

## PAPER DETAILS

TITLE: Investigation on the Behaviours of TiB<sub>2</sub> Reinforced B<sub>4</sub>C-SiC Composites Against Co-60 Gamma Radioisotope Source

AUTHORS: Bülent BÜYÜK, Beril TUGRUL

PAGES: 24-29

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/191641>



# TiB<sub>2</sub> KATKILI B<sub>4</sub>C-SiC KOMPOZİT MALZEMELERİN Co-60 GAMA RADYOİZOTOP KAYNAĞI KARŞISINDAKİ DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

## INVESTIGATION ON THE BEHAVIOURS OF TiB<sub>2</sub> REINFORCED B<sub>4</sub>C-SiC COMPOSITES AGAINST Co-60 GAMMA RADIOISOTOPE SOURCE

Bülent BÜYÜK<sup>1\*</sup>, Beril A. TUĞRUL<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Nükleer Araştırmalar ABD, Enerji Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.  
buyukbu@itu.edu.tr, beril@itu.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 26.03.2014, Kabul Tarihi/Accepted: 16.07.2014  
\* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2014.29052  
Araştırma Makalesi/Research Article

### Öz

Bu çalışmada titanyum diborür (TiB<sub>2</sub>) katkılı bor karbür (B<sub>4</sub>C)-silisyum karbür (SiC) kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağı karşısındaki radyasyon zayıflatma davranışları incelenmiştir. Deneylerde TiB<sub>2</sub> katkısı olmayan B<sub>4</sub>C-SiC kompozit malzeme ile hacimce %2 ve %4 TiB<sub>2</sub> katkılı B<sub>4</sub>C-SiC kompozit malzemeler kullanılmıştır. Bütün malzemelerde hacimce B<sub>4</sub>C/SiC oranı 6/4'tür. İki farklı enerji pikine sahip olan (1.17 ve 1.33 MeV) Co-60 gama radyoizotop kaynağına ilişkin malzemelerin zayıflatma eğrileri çizilmiş ve lineer zayıflatma katsayıları hesaplanmıştır. Buradan hareketle malzemelerin kütle zayıflatma katsayıları ve yarı-değer kalınlıkları (YDK) elde edilmiştir. Deneylerden elde edilen kütle zayıflatma katsayıları, XCOM bilgisayar programı kullanılarak hesaplanan teorik kütle zayıflatma katsayıları ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca elde edilen yarı-değer kalınlıkları birbirleri ile mukayeseli olarak değerlendirilmiştir. Bu bağlamda deneysel kütle zayıflatma katsayılarının, teorik olarak (XCOM) hesaplanan değerler ile uyumlu olduğu ve farkın %10'un altında kaldığı görülmüştür. Ayrıca TiB<sub>2</sub> katkılı B<sub>4</sub>C-SiC kompozit malzemelerin katkısız olanlara göre daha düşük YDK değerlerine sahip olduğu ortaya çıkarılmıştır. Ek olarak %4 TiB<sub>2</sub> katkılı B<sub>4</sub>C-SiC kompozit malzemelerin %2 TiB<sub>2</sub> katkılı B<sub>4</sub>C-SiC kompozit malzemelere göre daha düşük YDK değerlerine sahip olduğu gözlenmiştir. TiB<sub>2</sub> katkısının yapılmasının ve TiB<sub>2</sub> oranının artırılmasının B<sub>4</sub>C-SiC kompozit malzemelerin Co-60 gama kaynağı karşısındaki radyasyon zırlama kabiliyetini artırdığı ortaya çıkarılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Gama zayıflatma katsayısı, Co-60, Gama transmisyon tekniği, Titanyum diborür, Bor karbür, Silisyum karbür

### Abstract

In the present study, the gamma attenuation behaviours of the Titanium diboride (TiB<sub>2</sub>) reinforced boron carbide (B<sub>4</sub>C)-silicon carbide (SiC) composite materials were investigated against Co-60 gamma radioisotope source. In the experiments TiB<sub>2</sub> unreinforced and 2% and 4% TiB<sub>2</sub> (by volume) reinforced B<sub>4</sub>C-SiC composite materials were used. In the composite materials B<sub>4</sub>C/SiC ratio has been realized as 6/4 by volume. The linear and mass attenuation coefficients of the samples were carried out for Co60 gamma radioisotope source which has two energy peaks (1.17 and 1.33 MeV). Then mass attenuation coefficients and half-value thicknesses (HVT) of the materials were calculated. Experimental mass attenuation coefficients were compared with the theoretical values which were calculated from XCOM computer code. Furthermore HVTs of the samples were evaluated and compared each other. It has been seen that the experimental and theoretical mass attenuation coefficients are closed to each other and differences are under 10 percent. In addition, TiB<sub>2</sub> reinforced B<sub>4</sub>C-SiC composites have smaller HVTs than unreinforced one. Moreover 4% TiB<sub>2</sub> reinforced B<sub>4</sub>C-SiC composite has smaller HVT than the 2% reinforced sample. Reinforcing TiB<sub>2</sub> and increasing TiB<sub>2</sub> ratio increase the gamma attenuation property of the B<sub>4</sub>C-SiC composites against Co-60 gamma radioisotope source.

**Keywords:** Gamma attenuation coefficient, Co-60, Gamma transmission technique, Titanium diboride, Boron carbide, Silicon carbide

### 1 Giriş

Bor karbür, sahip olduğu önemli özellikler neticesinde başta nükleer teknoloji olmak üzere farklı uygulamalarda sıkça kullanılan malzemeler arasında yer almaktadır [1]. Yüksek sertliği, düşük yoğunluğu, yüksek ergime sıcaklığı ve yüksek termal nötron tesir kesiti bor karbürün önemli özellikleri arasındadır [2]. Bununla birlikte yüksek rölatif yoğunlukta saf bor karbürün sinterlenmesi bir hayli zor olduğundan yüksek sıcaklıkta presleme ile birlikte bazı SiC ve TiB<sub>2</sub> gibi katkı maddeleri kullanılarak bor karbürün yoğunluğunun artırılması sağlanabilmektedir [3]. Silisyum karbürün üretim maliyetlerinin bağlı olarak düşük olması nedeniyle birçok uygulamada kullanılabilmesinin yanında nükleer atık depolarında ve füzyon reaktörü uygulamalarında kendine yer bulmaktadır [4]-[5]. Bir diğer katkı maddesi olan TiB<sub>2</sub> ise bağlı düşük yoğunluğu, kimyasal kararlılığı ve yüksek sıcaklıklardaki mukavemeti sayesinde uygulamalarda geniş kullanım alanına sahip malzeme durumundadır [4]-[6].

Literatürde farklı malzemelerin çeşitli gama radyoizotoplar karşısındaki lineer ve kütle zayıflatma katsayılarının hesaplanmasına ilişkin çok sayıda araştırma bulunmaktadır. Bu çalışmalar ile malzemelerin deneysel ve/veya teorik olarak gama radyasyonu karşısındaki zırlama özellikleri araştırılmış ve uygulamalarda kullanılabilirliği tartışılmıştır [1],[2],[4],[7]-[10].

Bu çalışmada TiB<sub>2</sub> katkılı/katkısız B<sub>4</sub>C-SiC kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotopuna ilişkin olarak radyasyon zırlama kabiliyetleri incelenmiştir. Bu bağlamda öncelikle çalışılan malzemelerin lineer ve kütle zayıflatma katsayıları ile yarı değer kalınlıkları (YDK) hesaplanmıştır. Daha sonra elde edilen sonuçlar birbirleri ile mukayeseli olarak değerlendirilmiştir. Yapılan TiB<sub>2</sub> katkısının B<sub>4</sub>C-SiC kompozit malzemelerin Co-60 gama radyasyonu zırlama kabiliyeti üzerine etkisi araştırılmıştır. Böylelikle nükleer teknolojide kullanılabilecek uygulamaya yönelik deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir.

## 2 Deneysel Yöntem

### 2.1 Gama Transmisyon Tekniği

Gama transmisyon tekniği, gama ışınlarının malzeme içinden geçerken malzeme atomları ile etkileşmesi esasına dayanmaktadır [11]. Bu etkileşmeler neticesinde gama ışınları enerjilerinin bir kısmını veya tamamı kaybetmektedirler. Gama radyoizotop kaynağı ve detektör malzemenin her iki tarafına aynı eksenle olacak şekilde yerleştirilerek kaynaktan çıkarak malzemeyi kat eden radyasyon şiddeti ölçülmektedir [11],[12]. Malzemenin farklı kalınlık değerleri kullanılarak elde edilen sayım değerleri ( $I$ ), malzeme olmaksızın elde edilen sayım değerine ( $I_0$ ) oranlanarak malzemenin her bir kalınlık değeri için bağıl sayım değerleri ( $I/I_0$ ) ortaya çıkarılmış olmaktadır. Her bir malzeme için kalınlık-bağıl sayım grafikleri çizilerek malzemenin gama zayıflatma eğrileri oluşturularak birbirleriyle mukayese edilmekte ve amaca yönelik değerlendirilmektedir. Gama transmisyon tekniğinin şematik olarak gösterimi Şekil 1' de verilmektedir.



Şekil 1: Gama transmisyon tekniğinin şematik olarak görünümü [13].

Malzemeler için oluşturulan gama zayıflatma eğrilerinden yola çıkılarak malzemelerin Lineer zayıflatma katsayıları ( $\mu$ ), Eşitlik 1'de verilen Beer Lambert formülü yardımıyla hesaplanmaktadır [14].

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (1)$$

Burada;

- $I$ : Malzemeyi geçen gama radyasyon şiddetini,
- $I_0$ : Malzemeye gelen gama radyasyon şiddetini,
- $\mu$ : Malzemenin belirli bir gama enerjisi için lineer zayıflatma katsayısını,
- $x$ : Malzeme kalınlığını,

ifade etmektedir.

Malzeme için hesaplanan lineer zayıflatma katsayısının kullanımıyla malzemeye ait kütle zayıflatma katsayısı ( $\mu_m$ ) ve yarı-değer kalınlığı (YDK) elde edilmektedir. Malzemelerin kütle zayıflatma katsayıları malzeme yoğunluğuna ( $\rho$ ) bağlı olarak;

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} \quad (2)$$

Formülü kullanılarak elde edilir [14],[15]. Malzemelerin, gelen radyasyon şiddetinin yarı değerine düşürülmesi için gerekli olan minimum kalınlık değeri olarak ifade edilebilen, YDK değerleri ise;

$$YDK = \frac{0.693}{\mu} \quad (3)$$

ifadesi kullanılarak hesaplanmaktadır [15].

Yapılan bütün hesaplamalarda, istatistiksel uygulamalarda sıkça kullanılan ve nükleer uygulama hesaplamalarında da kullanılabilen standart sapma formülü Eşitlik 4'te verilmiştir. [14],[16].

$$\sigma_u^2 = \left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2 \sigma_x^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)^2 \sigma_y^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial z}\right)^2 \sigma_z^2 + \dots \quad (4)$$

Burada,  $\sigma_u$  herhangi bir  $u$  fonksiyonunun standart sapması olmak üzere,  $x, y, z, \dots$   $u$  fonksiyonlarının parametrelerini ve  $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z \dots$  ifadeleri de bu parametrelerin standart sapmalarını belirtmektedir.

### 2.2 Deneysel Çalışmalar

Deneylerde gama kaynağı olarak 14  $\mu$ Ci aktivite değerine sahip olan Co-60 gama radyoizotopu kullanılmıştır. Co-60 gama radyoizotop kaynağı 5.23 yıl yarı ömre sahip olup 1.17 ve 1.33 MeV enerjilerinde iki farklı gama radyasyonu yayınlamaktadır [14]. Teorik hesaplamalarda Co-60 gama radyoizotopuna ilişkin ortalama enerji değeri 1.25 MeV olarak kabul edilebilmektedir [7]. Bu bağlamda Co-60 gama radyoizotopu radyasyonunun madde ile etkileşmesi olaylarında gelen gama ışınlarının minimum 1.02 MeV enerjili olması durumunda ortaya çıkabilen, çift oluşumu olayıda kendini göstermektedir [15].

PM1401K model sintilasyon dedektörü ve çok kanallı analizörü bir arada bulunduran kompakt sistem deneysel çalışmalarda gama radyasyonu ölçümü için kullanılmıştır. Ayrıca biyolojik zırhlamada radyasyondan korunma amacına yönelik olarak dedektör ile kablolu olarak uzaktan bağlantı kurabilen cep bilgisayarı kullanılmıştır.

Deneysel sistem saçılma etkilerini minimize edebilmek amacıyla dikkatlice kurulmuştur. Dedektör kaynaktan 14 cm uzağa yerleştirilmiştir. Dar demet geometrisi oluşturmak amacıyla kolimatör olarak 5 cm kalınlığında ve orasında 7 mm çapında bir delik açılmış olan kurşun blok kullanılmıştır. Sistem kurulduktan sonra ilk olarak sistemin ortam radyasyonu (Background) ölçülmüştür. Daha sonra malzeme konulmadan kaynaktan çıkan ve kolimatörü geçerek dedektöre ulaşan başlangıç gama radyasyonu ( $I_0$ ) ölçülmüştür. Takiben her bir malzeme için farklı kalınlık değerlerinde numuneler kolimatör önüne yerleştirilerek her kalınlık değeri için gama radyasyonu ( $I$ ) ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bütün sayımlar sayım süresi 150 s olarak, en az üç kez tekrar edilmiş ve böylelikle ortalama sayım değerleri ve standart sapmalarına ulaşılmıştır. Ortam radyasyonun ölçülen sayım değerlerinden çıkarılması ile net sayım değerleri elde edilmiştir. Her bir malzemenin farklı kalınlıkları için elde edilen net sayım değerleri net başlangıç sayımına bölünerek bağıl sayım ( $I/I_0$ ) değerleri belirlenmiştir. Malzemelerin bağıl sayım-kalınlık grafikleri oluşturularak gama zayıflatma eğrilerine ulaşılmış olup buradan hareketle malzemelerin birbirleri ile mukayese edilerek değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda öncelikle Origin 8 programı yardımı ile malzemelerin lineer zayıflatma katsayıları ve korelasyon ( $R^2$ ) değerleri elde edilmiştir [13]. Lineer zayıflatma katsayılarından hareketle malzemelerin kütle zayıflatma katsayıları ve YDK değerleri hesaplanmıştır.

Deneylerden hareketle hesaplanan kütle zayıflatma katsayılarının teorik değerler ile karşılaştırılması değerlendirilmesi yapılmıştır. Teorik kütle zayıflatma katsayıları, literatürde yaygın kullanıma sahip olan XCOM bilgisayar programı kullanılarak hesaplanmıştır [17]. Deneysel ve teorik sonuçların birbirleri ile uyumluluğu incelenerek deneysel sonuçların güvenilirliği ortaya çıkarılmıştır.

Malzemelerin hesaplanan YDK değerleri yardımı ile her bir malzemenin Co-60 gama radyoizotopuna ilişkin radyasyon

zırlama kabiliyetleri ortaya çıkarılmıştır. Buradan hareketle malzemeler birbirleri ile gama radyasyonu zırlama özellikleri açısından mukayese edilebilmiştir. Sonuçlar yorumlanmış ve irdelenmiştir.

### 2.3 TiB<sub>2</sub> Katkılı B<sub>4</sub>C-SiC Kompozit Malzemeler

Deneylerde hacimce %2 ve %4 TiB<sub>2</sub> katkılı B<sub>4</sub>C-SiC kompozit malzemeler ile TiB<sub>2</sub> katkısı yapılmamış olan B<sub>4</sub>C-SiC kompozit malzemeler kullanılmıştır. Malzeme içindeki B<sub>4</sub>C/SiC oranı hacimce 6/4'tür [6]. Malzemeler sıcak presleme tekniği ile sinterlenmiştir. Sinterleme 2250 °C'de 130 MPa basınç altında 2 saat süre ile gerçekleştirilmiştir [2]. Ortalama toz parçacık boyutları TiB<sub>2</sub> için 3.851 µm, B<sub>4</sub>C için 2.725 µm ve SiC için 1.845 µm'dir. Malzemeler, ilk iki rakam B<sub>4</sub>C/SiC oranını temsil etmek üzere sonraki iki rakam ise kompozit malzeme içindeki hacimce % TiB<sub>2</sub> katkısını belirtecek şekilde dört basamaklı sayılar olarak kodlanmıştır. Tablo 1'de deneylerde kullanılan malzemelerin, kodları, içerikleri ve bazı özellikleri verilmektedir.

Deneylerde kullanılan malzemelerin üretildiği bor karbür, silisyum karbür ve titanyum diborür tozlarının taramalı elektron mikroskop (SEM) görüntüleri Şekil 2'de verilmektedir.

### 3 DeneySEL Sonuçlar

TiB<sub>2</sub> katkılı/katkısız B<sub>4</sub>C-SiC kompozit malzemeler ile Co-60 gama radyoizotop kaynağına ilişkin gerçekleştirilen deneylerin sonuçları Tablo 2'de verilmektedir.

Tablo 2'den hareketle 6400, 6402\_m ve 6404\_m kompozit

Tablo 1: Deneylerde kullanılan malzemeler ve bazı özellikleri [6].

| Malzeme (Kod) | B <sub>4</sub> C (%Hac.) | SiC (% Hac.) | Mukavemet (MPa) | Sertlik (Vickers) | Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )±0.001 |
|---------------|--------------------------|--------------|-----------------|-------------------|-------------------------------------|
| 6400          | 60                       | 40           | 215.775±30.27   | 1930.5±232.23     | 2.409                               |
| 6402_m        | 58.8                     | 39.2         | 223.23±50.52    | 1640.28±61.9      | 2.437                               |
| 6404_m        | 57.6                     | 38.4         | 240.825±18.29   | 1866.62±108.9     | 2.512                               |

Tablo 2: 6400, 6402\_m ve 6404\_m kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağı ile gerçekleştirilen deney sonuçları.

| Malzeme (kod) | Kalınlık (cm) | 1 sayım | 2 sayım | 3 sayım | Ort. sayım | Std. sapma | Bağıl sayım | B. Hata (±) |
|---------------|---------------|---------|---------|---------|------------|------------|-------------|-------------|
| 6400          | 0             | 3015    | 3018    | 3006    | 3013       | 6          | 1.0000      | 0.0041      |
|               | 0.5493        | 2764    | 2772    | 2768    | 2768       | 4          | 0.9187      | 0.0032      |
|               | 1.1281        | 2569    | 2583    | 2577    | 2576       | 7          | 0.8551      | 0.0041      |
|               | 1.7042        | 2421    | 2410    | 2418    | 2416       | 6          | 0.8020      | 0.0035      |
|               | 2.2833        | 2234    | 2240    | 2249    | 2241       | 8          | 0.7438      | 0.0040      |
|               | 2.8348        | 2108    | 2105    | 2111    | 2108       | 3          | 0.6996      | 0.0024      |
| 6402_m        | 0             | 3015    | 3018    | 3006    | 3013       | 6          | 1.0000      | 0.0041      |
|               | 0.6102        | 2777    | 2784    | 2770    | 2777       | 7          | 0.9217      | 0.0042      |
|               | 1.2           | 2558    | 2543    | 2547    | 2549       | 8          | 0.8461      | 0.0043      |
|               | 1.7828        | 2374    | 2383    | 2377    | 2378       | 5          | 0.7892      | 0.0032      |
|               | 2.3745        | 2211    | 2213    | 2220    | 2215       | 5          | 0.7350      | 0.0031      |
|               | 2.9575        | 2058    | 2062    | 2065    | 2062       | 4          | 0.6843      | 0.0026      |
| 6404_m        | 0             | 3015    | 3018    | 3006    | 3013       | 6          | 1.0000      | 0.0041      |
|               | 0.5512        | 2769    | 2747    | 2760    | 2759       | 11         | 0.9156      | 0.0056      |
|               | 1.1363        | 2617    | 2593    | 2599    | 2603       | 12         | 0.8639      | 0.0059      |
|               | 1.6901        | 2401    | 2415    | 2390    | 2402       | 13         | 0.7972      | 0.0058      |
|               | 2.2562        | 2247    | 2238    | 2237    | 2241       | 6          | 0.7437      | 0.0034      |
|               | 2.8167        | 2049    | 2051    | 2058    | 2053       | 5          | 0.6813      | 0.0030      |

malzemelerin kalınlık-bağıl sayım grafikleri çizilmiştir. Böylelikle malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağına ilişkin olarak gama zayıflatma eğrileri elde edilmiştir. TiB<sub>2</sub> katkılı/katkısız B<sub>4</sub>C-SiC kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağına ilişkin kalınlık-bağıl sayım grafikleri Şekil 3'te verilmektedir.

Origin 8 bilgisayar programı yardımı ile malzemelerin kalınlık-bağıl sayım grafikleri fit edilerek malzemelerin lineer zayıflatma katsayıları ve standart sapmaları belirlenmiş ve Tablo 3'te verilmiştir.

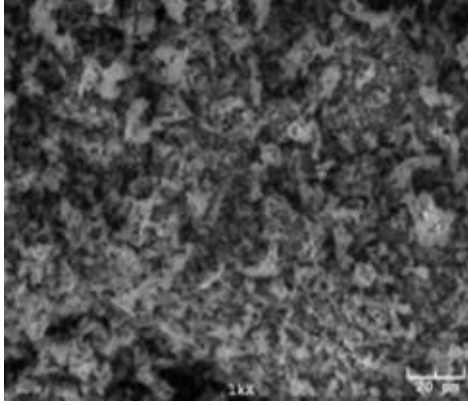
Son olarak malzemelerin lineer zayıflatma katsayıları Co-60 gama radyoizotop kaynağının farklı enerji pikleri (1.17 ve 1.33 MeV) için ayrı ayrı olarak hesaplanmıştır. Buradan hareketle elde edilen sonuçların ortalaması alınarak ortalama lineer zayıflatma katsayısı hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değer literatürde kabul edilen 1.25 MeV deki ortalama enerji için deneysel olarak hesaplanan lineer zayıflatma katsayısı ile karşılaştırılmıştır. Ayrı ayrı hesaplanarak elde edilen lineer zayıflatma katsayılarının ortalaması ile ortalama enerjideki (1.25 MeV) hesaplanan lineer zayıflatma katsayılarının birbiri ile uyumlu olduğu ve aradaki mutlak farkın %0.5 civarında olduğu görülmüştür.

### 4 Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

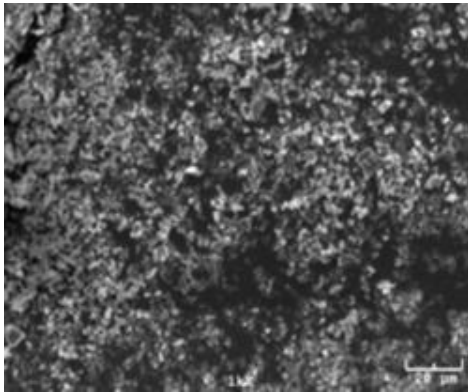
Çalışılan malzemelerin elde edilen lineer zayıflatma katsayıları kullanılarak kütle zayıflatma katsayıları ve YDK değerleri hesaplanmış ve değerlendirilmiştir. Co-60 gama radyoizotop kaynağının farklı enerji pikleri (1.17 ve 1.33 MeV) ve ortalama enerji olarak kullanılan 1.25 MeV için değerler hesaplanmıştır.

Tablo 3: 6400, 6402\_m ve 6404\_m kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağına ilişkin lineer zayıflatma katsayıları.

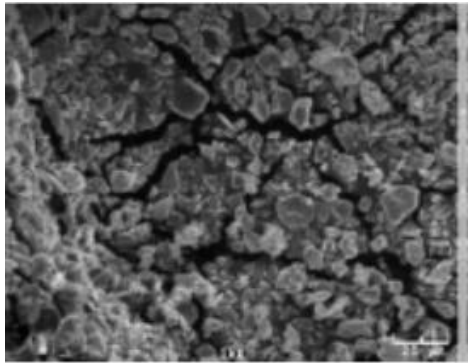
| Enerji (MeV)            | Lineer Zayıflatma Katsayısı $\mu$ (cm <sup>-1</sup> ) |           |        |           |        |           |
|-------------------------|-------------------------------------------------------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|
|                         | 6400                                                  | St. Sapma | 6402_m | St. Sapma | 6404_m | St. Sapma |
| 1.17                    | 0.1351                                                | 0.0017    | 0.1371 | 0.0018    | 0.1411 | 0.0021    |
| 1.33                    | 0.1223                                                | 0.0016    | 0.1232 | 0.0014    | 0.1280 | 0.0017    |
| Ortalama (1.17 ve 1.33) | 0.1287                                                | 0.0023    | 0.1302 | 0.0023    | 0.1345 | 0.0027    |
| 1.25                    | 0.1297                                                | 0.0023    | 0.1307 | 0.0014    | 0.1343 | 0.0022    |
| Fark (%)                | 0.78                                                  |           | 0.38   |           | 0.15   |           |



(a)

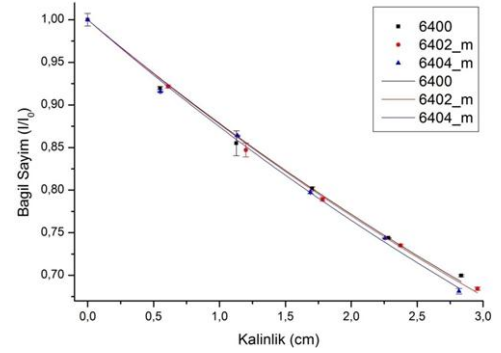


(b)



(c)

Şekil 2: Çalışılan malzemelerin üretildiği bor karbür, (a): Silisyum karbür, (b): Titanyum diborür, (c): Tozlarının SEM görüntüleri (1000X) [2].



Şekil 3: 6400, 6402\_m ve 6404\_m kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağına ilişkin gama zayıflatma eğrileri.

#### 4.1 Kütle Zayıflatma Katsayılarının Değerlendirilmesi

TiB<sub>2</sub> katkılı/katkısız malzemelerin deneyler neticesinde elde edilen lineer zayıflatma katsayıları (Eşitlik 2’de) kullanılarak malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağı için kütle zayıflatma katsayıları elde edilmiştir. Diğer taraftan literatürde yaygın olarak kullanılan ve malzemelerin içeriklerine göre istenilen enerji seviyesindeki teorik kütle zayıflatma katsayısının hesaplayabilen XCOM bilgisayar programı yardımı ile çalışılan malzemelerin 1.17 MeV, 1.33 MeV ve 1.25 MeV enerji değerindeki gama radyasyonu için teorik kütle zayıflatma katsayıları elde edilmiştir [17]. Böylelikle deneysel ve teorik (XCOM) olarak hesaplanan kütle zayıflatma katsayıları karşılaştırılarak sonuçların birbirleri ile uyumu incelenmiştir. 6400, 6402\_m ve 6404\_m kompozit malzemelerin deneysel ve teorik (XCOM) kütle zayıflatma katsayıları ve aralarındaki yüzde farklar Tablo 4 ve Tablo 5’te verilmektedir.

Tablo 4: 6400, 6402\_m ve 6404\_m kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotopuna ilişkin deneysel ve teorik (XCOM) kütle zayıflatma katsayıları.

| Malzeme (Kod) | Kütle zayıflatma katsayısı, $\mu_m$ (10 <sup>-2</sup> cm <sup>2</sup> /g) |        |          |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------|--------|----------|
|               | Co-60 (Ort. Enerji, 1.25 MeV)                                             |        |          |
|               | Deneysel                                                                  | Teorik | Fark (%) |
| 6400          | 5.384                                                                     | 5.462  | 1.43     |
| 6402_m        | 5.363                                                                     | 5.456  | 1.70     |
| 6404_m        | 5.346                                                                     | 5.450  | 1.91     |

Tablo 4’teki malzemelerin deneyler neticesinde elde edilen kütle zayıflatma katsayıları ile teorik olarak XCOM bilgisayar programından 1.25 MeV enerji için hesaplanan kütle zayıflatma katsayıları karşılaştırıldığında deneysel ve teorik sonuçlar arasındaki farkların %1-2 arasında olduğu

görülmektedir. Bu nedenle deneysel ve teorik olarak hesaplanan kütle zayıflatma katsayılarının birbirleri ile uyumlu olduğu söylenebilmektedir. Aradaki farklar ise temel olarak malzeme içindeki safsızlıklar ve malzemenin üretim koşulları ile açıklanabilmektedir. Teorik (XCOM)

hesaplamalarda malzemeler ideal kabul edilmesine karşın uygulamada ideal malzemeye ulaşmak genellikle mümkün olmamaktadır. Üretim şartlarının geliştirilmesi ile ideale yakın malzeme eldesi ile teorik sonuçlar ile deneysel sonuçların birbirlerine daha da yakın olabileceği düşünülmektedir.

Tablo 5: 6400, 6402\_m ve 6404\_m kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotopunun enerji piklerine ilişkin deneysel ve teorik (XCOM) kütle zayıflatma katsayıları.

| Malzeme<br>(Kod) | $\mu_m$ ( $10^{-2}$ cm <sup>2</sup> /g) |                  |             |          |                  |             |                   |                  |             |
|------------------|-----------------------------------------|------------------|-------------|----------|------------------|-------------|-------------------|------------------|-------------|
|                  | 1.17 MeV                                |                  |             | 1.33 MeV |                  |             | Ortalama 1.25 MeV |                  |             |
|                  | Deneysel                                | Teorik<br>(XCOM) | Fark<br>(%) | Deneysel | Teorik<br>(XCOM) | Fark<br>(%) | Deneysel          | Teorik<br>(XCOM) | Fark<br>(%) |
| 6400             | 5.604                                   | 5.650            | 0.81        | 5.064    | 5.291            | 4.29        | 5.334             | 5.471            | 2.50        |
| 6402_m           | 5.622                                   | 5.644            | 0.39        | 5.047    | 5.286            | 4.52        | 5.335             | 5.465            | 2.38        |
| 6404_m           | 5.613                                   | 5.638            | 0.44        | 5.095    | 5.280            | 3.50        | 5.354             | 5.459            | 1.92        |

Tablo 6: 6400, 6402\_m ve 6404\_m kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotopuna ilişkin YDK değerleri.

| Malzeme (Kod) | Co-60    |            |
|---------------|----------|------------|
|               | YDK (cm) | Std. Sapma |
| 6400          | 5.344    | 0.095      |
| 6402_m        | 5.303    | 0.057      |
| 6404_m        | 5.161    | 0.085      |

#### 4.2 Yarı-Değer Kalınlıklarının Değerlendirilmesi

TiB<sub>2</sub> katkılı/katkısız malzemelerin deneyler neticesinde elde edilen lineer zayıflatma katsayıları (Eşitlik 3'te) kullanılarak malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağı için YDK değerleri elde edilmiştir. Tablo 6'da 6400, 6402\_m ve 6404\_m kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotopuna ilişkin YDK değerleri verilmektedir.

Tablo 6'daki YDK değerleri incelendiğinde ilk olarak TiB<sub>2</sub> katkılı B<sub>4</sub>C-SiC kompozit malzemelerin YDK'ları TiB<sub>2</sub> katkısı yapılmayan kompozit malzemelere göre daha düşük olduğu görülmektedir. Bunun sonucunda TiB<sub>2</sub> katkısı yapılmasının B<sub>4</sub>C-SiC kompozit malzemelerin Co-60 karşısındaki radyasyon zırhlama kabiliyetlerini artırdığı söylenebilmektedir.

Bir diğer husus Tablo 6'dan %4 TiB<sub>2</sub> katkılı B<sub>4</sub>C-SiC kompozit malzemelerin YDK değeri %2 katkılı malzemelere göre daha düşük olduğu görülmektedir. Buradan hareketle TiB<sub>2</sub> katkılı B<sub>4</sub>C-SiC kompozit malzemelerde TiB<sub>2</sub> oranının artırılması malzemelerin Co-60 gama radyoizotopuna karşısındaki zırhlama kabiliyetlerini geliştirdiği sonucu ortaya çıkarılabilmektedir.

### 5 Sonuçlar

B<sub>4</sub>C-SiC kompozit malzeme ile TiB<sub>2</sub> katkılı B<sub>4</sub>C-SiC kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotopu karşısındaki gama zayıflatma özellikleri incelenmiştir. Yapılan deneyler neticesinde malzemelere ilişkin lineer ve kütle zayıflatma katsayıları ile yarı-değer kalınlıkları (YDK) elde edilmiştir. Elde edilen değerlerin incelenmesi, irdelenmesi ve mukayeseli olarak değerlendirilmesi neticesinde;

- Deneylerden elde edilen kütle zayıflatma katsayıları ile teorik olarak (XCOM) elde edilen kütle zayıflatma katsayılarının birbirleri ile uyumlu olduğu;

- Deneysel ve teorik kütle zayıflatma katsayıları arasındaki farkların ise temelde malzeme içindeki safsızlıklara ve malzeme üretim şartlarına bağlı olduğu;
- B<sub>4</sub>C-SiC kompozit malzemelere TiB<sub>2</sub> katkısının yapılmasının malzemelerin Co-60 gama radyoizotopu karşısındaki radyasyon zırhlama kabiliyetlerini artırdığı;
- TiB<sub>2</sub> katkılı B<sub>4</sub>C-SiC kompozit malzemelerde TiB<sub>2</sub> oranının artırılmasının malzemelerin Co-60 gama radyoizotopu karşısındaki radyasyon zırhlama kabiliyetlerini artırdığı;

sonuçlarına varılabilmektedir. Bu bağlamda TiB<sub>2</sub> katkılı/katkısız B<sub>4</sub>C-SiC kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağı karşısındaki davranışları incelenmiş ve nükleer teknoloji faaliyetlerinde kullanılabilecek uygulamaya yönelik bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

### 6 Teşekkür

Malzemelerin üretimini gerçekleştiren Prof. Dr. A. Okan Addemir ve Araş. Gör. A. Cem Akarsu'ya katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

### 7 Kaynaklar

- [1] Buyuk B, Tuğrul AB, Akarsu AC, Addemir AO. "Investigation on the Effects of Titanium Diboride Particle Size on Radiation Shielding Properties of Titanium Diboride Reinforced Boron Carbide-Silicon Carbide Composites". *Journal of Nano- and Electronic Physics*, 4(1), 1010-1013, 2012.
- [2] Buyuk B, Tuğrul AB., "Gamma and Neutron Attenuation Behaviours of Boron Carbide -Silicon Carbide Composites. *Annals of Nuclear Energy*, 71 (2014), 46-51.
- [3] Thevenot F. "Boron Carbide-A Comprehensive Review". *Journal of the European Ceramic Society*, 6(4), 205-22, 1990.
- [4] Buyuk B, Tuğrul AB, Akarsu AC, Addemir AO. "Investigation of Behaviour of Titanium Diboride Reinforced Boron Carbide-Silicon Carbide Composites Against Cs-137 Gamma Radioisotope Source by Using Gamma Transmission Technique". *Acta Physica Polonica A*, 121(1), 135-137, 2012.

- [5] Taylor NP, Cook I, Forrest RA, Forty CBA, Han WE, Ward DJ. "The Safety, Environmental and Economic Implications of the use of Silicon Carbide in Fusion Power Plant Blankets". *Fusion Engineering and Design*, 58-59, 991-995, 2001.
- [6] Akarsu AC, Gokce H, Boyraz T, Ertug B, Addemir AO, Ovecoglu ML. "Investigation of The Mechanical Properties of Boron Carbide-Silicon Carbide-Titanium Diboride Composites Fabricated by Hot-Pressing". *3<sup>rd</sup> International Symposium on SiAlONs and Non-Oxides*. Cappadocia, Turkey, 1-4 June 2010.
- [7] Gencil O. Gamma and Neutron Shielding Characteristics of Concretes Containing Different Colemanite Proportions, Nuclear Science and Technology. Editors: Korkut T, 41-49, Kerala, India, 2012.
- [8] Akkurt I, El-Khayatt AM. "The Effect of Barite Proportion on Neutron and Gamma-Ray Shielding". *Annals of Nuclear Energy*, 51, 5-9, 2013.
- [9] Elmahroug Y, Tellili B, Souga C. "Calculation of Gamma and Neutron Shielding Parameters for Some Materials Polyethylene-Based". *International Journal of Physics and Research*, 3(1), 33-40, 2013.
- [10] El-Khayatt AM. "NXcom-A Program for Calculating Attenuation Coefficients of Fast Neutrons and Gamma-Rays". *Annals of Nuclear Energy*, 38(1), 128-132, 2011.
- [11] Földiák, G. *Industrial Application of Radioisotopes*. Editor: Földiák G. Studies in Physical and Theoretical Chemistry, 1<sup>st</sup> ed. Elsevier Science Ltd, Amsterdam, Netherland, 1986.
- [12] Buyuk B, Tuğrul AB, Aktop S, Addemir AO. "Investigation on the Effects of Boron Carbide Particle Size on Radiation Shielding Properties of Boron Carbide-Titanium Diboride Composites". *Acta Physica Polonica A*. 123, 177-179.
- [13] Buyuk B, Tuğrul AB. "An Investigation on Gamma Attenuation Behaviour of Titanium Diboride Reinforced Boroncarbide-Silicon Carbide Composites". *Radiation Physics and Chemistry*, 97(6), 354-359, 2014.
- [14] Knoll GF. *Radiation Detection and Measurement*. University of Michigan. John Wiley & Sons Inc. New York, ABD, 2002.
- [15] L'Annunziata MF. *Radioactivity Introduction and History*. 1<sup>st</sup> ed. UK, Elsevier, 2007.
- [16] Esme I, "Fiziksel Ölçmeler ve Değerlendirilmesi". Marmara Üniversitesi Yayın No: 539, Atatürk Eğitim Fakültesi Yayın No: 21, İstanbul, Türkiye, Marmara Üniversitesi Matbaası, 1993.
- [17] Berger MJ, Hubbell JH, Seltzer SM, Chang J, Coursey JS, Sukumar R, Zucker DS, Olsen K. "XCOM: Photon Crosssection Database". <http://www.nist.gov/pml/data/xcom/index.cfm>, U.S. (11.03.2013).