



TiB₂ KATKILI B₄C-SiC KOMPOZİT MALZEMELERİN Co-60 GAMA RADYOİZOTOP KAYNAĞI KARŞISINDAKİ DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

INVESTIGATION ON THE BEHAVIOURS OF TiB₂ REINFORCED B₄C-SiC COMPOSITES AGAINST Co-60 GAMMA RADIOISOTOPE SOURCE

Bülent BÜYÜK^{1*}, Beril A. TUĞRUL¹

¹Nükleer 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 (TiB₂) katkılı bor karbür (B₄C)-silisyum karbür (SiC) kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağı karşısındaki radyasyon zayıflatma davranışları incelenmiştir. Deneylerde TiB₂ katkısı olmayan B₄C-SiC kompozit malzeme ile hacimce %2 ve %4 TiB₂ katkılı B₄C-SiC kompozit malzemeler kullanılmıştır. Bütün malzemelerde hacimce B₄C/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 TiB₂ katkılı B₄C-SiC kompozit malzemelerin katkısız olanlara göre daha düşük YDK değerlerine sahip olduğu ortaya çıkarılmıştır. Ek olarak %4 TiB₂ katkılı B₄C-SiC kompozit malzemelerin %2 TiB₂ katkılı B₄C-SiC kompozit malzemelere göre daha düşük YDK değerlerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. TiB₂ katkısının yapılmasının ve TiB₂ oranının artırılmasının B₄C-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 (TiB₂) reinforced boron carbide (B₄C)-silicon carbide (SiC) composite materials were investigated against Co-60 gamma radioisotope source. In the experiments TiB₂ unreinforced and 2% and 4% TiB₂ (by volume) reinforced B₄C-SiC composite materials were used. In the composite materials B₄C/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, TiB₂ reinforced B₄C-SiC composites have smaller HVTs than unreinforced one. Moreover 4% TiB₂ reinforced B₄C-SiC composite has smaller HVT than the 2% reinforced sample. Reinforcing TiB₂ and increasing TiB₂ ratio increase the gamma attenuation property of the B₄C-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 TiB₂ 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 TiB₂ 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 TiB₂ katkılı/katkısız B₄C-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 TiB₂ katkısının B₄C-SiC kompozit malzemelerin Co-60 gama radyasyonu zırlama kabiliyeti üzerine etkisi araştırılmıştır. Böylelikle nükleer teknolojide kullanılacak 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 dedektör malzemenin her iki tarafına aynı eksende 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 (μ), 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,
- μ : 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 (μ_m) ve yarı-değer kalınlığı (YDK) elde edilmektedir. Malzemelerin kütle zayıflatma katsayıları malzeme yoğunluğuna (ρ) 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, σ_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 μ 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 kablosuz 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 karşılaştırmalı 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 TiB₂ Katkılı B₄C-SiC Kompozit Malzemeler

Deneylerde hacimce %2 ve %4 TiB₂ katkı B₄C-SiC kompozit malzemeler ile TiB₂ katkısı yapılmamış olan B₄C-SiC kompozit malzemeler kullanılmıştır. Malzeme içindeki B₄C/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 TiB₂ için 3.851 µm, B₄C için 2.725 µm ve SiC için 1.845 µm'dir. Malzemeler, ilk iki rakam B₄C/SiC oranını temsil etmek üzere sonraki iki rakam ise kompozit malzeme içindeki hacimce % TiB₂ 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

TiB₂ katkı/katkısız B₄C-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 ₄ C (%Hac.)	SiC (% Hac.)	Mukavemet (MPa)	Sertlik (Vickers)	Yoğunluk (g/cm ³)±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	Bağlı 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-bağlı sayım grafikleri çizilmiştir. Böylelikle malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağına ilişkin olarak gama zayıflatma eğrileri elde edilmiştir. TiB₂ katkı/katkısız B₄C-SiC kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağına ilişkin kalınlık-bağlı sayım grafikleri Şekil 3'te verilmektedir.

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

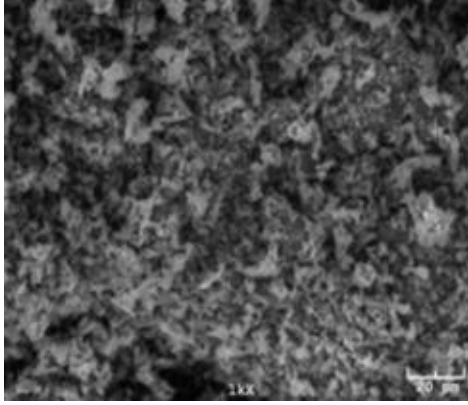
Son olarak malzemelerin lineer zayıflatma katsayıları Co-60 gama radyoizotop kaynağının farklı enerji pikleri (1.17 ve 1.33 MeV) için ayrı ayrı olarak hesaplanmıştır. Buradan hareketle elde edilen sonuçların ortalaması alınarak ortalama lineer zayıflatma katsayısı hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değer literatürde kabul edilen 1.25 MeV deki ortalama enerji için deneysel olarak hesaplanan lineer zayıflatma katsayısı ile karşılaştırılmıştır. Aynı 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

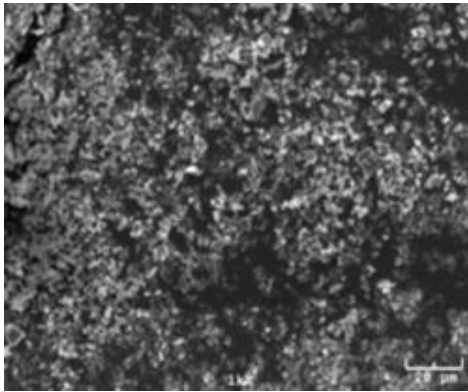
Çalışılan malzemelerin elde edilen lineer zayıflatma katsayıları kullanılarak kütle zayıflatma katsayıları ve YDK değerleri hesaplanmış ve değerlendirilmiştir. Co-60 gama radyoizotop kaynağının farklı enerji pikleri (1.17 ve 1.33 MeV) ve ortalama enerji olarak kullanılan 1.25 MeV için değerler hesaplanmıştır.

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

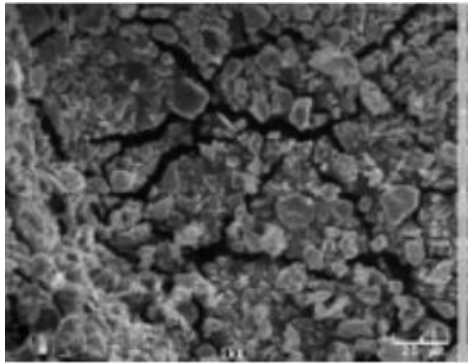
Enerji (MeV)	Lineer Zayıflatma Katsayısı μ (cm ⁻¹)					
	6400	St. Sapma	6402_m	St. Sapma	6404_m	St. Sapma
1.17	0.1351	0.0017	0.1371	0.0018	0.1411	0.0021
1.33	0.1223	0.0016	0.1232	0.0014	0.1280	0.0017
Ortalama (1.17 ve 1.33)	0.1287	0.0023	0.1302	0.0023	0.1345	0.0027
1.25	0.1297	0.0023	0.1307	0.0014	0.1343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



(a)

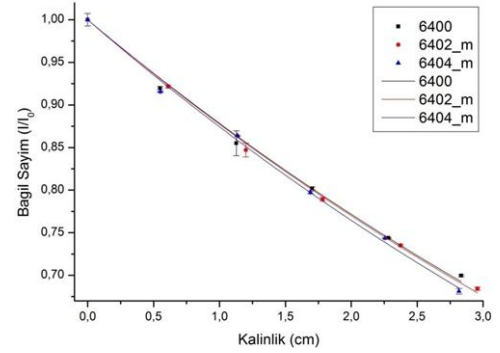


(b)



(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

TiB₂ 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, μ_m (10 ⁻² cm ² /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 (Kod)	$\mu_m (10^{-2} \text{ cm}^2/\text{g})$								
	1.17 MeV			1.33 MeV			Ortalama 1.25 MeV		
	Deneysel	Teorik (XCOM)	Fark (%)	Deneysel	Teorik (XCOM)	Fark (%)	Deneysel	Teorik (XCOM)	Fark (%)
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

TiB₂ 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 TiB₂ katkılı B₄C-SiC kompozit malzemelerin YDK'ları TiB₂ katkısı yapılmayan kompozit malzemelere göre daha düşük olduğu görülmektedir. Bunun sonucunda TiB₂ katkısı yapılmasının B₄C-SiC kompozit malzemelerin Co-60 karşısındaki radyasyon zırlama kabiliyetlerini artırdığı söylenebilmektedir.

Bir diğer husus Tablo 6'dan %4 TiB₂ katkılı B₄C-SiC kompozit malzemelerin YDK değeri %2 katkılı malzemelere göre daha düşük olduğu görülmektedir. Buradan hareketle TiB₂ katkılı B₄C-SiC kompozit malzemelerde TiB₂ oranının artırılması malzemelerin Co-60 gama radyoizotopuna karşısındaki zırlama kabiliyetlerini geliştirdiği sonucu ortaya çıkarılabilmektedir.

5 Sonuçlar

B₄C-SiC kompozit malzeme ile TiB₂ katkılı B₄C-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;
- B₄C-SiC kompozit malzemelere TiB₂ katkısının yapılmasının malzemelerin Co-60 gama radyoizotopu karşısındaki radyasyon zırlama kabiliyetlerini artırdığı;
- TiB₂ katkılı B₄C-SiC kompozit malzemelerde TiB₂ oranının artırılmasının malzemelerin Co-60 gama radyoizotopu karşısındaki radyasyon zırlama kabiliyetlerini artırdığı;

sonuçlarına varılabilmektedir. Bu bağlamda TiB₂ katkılı/katkısız B₄C-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". *3rd 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, 1st 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*. 1st 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).