyapı analizleri ve mekanik testler uygulanmıştır.



Şekil 1. Toz Metalürjisi ve Sıcak Presleme Yöntemiyle Al7075-B₄C Kompozit Üretimi

Matris ve takviye malzemesi olarak kullanılan tozların ortalama partikül boyutları, Malvern marka Mastersizer 3000 model ortalama partikül boyutu ölçüm cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Tozların yüzey yapısını, numunelerin kırık

yüzey görüntülerini ve element dağılım haritalarını incelemek için Jeol marka JSM-7001F model taramalı elektron mikroskopu (SEM) kullanılmıştır. Ayrıca, takviye malzemesinin matris içinde dağılımı enerji dağıtıcı X-ışını (EDX) analizi ile belirlenmiştir. Son olarak, numunelerin faz analizi Rigaku marka Smartlab model X-ışını kırınım cihazı (XRD) kullanılarak yapılmıştır.

Kompozit numunelerin deneysel yoğunlukları (ρ_D) Arşimet prensibi kullanılarak belirlenmiştir (Eşitlik 1). Öncelikle numunelerin suda asılı kütlesi (m_A), suya doymuş kütlesi (m_D) ve kuru kütleleri (m_K) tespit edilmiştir. Her numuneden 5 ölçüm alınarak ortalaması hesaplanmış ve deneysel yoğunluk belirlenmiştir.

$$\rho_D = [m_K / (m_D - m_A)] \rho_{SU} \quad (1)$$

Ardından kompozit numunelerin teorik yoğunluğu (ρ_K) Eşitlik 2 ile belirlenmiştir. Eşitlikteki ρ_M ve %M sırasıyla Al7075 alaşımının teorik yoğunluğu (2,81 g/cm³) ve ağırlıkça katkı oranıdır. ρ_{TK} ve %TK ise B₄C'nin teorik yoğunluğu (2,52 g/cm³) ve ağırlıkça katkı oranıdır.

$$\rho_K = (\rho_M \times \%M) + (\rho_{TK} \times \%TK) \quad (2)$$

Numunelerin gözeneklilik oranı (%G) ise Eşitlik 3 ile hesaplanmıştır. Gözeneklilik oranı kompozitlerin mekanik özelliklerini değerlendirmek için önemli bir parametredir. Çünkü yapı içerisinde gözenek (por) oluşması başta sertlik ve basma dayanımı olmak üzere diğer özelliklerin kötüleşmesine yol açmaktadır. Bu gözenekler, malzemeye herhangi bir yük uygulandığı esnada gerilme yığılmalarına yol açarak yapıda erken hasar oluşumuna sebep olmaktadır. Bu nedenle kompozit malzemelerde gözeneklilik (porozite) oranının minimuma indirilmesi malzeme dayanımı açısından oldukça önemlidir.

$$\%G = (1 - (\rho_D / \rho_K)) \times 100 \quad (3)$$

Al7075-B₄C kompozitlerin deneysel yoğunluk ölçümü, Vickers sertlik ölçümü ve basma dayanımı testleri gerçekleştirilmiştir. Al7075 alaşımı ve Al7075-B₄C kompozitlerin sertlikleri, Vickers sertlik ölçme yöntemiyle belirlenmiştir. Mikro Vickers sertlik ölçme cihazı (HV1000B) kullanılarak numune yüzeyine 15 s boyunca 1,961 N'luk yük uygulanmıştır. Yük kaldırıldıktan sonra kare tabanlı piramitin köşegen uzunlukları ölçülerek Vickers sertlik değerleri hesaplanmıştır. Her numuneden en az 7 ölçüm alınarak numunelerin ortalama sertlik değeri belirlenmiştir.

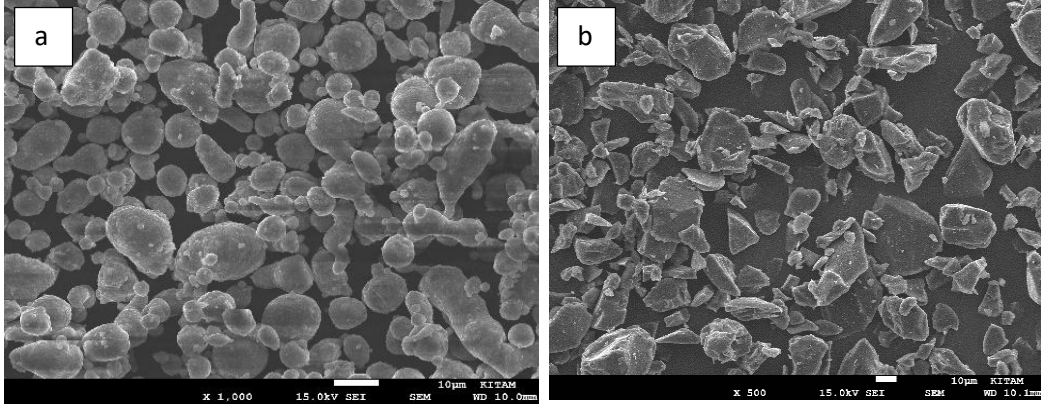
Üretilen kompozit numunelerin basma dayanımı ise Mares marka Tst-10t model basma cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Numunelere önce 1 mm/dk hızla 5 MPa'lık bir ön yük uygulanmış, ardından 3 mm/dk hızla basma testi gerçekleştirilmiştir. Basma testi sırasında numune, test cihazına yükü homojen dağıtacak şekilde yerleştirilmiştir. Ayrıca basma testinin doğru bir şekilde uygulanması amacıyla numuneler 11,5×11,5×4,5 boyutlarında üretilmiştir. Her numune için en az üç test yapılarak elde edilen verilerin ortalaması alınmış ve kompozitlerin ortalama basma dayanımı belirlenmiştir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

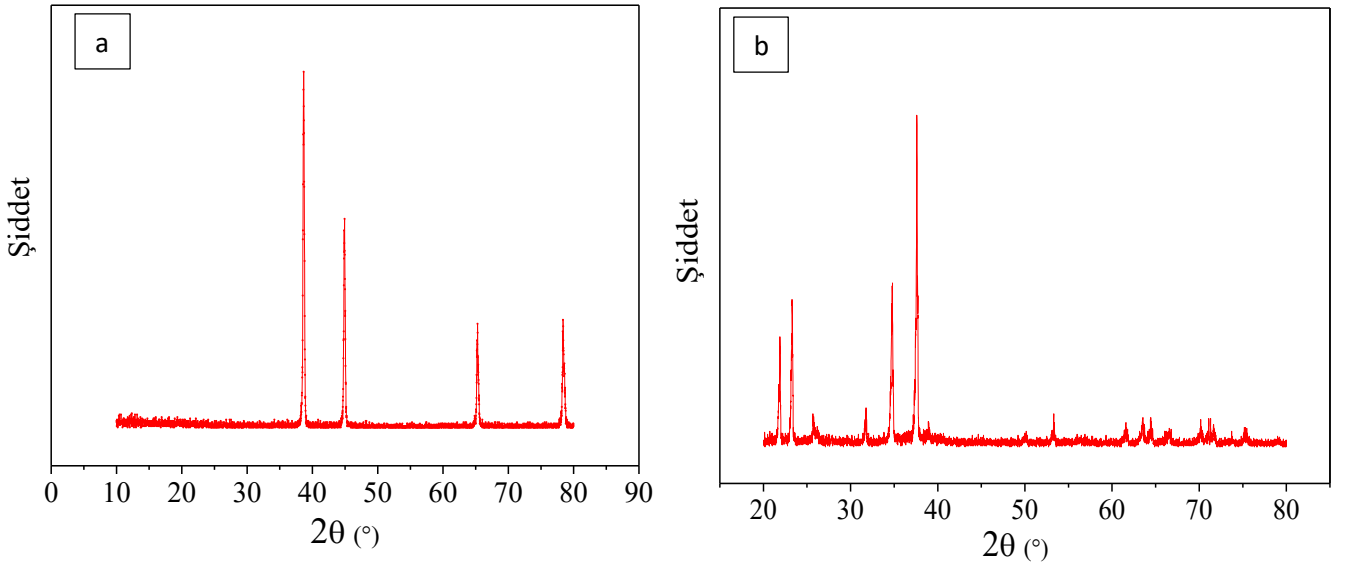
Karakterizasyon

Çalışmada kullanılan matris malzemesi (Al7075 alaşımı) ve takviye elemanı (B₄C) tozlarının SEM görüntüleri Şekil 2'de verilmiştir. Şekil incelendiğinde Al7075 alaşımının küresel bir yapıda olduğu görülmektedir. Takviye elemanı olan bor karbürün ise keskin kenarlı bir yapıda olduğu tespit edilmiştir.

Çalışma kapsamında Al7075 alaşımı ve B₄C tozlarının faz analizleri X-ışını kırınımı (XRD) cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3). XRD analizleri, malzemelerin kristal yapıları ve faz dağılımları hakkında bilgi sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Bu analizde, tozların kırınım desenleri incelenmiş ve Al7075 (JCPDS kart no:89-4184) ile B₄C'nin (JCPDS kart no:00-35-0798) karakteristik kırınım açıları belirlenmiştir. Al7075 alaşımının kırınım açıları, $2\theta = \sim 38^\circ, 45^\circ, 66^\circ$ ve 78° olarak tespit edilmiştir. B₄C'nin kırınım açıları ise $2\theta = \sim 22^\circ, 23^\circ, 26^\circ, 32^\circ, 35^\circ, 38^\circ, 39^\circ, 50^\circ, 54^\circ, 62^\circ, 64^\circ, 67^\circ, 72^\circ, 74^\circ, 75^\circ$ ve 78° 'dir.

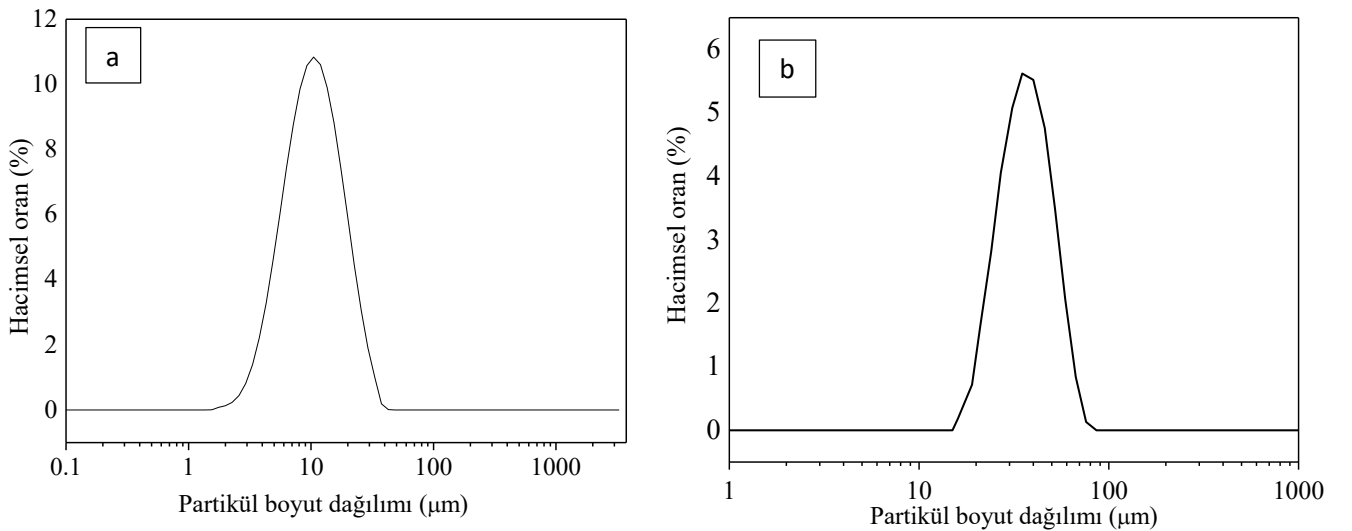


Şekil 2. a. Al7075 Alaşım ve b. B₄C Tozunun SEM Görüntüleri



Şekil 3. a. Al7075 Alaşımı ve b. B₄C Tozlarına Ait XRD Örgü Desenleri

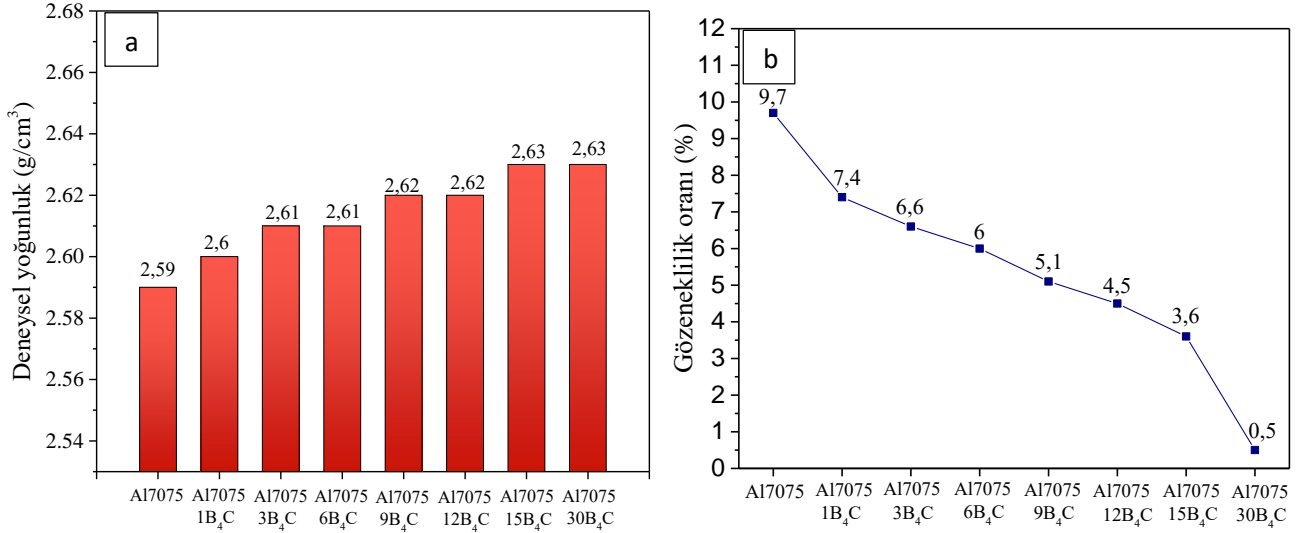
Kompozitlerin üretilmesinde kullanılan Al7075 alaşım ve B₄C tozlarına ait partikül boyut dağılımı Şekil 4'te gösterilmiştir. Partikül boyut dağılımı analizine göre Al7075 alaşım tozlarının ~10 µm boyutuna ve B₄C partiküllerinin ise ~44 µm boyutuna sahip olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4. a. Al7075 Alaşımı ve b. B₄C Tozunun Partikül Boyut Dağılımı

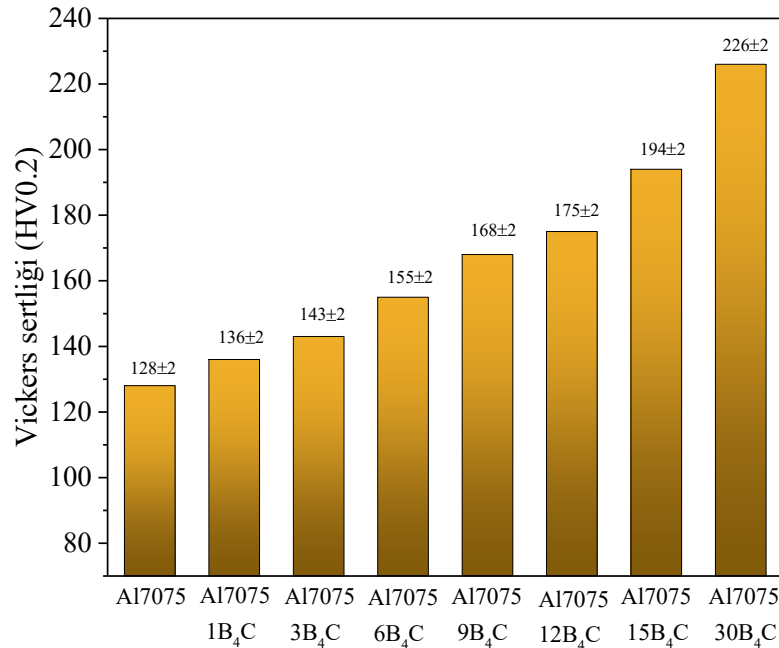
Mekanik Test Sonuçları

Al7075 alaşımı ve Al7075-B₄C kompozitlerin yoğunluk ve gözeneklilik oranı değerleri Şekil 5'te verilmiştir. Şekil incelendiğinde maksimum yoğunluk (2,63 g/cm³) ve minimum gözeneklilik oranı (%0,5) Al7075-30B₄C kompozitte belirlenmiştir. B₄C katkısı kompozitin yoğunluğunu ve gözeneklilik oranını olumlu etkilemiştir. Ayrıca sıcak presleme işlemi sırasında kompozite uygulanan sıcaklık ve basıncın etkisiyle taneler birbirlerine yaklaşarak boyun vermiştir. Dolayısıyla kompozitin deneysel yoğunluğu artmış ve gözeneklilik oranı azalmıştır.



Şekil 5. Al7075 Alaşımı ve Al7075-B₄C Kompozitlerin a. Yoğunluk ve b. Gözeneklilik Oranı Değerleri

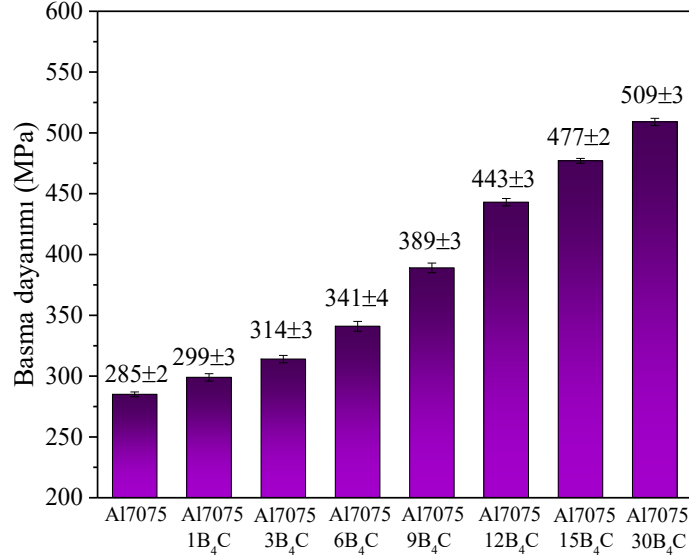
Şekil 6'da Al7075 alaşımı ve Al7075-B₄C kompozitlerin Vickers sertlik değerleri verilmiştir. En yüksek sertlik değeri Al7075-30B₄C kompozitte 226 HV olarak elde edilmiştir. Al7075 alaşımına kıyasla Al7075-30B₄C kompozitinde sertlik değeri %76,6 oranında artmıştır. Bor karbürün yüksek sertliğinden dolayı katkı oranı arttıkça kompozitin sertliğinde artış meydana gelmiştir. Sert takviye partiküllerinin yapı içerisinde dislokasyonlara karşı bariyer görevi görerek kompozitin Vickers sertliğini iyileştirdiği düşünülmektedir.



Şekil 6. a. Al7075 Alaşımı ve b. Al7075-B₄C Kompozitlerin Vickers Sertlik Değerleri

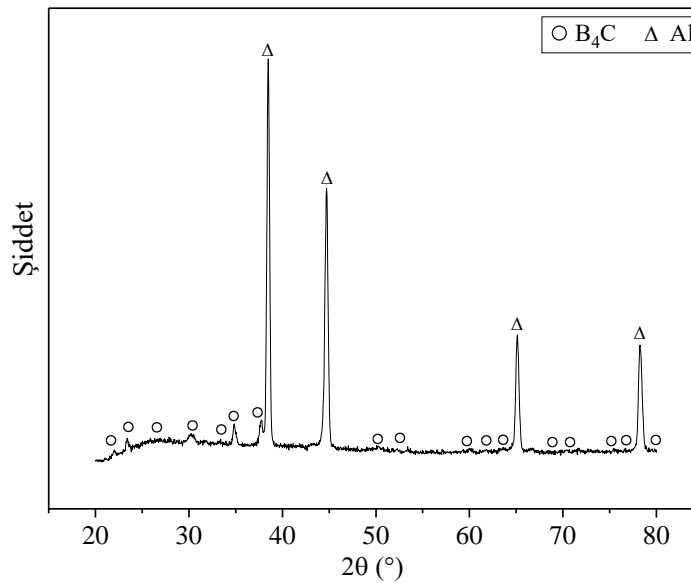
Şekil 7'de ise Al7075 alaşımı ve Al7075-B₄C kompozitlerin basma dayanımı değerleri verilmiştir. En yüksek basma dayanımı (509 MPa) Al7075-30B₄C kompozit yapıda elde edilmiştir. Al7075 alaşımının basma dayanımına kıyasla bu kompozitin basma dayanımının %79 oranında arttığı tespit edilmiştir. Bor karbürün yüksek sertliğinden dolayı

B₄C katkı oranının artmasıyla kompozitin basma dayanımında artış meydana geldiği görülmektedir. Ancak çalışmanın amacı minimum takviye oranı ile yüksek mekanik özelliklere sahip kompozit malzeme elde etmek olduğundan dolayı maksimum bor karbür katkı oranı %30 olacak şekilde belirlenmiştir (Zhao vd., 2016). Katkı oranı optimum değerden daha fazla ise sert takviye partikülleri matris içerisinde homojen dağılmamaktadır. Bundan dolayı yapıda gözenek oluşması nedeniyle kompozitin basma dayanımı başta olmak üzere diğer mekanik özelliklerinde kötüleşme meydana gelebilmektedir.

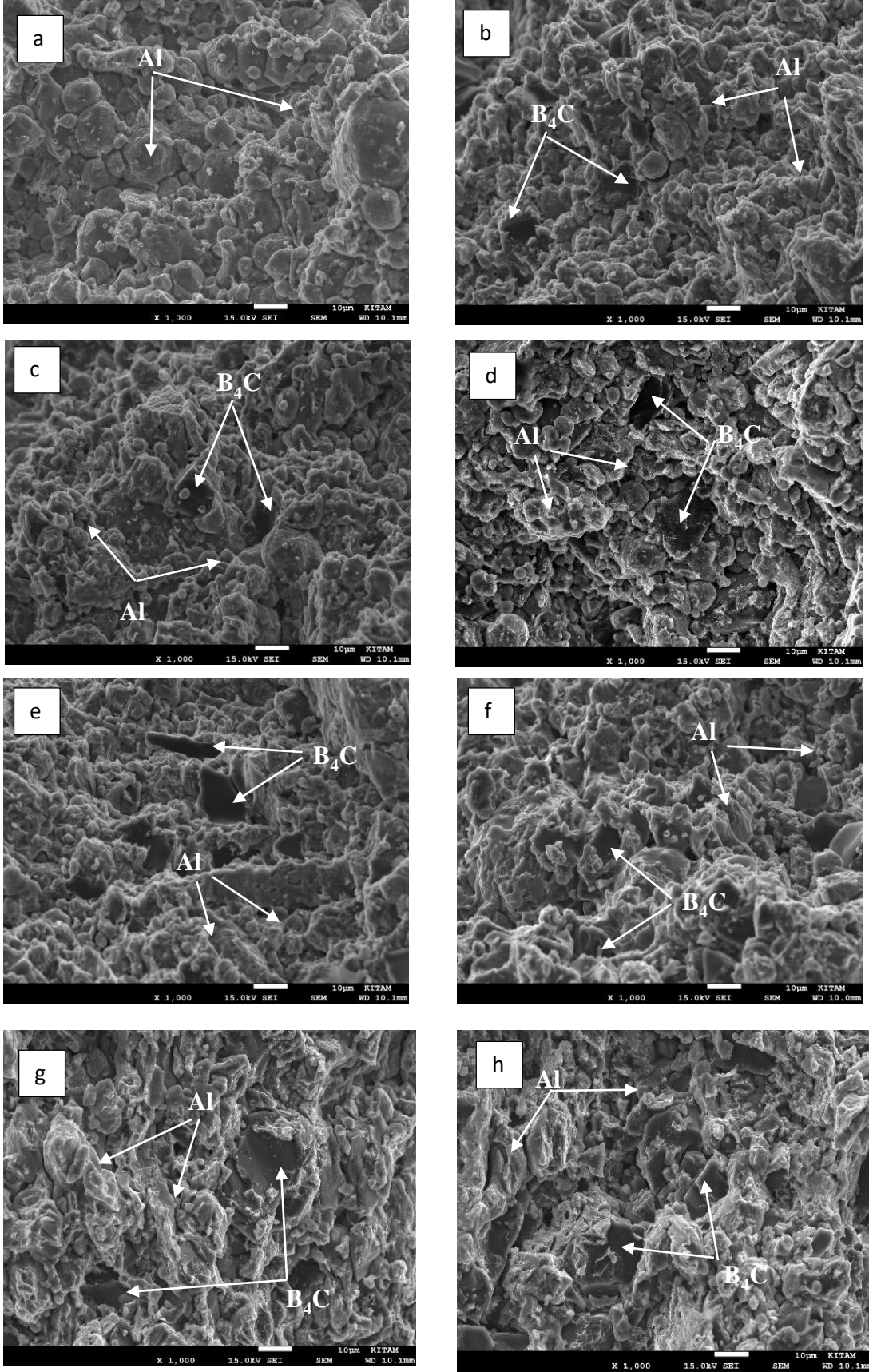


Şekil 7. Al7075 ve Al7075-B₄C Kompozitlerin Basma Dayanımı Değerleri

Al7075 matrisli bor karbür takviyeli kompozitlerin XRD faz analiz sonuçları Şekil 8’de gösterilmiştir. Alüminyum “Δ” simgesi ve B₄C ise “○” simgesi ile temsil edilmiştir. XRD örgü desenleri incelendiğinde tüm piklerin alüminyum ve bor karbüre ait olduğu belirlenmiştir. Ayrıca Al₄C₃ gibi istenmeyen ikincil faz oluşumu gözlenmemiştir. Al₄C₃ gibi istenmeyen fazlar kompozit malzemenin yapısına hasar verebilir ve mekanik özelliklerinin gelişmesini olumsuz etkileyebilir. Yüksek sıcaklıklarda oluşabilen ikincil fazlar malzemenin erken kırılmasına yol açabilir, matris ile takviye arasındaki arayüzeyi olumsuz etkileyebilir ve yapı içerisinde gözenek oluşumuna sebep olabilir. Bu sebeplerden dolayı ikincil faz oluşumu kompozit malzemenin yapısına zarar verebilmektedir (Shorowordi vd., 2003; Şenel vd., 2022). Ancak Al₄C₃ oluşumu için kritik sıcaklık 830°C’dir. Bu çalışmada 600°C sıcaklıkta sinterleme ve 500°C sıcaklıkta sıcak presleme işlemi yapıldığından ikincil faz oluşumu gözlenmemiştir.



Şekil 8. Al-B₄C Kompozite Ait XRD Faz Analizi



Şekil 9. a. Al7075 Alaşımına, b. Al7075-1B₄C, c. Al7075-3B₄C, d. Al7075-6B₄C, e. Al7075-9B₄C, f. Al7075-12B₄C, g. Al7075-15B₄C ve h. Al7075-30B₄C Kompozitlere Ait Kırık Yüzey SEM Görüntüleri

Al7075 alaşımı, Al7075-1B₄C, Al7075-3B₄C, Al7075-6B₄C, Al7075-9B₄C, Al7075-12B₄C, Al7075-15B₄C ve Al7075-30B₄C kompozitlerin kırık yüzey SEM görüntüleri Şekil 9'da verilmiştir. SEM görüntüleri incelendiğinde; bor karbür partiküllerinin matris yapı içerisinde homojene yakın dağıldığı belirlenmiştir. Ağırlıkça %30 B₄C katkı oranında taneler arası etkileşimin arttığı ve malzemenin mikroyapısının daha yoğun bir hale geldiği gözlemlenmiştir. Ayrıca uygulanan ısıl işlemin (sinterleme ve sıcak presleme) etkisiyle yapı içerisindeki gözenekliliğin azaldığı ve buna bağlı olarak mikroyapının iyileştiği tespit edilmiştir. SEM görüntüleri ile bor karbür partiküllerinin homojene yakın dağılımı ve ısıl işlemin etkisi ile Al7075-B₄C kompozitlerin dayanımının arttığı ve mekanik özelliklerinin geliştiği doğrulanmıştır.

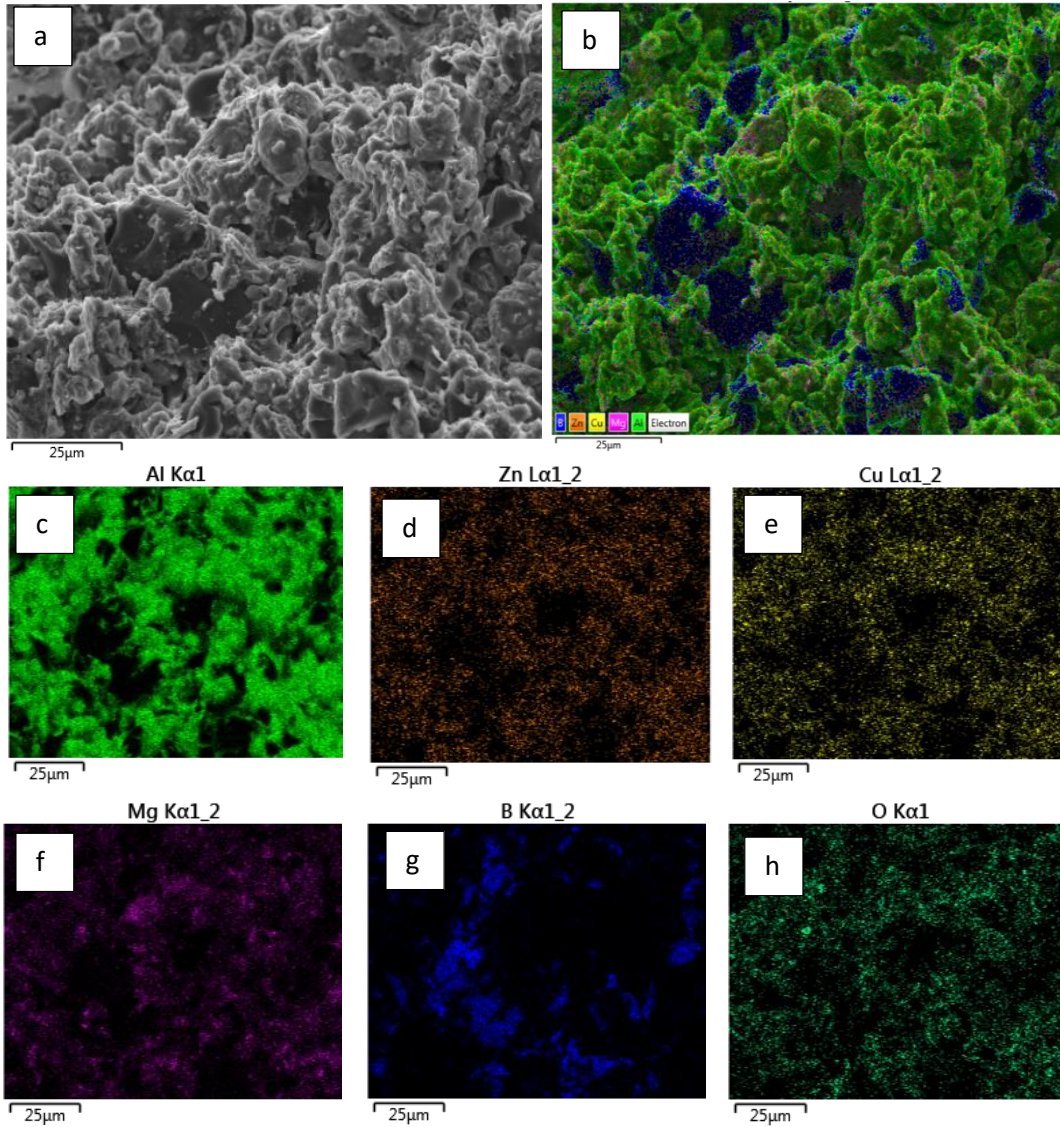
Şekil 10'da Al7075-30B₄C kompozitin kırık yüzeyine ait SEM-EDX görüntüleri ve element dağılım haritası gösterilmiştir. Kompozit yapı içerisindeki elementler (Al, Zn (çinko), Cu (bakır), Mg (magnezyum), B (bor), O (oksijen)) farklı renkler ile temsil edilmiştir ve her bir elementin yapı içerisindeki dağılımı gösterilmiştir. Şekildeki Al, Zn, Fe, Mg ve O elementleri matris malzemesi olan Al7075 alaşımının varlığını doğrulamaktadır. Özellikle Al, Zn ve Mg elementleri Al7075 alaşımının ana bileşen olduğunu göstermektedir. B elementi ise takviye elemanı olan B₄C'nin varlığını göstermektedir. B₄C, malzemenin mekanik özelliklerinin gelişmesinde önemli bir rol oynamıştır. Al7075 matrise bor karbür ilave edilmesiyle kompozitin mekanik özelliklerinde iyileşme meydana gelmiştir. Yapı içerisinde gözenek oranının azalması ve partiküllerin homojen dağılması mekanik özelliklerin gelişmesine katkı sağlamıştır. Ayrıca bor karbürün yüksek sertliğe sahip olması da mekanik özellikleri doğrudan etkilemiştir. Bor karbür partiküllerinin yüksek sertliğine bağlı olarak katkı oranının artması ile kompozitin sertliğinde ve basma dayanımında artış gerçekleşmiştir. Böylece kompozitin mekanik özellikleri iyileşmiştir (Angadi vd., 2025; Bharathiraja ve Xavior, 2024). SEM-EDX analizi bu takviye partikülünün varlığını ve homojene yakın dağılımını doğrulamıştır. Element dağılım haritası, her bir elementin kompozit yapı içerisinde dağılımını gösterdiğinden dolayı malzemenin mikroyapısının yorumlanması için önemli bir araçtır.

SONUÇLAR

Yapılan çalışmada Al7075 matrisli B₄C takviyeli kompozit malzemeler toz metalürjisi ve sıcak presleme işlemleri kullanılarak üretilmiştir. Üretilen numunelerin mekanik özellikleri (yoğunluk, gözeneklilik oranı, Vickers sertliği ve basma dayanımı) ve mikroyapısı incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

- Al7075 matrise B₄C takviyesi yapıldığında kompozitin mekanik özelliklerinin iyileştiği gözlemlenmiştir. Al7075-B₄C kompozitleri arasında en yüksek deneysel yoğunluk (2,63 g/cm³), Vickers sertliği (226 HV), basma dayanımı (509 MPa) ve en düşük gözeneklilik oranı (%0,5) ağırlıkça %30 B₄C katkı oranında elde edilmiştir. Çünkü takviye elemanının yüksek sertliği ve sıcak preslemenin etkisi ile katkı oranı arttıkça kompozitin mekanik özelliklerinin iyileştiği belirlenmiştir.
- Al7075-B₄C kompozitte Al7075 alaşımına kıyasla deneysel yoğunluk, Vickers sertliği ve basma dayanımı değerleri sırasıyla %1,54, %76,6 ve %79 oranında artış göstermiştir. Bu artışın sebebi B₄C'nin yüksek sertliğe sahip olmasıdır.
- Al7075-30B₄C kompozitlerin SEM analizleri sonucunda takviye partiküllerinin matris içerisinde homojene yakın dağıldığı belirlenmiştir. XRD faz analizi sonucunda ise kompozit yapılarda Al₄C₃ gibi herhangi bir istenmeyen ikincil faz tespit edilmemiştir. Ayrıca Al7075-B₄C kompozitlerde katkı oranının artmasına bağlı olarak daha yoğun bir mikroyapı gözlemlenmiştir.
- Al7075 matrise B₄C katkısı ile kompozitin mekanik özelliklerinde gelişme meydana gelmiştir. Yapı içerisinde gözenek oranının azaltılması ve partiküllerin homojene yakın dağılması mekanik özelliklerin gelişmesine katkı sağlamıştır.

Sonuç olarak Al7075 matrise ağırlıkça %30 oranında B₄C takviye edildiğinde üretilen kompozit malzemenin mekanik özelliklerinin ve mikroyapısının iyileştiği belirlenmiştir. Gelişmiş mekanik özelliklere ve mikroyapıya sahip bu kompozit malzeme; havacılık, otomotiv ve savunma sanayi başta olmak üzere birçok alanda kullanılabilir.



Şekil 10. Al-%30B₄C Kompozite ait a. SEM, b. SEM-EDX Görüntüsü ve c-h. Element Dağılımları

KAYNAKLAR

- Akçay, S. B., Varol, T., Güler, O., & Aksa, H. C. (2022). Effect of Boron Carbide Reinforcement Amount on the Properties of Boron Carbide Reinforced Al Based Composites. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 9(2), 869–881. <https://doi.org/10.31202/ecjse.1023910>
- Angadi, S. B., Kumar, S., Nagaral, M., Auradi, V., Valukula, B. (2025). Effect of Ceramic Boron Carbide Particles Addition on the Mechanical and Microstructural Characteristics of Al7020 Alloy Composites. *Mechanics of Advanced Composite Structures*, 12(1), 169-180. <https://doi.org/10.22075/MACS.2024.33857.1655>
- Bharathi, P., & Kumar, T. S. (2024). Microstructure and Corrosion Characteristics of Dual Reinforced (SiC–B₄C) Al Matrix Composites Produced by Powder Metallurgy Process. *Journal of Materials Engineering and Performance*. <https://doi.org/10.1007/s11665-024-09772-1>
- Bharathiraja, P., Xavier, A. (2024). Effect of B₄C and Graphene on the Microstructural and Mechanical Properties of Al6061 Matrix Composites. *Journal of Materials Research and Technology*, 31, 496-505. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2024.06.098>
- Chand, S., Chandrasekhar, P., Roy, S., & Singh, S. (2021). Influence of Dispersoid Content on Compressibility, Sinterability and Mechanical Behaviour of B₄C/BN Reinforced Al6061 Metal Matrix Hybrid Composites Fabricated via Mechanical Alloying. *Metals and Materials International*, 27(11), 4841–4853. <https://doi.org/10.1007/s12540-020-00739-0>

- Chouhan, M., Thakur, L., & Kumar, P. (2024). Parametric Optimization and Impact Behaviour of AA7075/SiC FGM Fabricated by Hot Compaction Powder Metallurgy Process. *Materials Today Communications*, 38(December 2023), 107833. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2023.107833>
- Karabacak, A. H., Çanakçı, A. (2023). Farklı Seramik Takviyeli Al Alaşım Matrisli Nanokompozitlerin Mekanik ve Korozyon Özelliklerinin İncelenmesi. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 13(1), 1–14. <https://doi.org/10.31466/kfbd.1085130>
- Meignanamoorthy, M., Ravichandran, M., Mohanavel, V., Afzal, A., Sathish, T., Alamri, S., Khan, S. A., Saleel, C. A. (2021). Microstructure, Mechanical Properties, and Corrosion Behavior of Boron Carbide Reinforced Aluminum Alloy (Al-Fe-Si-Zn-Cu) Matrix Composites Produced via Powder Metallurgy Route. *Materials*, 14(15), 4315. <https://doi.org/10.3390/ma14154315>
- Nagaral, M., Deshapande, R. G., Auradi, V., Boppana, S. B., Dayanand, S., & Anilkumar, M. R. (2021). Mechanical and Wear Characterization of Ceramic Boron Carbide-Reinforced Al2024 Alloy Metal Composites. *Journal of Bio-and Tribo-Corrosion*, 7(1), 1–12. <https://doi.org/10.1007/s40735-020-00454-8>
- Rajanish, M., Avilasha, B. G., Katti, P. P., Ashwini, M. V., Sudarshan, T. A., Anantha Padmanabham, T. C., Veerasha, G., Nagaraj, P., Hemanth Raju, T., & Udayashankar, S. (2024). Microstructure, Hardness and Wear Study of Al7075-B4C Metal Matrix Composites. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series D*, 0123456789. <https://doi.org/10.1007/s40033-024-00793-7>
- Ramadoss, N., Pazhanivel, K., & Anbuezhayan, G. (2020). Synthesis of B₄C and BN reinforced Al7075 hybrid composites using stir casting method. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(3), 6297–6304. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.03.043>
- Shorowordi, K. M., Laoui, T., Haseeb, A. M. A., Celis, J. P., & Froyen, L. (2003). Microstructure and interface characteristics of B₄C, SiC and Al₂O₃ reinforced Al matrix composites: a comparative study. *Journal of Materials Processing Technology*, 142(3), 738-743.
- Şahin, O. (2018). TiB₂ ve B₄C Takviyeli Kompozitlerin Toz Metalürjisi Yöntemiyle Üretilirliğinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Svnma Teknolojileri Anabilim Dalı. Kırıkkale, 119s.
- Şenel, M. C., Kanca, Y., & Gürbüz, M. (2022). Reciprocating Sliding Wear Properties of Sintered Al-B4C Composites. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, 29(6), 1261-1269.
- Shantharaj, P., Prashanth, A. S., Nagaral, M., Bharath, V., Auradi, V., & Dharshan, K. (2022). Microstructure, Tensile and Compression Behaviour of B₄C Particles Reinforced Al7075 Matrix Composites. *Materials Today: Proceedings*, 52, 1135–1139. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.11.008>
- Sharma, S. K., Saxena, K. K., Salem, K. H., Mohammed, K. A., Singh, R., & Prakash, C. (2024). Effects of Various Fabrication Techniques on the Mechanical Characteristics of Metal Matrix Composites: A Review. *Advances in Materials and Processing Technologies*, 10(2), 277–294. <https://doi.org/10.1080/2374068X.2022.2144276>
- Tharanikumar, L., Mohan, B., & Anbuezhayan, G. (2024). Synthesization and Characterization of Silicon Carbide and Boron Nitride-Reinforced Al–Zn–Mg Alloy Hybrid Nanocomposites Using Squeeze Casting Method. *International Journal of Metalcasting*, 18(2), 997–1011. <https://doi.org/10.1007/s40962-023-01070-1>
- Topcu, I., Gulsoy, H. O., Kadioglu, N., Gulluoglu, A. N. (2009). Processing and Mechanical Properties of B₄C Reinforced Al Matrix Composites. *Journal of Alloys and Compounds*, 482(1-2), 516-521. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2009.04.065>
- Yıldırım, M. (2016). Mekanik Alaşımlama Yöntemi ile AA7075-Karbon Nanotüp Takviyeli Metal Matrisli Kompozit Üretimi Karakterizasyonu ve Aşınma Davranışlarının İncelenmesi. Doktora Tezi. Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı. Karabük, 134s.
- Zhao, Q., Yu, L., Xi, L., & Ren, L. (2016). Microstructure and Dry-Sliding Wear Behavior of B₄C Ceramic Particulate Reinforced Al 5083 Matrix Composite. *Metals*, 6(227): 1.