



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN:1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>



B₄C/SiC katkılı alüminyum esaslı kompozitlerin mekanik özelliklerin incelenmesi ve balistik performanslarının modellenmesi

Investigation of mechanical properties of B₄C/SiC additive aluminum based composites and modeling of their ballistic performances

Yazar(lar) (Author(s)): Muharrem PUL¹, Volkan BAYDAROĞLU²

ORCID¹: 0000-0002-0629-3516

ORCID²: 0000-0002-9792-583X

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (Tocitetothisarticle): Pul M. ve Baydaroğlu V., “B₄C/SiC katkılı alüminyum esaslı kompozitlerin mekanik özelliklerin incelenmesi ve balistik performanslarının modellenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 23(2): 383-392, (2020).

Erişim linki(To link to this article):<http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.525011

B₄C/SiC Katkılı Alüminyum Esaslı Kompozitlerin Mekanik Özelliklerin İncelenmesi ve Balistik Performanslarının Modellenmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

Muharrem PUL^{1*}, Volkan BAYDAROĞLU²

¹Kırıkkale Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, Kırıkkale Üniversitesi, Türkiye

²Fen Bilimleri Enstitüsü, Savunma Teknolojileri Anabilim Dalı, Kırıkkale Üniversitesi, Türkiye
(Geliş/Received : 09.02.2019 ; Kabul/Accepted : 07.05.2019)

ÖZ

Bu çalışmada SiC (silisyum karbür) ve B₄C (bor karbür) takviyeli 7075 kalite alüminyum esaslı kompozitler, toz metalurjisi yöntemi kullanılarak, %40,%20 ve %10 takviye oranlarında üretilmiştir. İlk aşama deneylerde üretilen kompozit numunelerin mekanik özellikleri incelenmiştir. Bu amaçla yoğunluk, sertlik, çapraz kırılma ve abrasif aşınma deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçları, kompozit numunelerin mikroskop görüntüleri ve mikroyapı özellikleriyle birlikte değerlendirilmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında, üretimi yapılan kompozit numuneler modellenerek sonlu elemanlar methodu ile balistik performansları incelenmiştir. Balistik analizlerde %10 takviyeli kompozitler başarımlı gösteremezken artan takviye oranlarında balistik başarımlı elde edilmiştir. Numunelerin üretimi, sertlik, aşınma ve balistik analizleri beraber değerlendirildiğinde, %40 takviye oranının bu tür kompozitlerde yüksek olduğu ve mekanik özellikler açısından uygun olmadığı, %20 takviye oranının hem üretilebilirlik hem de balistik açıdan optimum sonuç olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Metal matrisli kompozit, mekanik özellik, balistik performans, sonlu elemanlar metodu.

Investigation of Mechanical Properties of B₄C / SiC Additive Aluminum Based Composites and Modeling of Their Ballistic Performances

ABSTRACT

In this study, 7075 grade aluminum-based composites reinforced with SiC (silicon carbide) and B₄C (boron carbide) were produced with powder metallurgy at 40%, 20% and 10% reinforcement ratios. The mechanical properties of the composite samples produced in the first stage experiments were investigated. For this purpose, density, hardness, cross fracture and abrasive wear tests were performed. The results of the experiments were evaluated together with the microstructure and the microscope images of the composite samples. In the second stage of the study, the composite samples were modeled and their ballistic performance was examined by the finite element method. In ballistic analysis, 10% reinforced composites could not perform, while ballistic performance was obtained in increasing reinforcement ratios. When the production, hardness, wear and ballistic analyzes of the samples were evaluated together, it was seen that the reinforcement rate of 40% was high in such composites and not suitable for mechanical properties, 20% of the reinforcement ratio was both productibility and ballistic optimum result.

Keywords: Metal matrix composite, mechanical property, ballistic performance, finite element method.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Teknolojik gelişme ile birlikte silah sistemlerinde yaşanan yenilikler ve üstün nitelikli silah üretimi bunlara karşı koyabilecek balistik özellikleri yüksek zırh sistemleri çalışmalarını yaygınlaştırmıştır. Seramik kompozit zırh teknolojisi ile monolitik zırh yapılaraya göre balistik kabiliyetleri yüksek zırhlar üretilmektedir [1]. Kompozit malzemelerin özellikleri, takviye elemanı sayesinde daha da geliştirilerek, yüksek çekme mukavemeti, ergime sıcaklığı, ısıl kararlılık, kolay üretilebilirlik gibi özelliklerinin artırılması söz konusudur. Alüminyum matrisli kompozitlerin üretilmesinde B₄C, SiC, Al₂O₃, SiO₂, MgO, TiC ve TiB₂

gibi seramik esaslı farklı takviye elemanları kullanılmaktadır.

Kompozit malzeme türleri içerisinde MMK (Metal Matrisli Kompozitler) önemli bir yer oluşturmaktadır. Bu tür kompozitlerde matris malzemesi seçiminde yaygınlıkla alüminyum, magnezyum gibi metaller tercih edilmektedir. Metal matrisli kompozitlerin şekillendirilmesinde; toz metalurjisi, basınçlı döküm, vakumlu ve basınçlı infiltrasyon tekniği, sıcak ekstrüzyon gibi hem sıcak hem de soğuk şekillendirme yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemler arasında toz metalurjisi kullanımı son zamanlarda büyük ivme kazanmıştır. Toz metalurjisi yöntemi, karıştırılmış metal tozlarının, oda sıcaklığında veya yüksek sıcaklıklarda, üretilecek parça şekli ve boyutlarına sahip kalıp içinde preslenerek şekillendirme ve ardından belirli bir

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta mpul@kku.edu.tr

sıcaklıkta sinterleme ile gerçekleştirilen bir imalat yöntemidir [2]. Literatürde yer alan ve konuyla ilgili yapılan bazı çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Hasırcı ve Gül (2010) çalışmalarında, B₄C partkül takviyesi ile Al matrisli kompozit malzeme üretimini toz metalürjisi yöntemiyle gerçekleştirmiş olup ürettikleri numunelerin aşınma davranışlarını ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Sertlik değerlerinin B₄C parçacık ilavesi ile arttığı, %20 B₄C parçacık takviyeli kompozitin en yüksek sertlik gösterdiği, %10 B₄C parçacık takviyeli kompozitin ise en yüksek aşınma direnci gösterdiği gözlemlenmiştir [3]. Tang ve ark. (2008), Al5083 alüminyum alaşımlı B₄C partikül takviyeli kompozitlerin aşınma davranışlarını kuru kayma yöntemiyle pin-on-disk cihazıyla incelemişlerdir. %5 ve %10 oranında B₄C katkılı numuneleri 0,6 m/s ve 1,25 m/s aralığında değişen hızlarda 3,98 ve 6,37 MPA basınç aralıklarında aşınma testleri gerçekleştirilmiştir. %10 B₄C Kompozit numunelerin aşınma oranının %5 B₄C katkılı numunelerin aşınma oranından yaklaşık %40 daha düşük olduğu gözlemlenmiştir [4]. Yumak ve ark. (2014) yaptıkları çalışmada, zırh tasarımında kullanılan kompozit malzemelerin deformasyon karakteristiklerini araştırmışlardır. Sonuç olarak, zırh tasarımlarından beklenen özelliklerin hafiflik, düşük maliyet ve yüksek hareket kabiliyeti olduğunu ve bu özelliklerin hepsinin bir arada kompozit malzemeler ile sağlanabileceğini ifade etmişlerdir [5]. Savio ve ark. (2011) AA6063-T6 alaşımıyla desteklenmiş farklı kalınlıktaki bor karbür levhaların 7.62 mm'lik zırh delici ile olan balistik başarımlarını ve mermi hızının bor karbür levhaların balistik başarıma etkisini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda bor karbür levha kalınlığı arttıkça merminin bor karbür içerisine girme derinliğinin azaldığı gözlemlenmiştir [6]. Jena ve ark. (2010) yüksek dayanımlı zırh çeliği ve Al-7017 alaşımının farklı kalınlık ve ısıtım koşullarında 7.62 mm'lik mermiler karşısındaki balistik başarımlarını incelemişlerdir. Test sonuçlarına dayanarak merminin şeklinden hedefin balistik başarımları hakkında yorum yapılabileceği, 200°C'de menevişlenmiş çeliğin en yüksek balistik başarımları sağladığı, yüksek dayanım, sertlik ve uzama sertleşmesi oranının balistik başarımları artırdığı görülmüştür [7]. Metal Matrisli Kompozitlerin aşınma davranışları konusunda yapılan çalışmalarda; farklı matris malzemeleri ve takviye elemanları kullanıldığı görülmüş olup, takviye elemanının kompozit içerisindeki dağılımı, mikroyapıya etkisi, gözeneklilik, sertlik, aşınma davranışı ve kopma dayanımı gibi mekanik özellikler üzerindeki tesiri, karıştırma zamanı ve hızının etkisi gibi konularda birçok araştırmaya yer verildiği görülmüştür [8-11].

Yapılan çalışmada, Al 7075 matris malzemeye farklı takviye oranlarında SiC ve B₄C takviyesinin kompozit yapı üzerindeki mekanik etkileri incelenmiş ve üretilen kompozit numunelerin sonlu elemanlar yöntemi ile balistik performansları analiz edilmiştir. Al 7075 esaslı kompozitler toz metalürjisi yöntemi kullanılarak, %40,

%20 ve %10 gibi takviye oranlarında üretilmiştir. Kompozitlerin üretiminde 700 MPa presleme basıncı ve 90, 120, 150 dakika olmak üzere üç farklı sinterleme süresi ve 550 °C sabit sıcaklıkta uygulanmıştır. Üretilen kompozit numuneler üzerinde, sertlik, çapraz kırılma ve abrasif aşınma deneyleri yapılarak elde edilen değerler mikroyapı görüntüleri eşliğinde değerlendirilmiştir. Üretilen numunelerin ANSYS programında sayısal modellemesi yapılmış ve sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak 7,62 mm çapında modellenen mermi ile 830 m/s yüksek hızda mermi-hedef balistik incelemeleri yapılmıştır.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

2.1 Kompozit Numunelerin Üretimi (Production of Composite Samples)

Bu deneysel çalışmada matris elemanı olarak -74 µm tane büyüklüğünde Al7075, -44 µm tane büyüklüğünde B₄C ve -63 µm tane büyüklüğünde SiC tozları kullanılmıştır. Çizelge 1'de kullanılan deney malzemelerine ait bazı teknik özellikler verilmiştir [1].

Çizelge 1. Deney malzemelerinin teknik özellikleri
(Technical specifications of test materials)

Al 7075			
%Fe	0,50	Erime noktası °C	635
%Si	0,40		
%Cu	1,21-20,0	Sertlik (knoop)	191
%Mn	0,30		
%Mg	2,1-2,9	Yoğunluk (g/cm ³)	2,81
%Zn	5,1-6,1		
%Ti	0,20	Parçacık şekli	Yuvarlak
%Cr	0,18-0,28		
SiC			
%Si	61-66	Erime noktası °C	2730
%Al ₂ O ₃	0,7-1,2		
%Fe ₂ O ₃	0,6-1,1	Sertlik (knoop)	2480
%SiO ₂	0,02		
%P ₂ O ₅	0,07	Yoğunluk (g/cm ³)	3,21
%SO ₃	0,30		
%C	22-26	Parçacık şekli	Köşeli
B ₄ C			
%B	78,28	Erime noktası °C	2760
		Sertlik (knoop)	2750
%C	21,72	Yoğunluk (g/cm ³)	2,52
		Parçacık şekli	Köşeli

Al 7075, SiC ve B₄C tozları ile belirlenen ağırlık oranlarında toz karışımlar hazırlanmıştır. Karışımların hazırlanmasında pervaneli karıştırıcı kullanılmıştır. Her numune için 600 rpm hızda 1 h süreyle karıştırma işlemi yapılarak kompozit yapı içerisinde homojen bir dağılım elde edilmiştir. Kompozit karışımlar hidrolik preste 700 MPa basınç altında sıkıştırılmış ve 35 mm çapında 15 mm kalınlığında numuneler üretilmiştir. Üç farklı sinterleme süresi üzerinde inceleme yapılacağı için, her numuneden üç adet üretilerek toplamda 27 adet kompozit

numune elde edilmiştir. Daha sonra kompozit numuneler 550 °C’de, argon atmosferi altında, 90, 120 ve 150 min olmak üzere üç farklı sinterleme süresinde ısı işleme tabi tutulmuştur. Çizelge 2’de Kompozit numune karışım oranları ve sinterleme süreleri verilmiştir.

Çizelge 3. Kompozit numune karışım oranları (Composite sample mixing ratios)

Kompozit Numune No	Takviye Oranları (%)	Sinterleme Süreleri (min)
1	40 SiC + 60 Al7075	90, 120, 150
2	20 SiC + 80 Al7075	90, 120, 150
3	10 SiC + 90 Al7075	90, 120, 150
4	40 B ₄ C + 60 Al7075	90, 120, 150
5	20 B ₄ C + 80 Al7075	90, 120, 150
6	10 B ₄ C + 90 Al7075	90, 120, 150
7	20 SiC+20B ₄ C + 60 Al7075	90, 120, 150
8	10 SiC+10B ₄ C + 80 Al7075	90, 120, 150
9	5 SiC+5 B ₄ C + 90 Al7075	90, 120, 150

2.2. Mikroyapı İncelemesi ve Mekanik Deneyler (Microstructure Investigation and Mechanical Experiments)

Kompozit numunelere ait mikroyapıları incelemek amacıyla ilk olarak numunelerin yüzey hazırlama işlemi yapılmıştır. Bu amaçla sırasıyla 400, 800, 1200, 2400 mesh zımparalama, 3 µm parlatma ve dağlama işlemi yapılmıştır. Daha sonra hazırlanan kompozit numunelerin, *Nikon ECLIPSE MA200* model optik mikroskopta 50x ve 400x olmak üzere iki farklı büyütmede görüntüleri çekilmiştir. Bu çalışma mekanik özelliklerin incelenmesi ve balistik analiz olmak üzere iki temel bölümden oluşmaktadır.

Çalışmanın birinci bölümünde; üretilen kompozitlerin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla ilk olarak Brinell yöntemi ile sertlik ölçümleri yapılmıştır. Sertlik ölçümleri EN ISO 4498 [12] ve TS EN ISO 6506-1 [13] standartlarına uygun olarak, *Qness Q250M* model sertlik ölçme cihazında yapılmıştır. Sertlik ölçümlerinde 2,5 mm çaplı bilya uç, 62,5 kg yük ve 14 saniye deney süresi uygulanmıştır. Sertlik ölçümlerinde her numune üzerinde 5 farklı noktadan ölçüm yapılarak ortalama değer hesaplanmıştır. İkinci aşamada, çapraz kırılma (üç nokta eğme) deneylerini yapmak üzere ASTM-B 528-05 [14] standardına uygun olarak, her takviye oranı için, 6,35×12,7×31,7 mm ölçülerinde numuneler hazırlanmıştır. Üçüncü ve son aşama mekanik deneyler, kompozit numunelerin aşınma davranışlarını belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneyleri, pin-on-disk yöntemi ile 50 N yük uygulanarak yapılmıştır. Aşınma deneylerinde, 63 µm aşındırıcı tane boyutuna sahip, Al₂O₃ zımpara kullanılmıştır. Her kompozit numune, 0,5 m/s kayma hızında ve 60 s süre boyunca deneye tabi tutularak aşınma kayıpları kaydedilmiştir.

Bu deneysel çalışmanın ikinci temel bölümünde balistik analiz yapılmıştır. Bu amaçla, üretilen 9 farklı özellikte

numuneler sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak modellenmiştir. Modellemede, sonlu elemanlar yöntemiyle çözüm yapan ANSYS/Explicit Dynamics (Student version) programı kullanılmıştır.

2.3. Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Balistik Analiz (Ballistic Analysis with Finite Element Method)

Balistik analiz çalışmasında, üretilen 9 farklı özellikte numuneler sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak modellenerek belirli uzaklıktan yüksek hızda darbeye maruz bırakılmış olup numunelerin balistik başarımları dinamik modelleme yöntemi ile incelenmiştir [1]. Sonlu elemanlar yöntemiyle çözüm yapan ANSYS / Explicit Dynamics (Student version) programı kullanılmıştır. Analizlerde numune yapısı ve mermi modellenmiştir. Çalışmanın amacı; zırh malzemesi olarak üretilen numunelerin, belirlenen özel çarpma koşullarında balistik olarak uygun olup olmadığının belirlenmesidir. Analizlerde meydana gelen deformasyonlar sonucu zırh malzemelerinin çarpışma karakteristikleri hakkında bilgi edinilmeye çalışılmıştır. Numunelerin Elastisite Modülü ve Poison Oranlarını hesaplayabilmek için Mori-Tanaka homojenleştirme yöntemlerine başvurulmuştur. Bu yöntem, homojenleştirilmek istenen malzemenin etkin malzeme özelliklerini, bileşenlerinin özellikleri cinsinden analitik ve kapalı bir formda vermektedir. Doğal olarak, farklı tip ve boyutta katkı maddeleri içeren farklı kompozit malzemelerin homojenleştirilmesi problemi için bu yöntemin her zaman uygun olduğu gibi bir genellemeye varılamasa da, parçacık tipli kompozitlerin homojenleştirilmesi probleminde kapalı ve analitik çözüm bulabilme olanağı, diğer yöntemlere kıyasla hem doğruluk hem de işlem kolaylığı açısından üstünlük sağlamaktadır [17].

Kompozit numunelerin balistik modellemesinde kullanılacak olan ANSYS analizi için yazılımın istediği 3 adet ayırt edici mekanik özellik olan; yoğunluk, elastisite modülü ve poison oranları dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Matris ve takviye elemanların hacimsel oranları toplamı 1 kabul edilmiştir.

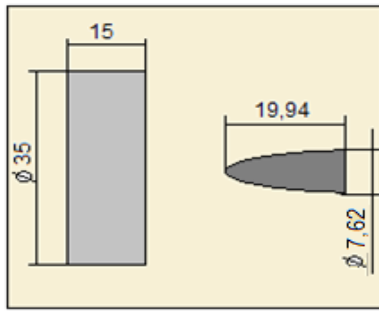
$$V_c + V_m = 1 \quad (1)$$

Burada; takviye malzemesi hacimsel oranı (V_c), Matris malzemesi hacimsel oranı (V_m) dir. Kompozit malzemelerin analizler için gerekli olan yoğunluk değerleri, Lineer Karışım kuralına göre hesaplanmıştır.

Hedef plakalar çalışmada üretilen numunelere uygun olarak 15 mm kalınlıkta ve 35 mm çapında modellenmiştir. Toplamda 10 adet balistik çarpışma analizi yapılmıştır. Bu analizlerde ilk olarak takviyesiz Al 7075 ve 9 adet numunenin balistik başarımları incelenmiştir. Analizlerin tamamı için ortak olan bazı analiz girdileri vardır. Bunların başlıcaları; meshleme, mermi hızı, mermi çekirdeğinin malzemesi, etki süresidir. Merminin oluşturduğu mekanik etki çok küçük zaman diliminde gerçekleştiğinden, balistik analizlerde mermi sıcaklığı analiz girdilerine eklenmemiş ve dikkate alınmamıştır.

Balistik analizlerde modellenen mermi, 7.62 mm çapında zırh delici mermdir. Bu merminin kullanıldığı silahlardan namlu çıkış hızı 760 m/s ile 830 m/sn aralığındadır. Maksimum deformasyonu görmek için 830000 mm/s namlu çıkış hızı tercih edilmiştir. Şekil 1'de mermi çekirdeği ve hedefe gösteren sembolik çizim ile mermiye ait teknik değerler verilmiştir.

Details of "MERMİ"		Properties	
Graphics Properties		<input type="checkbox"/> Volume	606,28 mm ³
Definition		<input type="checkbox"/> Mass	4,6987e-003 kg
<input type="checkbox"/> Suppressed	No	Centroid X	-7,2533 mm
Stiffness Behavior	Flexible	Centroid Y	-4,7719e-017 mm
Coordinate System	Default Coordinate	Centroid Z	1,0699e-016 mm
Reference Temperature	By Environment	Moment of Inertia Ip1	2,7486e-002 kg-mm ²
Reference Frame	Lagrangian	Moment of Inertia Ip2	0,11943 kg-mm ²
Material		Moment of Inertia Ip3	0,11943 kg-mm ²
Assignment	Mermi Çekirdeği	Statistics	
Nonlinear Effects	Yes	Nodes	617
Thermal Strain Effects	Yes	Elements	2461
		Mesh Metric	None

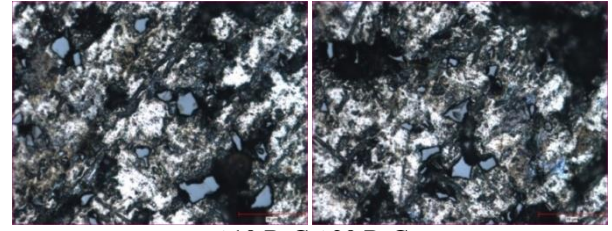
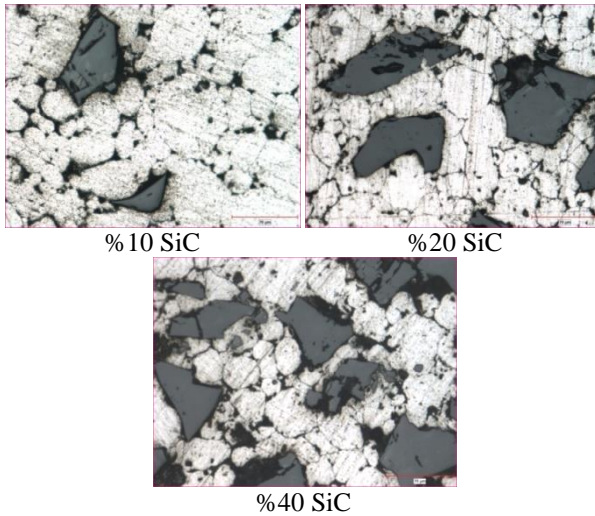


Şekil 1. Mermi çekirdeği parametreleri, mermi çekirdeği ve hedef ölçüleri (Bullet core parameters, bullet core and target dimensions) [1]

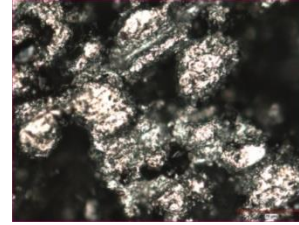
3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

3.1. Mikroyapıların İncelenmesi (Investigation of Microstructures)

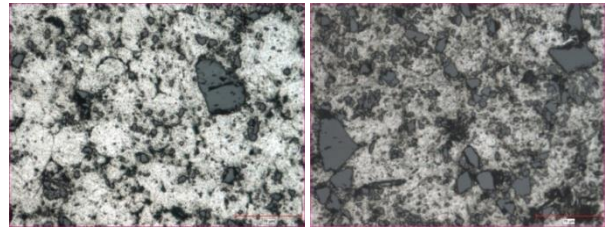
Kompozitlerin mikroyapılarını değerlendirmek amacıyla, SiC, B₄C ve SiC+B₄C takviyeli kompozitlerin, farklı takviye oranları ve ortalama değer olan 120 min sinterleme sürelerine ait 400× büyütmedeki optik mikroskop görüntüleri Şekil 2'de verilmiştir.



% 10 B₄C % 20 B₄C

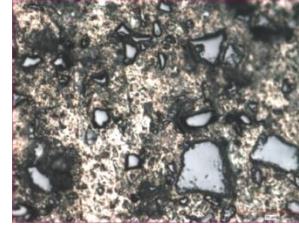


%40 B₄C



%5 SiC + %5 B₄C

% 10 SiC + % 10 B₄C



% 20 SiC + % 20 B₄C

Şekil 2.SiC, B₄C ve SiC+B₄C takviyeli kompozitlerin 400x büyütmede mikroyapı görüntüleri (Microstructure images of SiC, B₄C and SiC + B₄C reinforced composites at 400x magnification) [1]

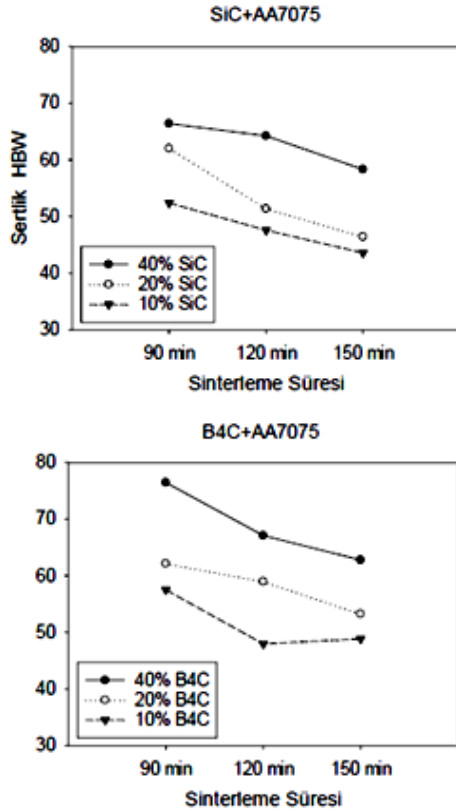
Şekil 2'deki görüntüler incelendiğinde, SiC takviye oranının artmasına bağlı olarak parçacık dağılımındaki homojenliğin artış gösterdiği söylenebilir. Ancak takviye oranının artması ile bir miktar takviye topraklanmasının meydana geldiği görülmektedir. Yine aynı şekilde kompozit yapı içerisindeki boşluk miktarı da takviye oranının artışına bağlı olarak artma göstermiştir. Literatürdeki bazı çalışmalarda benzer sonuçlar ifade edilmektedir [15, 16]. Kompozit yapı içerisindeki SiC parçacıklarının farklı boyutlarda ve genellikle keskin köşeli, Al 7075 parçacıklarının da farklı boyutlarda ve genellikle küresel bir şekle sahip olduğu görülmektedir. B₄C taneciklerinin düzensiz şekilli olduğu ve tanecikler arasında çok fazla boyut farkı olduğu mikroskop görüntülerinden anlaşılmaktadır. B₄C takviyeli kompozitlerde, SiC takviyeli kompozitlere göre daha fazla boşluklu yapı meydana gelmiştir. Özellikle %40 B₄C takviyeli numunede aşırı oranda boşluklu yapı olduğu mikroskop görüntüsündeki siyah alanlardan

anlaşılmaktadır. Şekil 2'deki, SiC+B₄C takviyeli kompozit numunelerin mikroyapı görüntülere bakıldığında ise önceki yapılan yorumlara benzer ifadeler kullanmak mümkündür.

Özellikle takviye oranındaki artışa bağlı olarak boşluk (gözenek) miktarının artması ve takviye elemanı topaklanmaları göze çarpmaktadır. Bu olumsuz sayılabilecek mikroyapılara, matris ve takviye elemanı tanecikleri arasında yeterli ıslatmanın olmamasının katkı sağladığı ve kompozit yapıyı olumsuz etkilemesinin neden olduğu söylenebilir. Sonuç olarak, bu tür parçacık takviyeli kompozitlerin üretilmesinde %40 takviye oranının yüksek kaldığı ve kompozit malzemenin istenilen mekanik özellikleri sağlamasının mümkün olamayacağı ifade edilebilir.

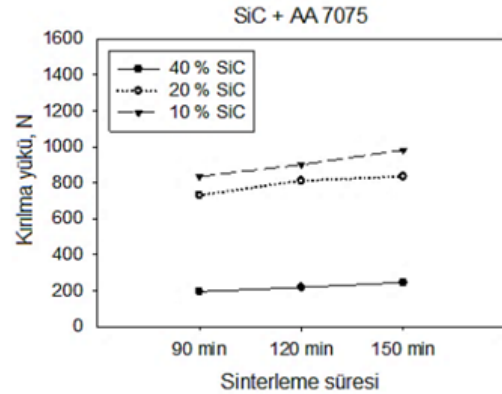
3.2. Sertliklerin Değerlendirilmesi (Evaluation of Hardnesses)

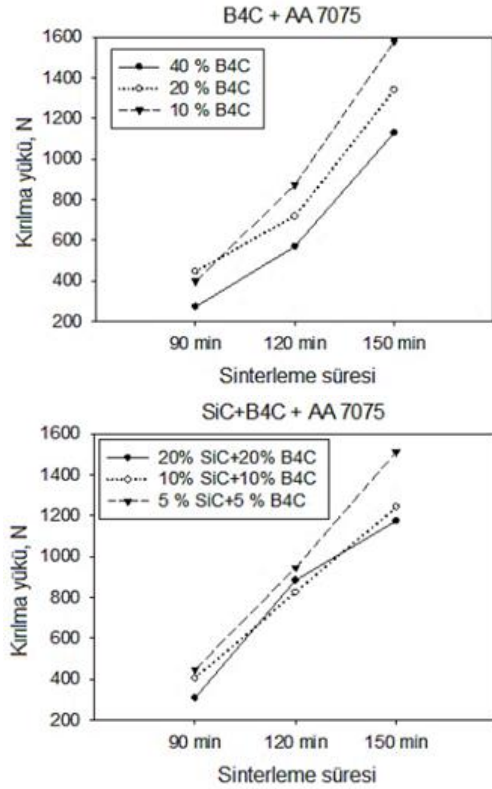
Üretimi yapılan kompozit numunelerin Brinell yöntemi kullanılarak ölçülen sertlik değerleri Şekil 3'teki grafiklerde gösterilmektedir.



Şekil 3. Kompozit numunelere ait sertlik değerleri (Hardness values of composite samples) [1]

Şekil 3'teki grafiklere bakıldığında, en yüksek sertlik değerleri, en yüksek takviye oranına sahip 90 min süre sinterlenmiş %40 takviyeli kompozit numunelerden elde edilmiştir. Bu durum literatürdeki benzer çalışmalarla aynı yöndedir. Benzer sonuçlar Özkan'ın yaptığı çalışmada [15] ve başka bazı çalışmalarda da ortaya koyulmuştur [16]. Tüm kompozit numuneler içerisinde en yüksek sertlik değeri %40 B₄C takviyeli numunede 76,44 HBW olarak ölçülmüştür. En düşük sertlik değeri ise 150 min süre sinterlenmiş %5 SiC+%5 B₄C takviyeli kompozit numunede, 40,36 HBW olarak kaydedilmiştir. B₄C parçacıklarının çok sert fazda olması sebebiyle, üretilen kompozitler içerisinde B₄C takviyeli olanlarda, SiC takviyeli kompozitlere göre daha yüksek sertlik değerleri elde edilmiştir. Bu durum 7,8 ve 9 numaralı SiC+B₄C karışık takviyeli numunelerde de benzer sonuçları çıkarmıştır. Bu tür kompozit yapılarda, takviye elemanı miktarının artmasının gözenek ve boşluk oranını arttırdığı olumsuz bir durum olsa da bununla birlikte sertlik değerlerinin de artış gösterdiği ifade edilebilir.



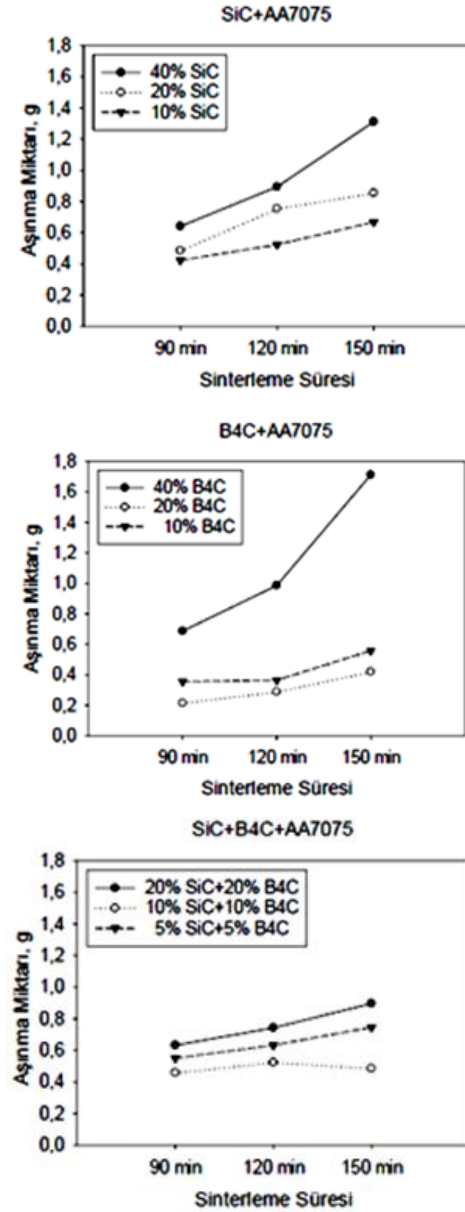


Şekil 4. Kompozit numunelere ait çapraz kırılma yükü değerleri (Cross fracture load values of composite samples) [1]

Şekil 4'teki grafikler incelendiğinde, kompozit yapı içerisindeki takviye elemanı (SiC, B₄C) oranlarının artmasıyla, kırılma dayanımı değerlerinin düşmesi genel bir eğilim olarak ortaya çıkmaktadır. En düşük kırılma değeri 120 min süre sinterlenmiş, %40 SiC takviyeli kompozit numunede 195 N olarak gerçekleşmiştir. En yüksek değer ise 150 min süre sinterlenmiş, %10 B₄C takviyeli kompozitte 1578 N olarak elde edilmiştir. Artan takviye oranlarında, SiC ve B₄C parçacıklarının etrafındaki gözeneklerinde artması kırılma dayanımını kötü yönde etkilemektedir. Aynı şekilde artan gözeneklerin kırılma dayanımını düşürdüğü ve mekanik özellikleri olumsuz yönde etkilediği ifade edilebilir. Ayrıca köşeli ve keskin yapıdaki takviye elemanı taneciklerinin kompozit yapı içerisinde çentik tesiri yaparak kırılmayı kolaylaştırdığı söylenebilir.

3.4. Aşınma Miktarlarının Değerlendirilmesi (Evaluation of Wear Amount)

Üretimi yapılan kompozit numunelerin pin-on-disk yöntemi kullanılarak belirlenen aşınma miktarı değerleri Şekil 5'teki grafiklerde gösterilmektedir.



Şekil 5. Kompozit numunelere ait aşınma miktarları (Wear amounts of composite samples) [1]

Şekil 5'deki grafiklere toplu halde bakıldığında, sinterleme süresinin artmasıyla aşınma miktarlarındaki artış göze çarpmaktadır. Bu durum tüm takviye oranları için geçerlidir. Ancak özellikle %40 B₄C takviyeli kompozit numune için en yüksek aşınma miktarı kaydedilmiştir.

SiC takviyeli kompozit numunelerde takviye oranının artmasıyla aşınma miktarı da artış göstermiştir. Bu durum sertlik ile ters orantı oluşturmaktadır. Kompozit yapı içerisinde sert takviye fazının artmasıyla sertlik değerleri de artış göstermektedir. Ancak sertliğin artması aşınma direncini azaltmıştır. Bu duruma benzer bir sonuç Hasırcı ve Gül'ün yaptığı çalışmada ifade edilmiştir [3]. B₄C takviyeli kompozit numunelerde durum daha farklı görünmektedir. En yüksek aşınma miktarı %40 takviyeli kompozitte tespit edilirken arkasından %10 takviyeli

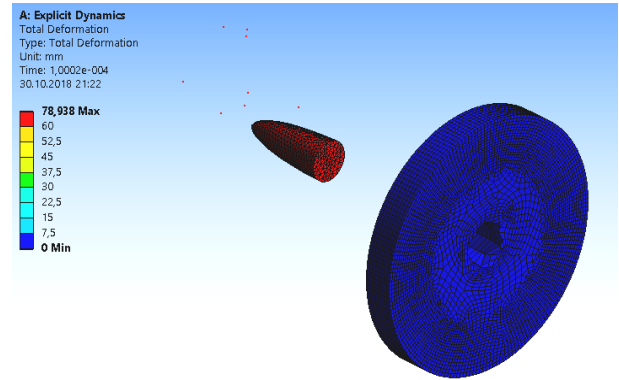
kompozit gelmiştir. En düşük aşınma miktarı ise %20 B₄C takviyeli kompozitte elde edilmiştir. Bu durum iki şekilde izah edilebilir:

Birincisi, takviye oranının %10'dan %20'e çıkmasıyla kompozit yapının sertliği artmış ve buna bağlı olarak aşınma direnci yükselmiştir. Bu durum literatürdeki bazı çalışmalarda yer almaktadır [16]. İkincisi, takviye oranını %40 çıkması sertlik değeri en yüksek noktaya çıkmış olmasına rağmen, %20 takviyeli kompozite göre daha fazla aşınma meydana gelmiştir. Bu, literatürde çok rastlanan bir sonuç değildir. Ancak %40 B₄C takviyeli kompozitin mikroyapı incelemelerinde belirtildiği gibi gözeneklilik ve boşluk oranındaki artış ve matris malzemesi Al 7075'in B₄C taneciklerini ıslatamaması sebebiyle takviye ve matris fazı arasındaki bağ çok zayıf gerçekleşmiştir. Ayrıca %40 B₄C oranının yapı içerisinde yeterince tutunmadığı ve oldukça fazla olduğu söylenebilir. Dolayısıyla aşınma deneyleri sırasında B₄C parçacıkları kompozit yapı içerisinde kolayca koparak uzaklaşmıştır. Böylece takviye elemanına göre çok yumuşak fazda olan Al 7075 matris malzemesinde aşınma kayıpları fazla meydana gelmiştir.

3.5. Balistik Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi (Evaluation of Ballistic Analysis Results)

Program analiz modüllerinden Explicit Dynamics modülü seçilmiştir. Daha sonra modellemesi yapılan numunelere ait veriler manuel olarak girilerek malzeme özellikleri tanımlanmıştır. Mermi ve hedef malzeme atamaları tamamlandıktan sonra 3 boyutlu çizim programları yardımıyla oluşturulan mermi ve hedef modelleri programa import edilerek, analiz sınır şartı olarak hedef model dört kenarından sabitlenmiştir. İşlemin devamında, hedef modeli sabitlenerek çarpışma hızı değeri girilerek çözüm başlatılmıştır. Analizlerde ilk olarak modellemesi yapılan takviyesiz Al7075 malzemenin balistik başarımı incelenmiştir. Balistik analizlerde en önemli faktörün kompozit yapı içerisindeki takviye elemanı parçacıklarının miktarı olduğu göz önüne alınmıştır. Dolayısıyla üç farklı sinterleme sıcaklığında üretilen kompozit numunelerden orta sinterleme sıcaklık değeri olan, 120 min sürede sinterlenmiş kompozit numuneler dikkate alınarak 9 adet kompozit numunenin modelleme ve analizleri yapılmıştır. Hedef-mermi çarpışması sonucu meydana gelen deformasyon ve gerilme dağılımı, incelenen zırhın, belirli çarpma koşullarında korum sağladığı personel ya da teçhizatın emniyetini ne seviyede koruduğunun anlaşılabilmesi açısından önemlidir. Şekil 6'da Al 7075 numuneye ait hedef-mermi etkileşimini gösteren analiz görüntüsü verilmiştir.

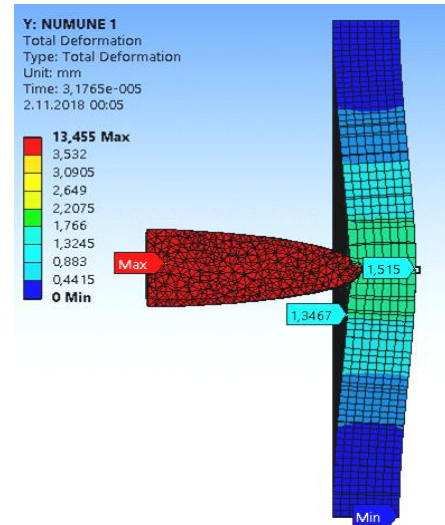
(Al7075 Numune) Hedef –Mermi



Şekil 6. Al 7075 hedef ile mermi etkileşimi (Bullet interaction with target Al 7075) [1]

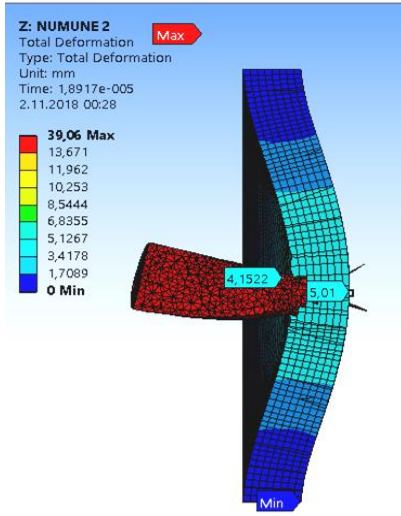
Şekil 6 incelendiğinde, takviyesiz Al 7075 hedef ve çelik mermiye ait analizde, hedefin deforme olmuş görüntüsü görülmektedir. 7,62 mm mermi çekirdeğinin Al7075 yapıyı delip geçtiği görülmektedir. Takviyesiz Al 7075 hedefin tek başına mermi karşısında balistik dayanım gösteremediği, tam bir penetrasyon (girme, nüfuziyet) gerçekleştiği görülmektedir.

(Numune-1) Hedef – Mermi



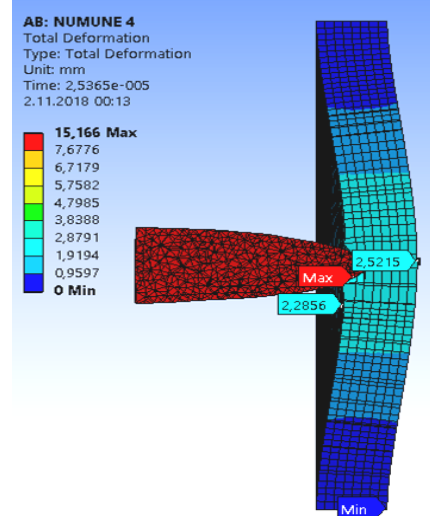
Şekil 7. %40 SiC + %60 Al7075, hedef – mermi etkileşimi (40% SiC + 60% Al7075, target - bullet interaction) [1]

(Numune-2) Hedef – Mermi



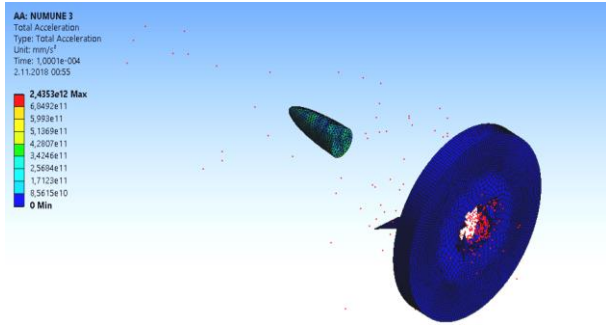
Şekil 8. % 20 SiC + % 80 Al7075, hedef – mermi etkileşimi (20% SiC + 80% Al7075, target-bullet interaction) [1]

(Numune-4) Hedef – Mermi



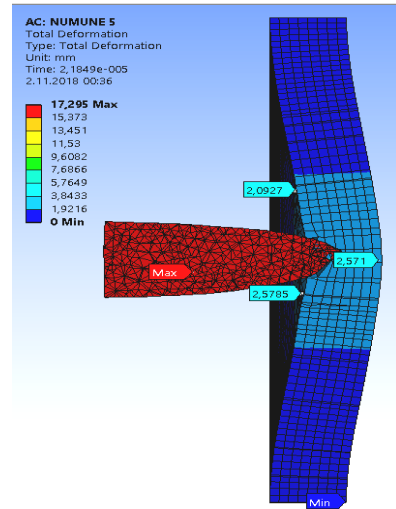
Şekil 10. %40 B₄C + %60 Al7075, hedef – mermi etkileşimi (40% B₄C + 60% Al7075, target - bullet interaction) [1]

(Numune-3) Hedef– Mermi



Şekil 9. %10 SiC + %90 Al7075, hedef – mermi etkileşimi (10% SiC + 90% Al7075, target - bullet interaction) [1]

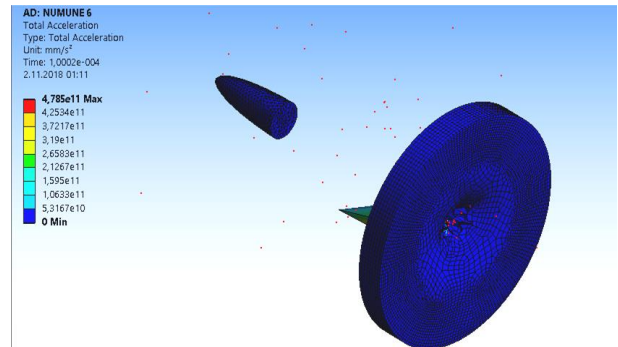
(Numune-5) Hedef– Mermi



Şekil 11. %20 B₄C + %80 Al7075, hedef – mermi etkileşimi (20% B₄C + 80% Al7075, target - bullet interaction) [1]

Şekil 7'deki deformasyonlar incelendiğinde mermi hedefe hasar vermiş ancak penetrasyon gerçekleşmemiştir. Hedefin çarpma bölgesi ve yakın bölgelerde kırılmalar ve katlanmalar görülmüş ayrıca mermi de az miktarda hasar almıştır. Mermi hedefe yaklaşık 1,5 mm nüfuz etmiştir. %40 SiC katkısı balistik başarımları sağlamıştır. Şekil 8'de hedef, merminin tam penetrasyonunu engellemiş ancak, bununla birlikte yaklaşık 5 mm civarında bir batma derinliği oluşmuştur. %20 SiC katkısı Al7075 malzemede balistik başarımları sağladığı ifade edilebilir. Şekil 9'da ise, mermi hedefi tam penetrasyona uğratmış olup delip geçmiştir. %10 SiC katkısı balistik başarımları için etkili olmamıştır. Bu tür kompozit yapılar içerisindeki takviye parçacıklarının tam homojen olamayan dağılımı, mekanik özelliklerde olduğu gibi balistik davranışlarında da olumsuz durumlara sebep olabilmektedir.

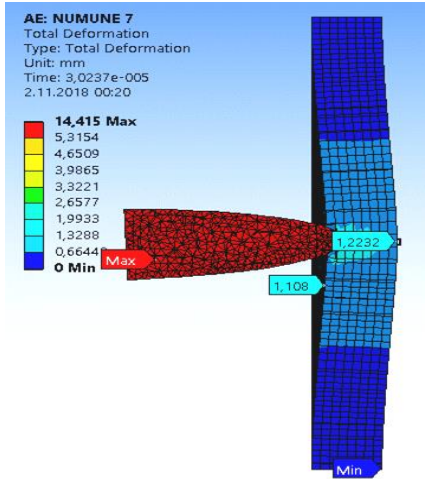
(Numune-6) Hedef – Mermi



Şekil 12. %10 B₄C + %90 Al7075, hedef – mermi etkileşimi (10% B₄C + 90% Al7075, target - bullet interaction) [1]

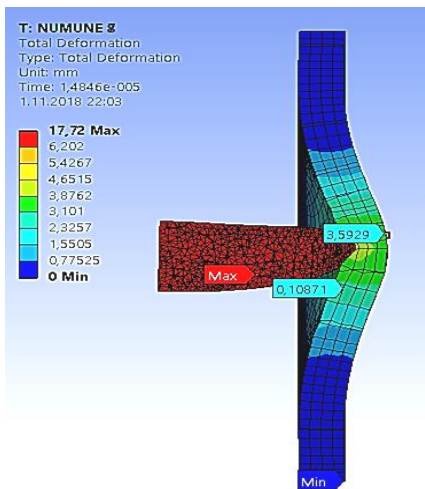
Şekil 10'daki deformasyonlar incelendiğinde mermi hedefe hasar vermiş ancak penetrasyon gerçekleşmemiştir. Hedefin çarpma bölgesi ve yakın bölgelerde kırılmalar ve katlanmalar görülmüş ayrıca mermi de az miktarda hasar almıştır. Mermi hedefe yaklaşık 2,5 mm batmıştır. %40 B₄C katkısı balistik başarımları sağlamıştır. Şekil 11'de ise hedef, merminin tam penetrasyonunu engellemiş bununla birlikte yaklaşık 2,6 mm civarında bir batma derinliği oluşmuştur. %20 B₄C katkısı Al 7075 malzemede balistik başarımları sağlamıştır. Şekil 12'ye bakıldığında, merminin hedefi tam penetrasyona uğratarak delip geçtiği görülmektedir. %10 B₄C katkısı balistik başarımları için etkili olmamıştır. Numune 1, 2, 3, 4, 5 ve 6'dan sonra yapılan balistik analizlerde Numune 7, 8 ve 9 incelenmiştir. 7, 8 ve 9 nolu kompozit numunelerdeki takviye oranları SiC ve B₄C eşit oranlarda karıştırılarak, önceki numunelerde olduğu gibi %40, %20 ve %10 takviye oranları elde edilmiştir.

(Numune-7) Hedef – Mermi



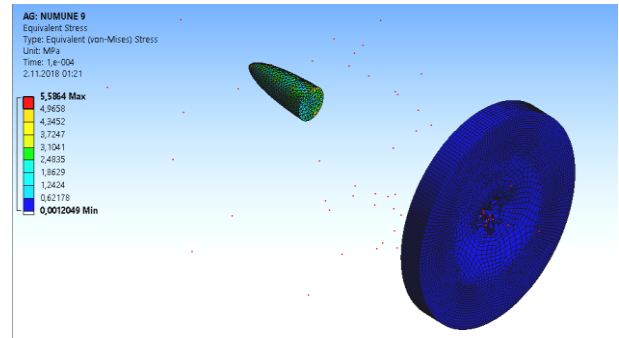
Şekil 13. %20 SiC + %20 B₄C + %60 Al7075, hedef – mermi etkileşimi (20% SiC + 20% B₄C + 60% Al7075, target - bullet interaction) [1]

(Numune-8) Hedef – Mermi



Şekil 14. %10SiC + %10 B₄C + %80 Al7075, hedef – mermi etkileşimi (10% SiC + 10% B₄C + 80% Al7075, target - bullet interaction) [1]

Numune-9 (Hedef) – Mermi



Şekil 15. %5 SiC + %5 B₄C + %90 Al7075, hedef – mermi etkileşimi (5% SiC + 5% B₄C + 90% Al7075, target - bullet interaction) [1]

Şekil 13'teki deformasyonlar incelendiğinde mermi hedefe hasar vermiş ancak penetrasyon gerçekleşmemiştir. Hedefin çarpma bölgesi ve yakın bölgelerde kırılmalar ve katlanmalar görülmüş ayrıca mermi de az miktarda hasar almıştır. Mermi hedefe yaklaşık 1,25 mm batmıştır. %20 SiC ve %20 B₄C katkısı balistik başarımları sağlamıştır. Şekil 14'te ise hedef, merminin tam penetrasyonunu engellemiş bununla birlikte yaklaşık 3,6 mm civarında bir batma derinliği oluşmuştur. Aynı şekilde %10 SiC + %10 B₄C katkısı Al 7075 malzemede balistik başarımları sağlamıştır. Şekil 15'e bakıldığında, merminin hedefi tam penetrasyona uğratarak delip geçtiği görülmektedir. Önceki %10 katkılı numunelerde olduğu gibi, %5 SiC + %5 B₄C katkılı numune de balistik başarımları için etkili olmamıştır.

Yapılan balistik analizlere bakıldığında B₄C ve SiC takviyelerinin yapının sertlik, elastisite modülü gibi mekanik özelliklerini iyileştirdiği bunun sonucu olarak artan takviye oranlarında hedeflerin balistik başarımlarının arttığı görülmüştür. Kompozitlerin üretim şartları dikkate alındığında analizlerde %40 takviye oranlarında başarımları sağlanmasına rağmen bu oranda takviyelerde homojen dağılım elde edilemediği ve neticesinde istenilen özelliklerde kompozit üretimi yapılamadığı için deneysel çalışmamızda da görüldüğü üzere %20 takviye oranları balistik başarımları ve üretilebilirlik bakımından en iyi sonuçları vermektedir. Bu takviye oranında özellikle B₄C takviyeli kompozit yapı hem toz metalürjisi ile üretim hem de balistik başarımları için zırh malzemesi olarak kullanılabilir. Her iki takviye malzemesinin birlikte kullanıldığı kompozit numunelerde ise çok farklı sonuçlar çıkmamıştır. Kompozit malzemelerin balistik davranışlarındaki ana etken, ağırlıkça katılan % takviye oranları olmuştur. Karışık takviyeli kompozit numunelerde de, %10 B₄C + %10 SiC, toplamda %20 takviyeli kompozit numune üretilebilirlik ve balistik dayanım olarak optimum orana sahip numune olarak kabul edilebilir [1]. Genel bir sonuç olarak, SiC ve B₄C takviye elemanları kullanılarak üretilen kompozitlerde hem mekanik özellikler hemde

balistik performans açısından en başarılı sonuçlar %20 takviye oranlarında elde edilmiştir.

4.SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Yapılan deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

- Kompozit yapı içerisinde takviye miktarının artmasıyla sertlik değerleri de artış göstermiştir. Ancak sinterleme süresinin artmasıyla sertlik değerleri azalmıştır.
- SiC ve B₄C takviye oranlarının artması kompozitlerin kırılma dayanımını azaltmasına karşın, sinterleme süresinin artması kompozit numunelerin kırılma dayanımlarını arttırmıştır.
- Takviye oranlarının yükselmesi ve sinterleme sürelerinin artışı, kompozitlerin aşınma davranışlarını olumsuz etkilemiştir. Takviye cinsi ve takviye oranı birlikte değerlendirildiğinde en düşük aşınma değeri, 90 dakika sinterlenmiş %20 B₄C takviyeli kompozit numunede elde edilirken, en yüksek aşınma miktarı %40 B₄C takviyeli 150 dakika sinterlenen numunede elde edilmiştir.
- Bu tür kompozitler için %40 SiC ve B₄C oranları kompozit yapı içerisinde yüksek kalmıştır. Matris ve takviye fazları arasında olması beklenen güçlü bağ yeterince oluşmamıştır.
- Sonlu elemanlar yöntemiyle ANSYS / Explicit Dynamics (Student version) programı başarılı bir şekilde kullanılarak balistik çarpma analizleri yapılmıştır.
- Balistik analizler sonucunda;%40 ve %20 takviye oranlarında balistik başarımlar elde edilmiştir. Diğer mekanik özellikler ve üretilebilirlik faktörleri ile birlikte balistik başarımlar değerlendirildiğinde %20 takviye oranında üretilen kompozitlerin tercih edilmesinin daha uygun olacağı sonucuna varılmıştır. %20 takviye oranında B₄C hem üretilebilirlik hem de balistik özellikler dolayısıyla en iyi sonucu vermiştir.
- %10 takviye oranları kompozitlerde balistik başarımlar sağlayamamıştır.
- Yapılan balistik analizlerde, her iki takviye elemanının birlikte kullanıldığı 7, 8 ve 9 numaralı kompozit numuneler, aynı oranda tek çeşit takviye elemanının kullanıldığı numuneler ile çok yakın özellikte sonuçlar sergilemiştir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma 2017/005 numaralı proje kapsamında Kırıkkale Üniversitesi BAP Birimi tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Baydaroğlu, V., "Balistik Malzeme Üretimine Yönelik B₄C+SiC Takviyeli Al 7075 Kompozitlerde Optimum Katkı Oranının belirlenmesi", *Yüksek Lisans Tezi*, Kırıkkale Üniversitesi, (2018).
- [2] Ayhan O., Ali Kaya G., Uğur Ç.,AlMatrisli B₄C Takviyeli Kompozitlerin Sıcak Presleme Yöntemiyle Üretimi, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 4: 8-13, (2007).
- [3] Hasan H., Ferhat G.,B₄C / Al Kompozitlerin Takviye Hacim Oranına Bağlı Olarak Abrasif Aşınma Davranışlarının İncelenmesi, *SDU International Technologic Science*, 2(1): 15-21, (2010).
- [4] Tang, F.,Wu, X., Ge, S., Ye, J., Zhu, H., Hagiwara, M. and Schoenung, J.M., Dry Sliding Friction and Wear Properties of B₄C Particulate Reinforced Al-5083 Matrix Composites, *Wear*, 264: 555-561, (2008).
- [5] Yumak, N. Pekbey, Y. Aslantaş K.,Zırh Tasarımında Kullanılan Kompozit Malzemelerin Deformasyon Karakteristiğinin Araştırılması, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 10(4): 1-21, (2014).
- [6] Savio, S.G. Ramanjaneyulu, K. Madhu, V. Bhat, T.B. An experimental study on ballistic performance of boron carbide tiles, *International Journal of Impact Engineering*, 38: 535-541, (2011).
- [7] Jena, P.K.,Mishra, B., Kumar, K.S., Bhat, T.B., An experimental study on the ballistic behavior of some metallic armour materials against 7.62 mm deformable projectile, *Materials and Design*, 31: 3308-3316, (2010).
- [8] Fu, H.-H. Han, K.-S.,Song, J.-I. Wear properties of Saffil/Al, Saffil/Al₂O₃/Al and Saffil/SiC/Al hybrid metal matrix composites, *Wear*, 256: 705-713, (2004).
- [9] Alpas, A.T.,Zhang, J., Effect of microstructure (particulate size and volume fraction) and counterface material on the sliding wear resistance of particulate-reinforced aluminum matrix composites, *Metallurgical and Materials Transactions A*, 25: 969-983, (1994).
- [10] Sawla, S.,Das, S., Combine deffect of reinforcement and heat treatment on the two body abrasive wear of aluminum alloy and aluminum particle composites, *Wear*, 257: 555-561, (2004).
- [11] Buytoz, S. ve Eren H.,Al Metal Matris Kompozitlerin Abrasiv Aşınma Performansına Takviye Elemanlarının Etkisi, *Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi*, 19(2): 209-216, (2007).
- [12] TS EN ISO 4498, "Sinterlenmiş metal malzemeler (sert metaller hariç) Görünen sertliğin ve mikro sertliğin tayini", Ankara, (2011).
- [13] TS EN ISO 6506-1,"Metalik Malzemeler Brinell Sertlik Deneyi, Bölüm 1: Deney metodu", Ankara, (2007).
- [14] ASTM-B 528-05, "Standard Test Method for Transverse Rupture.Strength of Metal Powder Specimens", ASTM International, West Conshohocken, United States, (2008).
- [15] Özkan, S., "Alüminyum Matrisli SiC Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Mekanik Alaşımlama Yöntemiyle Üretimi ve Kuru Aşınma Davranışlarının İncelenmesi", *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2007).
- [16] Kılıç, E.F., "Alüminyum Alaşımlı SiC Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Toz Metalurjisi Yöntemi ile Üretimi ve Aşınma Davranışlarının İncelenmesi", *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2007).
- [17] Kırış, A., "Hasarlı Malzemelerin Mikro Elastik Teorilerle Modellenmesi ve Eshelby Tensörleri", *Doktora Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, (2007).