

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**TUNGSTEN, TİTANYUM, BOR İÇEREN BAZI MALZEMELERİN GAMA VE NÖTRON
RADYASYONU KARŞISINDAKİ DAVRANIŞININ İNCELENMESİ, XCOM BİLGİSAYAR
PROGRAMI İLE İRDELENMESİ VE YENİ BİR RADYASYON ZİRH MALZEME ÖNERİSİ**

**DOKTORA TEZİ
Bülent BÜYÜK**

Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı

Enerji Bilim ve Teknoloji Programı

KASIM 2013

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**TUNGSTEN, TİTANYUM, BOR İÇEREN BAZI MALZEMELERİN GAMA VE NÖTRON
RADYASYONU KARŞISINDAKİ DAVRANIŞININ İNCELENMESİ, XCOM BİLGİSAYAR
PROGRAMI İLE İRDELENMESİ VE YENİ BİR RADYASYON ZIRH MALZEME ÖNERİSİ**

**DOKTORA TEZİ
Bülent BÜYÜK
(301052003)**

Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı

Enerji Bilim ve Teknoloji Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. A. Beril TUĞRUL

KASIM 2013

İTÜ, Enerji Enstitüsü'nün 301052003 numaralı Doktora Öğrencisi **Bülent BÜYÜK**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**TUNGSTEN, TİTANYUM, BOR İÇEREN BAZI MALZEMELERİN GAMA VE NÖTRON RADYASYONU KARŞISINDAKİ DAVRANIŞININ İNCELENMESİ, XCOM BİLGİSAYAR PROGRAMI İLE İRDELENMESİ VE YENİ BİR RADYASYON ZİRH MALZEME ÖNERİSİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : Prof. Dr. A. Beril TUĞRUL

İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri :Prof. Dr. Müzeyyen MARŞOĞLU

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. A. Okan ADDEMİR

İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Nilgün DOĞAN BAYDOĞAN

İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Ş. İpek KARAASLAN

Yeditepe Üniversitesi

Teslim Tarihi : 17 Haziran 2013

Savunma Tarihi : 7 Kasım 2013

ÖNSÖZ

Bu çalışma ile, nükleer teknolojiye önemli bir konu olan radyasyon zırlamasına yönelik olarak tungsten, titanyum ve bor içeren malzemelerin gama ve nötron radyasyonu karşısındaki davranışları incelenmeye çalışılmış ve yeni bir radyasyon zırh malzemesi önerisi yapılabilmektedir. Bu çalışmanın, konu ilgililerine, farklı konular bağlamında yardımcı olması umarım.

Doktora tez çalışmamda, öncelikle doktora başlangıcından itibaren tez süresince her türlü bilgi, birikim ve tecrübelerinden yararlanma imkânını bana sağlayan, ayrıca bilimsel düşünce, enerji dünyası ve nükleer teknoloji konuları başta olmak üzere diğer birçok konuda ufku açan çok değerli hocam Sn. Prof. Dr. A. Beril TUĞRUL'a sonsuz şükranlarımı sunarım.

Ayrıca bu doktora tezi sürecince, katkılarını esirgemeyen malzeme temininden deneysel çalışma imkânlarının sağlanmasına kadar her konuda beni destekleyen hocam Prof. Dr. A. Okan ADDEMİR'e, malzeme konusunda beni destekleyen Prof. Dr. Nuran AY'a ve BORTEK A.Ş.'ne, malzeme üretimi konusunda katkılarından dolayı Met.Müh.A. Cem AKARSU ve Met.Müh. Sercan AKTOP'a, Belarus'ta yapmış olduğum çalışmalarda beni destekleyen başta Prof. Dr. V.V.Uglov olmak üzere Dr. Vitaly Shymansky, Dr. Sergey Zlotski ve tüm laboratuvar ekibine, nötron deneylerinde benden desteklerini esirgemeyen İTÜ TRIGA Mark-II Reaktörü İşletme Müdürü Dr. Muhittin OKKA ve Sağlık Fizikçisi Yük.Lis. Sahip KIZILTAŞ'a, laboratuvar çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. A. Filiz BAYTAŞ'a, Doç. Dr. Nilgün Doğan BAYDOĞAN'a, Doç. Dr. Nesrin ALTINSOY'a, Yrd. Doç. Dr. Sevilay HACIYAKUPOĞLU'na, bilgi ve birikimlerinden yararlanmama imkân sağlayan Yrd. Doç. Dr. Fatih Çağlayan MERCAN'a, deney sistemlerinin kurulması ve onarımı aşamalarında teknik destek sağlayan teknisyen Murat OĞUZ'a teşekkürlerimi sunarım.

Bunlardan ayrı olarak bu çalışmayı destekleyen ve olanaklarını kullandıran İTÜ-BAP Birimi, Tinçel Vakfı, İTÜ Enerji Enstitüsü ve Belarussian State University'e, İTÜ TRIGA Mark Eğitim ve Araştırma Reaktör grubuna da teşekkürü bir borç bilirim.

Son olarak bu doktora süresince beni manevi yönden destekleyen değerli eşim Sibel BÜYÜK'e, kayınvalidem Zeynep ŞAHİN'e, çocuklarım Ahmet Efe BÜYÜK ve Yasemin Elif BÜYÜK'e, kardeşim Uğur BÜYÜK'e ve hayatımı biz çocuklarına adanmış olan annem Hüsniye BÜYÜK'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2013

Bülent BÜYÜK

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
KISALTMALAR.....	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xxi
ÖZET.....	xxv
SUMMARY	xxix
1. GİRİŞ	1
2. RADYASYONUN MADDE İLE ETKİLEŞİMİ.....	13
2.1 Radyasyonun Tanımı ve Radyasyon Tipleri	13
2.1.1 Alfa Parçacıkları	13
2.1.2 Beta Parçacıkları	14
2.1.3 Gama Işınları.....	14
2.1.4 Nötronlar	15
2.2 Radyasyonun Madde ile Etkileşimi.....	15
2.2.1 Yüklü Parçacıklar.....	16
2.2.1.1 Ağır Yüklü Parçacıklar.....	16
2.2.1.2 Hafif Yüklü Parçacıklar.....	18
2.2.2 Yüksüz Parçacıklar	21
2.2.2.1 Fotonlar.....	21
Fotoelektrik olay.....	24
Compton saçılması.....	25
Çift oluşumu.....	26
2.2.2.2 Nötronlar.....	27
Elastik saçılma.....	28
İnelastik saçılma.....	29
Nötron yakalanması.....	29
Nükleer reaksiyonlar.....	30
Fisyon.....	30
3. BOR, TİTANYUM ve TUNGSTEN İÇEREN MALZEMELER	31
3.1 Bor Karbür.....	31
3.1.1 Silisyum karbür	33
3.2 Titanyum Diborür.....	35
3.3 Bor Nitrür	36
3.4 Tungsten Karbür.....	38
3.5 Tungsten	39
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	41
4.1 Çalışılan Malzemeler.....	41
4.1.1 Çalışılan bor karbür içeren malzemeler	43
4.1.2 Çalışılan bor nitrür içeren malzemeler.....	51
4.1.3 Çalışılan tungsten içeren malzemeler	51

4.2 Deneý Düzeneginin Tanıtımı	53
4.2.1 Gama deneý düzeneginin tanıtımı	54
4.2.1.1 Gama kaynakları	55
4.2.1.2 Gama dedektörü	56
4.2.1.3 Çok kanallı analizör	58
4.2.1.4 Kolimatör	58
4.2.1.5 Zırh malzemeleri	59
4.2.1.6 Mikrometre ile kalınlık tayini	59
4.2.1.7 Yoğunluk ölçümü	60
4.2.1.8 Gama deneý düzenegi	61
4.2.2 Nötron deneý düzeneginin tanıtımı	61
4.2.2.1 Pu-Be Nötron Kaynağı (Nötron Howitzer, NH-3)	62
4.2.2.2 Nötron dedektörü	64
4.2.2.3 Nötron Kolimatörü	64
4.2.2.4 Nötron Zırh Elemanları	65
4.2.2.5 Nötron deneý düzenegi	65
4.3 Deneýlerin Yapılışı	66
4.3.1 Gama deneýlerinin yapılışı	66
4.3.2 Nötron deneýlerinin yapılışı	67
5. DENEYSEL SONUÇLAR	69
5.1 Gama Radyoizotop Kaynakları ile Yapılan Deneý Sonuçları	69
5.1.1 Cs-137 Gama radyoizotop kaynağı ile yapılan deneýlerin sonuçları	70
5.1.1.1 Cs-137 Gama radyoizotop kaynağı kullanılarak bor karbür içeren kompozit malzemeler ile yapılan deneýlerin sonuçları	70
5.1.1.2 Cs-137 Gama radyoizotop kaynağı kullanılarak saf B ₄ C ve B ₄ C-SiC içeren kompozit malzemeler ile yapılan deneýlerin sonuçları	70
5.1.1.3 Cs-137 Gama radyoizotop kaynağı kullanılarak TiB ₂ katkılı B ₄ C-SiC içeren 8200, 8202_m ve 8204_m olarak gruplanan kompozit malzemeler ile yapılan deneýlerin sonuçları	71
5.1.1.4 Cs-137 Gama radyoizotop kaynağı kullanılarak TiB ₂ katkılı B ₄ C-SiC içeren 8202_m, 8202_n ve 8204_m 8204_n olarak gruplanan kompozit malzemeler ile yapılan deneýlerin sonuçları	73
5.1.1.5 Cs-137 Gama radyoizotop kaynağı kullanılarak TiB ₂ katkılı B ₄ C-SiC içeren 7300, 7302_m ve 7304_m olarak gruplanan kompozit malzemeler ile yapılan deneýlerin sonuçları	74
5.1.1.6 Cs-137 Gama radyoizotop kaynağı kullanılarak TiB ₂ katkılı B ₄ C-SiC içeren 7302_m, 7302_n ve 7304_m 7304_n olarak gruplanan kompozit malzemeler ile yapılan deneýlerin sonuçları	76
5.1.1.7 Cs-137 Gama radyoizotop kaynağı kullanılarak TiB ₂ katkılı B ₄ C-SiC içeren 6400, 6402_m ve 6404_m olarak gruplanan kompozit malzemeler ile yapılan deneýlerin sonuçları	77
5.1.1.8 Cs-137 Gama radyoizotop kaynağı kullanılarak TiB ₂ katkılı B ₄ C-SiC içeren 6402_m, 6402_n ve 6404_m 6404_n olarak gruplanan kompozit malzemeler ile yapılan deneýlerin sonuçları	79
5.1.1.9 Cs-137 Gama radyoizotop kaynağı kullanılarak normal sinterleme B ₄ C -TiB ₂ kompozit malzemeler ile yapılan deneýlerin sonuçları	80
5.1.1.10 Cs-137 Gama radyoizotop kaynağı kullanılarak reaksiyon sinterleme B ₄ C -TiB ₂ kompozit malzemeler ile yapılan deneýlerin sonuçları	82

5.1.1.11 Cs-137 Gama radyoizotop kaynağı kullanılarak bor nitrür içeren kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları.....	83
5.1.1.12 Cs-137 Gama radyoizotop kaynağı kullanılarak tungsten içeren malzemeler ve Kurşun ile yapılan deneylerin sonuçları.....	84
5.1.2 Co-60 ile yapılan deneylerin sonuçları	85
5.1.2.1 Co-60 Gama radyoizotop kaynağı kullanılarak bor karbür içeren kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin lerin sonuçları.....	85
5.1.2.2 Co-60 Gama radyoizotop kaynağı kullanılarak saf B ₄ C ve B ₄ C-SiC içeren kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları.....	86
5.1.2.3 Co-60 Gama radyoizotop kaynağı kullanılarak TiB ₂ katkılı B ₄ C-SiC içeren 8200, 8202_m ve 8204_m olarak gruplanan kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları.....	87
5.1.2.4 Co-60 Gama radyoizotop kaynağı kullanılarak TiB ₂ katkılı B ₄ C-SiC içeren 8202_m, 8202_n ve 8204_m 8204_n olarak gruplanan kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları.....	88
5.1.2.5 Co-60 Gama radyoizotop kaynağı kullanılarak TiB ₂ katkılı B ₄ C-SiC içeren 7300, 7302_m ve 7304_m olarak gruplanan kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları.....	91
5.1.2.6 Cs-137 Gama radyoizotop kaynağı kullanılarak TiB ₂ katkılı B ₄ C-SiC içeren 7302_m, 7302_n ve 7304_m 7304_n olarak gruplanan kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları.....	92
5.1.2.7 Cs-137 Gama radyoizotop kaynağı kullanılarak TiB ₂ katkılı B ₄ C-SiC içeren 6400, 6402_m ve 6404_m olarak gruplanan kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları.....	94
5.1.2.8 Cs-137 Gama radyoizotop kaynağı kullanılarak TiB ₂ katkılı B ₄ C-SiC içeren 6402_m, 6402_n ve 6404_m 6404_n olarak gruplanan kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları.....	95
5.1.2.9 Co-60Gama radyoizotop kaynağı kullanılarak normal sinterleme B ₄ C -TiB ₂ kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları.....	97
5.1.2.10 Co-60 Gama radyoizotop kaynağı kullanılarak reaksiyon sinterleme B ₄ C -TiB ₂ kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları.....	98
5.1.2.11 Co-60 Gama radyoizotop kaynağı kullanılarak bor nitrür içeren kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları.....	99
5.1.2.12 Co-60 Gama radyoizotop kaynağı kullanılarak tungsten içeren malzemeler ve Kurşun ile yapılan deneylerin sonuçları.....	100
5.2 Nötron Deney Sonuçları.....	101
5.2.1 Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı kullanılarak bor karbür içeren kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları.....	102
5.2.1.1 Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı kullanılarak saf B ₄ C ve B ₄ C-SiC içeren kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları.....	102
5.2.1.2 Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı kullanılarak TiB ₂ katkılı B ₄ C-SiC içeren 8200, 8202_m ve 8204_m olarak gruplanan kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları.....	103
5.2.1.3 Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı kullanılarak TiB ₂ katkılı B ₄ C-SiC içeren 8202_m, 8202_n ve 8204_m 8204_n olarak gruplanan kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları.....	104
5.2.1.4 Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı kullanılarak TiB ₂ katkılı B ₄ C-SiC içeren 7300, 7302_m ve 7304_m olarak gruplanan kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları.....	106

5.2.1.5 Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı kullanılarak TiB ₂ katkılı B ₄ C-SiC içeren 7302_m, 7302_n ve 7304_m 7304_n olarak gruplanan kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları.....	108
5.2.1.6 Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı kullanılarak TiB ₂ katkılı B ₄ C-SiC içeren 6400, 6402_m ve 6404_m olarak gruplanan kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları.....	110
5.2.1.7 Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı kullanılarak TiB ₂ katkılı B ₄ C-SiC içeren 6402_m, 6402_n ve 6404_m 6404_n olarak gruplanan kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları.....	111
5.2.1.8 Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı kullanılarak normal sinterleme B ₄ C -TiB ₂ kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları.....	113
5.2.1.9 Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı kullanılarak reaksiyon sinterleme B ₄ C -TiB ₂ kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları	114
5.2.2 Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı kullanılarak bor nitrür içeren kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları.....	115
5.2.3 Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı kullanılarak tungsten içeren malzemeler ve Kurşun ile yapılan deneylerin sonuçları	116
5.3 Çalışılan Malzemelerin Lineer Zayıflatma Katsayılarının Hesaplanması.....	118
5.4 Çalışılan Malzemelerin Yarı Tabaka Değer Kalınlığının Deneysel Sonuçlardan Hareketle Hesaplanması	119
5.4.1 Çalışılan malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağına ilişkin Deneysel Sonuçlardan Hareketle Hesaplanan YDK ve ODK değerleri	119
5.4.2 Çalışılan malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağına ilişkin Deneysel Sonuçlardan Hareketle Hesaplanan YDK ve ODK değerleri	120
5.4.3 Çalışılan malzemelerin Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağına ilişkin Deneysel Sonuçlardan Hareketle Hesaplanan YDK ve ODK değerleri	121
6. ÇALIŞILAN MALZEMELERİN XCOM BİLGİSAYAR PROGRAMI KULLANILARAK TEORİK KÜTLE ZAYIFLATMA KATSAYILARININ TAYİNİ VE DENEYSEL SONUÇLARLA KARŞILAŞTIRMALI DEĞERLENDİRMESİ.....	123
6.1 XCOM Bilgisayar Programının Tanıtımı.....	124
6.2 Bor Karbür İçeren Malzemelerin Deneysel ve Teorik Olarak Hesaplanan Kütle Zayıflatma Katsayılarının Tayini	126
6.2.1 Bor karbür içeren kompozit malzemelerin XCOM bilgisayar programı kullanılarak teorik olarak hesaplanan kütle zayıflatma katsayılarının tayini..	126
6.2.2 Bor karbür içeren kompozit malzemelerin deneysel olarak hesaplanan kütle zayıflatma katsayılarının tayini	127
6.2.3 Bor karbür içeren kompozit malzemelere ilişkin deneysel ve teorik olarak tayin edilen kütle zayıflatma katsayılarının karşılaştırmalı değerlendirilmesi.	128
6.3 Bor Nitür İçeren Malzemelerin Deneysel ve Teorik Olarak Hesaplanan Kütle Zayıflatma Katsayılarının Tayini	129
6.3.1 Bor nitür içeren malzemelerin XCOM bilgisayar programı kullanılarak teorik olarak hesaplanan kütle zayıflatma katsayılarının tayini	130
6.3.2 Bor nitür içeren malzemelerin deneysel olarak hesaplanan kütle zayıflatma katsayılarının tayini	130
6.3.3 Bor nitür içeren kompozit malzemelere ilişkin deneysel ve teorik olarak tayin edilen kütle zayıflatma katsayılarının karşılaştırmalı değerlendirilmesi.	130
6.4 Tungsten İçeren Malzemelerin ve Karşılaştırma Yapılması Planlanan Standart Kurşunun Zayıflatma Katsayılarının Tayini.....	131

6.4.1 Tungsten içeren ve karşılaştırma yapılması planlanan standart kurşun malzemenin XCOM bilgisayar programı kullanılarak teorik olarak hesaplanan kütle zayıflatma katsayılarının tayini	131
6.4.2 Tungsten içeren ve karşılaştırma yapılması planlanan standart malzemelerin deneysel olarak hesaplanan kütle zayıflatma katsayılarının tayini	132
6.4.3 Tungsten içeren malzemeler ile karşılaştırma yapılması planlanan standart kurşun malzemeye ilişkin deneysel ve teorik olarak tayin edilen kütle zayıflatma katsayılarının karşılaştırmalı değerlendirilmesi	132
6.5 Çalışılan Malzemelerin Yarı-Değer Kalınlıklarının (YDK) Karşılaştırılması	133
6.5.1 Çalışılan Malzemelerin Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerlerinin karşılaştırılması	133
6.5.1.1 Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin olarak borkarbür-silisyum karbür kompozitlerinde hacimce %SiC oranının YDK değerleri üzerine etkisi	133
6.5.1.2 Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin TiB ₂ katkılı B ₄ C-SiC kompozitlerinde hacimce %TiB ₂ oranının YDK değerleri üzerine etkisi ...	134
6.5.1.3 Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin TiB ₂ katkılı B ₄ C-SiC kompozitlerinde TiB ₂ parçacık boyutunun YDK değerleri üzerine etkisi ...	135
6.5.1.4 Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin B ₄ C-TiB ₂ kompozitlerinde B ₄ C parçacık boyutunun YDK değerleri üzerine etkisi	136
6.5.1.5 Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin Hekzagonal bor nitrür ve hekzagonal bor nitrür-titanyum diborür malzemelerin YDK değerleri ve kurşun malzeme ile karşılaştırması	137
6.5.1.6 Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin tungsten içeren malzemelerin YDK değerleri ve kurşun malzeme ile karşılaştırması	138
6.5.2 Malzemelerin Co-60 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerlerinin karşılaştırılması	139
6.5.2.1 Co-60 gama radyasyonuna ilişkin bor karbür-silisyum karbür kompozitlerinde hacimce %SiC oranının YDK değerleri üzerine etkisi	139
6.5.2.2 Co-60 gama radyasyonuna ilişkin TiB ₂ katkılı B ₄ C-SiC kompozitlerinde hacimce %TiB ₂ oranının YDK değerleri üzerine etkisi ...	140
6.5.2.3 Co-60 gama radyasyonuna ilişkin TiB ₂ katkılı B ₄ C-SiC kompozitlerinde TiB ₂ parçacık boyutunun YDK değerleri üzerine etkisi ...	141
6.5.2.4 B ₄ C-TiB ₂ kompozitlerinde B ₄ C parçacık boyutunun Co-60 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerleri üzerine etkisi	143
6.5.2.5 Hekzagonal bor nitrür ve hekzagonal bor nitrür-titanyum diborür kompozit malzemelerin Co-60 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerleri ve kurşun malzeme ile karşılaştırması	143
6.5.2.6 Tungsten içeren malzemelerin Co-60 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerleri ve kurşun malzeme ile karşılaştırması	144
6.5.3 Malzemelerin Pu-Be nötron kaynağına ilişkin YDK değerlerinin karşılaştırılması	145
6.5.3.1 Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağına ilişkin Borkarbür-silisyum karbür kompozitlerinde hacimce %SiC oranının YDK değerleri üzerine etkisi	146
6.5.3.2 TiB ₂ katkılı B ₄ C-SiC kompozitlerinde hacimce %TiB ₂ oranının Pu-Be nötron kaynağına ilişkin YDK değerleri üzerine etkisi	146
6.5.3.3 TiB ₂ katkılı B ₄ C-SiC kompozitlerinde TiB ₂ parçacık boyutunun Pu-Be nötron kaynağına ilişkin YDK değerleri üzerine etkisi	147

6.5.3.4 B ₄ C-TiB ₂ kompozitlerinde B ₄ C parçacık boyutunun Pu-Be nötron kaynağına ilişkin YDK değerleri üzerine etkisi.....	148
6.5.3.5 Hekzagonal bor nitrür ve hekzagonal bor nitrür-titanyum diborür kompozit malzemelerin Pu-Be nötron kaynağına ilişkin YDK değerlerinin karşılaştırması.....	149
6.5.3.6 Tungsten içeren malzemelerin Pu-Be nötron kaynağına ilişkin YDK değerleri ve kurşun malzeme ile karşılaştırması.....	150
7. RADYASYON ZIRH MALZEMESİ OLARAK KULLANILABİLECEK YENİ BİR KOMPOZİT MALZEME ÖNERİSİ : TUNGSTEN DİBORÜR (WB₂)	153
7.1 Tungsten diborür (WB ₂)	157
7.2 Tungsten diborür (WB ₂) İle Yapılan Deneylerin Sonuçları	157
7.2.1 Cs-137 gama radyoizotop kaynağı ile tungsten diborür kompozit malzeme için yapılan deneylerin sonuçları.....	158
7.2.2 Co-60 gama radyoizotop kaynağı ile yapılan tungsten borür kompozit malzeme için yapılan deneylerin sonuçları	159
7.2.3 Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağı ile tungsten diborür kompozit malzeme için yapılan deneylerin sonuçları	161
7.3 Önerilen WB ₂ Kompozit Malzeme ile Diğer Çalışılan Malzemelerin Radyasyon Zırhlama Özelliklerinin Karşılaştırmalı Değerlendirilmesi.....	162
8. SONUÇLAR	169
KAYNAKLAR.....	177
EKLER.....	187

KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ANSI	: American National Standards Institute
EU	: European Union
GM	: Geiger-Müller
hBN	: Hezagonal Bor nitür
HP	: Hewlett- Packard
HVT	: Half Value Thickness
IEC	: International Electrotechnical Commission
IPAQ	: Cep Bilgisayarı
İTÜ	: İstanbul Teknik Üniversitesi
NH-3	: Nötron Howitzer Kaynak
ODK	: Ondabir değer kalınlık değeri
PM	: Polimaster
PVD	: Fiziksel Buhar biriktirme (Physical vapor deposition)
RoHS	: Restriction of Hazardous Substance
TRIGA	: Training Research Isotopes General Atomic
TVT	: Tenth Value Thickness
YDK	: Yarı değer kalınlık değeri

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Alfa Aktif Bazı Radyoizotoplar	13
Çizelge 2.2 : Beta Aktif Bazı Radyoizotop Kaynaklar	14
Çizelge 2.3 : Bazı gama aktif radyoizotoplar	15
Çizelge 2.4 : Bazı nötron yayını yapan ikili sistemler	15
Çizelge 2.5 : Bazı beta radyasyonları için zırh kalınlıkları.	21
Çizelge 3.1 : Bor karbürün özellikleri	32
Çizelge 3.2 : Silisyum karbürün özellikleri	34
Çizelge 3.3 : Titanium diborüre ait bazı özellikler.	36
Çizelge 3.4 : Hekzagonal bor nitrürün bazı özellikleri.	37
Çizelge 3.5 : Tungsten karbürün genel özellikleri.	38
Çizelge 3.6 : Tungstenin genel özellikleri	39
Çizelge 4.1 : B ₄ C ve B ₄ C-SiC kompozit malzemelerinin kodları ve malzeme yapısı	43
Çizelge 4.2 : %80 B ₄ C-%20SiC kompozit malzemesi ile %2 ve %4 TiB ₂ katkı %80 B ₄ C-%20SiC kompozit malzemelerin kodları ve malzeme yapısı . .	44
Çizelge 4.3 : %2 ve %4 mikro ve nano TiB ₂ katkı %80 B ₄ C-%20SiC kompozit malzemelerin kodları ve malzeme yapısı	44
Çizelge 4.4 : %70 B ₄ C-%30SiC kompozit malzemesi ile %2 ve %4 TiB ₂ katkı %70 B ₄ C-%30SiC kompozit malzemelerin kodları ve malzeme yapısı . .	45
Çizelge 4.5 : %2 ve %4 mikro ve nano TiB ₂ katkı %70 B ₄ C-%30SiC kompozit malzemelerin kodları ve malzeme yapısı	46
Çizelge 4.6 : %60 B ₄ C-%40SiC kompozit malzemesi ile %2 ve %4 TiB ₂ katkı %60 B ₄ C-%40SiC kompozit malzemelerin kodları ve malzeme yapısı	46
Çizelge 4.7 : %2 ve %4 mikro ve nano TiB ₂ katkı %60 B ₄ C-%40SiC kompozit malzemelerin kodları ve malzeme yapısı	47
Çizelge 4.8 : Normal Sinterlenmiş B ₄ C-TiB ₂ kompozit malzemelerin kodları ve yapısı.	47
Çizelge 4.9 : Reaksiyon Sinterlenmiş B ₄ C-TiB ₂ kompozit malzemelerin kodları ve yapısı.	48
Çizelge 4.10 : Çalışılan bor karbür içeren kompozit malzemelerin bazı özellikleri .	49
Çizelge 4.11 : B ₄ C-TiB ₂ kompozit malzemelerinin bazı fiziksel özellikleri	51
Çizelge 4.12 : Tungsten içeren malzemelerin bazı özellikleri.....	53
Çizelge 4.13 : Deneylerde Kullanılan Cs-137 Radyoizotop Kaynağının Özellikleri	55
Çizelge 4.14 : PM1401K Sintilasyon Detektörün Genel Özellikleri.....	57
Çizelge 5.1 : B ₄ C ve B ₄ C-SiC kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı için kalınlık-bağıl sayım değerleri.	70
Çizelge 5.2 : TiB ₂ katkı B ₄ C-SiC içeren 8200, 8202_m ve 8204_m olarak gruplanan kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı için kalınlık- bağıl sayım değerleri.....	72
Çizelge 5.3 : TiB ₂ katkı B ₄ C-SiC içeren 8200, 8202_m, 8202_n, 8204_m 8204_n olarak gruplanan kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı için kalınlık-bağıl sayım değerleri.	73

Çizelge 5.4 : 7300, 7302_m ve 7304_m kompozit malzemelerin kalınlık-bağıl sayım değerleri	75
Çizelge 5.5 :7302_m, 7302_n, 7304_m ve 7304_n kompozit malzemelerin kalınlık-bağıl sayım deney sonuçları.....	76
Çizelge 5.6 : 6400, 6402_m ve 6404_m kompozit malzemelerin kalınlık-bağıl sayım sonuçları.....	78
Çizelge 5.7 : 6402_m, 6402_n, 6404_m ve 6404_n malzemelerin kalınlık-bağıl sayım değerleri.....	79
Çizelge 5.8 : 8515_m, 8515_ms, 8515_s malzemelerin kalınlık-bağıl sayım değerleri.....	81
Çizelge 5.9 : Reaksiyon sinterleme ile üretilen B ₄ C-TiB ₂ kompozit malzemelerin kalınlık- bağıl sayım değerleri.....	82
Çizelge 5.10 : hBN ve hBN-TiB ₂ malzemelerin Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin kalınlık-bağıl sayım değerleri.....	83
Çizelge 5.11 : W, WC_Co ve Pb malzemelerin Cs-137 gama radyasyonu karşısındaki kalınlık-bağıl sayım değerleri.....	84
Çizelge 5.12 : B ₄ C ve B ₄ C-SiC kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağı için kalınlık-bağıl sayım değerleri.....	86
Çizelge 5.13 : TiB ₂ katkılı B ₄ C-SiC içeren 8200, 8202_m ve 8204_m olarak gruplanan kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağı için kalınlık-bağıl sayım değerleri.....	87
Çizelge 5.14 : 8202_m, 8202_n, 8204_m ve 8204_n malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağı kullanılarak kalınlık-bağıl sayım değerleri.....	89
Çizelge 5.15 : 7300, 7302_m ve 7304_m kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağı kullanılarak kalınlık-bağıl sayım değerleri.....	91
Çizelge 5.16 : 7302_m, 7302_n, 7304_m ve 7304_n malzemelerin Co-60 gama kaynağı karşısındaki kalınlık-bağıl sayım deney sonuçları.....	92
Çizelge 5.17 : Çizelge 5.6 : 6400, 6402_m ve 6404_m kompozit malzemelerin Co-60 gama kaynağı karşısındaki kalınlık-bağıl sayım sonuçları.....	94
Çizelge 5.18 : 6402_m, 6402_n, 6404_m ve 6404_n malzemelerin Co-60 gama kaynağı karşısındaki kalınlık-bağıl sayım değerleri.....	95
Çizelge 5.19 : 8515_m, 8515_ms ve 8515_s malzemelerinin Co-60 gama kaynağı karşısındaki kalınlık-bağıl sayım sonuçları.....	97
Çizelge 5.20 : R8515_m, R8515_ms, R8515_s kompozit malzemelerinin Co-60 gama radyoizotopu karşısındaki kalınlık-bağıl sayım değerleri.....	98
Çizelge 5.21 : hBN ve hBN-TiB ₂ malzemelerin Co-60 gama radyasyonu ile yapılan deneylerin sonuçları.....	99
Çizelge 5.22 : W, WC_Co ve Pb malzemelerin Co-60 gama radyasyonu ile gerçekleştirilen deneylerin sonuçları.....	100
Çizelge 5.23 : B ₄ C ve B ₄ C-SiC kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı için kalınlık-bağıl sayım değerleri.....	102
Çizelge 5.24 : TiB ₂ katkılı B ₄ C-SiC içeren 8200, 8202_m ve 8204_m olarak gruplanan kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı için kalınlık-bağıl sayım değerleri.....	103
Çizelge 5.25 : TiB ₂ katkılı B ₄ C-SiC içeren 8200, 8202_m, 8202_n, 8204_m 8204_n olarak gruplanan kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı için kalınlık-bağıl sayım değerleri.....	105
Çizelge 5.26 : 7300, 7302_m ve 7304_m kompozit malzemelerin kalınlık-bağıl sayım değerleri.....	107

Çizelge 5.27 : TiB ₂ katkılı B ₄ C-SiC içeren 7302_m, 7302_n, 7304_m ve 7304_n olarak gruplanan kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağına ilişkin kalınlık-bağıl sayım deney sonuçları.	108
Çizelge 5.28 : 6400, 6402_m ve 6404_m kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağına ilişkin kalınlık-bağıl sayım sonuçları. ...	110
Çizelge 5.29 : 6402_m, 6402_n, 6404_m ve 6404_n malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağına ilişkin kalınlık-bağıl sayım değerleri.	111
Çizelge 5.30 : 8515_m, 8515_ms, 8515_s malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağına ilişkin kalınlık-bağıl sayım değerleri.	113
Çizelge 5.31 : Reaksiyon sinterleme ile üretilen B ₄ C-TiB ₂ kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağına ilişkin kalınlık- bağıl sayım değerleri.	114
Çizelge 5.32 : hBN ve hBN-TiB ₂ malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağına ilişkin kalınlık-bağıl sayım değerleri.....	116
Çizelge 5.33 : W, WC_Co ve Pb malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı karşısındaki kalınlık-bağıl sayım değerleri.	117
Çizelge 5.34 : Bor karbür içeren kompozit malzemelerin Cs-137 ve Co-60 gama radyoizotop kaynaklar için deneysel olarak çizilmiş zayıflatma eğrileri kullanılarak hesaplanan deneysel lineer zayıflatma katsayıları.	118
Çizelge 5.35 : Çalışılan malzemelerin Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin YDK ve ODK değerleri.....	120
Çizelge 5.36 : Çalışılan malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağına ilişkin YDK ve ODK değerleri.	121
Çizelge 5.37 : Çalışılan malzemelerin Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) nötronkaynağına ilişkin YDK ve ODK değerleri.	122
Çizelge 6.1 : XCOM bilgisayar programı verisi olarak çalışılan kompozit malzemelere ilişkin kompozit malzeme ağırlık yüzdeleri	125
Çizelge 6.2 : Bor karbür içeren malzemelerin teorik olarak hesaplanan kütle zayıflatma katsayıları.	127
Çizelge 6.3 : Bor karbür içeren malzemelerin deneysel kütle zayıflatma katsayıları.	128
Çizelge 6.4 : Bor karbür içeren malzemelerin Cs-137 ve Co-60 gama radyasyonuna ilişkin deneysel ve teorik kütle zayıflatma katsayıları.....	129
Çizelge 6.5 : Bor nitrür içeren malzemelerin Cs-137 ve Co-60 gama kaynakları için teorik olarak hesaplanan kütle zayıflatma katsayıları.	130
Çizelge 6.6 : Bor nitrür içeren malzemelere ait Cs-137 ve Co-60 gama radyasyonuna ilişkin deneysel kütle zayıflatma katsayıları.	130
Çizelge 6.7 : Bor nitrür içeren malzemelerin Cs-137 ve Co-60 gama radyasyonu ilişkin deneysel ve teorik kütle zayıflatma katsayıları.....	131
Çizelge 6.8 : Tungsten içeren ve kurşun malzemelerin Cs-137 ve Co-60 gama radyasyonuna ilişkin teorik kütle zayıflatma katsayıları	131
Çizelge 6.9 : Tungsten içeren malzemelerin ve kurşun malzemenin Cs-137 ve Co-60 gama radyasyonuna ilişkin deneysel kütle zayıflatma katsayıları	132
Çizelge 6.10 : Tungsten içeren malzemeler ile kurşun malzemenin Cs-137 ve Co-60 gama radyasyonuna ilişkin deneysel ve teorik kütle zayıflatma katsayıları.....	132
Çizelge 7.1 : Tungsten diborür (WB ₂) özellikleri.....	156
Çizelge 7.2 : Cs-137 gama radyoizotop kaynağı kullanılarak tungsten diborürmalzemenin kalınlık-bağıl sayım değerleri	157

Çizelge 7.3 : WB ₂ kompozit malzeme için Cs-137 gama radyoizotop kaynağına ilişkin tayin edilen lineer zayıflatma katsayısı, kütle zayıflatma katsayıları, YDK ve ODK değerleri.....	158
Çizelge 7.4 : WB ₂ kompozit malzemenin Co-60 gama radyoizotop kaynağına ilişkin kalınlık-bağıl sayım değerleri	159
Çizelge 7.5 : WB ₂ kompozit malzeme için Co-60 gama radyoizotop kaynağına ilişkin tayin edilen lineer zayıflatma katsayısı, kütle zayıflatma katsayıları, YDK ve ODK değerleri	160
Çizelge 7.6 : WB ₂ kompozit malzemenin Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağına ilişkin kalınlık-bağıl sayım değerleri.....	160
Çizelge 7.7 : WB ₂ kompozit malzeme için Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağına ilişkin tayin edilen lineer zayıflatma katsayısı, kütle zayıflatma katsayısı, YDK ve ODK değerleri.....	161
Çizelge 7.8 : WB ₂ kompozit malzemenin gama ve nötron zırhlamasına karşı davranışının diğer malzemeler için de gama ve nötron zırhlamasına ilişkin beraberce YDK değerlendirmesi	165
Çizelge A.1 : Cs-137 ile B ₄ C-SiC kompozitlerinin deney sonuçları	187
Çizelge A.2 : Cs-137 ile titanyum diborür katkılı B ₄ C-SiC (82) kompozitleri deney sonuçları.....	188
Çizelge A.3 : Cs-137 ile titanyum diborür katkılı B ₄ C-SiC (73) kompozitlerinin deney sonuçları	189
Çizelge A.4 : Cs-137 ile titanyum diborür katkılı B ₄ C-SiC (64) kompozitlerinin deney sonuçları	190
Çizelge A.5 : Cs-137 ile B ₄ C-TiB ₂ kompozitlerinin deney sonuçları	191
Çizelge A.6 : Cs-137 ile BN-TiB ₂ ve BN kompozitlerinin deney sonuçları	192
Çizelge A.7 : Cs-137 ile Kurşun, WC_Co ve tungsten malzemelerinin deney sonuçları.....	192
Çizelge A.8 : Co-60 ile B ₄ C-SiC kompozitlerinin deney sonuçları	192
Çizelge A.9 : Co-60 ile TiB ₂ katkılı B ₄ C-SiC kompozitlerinin deney sonuçları.....	193
Çizelge A.10 : Co-60 ile TiB ₂ katkılı B ₄ C-SiC (73) kompozitlerinin deney sonuçları.....	194
Çizelge A.11 : Co-60 ile TiB ₂ katkılı B ₄ C-SiC (64) kompozitlerinin deney sonuçları.....	195
Çizelge A.12 : Co-60 ile BN ve BN-TiB ₂ kompozitlerinin deney sonuçları.....	196
Çizelge A.13 : Co-60 ile B ₄ C-TiB ₂ kompozitlerinin deney sonuçları	196
Çizelge A.14 : Co-60 ile kurşun, tungsten ve WC_Co malzemelerin deney sonuçları.....	197
Çizelge A.15 : Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) ile B ₄ C-SiC kompozitlerinin deney sonuçları.....	198
Çizelge A.16 : Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) ile titanyum diborür katkılı B ₄ C-SiC (82) kompozitleri deney sonuçları.....	199
Çizelge A.17 : Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) ile titanyum diborür katkılı B ₄ C-SiC (73) kompozitlerinin deney sonuçları	200
Çizelge A.18 : Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) ile titanyum diborür katkılı B ₄ C-SiC (64) kompozitlerinin deney sonuçları.....	201
Çizelge A.19 : Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) ile B ₄ C-TiB ₂ kompozitlerinin deney sonuçları.....	202
Çizelge A.20 : Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) ile BN-TiB ₂ ve BN kompozitlerinin deney sonuçları	203

Çizelge A.21 : Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) ile Kurşun, WC_Co ve tungsten malzemelerinin deney sonuçları.	203
Çizelge A.22 : Cs-137 gama radyoizotop kaynağı ile WB ₂ kompozit malzemenin deney sonuçları.	204
Çizelge A.23 : Co-60 gama radyoizotop kaynağı ile WB ₂ kompozit malzemenin deney sonuçları.	204
Çizelge A.24 : Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağı ile WB ₂ kompozit malzemenin deney sonuçları.	204

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Atomun yüklü bir parçacıkla etkileşimi.....	17
Şekil 2.2 : Alfa ışınlarının madde içindeki doğrusal hareketi	17
Şekil 2.3 : Atomun yüklü parçacık ile uyarılması	18
Şekil 2.4 : Alfa ve beta parçacıklarının menzilleri.....	19
Şekil 2.5 : Elektronun madde içindeki enerji kaybı	20
Şekil 2.6 : Fotonların madde ile etkileşmesi	22
Şekil 2.7 : Fotonların soğurucu malzeme içinden geçişi.....	23
Şekil 2.8 : Gama radyasyonu zırhlamasında kullanılan bazı malzemeler.....	24
Şekil 2.9 : Fotoelektrik olayın şematik gösterimi	24
Şekil 2.10 : Compton saçılması.....	25
Şekil 2.11 : Çift oluşumunun şematik gösterimi	26
Şekil 2.12 : Nötronun bir çekirdekten elastik saçılması	28
Şekil 2.13 : Nötronun inelastik saçılması.....	29
Şekil 2.14 : Nötron yakalanması olayı.....	30
Şekil 2.15 : Filyon olayı	30
Şekil 4.1 :Çalışılan malzemelerin gruplandırılarak tanımlanmaları.....	42
Şekil 4.2 : B ₄ C, B ₄ C-SiC ve TiB ₂ katkılı B ₄ C-SiC kompozitlerin genel görünümü..	49
Şekil 4.3 : B ₄ C-TiB ₂ kompozit malzemelerinin genel görünümü	50
Şekil 4.4 :hBN (beyaz) ve hBN-TiB ₂ (gri) malzemelerin genel görüntüsü	51
Şekil 4.5 :Çalışılan Tungsten (W) malzenin genel görüntüsü.....	52
Şekil 4.6 :Çalışılan tungsten karbürün (WC_Co) görünümü.....	52
Şekil 4.7 :Çalışılan standart kurşun malzeme seti.....	53
Şekil 4.8 :Gama Transmisyon Tekniğinin Genel Şeması	54
Şekil 4.9 :Çalışılan Cs-137 gama radyoizotop kaynak.....	56
Şekil 4.10 :Çalışılan Co-60 gama radyoizotopkaynak.....	56
Şekil 4.11 :Çalışılan PM1401K model sintilasyon detektörü.....	57
Şekil 4.12 :Sintilasyon detektörü ile uyumlu çalışabilen cep bilgisayarı.....	58
Şekil 4.13 :Deneylerde kullanılması planlanan kolimatör.....	59
Şekil 4.14 :Nükleer güvenlik için kurşun tuğlalardan oluşturulan hücre.....	59
Şekil 4.15 :MITUTOYO marka mikrometre.....	60
Şekil 4.16 :Radwag marka hassas terazi ve yoğunluk ölçüm kiti.....	61
Şekil 4.17 :Gama deney sisteminin üstten görünümü.....	62
Şekil 4.18 :Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağı.....	63
Şekil 4.19 :Nötron Howitzer-3 kaynağının nötron enerjisi-nötron akısı dağılımı....	63
Şekil 4.20 :Nötron Howitzer-3 (NH-3) kaynağının iç yapısı.....	64
Şekil 4.21 :Nötron zırhlamasında kullanılan borik asit ile oluşturulan zırh elemanı	65
Şekil 4.22 :Nötron deney düzeneğinin genel görüntüsü	66
Şekil 5.1 : Bor karbür-silisyum karbür kompozitlerin Cs-137 zayıflatma eğrileri....	71
Şekil 5.2 : 8200, 8202_m ve 8204_m kompozitlerin Cs-137 gama zayıflatma eğrileri	72

Şekil 5.3 : %2 (a) ve % 4 (b) mikro ve nano boyutlu TiB ₂ katkılı B ₄ C-SiC kompozitlerinin Cs-137 gama zayıflatma eğrileri	74
Şekil 5.4 : 7300, 7302_m ve 7304_m malzemelerin Cs-137 gama zayıflatma eğrileri	75
Şekil 5.5 : %2 (a) ve % 4 (b) mikro ve nano boyutlu TiB ₂ katkılı %70B ₄ C-%30SiC kompozitlerinin Cs-137 gama zayıflatma eğrileri	77
Şekil 5.6 : 6400, 6402_m ve 6404_m malzemelerin Cs-137 gama zayıflatma eğrileri	78
Şekil 5.7 : %2 (a) ve % 4 (b) mikro ve nano boyutlu TiB ₂ katkılı %60B ₄ C-%40SiC kompozitlerinin Cs-137 gama zayıflatma eğrileri	80
Şekil 5.8 : 8515_m, 8515_ms, 8515_s malzemelerin Cs-137 gama zayıflatma eğrileri	81
Şekil 5.9 : R8515_m, R8515_ms ve R8515_s malzemelerin Cs-137 gama zayıflatma eğrileri	83
Şekil 5.10 : hBN ve hBN-TiB ₂ malzemelerin Cs-137 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri.....	84
Şekil 5.11 : W, WC_Co ve Pb malzemelerin Cs-137 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri	85
Şekil 5.12 : Bor karbür-silisyum karbür kompozitlerin Co-60 zayıflatma eğrileri...	87
Şekil 5.13 : 8200, 8202_m ve 8204_m kompozitlerin Co-60 gama zayıflatma eğrileri	88
Şekil 5.14 : %2 (a) ve % 4 (b) mikro ve nano boyutlu TiB ₂ katkılı B ₄ C-SiC kompozitlerinin Co-60 gama zayıflatma eğrileri	90
Şekil 5.15 : 7300, 7302_m ve 7304_m malzemelerin Co-60 gama zayıflatma eğrileri	92
Şekil 5.16 : %2 (a) ve % 4 (b) mikro ve nano boyutlu TiB ₂ katkılı %70B ₄ C-%30SiC kompozitlerinin Co-60 gama zayıflatma eğrileri	93
Şekil 5.17 : 6400, 6402_m ve 6404_m malzemelerin Co-60 gama zayıflatma eğrileri	95
Şekil 5.18 : %2 (a) ve % 4 (b) mikro ve nano boyutlu TiB ₂ katkılı %60B ₄ C-%40SiC kompozitlerinin Co-60 gama zayıflatma eğrileri	96
Şekil 5.19 : 8515_m, 8515_ms, 8515_s malzemelerin Co-60 gama zayıflatma eğrileri	98
Şekil 5.20 : R8515_m, R8515_ms ve R8515_s malzemelerin Co-60 gama zayıflatma eğrileri	99
Şekil 5.21 : hBN ve hBN-TiB ₂ malzemelerin Co-60 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri.....	100
Şekil 5.22 : W, WC_Co ve Pb malzemelerin Co-60 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri	101
Şekil 5.23 : Bor karbür-silisyum karbür kompozitlerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) zayıflatma eğrileri.....	103
Şekil 5.24 : 8200, 8202_m ve 8204_m kompozitlerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) nötron zayıflatma eğrileri	104
Şekil 5.25 : %2 (a) ve % 4 (b) mikro ve nano boyutlu TiB ₂ katkılı B ₄ C-SiC kompozitlerinin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) nötron zayıflatma eğrileri	106
Şekil 5.26 : 7300, 7302_m ve 7304_m malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) nötron zayıflatma eğrileri	107

Şekil 5.27 : %2 (a) ve % 4 (b) mikro ve nano boyutlu TiB ₂ katkılı %70B ₄ C-%30SiC kompozitlerinin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) nötron zayıflatma eğrileri	109
Şekil 5.28 : 6400, 6402_m ve 6404_m malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) nötron zayıflatma eğrileri	111
Şekil 5.29 : %2 (a) ve % 4 (b) mikro ve nano boyutlu TiB ₂ katkılı %60B ₄ C-%40SiC kompozitlerinin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) nötron zayıflatma eğrileri	112
Şekil 5.30 : 8515_m, 8515_ms, 8515_s malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) nötron zayıflatma eğrileri	114
Şekil 5.31 : R8515_m, R8515_ms ve R8515_s malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) nötron zayıflatma eğrileri	115
Şekil 5.32 : hBN ve hBN-TiB ₂ malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) nötron radyasyonu zayıflatma eğrileri.....	116
Şekil 5.33 : W, WC_Co ve Pb malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) nötron radyasyonu zayıflatma eğrileri.....	117
Şekil 6.1: Çalışılan XCOM bilgisayar programının ara yüzü.....	126
Şekil 6.2 : Hacimce %SiC oranının B ₄ C-SiC kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerleri üzerindeki etkisi	134
Şekil 6.3 : Hacimce TiB ₂ oranının TiB ₂ katkılı B ₄ C-SiC kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerleri üzerindeki etkisi	135
Şekil 6.4 : TiB ₂ parçacık boyutunun %2 ve %4 TiB ₂ katkılı B ₄ C-SiC kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerleri üzerindeki etkisi	136
Şekil 6.5 : Ortalama B ₄ C parçacık boyutunun B ₄ C-TiB ₂ kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerleri üzerindeki etkisi.....	137
Şekil 6.6 : hBN ve hBN-TiB ₂ kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerleri.....	138
Şekil 6.7 : Kurşun, Tungsten ve WC-Co kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerleri	138
Şekil 6.8 : Hacimce %SiC oranının B ₄ C-SiC kompozit malzemelerin Co-60 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerleri üzerindeki etkisi	140
Şekil 6.9 : Hacimce TiB ₂ oranının TiB ₂ katkılı B ₄ C-SiC kompozit malzemelerin Co-60 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerleri üzerindeki etkisi	141
Şekil 6.10 : TiB ₂ parçacık boyutunun %2 ve %4 TiB ₂ katkılı B ₄ C-SiC kompozit malzemelerin Co-60 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerleri üzerindeki etkisi	142
Şekil 6.11 : Ortalama B ₄ C parçacık boyutunun B ₄ C-TiB ₂ kompozit malzemelerinCo-60 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerleri üzerindeki etkisi	143
Şekil 6.12 : hBN ve hBN-TiB ₂ kompozit malzemelerin Co-60gama radyasyonuna ilişkin YDK değerleri.....	144
Şekil 6.13 : Kurşun, Tungsten ve WC-Co kompozit malzemelerin Co-60gama radyasyonuna ilişkin YDK değerleri.....	145
Şekil 6.14 : Hacimce %SiC oranının B ₄ C-SiC kompozit malzemelerin Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağına ilişkin YDK değerleri üzerindeki etkisi	146
Şekil 6.15 : Hacimce TiB ₂ oranının TiB ₂ katkılı B ₄ C-SiC kompozit malzemelerin Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağına ilişkin YDK değerleri üzerindeki etkisi.....	147

Şekil 6.16 : TiB ₂ parçacık boyutunun %2 ve %4 TiB ₂ katkılı B ₄ C-SiC kompozit malzemelerin Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağına ilişkin YDK değerleri üzerindeki etkisi	148
Şekil 6.17 : Ortalama B ₄ C parçacık boyutunun B ₄ C-TiB ₂ kompozit malzemelerinPu-Be Nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağına ilişkin YDK değerleri üzerindeki etkisi	149
Şekil 6.18 : hBN ve hBN-TiB ₂ kompozit malzemelerin Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağına ilişkin YDK değerleri.....	150
Şekil 6.19 : Kurşun, Tungsten ve WC-Co kompozit malzemelerin Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağına ilişkin YDK değerleri.....	150
Şekil 7.1 : Çalışılan malzemelerin Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin zırhlama özelliklerine göre sıralanmış YDK değerleri	154
Şekil 7.2 : Çalışılan malzemelerin Co-60 gama radyasyonuna ilişkin zırhlama özelliklerine göre sıralanmış YDK değerleri	154
Şekil 7.3 : Çalışılan malzemelerin Pu-Be nötron kaynağına ilişkin zırhlama özelliklerine göre sıralanmış YDK değerleri	155
Şekil 7.4 : Çalışılan malzemelerin Co-60 ve Pu-Be nötron kaynağına ilişkin karşılaştırmalı zırhlama özelliklerine göre sıralanmış YDK değerleri	156
Şekil 7.5 : WB ₂ kompozit malzemenin Cs-137 radyoizotop kaynağına ilişkin zayıflatma eğrisi	158
Şekil 7.6 : WB ₂ kompozit malzemenin Co-60 radyoizotop kaynağına ilişkin zayıflatma eğrisi	160
Şekil 7.7 : WB ₂ kompozit malzemenin Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağına ilişkin zayıflatma eğrisi	161
Şekil 7.8 : WB ₂ kompozit malzemenin diğer çalışılan malzemeler ile Cs-137 gama radyoizotop kaynağına ilişkin YDK değerlerinin karşılaştırması.....	163
Şekil 7.9 : WB ₂ kompozit malzemenin diğer çalışılan malzemeler ile Co-60 gama radyoizotop kaynağına ilişkin YDK değerlerinin karşılaştırması.....	164
Şekil 7.10 : WB ₂ kompozit malzemenin diğer çalışılan malzemeler ile Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağına ilişkin YDK değerlerinin karşılaştırması.....	165
Şekil 7.11 : Çalışılan malzemelerin yüksek olan YDK'larına göre mukayesesi.....	167

TUNGSTEN, TİTANYUM, BOR İÇEREN BAZI MALZEMELERİN GAMA VE NÖTRON RADYASYONU KARŞISINDAKİ DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ, XCOM BİLGİSAYAR PROGRAMI İLE İRDELENMESİ VE YENİ BİR ÖNERİ

ÖZET

Bu doktora tez çalışmasında, nükleer teknolojide önemli bir konu olan radyasyon zırhlamasına yönelik olarak tungsten, titanyum ve bor içeren malzemelerle nükleer uygulamalarda üzerinde önemle durulan gama ve nötronlarla transmisyon tekniği kullanılarak çalışılması hedeflenmiştir. Son dönemlerde, gama zırhlamasına ilişkin günümüze kadar yaygın kullanılmış olan kurşunun toksisitesi ve yaratabileceği çevre sorunları ile ilişkili olarak kullanılmaması gündeme gelmiş bulunmaktadır. Nitekim, AB'nin direktifleri arasında yer alan ve bazı zararlı maddelerin kullanımının teknolojide kısıtlayan RoHS uygulamaları içerisinde kurşun da yer almakta olup, kurşun kullanımının terk edilmesine çalışılmaktadır. Bu çerçevede, bu doktora çalışmasında, gama radyasyon zırhlamasında kurşuna alternatif olabilecek tungsten ve titanyum malzemeler ile çalışılması benimsenmiştir. Öte yandan, nükleer reaktör teknolojisinde nötronlar da büyük önem taşımaktadır ve nötron zırhlaması da üzerinde durulması gereken bir konudur. Nötron yutuculuğu açısından ise bor yadsınamaz öneme sahip bir malzemedir. Tüm bu hususlar göz önüne alınarak, bu doktora tez çalışmasında tungsten, titanyum ve bor içeren malzemelerle çalışılması yoluna gidilmiştir.

Gama radyasyonu ile çalışma için nükleer teknolojide önemli iki gama radyoizotop kaynak olan Cs-137 ve Co-60 radyoizotop kaynaklarıyla çalışılmıştır. Böylelikle, nükleer uygulamalarda sıkça kullanılan monokromatik enerjili bir kaynak (Cs-137) ile enerji seviyesi yüksek ve iki pikli (Co-60) gama radyoizotop kaynakları ile deneyler gerçekleştirilmiştir.

Çalışılması hedeflenen tungsten, titanyum ve bor içeren malzemeleri bileşik halinde bulmak her zaman mümkün olamayabilmektedir. Bu bağlamda, tungsten, titanyum ve bor içeren malzemeler olarak, (son dönemlerde önemli gelişmeler kaydeden) kompozit malzeme teknolojisi ile üretilen kompozit malzemeler seçilmiştir. Söz konusu kompozit malzemelerin her biri için gama ve nötron karşısındaki davranışları ayrı ayrı deneysel olarak incelenmiştir. Çalışılan kompozit malzemelerin bir çoğu için deneylerimiz ilk olma özelliğini taşımaktadır. Bu husus, bu doktora tezinin malzeme seçimi konusundaki özgünlüğünü oluşturmaktadır.

Ayrıca, aynı kompozit malzemenin, üretimi esnasında farklı ortalama parçacık boyutlarına sahip olacak şekilde oluşturulmuş olanları ile malzemenin radyasyon davranışına etkisi üzerinde de çalışılmıştır. Ortalama parçacık boyutu mertebesi olarak nano ve mikron altı boyutlar seçilmiş olup, nanoteknoloji açısından da irdeleme yapılması hedeflenmiştir. Bu husus ta, doktora tezinin özgünlüğü çerçevesindedir.

Cs-137 ve Co-60 gama radyoizotop kaynakları ile yapılan deneylerle, çalışılan malzemelere ilişkin elde edilen sonuçlardan hareketle çizilen zayıflatma eğrileri

birbirine paralel sonuçlar vermiştir. Ancak, Co-60 gama radyoizotop kaynak için elde edilen değerler, zayıflatma katsayıları açısından Cs-137 gama radyoizotop kaynak için daha düşük buna karşın daha YDK değerleri daha yüksek olmuştur. Bu sonuç beklenti doğrultusundadır. Zira, Co-60 gama radyoizotop kaynağın ortalama enerji seviyesi 1.25 MeV iken Cs-137 gama radyoizotop kaynağın enerjisi 0,662 MeV'dir. Dolayısı ile enerjisi yüksek olan gama radyoizotop kaynağa ilişkin olarak malzemelerin zayıflatma katsayıları daha düşük, ancak YDK'ları daha yüksek olmaktadır.

Öte yandan, Pu-Be nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağı ile yapılan deneylerle çalışılan malzemelere ilişkin elde edilen sonuçlardan hareketle nötronlara karşı zayıflatma eğrileri çizilmiştir. Cs-137, Co-60 ve Pu-Be nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağına ilişkin olarak çalışılan tüm malzemelerin yapılan deneylerinden hareketle lineer zayıflatma katsayısı, yarıdeğer kalınlığı (YDK) ve ondabir değer kalınlık (ODK) değerleri hesaplanmıştır.

Yapılan deneyler sonucunda, deneysel olarak gama ışınları karşısındaki davranışları incelenen tungsten, titanyum ve bor içeren bazı özel kompozit malzemeler için teorik bazda inceleme yapılmak üzere XCOM bilgisayar programı ile de hesaplamalar yapılmıştır. XCOM Bilgisayar programı kullanılarak hesaplanan kütle zayıflatma katsayıları ile deneysel çalışmalardan hareketle hesaplanan kütle zayıflatma katsayılarının birbirine uyumlu olduğu ve aradaki farkın çoğu kez % 7'nin, hemen daima % 10'un altında kaldığı gözlenmiştir. Aradaki farkın imalattan kaynaklandığı söylenebilir. Zira, XCOM bilgisayar programı, malzemenin pür olduğunu ve mükemmel şekilde imal edildiğini kabul etmektedir. Çalışılan malzemelerin teorik deneysel kütle zayıflatma katsayılarının birbirine uyumluluğunun görülmesi, aynı zamanda deneylerimizin de güvenilirliğinin kanıtının bir göstergesidir.

Yarı-değer kalınlık değerinin (YDK), malzemelerin zırhlama özelliğini betimleyen önemli parametre olduğundan hareketle malzemelerin radyasyon zırhlama etkinliğinin değerlendirilmesi için esas itibarıyla YDK değerleri göz önüne alınmıştır. Yapılan çalışmalar neticesinde, çalışılan kompozit malzemeler ile ilgili elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

Yapılan gama ve nötron deneyleri sonucunda gözlenmiştir ki; çalışılan malzemelerin bir kısmı gama zırhlaması için etkin bir kısmı da nötron zırhlaması için etkindir. Bu bağlamda, çalışılan malzemelerle yapılan deneysel çalışmalardan hareketle hesaplanan YDK değerleri çerçevesinde hangi malzemelerin gama radyasyonu ve hangi malzemelerin nötron radyasyonu için daha uygun olacağına ilişkin sonuçlara ulaşılmıştır.

Öte yandan, hem gama radyasyonu için ve hem de nötronlar için katkı malzemelerinin ortalama parçacık boyutunun azaltılmasının, YDK değerlerinin azalmasına neden olduğu tespit edilmiştir. Başka bir deyişle, ortalama parçacık boyutunun azaltılması, o malzemenin radyasyon zırhlama kabiliyetini arttırmaktadır. Bu husus, nanoteknolojinin önemini vurgulayan bir sonuç olarak nitelenmiştir.

Bu doktora tezi çerçevesinde hem gama radyasyonu ve hem de nötronlar karşısında iyi bir zırh malzemesi olabilecek bir malzemenin belirlenerek önerilmesi bu doktora tezinin özgünlüğü çerçevesinde hedeflenmiştir. Bu bağlamda, çalışılan malzemelere ilişkin deneylerden hareketle Cs-137, Co-60 gama radyoizotop kaynakları ve Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağı için tayin edilen YDK değerleri topluca incelenerek değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme sonucunda tungsten diborürün

hem gama radyasyonu ve hem de nötronlar karşısında uygun bir radyasyon zırh malzemesi olabileceği düşünülerek ilgili bir dizi deney gerçekleştirilmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda, Cs-137 ve Co-60 gama radyoizotop kaynakları ile Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağı için, gama ve nötronlara karşı zırh malzemesi olarak kullanılabilmesi önerilen WB₂ kompozit malzemenin gama kaynakları ve nötron kaynağı karşısındaki YDK değerleri tayin edilmiştir. WB₂ kompozit malzeme için ulaşılan YDK değerlerinin diğer malzemelere ilişkin YDK değerleri ile karşılaştırıldığında WB₂ kompozit malzemenin hem gama ve hem de nötron zırhlaması için uygun bir radyasyon zırh malzemesi olduğu gösterilmiştir.

Öz olarak, belirtmek istenirse, bu doktora tezi ile, tungsten, titanyum ve bor içeren malzemelerin gama ve nötron radyasyonu karşısındaki davranışları özgünlük çerçevesinde incelenmiş, zayıflatma katsayıları, YDK, ODK değerleri tayin edilmiş ve mukayeseli olarak değerlendirilmiştir. Kütle zayıflatma katsayıları, XCOM bilgisayar programı ile hesaplanmış ve deneysel sonuçlarla uyumluluğu ortaya konmuştur. Yine bu doktora tezinin özgünlüğü çerçevesinde önerilen tungsten borürün etkin bir radyasyon zırh malzemesi olarak uygunluğu gösterilmiştir. Böylelikle, farklı yönlerden özgün ve uygulamada sadece nükleer teknolojide değil, nano teknoloji, uzay teknolojisi vb. gibi ileri teknolojilerde de kullanılabilir bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

**INVESTIGATION ON BEHAVIOUR OF TUNGSTEN, TITANIUM, BORON COMPOSED
MATERIALS AGAINST GAMMA AND NEUTRON RADIATION, EVALUATION BY
XCOM COMPUTER CODE AND A NOVEL SHIELDING MATERIAL**

SUMMARY

The purpose of this doctoral dissertation is to study tungsten, titanium and boron-containing materials, which are used in nuclear technology for radiation shielding, using the technique of gamma and neutron transmission, which is important for nuclear applications. Recently, concerns related to the toxicity and the environmental problems associated with lead, which has been widely used for gamma shielding, has been raised. Indeed, lead is included among the hazardous substances in the Restriction of Hazardous Substances (RoHS) Directives of the European Union (EU); and efforts are being made in order to abandon using lead. Therefore, in this dissertation, as alternatives to using lead for gamma radiation shielding, tungsten and titanium materials were studied. On the other hand, neutrons are of great importance in the nuclear reactor technology and hence neutron shielding must be emphasized as well. Boron with its neutron attenuation properties is an important material. Considering all these factors, in this doctoral dissertation, tungsten, titanium and boron-containing materials were studied.

While studying gamma radiation, two important gamma radioisotope sources, Cs-137 and Co-60, were used. Therefore, experiments with a monochromatic energy source (Cs-137) and with a high energy level and two peaked source (Co-60), both of which are commonly used in nuclear applications, were conducted.

The tungsten, titanium, and boron materials, which were to be studied, are not always readily available in the form of compounds. Therefore, as tungsten, titanium and boron-containing materials, composite materials produced by the composite material technology (which experienced a significant progress recently) were selected. The behaviour of each of these composite materials against gamma and neutron radiation were separately studied experimentally. Ours, are the first experiments for many of these composite materials; which constitutes the originality of this doctoral dissertation.

Furthermore, by manufacturing different average particle sized materials, the effect of the particle size of the materials on their behaviour under radiation has been investigated.

the same composite material, during the manufacture so as to have different average particle sizes of the material with radiation generated ones were also studied on the behavior of the impact. The average particle sizes were of the order of nano and submicron scales that allowed for examination in relation to nanotechnology. This is also an original contribution of this doctoral dissertation.

The attenuation curves, plotted using the results obtained from the experiments with Cs-137 and Co-60 gamma radioisotope sources and the materials studied, were aligned. However, the values obtained for Co-60 gamma radioisotope source

compared to Cs-137 gamma radioisotope source were greater in terms of attenuation coefficients, and lesser in terms of the half-value thickness (HVT), which is an expected result. Because the average energy level of Co-60 gamma radioisotope source is 1.25 MeV; whereas the average energy level of Cs-137 gamma radioisotope source is 0.662 MeV. Therefore, for the materials in relation to the high energy gamma radioisotope sources, the attenuation coefficients are lower but the HVTs are higher.

Moreover, using the results of the experiments in which Pu-Be Neutron Howitzer (NH-3) were used as neutron source, the attenuation curves against neutrons of the materials studied were plotted. The values of linear attenuation coefficient, HVT and one tenth the thickness (TVT) were calculated for all of the materials with respect to Cs-137, Co-60 and Pu-Be Neutron Howitzer (NH-3) neutron sources.

Beside the experiments, that was conducted to investigate the behaviour of the tungsten, titanium, and boron composite materials against gamma rays, calculations were made using XCOM computer software to form a basis for theoretical study. The mass attenuation coefficients calculated using the XCOM computer software and those calculated using the experimental data were compatible; the differences between the theoretical and experimental values were often less than 7% and almost always less than 10%.

Because half-value thickness (HVT) is the important parameter describing the shielding properties of materials, HVT was considered as the basis for evaluating the effectiveness of shielding of the materials. The results of the investigations of the studied composite materials were evaluated.

As a result of the gamma and neutron experiments it was observed that some of the materials studied are effective for gamma shielding and some of them are effective for neutron shielding. Based on HVT values from the results of the experiments, conclusions were drawn as to which materials are more appropriate for gamma shielding, and which materials are more appropriate for neutron shielding.

On the other hand, it was found that reducing the median particle size of the additive materials causes HVT values to decrease for both neutron and gamma radiation. In other words, reducing the median particle size increases the radiation shielding ability of the material. This result is considered as a result which emphasizes the importance of nanotechnology.

As an aspect of this dissertation's originality, the aim was to determine and recommend a good shielding material that can be used for both shielding against gamma radiation and neutrons. In order to achieve this aim, the HVT values obtained from the experiments conducted using Cs-137, Co-60 gamma radioisotope and Pu-Be Neutron Howitzer (NH-3) neutron sources against the materials studied, were assessed collectively. As a result of this assessment, tungsten boride (WB_2) was considered as an appropriate shielding material that can be used against both gamma radiation and neutrons, and a series of experiments related to it were carried out.

Based on the results of the experiments, for the Cs-137 and Co-60 gamma radioisotope and Pu-Be Neutron Howitzer (NH-3) neutron sources, the HVT values of the WB_2 material (which was recommended as a shielding material against gamma and neutron sources) were determined. The comparison of the HVT values obtained for the WB_2 composite material and the other materials showed that

WB₂ composite material is an appropriate material that can be used both for gamma and neutron shielding.

In summary, the original contribution of this doctoral dissertation includes, the investigation of the behavior of tungsten, titanium and boron containing materials against gamma and neutron radiation by determining and comparatively evaluating the attenuation coefficients, HVT, and TVT values. Mass attenuation coefficients calculated using the XCOM computer software were shown to be compatible with the experimental results. Another original contribution of this doctoral dissertation is the demonstration of tungsten boride as an effective radiation shielding material. Therefore, this study is original from a variety of aspects, and its results may be used not only in nuclear technology but also in other technologies such as nano and space technology.

1. GİRİŞ

Teknolojinin gelişimi ile birlikte malzemelerin yapısı hakkında giderek azalan madde boyutlarında fikir sahibi olunabilmektedir. Malzemelerin özelliklerinin incelenmesi ve geliştirilebilmesi bilim ve sanayinin temel hedefleri arasında yer almaktadır. İncelenecek büyüklükler küçüldükçe malzemenin özelliklerinin incelenmesi ve geliştirilmesi noktasında kullanılan unsurların başında radyasyon gelmektedir. Bu bağlamda radyasyon ile madde arasındaki etkileşimin incelenmesi ve irdelenmesi bilim ve teknoloji açısından büyük önem arz etmektedir (Smith, 1996).

Atom fikrinin ortaya çıkmasından sonra özellikle atom yapısı hakkındaki bilgilerin gelişim süreci ile birlikte malzemelerin mikro yapıdaki özellikleri ortaya çıkarılmıştır (Aybers ve Karasulu, 1980). Nano teknolojinin gelişimi ile birlikte mikro yapıdan nano yapıya geçiş kendini göstermiş ve malzemelerin nanoyapıdaki özellikleri belirlenmeye başlamıştır. Nano yapıda bilgi birikimi ile malzeme üzerinde atomsal ölçekteki değişimlerin malzemenin makro yapısı ve özelliklerinin değişimi belirlenebilmektedir (Şahin, 2006).

Malzemenin nano yapısı üzerinde bilgi sahibi olmak için kullanılan radyasyon kaynakları arasında X-ışınları, gama ışınları, nötronlar, elektronlar, protonlar, yüksek enerjili iyonlar yer almaktadır. Bu bağlamda radyasyonun malzeme ile etkileşiminin ortaya çıkarılabilmesi için radyasyon türleri ve yapıları hakkında bilgi birikiminin temin edilmesi önem arz etmektedir.

Madde ile radyasyonun etkileşimi neticesinde malzeme hakkında elde edilen bilgiler malzemelerin yapısı hakkında yeni yaklaşımlar oluşturulmasına neden olmaktadır. Bu nedenle bilimin önemli ölçme araçlarından biri olan radyasyonun malzeme ile etkileşimi mikro yapıdan nano yapıya doğru giderek küçülen ölçeklerde malzemenin tanınmasına imkan sağlamaktadır. Malzemenin nano yapıdaki özelliklerinin ortaya çıkarılması malzemelerin sanayide kullanım imkanlarının genişlemesine sebep olmaktadır. Ayrıca malzeme özelliklerinin amaçlar doğrultusunda geliştirilebilmesive farklı endüstrilerde farklı amaçlar için kullanım şartlarının sağlanabilmesi mümkün olabilmektedir.Bu bağlamda enerji tasarıma kolaylığı, yüksek verim,

yüksek güvenlik vb gibi çok sayıda katma değer elde edilebilmektedir. Elde edilen bilgi birikimlerin kullanılarak hayata geçirildiği alanlar arasında uçak uzay sanayi, enerji sektörü, nükleer teknoloji, elektronik-bilgisayar uygulamaları, inşaat, maden, tıp yer almaktadır (Şahin,2006, Choo, 1990).

Nükleer teknoloji, insan hayatı için başta enerji sektörü olmak üzere tıp, bilimsel araştırmalar, tarım, sanayi ve arkeometri gibi alanlarda uygulamalarıyla kendini göstermektedir (Földiak, 1986, Tuğrul, 1986). Nükleer enerji diğer enerji türleri ile karşılaştırıldığında sahip olduğu önemli avantajlar bulunmaktadır. Bu avantajlarınbaşlıcaları; ucuz enerji eldesi, emre amade oluşu, diğer kaynaklara göre birim kütle başına yüksek enerji eldesi sayılabilir. Bunların yanında atıkların kontrolü, ilk yatırım maliyeti, radyasyon güvenliği dezavantajlar arasında sayabileceğimiz özelliklerdendir (Oray, 2007).

Nükleer teknoloji içerisinde önemli yere sahip olan nükleer enerji diğer enerji kaynaklarına göre değerlendirildiğinde ilk yatırım maliyetinin yüksek olmasına karşın reaktör ömrü ve yakıt maliyeti ve periyodik bakım maliyetleri hesaba katıldığında hidroelektrik santrallerle birlikte en ucuz enerji üretim tiplerinden biri olmaktadır. Ayrıca, nükleer santrallerin ileri teknoloji ürünü olması, bu santrallere sahip ülkelerdeki kalite standartlarının üst seviyede olmasını sağlamaktadır. Bu bağlamda, nükleer enerji sektörü ülkenin hayat standartlarının her alanda yükselmesine dolaylı yünden yardımcı olmaktadır. Bununla beraber, malzeme sorunları nükleer reaktörlerde her zaman önem arzeden bir konu durumundadır. Ayrıca ekonomiyi ve tercihleri de önemli ölçüde etkilemektedir. (Tuğrul,1998, 2006).

Nükleer teknoloji, malzeme kullanımında hata toleransı en düşük olan sektörler arasında yer almaktadır. Bu bağlamda nükleer uygulamalarda kullanılan malzemelerin özelliklerinin mümkün olan en küçük ölçekte belirlenmesi önemli olmaktadır. Bunun yanında nükleer mühendislikte doğru malzeme seçimi, kullanımı ve malzemelerin birbirine uyumluluğu üzerinde hassasiyetle durulması gereken bir konudur. Nitekimbirçok nükleer reaktör tipi malzeme adı ile anılmaktadır. Bunlar arasında hafif sulu, ağır sulu, gaz-grafit ve magnox tipi vb. gibi reaktör tipleri sayılabilir.

Öte yandan, nükleer reaktörlerde diğer mühendislik alanlarıyla ilgili tesiserde bulunmayan radyasyonla çalışmanın getirdiği sorunlar da bulunmaktadır(Shultis, 2000). Radyasyonun insan sağlığına olumsuz etkilerinin olabilmesi, bu etkilerin bilinmesini gerektirmektedir. Öte yandan, radyasyonun malzeme özellikleri üzerinde de farklı etkileri ve çoğu kez de istenmeyen etkileri söz konusudur. Dolayısı ile radyasyonun madde ile etkileşimi ve malzemenin radyasyon karşısındaki davranışı nükleer mühendislik açısından önem arz etmektedir(Göksel, 1973).

Radyasyonun malzeme ile etkileşmesinin incelenmesi, radyasyondan korunmak için gerekli malzeme seçimi açısından da oldukça önemlidir. Bu bağlamda nükleer teknolojide radyasyonun olumsuz etkilerinden korunmak için farklı amaçlarla kullanılabilen malzemelerin ve alaşım elemanlarının araştırılması ve geliştirilmesi de önemli bir husustur (Shultis, 2000).

Gelişen teknoloji ile birlikte endüstride malzeme kullanımında ilerlemiştir. Malzemeler sahip oldukları özelliklerine göre endüstride kullanılmaktadır. İlerleyen teknoloji ile birlikte malzemelerin tek başına sahip oldukları özellikler malzemelerin kullanımında yeterli kalmama durumuna gelinmiştir. Bu bağlamda farklı malzemeler bir araya getirilerek malzemelerin farklı amaçlar için kullanımı geliştirilmektedir. Kompozit malzemeler olarak adlandırılan bu malzemeler biraraya getirildiğinde kendilerini oluşturan malzemelerin sahip olduğu özelliklerden daha gelişmiş özelliklere sahip olmaktadır (Şahin, 2006).

Nükleer teknoloji içinde, diğer endüstrilerde olduğu gibi kompozit malzemeler geniş kullanım alanı bulmaktadır. Başta radyasyon güvenliği olmak üzere diğer bir çok amaçla kompozit malzemeler kullanılmaktadır. Radyasyon güvenliğinin temel amaçları arasında insan ve çevrenin radyasyonun neden olabileceği zararlı etkilerden korunmasını sağlamak olmaktadır. Radyasyonun etkilerinden koruma normal koşullarda koruma ve normal olmayan koşullarda koruma olarak iki durumu içermektedir (Aybers ve Bayülken, 1992).

Normal şartlarda malzemenin radyasyon ve radyasyon içerikli maddelerin sızdırmazlığı esas olarak hedeflenirken, normal olmayan koşullarda ise bu özelliklerinin yanında malzemelerin dayanıklılığı, yüksek korozyon direnci ve termal özellikleri göz önünde bulundurulmaktadır.

Son dönemde yaşanan bazı nükleer kazalar (çernobil ve fukishima gibi) normal olmayan koşullar için malzeme özelliklerinin geliştirilmesini radyasyon güvenliği açısından zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda kompozit malzemelerin hem fiziksel hemde radyasyon özelliklerinin birarada geliştirilmesi önem arz etmektedir. Kompozit malzemeler oluşturulurken içerdikleri malzemeler, malzeme oranları, malzeme parçacık boyutları ve kompozit malzemelerin üretim teknikleri dikkat edilmesi gereken başlıca konular arasında yer almaktadır. Ayrıca kompozit malzemelerin üretim maliyetleri de dikkat edilmesi gereken hususlar arasında sayılabilmektedir (Şahin, 2006). Bu bağlamda literatürde nükleer teknoloji içinde kullanılacak malzemelerin üretilmesi ve geliştirilmesi amacına yönelik çok sayıda araştırma yer almaktadır. Literatürdeki bu araştırmaların incelenmesi ve değerlendirilmesi neticesinde elde edilebilecek bilgi ve yorumlar ile ileri teknoloji ürünü olabilecek malzemelerin geliştirilebilmesi olanaklı hale gelebilecektir.

Keshavamurthy ve diğ. (2011) Hindistandaki KAMINI reaktöründe geliştirilmiş ferro-bor malzemelerini incelemişler ve bu malzemelerin hızlı, termal ve epitermal nötronları karşısındaki zırh özelliklerini araştırmışlardır. Yaptıkları deneylerde malzemelerin farklı kalınlıklarına yerleştirdikleri çeşitli folyoları nötronlar ile ışınlamışlar ve malzemenin farklı kalınlıklarındaki dozları hesaplamışlardır. Daha sonra dozların malzeme kalınlığına bağlı olarak değişimlerini incelemişlerdir. Elde ettikleri değerleri nötron zırhlımasında kullanılan ana malzemelerden biri olan bor karbür ile karşılaştırmışlardır.

Kharita ve diğ. (2008) yaptıkları çalışmada Suriye’de kullanılan iki çeşit ve kendi hazırladıkları dört çeşit beton, toplamda altı farklı beton türünün radyasyon karşısındaki zırhlama özelliklerini incelemişlerdir. Işınlamalarda gama kaynağı olarak Cs-137 ve Co-60, nötron kaynağı olarak ise Am-Be nötron kaynak sistemini kullanmışlardır. Yaptıkları deneyler neticesinde her bir radyasyon çeşidi için lineer zayıflatma katsayılarını ve yarı-değer kalınlıklarını (YDK) hesaplamışlardır. YDK değerlerinden yola çıkarak farklı beton türlerinin Cs-137, Co-60 ve Am-Be nötron kaynakları için zırh özelliklerini birbirleri ile karşılaştırmışlardır.

Demir ve Keleş, (2006) atık bor katkılı betonların 59.54 ve 80.99 keV enerjili gama ışınları karşısındaki radyasyon geçirgenlikleri incelemişlerdir. Yaptıkları deneyler neticesinde çalıştıkları atık bor katkılı betonların iki farklı gama radyasyonuna ilişkin transmisyon faktörleri ve kütle zayıflatma katsayılarını hesaplamışlardır. Elde ettikleri değerler neticesinde betonlara atık bor katkısı yapılmasının kütle zayıflatma katsayısını artırdığını belirtmişlerdir.

Mortazavi ve diğ. (2010) yaptıkları çalışmada kolemanit ve galena katkılı ağır beton (CoGa) üretmişler ve ürettikleri bu betonun radyasyon zırh özelliklerini standart beton ile karşılaştırmışlardır. Deneylerde radyasyon kaynağı olarak Co-60 gama ve Am-Be nötron kaynaklarını kullanmışlardır. CoGa betonun Co-60 için yarı-değer kalınlığını 2.49 cm olarak ölçmüşler ve standart betona (6 cm) göre daha iyi zırh özelliğine sahip olduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca CoGa betonun standart betona göre % 10 daha iyi nötron zırh performansına sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Kharita ve diğ. (2011) yaptıkları çalışmada 3 çeşit ticari bor bileşiğini (borik asit, borik frit ve boraks) iki farklı betona katkı olarak eklemişler ve betonların radyasyon zırh özelliklerine bu katkıların etkisini incelemişlerdir. Ağırlıkça % 0.5-1 borik asit (H_3BO_3) ve borik frit katkısının çimentonun yapısına zarar verdiğini belirtmişlerdir. Diğer taraftan ağırlıkça %1 e kadar boraks ($Na_2B_4O_7$ katkısının beton yapısını ve dayanımını etkilemediği bunun yanında gama zayıflatma performansını ise % 80 oranında artırdığını belirtmişlerdir.

Albarhoum ve diğ. (2012) yaptıkları çalışmalarda Suriye merkez bölgesindeki evlerin yapı ve inşa malzemelerinin nötron zırh karakteristiklerini incelemişlerdir. Araştırmalarda ev tabanlarında kullanılan beton ile duvar malzemelerinin nötronlar karşısındaki lineer ve kütle zayıflatma katsayılarını hesaplamışlardır.

Calzada ve diğ. (2011) çalışmalarında nötron ve gama zırhlamasında kullanılabilir ve aynı zamanda tekrar kullanılabilir bir malzeme önermişlerdir. Fe-B₄C-PE karışımı şeklinde önerdikleri malzemelerin nötron zırh performansını ağır beton karşısında değerlendirmişler ve sonuçları Monte Carlo (MNCP)'dan elde ettikleri teorik verilerle karşılaştırmışlardır. Önerdikleri malzemenin ağır betona göre %10 ile %20 arasında daha iyi nötron zırhlaması sağladığını belirtmişlerdir.

Demir F. (2010) yaptığı çalışmada bazı bor filizlerinin (tinkal, uleksit, kolemanit) Am-241 (59.54 keV) radyoizotop kaynağına ilişkin kütle zayıflatma katsayılarını hesaplamıştır. Elde ettiği değerleri XCOM bilgisayar programından hesapladığı teorik kütle zayıflatma katsayıları ile karşılaştırmış ve sonuçların birbiri ile uyumlu olduğunu belirtmiştir.

Han ve diğ. (2009) yaptıkları çalışmada bazı doğal minerallerin 22.1, 25.0, 59.5 ve 88 keV enerjili fotonlara ilişkin kütle zayıflatma katsayılarını hesaplamışlar ve elde ettikleri deneysel verileri XCOM bilgisayar programından hesapladıkları teorik zayıflatma katsayıları ile uyumlu olduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca kütle zayıflatma katsayısının efektif atom ve elektron numaralarının kütle zayıflatma katsayıları ile ilişkisini çalıştıkları malzemeler için açıklamışlardır.

Sakurai ve diğ. (2004) yaptıkları çalışmada metatez-polimer matriks kullanarak nötron zırhlamasında kullanılabilir bir malzeme geliştirmişler. Ürettikleri malzemenin (metathene) nötron zırh özelliklerini saf hali ve farklı oranlarda ⁶LiF ve B₄C katarak elde ettikleri malzemelerin sonuçları ile karşılaştırmışlardır. ⁶LiF katkılı metathene malzemenin diğerlerine nazaran daha iyi nötron zırhlaması sağladığını belirtmişlerdir.

Coeck ve diğ. (2002) yaptıkları çalışmada MOX yakıt çubuklarının taşınmasında nötron zırh malzemesi olarak kullanılabilir bir konfigürasyon önermişlerdir. Monte Carlo simülasyon programı çerçevesinde Tripoli ve MNC4B program kodlarını kullanmışlar ve taşınabilir kap olarak polietilen, bor katkılı polietilen ve kadmiyum tabaka içeren polietilen malzeme sistemlerini önermişlerdir.

Kobayashivediğ. (1997) yaptıkları çalışmada bazı tungsten alaşımlarının Ba-133 ve Cs-137 gama ışınları karşısındaki gama zayıflatma özelliklerini incelemişlerdir. Tungsten karbür malzemenin kurşun ile benzer zayıflatma oranına sahip olduğunu belirtmişler ayrıca tungsten bakır malzemenin inceledikleri malzemeler içerisinde en iyi performansa sahip olan alaşım olduğunu ifade etmişlerdir. Son olarak elde ettikleri sonuçları Monte-Carlo simülasyon programı ile karşılaştırarak değerlerin birbiri ile uyumunu göstermişlerdir.

Snead, (2004) silisyum karbür malzemenin ışınlama altında termal iletkenlik ve elektriksel direnç özelliklerindeki değişimi ve bu değişimin limitlerini incelemiştir. Silisyum karbür malzemeyi nötronlar ile $7.7 \times 10^{25} \text{ n/cm}^2$ doza kadar 300, 500 ve 800 °C sıcaklıklarda ışınlamış ve değerlendirmeler sonucunda silisyum karbür için termal iletkenliğin azaldığı, elektriksel iletkenliğin ise arttığını ifade etmiştir.

Jones ve diğ. (2002) silisyum karbür(fiber)-silisyum karbür (matriks)kompozitlerinin füzyon enerji uygulamalarında sahip oldukları avantaj ve dezavantajlar üzerine çalışma yapmışlardır. Yüksek sıcaklıklarda kullanılabilirliği, yüksek enerji dönüşüm etkinlikleri, radyasyon direnci, yüksek sıcaklıklardaki kırılma, gevşeme, korozyon ve termal şok dirençlerinin önemli avantajları arasında yer aldığını belirtmişlerdir. Bununla birlikte, termal iletkenlikleri, radyasyon kararlılığı ve gaz dönüşüm oranları silisyum karbürün geliştirilmesi gereken özellikleri olarak ifade edilmiştir.

Patelvediğ. (2010) iki adım yöntemi ile $\text{B}_4\text{C-SiC-Si-TiB}_2$ kompozit malzemeleri üretmişler ve ürettikleri kompozit malzemelerin karakterizasyonunu gerçekleştirmişlerdir. İlk adımda parçacık boyutları 2-5 μm arasında olan TiB_2 üretmişler ve ikinci adımda silisyum kullanarak bor karbür ile kompozit oluşumunu sağlamışlardır. Üretilen malzemelerin XRD, SEM ve mikro sertlik analizlerini yapmışlardır. Titanyum diborür katkılı ve katkısız malzemelerin yoğunluk değerlerini sırasıyla 2.67 g/cm^3 ve 2.54 g/cm^3 olarak ifade etmişlerdir.

Dzhosyuk ve diğ.(2003) yaptıkları çalışmada düşük sıcaklıklarda (<5 K) nötron zırh ve sintilyasyonedektörü ölçüm malzemeleri üzerinde çalışmışlardır. Çalışmada bor nitrür, bor karbür, lityum florür, boroksit ve politetrafloretillen malzemeleri ile ölçümler yapmışlar ve deney sonuçlarını birbirleri ile karşılaştırmışlardır. Güçlü lüminesansın bor nitrür ve lityum florür de oluştuğunu, zayıf lüminesansın ise boroksitte oluştuğunu belirtmişlerdir. Diğer malzemelerde ise lüminesans gözlememişlerdir. Çalışmalar sonucunda bor nitrürün işlenebilirliği ile birlikte bor karbür yerine nötron zırh malzemesi olarak kullanılabilmesi belirtilmiştir.

Pelliccioni ve diğ. (1987) yaptıkları çalışmada bazı tek enerjili nötron ışınları karşısında normal betonun radyasyon zırh özelliklerini incelemişler ve zayıflatma eğrilerini oluşturmuşlardır. Çalışmalarda 1,5MeV, 2.74 MeV, 7.25 MeV ve 14,2MeV enerjilerine sahip nötronlar ve Am-Be sisteminden üretilen nötronlar düşünülerek bir boyutlu ANISN bilgisayar kodunu kullanmışlardır.

Da Silva ve diğ. (2001) yaptıkları çalışmada ²⁵²Cf nötron kaynağı kullanarak bir nötron radyografi sistemi kurulması üzerine Monte Carlo kodu kullanarak ölçümler gerçekleştirmişler ve sistemin parametreleri ve optimizasyonu için gerekli değerlerin üzerinde çalışmışlardır. Moderatör olarak parafin, zirkonyum hidrit hafif su ve HD-PE (High Density Poli Etilen) malzemelerin, berilyum oksit, ağır su ve grafit malzemelerine göre daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Ayrıca uygun mesafe/çap (L/D) oranının 50 olması gerektiği ifade edilmiştir.

Cai ve diğ.(2000) yaptıkları çalışmada tungsten diborür katkısının bor karbür malzemelerin mikroyapı ve termoelektrik özellikleri üzerine etkisini incelemişlerdir. bor karbür ve bor karbür-titanyum borürkompozit malzemeleri sıcak presleme yöntemi ile üretilmiş elektriksel iletkenlik ve seebeck katsayısı özellikleri oda sıcaklığından 1500 K'e kadar ölçülmüştür. Çalışmalar sonucunda tungsten diborür katkısının elektriksel iletkenliği artırdığı fakat seebeck katsayısını azalttığı belirtilmiştir.

Nunomiyave diğ. (2003) yaptıkları çalışmada ağır iyonlardan üretilen nötronların zırhlamasını incelemişler. Deneysel ölçümler sonucunda elde ettikleri bulguları monte Carlo metodu ile elde edilen teorik verilerle karşılaştırmışlardır. Beton için zırhlama değerinin 126 g.cm⁻² ve demir için 211 g.cm⁻² olarak ölçüldüğünü belirtmişlerdir.

Hanafinve diğ.(2011) yaptıkları çalışmada bor fiber malzemelerin nötron zırhlama özelliklerini araştırmışlardır. Bu bağlamda epoksiresinin de kullanıldığı 15 malzemenin yapısal özelliklerini belirterek nötron karşısındaki davranışlarını incelemişler ve elde ettikleri deney sonuçlarını yorumlamışlardır. Bu sonuçlara göre fiber borun oldukça iyi bir nötron absorbantı olduğunu belirtmişlerdir.

Alam ve diğ.(2001) yaptıkları çalışmada Bangladeş'in bazı bölgelerindeki toprak ve inşaat malzemelerinin 276,1, 302,8, 356,0, 383,8, 661,6 1173,2 ve 1332,5keV enerjili γ -ışınları karşısındaki davranışlarını inceleyerek bu malzemelerin lineer ve kütle zayıflatma katsayılarını hesaplamışlar. Ayrıca elde ettikleri sonuçları farklı ülkelerdeki aynı tip malzemeler ile karşılaştırarak sonuçlarını belirtmişlerdir.

Lawrieve diğ. (2010) yaptıkları çalışmada gama transmision tekniğinin toz metal üretimi ile şekillendirilmiş patlayıcıların kalite kontrol prosedüründe kullanılabilirliğini incelemişler ve yapılan deneyler sonucunda gama transmision tekniğinin toz metal yöntemi ile şekillendirilmiş patlayıcıların üretiminde kalite kontrol sistemi içinde kullanılabilceğini belirtmişlerdir.

Kharita ve diğ.(2008) yaptıkları çalışmada Suriye'deki bazı beton çeşitlerinin radyasyon korunmasına karşı geliştirilmeleri ve zırh özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla deneyler gerçekleştirmişlerdir. Deneylerde Cs-137 ve Co-60 Gama radyoizotop kaynaklar ve Am-Be nötron kaynağı olarak kullanılmış. Elde ettikleri değerler sonucunda bazı beton malzemelerin yarı kalınlık değerlerini %10 oranında düşürebildiklerini belirtmişlerdir.

Kharita ve diğ.(2010) Yaptıkları çalışmalarda radyasyon zırh betonlarına bor bileşikleri katkısının radyasyon zırhlamasına etkisini araştırmışlar. Deneylerde Cs-137 gama radyoizotop kaynak ve Am-Be nötron kaynağı kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda 100 cm kalınlığında ve ağırlıkça % 1 bor katkılı betonların bor katkısız betonlara oranla %80 daha iyi radyasyon zırhlaması yaptıklarını bildirmişlerdir.

Taylor ve diğ. (2001) yaptıkları çalışmada silisyum karbürün füzyon güç reaktörlerindeki uygulamalarının güvenlik, çevresel ve ekonomik etkilerini araştırmışlardır. Yaptıkları araştırma ve deneyler neticesinde silisyum karbür malzemelerin üç farklı füzyon reaktör tipinde uygulanabileceğini ve bu uygulamalarda elektrik üretim maliyetlerinin %10 oranında azaltılabileceğini belirtmişlerdir.

Madtha ve diğ. (2008) yaptıkları çalışmada nano yapılı titanyum borürün fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemişler ve uygulamalarda kullanılabilirliğini araştırmışlardır.

Abrefah ve diğ. (2011) Gana Araştırma Reaktörü-1'nün dış ışınlama kanalında kullanmak amacı ile bor karbür zırlı ışınlama kanalı tasarımı için MNCP model programını uygulayarak bir çalışma gerçekleştirmişler geliştirdikleri model sonucu ile deneysel değerleri karşılaştırmışlar ve sonuçlar arasında uyumluluk olduğunu bildirmişlerdir.

Singh ve diğ. (2004) kurşun-borat ve bizmut-kurşun-borat cam sistemlerini gama radyasyonu zırhlı malzeme olabilirliği açısından karşılaştırmışlar ve deneysel ölçüm ile teorik hesaplamalarını gerçekleştirmişlerdir. Elde ettikleri değerleri yarı kalınlık hesaplarında kullanmışlardır.

Demir(2010) yaptığı çalışmada 59.54 keV enerjili gama ışınları karşısında sintilasyondedektörünü kullanarak bazı bor filizlerinin kütle zayıflatma katsayılarını hesaplamıştır. ²⁴¹Am nokta kaynak kullanılarak tinkal, uleksit ve kolemanit gibi bazı bor filizlerinin kütle zayıflatma katsayı hesapları yapılmış ve bu değerlerin gama ve nötron zırlamasında kullanılabilirliğini açıklamışlardır.

Han ve Demir,(2009) farklı enerjilerdeki radyasyon kullanarak farklı oranlardaki krom, nikel ve demir alaşımlarının kütle zayıflatma katsayılarını hesaplamışlardır. Hesaplamalarda etkin atomik ve elektron numaraları tesir kesitleri belirtilmiş hesaplanan değerlerin deneysel karşılaştırılması yapılmıştır.

Han ve diğ. (2009) bazı doğal minerallerin etkin atomik ve elektron numaraları için kütle zayıflatma katsayılarını hesaplamak için çalışma gerçekleştirmişler ve yapmış oldukları çalışmalarla deneysel ve teorik çalışmaları karşılaştırarak sonuçların birbiri ile uyumlu olduğunu bildirmişlerdir.

Kim ve diğ. (2008) nükleer tesislerde kullanılan temel alaşımlar üzerine korozyon ve çatlamları hafifletmek için akımsız nikel kaplama yöntemi için fizibilite çalışması gerçekleştirmişler ve yapılan çalışmalar sonucunda elde ettikleri verileri bildirmişlerdir. Uygulamalar basınçlı su reaktörlerinde yüksek sıcaklık değerleri için yapılmıştır. Sonuçlar taramalı elektron mikroskopunda incelenmiş ve 290 °C su içinde akımsız kaplamanın akımlı kaplamaya göre daha uygun olduğu bildirilmiştir.

Radiguet ve diğ. (2009) ferritik çeliklerin(FeCuMnNiP ve FeMnNiP) radyasyon altında oluşturdukları olumsuz etkileri araştırmak için bir modelleme önermiş ve bu önerilen modelleme sonuçları ile deneysel çalışmaların sonuçları karşılaştırılarak sonuçların birbiri ile uyumlu olduğu ifade edilmiştir.

Harrison ve diğ. (2009) prompt-gama aktivasyon analizinde bor malzemelerini incelemişler ve değişik bor oranlarında yaptıkları deneyler sonucunda her birmalzemeninkalibrasyon eğrilerini oluşturmuşlardır. Bu eğrileri yorumlayarak avantajlı ve dezavantajlı olan durumları açıklamışlardır.

Ditroivediğ. (2008) niyobyumun nükleer tesislerde malzemelerin güçlendirilmesinde önemli rol oynayan metallere biri olduğunu belirterek niyobyumun radyasyon karşısındaki davranışını incelemişler ve modelleme geliştirerek karşılaştırma yapmışlardır. Sonuçların birbiri ile uyumlu olduğunu bildirmişlerdir.

Viaud ve diğ. (2009) çalışmalarında molibden içindeki fisyon ürünleri etkisi ile helyum davranışlarını incelemişler ve yüzeydeki nanometrik baloncukların oluşum etkilerini araştırarak sonuçların bir model ile ifade edilebilirliğini belirtmişlerdir.

Seiler ve diğ. (2009) nükleer reaktörlerde oluşabilecek bir kaza durumunda bor karbür kontrol çubuklarının zirkalay ile birlikte toprakla teması halinde oluşabilecek oksidasyon ile ilgili çalışma yapmışlar ve bu çalışmalar sonucunda bor karbür oksidasyonu ile ilgili hafif bir ilişki görülse de zirkalay için değerlerin anlamlı olmadığı belirtilmiştir.

Nguyen ve diğ. (2009) Molibdenin termal nötron tesir kesitinin incelenmesi için gerekli çalışmaları gerçekleştirmişler ve deneysel sonuçları rapor halinde ifade etmişlerdir.

Roquiny ve diğ. (2009) $^{15}\text{N}(p,\alpha)^{12}\text{C}$ nükleer reaksiyonunda titanyum nitrit in düşük karbonlu çelik üzerine etkileri araştırılmış ve yapılan çalışmaların sonuçları ve karşılaştırmaları belirtilmiştir.

Bu doktora tez çalışmasında, malzemelerin radyasyon karşısındaki zırlama özelliklerinin araştırılması amacıyla bor, titanyum ve tungsten içeren bazı kompozit malzemelerin radyasyon karşısındaki davranışlarının incelenmesi, teorik bağlamda XCOM bilgisayar programı ile irdelenmesi ve elde edilen sonuçlardan hareketle yeni bir radyasyon zırh malzemesi önerilmesi amaçlanmıştır.

2. RADYASYONUN MADDE İLE ETKİLEŞİMİ

2.1 Radyasyonun Tanımı ve Radyasyon Tipleri

Radyasyon; parçacık akımı ile dalga tabiatına uygun olarak uzaya veya bir ortama enerji transfer edilişi olarak ifade edilmektedir. Radyasyon, doğada var olan ve birlikte yaşadığımız bir olgudur. (Knoll, 2002).

Doğal radyasyonun önemli bir kaynağı doğal radyoizotoplar olmaktadır. Ağır elementler (çekirdeğinde 83 den fazla proton barındıranlar), kararsız oldukları için daha küçük atomlara dönüşmektedir. Bu yolla enerji veren elementlere “radyoaktif elementler” adı verilmektedir. Radyoaktif elementler temel olarak alfa, beta ve gama olmak üzere, üç ana tip enerji salınımında bulunmaktadır. Ayrıca nötronlar ve hızlandırıcılar da radyasyon kaynakları arasında yer almaktadır (Knoll, 2002).

2.1.1 Alfa Parçacıkları

Bir atom çekirdeğinin parçalanmasından meydana çıkan helyum çekirdekleri (2 proton, 2 nötron) alfa parçacıkları olarak ifade edilmektedir. Alfa ışınları bu parçacıkların yayılmasından oluşur. Radyoaktif maddelerden alfa aktif radyoizotopların bazıları Çizelge 2.1’ de verilmiştir.

Çizelge 2.1 : Alfa aktif bazı radyoizotoplar (Knoll, 2002).

Kaynak	Yarı Ömür	Kinetik Enerji (MeV)	Yüzdesi
¹⁴⁸ Gd	93y	3.182787	100
²³² Th	1.4x10 ¹⁰ y	4.012	77
²³⁸ U	4.5x10 ⁹ y	4.196	77
²³⁵ U	7.1x10 ⁸ y	4.598	56
²³⁶ U	2.4x10 ⁷ y	4.494	74
²³⁰ Th	7.7x10 ⁴ y	4.6875	76.3
²³⁴ U	2.5x10 ⁵ y	4.7739	72
²⁴³ Am	7.4x10 ³ y	5.2754	87.4

2.1.2 Beta Parçacıkları

Beta ışınları da alfa ışınları gibi bir atom çekirdeğın parçalanmasından oluşmaktadır. Bu parçalanma neticesinde atom çekirdeğinden bir elektron veya bir pozitron ayrılmaktadır. Bu elektron, çekirdeğın içindeki bir nötronun bir protona dönüşmesinden oluşmaktadır ve bu nedenle atomun kendi yörünge elektronu değildir. Çekirdeğın içindeki bir protonun bir nötrona dönüşmesinden bir pozitron oluşmaktadır. Bu çekirdekte oluşan elektronlar beta⁻ parçacıkları, pozitronlar ise beta⁺ parçacıkları olarak ifade edilmektedir. Beta aktif radyoizotoplardan bazıları Çizelge 2.2’de verilmektedir.

Beta parçacıkları oldukça küçük kütle ve alfa parçacıklarının yarısı büyüklüğünde yüke sahip olmaktadır. Bu bağlamda belirli bir enerjiye sahip beta parçacıkları aynı enerjili alfa parçacıklarına göre oldukça yüksek hızda hareket etmekte ve bunlar herhangi bir soğurucu madde içinde alfa parçacıklarına göre çok daha derine nüfuz edebilmektedirler.

Çizelge 2.2 : Beta aktif radyoizotop kaynaklar (Knoll, 2002).

Kaynak	YarıÖmür	Kinetik Enerji (MeV)
³ H	12.26y	0.0186
¹⁴ C	5730y	0.156
³² P	14.28d	1.710
³³ P	24.4d	0.248
³⁵ S	87.9d	0.167
³⁶ Cl	3.08x10 ⁵ y	0.714
⁴⁵ Ca	165d	0.252
⁶³ Ni	92y	0.067
⁹⁰ Sr/ ⁹⁰ Y	27.7y/64h	0.546/2.27
⁹⁹ Tc	2.12x10 ⁵ y	0.292
¹⁴⁷ Pm	2.62y	0.224
²⁰⁴ Tl	3.81y	0.766

2.1.3 Gama Işınları

Gama ışınları elektromanyetik radyasyon içerisinde yüksek giriciliğe sahip olan ışınlardır. Gama radyasyonu zırhlama maddesinden geçerken üstel olarak azalmaktadır. Bu nedenle teorik olarak zırh malzemesinin kalınlığı ne olursa olsun

gama ışınları tamamıyla soğurulmamaktadır (Knoll, 2002). Ancak alınacak dozu kabul edilebilir bir seviyeye çekebilecek kalınlık seçmek mümkün olmaktadır. Doğadaki bazı gama aktif radyoizotoplar Çizelge 2.3’ de verilmektedir.

Çizelge 2.3 : Bazı gama aktif radyoizotoplar(Knoll, 2002).

Kaynak	YarıÖmür	Kinetik Enerji(KeV)
⁶⁰ Co	5.26 y	1.17, 1.33 (MeV)
¹³⁷ Cs	30 y	0.66 (MeV)
¹⁹² Ir	74 d	0.3, 0.6(MeV)
¹²⁴ Sb	60 d	0.6, 2.1(MeV)
²² Na	2.6y	1274.5
²⁴ Na	15.0h	1368.5, 2754.0
⁴⁶ Sc	83.7d	889.2, 1120.5

2.1.4 Nötronlar

Doğal olarak nötron yayını yapan maddelerden en bilineni yarı ömrü 2.65 yıl olan ²⁵²Cf dir. Bunun yanında bazı ikili sistemler kullanılarak nötron kaynakları oluşturulmaktadır. Bu ikili sistemlerin bazıları aşağıdaki Çizelge 2.4’ te verilmektedir.

Çizelge 2.4 : Bazı nötron yayını yapan ikili sistemler (Knoll, 2002).

Kaynak	YarıÖmür	Kinetik Enerji (MeV)	10 ⁶ α için Nötron Kazancı		% de Kazanç E _n <1.5MeV	
			Teorik	Deneyisel	Teorik	Deneyisel
²³⁹ Pu/Be	24000y	5.14	65	57	11	9-33
²¹⁰ Po/Be	138d	5.30	73	69	13	12
²³⁸ Pu/Be	87.4y	5.48	79	-	-	-
²⁴¹ Am/Be	433y	5.48	82	70	14	15-23
²⁴⁴ Cm/Be	18y	5.79	100	-	18	29
²⁴² Cm/Be	162d	6.10	118	106	22	26
²²⁶ Ra/Be	1602y	Çoklu	502	-	26	33-38
²²⁷ Ac/Be	21.6y	Çoklu	702	-	28	38

2.2 Radyasyonun Madde ile Etkileşimi

Radyasyonun madde ile etkileşim bilgileri; radyasyondan korunma ilkelerinin temelini oluşturur. Ayrıca bu bilgilerle enerji eldesinin ölçümleri yapılabilmektedir. Radyasyon ile malzeme etkileşiminde radyasyon malzeme üzerinde değişimler

meydana getirirken kendisinde değişe bilmektedir. Bu değişimin en önemli unsuru radyasyon enerjisindeki değişim olmaktadır. Malzeme ile etkileşen radyasyon sahip olduğu enerjinin tamamını veya bir kısmını kaybetmektedir. Radyasyon enerjisindeki bu azalma malzemenin radyasyon zırh özelliği olarak ifade edilebilmektedir. Radyasyon zırh özelliği farklı radyasyon tipleri için farklı malzemelerde değişik neticeler ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle farklı radyasyon tipleri için radyasyon zırhlanmasında kullanılan malzemeler farklılık göstermektedir.

Etkileşme mekanizması parçacığın çeşidine ve enerjisine bağlı olduğu gibi girdiği ortamın atomunun proton sayısına ve yoğunluğuna bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle, yüklü ve yüksüz parçacıkların madde ile etkileşmesini ayrı ayrı düşünülmesi gerekmektedir (Knoll, 2002).

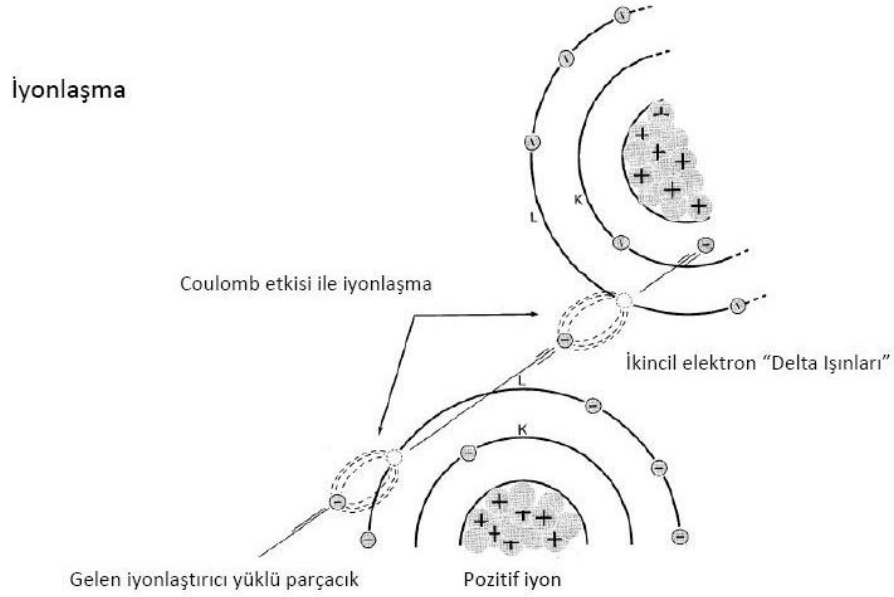
2.2.1 Yüklü Parçacıklar

Yüklü parçacıklar genellikle madde içerisinden geçerken enerji kaybı ve geliş doğrultularından sapmaları gibi iki ana özelliklerle karakterize edilmektedir. Bu etkiler öncelikler yüklü parçacıkların maddenin elektronları ile inelastik çarpışması ve çekirdekten elastik saçılmasının neticesinde oluşmaktadır.hafif yüklü parçacıklar ve ağır yüklü parçacıklar olarak iki grup şeklinde incelemek gerekmektedir.

2.2.1.1 Ağır Yüklü Parçacıklar

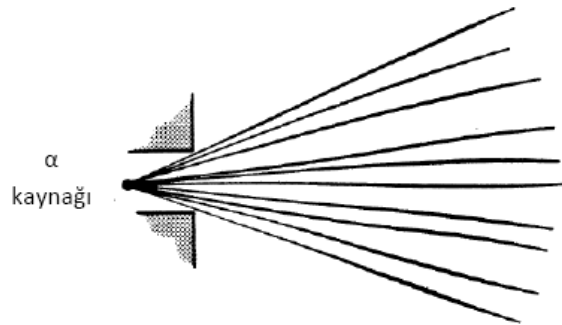
Ağır yüklü bir parçacık soğurucu bir ortama girdiğinde, ortamdaki atomların yörünge elektronların negatif yükü ile kendi pozitif yükleri arasında Coulomb kuvveti ile etkileşmektedir. Ağır yüklü parçacıkların madde içerisindeki enerji kaybından inelastik çarpışmalar sorumlu olmaktadır. Bu etkileşmelerde gelen parçacığın kinetik enerjisi atomun iyonlaşma enerjisinden yeterince büyük ise, enerjisini yolu üzerindeki atomları iyonlaştırmak için maddeye aktarmaktadır (Knoll, 2002). Şekil 2.1' de atomun yüklü bir parçacıkla etkileşimi Şematik olarak verilmektedir.Bu bağlamdaçok sayıda iyon çifti meydana gelmektedir.Soğurucu ortamın atomundan kopan elektron negatif iyonu, geriye kalan atom da pozitif iyonu meydana getirmektedir. Bu durum yüklü parçacığın enerjisinin tamamını kaybedip duruncaya kadar devam etmektedir.Meydana gelen negatif iyon (e^-) tekrar ikincil bir

iyonlaşmaya sebep olmaktadır. Bu elektronlar delta-ışınları olarak ifade edilmektedir. Şekil 2.1’ de delta ışınlarının oluşumu şematik olarak gösterilmiştir (Knoll, 2002).



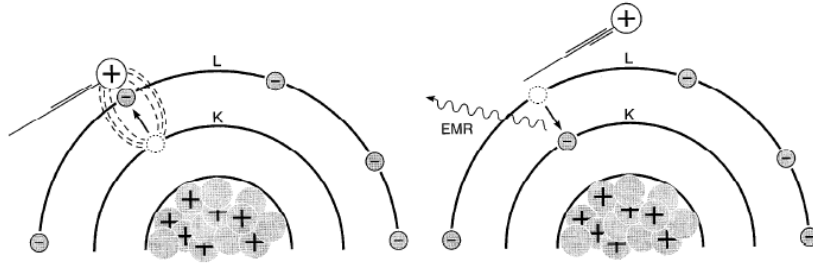
Şekil 2.1 : Atomun yüklü bir parçacıkla etkileşimi (Şahin, 2013).

Ağır yüklü parçacıkların atomik elektronlarla çarpışmaları yollarında herhangi bir değişiklik meydana getirmemektedir. Madde içinde kat ettikleri yol doğrusal olmaktadır. Bu sebeple, yüklü parçacıklar, verilen bir soğurucu madde içinde belirli bir menzile kadar karakterize edilebilirler. Menzile kadar aldıkları yol olarak tanımlanmaktadır. Şekil 2.2’de alfa parçacıklarının doğrusal hareketi gösterilmektedir.



Şekil 2.2 : Alfa ışınlarının madde içindeki doğrusal hareketi (Knoll, 2002).

Yüklü parçacığın madde ile etkileşme mekanizması olan iyonlaşmanın yanı sıra bir diğer mekanizma elektronların uyarılmasıdır. Bu durum, gelen ağır yüklü parçacık iyonizasyon enerjisinden daha büyük enerjiye sahip değilse gerçekleşmektedir. Soğurucu maddenin atom veya molekülü gelen parçacığın enerjisinin bir kısmını soğurarak daha yüksek bir enerji seviyesine çıkmaktadır. Soğurucu maddeye bağlı olarak uyarılmış atom ya da molekül sonradan görünür bölgede foton ışını yayınlamaya daha düşük enerji seviyesine veya taban durumuna döner. Şekil 2.3’ te atomun uyarılması şematik olarak verilmektedir.



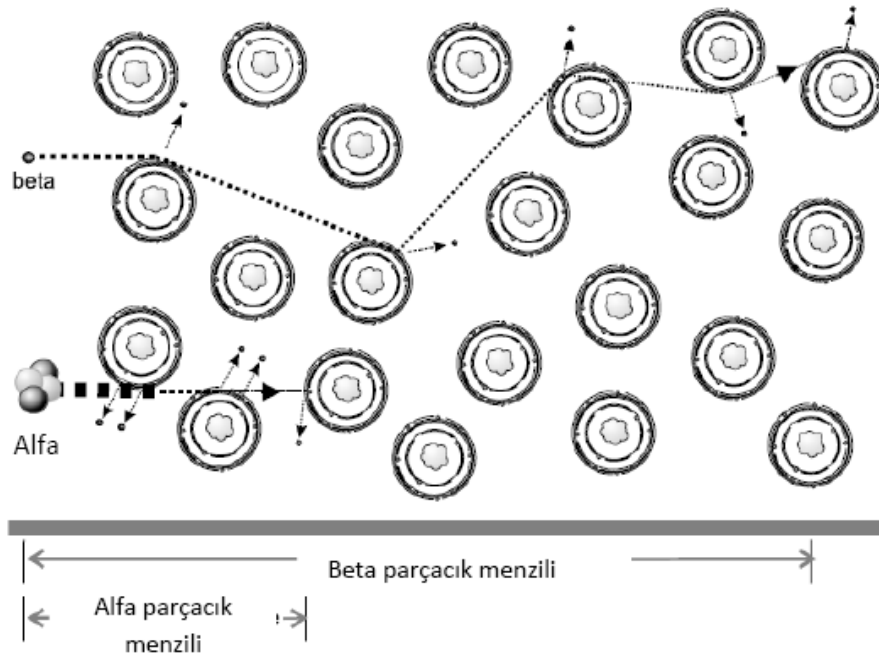
Şekil 2.3 : Atomun yüklü parçacık ile uyarılması (Şahin, 2013).

Yüklü parçacıklar çekirdeklerle de reaksiyon verebilmektedirler. Fakat, atomun yarıçapı atom çekirdeğinin yarıçapından çok büyük olduğundan, atomun bir elektronu ile reaksiyonu daha olasıdır. Bu durumda büyük kütleli çekirdek, atomda değişiklik meydana getirmeksizin coulomb itmesi ile ağır yüklü parçacıkların yön değiştirmesine sebep olmaktadır (Knoll, 2002).

2.2.1.2 Hafif Yüklü Parçacıklar

Elektronların ve pozitronların madde içerisindeki etkileşimleri birbiri ile benzerlik göstermektedir. Beta parçacıklarının madde ile etkileşmesi ağır yüklü parçacıklarda olduğu gibi iyonlaşma ve uyarılma ile ortamdaki çekirdeğin elektrik alanından kaynaklanmaktadır. Elektron ve pozitron gibi hafif yüklü parçacıklar aynı enerjili ağır yüklü parçacıklarla karşılaştırıldıklarında kütleleri küçük olduğundan hızları yüksek olmaktadır. Hızları diğer bir deyişle enerjileri yüksek olan beta parçacıkları bir çekirdek alanından geçtiği zaman, radyasyon yolu ile bir enerji kaybına uğramaktadır. Bu enerji Bremsstrahlung yada frenleme radyasyonu denilen sürekli X

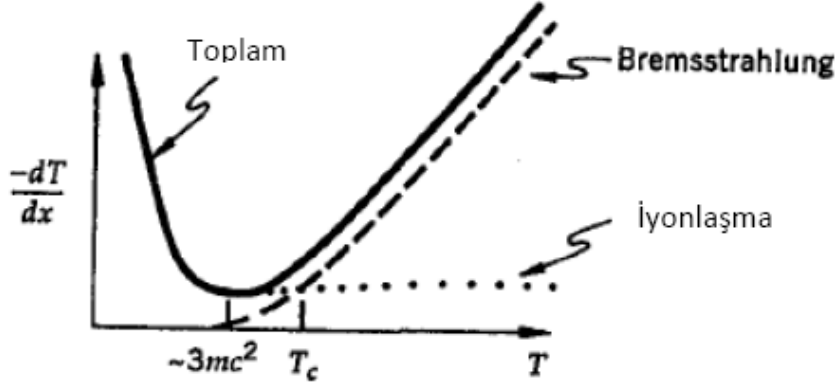
ışını spektrumu şeklinde görülmektedir. Bu radyasyon elektronun ivmelenmesinden dolayı ortaya çıkmakta, çekirdeğin elektriksel çekimi yüzünden izlediği yolda sapma meydana getirmektedir. Beta ışınlarının enerjisi bir kaç MeV veya daha düşük ise bu radyasyonla enerji kaybı düşük olmaktadır. Bu nedenle, beta parçacıkları enerjilerinin büyük bir kısmını ortamın yörünge elektronları ile çarpışmaya yada Moller ve Bhabha saçılmasına kaybetmektedir. Moller saçılması elektronun ortamdaki atomun elektronları ile esnek olmayan saçılması, Bhabha saçılması ise pozitronların atomun elektronları ile esnek olmayan saçılması olarak ifade edilmektedir. Bunun sonucunda parçacığın izlediği yörünge zikzaklı olmaktadır. Yani beta parçacıklarının yolları ağır yüklü parçacıkların yolları gibi düz olmamaktadır (Knoll, 2002). Bu nedenle betaların yolları alfalara göre daha uzun olmaktadır. Alfa ve beta parçacıklarının madde içindeki hareketleri şematik olarak şekil 2.4’ te görülmektedir.



Şekil 2.4 : Alfa ve beta parçacıklarının menzilleri(Powsner ve Powsner, 2006).

Betaların enerjisi artırıldığında, radyasyonla enerji kaybı aniden yükselmektedir. Bu şekilde parçacığın enerji kaybı çarpışma-iyonizasyonla enerji kaybından büyük veya yakın olmaktadır. Frenleme radyasyonu ile enerji kaybının çarpışmayla enerji kaybına eşit olduğundaki parçacığın enerjisi kritik enerji olarak ifade

edilmektedir(Knoll, 2002, Leo, 1987). Şekil 2.5’ te görüldüğü gibi kritik enerjinin üzerinde radyasyonla enerji kaybı baskın olmaktadır.Bu bağlamda, bremsstrahlung olarak ifade edilen bu elektromanyetik radyasyonun ortaya çıkması ve yüksek enerjilerde baskın hale gelmesi,beta radyasyonuna karşı zırhlama söz konusu olduğunda ilave problem oluşturmaktadır.



Şekil 2.5 : Elektronun madde içindeki enerji kaybı (Das ve Ferbel, 2003).

Bir atomda meydana gelen bremsstrahlung olayının frekansı beta parçacığının kütlesiyle ters, maddenin atom numarasının karesiyle doğru orantılı olarak artmaktadır. Bu, beta radyasyonuna karşı zırhlama durumunda bremsstrahlung olayını azaltmak için düşük atom numaralı malzemelerin kullanılması gerektiği sonucunu vermektedir. Bir beta kaynağı, enerjileri sıfırdan başlayıp karakteristik bir maksimum enerjiye uzanan beta ışınları yayınlamaktadır. Ortalama beta enerjisi çoğu durumlarda yaklaşık maksimum enerjinin (E_{maks}) 1/3'ü olarak kabul edilmektedir. Beta parçacıklarının malzemeye nüfuz gücü parçacıkların enerjilerine bağlıdır(L'Annunziata, 2003). Örneğin 1 MeV enerjili bir beta parçacığı havada yaklaşık 3.5 m yol alabilmektedir. Bu nedenle beta radyasyonundan korunmada kullanılacak malzemenin seçimi ve kalınlık tayini, en yüksek enerjili beta parçacığının enerjisine (örneğin ^{90}Sr 0.546 MeV'lik beta yayınlarken Yavru çekirdeği ^{90}Y 2.27 MeV'lik beta yayınlamaya göre yapılmalıdır(L'Annunziata, 2003). Çizelge 2.5'te çeşitli enerjide beta radyasyonunu soğurabilecek maddelerin kalınlıkları verilmiştir.

Çizelge 2.5 : Bazı beta radyasyonları için zırh kalınlıkları(L'Annunziata, 2003).

Enerji (MeV)	Plastik (cm)	Beton (cm)	Alüminyum (cm)
0.5	0.254	0.127	0.127
1.0	0.508	0.254	0.254
2.0	0.762	0.508	0.508
3.0	1.016	0.762	0.762

Bremsstrahlung olayı enerjileri 1 MeV'in üzerindeki beta parçacıkları için önem kazanmaktadır. Küçük atom numaralı elementten yapılan bir kap içine konacak beta kaynağından oluşabilecek bremsstrahlung ışınlarının tutulması için kabın etrafı büyük atom numaralı zırh malzemesiyle çevrilmelidir (Das ve Ferbel, 2003).

2.2.2 Yüksüz Parçacıklar

Yüksüz parçacıkların madde ile etkileşimi yüklü parçacıklara göre bazı farklılıklar içermektedir. Yükleri bulunmadığından dolayı madde atomları ile coulomb kuvvetleri türünde etkileşme gerçekleşmemektedir. Yüksüz parçacıklar kapsamında fotonlar ve nötronları değerlendirmek mümkündür. Bu bağlamda fotonların ve nötronların madde ile etkileşimini kendi içlerinde değerlendirmek gerekmektedir (Knoll, 2002).

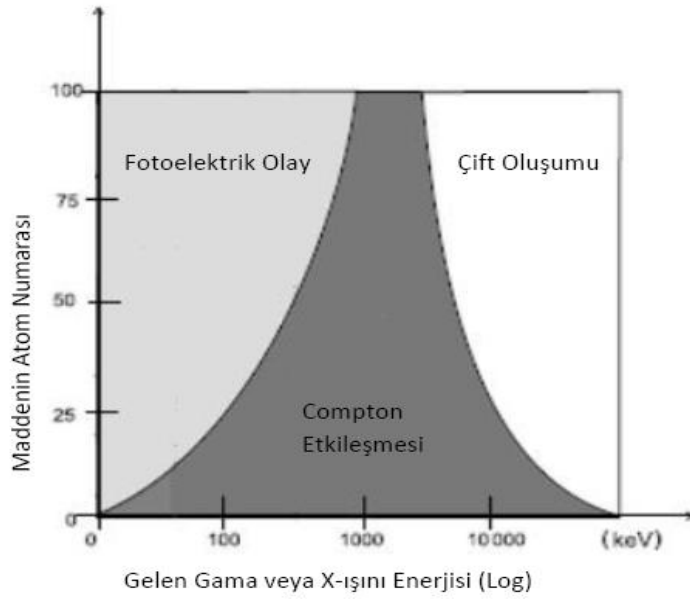
2.2.2.1 Fotonlar

Elektromanyetik radyasyon olarak X ışınları, gama ışınları ve Bremsstrahlung radyasyonları düşünülmektedir. Fotonların (X ve gama ışınları) elektriksel yükleri olmadığı için yüklü parçacıklarda olduğu gibi Coulomb kuvvetine maruz kalmamaktadırlar. Bu durum fotonların madde içerisindeki atomları iyonlaştırmadığı anlamına gelmemektedir. Fotonlar elektromanyetik kuvvet taşıyıcılarıdır ve madde ile iyonlaşmayla ve ortama enerji depolamayla etkileşme yapmaktadırlar. Bu bağlamda, fotonların madde içerisindeki davranışları yüklü parçacıklarınkinden oldukça farklı olmaktadır. Özellikle gama ışınları atomun elektronları ile etkileşmelerinde enerjisinin büyük bir kısmını hatta tamamını bir tek olayda kaybedebilmektedir. Bu nedenle gama ışınlarının yüklü parçacıklarda olduğu gibi menzillerinden bahsetmek mümkün olmamaktadır (Knoll, 2002). X- ve gama

ışınları madde içerisinde geçerken çoğunlukla 3 şekilde etkileşme gerçekleştirmektedirler. Bunlar;

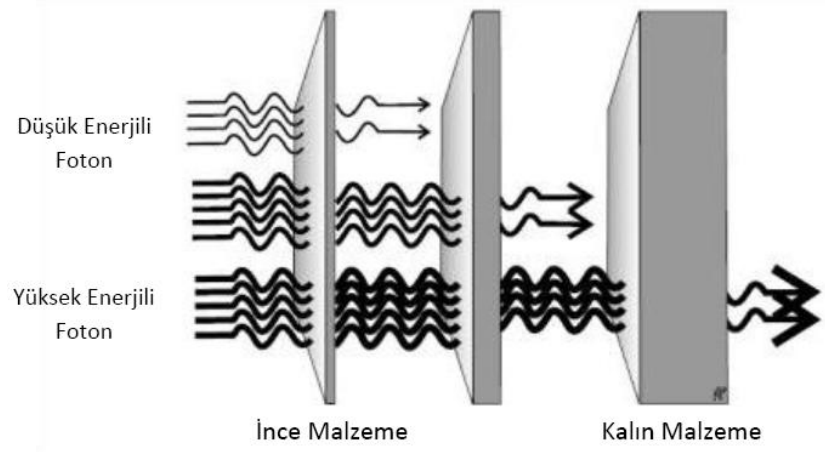
- Fotoelektrik olay
- Compton saçılması
- Çift oluşumu

olarak ifade edilebilmektedir(Powsner ve Powsner, 2006). Şekil 2.6' da atom numarası ve gama enerjisine bağlı olarak baskın olan etkileşmeler görülmektedir.



Şekil 2.6 : Fotonların madde ile etkileşmesi (Powsner ve Powsner, 2006).

Bu etkileşmeler fotonların iki önemli özelliğini açıklamaktadır. Bunlardan birincisi fotonların madde içerisinde yüklü parçacıklarla karşılaştırıldığında daha uzun mesafelere penetrasyonu, ikincisi ise belli bir kalınlıktaki malzemeyi geçince fotonların şiddetinde azalmanın olması olarak ifade edilebilmektedir. Şekil 2.7' de fotonların maddeye nüfuz etme mekanizması görülmektedir.



Şekil 2.7 : Fotonların soğurucu malzeme içinden geçişi (Powsner ve Powsner, 2006).

Fotonların şiddetlerindeki bu azalma kalınlığın fonksiyonu olarak eksponansiyel olmaktadır.

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (2.1)$$

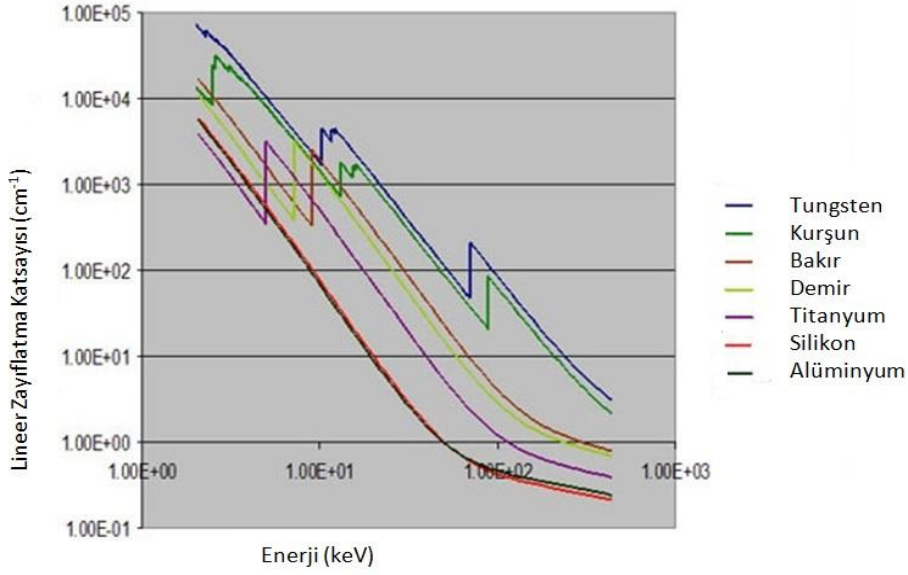
burada I_0 gelen fotonların şiddeti, x soğurucunun kalınlığı ve μ lineer zayıflatma katsayısı olup içerisinden geçtiği maddeye ve radyasyon enerjisine bağlı olmaktadır. Eşitlik 2.1 yansıma ve saçılma etkilerinin ihmal edilebildiği “dar demet” veya “iyi geometri” durumları için geçerli olmaktadır. Aksi durumda bir büyüme (build-up) faktörünün tayini gerekmektedir (Bilge ve Tuğrul, 1990).

Malzemelerin değişik fazlarındaki yoğunluk değerlerinin farklı olabilmesi lineer zayıflatma katsayısının malzemeye özgü bir değer olmasını engellemektedir. Bu nedenle malzemelerin lineer zayıflatma katsayılarına göre birbirleri ile mukayese edilememektedir. Lineer zayıflatma katsayısını malzeme yoğunluğuna oranı olarak ifade edilen kütle zayıflatma katsayısı malzemelerin birbirleri ile mukayese edilebilmesine olanak sağlamaktadır. Eşitlik 2.2’de kütle zayıflatma katsayısının (μ_m veya μ/ρ) formülü verilmektedir (Knoll, 2002).

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.2)$$

Gama ışınlarını zırlamasında demir, çelik, tungsten, altın, beton ve kurşun gibi yüksek atom numaralı maddelerin kullanımı uygundur (Şekil 2.8). Ancak pratikte

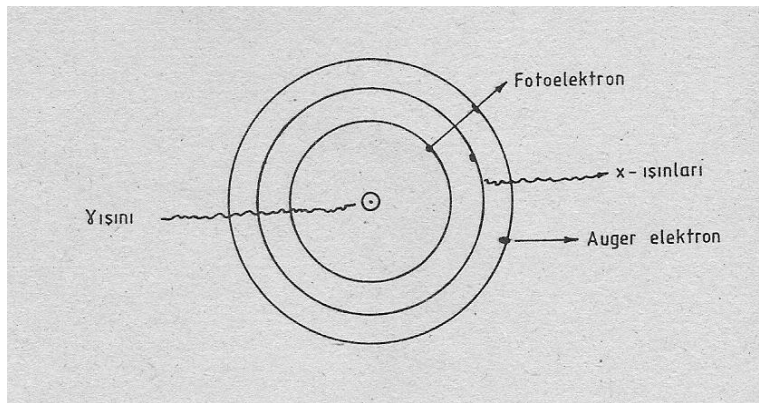
ekonomik nedenlerden dolayı en çok kurşun ve beton kullanılmaktadır(Bilge ve Tuğrul, 1990).



Şekil 2.8 : Gama radyasyonu zırhlamasında kullanılan bazı malzemeler.

Fotoelektrik olay

Düşük enerjili bir fotonun soğurucu ortamdaki bağlı elektron tarafından soğurularak enerjisinin tamamını kaybederek, K_e kinetik enerjisine sahip bir fotoelektronun yayınlanması olayı fotoelektrik olay olarak ifade edilmektedir. Atomun iç tabakalarından elektron yayınlanırsa, dış tabakalardaki elektronlardan biri bu daha düşük boş seviyeyi doldurmakta ve bunun sonucunda elektronla birlikte X-ışınıda yayınlanmaktadır (Bilge ve Tuğrul, 1990). Şekil 2.9' da fotoelektrik olay şematik olarak görülmektedir.



Şekil 2.9 : Fotoelektrik olayın şematik gösterimi (Bilge ve Tuğrul, 1990).

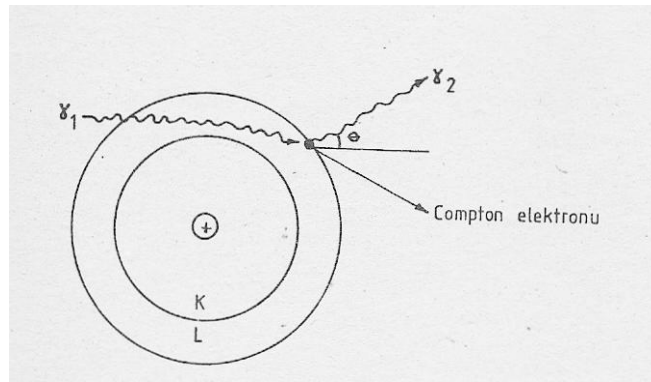
Bir atomik elektronun serbest hale gelebilmesi için gerekli enerji I_B ve gelen fotonun enerjisi $h\nu$ olarak ifade edilirse, enerji korunumundan fotoelektrik olayda aşağıdaki Eşitlik 2.3'te verilen Einstein bağıntısı kendini göstermektedir;

$$E_\gamma = h\nu = I_B + K_e \quad (2.3)$$

Burada K_e koparılan elektronun kinetik enerjisini ifade etmektedir. Bu etkileşme mekanizması yüksek atom numaralı atomlar için oldukça önemli olmakta ve 1 MeV lik foton enerjilerinde önemini kaybetmektedir (Bilge ve Tuğrul, 1990).

Compton saçılması

Fotonun madde ile etkileşmesinde en iyi anlaşılan mekanizmalardan birisi Compton saçılması olmaktadır. Bu olay fotonun serbest bir elektronla esnek saçılması şeklinde ifade edilebilmektedir. Gerçekte elektronlar madde içinde bağlı durumda bulunmakla birlikte eğer fotonun enerjisi elektronun bağlanma enerjisinden yüksek ise, bağlanma enerjisi göz ardı edilip elektronun serbest olduğu düşünülebilmektedir. Gelen foton, atomik bağlanma enerjisinin önemli olduğu enerji seviyesinde bir enerjiye (<100 keV) sahipse bu olay gerçekleşmemektedir (Bilge ve Tuğrul, 1990). Şekil 2.10' da compton saçılması şematik olarak verilmektedir.



Şekil 2.10 : Compton saçılması (Bilge ve Tuğrul, 1990).

Serbest bir elektron üzerine $h\nu$ enerjili foton düştüğünde, foton θ açısı altında daha düşük frekansta saçılmakta ve p momentumuna sahip elektron ϕ açısında ortamdaki yayımlanmaktadır. Fotonun saçılma açısı fotondan elektrona aktarılan enerji miktarına bağlı olmaktadır. Compton olayına enerji ve momentum korunumu

kanunları uygulanarak, saçılan foton ve yayınlanan elektronun enerjileri için aşağıdaki Eşitlik 2.4 ve 2.5bağıntıları elde edilmektedir;

$$hv' = \frac{hv}{1 + \gamma(1 - \cos \theta)} \quad \text{burada } \gamma \equiv hv / m_e c^2 \quad (2.4)$$

$$K_e = hv - hv' = hv \frac{\gamma(1 - \cos \theta)}{1 + \gamma(1 - \cos \theta)} \quad (2.5)$$

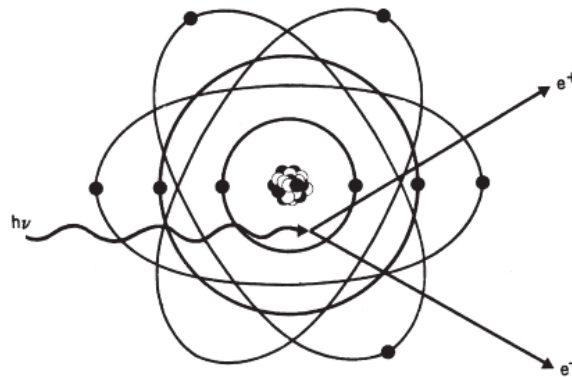
Burada hv' saçılan fotonun enerjisini K_e ise ortamdan ayrılan elektronun kinetik enerjisini ifade etmektedir (Bilge ve Tuğrul, 1990). Foton enerjisinin birkaç MeV olduğu ortamda enerji depolanmasında Compton saçılması baskın olmaktadır.

Çift oluşumu

Foton yeterli enerjiye sahip olduğunda, atom uzayından geçerken atom tarafından soğurulabilmekte ve zıt elektrik yüklü parçacıklar meydana getirmektedir. Kısaca, çift oluşumu fotonun elektron-pozitron çiftine dönüşmesi olarak ifade edilebilmektedir. Bu olay, momentum korunumunu sağlamak için üçüncü bir cismin varlığında meydana gelmektedir(L'Annunziata, 2003). Pozitronun kütlesi elektronun kütlesine eşit olduğundan, elektron-pozitron çift oluşumu için eşik enerjisi Eşitlik 2.6'dan;

$$hv \approx 2m_e c^2 = 1.02 \text{ MeV} \quad (2.6)$$

olmaktadır. Bu bağlamda enerjisi 1.02 MeV ve daha yüksek olan fotonlar atom ile etkileşerek çift oluşumunu gerçekleştirebilmektedir(L'Annunziata, 2003). Şekil 2.11' de çift oluşumu şematik olarak verilmektedir.



Şekil 2.11 : Çift oluşumunun şematik gösterimi (L'Annunziata, 2003).

Çift oluşum tesir kesiti, Z ortamın atom numarası olmak üzere Z^2 ile değişmektedir. Çift oluşumu eşik enerjisinden sonra hızlıca yükselmekte ve foton enerjilerinin 10 MeV den büyük olduğu durumlarda enerji kaybı mekanizmalarında baskın olmaktadır. Çok yüksek enerjilerde (>100 MeV), elektron-pozitron çifti tesir kesiti azalmakta ve ortamın radyasyon uzunluğuna eşit olan sabit soğurma katsayısı ile ifade edilmektedir. Bu oluşan pozitronlar madde içerisinde ilerlerken elektronlar gibi iyonlaşmaya ve radyasyona enerji kaybetmektedirler. Pozitron kinetik enerjisinin çoğunu kaybettikten sonra bir elektron yakalayarak pozitronyum diye adlandırılan hidrojen benzeri bir atom meydana getirmektedir. Hidrojen atomunun aksine pozitronyum atomu kararsız yapı teşkil etmekte ve 10^{-10} sn yarı-ömre sahip olmaktadır. Bu durumda, pozitronyum atomu bozularak (anihilasyon) iki foton meydana getirmektedir. Oluşan zıt yönlü ve eşit enerjili iki fotonun enerjileri 0.511 MeV olmaktadır (L'Annunziata, 2003).

2.2.2.2 Nötronlar

Nötronlar yüksüz parçacıklar olduklarından çekirdek ile nükleer kuvvetler ile etkileşmektedirler. Çekirdeğe yaklaştıklarında yüklü parçacıklarda olduğu gibi Coulomb engeli ile karşılaşmamaktadırlar. Nötronlar düşük enerjilerde oldukça yüksek verimlilikle dedekte edilebilmektedirler. Nötronları dedekte etmek için nötron atom etkileşmesinden yüklü parçacıkların üretilmesigerekmemektedir. Bu bağlamda, nötronları çok sayıda protonu olan malzemeler ile yavaşlatmak faydalı olmaktadır. Bu durumda nötronlar enerjilerinin büyük kısmını çarpışma ile benzer kütleli parçacığa aktarabilmektedir. Nötronların enerjilerine göre:

- $E > 100$ MeV : Yüksek enerjili nötronlar
- $10-20$ MeV $> E > 100-200$ keV : Hızlı nötronlar
- 100 keV $> E > 0.1$ eV: Epitermal nötronlar
- $E \sim kT \sim 1/40$ eV: Termal/Yavaş nötronlar
- $E \sim \text{meV} \sim \mu\text{eV}$: Soğuk ve ultrasoğuk nötronlar

şeklinde sınıflandırılabilir (L'Annunziata, 2003).

Nötronların madde ile etkileşiminde nötron zayıflamasının dar demet geometrisi için gama ışınları ile benzerlik göstermektedir. Gama ışınları için zayıflatma katsayısını veren Eşitlik 2.1 nötronlar için uygulandığında Eşitlik 2.7 elde edilmektedir (Knoll, 2002).

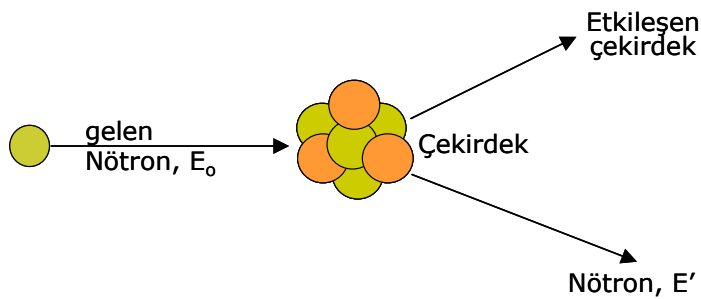
$$I = I_0 e^{-\Sigma_{tot} x} \quad (2.7)$$

Burada gama radyasyonu için lineer zayıflatma katsayısı olarak tanımlanan " Σ_{tot} " nötronların makroskopik tesir kesitini ifade etmektedir. Bu bağlamda malzemelerin nötron zayıflatmasında makroskopik tesir kesiti, lineer zayıflatma katsayısı olarak ifade edilebilmektedir.

Nötronlar enerjilerine bağlı madde atomları olarak bir çok etkileşme meydana getirebilmektedir. Nötronların madde ile etkileşmesi için toplam olasılık bu ayrı ayrı etkileşmelerin tesir kesitlerinin toplamı olarak ifade edilebilmektedir. Bu etkileşmelerin başlıcaları elastik saçılma, inelastik saçılma, nötron yakalanması, nükleer reaksiyonlar ve fisyon olarak kabul edilebilmektedir.

Elastik saçılma

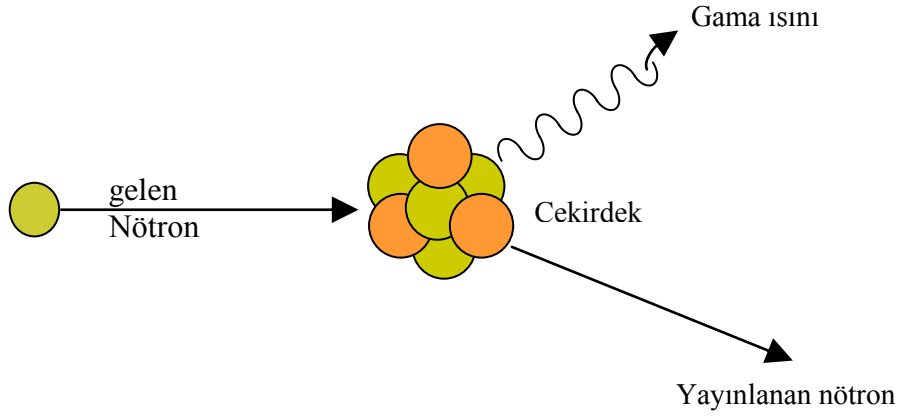
Elastik saçılma MeV mertebesinde enerjiye sahip nötronların temel enerji kaybetme mekanizması olarak ön plana çıkmaktadır. İki çarpışan parçacığın toplam kinetik enerjisi korunmaktadır. $A(n,n)A$ şeklindeki reaksiyonlar oluşmaktadır. Nötron bir atom çekirdeğine çarparak, kinetik enerjisinin bir kısmını ona aktardıktan sonra kendi geliş doğrultusundan farklı bir doğrultuda saparak çekirdekten uzaklaşmaktadır (L'Annunziata, 2003). Burada çekirdeğin yapısı değişiklik olmamaktadır. Şekil 2.12'de nötronun atom çekirdeği ile elastik çarpışması şematik olarak verilmektedir.



Şekil 2.12 : Nötronun bir çekirdekten elastik saçılması (Şahin L., 2013).

İnelastik saçılma

İnelastik saçılma; $A(n,n')A^*$, $A(n,2n')B^*$ şeklindeki reaksiyonları içermektedir. Bu çeşit reaksiyonlarda, çekirdek uyarılmış durumda bırakılmakta ve bu çekirdek daha sonra gama veya radyasyonun diğer çeşit formları ile bozunmaktadır. Nötronun çekirdeği uyarabilmesi için yeterince büyüklükte enerjiye (1 MeV veya fazla) sahip olması gerekmektedir. Bu eşik enerjisinin altında, sadece elastik saçılma gerçekleşebilmektedir (L'Annunziata, 2003). Şekil 2.13' te nötronların atom çekirdeği ile inelastik etkileşmesi şematik olarak verilmektedir.



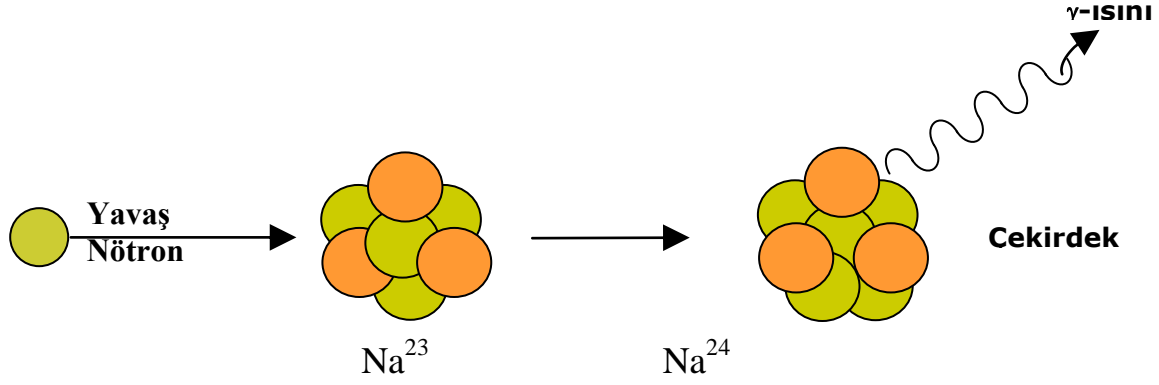
Şekil 2.13 : Nötronun inelastik saçılması (Şahin L., 2013).

Nötron yakalanması

Nötronun atom çekirdeği tarafından yutulması olarak ifade edilebilmektedir. Nötron yakalanması olayları;



şeklindeki reaksiyonları içermektedir. Nötron yakalanması için tesir kesiti nötronun hızı ile ters orantılı olarak değişmektedir. Bu sebeple düşük enerjilerde nötron yakalanma olasılığı yükselmektedir (L'Annunziata, 2003). Şekil 2.14'te örnek nötron yakalanması olayı şematik olarak gösterilmektedir.



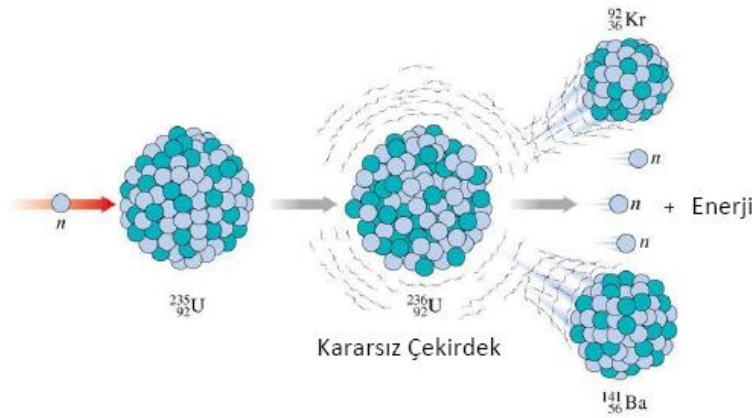
Şekil 2.14 : Nötron yakalanması olayı (Şahin L., 2013).

Nükleer reaksiyonlar

Nükleer reaksiyonlar; eV ile keV civarında enerjiye sahip nötronların çekirdek tarafından yakalanıp yüklü parçacığın yayınlanması olarak ifade edilebilmektedir(L'Annunziata, 2003). (n,p), (n,d), (n, α) şeklindeki reaksiyonlardan oluşabilmektedir.

Fisyon

Fisyon; termal enerji seviyesinde bulunan nötronların çekirdek ile etkileşmesi sonucu çekirdeğin parçalanmasıdır. Bu parçalanma sonucunda iki ürün çekirdeğin yanı sıra daha bir çok element meydana gelmektedir(L'Annunziata, 2003). Şekil 2.15'te fisyon olayı şematik olarak verilmektedir.



Şekil 2.15 : Fisyon olayının şematik gösterimi (Şahin L., 2013).

3. BOR, TİTANYUM ve TUNGSTEN İÇEREN MALZEMELER

Bor, titanyum ve tungsten sahip oldukları özellikler neticesinde bir çok endüstride kullanım alanı bulan malzemeler arasında yer almaktadır. Nükleer teknoloji, uzay ve uçak endüstrisi, tıp, enerji, savunma sanayi ve ağır sanayi bu malzemelerin uygulama alanları arasında başlıcaları olarak ifade edilebilmektedir. Bazı uygulamalarda element olarak tek başlarına kullanılabilirle beraber çoğu uygulamalarda bileşik veya kompozit malzeme içerisinde kullanılmaktadırlar. Bor karbür, titanyum diborür, bor nitrür, tungsten karbür ve tungsten diborür uygulamalarda kullanılan bor, titanyum ve tungsten içeren malzemeler arasında yer almaktadır.

3.1 Bor Karbür

Bor karbür, yüksek ergime sıcaklığı, yüksek sertliği, düşük yoğunluğu ve yüksek termal nötron absorblama tesir kesiti ile önemli bir kovalent bağlı, oksit olmayan seramik malzeme durumundadır (Thevenot, 1990). Bor karbür, elmas ve kübik bor nitrürden sonra bilinen en sert malzeme olarak kabul edilmektedir. Düşük ağırlığı sayesinde personel zırhlanmasında öncelikle tercih edilen zırh malzemeleri arasında yer almaktadır (Akarsu ve diğ. 2010). Mükemmel aşınma dayanımı sayesinde çeşitli kum püskürtme uygulamalarında nozül olarak ve borun yüksek nötron zayıflatma tesir kesiti sayesinde nükleer uygulamalarda zırh ve reaktör kontrol çubukları olarak kullanılabilirle (Büyük ve diğ. 2012).

Bor Karbürün kompleks bir kristal yapısı bulunmaktadır. Bor karbür %8,8 ile 20 arasında değişen karbon içeriği ile aslında bir katı çözelti durumundadır. Günümüzde bor karbür, $B_{4,3}C$ ile $B_{10,4}C$ arasında kalan homojen bir aralıkla tarif edilmektedir (Thevenot, 1990). Ticari bor karbürün kompozisyonu bor: karbon oranı 4:1 olacak şekilde ifade edilmektedir. Mekanik ve özellikle balistik performansı, azalan porozite ile artmakta olan bir malzeme durumundadır. Ancak basınçsız sinterleme yoluyla

yüksek rölatif yoğunluklu saf bor karbür parçalar üretmek oldukça zor olmaktadır. Bu bağlamda, teorik yoğunluğa yakın değerlere ulaşmak ancak sıcak presleme ile mümkün olabilmektedir. Fakat bu uygulama kompleks şekiller elde etmeye uygun olmamaktadır. Ayrıca SiC, Al₂O₃, TiB₂, AlF₃, W₂B₅, karbon ve bor gibi sinterlemeye yardımcı olan katkılar bor karbür yoğunluğunu arttırıcı etki yapmaktadır. Ancak, bazen ikincil fazların oluşumu mekanik özellikler üzerinde negatif yönde etki etmektedir (Spohn, 1994). Çizelge 3.1’de bor karbüre ait bazı özellikler verilmiştir.

Çizelge 3.1 : Borkarbürün özellikleri (Pierson, 1996)

Özellik	Açıklama
Kompozisyon	(B ₁₁ C)CBC
Molekül Ağırlığı	55,26
Renk	Siyah
Yoğunluğu (g/cm ³)	2,52
Ergime Sıcaklığı (°C)	~2450
Spesifik Isı (J/mol.K)	50,88
Oluşum Isısı (-ΔH)(kJ/mol.K)	57,8±11,3
Isıl iletkenlik (W/m.°C)	30
Isıl Genleşme (10 ⁻⁶ /°C)	4,3
Elektriksel Direnç (Ω.cm)	0,1-10
Seebeck Sabiti (μV/K)	200-300 (1250 °C’de)
Vickers Sertliği (GPa)	27,4 - 34,3
Elastisite Modülü (GPa)	290-450
Kayma Modülü (GPa)	165 - 200
Hacim (bulk) Modülü	190 - 250
Poisson Oranı	0,18
Kırılma Mukavemeti (MPa)	323 - 430
Basma Mukavemeti (MPa)	2750
Oksidasyon Dayanımı	>600 °C yüzeyde B ₂ O ₃ filmi oluşur
Kimyasal dayanımı	Genelde mükemmeldir
Nötron Zayıflatma Tesir Kesiti (barn)	755 (¹⁰ B)

Bor karbürün kullanım alanları, düşük yoğunluğu, yüksek sertliği ve aşınma direnci, yüksek nötron tutma tesir kesiti ve kimyasal kararlılığı gibi özellikleri ve bunların kombinasyonlarına bağlı olarak değişim göstermektedir. Bor karbürün ticari kullanım alanları arasında aşındırıcı pastalar, kumlama nozülleri, nötron absorblayıcı malzemeler, zırh malzemeleri ile parlatma ve kesme ile ilgili uygulamalar bulunmaktadır. Bor, nükleer reaktörlerde kullanılan ana nötron absorblayıcısı durumundadır. Nötron zayıflatma, ¹⁰B izotopunun nötronlar ile reaksiyona girerek ⁴He, ⁷Li çekirdeklerinin ve 2,4 MeV X-ışını fotonlarının oluşumlarına dayalı

olmaktadır (Knoll, 2002). Bor karbür, nükleer uygulamalarda güçlü bir seramik bünye içerisinde tehlikesiz yan ürünler verecek ve enerjisi düşük bir ışıma yapacak şekilde, yüksek konsantrasyonda bor atomu içermektedir. Bu bağlamda nükleer uygulamalarda bor karbür, kontrol çubukları, peletler ve nükleer atık depolarında zırh malzemesi olarak kullanılmaktadır (Lieser, 1997).

Bor karbür sahip olduğu termoelektriksel özellikler sayesinde 600-2200 °C arasında ölçüm yapabilen yüksek sıcaklık termoçiftlerinde kullanılmaktadır. (B_4C/C termoçiftleri). Ayrıca metal matrisli kompozitlere katılarak aşınma dayanımını artırıcı ve zırh özelliğini artırıcı etkiler yapmaktadır. Bu tip uygulamalar daha çok uçak-uzay sanayi gibi, ağırlığın birinci derecede önemli olduğu alanlarda kullanılmaktadır (Skorokhod ve diğ. 1996).

Bor karbürün sinterlenmesinde yardımcı olan malzemelerden biri de silisyum karbür olmaktadır. Bu bağlamda üretilebilen bor karbür- silisyum karbür kompozit malzeme özelliklerinin incelenmesi açısından silisyum karbür malzeme özelliklerinin bilinmesi önem arz etmektedir.

3.1.1 Silisyum karbür

Silisyum karbür kullanım alanı geniş olan yapısal seramiklerden bir tanesi durumundadır. Sahip olduğu özellikler sayesinde karmaşık mühendislik uygulamalarında tungsten karbür yerine özellikle aşınmaya karşı direncin önem kazandığı uygulamalarda kullanılmaya başlanmıştır. Silisyum nitrürle kıyaslandığı zaman üretimi, kullanılan hammaddeler açısından daha ucuz olmaktadır (Akarsu, 2010).

Silisyum karbür ürünlerin hammadde ve üretim maliyetleri diğer oksit olmayan seramik ürünlere oranla düşük olduğundan birçok alanda rekabet edebilmektedir. Silisyum karbür çeşitli uygulamalarda toz olarak, şekillendirilmiş parçalar halinde ve kaplama şeklinde kullanım alanı bulmaktadır. Toz silisyum karbür, çelik üretiminde ve diğer metalürjik proseslerde deoksidan olarak, zımparalama ve kumlama proseslerinde aşındırıcı olarak ve refrakter çimentolarında katkı malzemesi olarak kullanılmaktadır (Akarsu ve diğ. 2010, Zawrah ve diğ. 2003).

Silisyum karbür şekillendirildikten sonra refrakter ürünlerde, tuğlalar, tüpler ve diğer şekillerde, elektrikli ısıtıcı elemanlarında ve dirençlerde, yarıiletken olarak çeşitli uygulamalarda, seramik kompozitlerde, radyasyon ölçümlerinde sensör malzemesi olarak (amorft SiC), sıcaklık ölçümü yapan termočiftlerde kılıf malzemesi olarak ve hafif zırh uygulamalarında zırh malzemesi olarak kullanılmaktadır. Silisyum karbür kaplamalar ise nükleer atık depolarında, füzyon reaktörü uygulamalarında ve mavi LED'lerde kullanılmaktadır(Turan, 2004, Akarsu ve diğ. 2010).Çizelge 3.1' de Silisyum karbüre ait bazı özellikler verilmiştir.

Çizelge 3.2 : Silisyum karbürün özellikleri (Pierson, 1996, Weimer 1997).

Özellik	Açıklama
Kompozisyon	SiC
Molekül Ağırlığı	40,097
Renk	Saf hali sarıya yakın yeşil
Yoğunluğu (g/cm ³)	α -SiC(6H) : 3,211 β -SiC : 3,214
Ergime Sıcaklığı (°C)	~2545
Spesifik Isı (J/mol.K)	α -SiC :27,69 β -SiC :28,63
Oluşum Isısı (- Δ H)(kJ/mol.K)	α -SiC :25,73 \pm 0,63 β -SiC :28,03 \pm 2
Isıl iletkenlik (W/m.°C)	α -SiC :41,0 β -SiC :25,5
Isıl Genleşme (10 ⁻⁶ /°C)	α -SiC :5,12 β -SiC :3,8
Elektriksel Direnç (Ω .cm)	α -SiC :0,0015-10 ³ β -SiC :10 ⁻² -10 ⁶
Dielektrik Sabiti (300 °K)	α -SiC (6H):9,66-10,03 β -SiC :9,72
Vickers Sertliği (GPa)	24,5-28,2
Elastisite Modülü (GPa)	441-475
Kayma Modülü (GPa)	192
Hacim (bulk) Modülü	96,6
Poisson Oranı	0,142
Kırılma Mukavemeti (MPa)	350-600
Oksidasyon Dayanımı	SiO ₂ oluşumuna karşı yüksek dayanım
Kimyasal dayanımı	Oda sıcaklığında inerttir

3.2 Titanyum Diborür

Titanyum diborür(TiB_2) önemli kimyasal, elektriksel, termal ve mekanik özellikleri olan bir geçişborürüdür. Çeşitli titanyum-bor bileşikleri içerisinde en kararlı olanı titanyum diborürdür. Yüksek sertliğe, yüksek elektriksel iletkenliğe, termal kararlılığa ve yüksek aşınma dayanımına sahip bulunmaktadır(Akarsu ve diğ. 2010).Ayrıca titanyum diborür, yüksek elastik modüle ve yüksek ergime sıcaklığına sahip olan, ergimiş metallere karşı kimyasal olarak inert bir malzemedir.Bütün bu özellikleri ile titanyum diborür, kesici takım uçlarında, aşındırıcı ve aşınmaya karşı dirençli uygulamalarda ve zırh malzemesi olarak kullanım alanı bulmaktadır (Aktop, 2010). Bunlara ek olarak ergimiş alüminyuma karşı kimyasal kararlılığa sahip olduğundan elektrolitik alüminyum üretiminde katot malzemesi olarak kullanılmaktadır(Anal ve diğ. 2006, Montgomery 1992).

Geçiş metallerin diborürleri yüksek sertlik, mukavemet ve yüksek ergime sıcaklığı ile birlikte yüksek oksidasyon direncide göstermektedirler. Titanyum diborür de bu özelliklerin yanında çok iyi ıslatabilirliği yüksek sıcaklıklardaki mukavemeti, silisyum nitrürden (Si_3N_4) daha iyi kırılma tokluğu ve tungsten karbürden (WC) daha yüksek sertliği gibi malzemeyi çekici kılan özellikler de mevcuttur (Aktop, 2010). Birçok uygulamada, malzemede aranılan özellik düşük yoğunluklu olmasıdır. Bu açıdan bakıldığında $4,52 \text{ g/cm}^3$ teorik yoğunluğa sahip olan titanyum diborür, çelikten düşük ($7,75- 8,00 \text{ g/cm}^3$) ve B_4C 'den yüksek yoğunluğa sahip bulunmaktadır(Molica 2004, Seiler 2008). Çizelge 3.3' te titanyum diborüre ait bazı özellikler verilmektedir.

Titanyum diborür, mekanik özellikleri, yüksek ergime noktası ve kimyasal kararlılığı ile oldukça değerli bir mühendislik malzemesi konumundadır. Bu yüzden titanyum diborür, geniş bir uygulama alanına sahip bulunmaktadır. Monolitik TiB_2 Hall-Héroult hücrelerinde alüminyum elektrolizinde kullanılmaktadır. TiB_2 ergimiş alüminyum ve kriyolite karşı inert olmanın yanı sıra yüksek elektrik iletkenliğine sahip olması, bu malzemenin alüminyum metalürjisinde katot, elektrot ve termoçift kılıfı olarak kullanılmasını sağlamaktadır.

Çizelge 3.3 : Titanyumdiborüre ait bazı özellikler(Weimer 1997).

Özellik	Açıklama
Kompozisyon	TiB ₂
Molekül Ağırlığı (g/mol)	69,54
Renk	Gri
Yoğunluğu (g/cm ³)	4,52
Ergime Sıcaklığı (°C)	2920
Termal genişleme katsayısı ($\alpha \cdot 10^6/K$)	4,6 (300-1300 K) 5,2 (1300-2300 K)
Isıl iletkenlik (W/m.K)	24 (300-1300 K) 26,3 (1300-2300 K)
Mikrosertlik (1N) (GPa)	25,5
Young Modülü, E (GPa)	541
Elastik Modülü (psi.10 ⁶)	62-78
Poisson Oranı, ν	0,09-0,11
Eğme Mukavemeti, $\sigma_{eğme}$ (MPa)	450±70
Basma Mukavemeti, σ_{basma} (MPa)	1350
Çekme Mukavemeti, σ_c (MPa)	127
Kırılma Tokluğu (MPa.m ^{1/2})	6,4±0,4
Elektriksel Direnç ($\rho \cdot 10^8 \Omega \cdot m$)	9

Yapılan araştırmalarda titanyum diborürün çok iyi ıslatabilme özelliği, ayrıca sıvı alüminyum ile reaksiyona girmemesi gibi özellikleri bu malzemenin alüminyum elektrolizinde çok önemli bir katot malzemesi olarak kullanılmasını sağlamıştır (Richerson, 1992). Yapılan araştırmalar neticesinde %40 oranlarında enerji tasarrufu sağladığı gözlemlenmiştir. TiB₂ ayrıca alüminyumun vakum altında buharlaştırılması için kullanılan sıcak preslenmiş TiB₂-AlN-BN kompozitinden yapılan buharlaştırma potalarının hammaddesidir (Aktop, 2010). Bunların dışında TiB₂, metal ve seramik matris kompozitlerde dispersan olarak, fiber optik kabloların koruma altlığı, kesici takımları, aşınma parçaları, nozüller ve refrakter malzemesi gibi uygulama alanları bulmaktadır(Sepin, 2004, Rao ve diğ. 2004, Tjong ve diğ. 2006).

3.3 Bor Nitrür

Bor nitrür bor ve azot atomlarını bir araya getirerek oluşturulan yapay bir seramik malzemedir. Hekzagonal ve kübik olmak üzere iki yapıda bulunmaktadır. Hekzagonal bor nitrür (hBN) grafitte benzer yapısı nedeniyle beyaz grafit olarak da adlandırılmaktadır. hBN yoğunluğu düşük, ısı iletimi yüksek, elektrik direnci yüksek, kimyasal olarak inert ve yağlayıcı özelliğine sahip olup beyaz renkli bir

malzemedir(Ertuğ, 2007a, 2007b, Eichler, 2008). hBN üstün yağlayıcılık özelliği ve 900 °C ye kadar bozulmayan yapısı ile bir çok uygulamada kendine yer bulan bir malzemedir. Çizelge 3.4’de hekzagonal bor nitrüre ait bazı özellikler verilmektedir.

Çizelge 3.4 : Hekzagonalbornitrürünbazıözellikleri (Url-2, Eichler, 2008).

Özellik	Açıklama
Kompozisyon	h-BN, hBN
Molekül Ağırlığı (g/mol)	24,82
Renk	Beyaz
Yoğunluğu (g/cm ³)	2,1
Ergime Sıcaklığı (°C)	2973
Termal genişleme katsayısı ($\alpha 10^6/K$)	2.7 ; 38 \perp (katmanlara dik(\perp), paralel ())
Isıl iletkenlik (W/m.K)	600 ; 30 \perp

hBN, sahip olduğu özellikler neticesinde endüstride geniş kullanım alanına sahiptir. hBN’ün bazı kullanım alanları;

- Yüzey mühendisliği ve sürtünme teknolojisi
- Metal oluşumu ve dökümü
- Yüksek enerji uygulamaları ve sinterleme teknolojisi
- Güneş ve fotovoltaiik teknolojisi
- Elektrik ve güç kaynakları
- Kaynak ve lehim uygulamaları
- Plastik teknolojisi
- Cam endüstrisi
- Plazma ve PVD uygulamalarında istenmeyen metal birikiminin engellenmesi
- Kozmetik endüstrisidir (Ertuğ, 2013, Çelik, 2013, Eichler, 2008).

hBN yağlayıcı olarak kalıp malzemelerde malzeme ve kalıbın birbirine yapışmasını engellemek ve otomobil endüstrisinde yakıt tasarrufuna katkıda bulunmak amacı ile de kullanılabilir (Çelik, 2013).hBN garfite benzer yapısı nedeniyle bazı uygulamalarda grafit yerine kullanılabilir. İkisinde hekzagonal yapıda olması, seramik malzeme grubundan olması, termal iletkenliklerinin iyi olması,

kolay işlenebilme özellikleri ve düşük sürtünme özellikleri grafit ve hBN'ün birbiri ile benzer özellikleri arasındadır. Bununla birlikte grafit elektriksel iletken bir malzeme iken hBN elektriksel yalıtkan bir malzemedir. Ayrıca yağlama uygulamalarında grafit neme ihtiyaç duyarken hBN nem ihtiyacı olmayan malzeme olmakta ve hava atmosferinde 900 C'ye kadar özelliğini kaybetmemesi vakum veya diğer koruyucu atmosferlerde ise daha yüksek sıcaklıklara kadar dayanıma sahip olması hBN'ü grafitten ayıran özellikler arasında yer almaktadır (Eichler, 2008).

3.4 Tungsten Karbür

Tungsten ve karbon atomlarının biraraya gelmesi ile oluşan tungsten karbür malzeme özellikle yüksek yoğunluk, sertlik ve aşınma direnci ile endüstriyel uygulamalarda kendine yer bulan bir malzeme durumundadır. Yüksek kırılma mukavemeti, yüksek ısıl ve elektrik iletkenliği ve yüksek elastisite modülü diğer önemli özellikleri arasında yer almaktadır. Yüksek sertliği nedeniyle kesici takım uçlarında, delme uygulamalarında, tıp ve diş hekimliği uygulamalarında, matkap uçlarında kullanılmaktadır (Pierson, 1996). Ayrıca nötronik özelliği ile nükleer uygulamaların ilk zamanlarında nötron yansıtıcı malzeme olarak kullanılmıştır (Url-3). Spor malzemelerinde kayak takımlarında, tekerlek lastiklerinde, atların nallarında tercih edilen malzemeler arasında tungsten karbür yer almaktadır (Url-3). Uygulamalarda genellikle metallere (Co vb.) alaşım yapılarak kullanılmaktadır (Pierson, 1996). Tungsten karbürün genel özellikleri Çizelge 3.5'te verilmektedir.

Çizelge 3.5 : Tungsten karbürün genel özellikleri (Pierson, 1996).

Özellik	Açıklama
Molekül Formülü	WC
Mol Kütlesi	195,851 g/mol
Rengi	Gri
Yoğunluğu	15,8 g/cm ³
Erime Sıcaklığı	2870 °C
Isıl İletkenlik	63 W/(m. °C)
Elektrik Direnci	17-22 µΩ.cm
Sertlik (Vickers)	22 GPa

3.5 Tungsten

Tungsten wolframit ve şelit başta olmak üzere bazı cevherlerde bulunan gri renkli bir metaldir. Saf metaller içerisinde en yüksek erime sıcaklığına sahip olan metal tungsten olmaktadır. Bununla birlikte ham haliyle kırılgan bir yapıya sahip olması uygulamalarda tungsten için dezavantaj olmaktadır. Saf hali genellikle elektrik uygulamalarında kullanılmakla birlikte alaşım ve bileşimleri birçok alanda kullanılabilir (Lassner ve Schubert, 1999, Url-4). Tungstene ait bazı özellikler Çizelge 3,6'da verilmektedir.

Çizelge 3.6 : Tungsteningenel özellikleri (Url-4, Lassner ve Schubert, 1999).

Özellik	Açıklama
Simgesi	W
Atom Kütlesi	183,84 g/mol
Yoğunluk	19,25 g/cm ³
Erime Sıcaklığı	3410 °C
Kaynama Sıcaklığı	5555 °C
Elektrik direnci	52.8 nΩ·m (20°C'de)
Isıl İletkenlik	173 W/(m·K)
Isıl Genleşme	4.5 µm/(m·K) (25°C'de)
Vickers Sertliği	3430 MPa

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

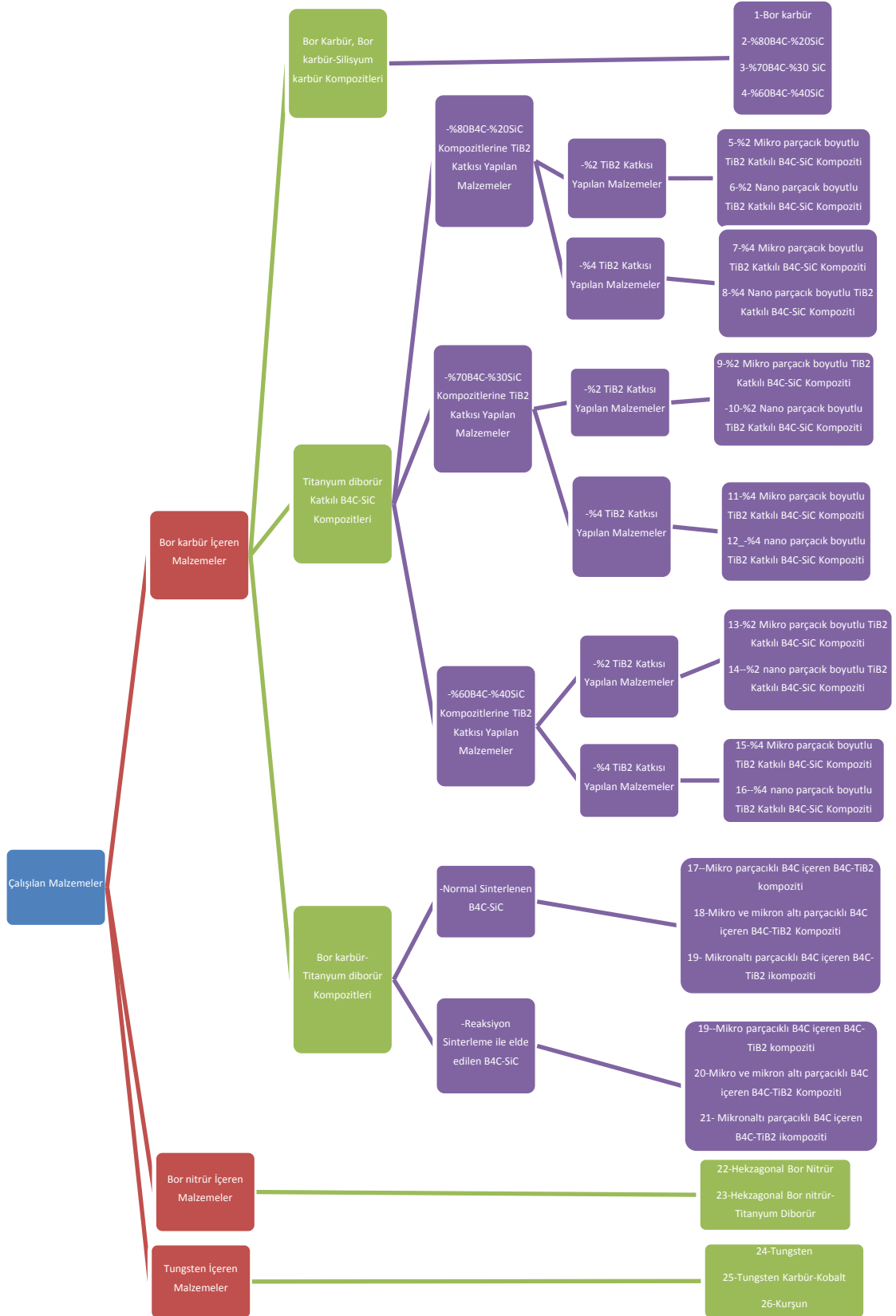
Bu Doktora tezinde, bor içeren farklı kompozit malzemelerin radyasyon karşısındaki davranışlarının incelenmesi ve farklı radyasyon tiplerine karşı etkin olan uygun kompozit malzemenin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, tungsten, titanyum ve bor içeren malzemelerin radyasyon ile etkileşimlerinin incelenmesi amacına yönelik bazı malzemeler belirlenmiş ve temin edilmiştir. Temin edilen malzemeler ve malzeme özellikleri değerlendirilerek farklı radyasyon tipleri için deneysel sistemler tasarlanmıştır. Oluşturulan deney sistemlerinde deneylerin gerçekleştirilmesi olanakları değerlendirilmiş ve bir dizi deneysel çalışma planlanmıştır.

4.1 Çalışılan Malzemeler

Radyasyon karşısındaki davranışlarının incelenmesi amacıyla tungsten, titanyum ve bor içeren malzemeler temin edilmiştir. Temin edilen malzemeler, esas itibarıyla, üç ana grup altında toplanabilir. Söz konusu bu gruplar;

- Bor karbür içeren malzemeler
- Bor nitrür içeren malzemeler
- Tungsten içeren malzemeler

olarak ayrılmıştır. Temin edilen malzemeler, özelliklerine göre isimlendirilmişlerdir. Bu bağlamda, malzemeler kodlanarak nitelenmeleri tamamlanmıştır. Çalışılan malzemelerin özelliklerine gruplandırılmış biçimi Şekil 4.1'de verilmektedir.



Şekil 4.1 : Çalışılan malzemelerin gruplandırılarak tanımlanmaları.

4.1.1 Çalışılan bor karbür içeren malzemeler

Bor karbür içeren malzemeler olarak saf bor karbür (B_4C), bor karbür-silisyum karbür (B_4C-SiC), titanyum diborür (TiB_2) katkılı bor karbür-silisyum karbür ve bor karbür-titanyum diborür malzemeler yer almaktadır.

Çalışılan bor karbür içeren malzemeler İTÜ Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Öğretim Üyesi Prof. Dr. A. Okan Addemir danışmanlığında A. Cem Akarsu ve Sercan Aktop tarafından üretilmiş ve bazı mekanik özellikleri (sertlik, mukavemet, vb.) yüksek lisans tezleri kapsamında belirlenmiştir.

Deneysel çalışmalarda bor karbür içeren malzemeler içerdiği farklılar gözetilmek suretiyle belirlenen hedefler doğrultusunda alt çalışma gruplarına ayrılmıştır. Bu bağlamda ilk grup B_4C içerisine farklı oranlarda SiC katılması ile elde edilen ve SiC değişiminin etkilerinin inceleneceği malzemelerden oluşmaktadır. Çizelge 4.1’de B_4C ve B_4C-SiC kompozit malzemelerinin kodları ve malzeme yapısı verilmektedir.

Çizelge 4.1 : B_4C ve B_4C-SiC kompozit malzemelerinin kodları ve malzeme yapısı (Akarsu, 2009).

Malzeme Kodu	B_4C (Hac. %)	SiC (Hac. %)
100_ B_4C	100	0
8200	80	20
7300	70	30
6400	60	40

Çizelge 4.1’ de yer alan (100_ B_4C dışındaki) malzeme kodlarında ilk iki rakam sırasıyla bor karbür ve silisyum karbürün malzeme içindeki birbirine oranını temsil etmektedir. Daha sonra gelen iki rakam ise, iki basamaklı sayı olarak ifade edilmekte olup malzeme içerisindeki hacimce % TiB_2 katkısını göstermektedir. Bu grupta TiB_2 katkısı olmadığı için son iki rakam “00” olarak düzenlenmiştir.

İkinci grup %80 B_4C -%20 SiC kompozit malzemesi ve %80 B_4C -%20 SiC kompozit malzemelerine %2 ve %4 TiB_2 katkı yapılması ile elde edilen kompozit malzemelerden oluşmaktadır. Bu grupta TiB_2 katkısının ve değişiminin malzemelerin radyasyon karşısındaki davranışları üzerine etkisinin incelenmesi hedeflenmiştir. Çizelge 4.2’de %2 ve %4 TiB_2 katkılı %80 B_4C -%20 SiC kompozit malzemelerin kodları ve malzeme yapısı verilmektedir.

Çizelge 4.2 : %80 B₄C-%20SiC kompozit malzemesi ile %2 ve %4 TiB₂ katkılı %80 B₄C-%20SiC kompozit malzemelerin kodları ve malzeme yapısı (Akarsu, 2009).

Malzeme Kodu	B ₄ C (Hac. %)	SiC (Hac. %)	TiB ₂ (Hac. %)	
			Mikro	Nano
8200	80	20	0	0
8202_m	78,4	19,6	2	0
8204_m	76,8	19,2	4	0

Çizelge 4.2’ de yer alan malzeme kodlarında ilk iki rakam sırasıyla bor karbür ve silisyum karbürün malzeme içindeki birbirine oranını temsil etmektedir. Daha sonra gelen iki rakam ise, iki basamaklı sayı olarak ifade edilmekte olup malzeme içerisindeki hacimce % TiB₂ katkısını göstermektedir. TiB₂ katkılı kompozit malzeme kodların sonunda yer alan “m” harfi ise ortalama TiB₂ parçacık boyutunun mikron (3,851 µm) mertebesinde olduğunu ifade etmektedir.

Üçüncü grup %2 ve %4 TiB₂ katkılı %80 B₄C-%20SiC kompozit malzemelerde farklı parçacık boyutlarında TiB₂ katkısı ile elde edilmiş kompozit malzemelerden oluşmaktadır. Bu grupta TiB₂ parçacık boyutunun, malzemelerin radyasyon karşısındaki davranışları üzerine etkisinin incelenmesi hedeflenmiştir. Çizelge 4.3’de %2 ve %4 mikron (3,851 µm) ve nano (~170 nm) boyutta TiB₂ tozu katkılı %80 B₄C-%20SiC kompozit malzemelerin kodları ve malzeme yapısı verilmektedir.

Çizelge 4.3 : %2 ve %4 mikron ve nano TiB₂ katkılı %80 B₄C-%20SiC kompozit malzemelerin kodları ve malzeme yapısı (Akarsu, 2009).

Malzeme Kodu	B ₄ C (Hac. %)	SiC (Hac. %)	TiB ₂ (Hac. %)	
			Mikro	Nano
8202_m	78,4	19,6	2	0
8202_n	78,4	19,6	0	2
8204_m	76,8	19,2	4	0
8204_n	76,8	19,2	0	4

Çizelge 4.3’ te yer alan malzeme kodlarında ilk iki rakam sırasıyla bor karbür ve silisyum karbürün malzeme içindeki birbirine oranını temsil etmektedir. Daha sonra gelen iki rakam ise, iki basamaklı sayı olarak ifade edilmekte olup malzeme içerisindeki hacimce % TiB₂ katkısını göstermektedir. TiB₂ katkılı kompozit malzeme kodların sonunda yer alan “m”ve “n” harfleri ise ortalama TiB₂ parçacık boyutunun sırasıyla “mikron” ve “nano” mertebesinde olduğunu ifade etmektedir.

Dördüncü grup %70 B₄C-%30SiC kompozit malzemesi ve %70 B₄C-%30SiC kompozit malzemelerine %2 ve %4 TiB₂ katkı yapılması ile elde edilen kompozit malzemelerden oluşmaktadır. Bu grupta TiB₂ katkısının ve değişiminin malzemelerin radyasyon karşısındaki davranışları üzerine etkisinin incelenmesi hedeflenmiştir. Çizelge 4.2’de %2 ve %4 TiB₂ katkılı %70 B₄C-%30SiC kompozit malzemelerin kodları ve malzeme yapısı verilmektedir.

Çizelge 4.4 : %70 B₄C-%30SiC kompozit malzemesi ile %2 ve %4 TiB₂ katkılı %70 B₄C-%30SiC kompozit malzemelerin kodları ve malzeme yapısı (Akarsu, 2009).

Malzeme Kodu	B ₄ C (Hac. %)	SiC (Hac. %)	TiB ₂ (Hac. %)	
			Mikro	Nano
7300	70	30	0	0
7302_m	68,6	29,4	2	0
7304_m	67,2	28,8	4	0

Çizelge 4.4’ de yer alan malzeme kodlarında ilk iki rakam sırasıyla bor karbür ve silisyum karbürün malzeme içindeki birbirine oranını temsil etmektedir. Daha sonra gelen iki rakam ise, iki basamaklı sayı olarak ifade edilmekte olup malzeme içerisindeki hacimce % TiB₂ katkısını göstermektedir. TiB₂ katkılı kompozit malzeme kodların sonunda yer alan “m” harfi ise ortalama TiB₂ parçacık boyutunun mikron (3,851 µm) mertebesinde olduğunu ifade etmektedir.

Beşinci grup %2 ve %4 TiB₂ katkılı %70 B₄C-%30SiC kompozit malzemelerde farklı parçacık boyutlarında TiB₂ katkısı ile elde edilmiş kompozit malzemelerden oluşmaktadır. Bu grupta TiB₂ parçacık boyutunun, malzemelerin radyasyon karşısındaki davranışları üzerine etkisinin incelenmesi hedeflenmiştir. Çizelge 4.3’de %2 ve %4 mikro ve nano TiB₂ katkılı %70 B₄C-%30SiC kompozit malzemelerin kodları ve malzeme yapısı verilmektedir. Çizelge 4.5’ te yer alan malzeme kodlarında ilk iki rakam sırasıyla bor karbür ve silisyum karbürün malzeme içindeki birbirine oranını temsil etmektedir. Daha sonra gelen iki rakam ise, iki basamaklı sayı olarak ifade edilmekte olup malzeme içerisindeki hacimce % TiB₂ katkısını göstermektedir. TiB₂ katkılı kompozit malzeme kodların sonunda yer alan “m” ve “n” harfleri ise ortalama TiB₂ parçacık boyutunun sırasıyla “mikron” ve “nano” mertebesinde olduğunu ifade etmektedir.

Çizelge 4.5 : %2 ve %4 mikro ve nano TiB₂ katkılı %70 B₄C-%30SiC kompozit malzemelerin kodları ve malzeme yapısı (Akarsu, 2009).

Malzeme Kodu	B ₄ C (Hac. %)	SiC (Hac. %)	TiB ₂ (Hac. %)	
			Mikro	Nano
7302_m	68,6	29,4	2	0
7302_n	68,6	29,4	0	2
7304_m	67,2	28,8	4	0
7304_n	67,2	28,8	0	4

Altıncı grup %60 B₄C-%40SiC kompozit malzemesi ve %60 B₄C-%40SiC kompozit malzemelerine %2 ve %4 TiB₂ katkı yapılması ile elde edilen kompozit malzemelerden oluşmaktadır. Bu grupta TiB₂ katkısının ve değişiminin malzemelerin radyasyon karşısındaki davranışları üzerine etkisinin incelenmesi hedeflenmiştir. Çizelge 4.2’de %2 ve %4 TiB₂ katkılı %60 B₄C-%40SiC kompozit malzemelerin kodları ve malzeme yapısı verilmektedir.

Çizelge 4.6 : %60 B₄C-%40SiC kompozit malzemesi ile %2 ve %4 TiB₂ katkılı %60 B₄C-%40SiC kompozit malzemelerin kodları ve malzeme yapısı (Akarsu, 2009).

Malzeme Kodu	B ₄ C (Hac. %)	SiC (Hac. %)	TiB ₂ (Hac. %)	
			Mikro	Nano
6400	60	40	0	0
6402_m	58,8	39,2	2	0
6404_m	57,6	38,4	4	0

Çizelge 4.6’ de yer alan malzeme kodlarında ilk iki rakam sırasıyla bor karbür ve silisyum karbürün malzeme içindeki birbirine oranını temsil etmektedir. Daha sonra gelen iki rakam ise, iki basamaklı sayı olarak ifade edilmekte olup malzeme içerisindeki hacimce % TiB₂ katkısını göstermektedir. TiB₂ katkılı kompozit malzeme kodların sonunda yer alan “m” harfi ise ortalama TiB₂ parçacık boyutunun mikron mertebesinde olduğunu ifade etmektedir.

Yedinci grup, %2 ve %4 TiB₂ katkılı %60 B₄C-%40SiC kompozit malzemelerde farklı parçacık boyutlarında TiB₂ katkısı ile elde edilmiş kompozit malzemelerden oluşmaktadır. Bu grupta TiB₂ parçacık boyutunun, malzemelerin radyasyon karşısındaki davranışları üzerine etkisinin incelenmesi hedeflenmiştir. Çizelge 4.3’de %2 ve %4 mikro (3,851 µm) ve nano (~170 nm) TiB₂ katkılı %80 B₄C-%20SiC kompozit malzemelerin kodları ve malzeme yapısı verilmektedir.

Çizelge 4.7 : %2 ve %4 mikro ve nano TiB₂ katkılı %60 B₄C-%40SiC kompozit malzemelerin kodları ve malzeme yapısı (Akarsu, 2009).

Malzeme Kodu	B ₄ C (Hac. %)	SiC (Hac. %)	TiB ₂ (Hac. %)	
			Mikro	Nano
6402_m	58,8	39,2	2	0
6402_n	58,8	39,2	0	2
6404_m	57,6	38,4	4	0
6404_n	57,6	38,4	0	4

Çizelge 4.7’ de yer alan malzeme kodlarında ilk iki rakam sırasıyla bor karbür ve silisyum karbürün malzeme içindeki birbirine oranını temsil etmektedir. Daha sonra gelen iki rakam ise, iki basamaklı sayı olarak ifade edilmekte olup malzeme içerisindeki hacimce % TiB₂ katkısını göstermektedir. TiB₂ katkılı kompozit malzeme kodların sonunda yer alan “m”ve “n” harfleri ise ortalama TiB₂ parçacık boyutunun sırasıyla “mikron” ve “nano” mertebesinde olduğunu ifade etmektedir.

Sekizinci grup, normal sinterleme ile elde edilen ve farklı ortalama parçacık boyutlarında B₄C içeren B₄C-TiB₂ kompozit malzemelerinden oluşmaktadır. Bu grup malzemeler ile B₄C parçacık boyutunun B₄C-TiB₂ kompozitlerinin radyasyon karşısındaki davranışlarının üzerine etkilerinin incelenmesi planlanmaktadır. Çizelge 4.8’de normal sinterleme ile elde edilen ve farklı ortalama parçacık boyutlarında B₄C içeren B₄C-TiB₂ kompozit malzemelerin kodları ve yapısı verilmektedir.

Çizelge 4.8 : Normal Sinterlenmiş B₄C-TiB₂ kompozit malzemelerin kodları ve yapısı. (Aktop, 2010)

Malzeme Kodu	B ₄ C	B ₄ C	TiB ₂
	Mikron	Mikron altı	
8515_m	85	-	15
8515_ms	42,5	42,5	15
8515_s	-	85	15

Çizelge 4.8’ de yer alan malzeme kodlarında ilk iki rakam iki basamaklı sayı olarak malzeme içindeki hacimce B₄C yüzdesini, sonraki iki rakam ise sayı olarak malzeme içindeki hacimce SiC yüzdesini temsil etmektedir. Kodların sonunda yer alan “m”, “s” ve “ms” harfleri sırasıyla “mikron (3,997 µm)”, “mikronaltı (0,405 µm)” ve “mikron+mikronaltı (2,201 µm)” ortalama toz parçacık boyutlarında B₄C kullanılarak üretildiğini ifade etmektedir.

Dokuzuncu grup, reaksiyon sinterleme ile elde edilen ve farklı ortalama parçacık boyutlarında B₄C içeren B₄C-TiB₂ kompozit malzemelerinden oluşmaktadır. Bu grup

malzemeler ile B_4C parçacık boyutunun B_4C-TiB_2 kompozitlerinin radyasyon karşısındaki davranışlarının üzerine etkilerinin incelenmesi planlanmaktadır. Çizelge 4.8’de normal sinterleme ile elde edilen ve farklı ortalama parçacık boyutlarında B_4C içeren B_4C-TiB_2 kompozit malzemelerin kodları ve yapısı verilmektedir.

Çizelge 4.9 : Reaksiyon Sinterlenmiş B_4C-TiB_2 kompozit malzemelerin kodları ve yapısı. (Aktop, 2010).

Malzeme Kodu	B_4C Mikron	B_4C Mikron altı	TiB_2	TiO_2	C
R8515_m	77	-	-	15	8
R8515_ms	38,5	38,5	-	15	8
R8515_s	-	77	-	15	8

Çizelge 4.8’ de yer alan malzeme kodlarında ilk iki rakam iki basamaklı sayı olarak malzeme içindeki hacimce B_4C yüzdesini, sonraki iki rakam ise sayı olarak malzeme içindeki hacimce SiC yüzdesini temsil etmektedir. Kodların sonunda yer alan “m”, “s” ve “ms” harfleri sırasıyla “mikron (3,997 μm)”, “mikronaltı (0,405 μm)” ve “mikron+mikronaltı (2,201 μm)” ortalama toz parçacık boyutlarında B_4C kullanılarak üretildiğini ifade etmektedir.

Çizelge 4.1-Çizelge 4.7’ de tanıtılan kompozit malzemeler malzemeler sıcak pres sinterleme tekniği ile üretilmiştir. 2250 $^{\circ}C$ ’de 130 MPa basınç altında 2 saat süre ile sinterleme gerçekleştirilmiştir (Akarsu, 2009, Büyük ve diğ., 2012b). Malzemelerde ortalama partikül boyutu bor karbür için 2,725 μm , silisyum karbür için 1,845 μm ve titanyum diborür için 3,851 μm olmaktadır. Öğütme sonucunda ortalama titanyum diborür partikül boyutu yaklaşık 170 nm’ye kadar düşürülmüş ve iki farklı büyüklükte TiB_2 parçacık kullanılarak kompozit malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir (Akarsu, 2009). B_4C , B_4C-SiC ve TiB_2 katkılı B_4C-SiC kompozitlerinin genel görüntüsü Şekil 4.2’de verilmektedir.

Yukarıda dokuz gruba ayrılarak tanıtılan bor karbür içeren kompozit malzemelerin bazı özellikleri Çizelge 4.10’da verilmektedir.

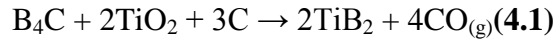
Çizelge 4.10 : Çalışılan bor karbür içeren kompozit malzemelerin bazı özellikleri (Akarsu, 2009, Aktop, 2010).

Malzeme Kodu	Kırılma Mukavemeti (MPa)	Sertlik (Vickers)	Yoğunluk (g/cm ³) ± 0,001
100_B4C	-	-	2,177
8200	218,925±29,14	1777,6±93,22	2,244
7300	122,733±14,45	1636,0±60,12	2,373
6400	215,775±30,27	1930,5±232,23	2,409
8202_m	261,425±25,60	1902,57±131,8	2,361
8202_n	233,25±36,45	1868,29±96,74	2,374
7302_m	241,75±45,03	1695,2±100,34	2,446
7302_n	259,825±27,25	1938,25±99,9	2,451
6402_m	223,23±50,52	1640,28±61,9	2,437
6402_n	262,6±8,15	1950,28±70,52	2,457
8204_m	276,125±78,79	1983,67±56,78	2,426
8204_n	279,5±45,51	2211,80±168,17	2,476
7304_m	213,93±34,61	1880,87±113,36	2,497
7304_n	281,5±56,68	2135,62±172,56	2,499
6404_m	240,825±18,29	1866,62±108,9	2,512
6404_n	275,133±54,01	1893,12±59,55	2,531
8515_m	363±16	2952±149	2,685
8515_ms	375±51	3146±146	2,714
8515_s	343±68	2843±182	2,751
R8515_m	177±24	2745±142	2,604
R8515_ms	74±12	2606±181	2,661
R8515_s	197±72	2805±125	2,678



Şekil 4.2 : B₄C, B₄C-SiC ve TiB₂ katkılı B₄C-SiC kompozitlerinin genel görünümü.

Çizelge 4.8 ve Çizelge 4.9’da tanıtılan bor karbür-titanyum diborür kompozit malzemeleri 2250 °C sıcaklıkta 50 MPa basınç altında 1 saat süre ile sinterlenmişlerdir. Kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan ortalama bor karbür partikül boyutu mikron (m) kodlu malzemeler için 3,997 µm ve mikronaltı (s) kodlu malzemeler için 0,405 µm olarak belirtilmektedir. Ortalama TiB₂ partikül boyutu 4,365 µm, TiO₂ partikül boyutu 3,822 µm ve karbon siyahı için 3,729 µm olarak ölçülmüştür (Aktop, 2010).Reaksiyon sinterleme ile üretilen B₄C-TiB₂ kompozitleri Eşitlik 4.1’deki reaksiyon esasına göre üretilmiştir.



Bor karbür-titanyum diborür kompozit malzemeleri 2250 °C sıcaklıkta 50 MPa basınç altında 1 saat süre ile sinterlenmişlerdir. Kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan ortalama bor karbür partikül boyutu mikron (m) kodlu malzemeler için 3,997 µm ve mikronaltı (s) kodlu malzemeler için 0,405 µm olarak belirtilmektedir. Ortalama TiB₂ partikül boyutu 4,365 µm, TiO₂ partikül boyutu 3,822 µm ve karbon siyahı için 3,729 µm olarak ölçülmüştür (Aktop, 2010). B₄C-TiB₂ kompozit malzemelerinin genel görüntüsü Şekil 4.3’de verilmektedir.



Şekil 4.3 : B₄C-TiB₂ kompozit malzemelerinin genel görünümü.

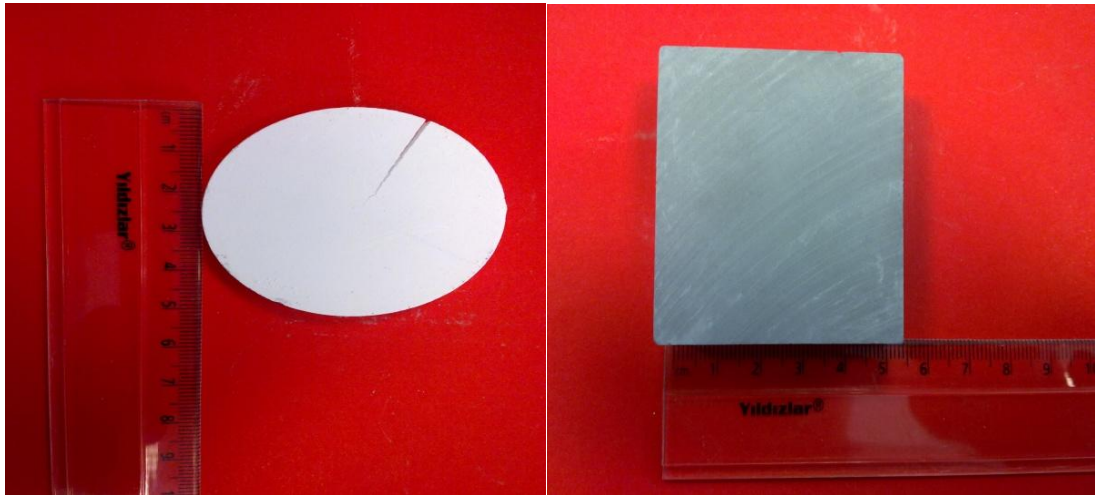
B₄C-TiB₂ kompozit malzemelerinin bazı fiziksel özellikleri Çizelge 4.4’te verilmektedir.

Çizelge 4.11 : B₄C-TiB₂ kompozit malzemelerinin bazı fiziksel özellikleri (Aktop, 2010).

Malzeme (Kod)	Kırılma Mukavemeti, MPa	Sertlik (Vickers)	Yoğunluk (g/cm ³) ±0,001
8515_m	363±16	2952±149	2,685
8515_ms	375±51	3146±146	2,714
8515_s	343±68	2843±182	2,751
R8515_m	177±24	2745±142	2,604
R8515_ms	74±12	2606±181	2,661
R8515_s	197±72	2805±125	2,678

4.1.2 Çalışılan bor nitrür içeren malzemeler

Deneylede kullanılmak üzere Anadolu Üniversitesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği öğretim üyesi Prof. Dr. Nuran Ay tarafından üretilen hegzagonal bor nitrür (hBN) ve hegzagonal bor nitrür-titanyum diborür (hBN-TiB₂) kompozit malzemeler temin edilmiştir. Temin edilen bor nitrür ve bor nitrür-titanyum diborür malzemelerin üretim koşulları 1800 °C sıcaklık, azot ortamında, basınçsız ve 2 saat süre olarak belirtilmiştir. hBN-TiB₂ kompozit malzemelerindeki hBN oranı kütlece %55 olmaktadır (Büyük ve diğ., 2012a). hBN'nün yoğunluğu 1,5 g/cm³ ve hBN-TiB₂ kompozitlerin yoğunluğu 2,214 g/cm³ olarak ölçülmüştür. Şekil 4.4' te hBN ve hBN-TiB₂ malzemelerin genel görüntüsü verilmektedir.



Şekil 4.4 : hBN (beyaz) ve hBN-TiB₂ (gri) malzemelerin genel görüntüsü.

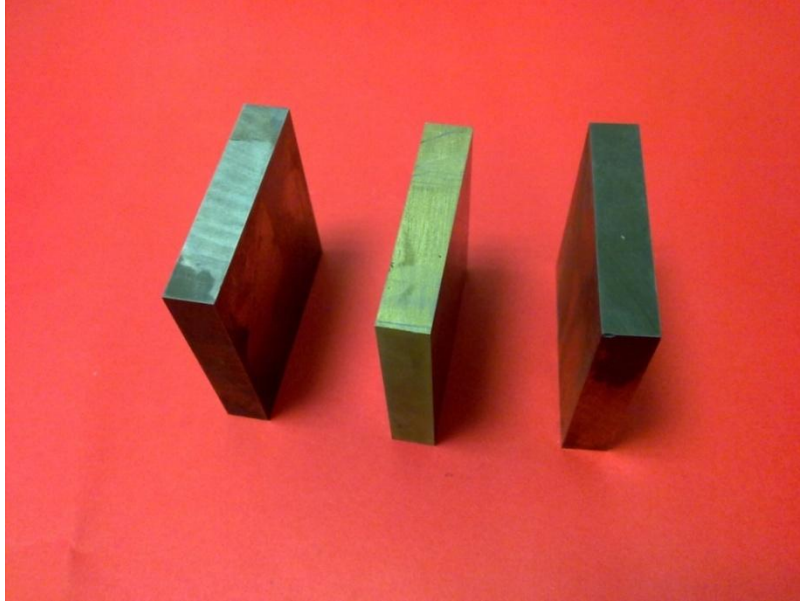
4.1.3 Çalışılan tungsten içeren malzemeler

Temin edilen tungsten içeren malzemeler saf tungsten (W) ve tungsten karbür-kobalt malzemelerdir. Saf tungsten malzemenin genel görüntüsü Şekil 4.5'te verilmektedir.



Şekil 4.5 : Çalışılan Tungsten (W) malzenin genel görüntüsü.

Çalışılan Tungsten karbür malzemesi kütlece % 15 oranında kobalt içermektedir. Tungsten karbür ile kobalt birlikte bulunması nedeniyle Tungsten karbür-kobalt (WC_Co) olarak adlandırılmıştır. Şekil 4.6' te çalışılan WC_Co malzemenin görünümü verilmektedir.



Şekil 4.6 : Çalışılan tungsten karbür-kobalt malzemenin (WC_Co) görünümü.

Tungsten içeren malzemelerin gama zırh özellikleri incelenirken kurşun malzeme ile karşılaştırılmıştır. Bu bağlamda karşılaştırmanın yapıldığı standart kurşun seti şekil 4.7'te görülmektedir.



Şekil 4.7 : Çalışılan standart kurşun malzeme seti.

Tungsten içeren malzemelerin bazı fiziksel özellikleri Çizelge 4.5’te verilmektedir.

Çizelge 4.12 : Tungsten içeren malzemelerin bazı özellikleri (Url-6).

Malzeme	Mol Kütlesi (g/mol)	Yoğunluk (g/cm ³)	Erime Sıcaklığı (°C)
W	183,84	19,3 (ref)	3410
WC_Co	254,78	12,6265	-
Pb	207,2	11,3386	327,5

4.2 Deney Düzeneginin Tanıtımı

Malzemelerin radyasyon karşısındaki davranışlarının incelenmesi amacıyla farklı radyasyon kaynakları ile çalışılmıştır. Malzeme ile etkileşimi açısından önemli olan üç farklı iyonizan radyasyon ile çalışılması benimsenmiştir.

Malzeme özellikleri doğrultusunda değerlendirilmek istenen radyasyon tiplerine yönelik deney düzenekleri tasarlanmıştır. Bu bağlamda tasarlanan deney düzeneklerini;

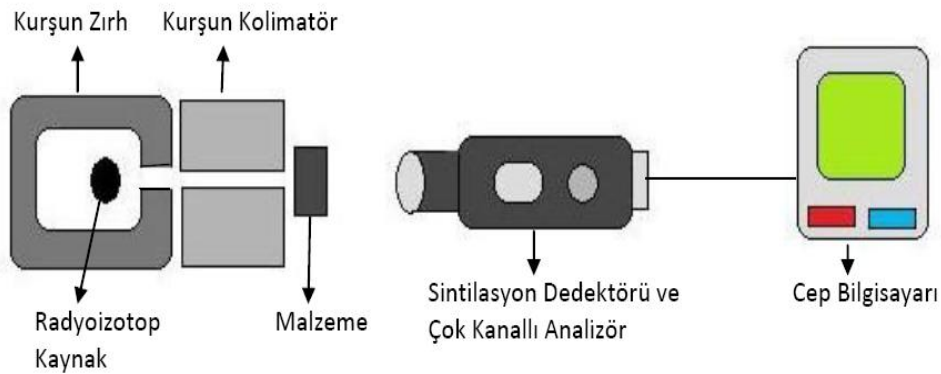
- Gama deney düzenegi
- Nötron deney düzenegi

olarak gruplandırmak mümkündür.

4.2.1 Gama deney düzeneğinin tanıtımı

Gama deney düzeneği gama transmisyon tekniğinin kullanımı doğrultusunda oluşturulmuştur. Gama transmisyon tekniği, gama ışınlarının maddeye nüfuz edebilme ve malzemeyi kat edebilme özelliğine dayanmaktadır. Bu tekniğin temel prensibi; detektör ve radyoizotopun, malzemenin iki farklı tarafına, aynı ekseninde olmak üzere yerleştirilmesi esasına dayanmaktadır. Detektör, diğer tarafta bulunan radyasyon kaynağından yayınlanan ve malzemeyi geçip detektör tarafına ulaşan radyasyon şiddetini ölçmektedir. Detektörde ölçülen radyasyon şiddeti, kaynaktan çıkan radyasyonun malzemeyi kat ederek geçen miktarı olmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, saçılan radyasyonun ölçülmemesi ve sonuçların sağlıklı olması için kaynak ve detektörün iyi bir şekilde kolime edilmeleri ve zırhlanmalarıdır.

Numuneli hale ilişkin olarak, detektörden alınan sayım, numunesiz haline ilişkin olarak alınmış sayımla karşılaştırılarak ve amaca göre yorumlanıp değerlendirilerek istenen parametre tayini yapılabilmektedir (Knoll, 2002, Gardner ve Ely, 1967). Transmisyon tekniğine göre çalışan ve bu doktora tezinde kullanılan gama deney düzeneğinin şematik görüntüsü Şekil 4.8’de verilmektedir.



Şekil 4.8 : Gama Transmisyon Tekniğinin Genel Şeması (Büyük ve diğ. 2012b, Büyük ve Tuğrul, 2009).

Yapılan araştırmalar ve çalışmalar sonucunda malzemelerin gama transmisyon tekniği ile gama geçirgenliklerinin incelenebilmesi için imkanlar dahilinde ölçüm için kullanılması planlanan malzemelerin özelliklerine uygun sistem oluşturulması planlanmıştır. Bu bağlamda oluşturulması planlanan sistemin elemanları;

- 1- Radyoizotop Kaynak
- 2- Detektör

- 3- Çok Kanallı Analizör
- 4- Kolimatör
- 5- Zırh Malzemeleri

olmaktadır.

4.2.1.1 Gama kaynakları

Deneysel çalışmalarda endüstriyel uygulamalarda sıkça kullanılanve İTÜ Enerji Enstitüsü Radyoizotop Laboratuvarı imkanları dahilinde bulunan Cs-137 ve Co-60 gama radyoizotop kaynaklarının kullanılması fikri benimsenmiştir. Cs-137 ve Co-60 radyoizotop kaynakları, nükleer uygulamalarda ve deneysel çalışmalarda gama kaynağı olarak sıkça kullanılan radyasyon kaynakları arasında yer almaktadır. Cs-137, 30.1 yıl olan yarı ömrü ile yapay radyoizotoplar içinde uzun yarı ömürlü olarak değerlendirilebilen bir kaynak durumundadır. Bu radyoizotop kaynağın 0,662 MeV enerjide tek bir foto-piki bulunmaktadır. Cs-137 gama radyoizotop kaynağının kullanımı ile deneylerde mono enerjitik (tek enerjili) ve çift oluşum bölgesinden uzak bir kaynak ile çalışılmış olunacaktır.

Co-60 gama radyoizotop kaynağı 5.23yıl yarı ömürlü bir kaynak olmaktadır. 1,17 ve 1,33 MeV enerjilerinde iki ana pik değerine sahip olan Co-60'ın ortalama enerji piki 1,25 MeV olarak kabul edilmektedir (Croft, 2006). Co-60 gama radyoizotopu ile çalışılması neticesinde çift oluşum bölgesinde bulunan bir kaynak ile çalışılmış olunacaktır.

Çalışılan Cs-137 ve Co-60 radyoizotop kaynaklarına ilişkin bilgiler Çizelge 4.5'te verilmektedir.

Çizelge 4.13 : Deneylerde Kullanılan Cs-137 Radyoizotop Kaynağının Özellikleri (Büyük ve diğ., 2013, Knoll, 2002).

Gama Radyoizotop Kaynağı	Yarı Ömrü	Enerjisi (MeV)	Çalışılan Aktivite
Cs-137	30,1 yıl	0,662	8,89 μ Ci
Co-60	5,23 yıl	1,17 1,33	14,1 μ Ci

Cs-137 ve Co-60 radyoizotop kaynakların görüntüleri Şekil 4.9 ve 4.10'de verilmektedir.



Şekil 4.9 : Çalışılan Cs-137 gama radyoizotop kaynağı.



Şekil 4.10 : Çalışılan Co-60 gama radyoizotop kaynağı.

4.2.1.2 Gama dedektörü

İTÜ Enerji Enstitüsü'nün Radyasyon Ölçümleri Laboratuvarı imkanları dahilinde deneylerde PM1401K Model sintilasyon dedektörü kullanılmıştır. PM1401K model sintilasyon dedektörü alfa, beta, gama, ölçümü yapabilen içinde GM, Sintilasyon Dedektörü ve çok kanallı analizör bulunduran kompakt bir cihazdır. PM1401K model sintilasyon dedektörün genel özellikleri Tablo 3.8 de verilmektedir.

Çizelge 4.14 : PM1401K Sintilasyon Detektörün Genel Özellikleri (Url-5).

Standartlara Uygunluk	IEC 846, ANSI N42.33(2), ANSI N42.34, IEC 62327
Araştırma ve spektrum γ-kanalı	
Detektör	CsI(Tl)
^{137}Cs için hassasiyet	200 s ⁻¹ /($\mu\text{Sv/h}$) (2 s ⁻¹ /($\mu\text{R/h}$))
^{241}Am için hassasiyet	200 s ⁻¹ /($\mu\text{Sv/h}$) (2 s ⁻¹ /($\mu\text{R/h}$))
Enerji Aralığı	0.06 - 3.0 MeV (Search Modu için 0.03 - 3.0 MeV)
Sintilasyon spektrum için kanal sayısı	1024
Kalıcı Hafızada tutulabilen spektrum sayısı	100 den fazla
Nötron Araştırma Kanalı	
Detektör	Yavaş neutron sayıcı
Enerji Aralığı	0.025 eV - 14 MeV
γ- ölçüm kanalı	
Detektör	GM-sayıcı
Doz oranı	0.1 $\mu\text{Sv/h}$ - 100 mSv/h
Enerji aralığı	0.015 - 15 MeV
α ve β- ölçüm kanalı	
Detektör	GM-sayıcı
α -akı yoğunluğu ölçüm aralığı	15 min ⁻¹ cm ⁻² to 10 ⁵ min ⁻¹ cm ⁻²
β -akı yoğunluğu ölçüm aralığı	6 min ⁻¹ cm ⁻² to 10 ⁵ min ⁻¹ cm ⁻²
β ölçüm enerji aralığı	0.15 - 3.5 MeV
Fiziksel Parametreler	
Boyutlar	242 x 58 x 57 mm (9½" x 2¼" x 2¼")
Ağırlık	650 g (22.9 oz)
Çevresel Karakterisitikler	
Sıcaklık	-30°C to 50°C (-22°F to 122°F)
Nem	up to 95 % at 35 °C (95 °F)
Çevresel Koruma	IP65

Deneyleerde kullanılan PM1401K sintilasyon detektör Şekil 4.11' da görölmektedir.



Şekil 4.11 : Çalışılan PM1401K model sintilasyon detektörü.

4.2.1.3 Çok kanallı analizör

Deneyleerde kullanılan sintilasyon dedektörü içinde çok kanallı analizör özelliğini de barındırdığından çok kanallı analizör olarak PM1401K sintilasyon dedektörü ile birlikte detektörle uyumlu çalışabilen HP Marka IPAQ cep bilgisayarını kullanılmıştır.

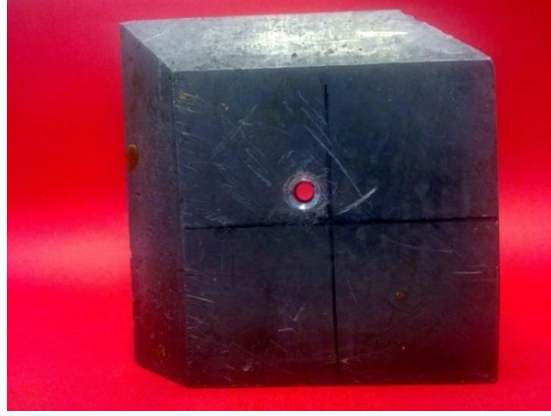
Cep bilgisayarının detektörle uzaktan kablosuz (bluetooth) bağlantı kurabilme özelliğine sahip olması, deneysel çalışmalar sırasında nükleer güvenlik ve sağlık fiziği açısından da olumlu ve uygun şartların sağlanmasına olanak vermektedir. Kablosuz bağlantı ile detektörle uzaktan bağlantı kurularak ölçümlerin nükleer güvenliğinden uygun bir şekilde yapılması mümkün olabilmektedir. Şekil 4.12’de sintilasyon dedektörü ile uyumlu çalışabilen cep bilgisayarını görülmektedir.



Şekil 4.12 : Sintilasyon dedektörü ile uyumlu çalışabilen cep bilgisayarını.

4.2.1.4 Kolimatör

Deneyleerde malzeme özelliklerine uygun kolimatörlerin kullanılması gerekmektedir. bu bağlamda kurşundan imal edilmiş 7mm çapında ve 5 cm uzunluğunda ışınlama ralığı bulunan kolimatör deneyleerde kullanılmıştır. Böylece, uygun gama ışın demeti elde edilebilmiştir. Şekil 4.13’de deneyleerde kullanılan kolimatör görülmektedir.



Şekil 4.13 : Deneysel kullanılması planlanan kolimatör.

4.2.1.5 Zırh malzemeleri

İTÜ Enerji Enstitüsü Radyoizotop Laboratuvarı imkanları dahilinde zırh elemanı tuğlalar, nükleer güvenlik şartlarını sağlamak üzere kullanılmışlardır. Böylelikle, deneysel çalışma şartları için radyolojik güvenlik açısından uygun şartlar tesis edilmeye çalışılmıştır. Özel imal edilmiş birbirine geçmeli olarak yerleştirilebilen kurşun tuğlaların birbiri üzerine yerleştirilmesi ile radyasyona karşı bariyerler tesis edilmiştir. Şekil 4.14’te kurşun zırh elemanı tuğlalar ile tesisi edilmiş bariyerler görülmektedir.



Şekil 4.14 : Nükleer güvenlik için kurşun tuğlalardan oluşturulan hücre.

4.2.1.6 Mikrometre ile kalınlık tayini

Çalışılan malzemelerin kalınlıkları İTÜ Enerji Enstitüsü’nün Radyasyon Ölçümleri Laboratuvarı imkanları dahilinde olan mikrometre yardımı ile tayin edilmiştir. Bu amaçla MİTUTOYO Digimatic Micrometer marka 0-25 (± 0,0005) mm arasında

ölçüm yapabilen bir mikrometre ile çalışılmıştır. Deneylede kullanılan mikrometrenin fotoğrafı Şekil 4.15'te görülmektedir.



Şekil 4.15 : MITUTOYO marka mikrometre.

4.2.1.7 Yoğunluk ölçümü

Malzemelerin kütle zayıflatma katsayılarının ölçümünde kullanılması planlanan yoğunluk değerleri Radwag Marka Hassas terazi ve yoğunluk ölçüm kiti kullanılarak hesaplanmıştır. Hassas terazi ve hassas terazi ile birlikte kullanılabilen yoğunluk ölçüm kitinin genel görünümü Şekil 4.16'da verilmektedir.



Şekil 4.16 : Radwag marka hassas terazi ve yoğunluk ölçüm kiti.

4.2.1.8 Gama deney düzeneği

Deney sistemi; Bölüm 4.2 içinde tanıtilen elemanlar ile numune elemanların birbirine göre uygun şekilde yerleştirilmesi ile oluşturulmuştur. Böylelikle, deneysel çalışmaların gerçekleştirilebilmesi için sayım sistemini oluşturan dedektör ile aynı ekseninde olacak şekilde yerleştirilen içine radyoizotop kaynak konmuş kolimatör ve bunların arasına yerleştirilen numuneler deney düzeneği olarak kullanılmıştır. Ayrıca, nükleer güvenliği sağlamak için kullanılan koruyucu zırh elemanı tuğlalalar da deney düzeneği içinde yer almıştır. Şekil 4.17’te deney düzeneğinin üstten görüntüsü verilmektedir.



Şekil 4.17 : Gama deney sisteminin üstten görünümü.

4.2.2 Nötron deney düzeneğinin tanıtımı

Malzemelerin nötronlar karşısında davranışını araştırmak ve ilgili deneysel çalışmaların yapılabilmesi için nötron transmisyon tekniği prensibine uygun bir deney düzeneği oluşturulması benimsenmiştir. Numunelerin nötron geçirgenliklerinin incelenebilmesi için İTÜ Enerji Enstitüsü’nde bulunan İTÜ TRIGA Mark-II Eğitim ve Araştırma Reaktörü mekanı imkanları kullanılarak amaca uygun bir deney düzeneği oluşturulmuştur. Oluşturulan deney düzeneğinin elemanları;

- Pu-Be Nötron Kaynağı
- Nötron Detektörü
- Nötron Kolimatörü

- Nötron Zırh Elemanları

olmaktadır.

4.2.2.1 Pu-Be Nötron Kaynağı (Nötron Howitzer, NH-3)

Deneyleerde İTÜ Enerji Enstitüsü'nde bulunan bulunan İTÜ TRIGA Mark-II Eğitim ve Araştırma Reaktörü mekanı içinde bulunan Nuclear Chicago Corporation tarafından üretilen $1,85 \times 10^5$ MBq(5 Ci) aktiviteli (Pu-Be)Nötron Howitzer-3 (NH-3) kaynağı kullanılmıştır (Yiğit, 1996, Nuclear-Chicago, 1960). Howitzer 61 cm çap ve 91cm yüksekliğinde silindirik yapıda çelikten yapılmış bir kabuk içerisinde. Termal ve epitermal nötronlar için iki adet ışınlama kanalı bulunmaktadır. Kaynağın etrafı yaklaşık 25 cm kalınlığında özel parafin ile kapatılmıştır (Gordus, 1967). Nötron akısı 10^5 n/cm²s'dir. Howitzerde üretilen nötronların ortalama enerjisi 4 MeV'dir (Yiğit, 1996). Çizelge 4.15'te deneyleerde kullanılan nötron kaynağının özellikleri verilmektedir.

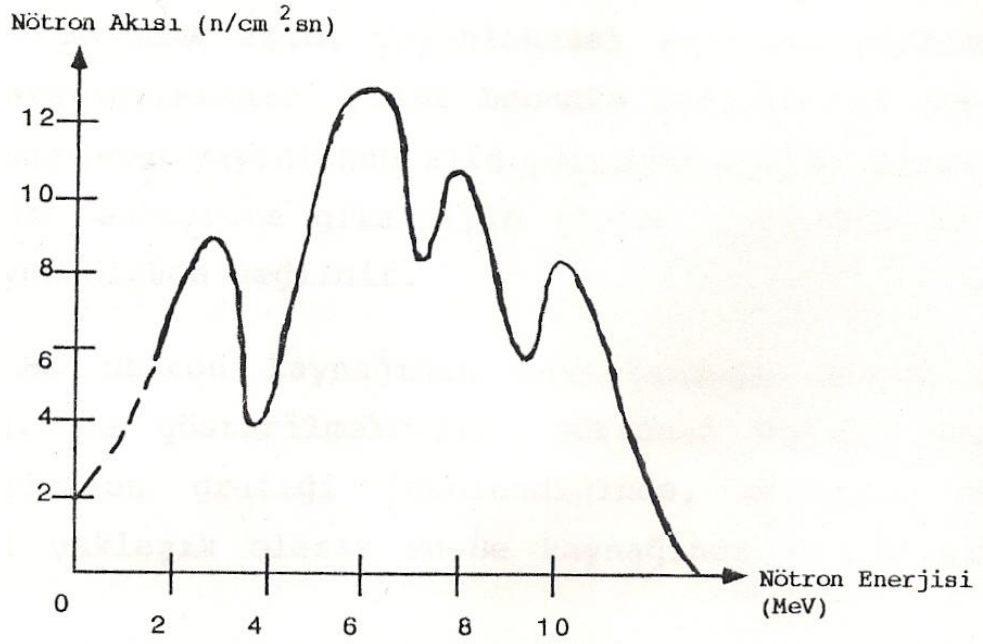
Çizelge 4.15 : PuNötron Kaynağı (Nötron Howitzer, NH-3)'nın genel özellikleri (Url-5).

Nötron Kaynağı	Pu-Be Nötron Kaynağı
Nötron Kaynağı Tipi	Nuclear Chicago Corporation
Nötron üretim Reaksiyonu	(α ,n)
Aktivite	$1,85 \times 10^5$ MBq(5 Ci)
Nötron Akısı	10^5 n/cm ² s
Üreyen Nötronların Ortalama Enerjisi	4 MeV
Işınlama Kanal Sayısı	2
Howitzer'in boyutları	Ø 61 cm x 91 cm
Parafin kalınlığı	25 cm

Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağının genel görüntüsü Şekil 4.17'de verilmektedir. Ek olarak, Howitzer'in nötron enerjisine bağlı akı dağılımı Şekil 4.19'da verilmektedir.

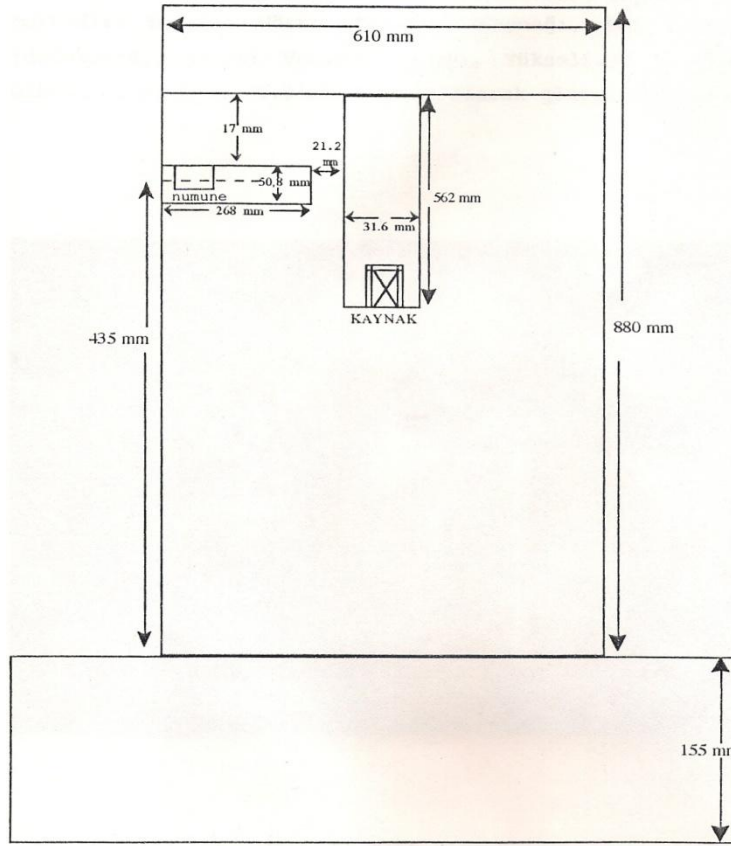


Şekil 4.18 : Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağı .



Şekil 4.19 : Nötron Howitzer-3 kaynağının nötron enerjisi-nötron akısı dağılımı (Yiğit, 1996).

Nötron Howitzer-3 kaynağının iç yapısı Şekil 4.17’de verilmektedir.



Şekil 4.20 : Nötron Howitzer-3 (NH-3) kaynağının iç yapısı (Yiğit, 1996).

Nötron howitzer kaynağında Pu-Be kaynağı üst ortadan 562 mm aşağıda yer almaktadır. Kaynağı ışınlama seviyesine çekmek için Howitzer’in üst yüzeyinde bulunan çubuk kullanılmaktadır (Yiğit, 1996).

4.2.2.2 Nötron dedektörü

Nötron dedektörü olarak PM1401K model çok amaçlı dedektör kullanılmıştır. Genel özellikleri Çizelge 4.7’de verilen ve Bölüm 4.2.1.2’de tanıtilan PM1401K dedektörü kullanılmıştır. Kompakt dedektör içinde bulunan He-3 dedektörü ile 0.025 eV - 14 MeV enerji aralığında nötron sayımı yapılabilmektedir (Url-5)

4.2.2.3 Nötron Kolimatörü

Deneylerde nötron kolimatörü olarak borik asit (H_3BO_3) kullanılmıştır. 10 cm kalınlığında borik asit dolu sistem içerisinde malzeme özelliklerine uygun olarak 1

ve 5 cm çaplarında ağızları kapatılmış borular yardımı ile borik asitten arındırılmış bir delik oluşturulmuştur. Elde edilen delik nötron kaynağı ışınlaşma kanalına denk gelecek şekilde yerleştirilerek nötron demeti oluşturulmuştur. Nötron kolimatörü için kullanılan borik asit ve borulardan oluşan sistemin şematik görüntüsü Şekil 4.21’de verilmektedir.



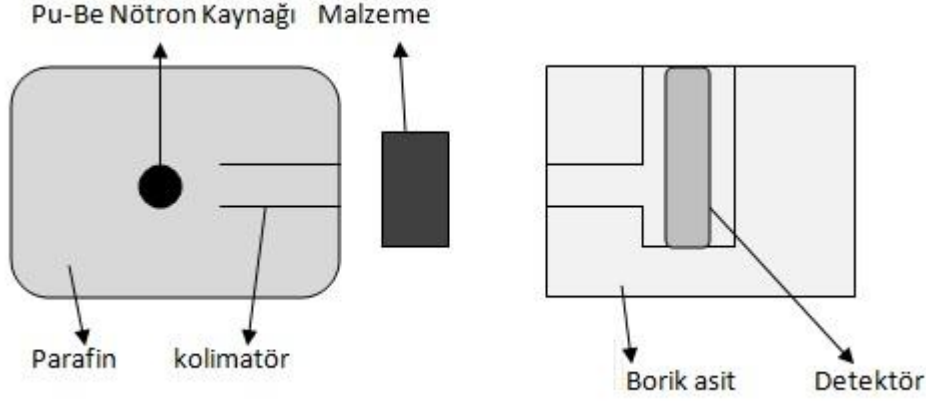
Şekil 4.21 : Nötron zırhlamasında kullanılan borik asit ile oluşturulan zırh ve kolimasyon sistemi.

4.2.2.4 Nötron Zırh Elemanları

Deneylede nötron zırh malzemeleri olarak borik asit ve ağır betonlardan faydalanılmıştır. Nötron dedektörünün zırhlamasında borik asit kullanılırken biyolojik zırhlamada ise ağır betonlar kullanılmıştır. Nötron zırhlamasında kullanılan borik asit ile oluşturulan zırh elemanı Şekil 4.21’de görülmektedir.

4.2.2.5 Nötron deney düzeneği

Deney sistemi; Bölüm 4.2.2 ve alt bölümleri içinde tanıtilen elemanlar ile numune elemanların birbirine göre uygun şekilde yerleştirilmesi ile oluşturulmuştur. Böylelikle, deneysel çalışmaların gerçekleştirilebilmesi için sayım sistemini oluşturan dedektör ile aynı eksende olacak şekilde yerleştirilenve Nötron Howitzer (NH-3) kaynağının ışınlaşma kanalına uygun konuşlandırılmış kolimatör ve bunların arasına yerleştirilen numunelerile nötron zırh elemanları deney düzeneği olarak kullanılmıştır. Şekil 4.22’dedeney düzeneğinin şeması verilmektedir.



Şekil 4.22 : Nötron deney düzeneğinin şematik görüntüsü.

4.3 Deneylerin Yapılışı

Deney düzenekleri oluşturulduktan sonra temin edilen malzemeler ile deneysel uygulamalar yapılmıştır. Gerçekleştirilen deneylerde elde edilen sonuçlar tablolar halinde kaydedilmiştir. Grafik çizimlerinde, eğilim ve hata hesaplamalarında Origin8 bilgisayar programından faydalanılmıştır(Url-7). Ayrıca bileşik sonuçların standart sapma değerlerinin hesaplarında nükleer ölçümlerin çoğunda uygulanabilen Eşitlik 4.2 kullanılmıştır (Knoll, 2002, Eşme, 1993).

$$\sigma_u^2 = \left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2 \sigma_x^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)^2 \sigma_y^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial z}\right)^2 \sigma_z^2 + \dots (4.2)$$

Burada u, x,y,z... değişkenlerinden elde edilen bileşik sonucu, $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \dots$ ise sırasıyla x,y,z... değişkenlerinin standart sapmasını temsil etmektedir. Bu hesaplamalar, esas itibariyle Origin 8 ve Windows Exel Bilgisayar programları kullanılarak yapılmıştır.

Deneylerin yapıları radyasyon tipine göre ayrılmıştır. Buna göre, deneyleri:

- Gama deneylerinin yapılışı
- Nötron deneylerinin yapılışı

olarak sınıflandırmak mümkündür.

4.3.1 Gama deneylerinin yapılışı

Gama deneyleri İTÜ Enerji Enstitüsü Radyoizotop Laboratuvarı olanakları kullanılarak yapılmıştır. Öncelikle sistemin kalibrasyonu dedektör özelliği

çerçevesinde yapılmıştır(Url-5). Takiben, malzeme ve radyoizotop kaynak, sisteme konulmadan doğal ortam radyasyonu (Background) belirlenmiştir. Daha sonra radyoizotop kaynak sisteme konularak başlangıç sayımı (I_0) ölçülmüştür. Başlangıç sayımı ölçüldükten sonra her bir malzeme seti için 5 farklı kalınlık değerine ilişkin deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneylerde sayım alma süresi 600 saniye olarak gerçekleştirilmiştir. Bütün sayımlar en az üç kere tekrar edilmiş ve sonuçlar kaydedilmiştir. Elde edilen sonuçlardan doğal ortam radyasyonu (Background) çıkarılarak net sayımlar elde edilmiştir. Deneylerde elde edilen sonuçlar (Bölüm 5 – Bölüm 7’de verildiği üzere) değerlendirilmiş ve yorumlanmıştır.

4.3.2 Nötron deneylerinin yapılışı

Nötron deneyleri, İTÜ Enerji Enstitüsü ve İTÜ TRIGA Mark-II Eğitim ve Araştırma Reaktörü mekanları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İlk olarak kaynak ile dedektör arasına Bölüm 4.2.3. içinde tanıtılan nötron zırhı yerleştirilerek ortam sayımı (Background) ölçülmüştür. Daha sonra Bölüm 4.2.2 içinde tanıtılan nötron kolimatörü, nötron kaynağı ile nötron dedektörü arasına yerleştirilerek başlangıç sayımı (I_0) ölçülmüştür. Başlangıç sayımı ölçüldükten sonra her bir malzeme seti için 3 farklı kalınlık değerine ilişkin deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneylerde sayım alma süresi 240 saniye olarak gerçekleştirilmiştir. Bütün sayımlar en az üç kere tekrar edilmiş ve sonuçlar kaydedilmiştir. Elde edilen sonuçlardan ortam radyasyonu (Background) çıkarılarak net sayımlar elde edilmiştir.ve sonuçlar tablolar halinde kaydedilmiştir. Deneylerde elde edilen sonuçlar (Bölüm 5 – Bölüm 7’de verildiği üzere) değerlendirilmiş ve yorumlanmıştır.

5. DENEYSEL SONUÇLAR

Bu doktora tezinde, tungsten, titanyum ve bor içeren bazı özel kompozit malzemelerin radyasyon karşısındaki davranışlarının incelenmesi Bölüm 4 içinde anlatılan ve detayları açıklanan deney düzenekleri kullanılarak belli bir sistematik çerçevesinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Malzemelerin radyasyon karşısındaki davranışlarının incelenmesi çerçevesinde, önce Cs-137 ve Co-60 gama radyoizotop kaynakları kullanılarak, söz konusu kompozit malzemelerin gama ışınları karşısındaki davranışları incelenmiştir. Adı geçen malzemelerin ileri nükleer reaktörlerde kullanılabileceği düşüncesi ile nötronlar karşısındaki davranışlarının incelenmesine yönelik Pu-Be nötron kaynağı ile deneyler de yapılmıştır. Bunlardan ayrı olarak, ileri teknoloji uygulamaları için kullanılabilmelerinin incelenmesi amacıyla yüksek enerjili elektronlarla da çalışılmıştır. Böylece, tungsten, titanyum ve bor içeren bazı özel kompozit malzemelerin farklı radyasyon tipleri karşısındaki davranışları deneysel olarak araştırılmış olmaktadır.

Bu bölümde, yapılan deneyler neticesinde ulaşılan deneysel değerler, her kompozit malzeme için ve çalışılan her radyasyon tipi için ayrı tablolar halinde bir araya toplanmıştır. Düzenlenen tablolar bu doktora tezinin eklerinde verilmektedir. Tablolardan hareketle çizilen grafikler Origin8 bilgisayar programı kullanılmıştır. Elde edilen toplu deneysel sonuçlar, söz konusu kompozit malzemelere ilişkin olarak farklı radyasyon kaynakları için aşağıdaki alt bölümler içinde verilmektedir (Url-7).

5.1 Gama Radyoizotop Kaynakları ile Yapılan Deney Sonuçları

Gama radyoizotop kaynakları ile transmisyon tekniği çerçevesinde oluşturulan (detayı Bölüm 4 içinde açıklanan) deney düzeneği kullanılarak tungsten, titanyum ve bor içeren bazı özel kompozit malzemelere ilişkin gerçekleştirilen deneylerin sonuçları tablolar halinde Ek A.1- Ek A.14'de verilmektedir. Deney sonuçlarını içeren tablolar kullanılarak her bir kompozit malzeme için Cs-137 ve Co-60 gama radyoizotop kaynağı için kalınlık-bağıl sayım değerlerine ilişkin tablolar düzenlenmiş ve adı geçen iki gama kaynağı için zayıflatma eğrileri çizilmiştir.

5.1.1 Cs-137 Gama radyoizotop kaynağı ile yapılan deneylerin sonuçları

Cs-137 gama radyoizotop kaynağı ile yapılan deneyler çerçevesinde düzenlenen Ek A.1- Ek A.7 tablolarında tungsten, titanyum ve bor içeren bazı özel kompozit malzemelere ilişkin kalınlık-bağıl sayım değerleri kullanılarak çalışılan malzemelerin radyasyon zayıflatma değerleri belirlenmiş ve ilgili eğrileri çizilmiştir. Bu bağlamda malzemeler gruplar halinde aşağıdaki alt bölümlerde değerlendirilmektedir.

5.1.1.1 Cs-137 Gama radyoizotop kaynağı kullanılarak bor karbür içeren kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları

Bor kabür içeren kompozit malzemeler Şekil 4.1’de tanıtıldığı üzere, saf bor karbür (B_4C), bor karbür-silisyum karbür (B_4C-SiC) ve titanyum diborür katkılı bor karbür-silisyum karbür (TiB_2 katkılı B_4C-SiC) kompozitler olarak kendi içinde ayrılabilir. Ayrıca, bor karbür-titanyum diborür (B_4C-TiB_2) kompozit malzemeler ile de çalışılmıştır.

5.1.1.2 Cs-137 Gama radyoizotop kaynağı kullanılarak saf B_4C ve B_4C-SiC içeren kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları

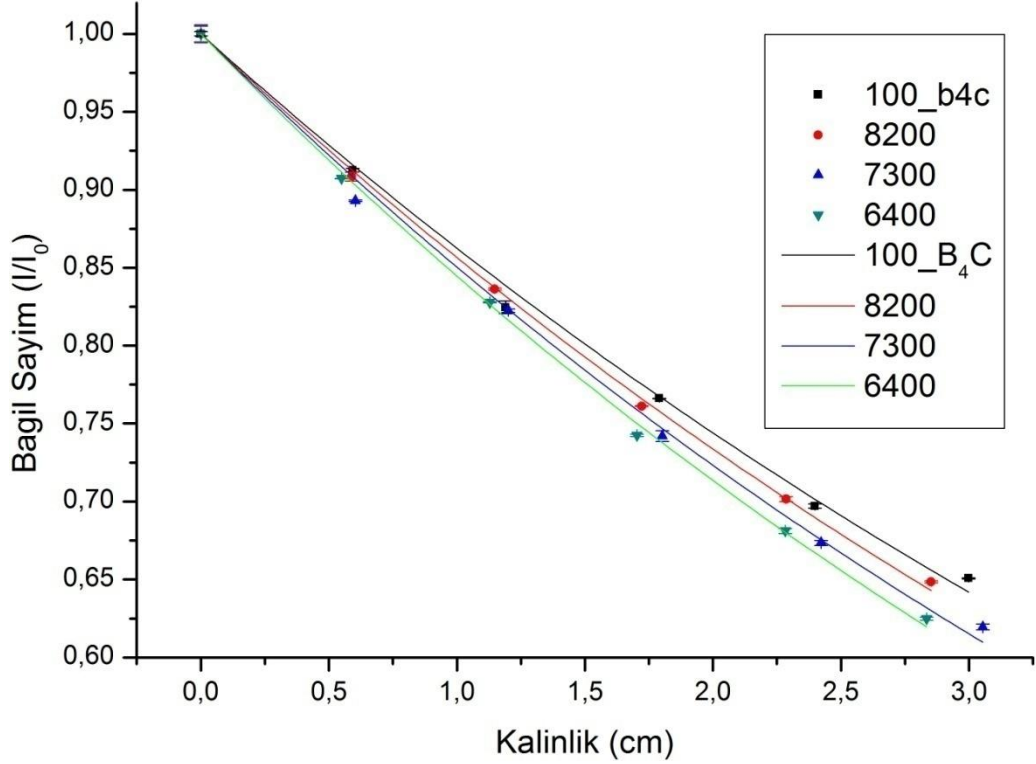
Saf B_4C ve B_4C-SiC içeren (ve Çizelge 4.1’de tanıtılan) kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı karşısındaki radyasyon zayıflatma davranışının incelemesi amacıyla malzemelerin kalınlık-bağıl sayım değerleri elde edilmiştir. Saf bor karbür (B_4C) ve B_4C-SiC kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı kullanılarak ulaşılan deney sonuçları Çizelge 5.1’de verilmektedir.

Çizelge 5.1 : B_4C ve B_4C-SiC kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı için kalınlık-bağıl sayım değerleri.

100_ B_4C		8200		7300		6400	
Kalınlık	Bağıl Sayım	Kalınlık	Bağıl Sayım	Kalınlık	Bağıl Sayım	Kalınlık	Bağıl Sayım
0	1,0000	0	1,0000	0	1,0000	0	1,0000
0,5936	0,9126	0,589	0,9084	0,6036	0,8930	0,5493	0,9072
1,1909	0,8246	1,148	0,8363	1,2008	0,8225	1,1281	0,8279
1,7906	0,7661	1,722	0,7613	1,8024	0,7419	1,7042	0,7424
2,3986	0,6971	2,286	0,7015	2,4226	0,6735	2,2833	0,6811
2,9987	0,6506	2,852	0,6485	3,0538	0,6195	2,8348	0,6249

Çizelge 5.1’deki değerlerden hareketle Cs-137 gama radyoizotop kaynağına ilişkin saf B_4C ve B_4C-SiC içeren malzemelerin kalınlık-bağıl sayım grafikleri çizilmiştir.

Bu bağlamda, bor-karbür malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı karşısında zayıflatma eğrilerine ulaşılmış olmaktadır. B₄C ve B₄C-SiC kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağına ilişkin zayıflatma eğrileri Şekil 5.1’de verilmektedir.



Şekil 5.1 : Bor karbür-silisyum karbür kompozitlerin Cs-137 zayıflatma eğrileri.

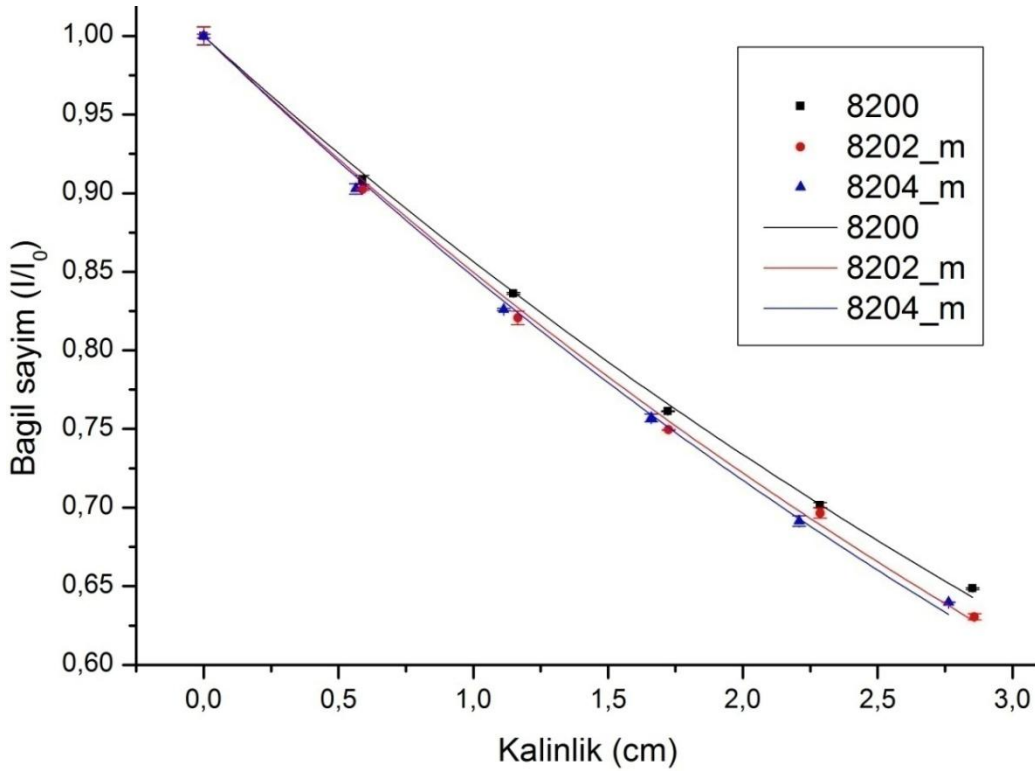
5.1.1.3 Cs-137 Gama radyoizotop kaynağı kullanılarak TiB₂ katkılı B₄C-SiC içeren 8200, 8202_m ve 8204_m olarak gruplanan kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları

TiB₂ katkılı B₄C-SiC içeren 8200, 8202_m ve 8204_m olarak gruplanan kompozit malzemelerin (ve Çizelge 4.2’de tanıtılan) Cs-137 gama radyoizotop kaynağı karşısındaki radyasyon zayıflatma davranışının incelemesi amacıyla malzemelerin kalınlık-bağlı sayım değerleri elde edilmiştir. TiB₂ katkılı B₄C-SiC 8200, 8202_m ve 8204_m olarak gruplanan kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı kullanılarak ulaşılan deney sonuçları Çizelge 5.2’de verilmektedir.

Çizelge 5.2 : TiB₂ katkılı B₄C-SiC içeren 8200, 8202_m ve 8204_m olarak gruplanan kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı için kalınlık-bağıl sayım değerleri.

8200		8202_m		8204_m	
Kalınlık	Bağıl Sayım	Kalınlık	Bağıl Sayım	Kalınlık	Bağıl Sayım
0	1,0000	0	1,0000	0	1,0000
0,589	0,9084	0,59	0,9024	0,564	0,9028
1,148	0,8363	1,165	0,8207	1,112	0,8261
1,722	0,7613	1,725	0,7494	1,661	0,7570
2,286	0,7015	2,287	0,6965	2,209	0,6914
2,852	0,6485	2,859	0,6297	2,763	0,6399

Çizelge 5.2'deki değerlerden hareketle Cs-137 gama radyoizotop kaynağına ilişkin TiB₂ katkılı B₄C-SiC içeren 8200, 8202_m ve 8204_m olarak gruplanan kompozit malzemelerin kalınlık-bağıl sayım grafikleri çizilmiştir. Bu bağlamda, TiB₂ katkılı B₄C-SiC içeren 8200, 8202_m ve 8204_m olarak gruplanan kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı karşısında zayıflatma eğrilerine ulaşılmıştır. TiB₂ katkılı B₄C-SiC içeren 8200, 8202_m ve 8204_m olarak gruplanan kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağına ilişkin zayıflatma eğrileri Şekil 5.2'de verilmektedir.



Şekil 5.2 : 8200, 8202_m ve 8204_m kompozitlerin Cs-137 gama zayıflatma eğrileri.

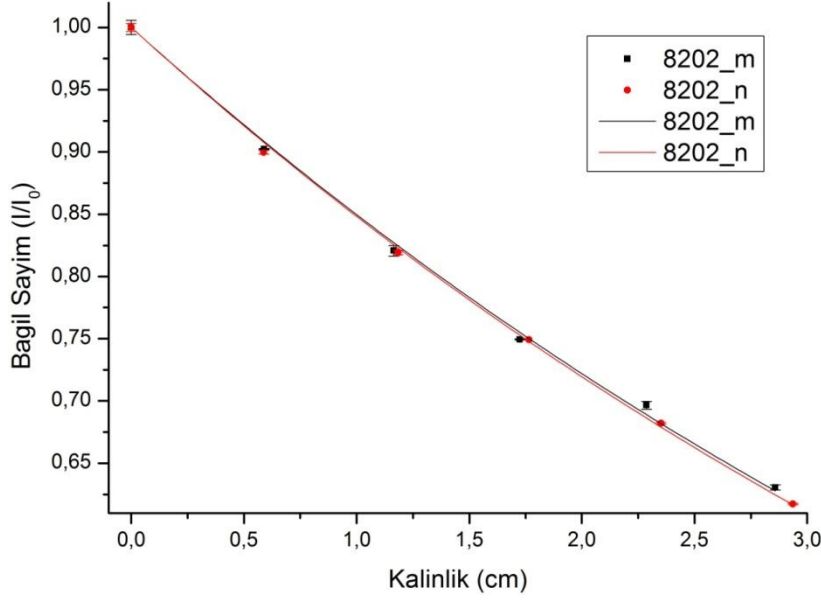
5.1.1.4 Cs-137 Gama radyoizotop kaynağı kullanılarak TiB₂ katkılı B₄C-SiC içeren 8202_m, 8202_n ve 8204_m 8204_n olarak gruplanan kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları

TiB₂ katkılı B₄C-SiC içeren (ve Çizelge 4.3’de tanıtılan mikro ve nano yapılı parçacıklı) 8202_m, 8202_n, 8204_m 8204_n olarak gruplanan kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı karşısındaki radyasyon zayıflatma davranışının incelemesi amacıyla malzemelerin kalınlık-bağıl sayım değerleri elde edilmiştir. TiB₂ katkılı B₄C-SiC içeren 8202_m, 8202_n, 8204_m 8204_n olarak gruplanan kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı kullanılarak ulaşılan deney sonuçları Çizelge 5.3’de verilmektedir.

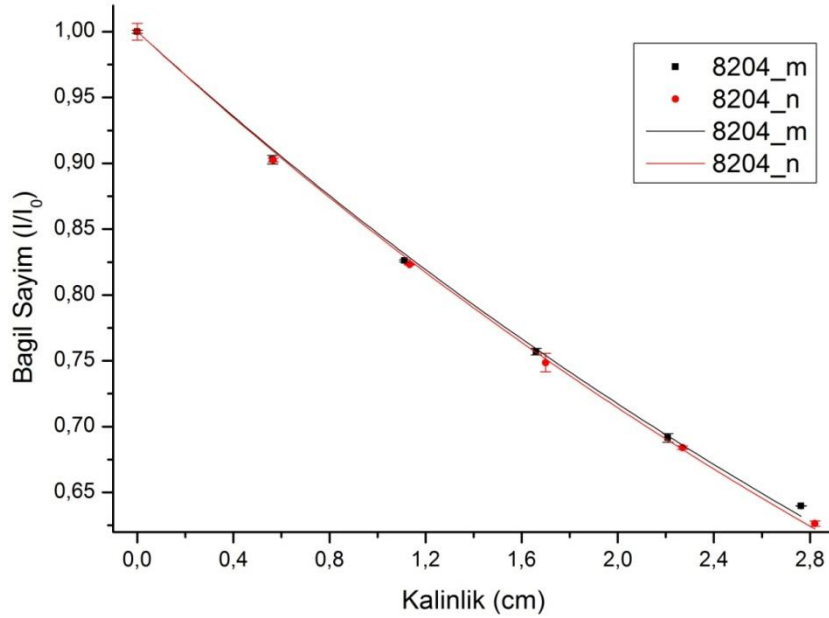
Çizelge 5.3 : TiB₂ katkılı B₄C-SiC içeren 8200, 8202_m, 8202_n, 8204_m 8204_n olarak gruplanan kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı için kalınlık-bağıl sayım değerleri.

8202_m		8202_n		8204_m		8204_n	
Kalınlık	Bağıl Sayım	Kalınlık	Bağıl Sayım	Kalınlık	Bağıl Sayım	Kalınlık	Bağıl Sayım
0	1,0000	0	1,0000	0	1,0000	0	1,0000
0,59	0,9024	0,5879	0,8997	0,564	0,9028	0,5661	0,9024
1,165	0,8207	1,1837	0,8191	1,112	0,8261	1,1332	0,8231
1,725	0,7494	1,766	0,7491	1,661	0,7570	1,7	0,7490
2,287	0,6965	2,3512	0,6821	2,209	0,6914	2,27	0,6841
2,859	0,6297	2,937	0,6173	2,763	0,6399	2,8207	0,6265

Çizelge 5.3’deki değerlerden hareketle Cs-137 gama radyoizotop kaynağına ilişkin TiB₂ katkılı B₄C-SiC içeren 8200, 8202_m, 8202_n, 8204_m 8204_n olarak gruplanan kompozit malzemelerin kalınlık-bağıl sayım grafikleri çizilmiştir. Bu bağlamda, TiB₂ katkılı B₄C-SiC içeren 8200, 8202_m, 8202_n, 8204_m 8204_n olarak gruplanan kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı karşısında zayıflatma eğrilerine ulaşılmış olmaktadır. TiB₂ katkılı B₄C-SiC içeren 8200, 8202_m, 8202_n, 8204_m 8204_n olarak gruplanan kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağına ilişkin zayıflatma eğrileri Şekil 5.3’de verilmektedir.



(a)



(b)

Şekil 5.3 : %2 (a) ve % 4 (b) mikro ve nano boyutlu TiB₂ katkılı B₄C-SiC kompozitlerinin Cs-137 gama zayıflatma eğrileri.

5.1.1.5 Cs-137 Gama radyoizotop kaynağı kullanılarak TiB₂ katkılı B₄C-SiC içeren 7300, 7302_m ve 7304_m olarak gruplanan kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları

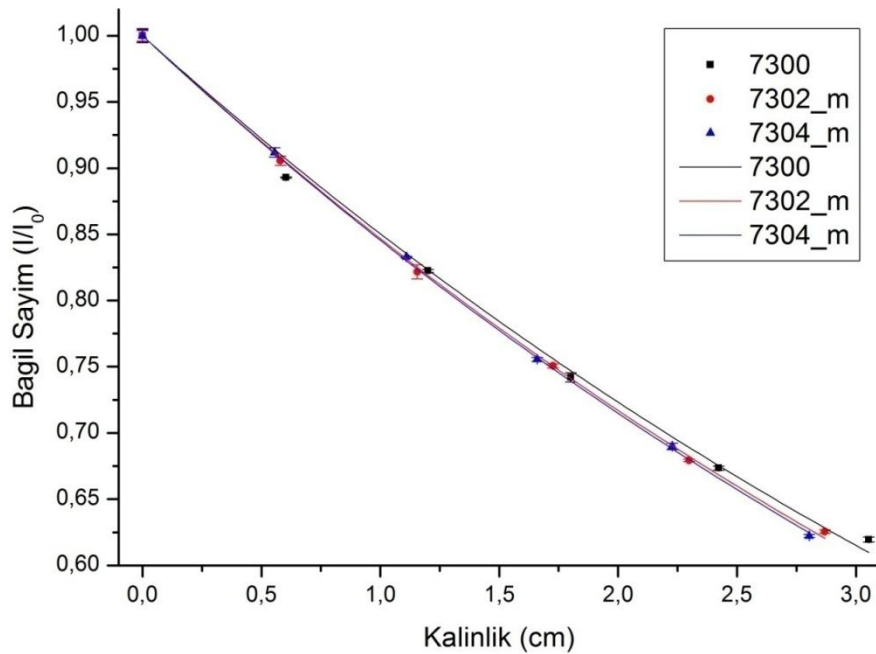
TiB₂ katkılı B₄C-SiC içeren 7300, 7302_m ve 7304_m olarak gruplanan kompozit malzemelerin (ve Çizelge 4.4'de tanımlanan) Cs-137 gama radyoizotop kaynağı karşısındaki radyasyon zayıflatma davranışının incelemesi amacıyla malzemelerin

kalınlık-bağıl sayım değerleri elde edilmiştir. TiB_2 katkılı B_4C-SiC 7300, 7302_m ve 7304_m olarak gruplanan kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı kullanılarak ulaşılan deney sonuçları izelge 5.4'de verilmektedir.

Çizelge 5.4 : 7300, 7302_m ve 7304_m kompozit malzemelerin kalınlık-bağıl sayım değerleri

7300		7302_m		7304_m	
Kalınlık	Bağıl Sayım	Kalınlık	Bağıl Sayım	Kalınlık	Bağıl Sayım
0	1,0000	0	1,0000	0	1,0000
0,6036	0,8930	0,58	0,9056	0,5554	0,9118
1,2008	0,8225	1,1554	0,8218	1,1092	0,8329
1,8024	0,7419	1,7266	0,7507	1,6602	0,7556
2,4226	0,6735	2,2982	0,6793	2,2282	0,6898
3,0538	0,6195	2,8695	0,6255	2,8038	0,6222

Çizelge 5.4'deki değerlerden hareketle Cs-137 gama radyoizotop kaynağına ilişkin TiB_2 katkılı B_4C-SiC içeren 7300, 7302_m ve 7304_m olarak gruplanan kompozit malzemelerin kalınlık-bağıl sayım grafikleri çizilmiştir. Bu bağlamda, TiB_2 katkılı B_4C-SiC içeren 7300, 7302_m ve 7304_m olarak gruplanan kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı karşısında zayıflatma eğrilerine ulaşılmış olmaktadır. TiB_2 katkılı B_4C-SiC içeren 7300, 7302_m ve 7304_m olarak gruplanan kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağına ilişkin zayıflatma eğrileri Şekil 5.4'de verilmektedir



Şekil 5.4 : 7300, 7302_m ve 7304_m malzemelerin Cs-137 gama zayıflatma eğrileri.

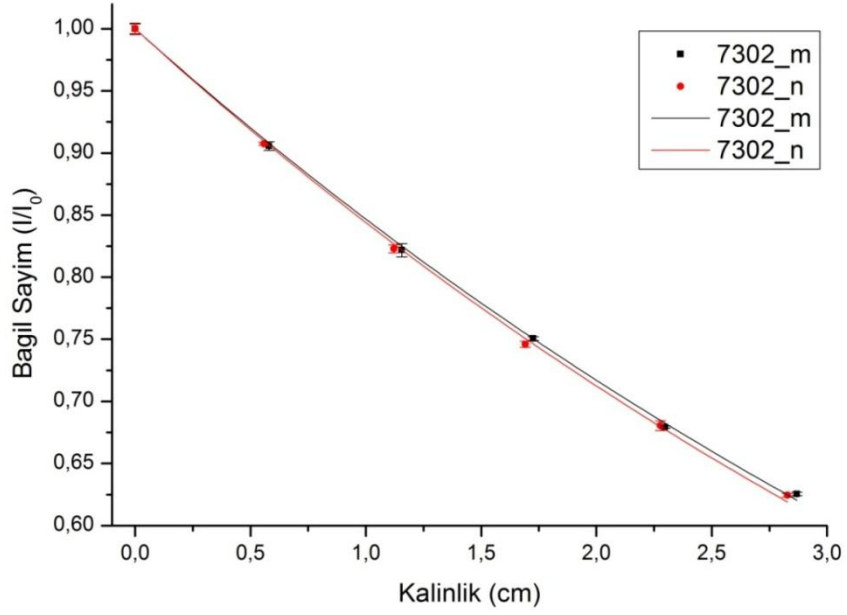
5.1.1.6 Cs-137 Gama radyoizotop kaynağı kullanılarak TiB₂ katkıli B₄C-SiC içeren 7302_m, 7302_n ve 7304_m 7304_n olarak gruplanan kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları

TiB₂ katkıli B₄C-SiC içeren (ve Çizelge 4.5’de tanıtılan mikro ve nano yapıli parçacıklı) 7302_m, 7302_n, 7304_m ve 7304_n olarak gruplanan kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı karşısındaki radyasyon zayıflatma davranışının incelemesi amacıyla malzemelerin kalınlık-bağıl sayım değeri elde edilmiştir. TiB₂ katkıli B₄C-SiC içeren 7302_m, 7302_n, 7304_m ve 7304_n olarak gruplanan kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı kullanılarak ulaşılan deney sonuçları Çizelge 5.5’de verilmektedir.

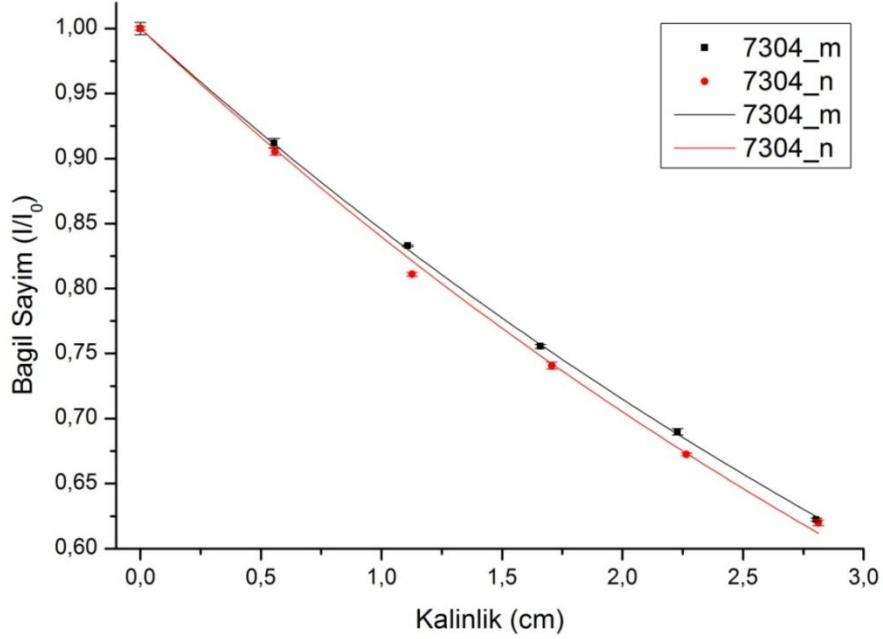
Çizelge 5.5 : TiB₂ katkıli B₄C-SiC içeren 7302_m, 7302_n, 7304_m ve 7304_n olarak gruplanan kompozit malzemelerin kalınlık-bağıl sayım deney sonuçları.

7302_m		7302_n		7304_m		7304_n	
Kalınlık	Bağıl Sayım	Kalınlık	Bağıl Sayım	Kalınlık	Bağıl Sayım	Kalınlık	Bağıl Sayım
0	1,0000	0	1,0000	0	1,0000	0	1,0000
0,58	0,9056	0,5578	0,9067	0,5554	0,9118	0,5587	0,9051
1,1554	0,8218	1,1212	0,8229	1,1092	0,8329	1,1265	0,8109
1,7266	0,7507	1,6923	0,7459	1,6602	0,7556	1,7066	0,7407
2,2982	0,6793	2,2777	0,6804	2,2282	0,6898	2,2654	0,6724
2,8695	0,6255	2,8283	0,6244	2,8038	0,6222	2,8125	0,6199

Çizelge 5.5’deki değeri hareketle Cs-137 gama radyoizotop kaynağına ilişkin TiB₂ katkıli B₄C-SiC içeren 7302_m, 7302_n, 7304_m ve 7304_n olarak gruplanan kompozit malzemelerin kalınlık-bağıl sayım grafikleri çizilmiştir. Bu bağlamda, TiB₂ katkıli B₄C-SiC içeren 7302_m, 7302_n, 7304_m ve 7304_n olarak gruplanan kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı karşısında zayıflatma eğriilerine ulaşılmış olmaktadır. TiB₂ katkıli B₄C-SiC içeren 7302_m, 7302_n, 7304_m ve 7304_n olarak gruplanan kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağına ilişkin zayıflatma eğriileri Şekil 5.5’de verilmektedir.



(a)



(b)

Şekil 5.5 : %2 (a) ve % 4 (b) mikro ve nano boyutlu TiB_2 katkılı %70 B_4C -%30 SiC kompozitlerinin Cs-137 gama zayıflatma eğrileri.

5.1.1.7 Cs-137 Gama radyoizotop kaynağı kullanılarak TiB_2 katkılı B_4C - SiC içeren 6400, 6402_m ve 6404_m olarak gruplanan kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları

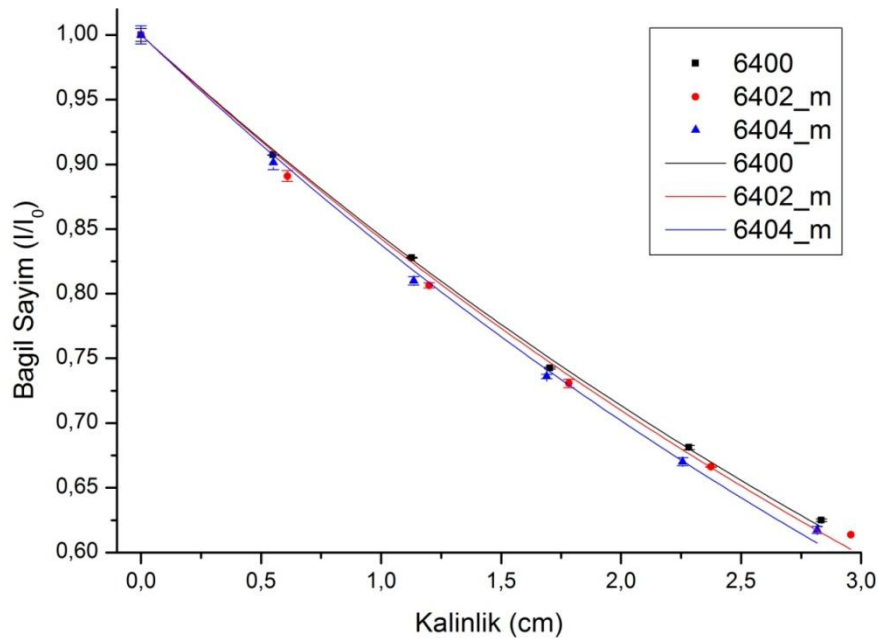
TiB_2 katkılı B_4C - SiC içeren 6400, 6402_m ve 6404_m olarak gruplanan kompozit malzemelerin (ve Çizelge 4.4'de tanıtılan) Cs-137 gama radyoizotop kaynağı karşısındaki radyasyon zayıflatma davranışının incelemesi amacıyla malzemelerin

kalınlık-bağıl sayım değerleri elde edilmiştir. TiB₂ katkılı B₄C-SiC 6400, 6402_m ve 6404_m olarak gruplanan kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı kullanılarak ulaşılan deney sonuçları izelge 5.4’de verilmektedir.

Çizelge 5.6 : 6400, 6402_m ve 6404_m kompozit malzemelerin kalınlık-bağıl sayım sonuçları.

6400		6402_m		6404_m	
Kalınlık	Bağıl Sayım	Kalınlık	Bağıl Sayım	Kalınlık	Bağıl Sayım
0	1,0000	0	1,0000	0	1,0000
0,5493	0,9072	0,6102	0,8909	0,5512	0,9015
1,1281	0,8279	1,2	0,8065	1,1363	0,8101
1,7042	0,7424	1,7828	0,7305	1,6901	0,7360
2,2833	0,6811	2,3745	0,6661	2,2562	0,6702
2,8348	0,6249	2,9575	0,6138	2,8167	0,6174

Çizelge 5.4’deki değerlerden hareketle Cs-137 gama radyoizotop kaynağına ilişkin TiB₂ katkılı B₄C-SiC içeren 6400, 6402_m ve 6404_m olarak gruplanan kompozit malzemelerin kalınlık-bağıl sayım grafikleri çizilmiştir. Bu bağlamda, TiB₂ katkılı B₄C-SiC içeren 6400, 6402_m ve 6404_m olarak gruplanan kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı karşısında zayıflatma eğrilerine ulaşılmış olmaktadır. TiB₂ katkılı B₄C-SiC içeren 6400, 6402_m ve 6404_m olarak gruplanan kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağına ilişkin zayıflatma eğrileri Şekil 5.4’de verilmektedir



Şekil 5.6 : 6400, 6402_m ve 6404_m malzemelerin Cs-137 gama zayıflatma eğrileri.

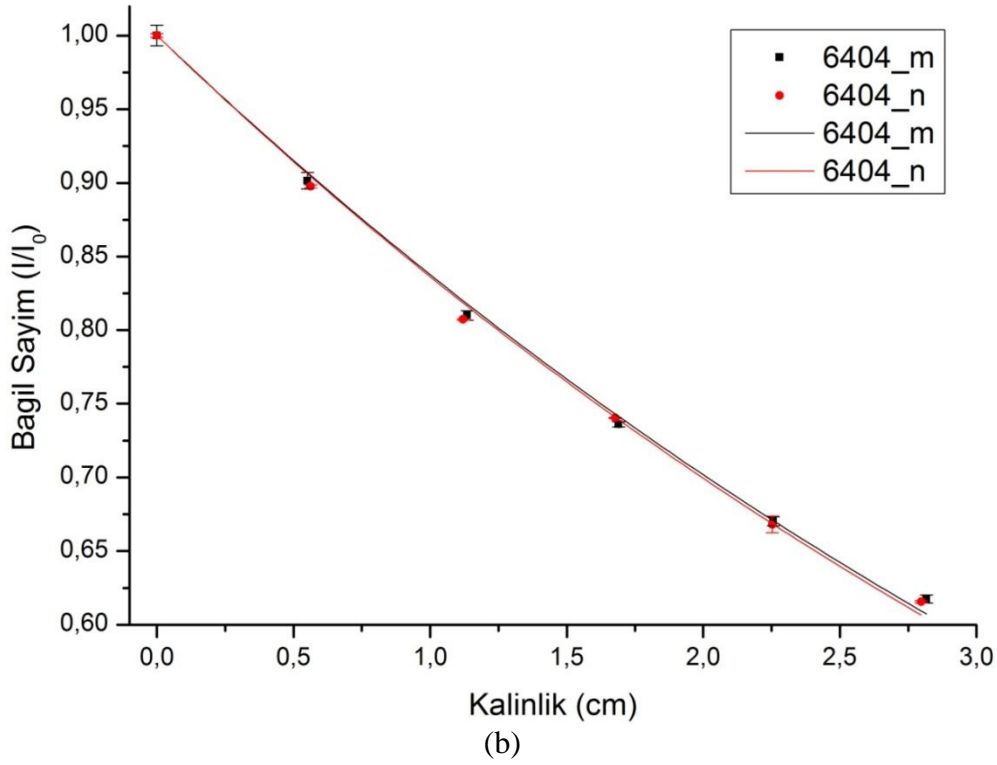
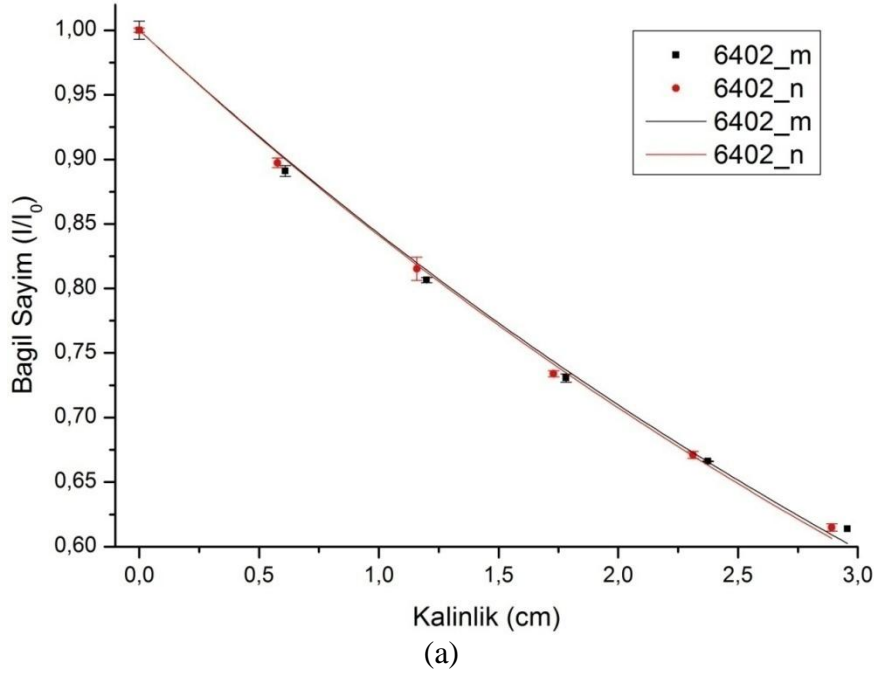
5.1.1.8 Cs-137 Gama radyoizotop kaynağı kullanılarak TiB₂ katkıli B₄C-SiC içeren 6402_m, 6402_n ve 6404_m 6404_n olarak gruplanan kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları

TiB₂ katkıli B₄C-SiC içeren (ve Çizelge 4.5’de tanıtılan mikro ve nano yapıli parçacıklı) 6402_m, 6402_n, 6404_m ve 6404_n olarak gruplanan kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı karşısındaki radyasyon zayıflatma davranışının incelemesi amacıyla malzemelerin kalınlık-bağıl sayım değeri elde edilmiştir. TiB₂ katkıli B₄C-SiC içeren 6402_m, 6402_n, 6404_m ve 6404_n olarak gruplanan kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı kullanılarak ulaşılan deney sonuçları Çizelge 5.5’de verilmektedir.

Çizelge 5.7 : 6402_m, 6402_n, 6404_m ve 6404_n malzemelerin kalınlık-bağıl sayım değeri.

6402_m		6402_n		6404_m		6404_n	
Kalınlık	Bağıl Sayım	Kalınlık	Bağıl Sayım	Kalınlık	Bağıl Sayım	Kalınlık	Bağıl Sayım
0	1,0000	0	1,0000	0	1,0000	0	1,0000
0,6102	0,8909	0,577	0,8974	0,5512	0,9015	0,5625	0,8977
1,2	0,8065	1,1587	0,8154	1,1363	0,8101	1,1207	0,8073
1,7828	0,7305	1,7299	0,7339	1,6901	0,7360	1,6774	0,7403
2,3745	0,6661	2,3121	0,6710	2,2562	0,6702	2,2529	0,6681
2,9575	0,6138	2,8913	0,6148	2,8167	0,6174	2,7977	0,6155

Çizelge 5.7’deki değeri hareketle Cs-137 gama radyoizotop kaynağına ilişkin TiB₂ katkıli B₄C-SiC içeren 6402_m, 6402_n, 6404_m ve 6404_n olarak gruplanan kompozit malzemelerin kalınlık-bağıl sayım grafikleri çizilmiştir. Bu bağlamda, TiB₂ katkıli B₄C-SiC içeren 6402_m, 6402_n, 6404_m ve 6404_n olarak gruplanan kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı karşısında zayıflatma eğriilerine ulaşılmış olmaktadır. TiB₂ katkıli B₄C-SiC içeren 6402_m, 6402_n, 6404_m ve 6404_n olarak gruplanan kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağına ilişkin zayıflatma eğriileri Şekil 5.7’de verilmektedir.



Şekil 5.7 : %2 (a) ve % 4 (b) mikro ve nano boyutlu TiB₂ katkılı %60B₄C-%40SiC kompozitlerinin Cs-137 gama zayıflatma eğrileri.

5.1.1.9 Cs-137 Gama radyoizotop kaynağı kullanılarak normal sinterleme B₄C-TiB₂ kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları

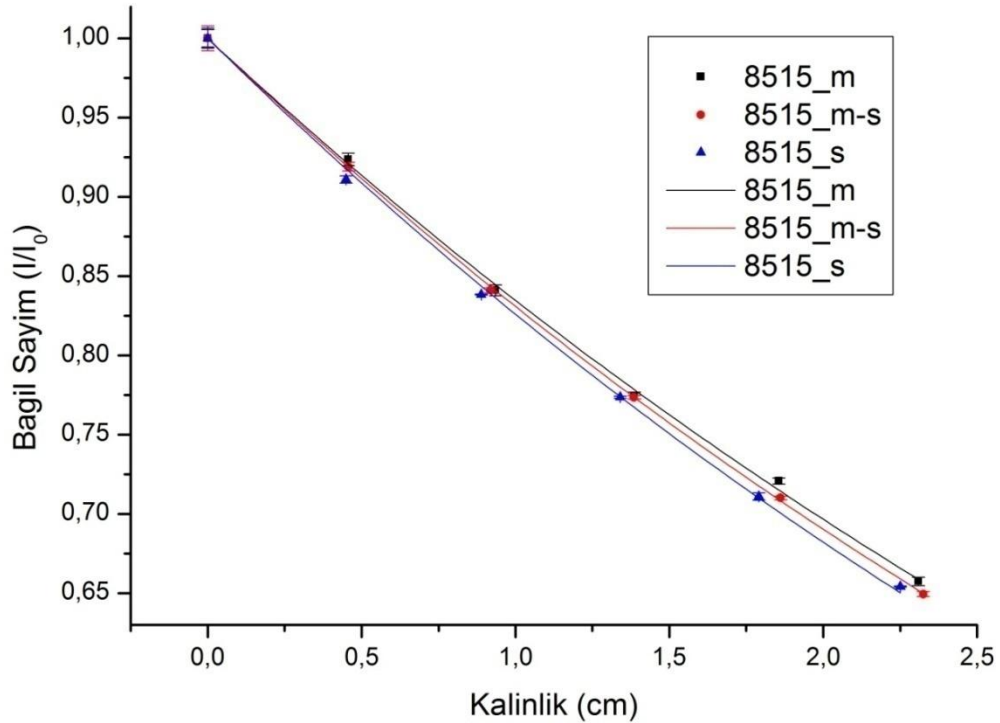
B₄C-TiB₂ (ve Çizelge 4.8'de tanımlanan) normal sinterleme kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı karşısındaki radyasyon zayıflatma davranışının incelemesi amacıyla malzemelerin kalınlık-bağıl sayım değerleri elde edilmiştir.

B₄C-TiB₂ normal sinterleme kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı kullanılarak ulaşılan deney sonuçları Çizelge 5.8’de verilmektedir.

Çizelge 5.8 : 8515_m, 8515_ms, 8515_s malzemelerin kalınlık-bağıl sayım değerleri.

8515_m		8515_ms		8515_s	
Kalınlık	Bağıl Sayım	Kalınlık	Bağıl Sayım	Kalınlık	Bağıl Sayım
0	1,0000	0	1,0000	0	1,0000
0,4565	0,9236	0,4573	0,9190	0,4493	0,9111
0,9343	0,8410	0,9191	0,8412	0,8886	0,8384
1,3864	0,7745	1,3855	0,7735	1,3405	0,7735
1,8552	0,7207	1,8615	0,7100	1,7909	0,7109
2,31	0,6574	2,325	0,6494	2,2506	0,6541

Çizelge 5.8’deki değerlerden hareketle Cs-137 gama radyoizotop kaynağına ilişkin B₄C-TiB₂ normal sinterleme kompozit malzemelerin kalınlık-bağıl sayım grafikleri çizilmiştir. Bu bağlamda, B₄C-TiB₂ normal sinterleme kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı karşısında zayıflatma eğrilerine ulaşılmış olmaktadır. B₄C-TiB₂ normal sinterleme kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağına ilişkin zayıflatma eğrileri Şekil 5.8’de verilmektedir.



Şekil 5.8 : 8515_m, 8515_ms, 8515_s malzemelerin Cs-137 gama zayıflatma eğrileri.

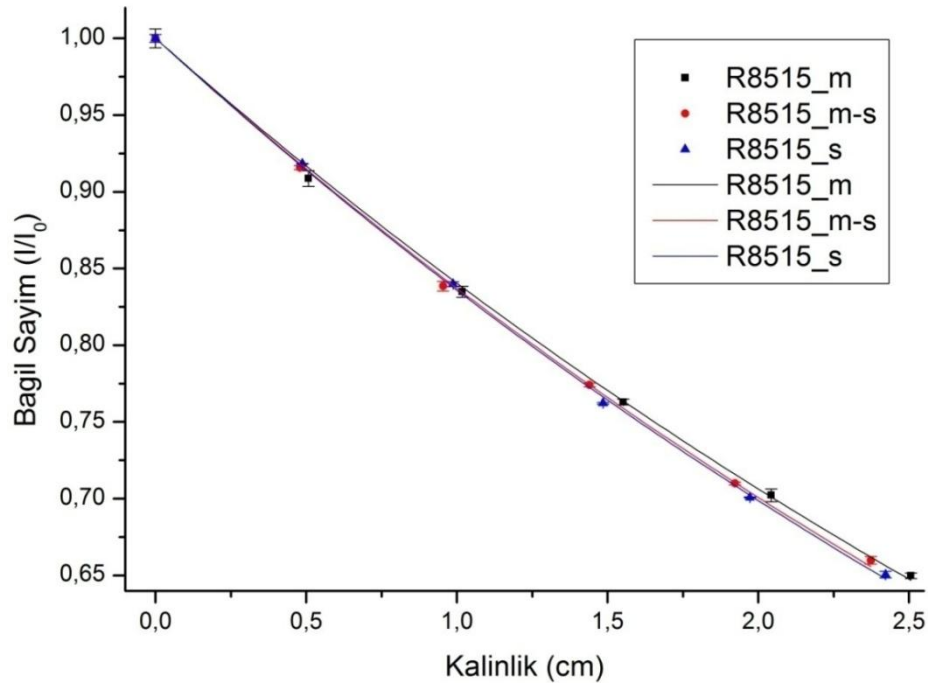
5.1.1.10 Cs-137 Gama radyoizotop kaynağı kullanılarak reaksiyon sinterleme B₄C -TiB₂ kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları

B₄C-TiB₂ reaksiyon sinterleme (ve Çizelge 4.9’de tanıtılan) kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı karşısındaki radyasyon zayıflatma davranışının incelemesi amacıyla B₄C-TiB₂ reaksiyon sinterleme kompozit malzemelerin kalınlık-bağıl sayım değerleri elde edilmiştir. B₄C-TiB₂ reaksiyon sinterleme kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı kullanılarak ulaşılan deney sonuçları Çizelge 5.9’da verilmektedir.

Çizelge 5.9 : Reaksiyon sinterleme ile üretilen B₄C-TiB₂ kompozit malzemelerin kalınlık- bağıl sayım değerleri.

R8515_m		R8515_ms		R8515_s	
Kalınlık	Bağıl Sayım	Kalınlık	Bağıl Sayım	Kalınlık	Bağıl Sayım
0	1,0000	0	1,0000	0	1,0000
0,5078	0,9094	0,4798	0,9158	0,4877	0,9183
1,018	0,8355	0,9541	0,8385	0,9868	0,8398
1,5524	0,7634	1,4407	0,7742	1,4853	0,7621
2,0433	0,7028	1,9228	0,7099	1,9722	0,7008
2,5066	0,6503	2,3733	0,6598	2,4227	0,6506

Çizelge 5.9’daki değerlerden hareketle Cs-137 gama radyoizotop kaynağına ilişkin B₄C-TiB₂ reaksiyon sinterleme kompozit malzemelerin kalınlık-bağıl sayım grafikleri çizilmiştir. Bu bağlamda, B₄C-TiB₂ reaksiyon sinterleme kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı karşısında zayıflatma eğrilerine ulaşılmış olmaktadır. B₄C-TiB₂ reaksiyon sinterleme kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağına ilişkin zayıflatma eğrileri Şekil 5.9’da verilmektedir.



Şekil 5.9 : R8515_m, R8515_ms ve R8515_s malzemelerin Cs-137 gama zayıflatma eğrileri.

5.1.1.11 Cs-137 Gama radyoizotop kaynağı kullanılarak bor nitrür içeren kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları

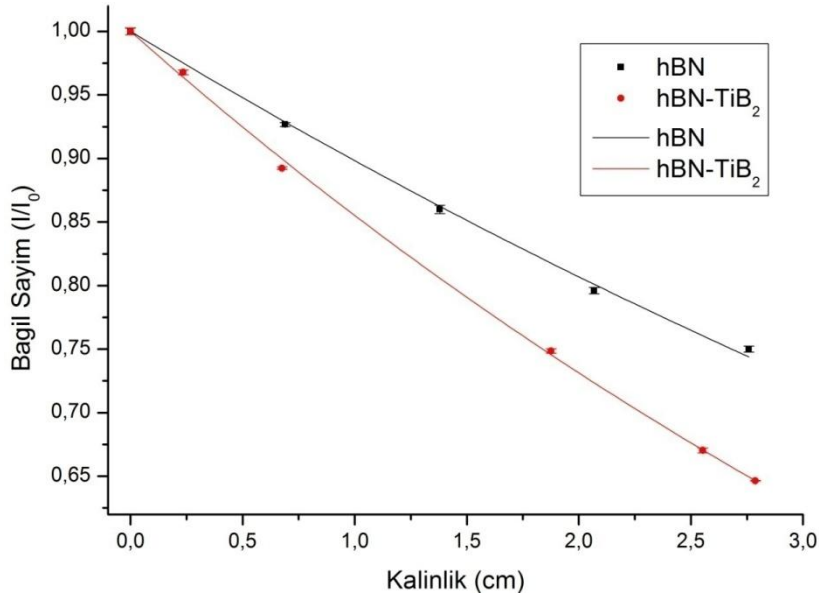
Bor kabür içeren kompozit malzemeler Şekil 4.1’de tanıtıldığı üzere, hegzagonal bor nitrür (hBN), hegzagonal bor nitrür-titanyum diborür (hBN-TiB₂) kompozitler incelenmiştir. hBN ve hBN-TiB₂ kompozit malzemelerin Cs-137 gama kaynağı karşısındaki kalınlık-bağıl sayım değerleri Çizelge 5.10’da verilmektedir.

Çizelge 5.10 : hBN ve hBN-TiB₂ malzemelerin Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin kalınlık-bağıl sayım değerleri.

hBN		hBN-TiB ₂	
Kalınlık	Bağıl Sayım	Kalınlık	Bağıl Sayım
0	1,0000	0	1,0000
0,6896	0,9268	0,2348	0,9677
1,3792	0,8600	0,6761	0,8924
2,0688	0,7962	1,8768	0,7483
2,7584	0,7501	2,5529	0,6703
		2,7877	0,6466

Çizelge 5.10’daki değerlerden hareketle Cs-137 gama radyoizotop kaynağına ilişkin hBN ve hBN-TiB₂ kompozit malzemelerin kalınlık-bağıl sayım grafikleri çizilmiştir. Bu bağlamda, hBN ve hBN-TiB₂ kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı karşısında zayıflatma eğrilerine ulaşılmış olmaktadır. hBN ve

hBN-TiB₂ kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağına ilişkin zayıflatma eğrileri Şekil 5.10'da verilmektedir.



Şekil 5.10 : hBN ve hBN-TiB₂ malzemelerin Cs-137 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri.

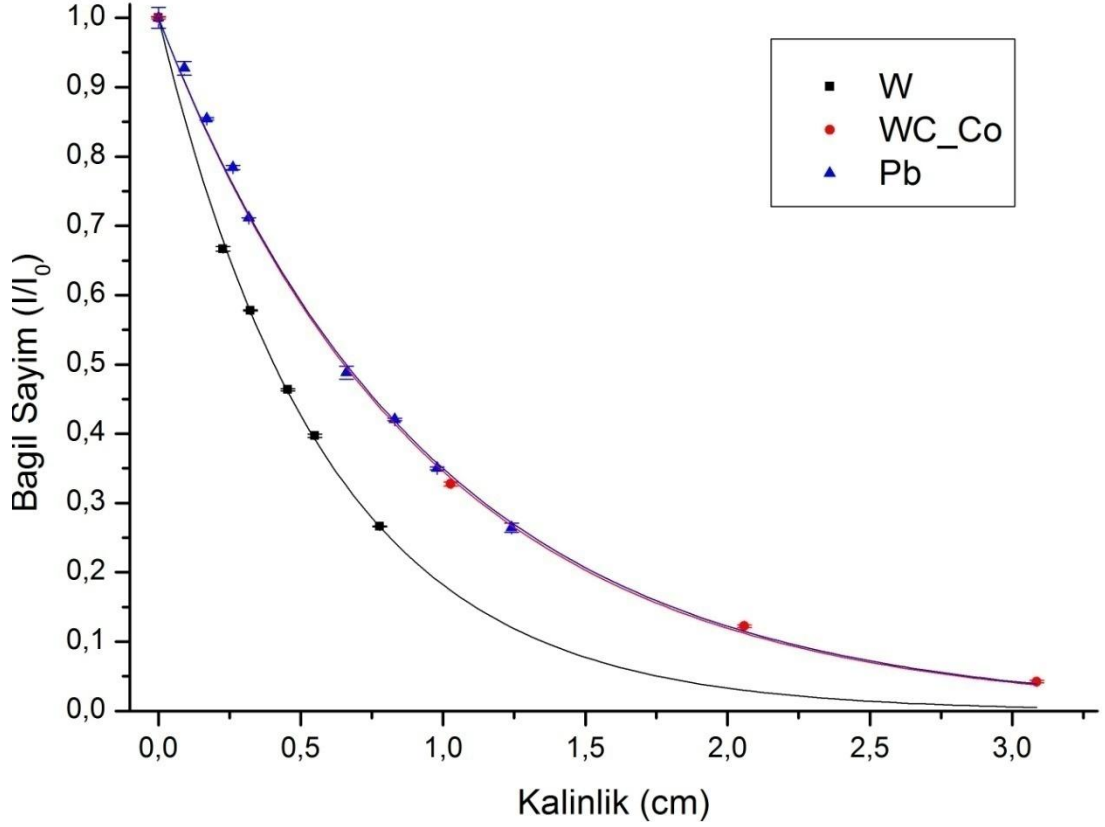
5.1.1.12 Cs-137 Gama radyoizotop kaynağı kullanılarak tungsten içeren malzemeler ve Kurşun ile yapılan deneylerin sonuçları

Tungsten içeren kompozit malzemeler Şekil 4.1'de tanımlandığı üzere, saf tungsten (W) ve tungsten karbür-kobalt (WC_Co) kompozit malzemeler incelenmiştir. Burada, tungsten kurşuna (Pb) yakın bir malzeme olması nedeniyle, pratikte sıkça kullanılan kurşun ile de karşılaştırılmıştır. W, WC_Co ve Pb malzemelerin Cs-137 gama kaynağı karşısındaki kalınlık-bağlı sayım değerleri Çizelge 5.11'de verilmektedir.

Çizelge 5.11 : W, WC_Co ve Pb malzemelerin Cs-137 gama radyasyonu karşısındaki kalınlık-bağlı sayım değerleri.

W		WC_Co		Pb	
Kalınlık	Bağlı Sayım	Kalınlık	Bağlı Sayım	Kalınlık	Bağlı Sayım
0	1,0000	0	1,0000	0	1,0000
0,2272	0,6667	1,0271	0,3274	0,0913	0,9272
0,3228	0,5780	2,0592	0,1223	0,17	0,8541
0,4541	0,4637	3,0861	0,0423	0,2613	0,7841
0,55	0,3970			0,318	0,7116
0,7769	0,2661			0,6608	0,4882
				0,8308	0,4205
				0,9788	0,3499
				1,2401	0,2645

Çizelge 5.11’de elde edilen değerler kullanılarak W, WC_Co ve Pb malzemelerin Cs-137 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri oluşturulmuş ve Şekil 5.11’de gösterilmiştir.



Şekil 5.11 : W, WC_Co ve Pb malzemelerin Cs-137 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri.

5.1.2 Co-60 ile yapılan deneylerin sonuçları

Co-60 gama radyoizotop kaynağı ile yapılan deneyler çerçevesinde düzenlenen Ek A.8- Ek A.14 tablolarında tungsten, titanyum ve bor içeren bazı özel kompozit malzemelere ilişkin kalınlık-bağıl sayım değerleri kullanılarak çalışılan malzemelerin radyasyon zayıflatma değerleri belirlenmiş ve ilgili eğrileri çizilmiştir. Bu bağlamda malzemeler gruplar halinde aşağıdaki alt bölümlerde değerlendirilmektedir.

5.1.2.1 Co-60Gama radyoizotop kaynağı kullanılarak bor karbür içeren kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları

Bor kabür içeren kompozit malzemeler Şekil 4.1’de tanıtıldığı üzere, saf bor karbür (B_4C), bor karbür-silisyum karbür (B_4C-SiC) ve titanyum diborür katkılı bor karbür-silisyum karbür (TiB_2 katkılı B_4C-SiC) kompozitler olarak kendi içinde

ayrılabilir. Ayrıca, bor karbür-titanyum diborür (B_4C-TiB_2) kompozit malzemeler ile de çalışılmıştır.

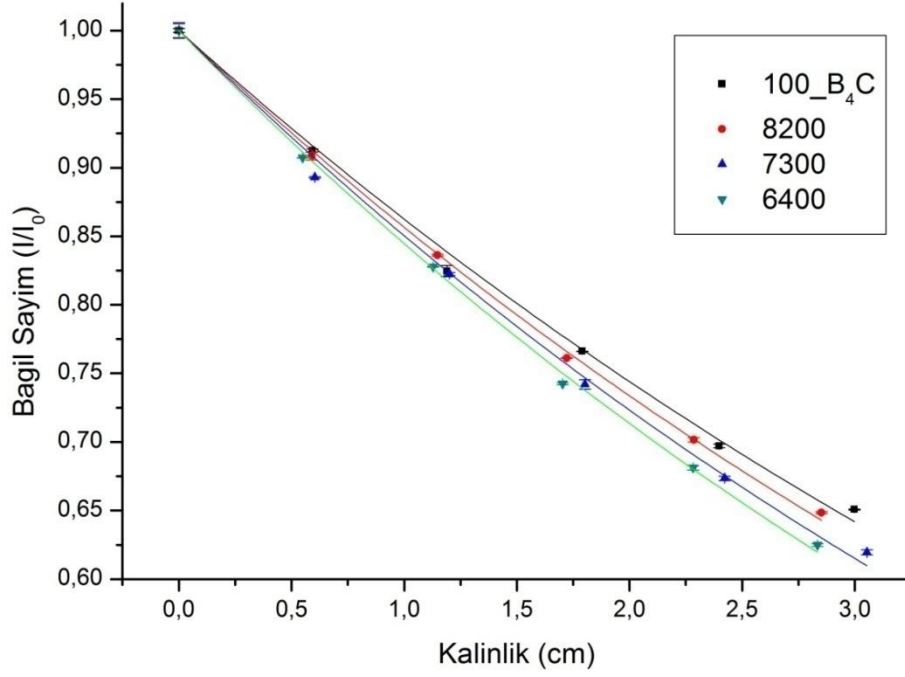
5.1.2.2 Co-60 Gama radyoizotop kaynağı kullanılarak saf B_4C ve B_4C-SiC içeren kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları

Saf B_4C ve B_4C-SiC içeren (ve Çizelge 4.1’de tanıtılan) kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağı karşısındaki radyasyon zayıflatma davranışının incelemesi amacıyla malzemelerin kalınlık-bağıl sayım değerleri elde edilmiştir. Saf bor karbür (B_4C) ve B_4C-SiC kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağı kullanılarak ulaşılan deney sonuçları Çizelge 5.12’de verilmektedir.

Çizelge 5.12 : B_4C ve B_4C-SiC kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağı için kalınlık-bağıl sayım değerleri.

100_ B_4C		8200		7300		6400	
Kalınlık	Bağıl Sayım	Kalınlık	Bağıl Sayım	Kalınlık	Bağıl Sayım	Kalınlık	Bağıl Sayım
0	1,0000	0	1,0000	0	1,0000	0	1,0000
0,5936	0,9351	0,5891	0,9315	0,6036	0,9315	0,5493	0,9187
1,1909	0,8849	1,1482	0,8721	1,2008	0,8690	1,1281	0,8551
1,7906	0,8259	1,7222	0,8167	1,8024	0,7973	1,7042	0,8020
2,3986	0,7758	2,2862	0,7607	2,4226	0,7437	2,2833	0,7438
2,9987	0,7294	2,8517	0,7045	3,0538	0,6886	2,8348	0,6996

Çizelge 5.12’deki değerlerden hareketle Co-60 gama radyoizotop kaynağına ilişkin saf B_4C ve B_4C-SiC içeren malzemelerin kalınlık-bağıl sayım grafikleri çizilmiştir. Bu bağlamda, bor-karbür malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağı karşısında zayıflatma eğrilerine ulaşılmış olmaktadır. B_4C ve B_4C-SiC kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağına ilişkin zayıflatma eğrileri Şekil 5.12’de verilmektedir.



Şekil 5.12 : Bor karbür-silisyum karbür kompozitlerinin Co-60 gama zayıflatma eğrileri.

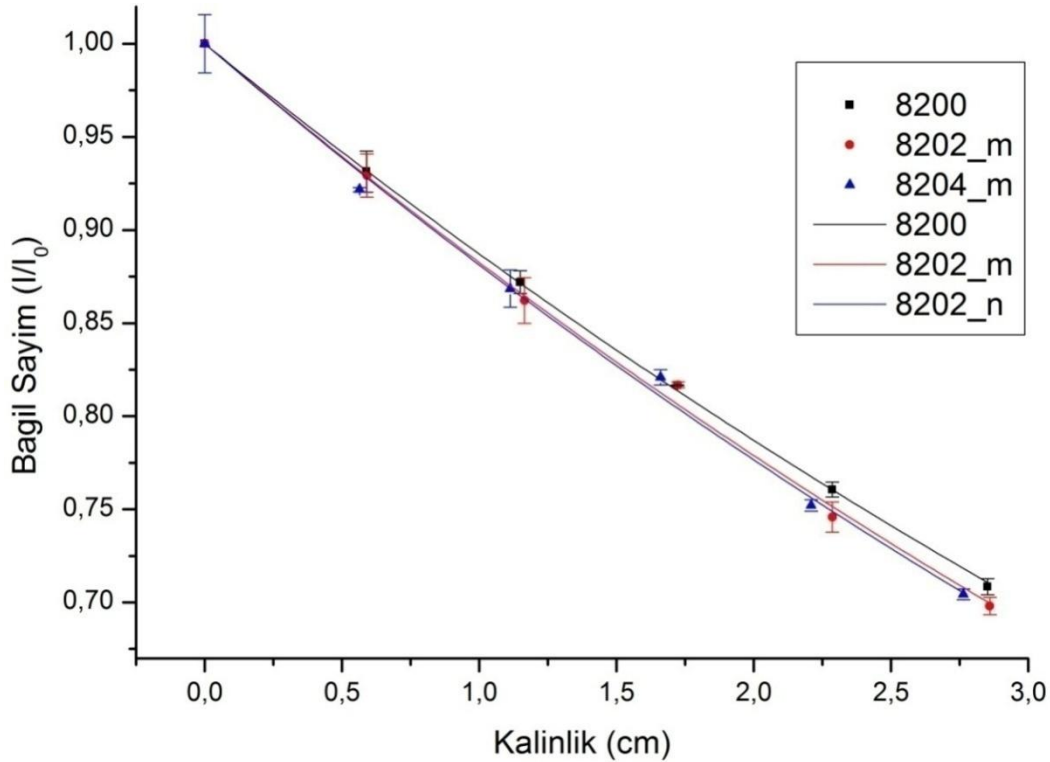
5.1.2.3 Co-60 Gama radyoizotop kaynağı kullanılarak TiB₂ katkılı B₄C-SiC içeren 8200, 8202_m ve 8204_m olarak gruplanan kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları

TiB₂ katkılı B₄C-SiC içeren 8200, 8202_m ve 8204_m olarak gruplanan kompozit malzemelerin (ve Çizelge 4.2’de tanıtılan) Co-60 gama radyoizotop kaynağı karşısındaki radyasyon zayıflatma davranışının incelemesi amacıyla malzemelerin kalınlık-bağil sayım değerleri elde edilmiştir. TiB₂ katkılı B₄C-SiC 8200, 8202_m ve 8204_m olarak gruplanan kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağı kullanılarak ulaşılan deney sonuçları Çizelge 5.13’de verilmektedir.

Çizelge 5.13 : TiB₂ katkılı B₄C-SiC içeren 8200, 8202_m ve 8204_m olarak gruplanan kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağı için kalınlık-bağil sayım değerleri.

8200		8202_m		8204_m	
Kalınlık	Bağil Sayım	Kalınlık	Bağil Sayım	Kalınlık	Bağil Sayım
0	1,0000	0	1,0000	0	1,0000
0,5891	0,9315	0,5903	0,9294	0,5635	0,9217
1,1482	0,8721	1,1647	0,8623	1,112	0,8686
1,7222	0,8167	1,7246	0,8169	1,6606	0,8198
2,2862	0,7607	2,2865	0,7458	2,2091	0,7520
2,8517	0,7045	2,8594	0,6980	2,7633	0,7043

Çizelge 5.13'deki değerlerden hareketle Co-60 gama radyoizotop kaynağına ilişkin TiB_2 katkılı B_4C-SiC içeren 8200, 8202_m ve 8204_m olarak gruplanan kompozit malzemelerin kalınlık-bağıl sayım grafikleri çizilmiştir. Bu bağlamda, TiB_2 katkılı B_4C-SiC içeren 8200, 8202_m ve 8204_m olarak gruplanan kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağı karşısında zayıflatma eğrilerine ulaşılmıştır. TiB_2 katkılı B_4C-SiC içeren 8200, 8202_m ve 8204_m olarak gruplanan kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağına ilişkin zayıflatma eğrileri Şekil 5.13'de verilmektedir.



Şekil 5.13 : 8200, 8202_m ve 8204_m kompozitlerin Co-60 gama zayıflatma eğrileri.

5.1.2.4 Co-60Gama radyoizotop kaynağı kullanılarak TiB_2 katkılı B_4C-SiC içeren 8202_m, 8202_n ve 8204_m 8204_n olarak gruplanan kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları

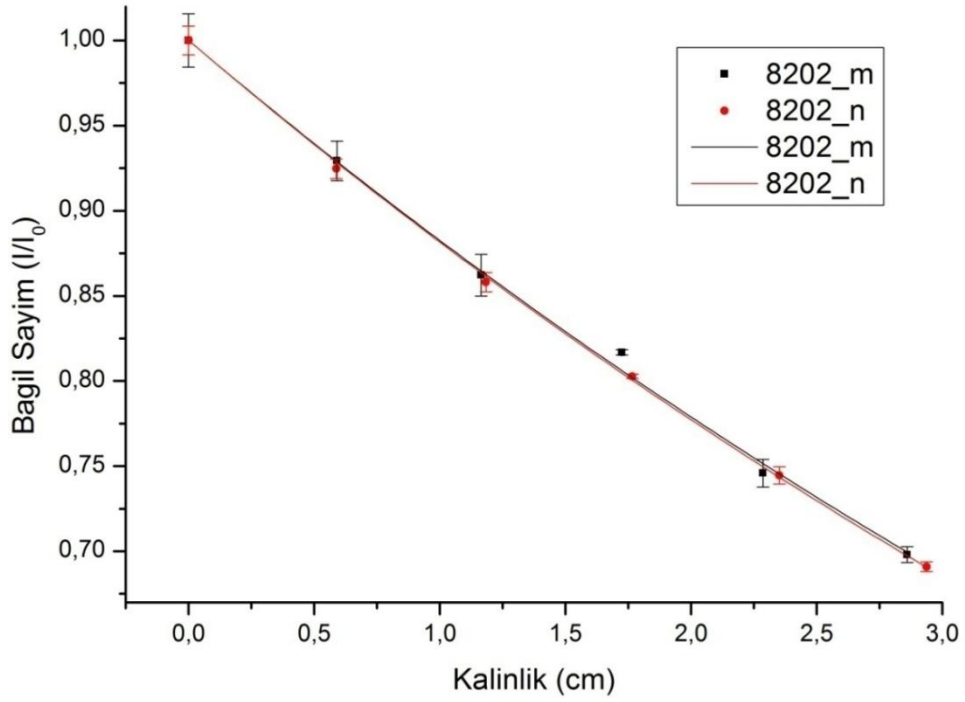
TiB_2 katkılı B_4C-SiC içeren (ve Çizelge 4.3'de tanıtılan mikro ve nano yapılı parçacıklı) 8202_m, 8202_n, 8204_m 8204_n olarak gruplanan kompozit malzemelerin Co-60gama radyoizotop kaynağı karşısındaki radyasyon zayıflatma davranışının incelemesi amacıyla malzemelerin kalınlık-bağıl sayım değerleri elde edilmiştir. TiB_2 katkılı B_4C-SiC içeren 8202_m, 8202_n, 8204_m 8204_n olarak

gruplanan kompozit malzemelerin Co-60gama radyoizotop kaynağı kullanılarak ulaşılan deney sonuçları Çizelge 5.14’de verilmektedir.

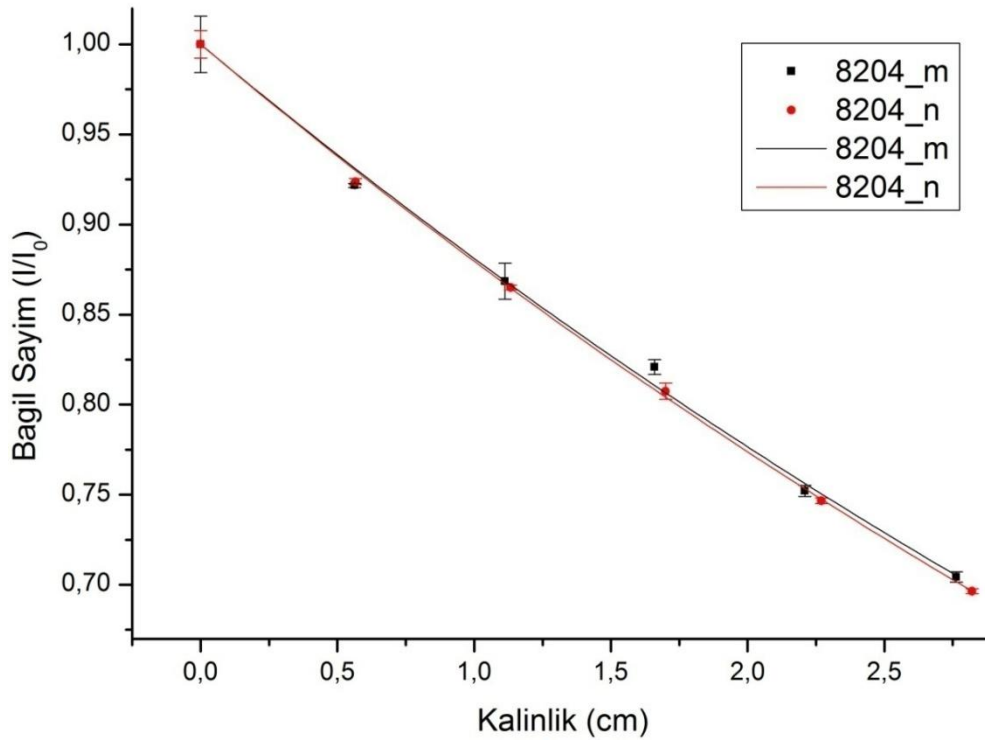
Çizelge 5.14 : 8202_m, 8202_n, 8204_m ve 8204_n malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağı kullanılarak kalınlık-bağıl sayım değerleri.

8202_m		8202_n		8204_m		8204_n	
Kalınlık	Bağıl Sayım	Kalınlık	Bağıl Sayım	Kalınlık	Bağıl Sayım	Kalınlık	Bağıl Sayım
0	1,0000	0	1,0000	0	1,0000	0	1,0000
0,5903	0,9294	0,5879	0,9247	0,5635	0,9217	0,5661	0,9239
1,1647	0,8623	1,1837	0,8581	1,112	0,8686	1,1332	0,8652
1,7246	0,8169	1,766	0,8026	1,6606	0,8198	1,7	0,8073
2,2865	0,7458	2,3512	0,7444	2,2091	0,7520	2,27	0,7466
2,8594	0,6980	2,937	0,6908	2,7633	0,7043	2,8207	0,6965

Çizelge 5.14’teki değerlerden hareketle Co-60 gama radyoizotop kaynağına ilişkin TiB_2 katkılı B_4C-SiC içeren 8200, 8202_m, 8202_n, 8204_m 8204_n olarak gruplanan kompozit malzemelerin kalınlık-bağıl sayım grafikleri çizilmiştir. Bu bağlamda, TiB_2 katkılı B_4C-SiC içeren 8200, 8202_m, 8202_n, 8204_m 8204_nolarak gruplanan kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağı karşısında zayıflatma eğrilerine ulaşılmış olmaktadır. TiB_2 katkılı B_4C-SiC içeren 8200, 8202_m, 8202_n, 8204_m 8204_nolarak gruplanan kompozit malzemelerinCo-60 gama radyoizotop kaynağına ilişkin zayıflatma eğrileri Şekil 5.14’teverilmektedir.



(a)



(b)

Şekil 5.14 : %2 (a) ve % 4 (b) mikro ve nano boyutlu TiB₂ katkılı %80 B₄C- %20 SiC kompozitlerinin Co-60 gama zayıflatma eğrileri.

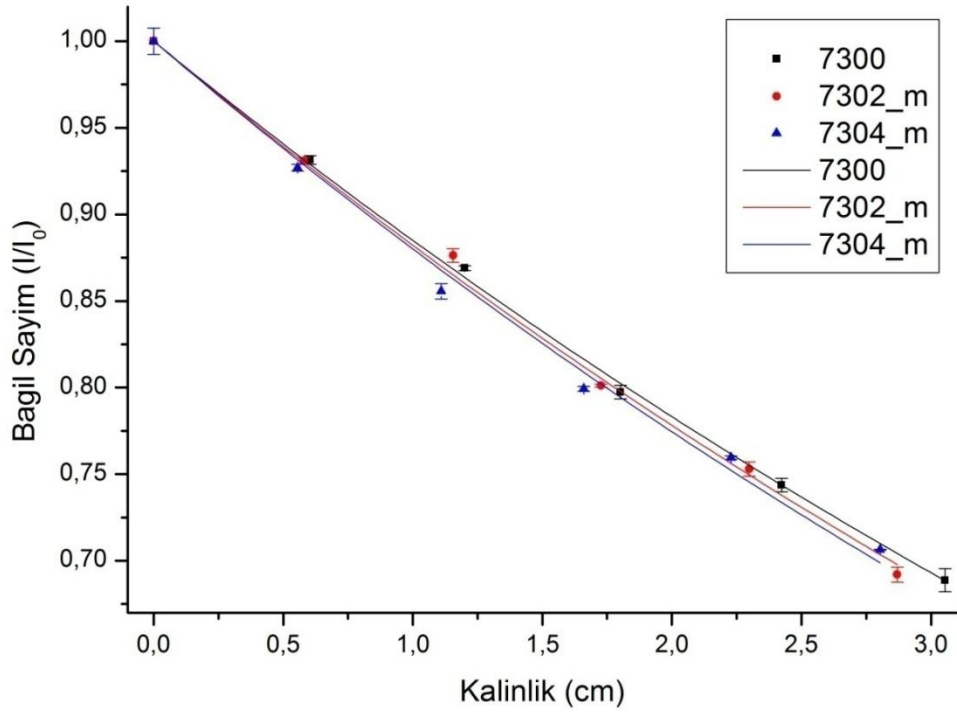
5.1.2.5 Co-60Gama radyoizotop kaynağı kullanılarak TiB₂ katkıli B₄C-SiC içeren 7300, 7302_m ve 7304_m olarak gruplanan kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları

TiB₂ katkıli B₄C-SiC içeren 7300, 7302_m ve 7304_m olarak gruplanan kompozit malzemelerin (ve Çizelge 4.4’de tanıtılan) Co-60gama radyoizotop kaynağı karşısındaki radyasyon zayıflatma davranışının incelemesi amacıyla malzemelerin kalınlık-bağıl sayım değerleri elde edilmiştir. TiB₂ katkıli B₄C-SiC 7300, 7302_m ve 7304_m olarak gruplanan kompozit malzemelerin Co-60gama radyoizotop kaynağı kullanılarak ulaşılan deney sonuçları Çizelge 5.15’de verilmektedir.

Çizelge 5.15 : 7300, 7302_m ve 7304_m kompozit malzemelerin Co-60gama radyoizotop kaynağı kullanılarak kalınlık-bağıl sayım değerleri

7300		7302_m		7304_m	
Kalınlık	Bağıl Sayım	Kalınlık	Bağıl Sayım	Kalınlık	Bağıl Sayım
0	1,0000	0	1,0000	0	1,0000
0,6036	0,9315	0,58	0,9309	0,5554	0,9270
1,2008	0,8690	1,1554	0,8764	1,1092	0,8557
1,8024	0,7973	1,7266	0,8009	1,6602	0,7992
2,4226	0,7437	2,2982	0,7530	2,2282	0,7596
3,0538	0,6886	2,8695	0,6920	2,8038	0,7064

Çizelge 5.15’deki değerlerden hareketle Co-60gama radyoizotop kaynağına ilişkin TiB₂ katkıli B₄C-SiC içeren 7300, 7302_m ve 7304_m olarak gruplanan kompozit malzemelerin kalınlık-bağıl sayım grafikleri çizilmiştir. Bu bağlamda, TiB₂ katkıli B₄C-SiC içeren 7300, 7302_m ve 7304_m olarak gruplanan kompozit malzemelerin Co-60gama radyoizotop kaynağı karşısında zayıflatma eğrilerine ulaşılmış olmaktadır. TiB₂ katkıli B₄C-SiC içeren 7300, 7302_m ve 7304_m olarak gruplanan kompozit malzemelerin Co-60gama radyoizotop kaynağına ilişkin zayıflatma eğrileri Şekil 5.15’de verilmektedir



Şekil 5.15 : 7300, 7302_m ve 7304_m malzemelerin Co-60 gama zayıflatma eğrileri.

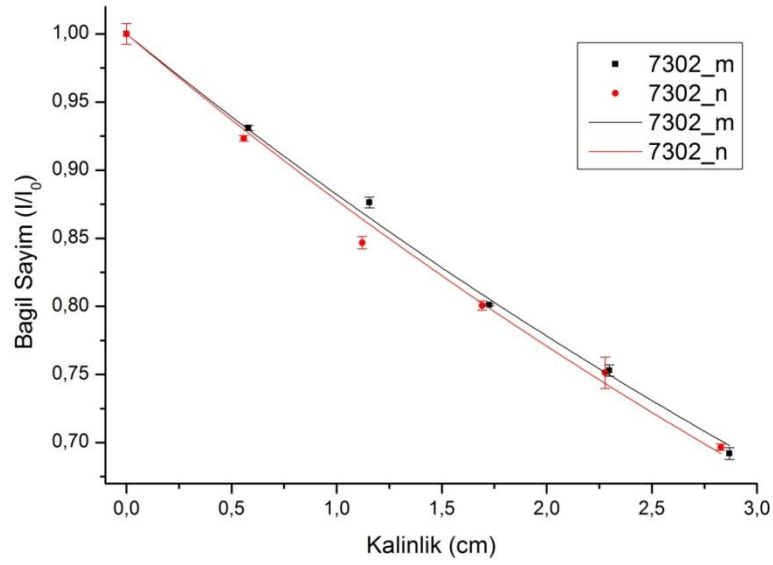
5.1.2.6 Cs-137 Gama radyoizotop kaynağı kullanılarak TiB₂ katkılı B₄C-SiC içeren 7302_m, 7302_n ve 7304_m 7304_n olarak gruplanan kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları

TiB₂ katkılı B₄C-SiC içeren (ve Çizelge 4.5’de tanıtılan mikro ve nano yapılı parçacıklı) 7302_m, 7302_n, 7304_m ve 7304_n olarak gruplanan kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı karşısındaki radyasyon zayıflatma davranışının incelemesi amacıyla malzemelerin kalınlık-bağıl sayım değerleri elde edilmiştir. TiB₂ katkılı B₄C-SiC içeren 7302_m, 7302_n, 7304_m ve 7304_n olarak gruplanan kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı kullanılarak ulaşılan deney sonuçları Çizelge 5.16’de verilmektedir.

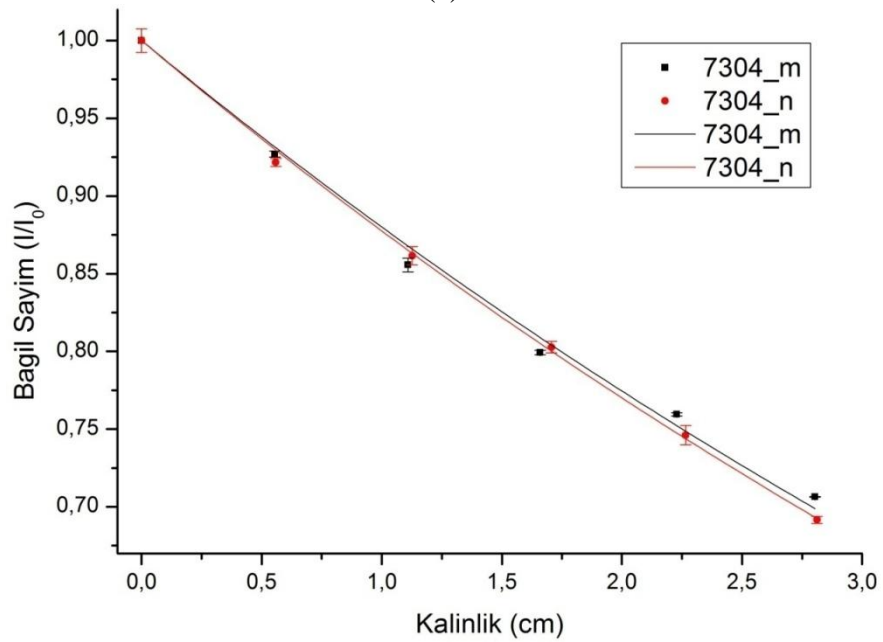
Çizelge 5.16 : 7302_m, 7302_n, 7304_m ve 7304_n malzemelerin Co-60 gama kaynağı karşısındaki kalınlık-bağıl sayım deney sonuçları.

7302_m		7302_n		7304_m		7304_n	
Kalınlık	Bağıl Sayım	Kalınlık	Bağıl Sayım	Kalınlık	Bağıl Sayım	Kalınlık	Bağıl Sayım
0	1,0000	0	1,0000	0	1,0000	0	1,0000
0,58	0,9309	0,5578	0,9235	0,5554	0,9270	0,5587	0,9219
1,1554	0,8764	1,1212	0,8468	1,1092	0,8557	1,1265	0,8615
1,7266	0,8009	1,6923	0,8005	1,6602	0,7992	1,7066	0,8049
2,2982	0,7530	2,2777	0,7514	2,2282	0,7596	2,2654	0,7462
2,8695	0,6920	2,8283	0,6967	2,8038	0,7064	2,8125	0,6916

Çizelge 5.16'deki değerlerden hareketle Cs-137 gama radyoizotop kaynağına ilişkin TiB_2 katkılı B_4C-SiC içeren 7302_m, 7302_n, 7304_m ve 7304_n olarak gruplanan kompozit malzemelerin kalınlık-bağıl sayım grafikleri çizilmiştir. Bu bağlamda, TiB_2 katkılı B_4C-SiC içeren 7302_m, 7302_n, 7304_m ve 7304_n olarak gruplanan kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı karşısında zayıflatma eğrilerine ulaşılmış olmaktadır. TiB_2 katkılı B_4C-SiC içeren 7302_m, 7302_n, 7304_m ve 7304_n olarak gruplanan kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağına ilişkin zayıflatma eğrileri Şekil 5.16'de verilmektedir.



(a)



(b)

Şekil 5.16 : % 2 (a) ve % 4 (b) mikro ve nano boyutlu TiB_2 katkılı %70 B_4C -%30 SiC kompozitlerinin Co-60 gama zayıflatma eğrileri.

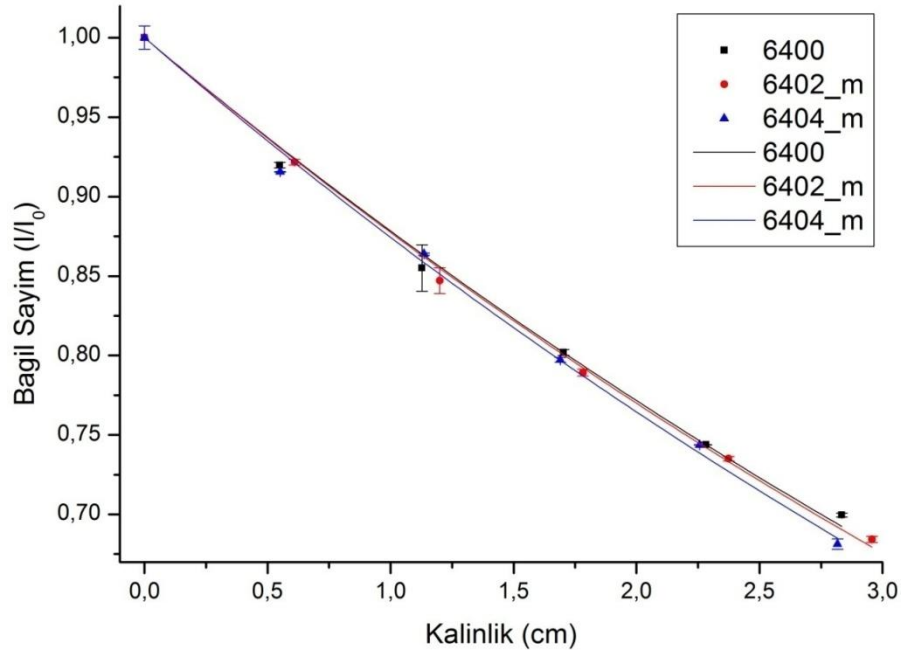
5.1.2.7 Cs-137 Gama radyoizotop kaynağı kullanılarak TiB₂ katkılı B₄C-SiC içeren 6400, 6402_m ve 6404_m olarak gruplanan kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları

TiB₂ katkılı B₄C-SiC içeren 6400, 6402_m ve 6404_m olarak gruplanan kompozit malzemelerin (ve Çizelge 4.4’de tanıtılan) Cs-137 gama radyoizotop kaynağı karşısındaki radyasyon zayıflatma davranışının incelemesi amacıyla malzemelerin kalınlık-bağıl sayım değerleri elde edilmiştir. TiB₂ katkılı B₄C-SiC 6400, 6402_m ve 6404_m olarak gruplanan kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı kullanılarak ulaşılan deney sonuçları Çizelge 5.17’de verilmektedir

Çizelge 5.17 : Çizelge 5.6 : 6400, 6402_m ve 6404_m kompozit malzemelerin Co-60 gama kaynağı karşısındaki kalınlık-bağıl sayım sonuçları.

6400		6402_m		6404_m	
Kalınlık	Bağıl Sayım	Kalınlık	Bağıl Sayım	Kalınlık	Bağıl Sayım
0	1,0000	0	1,0000	0	1,0000
0,5493	0,9187	0,6102	0,9217	0,5512	0,9156
1,1281	0,8551	1,2	0,8461	1,1363	0,8639
1,7042	0,8020	1,7828	0,7892	1,6901	0,7972
2,2833	0,7438	2,3745	0,7350	2,2562	0,7437
2,8348	0,6996	2,9575	0,6843	2,8167	0,6813

Çizelge 5.17’deki değerlerden hareketle Cs-137 gama radyoizotop kaynağına ilişkin TiB₂ katkılı B₄C-SiC içeren 6400, 6402_m ve 6404_m olarak gruplanan kompozit malzemelerin kalınlık-bağıl sayım grafikleri çizilmiştir. Bu bağlamda, TiB₂ katkılı B₄C-SiC içeren 6400, 6402_m ve 6404_m olarak gruplanan kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı karşısında zayıflatma eğrilerine ulaşılmış olmaktadır. TiB₂ katkılı B₄C-SiC içeren 6400, 6402_m ve 6404_m olarak gruplanan kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağına ilişkin zayıflatma eğrileri Şekil 5.17’de verilmektedir.



Şekil 5.17 : 6400, 6402_m ve 6404_m malzemelerin Co-60 gama zayıflatma eğrileri.

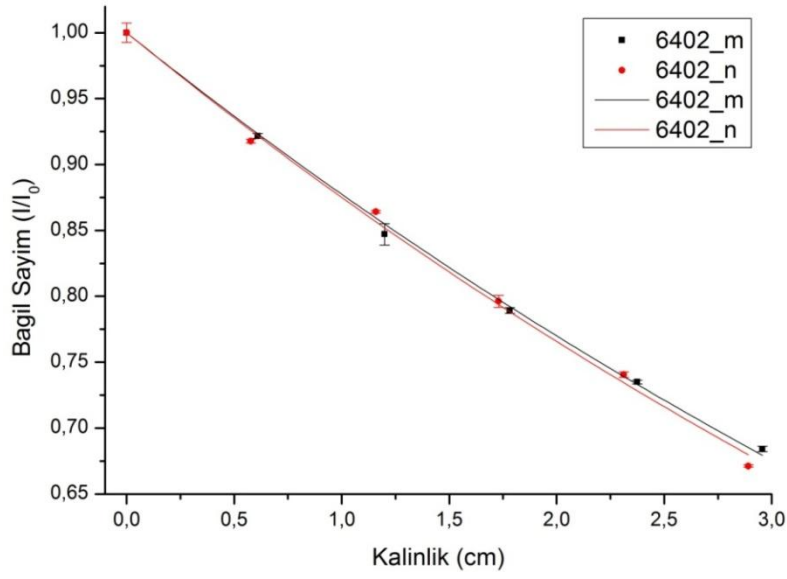
5.1.2.8 Cs-137 Gama radyoizotop kaynağı kullanılarak TiB₂ katkılı B₄C-SiC içeren 6402_m, 6402_n ve 6404_m 6404_n olarak gruplanan kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları

TiB₂ katkılı B₄C-SiC içeren (ve Çizelge 4.5’de tanıtılan mikro ve nano yapılı parçacıklı) 6402_m, 6402_n, 6404_m ve 6404_n olarak gruplanan kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı karşısındaki radyasyon zayıflatma davranışının incelemesi amacıyla malzemelerin kalınlık-bağıl sayım değerleri elde edilmiştir. TiB₂ katkılı B₄C-SiC içeren 6402_m, 6402_n, 6404_m ve 6404_n olarak gruplanan kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı kullanılarak ulaşılan deney sonuçları Çizelge 5.18’de verilmektedir

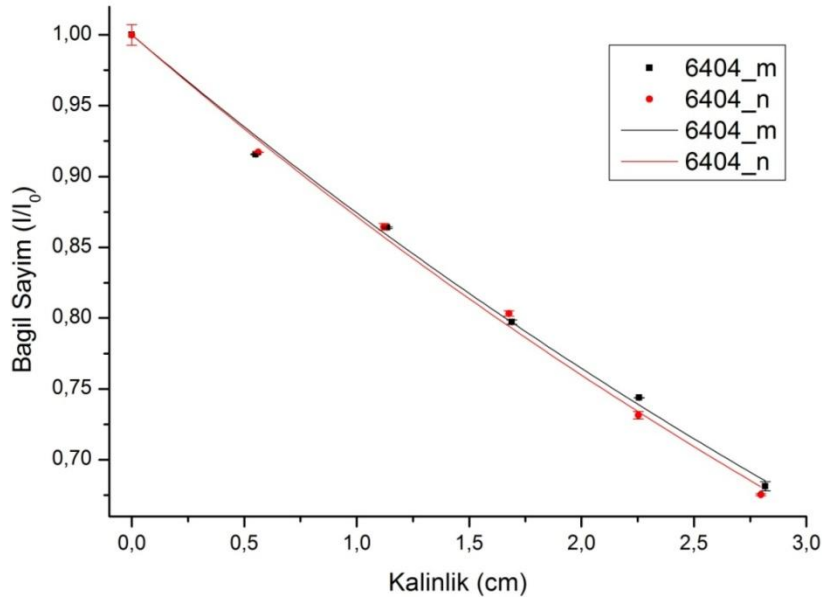
Çizelge 5.18 : 6402_m, 6402_n, 6404_m ve 6404_n malzemelerin Co-60 gama kaynağı karşısındaki kalınlık-bağıl sayım değerleri

6402_m		6402_n		6404_m		6404_n	
Kalınlık	Bağıl Sayım	Kalınlık	Bağıl Sayım	Kalınlık	Bağıl Sayım	Kalınlık	Bağıl Sayım
0	1,0000	0	1,0000	0	1,0000	0	1,0000
0,6102	0,9217	0,577	0,9063	0,5512	0,9156	0,5625	0,9171
1,2	0,8461	1,1587	1,3503	1,1363	0,8639	1,1207	0,8646
1,7828	0,7892	1,7299	1,2363	1,6901	0,7972	1,6774	0,8032
2,3745	0,7350	2,3121	1,1666	2,2562	0,7437	2,2529	0,7314
2,9575	0,6843	2,8913	1,0765	2,8167	0,6813	2,7977	0,6753

Çizelge 5.18'deki değerlerden hareketle Cs-137 gama radyoizotop kaynağına ilişkin TiB_2 katkıli B_4C-SiC içeren 6402_m, 6402_n, 6404_m ve 6404_n olarak gruplanan kompozit malzemelerin kalınlık-bağıl sayım grafikleri çizilmiştir. Bu bağlamda, TiB_2 katkıli B_4C-SiC içeren 6402_m, 6402_n, 6404_m ve 6404_n olarak gruplanan kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı karşısında zayıflatma eğrilerine ulaşılmış olmaktadır. TiB_2 katkıli B_4C-SiC içeren 6402_m, 6402_n, 6404_m ve 6404_n olarak gruplanan kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağına ilişkin zayıflatma eğrileri Şekil 5.18'de verilmektedir.



(a)



(b)

Şekil 5.18 : %2 (a) ve % 4 (b) mikro ve nano boyutlu TiB_2 katkıli %60 B_4C -%40 SiC kompozitlerinin Co-60 gama zayıflatma eğrileri.

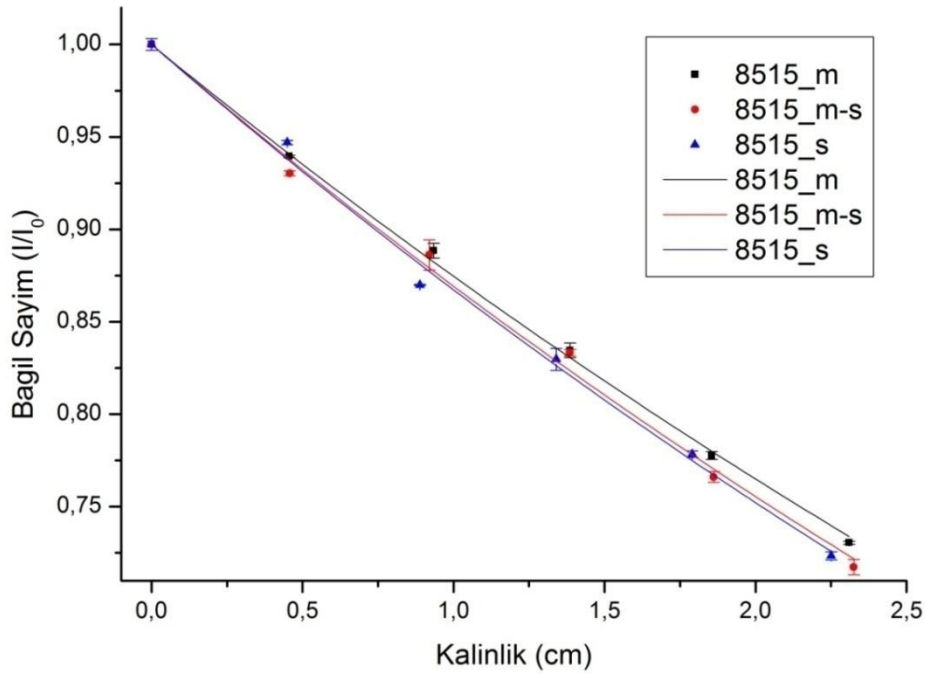
5.1.2.9 Co-60Gama radyoizotop kaynağı kullanılarak normal sinterleme B₄C - TiB₂ kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları

B₄C-TiB₂ (ve Çizelge 4.8’de tanıtılan) normal sinterleme kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağı karşısındaki radyasyon zayıflatma davranışının incelemesi amacıyla malzemelerin kalınlık-bağıl sayım değerleri elde edilmiştir. B₄C-TiB₂ normal sinterleme kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağı kullanılarak ulaşılan deney sonuçları Çizelge 5.19’de verilmektedir.

Çizelge 5.19 : 8515_m, 8515_ms ve 8515_s malzemelerinin Co-60 gama kaynağı karşısındaki kalınlık-bağıl sayım sonuçları.

8515_m		8515_ms		8515_s	
Kalınlık	Bağıl Sayım	Kalınlık	Bağıl Sayım	Kalınlık	Bağıl Sayım
0	1,0000	0	1,0000	0	1,0000
0,4565	0,9394	0,4573	0,9304	0,4493	0,9468
0,9343	0,8883	0,9191	0,8861	0,8886	0,8698
1,3864	0,8343	1,3855	0,8333	1,3405	0,8295
1,8552	0,7775	1,8615	0,7661	1,7909	0,7783
2,31	0,7304	2,325	0,7173	2,2506	0,7234

Çizelge 5.19’deki değerlerden hareketle Cs-137 gama radyoizotop kaynağına ilişkin B₄C-TiB₂ normal sinterleme kompozit malzemelerin kalınlık-bağıl sayım grafikleri çizilmiştir. Bu bağlamda, B₄C-TiB₂ normal sinterleme kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağı karşısında zayıflatma eğrilerine ulaşılmış olmaktadır. B₄C-TiB₂ normal sinterleme kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağına ilişkin zayıflatma eğrileri Şekil 5.19’de verilmektedir.



Şekil 5.19 : 8515_m, 8515_ms, 8515_s malzemelerinin Co-60 gama zayıflatma eğrileri.

5.1.2.10 Co-60 Gama radyoizotop kaynağı kullanılarak reaksiyon sinterleme B₄C -TiB₂ kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları

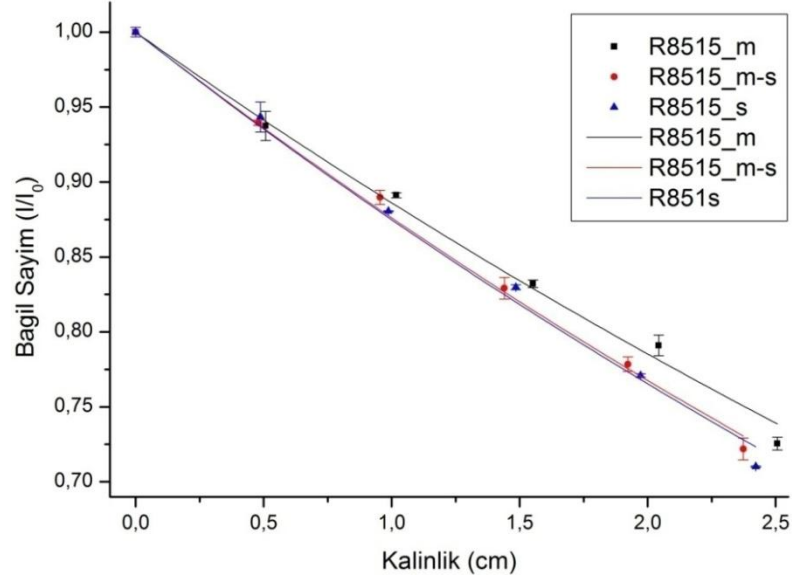
Reaksiyon sinterleme ile elde edilmiş olan B₄C-TiB₂ (Çizelge 4.9’de tanıtılan) kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağı karşısındaki radyasyon zayıflatma davranışının incelemesi amacıyla B₄C-TiB₂ reaksiyon sinterleme kompozit malzemelerin kalınlık-bağıl sayım değerleri elde edilmiştir. B₄C-TiB₂ reaksiyon sinterleme kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağı kullanılarak ulaşılan deney sonuçları Çizelge 5.20’da verilmektedir.

Çizelge 5.20 : R8515_m, R8515_ms, R8515_s kompozit malzemelerinin Co-60 gama radyoizotopu karşısındaki kalınlık-bağıl sayım değerleri

R8515_m		R8515_ms		R8515_s	
Kalınlık	Bağıl Sayım	Kalınlık	Bağıl Sayım	Kalınlık	Bağıl Sayım
0	1,0000	0	1,0000	0	1,0000
0,5078	0,9373	0,4798	0,9394	0,4877	0,9432
1,018	0,8911	0,9541	0,8897	0,9868	0,8804
1,5524	0,8321	1,4407	0,8291	1,4853	0,8297
2,0433	0,7908	1,9228	0,7783	1,9722	0,7708
2,5066	0,7254	2,3733	0,7207	2,4227	0,7100

Çizelge 5.20’deki değerlerden hareketle Co-60 gama radyoizotop kaynağına ilişkin B₄C-TiB₂ reaksiyon sinterleme kompozit malzemelerin kalınlık-bağıl sayım

grafikleri çizilmiştir. Bu bağlamda, B_4C-TiB_2 reaksiyon sinterleme kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağı karşısında zayıflatma eğrilerine ulaşılmış olmaktadır. B_4C-TiB_2 reaksiyon sinterleme kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağına ilişkin zayıflatma eğrileri Şekil 5.20’de verilmektedir.



Şekil 5.20 : R8515_m, R8515_ms, R8515_s kompozit malzemelerinin Co-60 gama zayıflatma eğrileri.

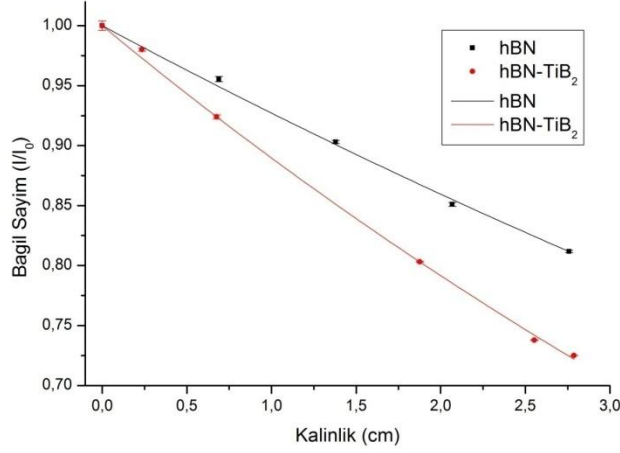
5.1.2.11 Co-60 Gama radyoizotop kaynağı kullanılarak bor nitrür içeren kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları

Bor nitrür içeren kompozit malzemeler Şekil 4.1’de tanımlandığı üzere, hegzagonal bor nitrür (hBN), hegzagonal bor nitrür-titanyum diborür (hBN-TiB₂) kompozitler incelenmiştir. hBN ve hBN-TiB₂ kompozit malzemelerin Co-60 gama kaynağı karşısındaki kalınlık-bağlı sayım değerleri Çizelge 5.21’de verilmektedir.

Çizelge 5.21 : hBN ve hBN-TiB₂ malzemelerin Co-60 gama radyasyonu ile yapılan deneylerin sonuçları.

hBN		hBN-TiB ₂	
Kalınlık	Bağlı Sayım	Kalınlık	Bağlı Sayım
0	1,0000	0	1,0000
0,6896	0,9553	0,2348	0,9801
1,3792	0,9030	0,6761	0,9240
2,0688	0,8510	1,8768	0,8032
2,7584	0,8117	2,5529	0,7378
		2,7877	0,7249

Çizelge 5.21'deki değerlerden hareketle Co-60 gama radyoizotop kaynağına ilişkin hBN ve hBN-TiB₂ kompozit malzemelerin kalınlık-bağıl sayım grafikleri çizilmiştir. Bu bağlamda, hBN ve hBN-TiB₂ kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağı karşısında zayıflatma eğrilerine ulaşılmış olmaktadır. hBN ve hBN-TiB₂ kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağına ilişkin zayıflatma eğrileri Şekil 5.21'de verilmektedir.



Şekil 5.21 : hBN ve hBN-TiB₂ malzemelerinin Co-60 gama radyasyonu karşısındaki zayıflatma eğrileri.

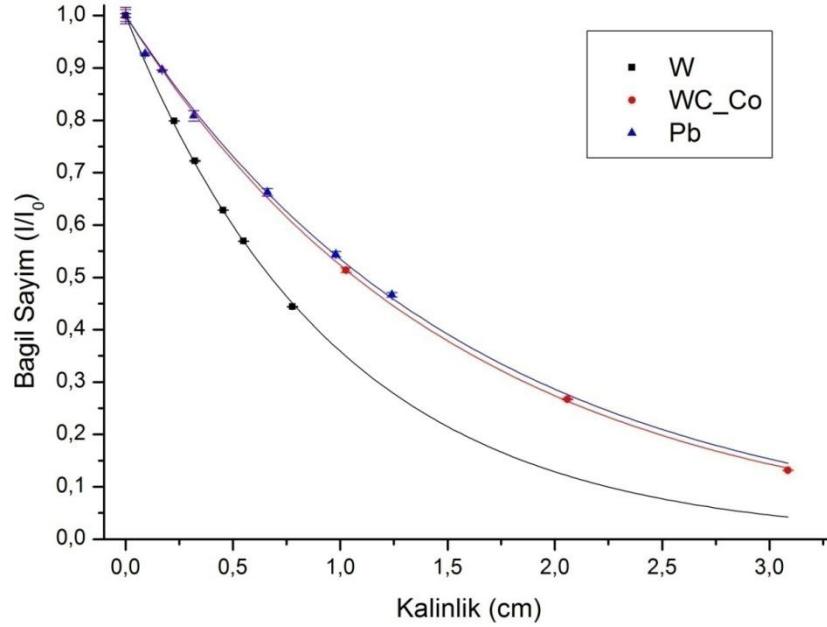
5.1.2.12 Co-60 Gama radyoizotop kaynağı kullanılarak tungsten içeren malzemeler ve Kurşun ile yapılan deneylerin sonuçları

Tungsten içeren kompozit malzemeler Şekil 4.1'de tanımlandığı üzere, saf tungsten (W) ve tungsten karbür-kobalt (WC_Co) kompozit malzemeler incelenmiştir. Burada, tungsten kurşuna (Pb) yakın bir malzeme olması nedeniyle, pratikte sıkça kullanılan kurşun ile de karşılaştırılmıştır. W, WC_Co ve Pb malzemelerin Co-60 gama kaynağı karşısındaki kalınlık-bağıl sayım değerleri Çizelge 5.22'de verilmektedir.

Çizelge 5.22 : W, WC_Co ve Pb malzemelerin Co-60 gama radyasyonu ile gerçekleştirilen deneylerin sonuçları.

W		WC_Co		Pb	
Kalınlık	Bağıl Sayım	Kalınlık	Bağıl Sayım	Kalınlık	Bağıl Sayım
0	1,0000	0	1,0000	0	1,0000
0,2272	0,7988	1,0271	0,5138	0,0913	0,9270
0,3228	0,7225	2,0592	0,2671	0,17	0,8961
0,4541	0,6284	3,0861	0,1314	0,318	0,8088
0,55	0,5693			0,6608	0,6623
0,7769	0,4443			0,9788	0,5442
				1,2401	0,4328

Çizelge 5.22’de elde edilen değerler kullanılarak W, WC_Co ve Pb malzemelerin Co-60 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri oluşturulmuş ve Şekil 5.22’de gösterilmiştir.



Şekil 5.22 : W, WC_Co ve Pb malzemelerinin Co-60 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri.

5.2 Nötron Deney Sonuçları

Bu doktora tezinde, tungsten, titanyum ve bor içeren bazı özel kompozit malzemelerin radyasyon karşısındaki davranışlarının incelenmesi Bölüm 4 içinde anlatılan ve detayları açıklanan deney düzenekleri kullanılarak belli bir sistematik çerçevesinde deneyler gerçekleştirilmiştir.

Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı ile gerçekleştirilen deneyler neticesinde malzemelerin kalınlık-bağıl sayım değerleri elde edilmiştir. Kalınlık-bağıl sayım değerleri kullanılarak malzemelerin NH-3 kaynağı karşısındaki zayıflatma eğrileri oluşturulmuştur. Malzemeler içinden tungsten ve bor içermeleri bağlamında tungsten ve borun nötron zayıflatma özelliklerinin incelenmesi amacına yönelik incelenmişlerdir. Malzeme özelliklerine uygun olarak deney düzeneği oluşturulmuştur. Bu bağlamda deneyleri gerçekleştirilen malzemeler saf tungsten (W), hekzagonal bor nitrür (hBN), hekzagonal bor nitrür-titanyum diborür (hBN-TiB₂) kompozitleri ve tungsten karbür-kobalt (WC_Co) kompozitleridir.

Pu-Be nötron howitser (NH-3) kaynağı ile yapılan deneyler çerçevesinde düzenlenen Ek A.15- Ek A.21 tablolarında tungsten, titanyum ve bor içeren bazı özel kompozit malzemelere ilişkin kalınlık-bağıl sayım değerleri kullanılarak çalışılan malzemelerin radyasyon zayıflatma değerleri belirlenmiş ve ilgili eğrileri çizilmiştir. Bu bağlamda malzemeler gruplar halinde aşağıdaki alt bölümlerde değerlendirilmektedir.

5.2.1 Pu-Be nötron howitser (NH-3) kaynağı kullanılarak bor karbür içeren kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları

Bor kabür içeren kompozit malzemeler Şekil 4.1’de tanıtıldığı üzere, saf bor karbür (B_4C), bor karbür-silisyum karbür (B_4C-SiC) ve titanyum diborür katkılı bor karbür-silisyum karbür (TiB_2 katkılı B_4C-SiC) kompozitler olarak kendi içinde ayrılabilir. Ayrıca, bor karbür-titanyum diborür (B_4C-TiB_2) kompozit malzemeler ile de çalışılmıştır.

5.2.1.1 Pu-Be nötron howitser (NH-3) kaynağı kullanılarak saf B_4C ve B_4C-SiC içeren kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları

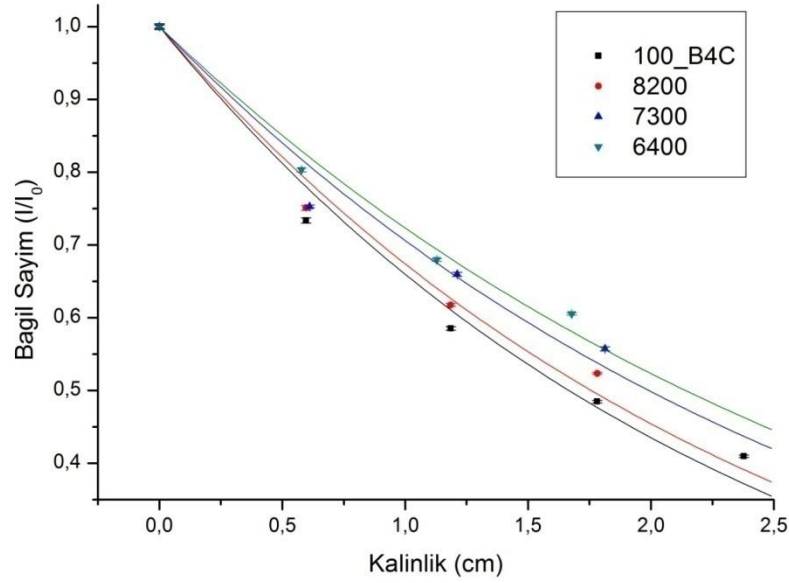
Saf B_4C ve B_4C-SiC içeren (ve Çizelge 4.1’de tanıtılan) kompozit malzemelerin malzemelerin Pu-Be nötron howitser (NH-3) kaynağı karşısındaki zayıflatma davranışının incelemesi amacıyla malzemelerin kalınlık-bağıl sayım değerleri elde edilmiştir. Saf bor karbür (B_4C) ve B_4C-SiC kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitser (NH-3) kaynağı kullanılarak ulaşılan deney sonuçları Çizelge 5.23’de verilmektedir.

Çizelge 5.23 : B_4C ve B_4C-SiC kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitser (NH-3) kaynağı için kalınlık-bağıl sayım değerleri.

100_ B_4C		8200		7300		6400	
Kalınlık	Bağıl Sayım	Kalınlık	Bağıl Sayım	Kalınlık	Bağıl Sayım	Kalınlık	Bağıl Sayım
0	1	0	1	0	1	0	1
0,5968	0,7335	0,5968	0,7509	0,611	0,7529	0,5776	0,803
1,1858	0,5849	1,1858	0,6173	1,2117	0,6597	1,1284	0,6796
1,7819	0,4845	1,7819	0,5234	1,813	0,557	1,6775	0,6051

Çizelge 5.23’deki değerlerden hareketle Pu-Be nötron howitser (NH-3) kaynağına ilişkin saf B_4C ve B_4C-SiC içeren malzemelerin kalınlık-bağıl sayım grafikleri çizilmiştir. Bu bağlamda, bor-karbür malzemelerin Pu-Be nötron howitser (NH-3) kaynağı karşısında zayıflatma eğrilerine ulaşılmış olmaktadır. B_4C ve B_4C-SiC

kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağına ilişkin zayıflatma eğrileri Şekil 5.23’de verilmektedir.



Şekil 5.23 : Bor karbür-silisyum karbür kompozitlerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) zayıflatma eğrileri.

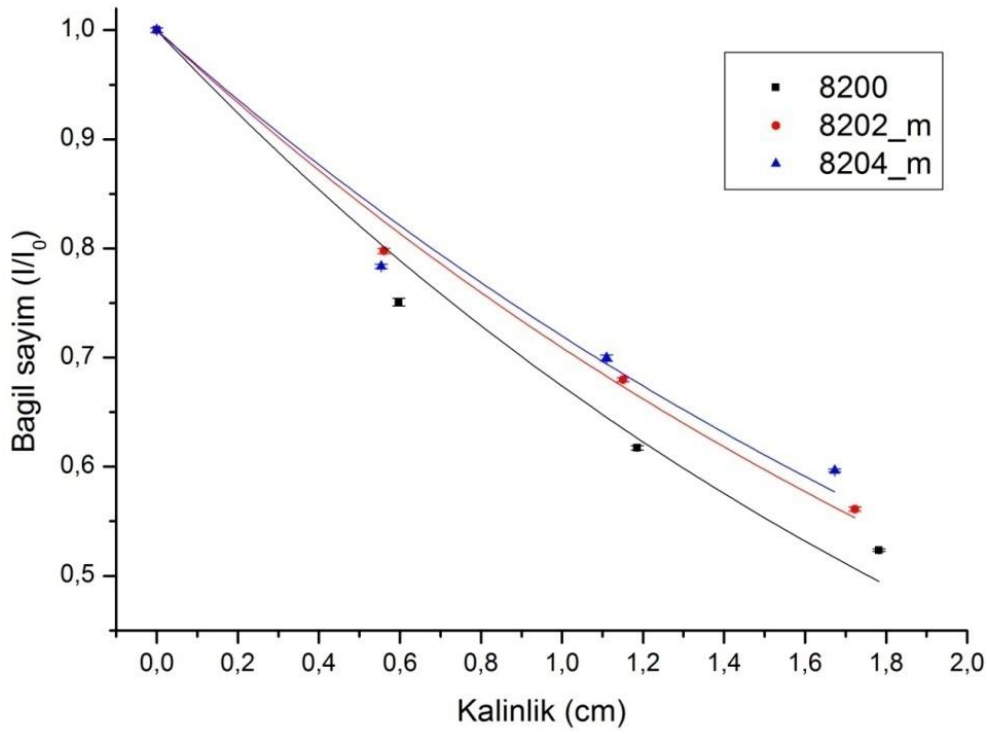
5.2.1.2 Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı kullanılarak TiB₂ katkılı B₄C-SiC içeren 8200, 8202_m ve 8204_m olarak gruplanan kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları

TiB₂ katkılı B₄C-SiC içeren 8200, 8202_m ve 8204_m olarak gruplanan kompozit malzemelerin (ve Çizelge 4.2’de tanımlanan) Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı karşısındaki radyasyon zayıflatma davranışının incelemesi amacıyla malzemelerin kalınlık-bağli sayım değerleri elde edilmiştir. TiB₂ katkılı B₄C-SiC 8200, 8202_m ve 8204_m olarak gruplanan kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı kullanılarak ulaşılan deney sonuçları Çizelge 5.24’de verilmektedir.

Çizelge 5.24 : TiB₂ katkılı B₄C-SiC içeren 8200, 8202_m ve 8204_m olarak gruplanan kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı için kalınlık-bağli sayım değerleri.

8200		8202_m		8204_m	
Kalınlık	Bağli Sayım	Kalınlık	Bağli Sayım	Kalınlık	Bağli Sayım
0	1	0	1	0	1
0,5968	0,7509	0,5606	0,7978	0,5537	0,7836
1,1858	0,6173	1,1509	0,6797	1,1105	0,6997
1,7819	0,5234	1,7228	0,5612	1,6734	0,5964

Çizelge 5.24'deki değerlerden hareketle Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağına ilişkin TiB_2 katkılı B_4C-SiC içeren 8200, 8202_m ve 8204_m olarak gruplanan kompozit malzemelerin kalınlık-bağıl sayım grafikleri çizilmiştir. Bu bağlamda, TiB_2 katkılı B_4C-SiC içeren 8200, 8202_m ve 8204_m olarak gruplanan kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı karşısında zayıflatma eğrilerine ulaşılmış olmaktadır. TiB_2 katkılı B_4C-SiC içeren 8200, 8202_m ve 8204_m olarak gruplanan kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağına ilişkin zayıflatma eğrileri Şekil 5.24'de verilmektedir.



Şekil 5.24 : 8200, 8202_m ve 8204_m kompozitlerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) zayıflatma eğrileri.

5.2.1.3 Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı kullanılarak TiB_2 katkılı B_4C-SiC içeren 8202_m, 8202_n ve 8204_m 8204_n olarak gruplanan kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları

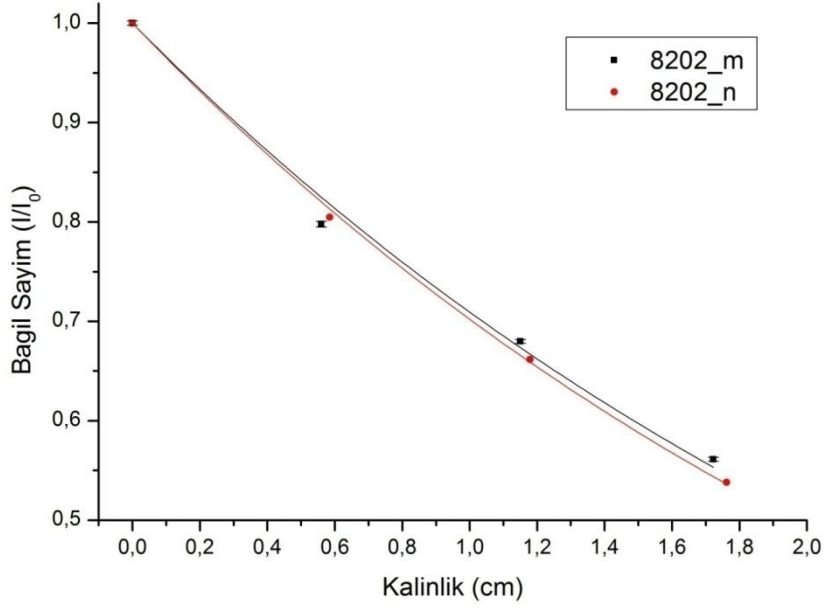
TiB_2 katkılı B_4C-SiC içeren (ve Çizelge 4.3'de tanıtılan mikro ve nano yapıları parçacıklı) 8202_m, 8202_n, 8204_m 8204_n olarak gruplanan kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı karşısındaki radyasyon zayıflatma davranışının incelenmesi amacıyla malzemelerin kalınlık-bağıl sayım değerleri elde edilmiştir. TiB_2 katkılı B_4C-SiC içeren 8202_m, 8202_n, 8204_m

8204_n olarak gruplanan kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı kullanılarak ulaşılan deney sonuçları Çizelge 5.25’de verilmektedir.

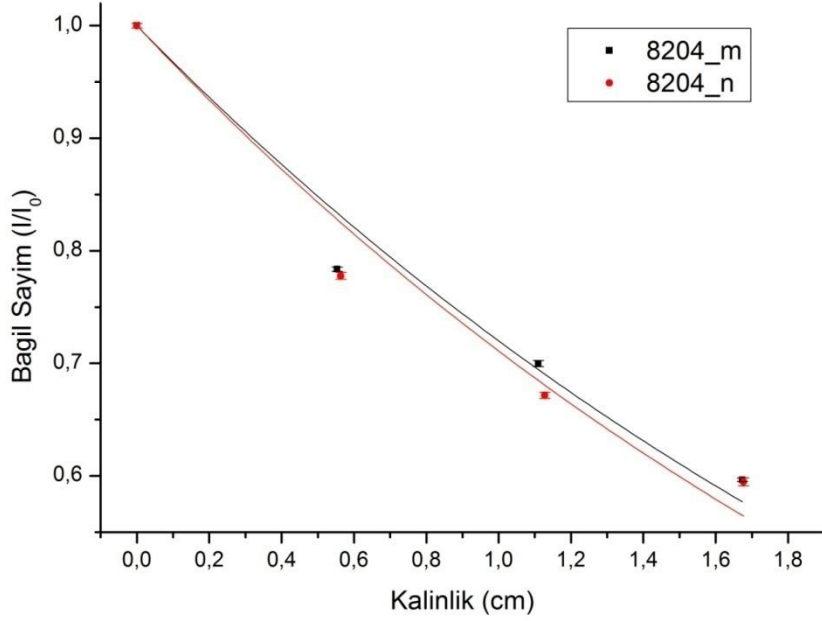
Çizelge 5.25 : TiB₂ katkılı B₄C-SiC içeren 8200, 8202_m, 8202_n, 8204_m 8204_n olarak gruplanan kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı için kalınlık-bağıl sayım değerleri.

8202_m		8202_n		8204_m		8204_n	
Kalınlık	Bağıl Sayım	Kalınlık	Bağıl Sayım	Kalınlık	Bağıl Sayım	Kalınlık	Bağıl Sayım
0	1	0	1	0	1	0	1
0,5606	0,7978	0,5854	0,8049	0,5537	0,7836	0,5636	0,7778
1,1509	0,6797	1,1791	0,6615	1,1105	0,6997	1,1279	0,6715
1,7228	0,5612	1,7618	0,5381	1,6734	0,5964	1,6772	0,5947

Çizelge 5.25’teki değerlerden hareketle Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağına ilişkin TiB₂ katkılı B₄C-SiC içeren 8200, 8202_m, 8202_n, 8204_m 8204_n olarak gruplanan kompozit malzemelerin kalınlık-bağıl sayım grafikleri çizilmiştir. Bu bağlamda, TiB₂ katkılı B₄C-SiC içeren 8200, 8202_m, 8202_n, 8204_m 8204_n olarak gruplanan kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı karşısında zayıflatma eğrilerine ulaşılmış olmaktadır. TiB₂ katkılı B₄C-SiC içeren 8200, 8202_m, 8202_n, 8204_m 8204_n olarak gruplanan kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağına ilişkin zayıflatma eğrileri Şekil 5.25’te verilmektedir.



(a)



(b)

Şekil 5.25 : %2 (a) ve % 4 (b) mikro ve nano boyutlu TiB₂ katkılı B₄C-SiC kompozitlerinin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) zayıflatma eğrileri.

5.2.1.4 Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı kullanılarak TiB₂ katkılı B₄C-SiC içeren 7300, 7302_m ve 7304_m olarak gruplanan kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları

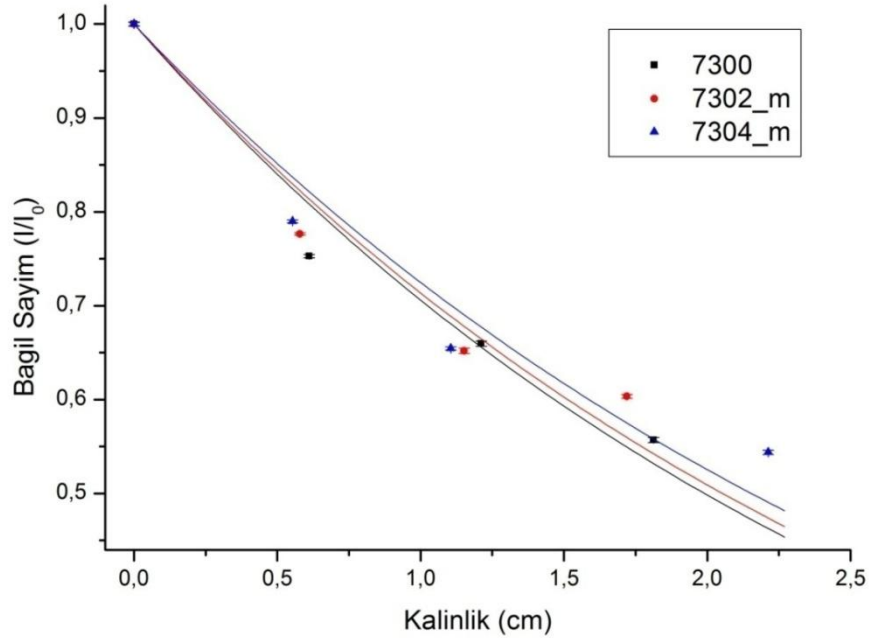
TiB₂ katkılı B₄C-SiC içeren 7300, 7302_m ve 7304_m olarak gruplanan kompozit malzemelerin (ve Çizelge 4.4'de tanıtılan) Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı karşısındaki radyasyon zayıflatma davranışının incelemesi amacıyla malzemelerin

kalınlık-bağıl sayım değerleri elde edilmiştir. TiB_2 katkılı B_4C-SiC 7300, 7302_m ve 7304_m olarak gruplanan kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı kullanılarak ulaşılan deney sonuçları Çizelge 5.26'de verilmektedir.

Çizelge 5.26 : 7300, 7302_m ve 7304_m kompozit malzemelerin kalınlık-bağıl sayım değerleri

7300		7302_m		7304_m	
Kalınlık	Bağıl Sayım	Kalınlık	Bağıl Sayım	Kalınlık	Bağıl Sayım
0	1	0	1	0	1
0,611	0,7529	0,5786	0,7766	0,5528	0,7899
1,2117	0,6597	1,1517	0,6519	1,1048	0,6544
1,813	0,557	1,7199	0,6034	2,2128	0,5438

Çizelge 5.26'deki değerlerden hareketle Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağına ilişkin TiB_2 katkılı B_4C-SiC içeren 7300, 7302_m ve 7304_m olarak gruplanan kompozit malzemelerin kalınlık-bağıl sayım grafikleri çizilmiştir. Bu bağlamda, TiB_2 katkılı B_4C-SiC içeren 7300, 7302_m ve 7304_m olarak gruplanan kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı karşısında zayıflatma eğrilerine ulaşılmış olmaktadır. TiB_2 katkılı B_4C-SiC içeren 7300, 7302_m ve 7304_m olarak gruplanan kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağına ilişkin zayıflatma eğrileri Şekil 5.26'de verilmektedir



Şekil 5.26 : TiB_2 katkılı B_4C-SiC içeren 7300, 7302_m ve 7304_m olarak gruplanan kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağına ilişkin zayıflatma eğrileri.

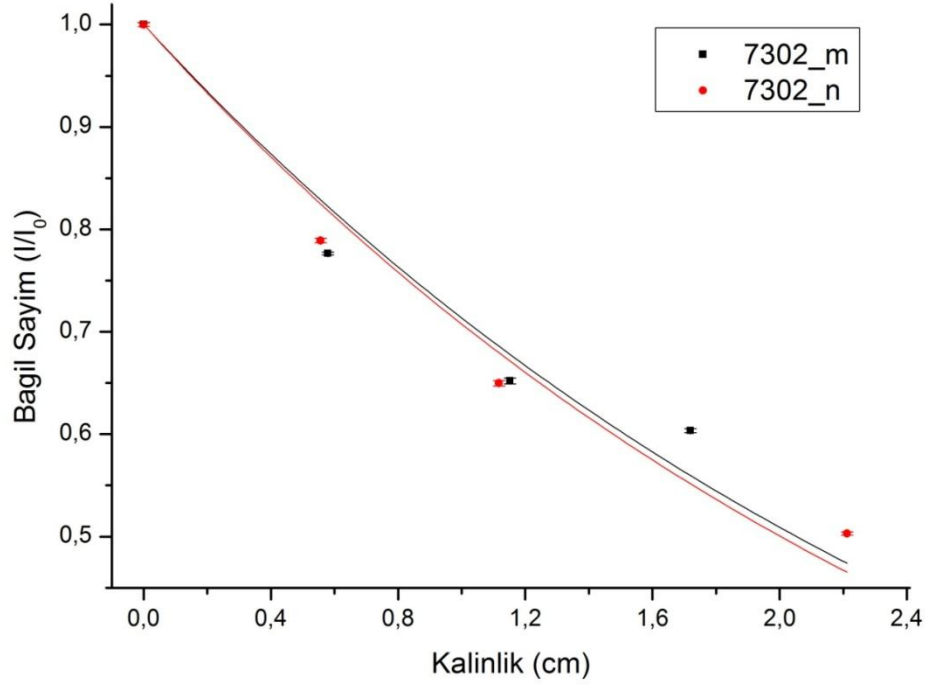
5.2.1.5 Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı kullanılarak TiB₂ katkıli B₄C-SiC içeren 7302_m, 7302_n ve 7304_m 7304_n olarak gruplanan kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları

TiB₂ katkıli B₄C-SiC içeren (ve Çizelge 4.5’de tanıtılan mikro ve nano yapıli parçacıklı) 7302_m, 7302_n, 7304_m ve 7304_n olarak gruplanan kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı karşısındaki radyasyon zayıflatma davranışının incelemesi amacıyla malzemelerin kalınlık-bağıl sayım değeri elde edilmiştir. TiB₂ katkıli B₄C-SiC içeren 7302_m, 7302_n, 7304_m ve 7304_n olarak gruplanan kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı kullanılarak ulaşılan deney sonuçları Çizelge 5.27’de verilmektedir.

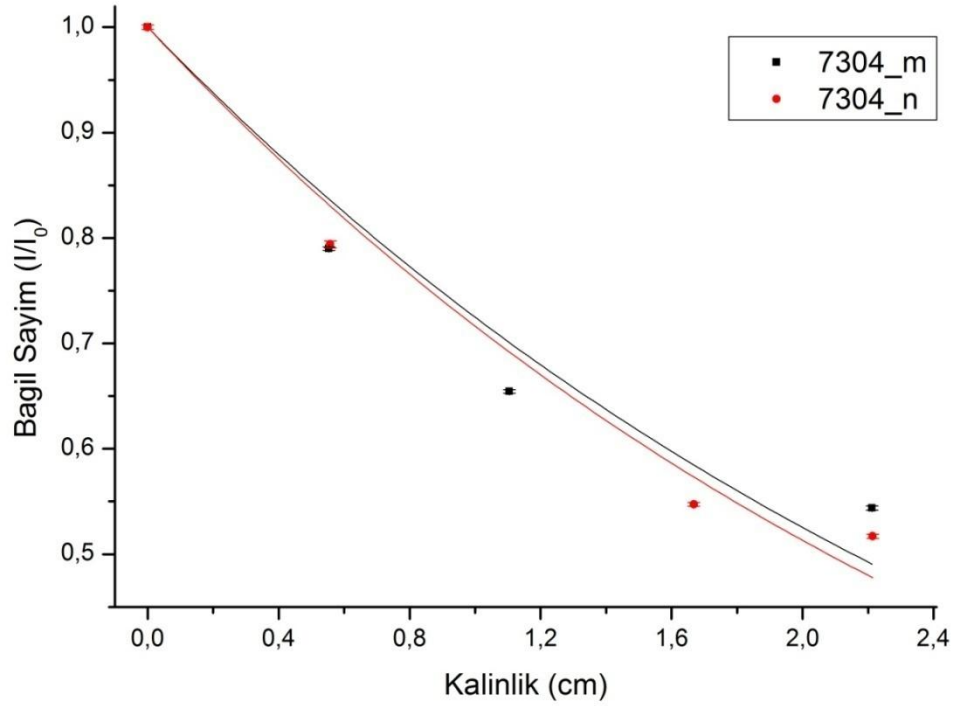
Çizelge 5.27 : TiB₂ katkıli B₄C-SiC içeren 7302_m, 7302_n, 7304_m ve 7304_n olarak gruplanan kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağına ilişkin kalınlık-bağıl sayım deney sonuçları.

7302_m		7302_n		7304_m		7304_n	
Kalınlık	Bağıl Sayım	Kalınlık	Bağıl Sayım	Kalınlık	Bağıl Sayım	Kalınlık	Bağıl Sayım
0	1	0	1	0	1	0	1
0,5786	0,7766	0,556	0,7891	0,5528	0,7899	0,5573	0,7941
1,1517	0,6519	1,1172	0,6497	1,1048	0,6544	1,668	0,5473
1,7199	0,6034	2,2121	0,5031	2,2128	0,5438	2,214	0,5171

Çizelge 5.27’deki değeri hareketle Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağına ilişkin TiB₂ katkıli B₄C-SiC içeren 7302_m, 7302_n, 7304_m ve 7304_n olarak gruplanan kompozit malzemelerin kalınlık-bağıl sayım grafikleri çizilmiştir. Bu bağlamda, TiB₂ katkıli B₄C-SiC içeren 7302_m, 7302_n, 7304_m ve 7304_n olarak gruplanan kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı karşısında zayıflatma eğriilerine ulaşılmış olmaktadır. TiB₂ katkıli B₄C-SiC içeren 7302_m, 7302_n, 7304_m ve 7304_n olarak gruplanan kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağına ilişkin zayıflatma eğriileri Şekil 5.27’de verilmektedir.



(a)



(b)

Şekil 5.27 : %2 (a) ve % 4 (b) mikro ve nano boyutlu TiB_2 katkılı %70 B_4C -%30SiC kompozitlerinin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) zayıflatma eğrileri.

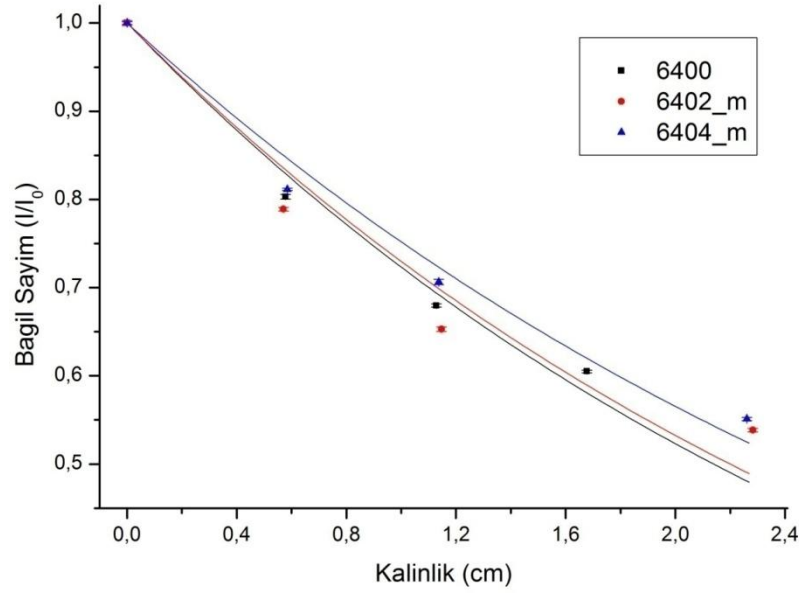
5.2.1.6 Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı kullanılarak TiB₂ katkıli B₄C-SiC içeren 6400, 6402_m ve 6404_m olarak gruplanan kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları

TiB₂ katkıli B₄C-SiC içeren 6400, 6402_m ve 6404_m olarak gruplanan kompozit malzemelerin (ve Çizelge 4.4’de tanıtılan) Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı karşısındaki radyasyon zayıflatma davranışının incelemesi amacıyla malzemelerin kalınlık-bağıl sayım değerleri elde edilmiştir. TiB₂ katkıli B₄C-SiC 6400, 6402_m ve 6404_m olarak gruplanan kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı kullanılarak ulaşılan deney sonuçları Çizelge 5.28’de verilmektedir.

Çizelge 5.28 : 6400, 6402_m ve 6404_m kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağına ilişkin kalınlık-bağıl sayım sonuçları.

6400		6402_m		6404_m	
Kalınlık	Bağıl Sayım	Kalınlık	Bağıl Sayım	Kalınlık	Bağıl Sayım
0	1	0	1	0	1
0,5776	0,803	0,5703	0,7891	0,5845	0,8114
1,1284	0,6796	1,1469	0,6529	1,137	0,7065
1,6775	0,6051	2,2825	0,5385	2,261	0,551

Çizelge 5.28’deki değerlerden hareketle Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağına ilişkin TiB₂ katkıli B₄C-SiC içeren 6400, 6402_m ve 6404_m olarak gruplanan kompozit malzemelerin kalınlık-bağıl sayım grafikleri çizilmiştir. Bu bağlamda, TiB₂ katkıli B₄C-SiC içeren 6400, 6402_m ve 6404_m olarak gruplanan kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı karşısında zayıflatma eğrilerine ulaşılmış olmaktadır. TiB₂ katkıli B₄C-SiC içeren 6400, 6402_m ve 6404_m olarak gruplanan kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağına ilişkin zayıflatma eğrileri Şekil 5.28’de verilmektedir



Şekil 5.28 : 6400, 6402_m ve 6404_m malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) zayıflatma eğrileri.

5.2.1.7 Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı kullanılarak TiB₂ katkılı B₄C-SiC içeren 6402_m, 6402_n ve 6404_m 6404_n olarak gruplanan kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları

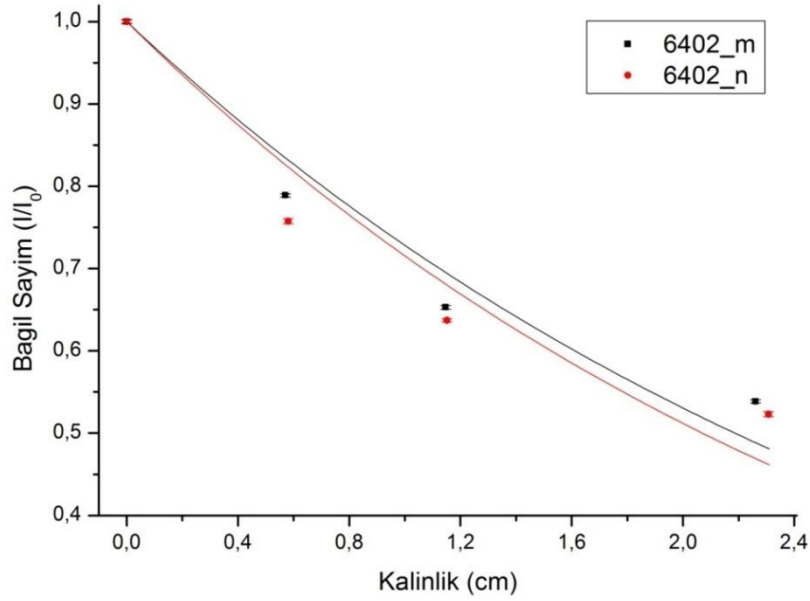
TiB₂ katkılı B₄C-SiC içeren (ve Çizelge 4.5’de tanıtılan mikro ve nano yapılı parçacıklı) 6402_m, 6402_n, 6404_m ve 6404_n olarak gruplanan kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı karşısındaki radyasyon zayıflatma davranışının incelemesi amacıyla malzemelerin kalınlık-bağıl sayım değerleri elde edilmiştir. TiB₂ katkılı B₄C-SiC içeren 6402_m, 6402_n, 6404_m ve 6404_n olarak gruplanan kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı kullanılarak ulaşılan deney sonuçları Çizelge 5.29’de verilmektedir.

Çizelge 5.29 : 6402_m, 6402_n, 6404_m ve 6404_n malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağına ilişkin kalınlık-bağıl sayım değerleri.

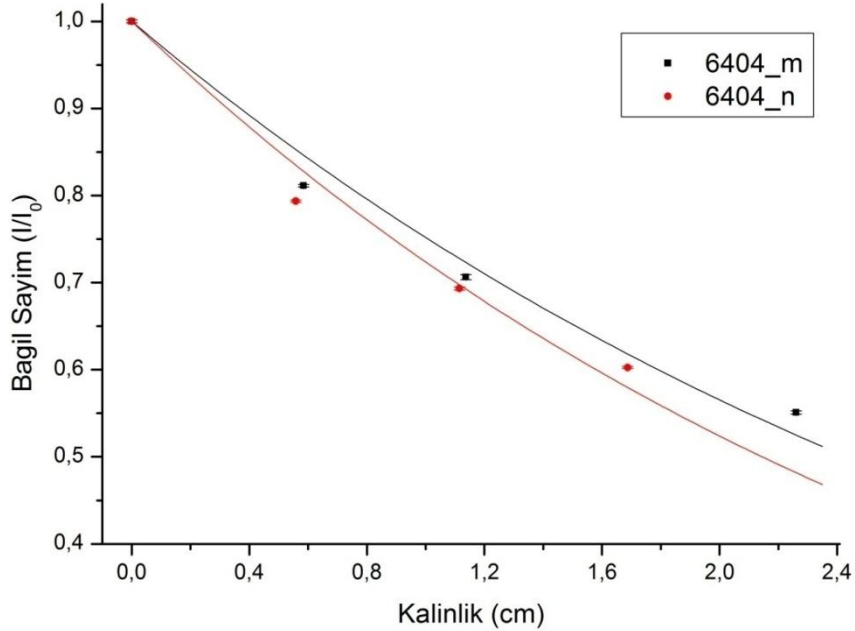
6402_m		6402_n		6404_m		6404_n	
Kalınlık	Bağıl Sayım	Kalınlık	Bağıl Sayım	Kalınlık	Bağıl Sayım	Kalınlık	Bağıl Sayım
0	1	0	1	0	1	0	1
0,5703	0,7891	0,5803	0,7577	0,5845	0,8114	0,5585	0,7937
1,1469	0,6529	1,1509	0,6372	1,137	0,7065	1,1149	0,6933
2,261	0,5385	2,3075	0,5228	2,261	0,551	1,6876	0,6026

Çizelge 5.29’deki değerlerden hareketle Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağına ilişkin TiB₂ katkılı B₄C-SiC içeren 6402_m, 6402_n, 6404_m ve 6404_n olarak

gruplanan kompozit malzemelerin kalınlık-bağıl sayım grafikleri çizilmiştir. Bu bağlamda, TiB_2 katkılı B_4C - SiC içeren 6402_m, 6402_n, 6404_m ve 6404_n olarak gruplanan kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı karşısında zayıflatma eğrilerine ulaşılmış olmaktadır. TiB_2 katkılı B_4C - SiC içeren 6402_m, 6402_n, 6404_m ve 6404_n olarak gruplanan kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağına ilişkin zayıflatma eğrileri Şekil 5.29'de verilmektedir.



(a)



(b)

Şekil 5.29 : %2 (a) ve % 4 (b) mikro ve nano boyutlu TiB_2 katkılı %60 B_4C -%40 SiC kompozitlerinin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) zayıflatma eğrileri.

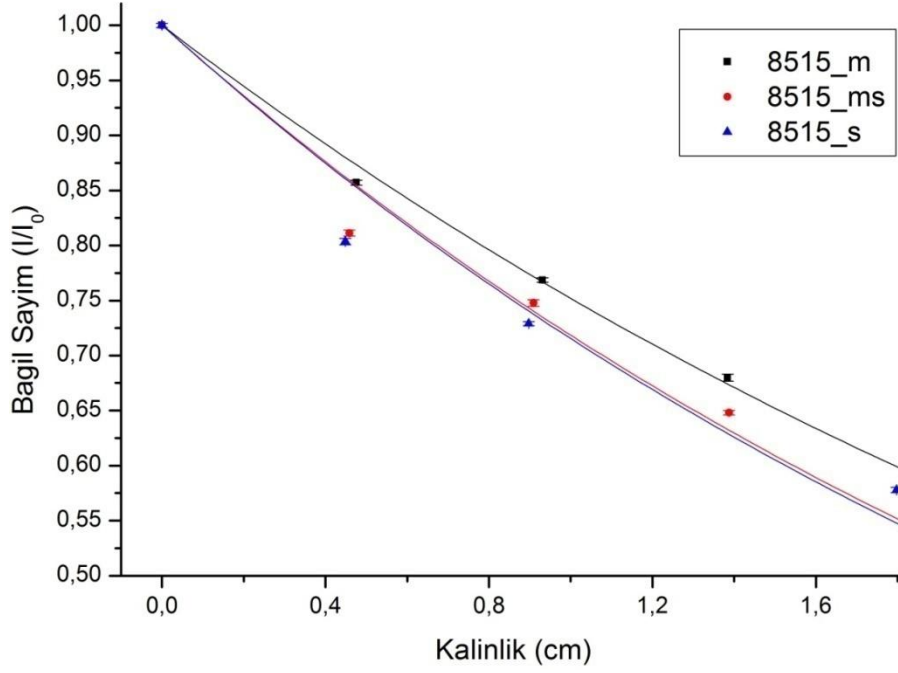
5.2.1.8 Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı kullanılarak normal sinterleme B₄C -TiB₂ kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları

B₄C-TiB₂ (ve Çizelge 4.8’de tanıtılan) normal sinterleme kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı karşısındaki radyasyon zayıflatma davranışının incelemesi amacıyla malzemelerin kalınlık-bağıl sayım değerleri elde edilmiştir. B₄C-TiB₂ normal sinterleme kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı kullanılarak ulaşılan deney sonuçları Çizelge 5.30’de verilmektedir.

Çizelge 5.30 : 8515_m, 8515_ms, 8515_s malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağına ilişkin kalınlık-bağıl sayım değerleri.

8515_m		8515_ms		8515_s	
Kalınlık	Bağıl Sayım	Kalınlık	Bağıl Sayım	Kalınlık	Bağıl Sayım
0	1	0	1	0	1
0,4755	0,8571	0,4583	0,8113	0,4486	0,8036
0,9311	0,7687	0,9094	0,7478	0,8973	0,7292
1,384	0,6799	1,3877	0,648	1,7972	0,5779

Çizelge 5.30’deki değerlerden hareketle Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağına ilişkin B₄C-TiB₂ normal sinterleme kompozit malzemelerin kalınlık-bağıl sayım grafikleri çizilmiştir. Bu bağlamda, B₄C-TiB₂ normal sinterleme kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı karşısında zayıflatma eğrilerine ulaşılmış olmaktadır. B₄C-TiB₂ normal sinterleme kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağına ilişkin zayıflatma eğrileri Şekil 5.30’de verilmektedir.



Şekil 5.30 : 8515_m, 8515_ms, 8515_s malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) zayıflatma eğrileri.

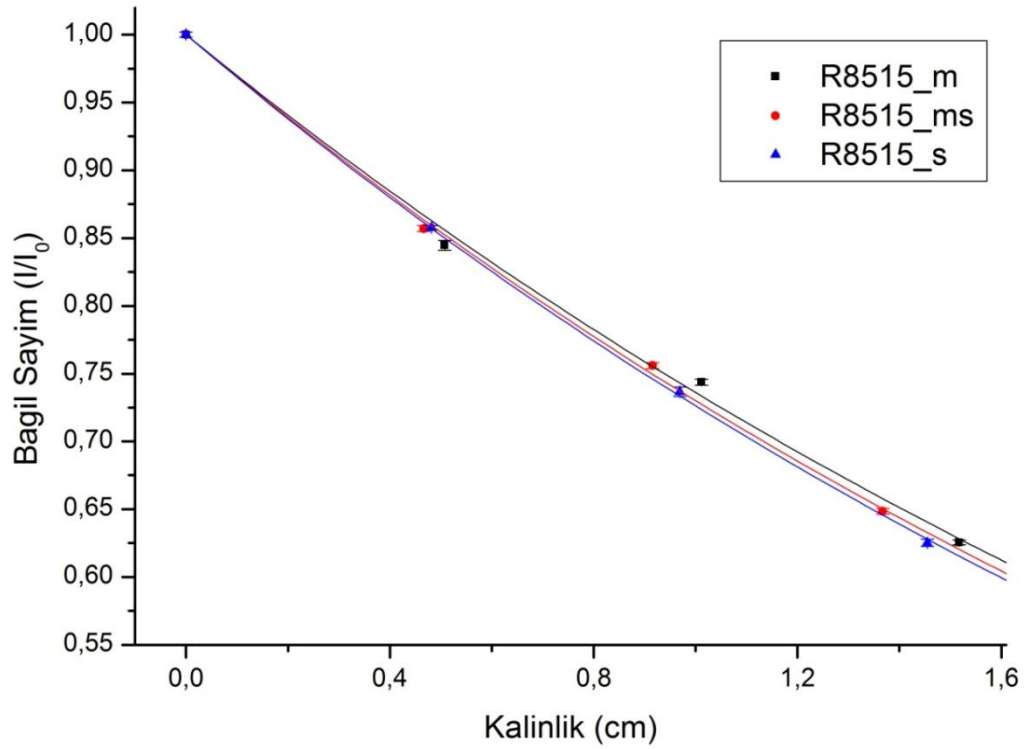
5.2.1.9 Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı kullanılarak reaksiyon sinterleme B₄C -TiB₂ kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları

B₄C-TiB₂ reaksiyon sinterleme (ve Çizelge 4.9’de tanıtılan) kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı karşısındaki radyasyon zayıflatma davranışının incelemesi amacıyla B₄C-TiB₂ reaksiyon sinterleme kompozit malzemelerin kalınlık-bağıl sayım değerleri elde edilmiştir. B₄C-TiB₂ reaksiyon sinterleme kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı kullanılarak ulaşılan deney sonuçları Çizelge 5.31’da verilmektedir.

Çizelge 5.31 : Reaksiyon sinterleme ile üretilen B₄C-TiB₂ kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağına ilişkin kalınlık-bağıl sayım değerleri.

R8515_m		R8515_ms		R8515_s	
Kalınlık	Bağıl Sayım	Kalınlık	Bağıl Sayım	Kalınlık	Bağıl Sayım
0	1	0	1	0	1
0,5071	0,8447	0,4666	0,8571	0,4817	0,8578
1,0118	0,7437	0,9158	0,756	0,9691	0,7366
1,517	0,6255	1,367	0,6484	1,4547	0,6252

Çizelge 5.31'deki değerlerden hareketle Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağına ilişkin B_4C-TiB_2 reaksiyon sinterleme kompozit malzemelerin kalınlık-bağıl sayım grafikleri çizilmiştir. Bu bağlamda, B_4C-TiB_2 reaksiyon sinterleme kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı karşısında zayıflatma eğrilerine ulaşılmış olmaktadır. B_4C-TiB_2 reaksiyon sinterleme kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağına ilişkin zayıflatma eğrileri Şekil 5.31'da verilmektedir.



Şekil 5.31 : R8515_m, R8515_ms ve R8515_s malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) zayıflatma eğrileri.

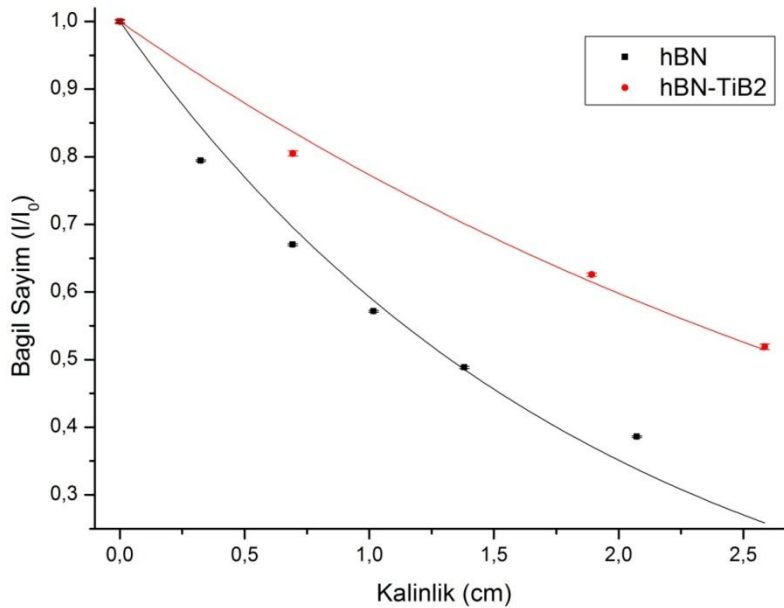
5.2.2 Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı kullanılarak bor nitrür içeren kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları

Bor kabür içeren kompozit malzemeler Şekil 4.1'de tanıtıldığı üzere, hegzagonal bor nitrür (hBN), hegzagonal bor nitrür-titanyum diborür (hBN-TiB₂) kompozitler incelenmiştir. hBN ve hBN-TiB₂ kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı karşısındaki kalınlık-bağıl sayım değerleri Çizelge 5.32'da verilmektedir.

Çizelge 5.32 : hBN ve hBN-TiB₂ malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağına ilişkin kalınlık-bağıl sayım değerleri.

hBN		hBN-TiB ₂	
Kalınlık	Bağıl Sayım	Kalınlık	Bağıl Sayım
0	1	0	1
0,3245	0,7941	0,6939	0,805
0,6925	0,67	1,8918	0,6256
1,017	0,5715	2,5857	0,5189
1,3821	0,4885		
2,0726	0,3861		

Çizelge 5.32'deki değerlerden hareketle Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağına ilişkin hBN ve hBN-TiB₂ kompozit malzemelerin kalınlık-bağıl sayım grafikleri çizilmiştir. Bu bağlamda, hBN ve hBN-TiB₂ kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı karşısında zayıflatma eğrilerine ulaşılmış olmaktadır. hBN ve hBN-TiB₂ kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağına ilişkin zayıflatma eğrileri Şekil 5.32'de verilmektedir.



Şekil 5.32 : hBN ve hBN-TiB₂ malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) zayıflatma eğrileri

5.2.3 Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı kullanılarak tungsten içeren malzemeler ve Kurşun ile yapılan deneylerin sonuçları

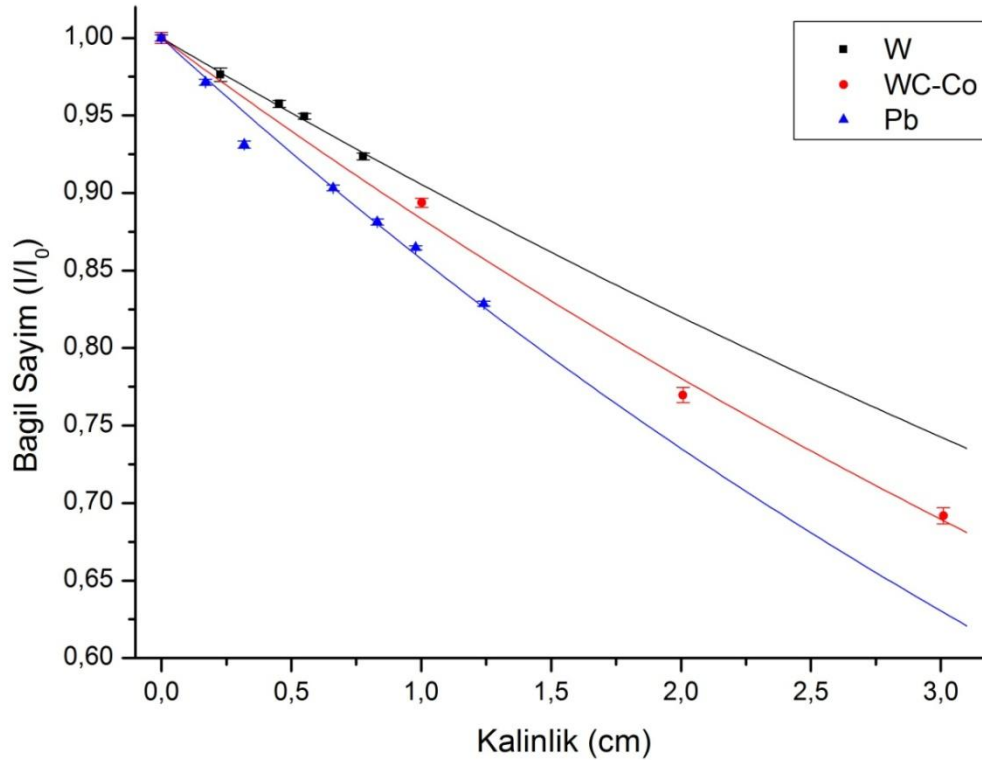
Tungsten içeren kompozit malzemeler Şekil 4.1'de tanımlandığı üzere, saf tungsten (W) ve tungsten karbür-kobalt (WC_Co) kompozit malzemeler incelenmiştir. Burada, tungsten kurşuna (Pb) yakın bir malzeme olması nedeniyle, pratikte sıkça kullanılan

kurşun ile de karşılaştırılmıştır. W, WC_Co ve Pb malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı karşısındaki kalınlık-bağıl sayım değerleri Çizelge 5.33'de verilmektedir.

Çizelge 5.33 : W, WC_Co ve Pb malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı karşısındaki kalınlık-bağıl sayım değerleri.

W		WC_Co		Pb	
Kalınlık	Bağıl Sayım	Kalınlık	Bağıl Sayım	Kalınlık	Bağıl Sayım
0	1	0	1	0	1,0000
0,2273	0,9763	1,0271	0,8937	0,17	0,9715
0,4535	0,9575	2,0592	0,7697	0,318	0,9313
0,5502	0,9494	3,0861	0,6918	0,6608	0,9033
0,7764	0,9236			0,8308	0,8812
				0,9788	0,8647
				1,2401	0,8287

Çizelge 5.33'te elde edilen değerler kullanılarak W, Pb ve WC_Co kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağına ilişkin zayıflatma eğrileri oluşturulmuş ve Şekil 5.33'de gösterilmiştir.



Şekil 5.33 : Pb, W ve WC_Co kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağına ilişkin zayıflatma eğrileri.

5.3 Çalışılan Malzemelerin Lineer Zayıflatma Katsayılarının Hesaplanması

Bor karbür içeren kompozit malzemelerin Cs-137 ve Co-60 gama radyoizotop kaynaklar için deneysel olarak çizilmiş zayıflatma eğrileri kullanılarak (sırasıyla Şekil 5.1 - Şekil 5.22), önce, söz konusu kompozit malzemelerin lineer zayıflatma katsayıları Eşitlik 2.1 kullanılarak hesaplanmış ve elde edilen değerler Çizelge 5.34'de verilmiştir.

Çizelge 5.34 : Bor karbür içeren kompozit malzemelerin Cs-137 ve Co-60 gama radyoizotop kaynaklar için deneysel olarak çizilmiş zayıflatma eğrileri kullanılarak hesaplanan deneysel lineer zayıflatma katsayıları.

Malzeme	Cs-137		Co-60		Pu-Be	
	Lineer Abs. Katsayısı	Std. Hata	Lineer Abs. Katsayısı	Std. Hata	Lineer Abs. Katsayısı	Std. Hata
100_B ₄ C	0,1487	0,0009	0,1056	0,0007	0,416	0,022
8200	0,1548	0,0013	0,1198	0,0005	0,395	0,023
7300	0,1620	0,0026	0,1222	0,0010	0,348	0,026
6400	0,1688	0,0016	0,1297	0,0023	0,324	0,017
8202_m	0,1629	0,0020	0,1250	0,0017	0,344	0,027
8202_n	0,1646	0,0014	0,1260	0,0007	0,354	0,005
8204_m	0,1661	0,0020	0,1265	0,0021	0,329	0,024
8204_n	0,1682	0,0014	0,1282	0,0010	0,341	0,025
7302_m	0,1663	0,0011	0,1254	0,0019	0,338	0,030
7302_n	0,1700	0,0013	0,1302	0,0030	0,346	0,026
7304_m	0,1678	0,0007	0,1278	0,0028	0,322	0,035
7304_n	0,1756	0,0021	0,1313	0,0014	0,334	0,023
6402_m	0,1714	0,0027	0,1307	0,0014	0,315	0,033
6402_n	0,1730	0,0021	0,1335	0,0022	0,335	0,041
6404_m	0,1771	0,0024	0,1343	0,0022	0,285	0,018
6404_n	0,1787	0,0025	0,1374	0,0023	0,323	0,020
8515_m	0,1808	0,0015	0,1340	0,0014	0,285	0,008
8515_ms	0,1853	0,0005	0,1402	0,0026	0,331	0,025
8515_s	0,1913	0,0018	0,1424	0,0027	0,335	0,030
R8515_m	0,1738	0,0014	0,1209	0,0028	0,306	0,007
R8515_ms	0,1777	0,0013	0,1323	0,0021	0,315	0,004
R8515_s	0,1792	0,0010	0,1337	0,0029	0,320	0,002
hBN	0,1073	0,0014	0,0757	0,0012	0,523	0,027
hBN-TiB ₂	0,1565	0,0013	0,1169	0,0012	0,257	0,010
W	1,7043	0,0139	1,0252	0,0074	0,099	0,002
WC_Co	1,0627	0,0187	0,6476	0,0036	0,124	0,003
Pb	1,0507	0,0180	0,6252	0,0095	0,154	0,005

5.4 Çalışılan Malzemelerin Yarı Tabaka Değer Kalınlığının Deneysel Sonuçlardan Hareketle Hesaplanması

Çalışılan kompozit malzemelerin gama ve nötron karşısındaki zırh özelliklerinin incelenebilmesi ve birbirleri ile mukayese edilebilmesi için her bir malzemeye ait gama ve nötronlara ait yarı değer kalınlıkları (YDK) hesaplanmıştır. YDK, gelen radyasyonu yarı değerine düşürebilen malzeme kalınlığı olarak ifade edilmektedir. Bu bağlamda her bir malzemenin YDK değeri malzemenin içeriğine, üretim şekline ve özelliklerine bağlı olarak farklı olabilmektedir. YDK ile birlikte çalışılan malzemelerin onda-bir değer kalınlıkları (ODK) da hesaplanmıştır. ODK değerleri genellikle radyasyon kaynağının zırhlanmış olarak kabul edilebilmesi için gerekli olan en düşük kalınlık olarak kabul edilebilmektedir.

Çalışılan kompozit malzemelerin YDK ve ODK değerleri malzemelerin lineer zayıflatma katsayılarına bağlı olarak;

$$YDK = \frac{0.693}{\mu} \quad (5.3a)$$

ve

$$ODK = \frac{\ln 10}{\mu} \quad (5.3b)$$

İfadelerinden elde edilebilmektedir.

5.4.1 Çalışılan malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağına ilişkin Deneysel Sonuçlardan Hareketle Hesaplanan YDK ve ODK değerleri

Çalışılan malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağına ilişkin hesaplanan YDK ve ODK değerleri Çizelge 5.34'de verilmektedir.

Çizelge 5.35 : Çalışılan malzemelerin Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin YDK ve ODK değerleri.

Malzeme	Cs-137			
	YDK	Std. Sapma	ODK	Std. Sapma
100_B ₄ C	4,661	0,028	15,485	0,003
8200	4,478	0,038	14,875	0,004
7300	4,279	0,069	14,213	0,009
6400	4,106	0,039	13,641	0,005
8202_m	4,255	0,052	14,135	0,007
8202_n	4,211	0,036	13,989	0,005
8204_m	4,173	0,050	13,863	0,007
8204_n	4,121	0,034	13,690	0,005
7302_m	4,168	0,028	13,846	0,004
7302_n	4,077	0,031	13,545	0,004
7304_m	4,131	0,017	13,722	0,002
7304_n	3,947	0,047	13,113	0,007
6402_m	4,044	0,064	13,434	0,009
6402_n	4,007	0,049	13,310	0,007
6404_m	3,914	0,053	13,002	0,008
6404_n	3,879	0,054	12,885	0,008
8515_m	3,834	0,032	12,736	0,005
8515_ms	3,741	0,010	12,426	0,002
8515_s	3,623	0,034	12,037	0,006
R8515_m	3,988	0,032	13,248	0,005
R8515_ms	3,901	0,029	12,958	0,004
R8515_s	3,868	0,022	12,849	0,003
hBN	6,460	0,084	21,459	0,005
hBN-TiB ₂	4,429	0,037	14,713	0,004
W	0,407	0,003	1,351	0,046
WC_Co	0,652	0,011	2,167	0,062
Pb	0,660	0,011	2,191	0,060

5.4.2 Çalışılan malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağına ilişkin

DeneySEL Sonuçlardan Hareketle Hesaplanan YDK ve ODK değerleri

Çalışılan malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağına ilişkin hesaplanan YDK ve ODK değerleri Çizelge 5.35’de verilmektedir.

Çizelge 5.36 : Çalışılan malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağına ilişkin YDK ve ODK değerleri.

Malzeme	Co-60			
	YDK	Std. Sapma	ODK	Std. Sapma
100_B ₄ C	6,564	0,044	21,805	0,002
8200	5,786	0,024	19,220	0,002
7300	5,672	0,046	18,843	0,003
6400	5,344	0,095	17,753	0,008
8202_m	5,545	0,075	18,421	0,006
8202_n	5,501	0,031	18,274	0,002
8204_m	5,479	0,091	18,202	0,007
8204_n	5,407	0,042	17,961	0,003
7302_m	5,527	0,084	18,362	0,006
7302_n	5,324	0,123	17,685	0,010
7304_m	5,424	0,119	18,017	0,009
7304_n	5,279	0,056	17,537	0,005
6402_m	5,303	0,057	17,617	0,005
6402_n	5,192	0,086	17,248	0,007
6404_m	5,161	0,085	17,145	0,007
6404_n	5,045	0,084	16,758	0,008
8515_m	5,173	0,054	17,183	0,005
8515_ms	4,944	0,092	16,424	0,009
8515_s	4,868	0,092	16,170	0,009
R8515_m	5,733	0,133	19,045	0,009
R8515_ms	5,239	0,083	17,404	0,007
R8515_s	5,184	0,113	17,222	0,010
hBN	9,157	0,145	30,417	0,004
hBN-TiB ₂	5,929	0,061	19,697	0,004
W	0,676	0,005	2,246	0,025
WC_Co	1,070	0,006	3,556	0,012
Pb	1,109	0,017	3,683	0,032

5.4.3 Çalışılan malzemelerin Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağına ilişkin Deneysel Sonuçlardan Hareketle Hesaplanan YDK ve ODK değerleri

Çalışılan malzemelerin Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağına ilişkin hesaplanan YDK ve ODK değerleri Çizelge 5.36'da verilmektedir.

Çizelge 5.37 : Çalışılan malzemelerin Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) nötronkaynağına ilişkin YDK ve ODK değerleri.

Malzeme	Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3)			
	YDK	Std. Sapma	ODK	Std. Sapma
100_B ₄ C	1,666	0,088	5,533	0,292
8200	1,756	0,102	5,833	0,338
7300	1,990	0,150	6,612	0,498
6400	2,140	0,110	7,107	0,365
8202_m	2,015	0,158	6,694	0,526
8202_n	1,959	0,028	6,507	0,092
8204_m	2,109	0,151	7,005	0,503
8204_n	2,031	0,150	6,747	0,498
7302_m	2,053	0,182	6,821	0,603
7302_n	2,003	0,148	6,655	0,491
7304_m	2,154	0,232	7,155	0,772
7304_n	2,078	0,143	6,902	0,474
6402_m	2,200	0,228	7,307	0,757
6402_n	2,070	0,252	6,876	0,839
6404_m	2,431	0,151	8,076	0,502
6404_n	2,145	0,136	7,126	0,452
8515_m	2,432	0,068	8,079	0,227
8515_ms	2,097	0,160	6,966	0,531
8515_s	2,071	0,187	6,878	0,621
R8515_m	2,262	0,052	7,516	0,172
R8515_ms	2,203	0,031	7,318	0,104
R8515_s	2,167	0,013	7,198	0,045
hBN	1,325	0,068	4,402	0,225
hBN-TiB ₂	2,697	0,110	8,958	0,365
W	6,988	0,138	23,214	0,459
WC_Co	5,594	0,141	18,581	0,468
Pb	4,501	0,146	14,952	0,485

6. ÇALIŞILAN MALZEMELERİN XCOM BİLGİSAYAR PROGRAMI KULLANILARAK TEORİK KÜTLE ZAYIFLATMA KATSAYILARININ TAYİNİ VE DENEYSEL SONUÇLARLA KARŞILAŞTIRMALI DEĞERLENDİRMESİ

Bu doktora tezinde, deneysel olarak gama ve nötronlar karşısındaki davranışları incelenen (deneysel olarak ulaşılan sonuçları Bölüm 5 içinde verilen) tungsten, titanyum ve bor içeren bazı özel kompozit malzemeler için teorik bazda inceleme yapılması yoluna gidilmiştir. Bu bağlamda, çalışılan malzemelerin teorik kütle zayıflatma katsayıları hesaplaması yapılması benimsenmiştir. Bu amaçla, uluslar arası literatürde güvenilirliği kabul edilen XCOM bilgisayar programı ile teorik kütle zayıflatma katsayılarının hesaplamaları yoluna gidilmiştir (Demir F. (2010), Han ve diğ., 2009).

Çalışılan kompozit malzemelerin (Şekil 4.1’de sistematik olarak verilen malzemelerin) tümü için XCOM bilgisayar programı kullanılarak kütle zayıflatma katsayıları hesaplanmıştır. Ayrıca, Bölüm 5 içinde deneysel olarak ulaşılan sonuçlardan hareketle hesaplanarak ulaşılan kütle zayıflatma katsayıları ile XCOM bilgisayar programı kullanılarak hesaplanan zayıflatma katsayılarının karşılaştırması yapılmıştır. Böylelikle, deneysel ve teorik hesaplamalarla ulaşılan sonuçlar mukayeseli olarak değerlendirilebilmiştir.

Deneysel gama zayıflatma katsayılarının hesaplanmasına ilişkin olarak; öncelikle, deneyler neticesinde elde edilen gama zayıflatma eğrileri kullanılarak malzemelerin deneysel lineer zayıflatma katsayılarına ulaşılmıştır. Malzemelerin deneysel olarak hesaplanan lineer zayıflatma katsayıları ve ölçülen malzeme yoğunlukları kullanılarak malzemelerin kütle zayıflatma katsayıları Eşitlik 2.2.’e göre hesaplanmıştır.

Malzemelerin Cs-137 ve Co-60 gama radyasyonuna ilişkin teorik kütle zayıflatma katsayısının hesaplanmasında (belirtildiği üzere) XCOM bilgisayar programından faydalanılmıştır. Çalışılan kompozit malzemelerin içerikleri ile içerdiği madde ağırlıkça yüzde oranları programa veri olarak girilmiştir.

Deneylelerimizde kullandığımız gama radyoizotop kaynaklarından biri olan Cs-137 gama radyoizotop kaynağı, tek gama enerji pikine sahip olup, gama enerjisi 0.662 MeV'dir ve XCOM ile hesaplamalarda bu enerji değeri alınmıştır. Buna karşın, Co-60 gama radyoizotop kaynağı (bilindiği üzere) iki enerji pikine sahip olup, bu enerjiler; (her ikisi de % 100 bolluklu olmak üzere) 1.17 MeV ve 1.33MeV'dir (Knoll, 2002). Bu bağlamda, XCOM bilgisayar programına uygunluğu açısından, literatürde de benimsenen yol olan, söz konusu iki pikin ortalaması alınarak hesaplama yoluna gidilmiştir. Başka bir deyişle, XCOM bilgisayar programı ile Co-60 için teorik kütle zayıflatmakatsayısının hesaplanmasında; 1.25 MeV (ağırlıklı) ortalama enerji (mean energy) olarak alınmıştır.

6.1 XCOM Bilgisayar Programının Tanıtımı

XCOM bilgisayar programı element, bileşik ve karışım malzemelerinin 1 keV-100GeVenerjialığında bulunan radyasyon karşısındaki fotoelektrik olay, Comptonsaçılması ve çift oluşumu tesir kesitlerinin hesaplanması ve bunlara bağlı olarak maddelerin teorik kütle zayıflatma katsayılarının elde edilmesini sağlayan program olarak ifade edilmektedir. Malzemelerin içerikleri ve yüzde bileşim değerleri program tarafından değerlendirilmekte ve istenilen enerji değerindeki teorik kütle zayıflatma katsayısını hesaplayabilmektedir(Berger ve diğ.(t.y)).

XCOM bilgisayar programı verisi olarak çalışılan kompozit malzemelere ilişkin kompozit malzeme ağırlık yüzdeleri Çizelge 6,1'de verilen değerler olarak girilmiştir.

Çizelge 6.1 : XCOM bilgisayar programı verisi olarak çalışılan kompozit malzemelere ilişkin kompozit malzeme ağırlık yüzdeleri

Malzeme (kodu)	Kütle Oranı (%)							
	B ₄ C	SiC	TiB ₂	hBN	WC	Co	W	Pb
100_B ₄ C	1,000	0,000	0,000	-	-	-	-	-
8200	0,846	0,154	-	-	-	-	-	-
7300	0,763	0,237	-	-	-	-	-	-
6400	0,674	0,326	-	-	-	-	-	-
8202_m	0,824	0,149	0,026	-	-	-	-	-
8202_n	0,824	0,149	0,026	-	-	-	-	-
8204_m	0,802	0,145	0,053	-	-	-	-	-
8204_n	0,802	0,145	0,053	-	-	-	-	-
7302_m	0,742	0,231	0,027	-	-	-	-	-
7302_n	0,742	0,231	0,027	-	-	-	-	-
7304_m	0,722	0,224	0,054	-	-	-	-	-
7304_n	0,722	0,224	0,054	-	-	-	-	-
6402_m	0,655	0,317	0,028	-	-	-	-	-
6402_n	0,655	0,317	0,028	-	-	-	-	-
6404_m	0,636	0,308	0,056	-	-	-	-	-
6404_n	0,636	0,308	0,056	-	-	-	-	-
8515_m	0,818	-	0,182	-	-	-	-	-
8515_ms	0,818	-	0,182	-	-	-	-	-
8515_s	0,818	-	0,182	-	-	-	-	-
R8515_m	0,818	-	0,182	-	-	-	-	-
R8515_ms	0,818	-	0,182	-	-	-	-	-
R8515_s	0,818	-	0,182	-	-	-	-	-
hBN	-	-	-	1	-	-	-	-
hBN-TiB ₂	-	-	0,55	0,45	-	-	-	-
WC_Co	-	-	-	-	0,85	0,15	-	-
W	-	-	-	-	-	-	1	-
Pb	-	-	-	-	-	-	-	1

Çalışılan XCOM bilgisayar programı, internetteki en son sürümüdür (Url-8).

Çalışılan XCOM bilgisayar programının ara yüzü Şekil 6,1’de verilmektedir.

Enter the formulae and relative weights separated by a space for each compound. One compound per line. For example:

H2O 0.9
NaCl 0.1

Note: Weights not summing to 1 will be normalized.

Optional output title:

Graph options:

Total Attenuation with Coherent Scattering
 Total Attenuation without Coherent Scattering
 Coherent Scattering
 Incoherent Scattering
 Photoelectric Absorption
 Pair Production in Nuclear Field
 Pair Production in Electron Field
 None

Additional energies in MeV: (optional) (up to 75 allowed)

Note: Energies must be between 0.001 - 100000 MeV (1 keV - 100 GeV) (only 4 significant figures will be used).
One energy per line. Blank lines will be ignored.

Include the standard grid

Energy Range:

Minimum: MeV
Maximum: MeV

Şekil 6.1. Çalışılan XCOM bilgisayar programının ara yüzü.

6.2 Bor Karbür İçeren Malzemelerin Deneysel ve Teorik Olarak Hesaplanan Kütle Zayıflatma Katsayılarının Tayini

Bor karbür içeren kompozit malzemeler için Cs-137 ve Co-60 gama radyoizotop kaynakları karşısındaki davranışlarının değerlendirilmesine ilişkin olarak (Bölüm 5 içinde) ulaşılan deneysel sonuçlardan hareketle bulunan kütle zayıflatma katsayıları ile XCOM bilgisayar programı yardımıyla hesaplanan teorik kütle zayıflatma katsayıları hesaplanmıştır.

6.2.1 Bor karbür içeren kompozit malzemelerin XCOM bilgisayar programı kullanılarak teorik olarak hesaplanan kütle zayıflatma katsayılarının tayini

Çalışılan bor karbür içeren kompozit malzemelerin Cs-137 ve Co-60 gama radyoizotop kaynakları için XCOM bilgisayar programı kullanılarak teorik olarak hesaplanan kütle zayıflatma katsayıları Çizelge 6.2’te verilmektedir.

Çizelge 6.2 : Bor karbür içeren malzemelerin teorik olarak hesaplanan kütle zayıflatma katsayıları.

Malzeme	Kütle Zayıflatma Katsayısı	
	Cs-137 ($10^{-2} \text{ cm}^{-2}/\text{g}$)	Co-60 ($10^{-2} \text{ cm}^{-2}/\text{g}$)
100_B ₄ C	7,267	5,359
8200	7,338	5,410
7300	7,376	5,437
6400	7,417	5,466
8202_m	7,333	5,405
8202_n	7,333	5,405
8204_m	7,329	5,402
8204_n	7,329	5,402
7302_m	7,371	5,432
7302_n	7,371	5,432
7304_m	7,365	5,428
7304_n	7,365	5,428
6402_m	7,41	5,461
6402_n	7,41	5,461
6404_m	7,403	5,455
6404_n	7,403	5,455
8515_m	7,251	5,342
8515_ms	7,251	5,342
8515_s	7,251	5,342
R8515_m	7,251	5,342
R8515_ms	7,251	5,342
R8515_s	7,251	5,342

6.2.2 Bor karbür içeren kompozit malzemelerin deneysel olarak hesaplanan kütle zayıflatma katsayılarının tayini

Bor karbür içeren kompozit malzemelerin Cs-137 ve Co-60 gama radyoizotop kaynaklar için deneysel olarak lineer zayıflatma katsayılarından yola çıkarak hesaplanan bor karbür içeren kompozit malzemelere ait deneysel kütle zayıflatma katsayıları Çizelge 6.3' de verilmektedir.

Çizelge 6.3 : Bor karbür içeren malzemelerindeneyssel kütle zayıflatma katsayıları.

Malzeme	Cs-137		Co-60	
	Kütle Abs. Katsayısı (10^{-2} cm ² /g)	Std. Hata (10^{-2})	Kütle Abs. Katsayısı (10^{-2} cm ² /g)	Std. Hata (10^{-2})
100_B ₄ C	6,831	0,041	4,851	0,032
8200	6,898	0,058	5,339	0,022
7300	6,770	0,108	5,107	0,042
6400	7,007	0,066	5,384	0,095
8202_m	6,900	0,084	5,294	0,072
8202_n	6,876	0,058	5,263	0,029
8204_m	6,875	0,082	5,236	0,087
8204_n	6,948	0,058	5,295	0,041
7302_m	6,824	0,045	5,146	0,078
7302_n	6,754	0,051	5,173	0,119
7304_m	6,908	0,029	5,261	0,115
7304_n	7,092	0,085	5,303	0,056
6402_m	6,892	0,108	5,255	0,056
6402_n	6,931	0,084	5,349	0,088
6404_m	7,050	0,095	5,346	0,087
6404_n	7,005	0,098	5,386	0,090
8515_m	6,734	0,056	4,991	0,052
8515_ms	6,828	0,018	5,166	0,096
8515_s	6,954	0,065	5,176	0,098
R8515_m	6,674	0,054	4,643	0,107
R8515_ms	6,678	0,049	4,972	0,079
R8515_s	6,692	0,037	4,993	0,108

6.2.3 Bor karbür içeren kompozit malzemelere ilişkin deneysel ve teorik olarak tayin edilen kütle zayıflatma katsayılarının karşılaştırmalı değerlendirilmesi

Çalışılan bor karbür içeren kompozit malzemelerin Cs-137 ve Co-60 gama radyoizotop kaynakları için deneysel ve teorik olarak hesaplanan kütle zayıflatma katsayıları beraberce Çizelge 6.4’te verilmektedir.

Çizelge 6.4 : Bor karbür içeren malzemelerin Cs-137 ve Co-60 gama radyasyonuna ilişkin deneysel ve teorik kütle zayıflatma katsayıları

Malzeme	Kütle Zayıflatma Katsayısı					
	Cs-137			Co-60		
	Deneysel ($10^{-2} \text{ cm}^{-2}/\text{g}$)	Teorik (XCOM)($10^{-2} \text{ cm}^{-2}/\text{g}$)	Fark (%)	Deneysel ($10^{-2} \text{ cm}^{-2}/\text{g}$)	Teorik (XCOM)($10^{-2} \text{ cm}^{-2}/\text{g}$)	Fark (%)
100_B ₄ C	6,831	7,267	6,01	4,851	5,359	9,48
8200	6,898	7,338	5,99	5,339	5,41	1,32
7300	6,770	7,376	8,22	5,107	5,437	6,08
6400	7,007	7,417	5,53	5,384	5,466	1,50
8202_m	6,900	7,333	5,91	5,294	5,405	2,05
8202_n	6,876	7,333	6,24	5,263	5,405	2,62
8204_m	6,875	7,329	6,19	5,236	5,402	3,07
8204_n	6,948	7,329	5,20	5,295	5,402	1,97
7302_m	6,824	7,371	7,42	5,146	5,432	5,27
7302_n	6,754	7,371	8,37	5,173	5,432	4,77
7304_m	6,908	7,365	6,20	5,261	5,428	3,07
7304_n	7,092	7,365	3,71	5,303	5,428	2,30
6402_m	6,892	7,410	6,99	5,255	5,461	3,77
6402_n	6,931	7,410	6,46	5,349	5,461	2,06
6404_m	7,050	7,403	4,77	5,346	5,455	1,99
6404_n	7,005	7,403	5,37	5,386	5,455	1,26
8515_m	6,734	7,251	7,13	4,991	5,342	6,58
8515_ms	6,828	7,251	5,84	5,166	5,342	3,30
8515_s	6,954	7,251	4,10	5,176	5,342	3,10
R8515_m	6,674	7,251	7,95	4,643	5,342	13,09
R8515_ms	6,678	7,251	7,90	4,972	5,342	6,93
R8515_s	6,692	7,251	7,72	4,993	5,342	6,54

Çizelge 6.4'te görüldüğü üzere bor karbür içeren kompozit malzemelerin deneysel kütle zayıflatma katsayıları ile teorik kütle zayıflatma katsayıları birbiri ile hayli uyumlu olduğu görülmektedir.

6.3 Bor Nitrür İçeren Malzemelerin Deneysel ve Teorik Olarak Hesaplanan Kütle Zayıflatma Katsayılarının Tayini

Bor nitrür içeren kompozit malzemeler için Cs-137 ve Co-60 gama radyoizotop kaynakları karşısındaki davranışlarının değerlendirilmesine ilişkin olarak (Bölüm 5 içinde) ulaşılan deneysel sonuçlardan hareketle bulunan kütle zayıflatma katsayıları ile XCOM bilgisayar programı yardımıyla hesaplanan teorik kütle zayıflatma katsayıları hesaplanmıştır.

6.3.1 Bor nitrür içeren malzemelerin XCOM bilgisayar programı kullanılarak teorik olarak hesaplanan kütle zayıflatma katsayılarının tayini

Çalışılan bor nitrür içeren kompozit malzemelerin Cs-137 ve Co-60 gama radyoizotop kaynakları için XCOM bilgisayar programı kullanılarak teorik olarak hesaplanan kütle zayıflatma katsayıları Çizelge 6.5’de verilmektedir.

Çizelge 6.5 : Bor nitrür içeren malzemelerin Cs-137 ve Co-60 gama kaynakları için teorik olarak hesaplanan kütle zayıflatma katsayıları.

Malzeme	Teorik kütle zayıflatma katsayısı	
	Cs-137 ($10^{-2} \text{ cm}^2/\text{g}$)	Co-60 ($10^{-2} \text{ cm}^2/\text{g}$)
hBN	7,470	5,507
hBN-TiB ₂	7,338	5,398

6.3.2 Bor nitrür içeren malzemelerin deneysel olarak hesaplanan kütle zayıflatma katsayılarının tayini

Bor nitrür içeren kompozit malzemelerin Cs-137 ve Co-60 gama radyoizotop kaynaklar için elde edilen lineer zayıflatma katsayılarından yola çıkarak hesaplanan bor nitrür içeren kompozit malzemelere ait deneysel kütle zayıflatma katsayıları Çizelge 6.6’de verilmektedir.

Çizelge 6.6 : Bor nitrür içeren malzemelere ait Cs-137 ve Co-60 gama radyasyonuna ilişkin deneysel kütle zayıflatma katsayıları.

Malzeme	Kütle zayıflatma katsayısı			
	Cs-137 ($10^{-2} \text{ cm}^2/\text{g}$)	Std. Hata ($10^{-2} \text{ cm}^2/\text{g}$)	Co-60 ($10^{-2} \text{ cm}^2/\text{g}$)	Std. Hata ($10^{-2} \text{ cm}^2/\text{g}$)
hBN	7,153	0,093	5,047	0,080
hBN-TiB ₂	7,069	0,058	5,280	0,054

6.3.3 Bor nitrür içeren kompozit malzemelere ilişkin deneysel ve teorik olarak tayin edilen kütle zayıflatma katsayılarının karşılaştırmalı değerlendirilmesi

Çalışılan bor karbür içeren kompozit malzemelerin Cs-137 ve Co-60 gama radyoizotop kaynakları için deneysel ve teorik olarak hesaplanan kütle zayıflatma katsayıları beraberce Çizelge 6.7’de verilmektedir.

Çizelge 6.7 : Bor nitür içeren malzemelerin Cs-137 ve Co-60 gama radyasyonu ilişkin deneysel ve teorik kütle zayıflatma katsayıları.

Malzeme	Kütle Zayıflatma Katsayısı					
	Cs-137			Co-60		
	Deneysel ($10^{-2}\text{cm}^2/\text{g}$)	Teorik ($10^{-2}\text{cm}^2/\text{g}$)	Fark (%)	Deneysel($10^{-2}\text{cm}^2/\text{g}$)	Teorik ($10^{-2}\text{cm}^2/\text{g}$)	Fark (%)
hBN	7,153	7,470	4,24	5,047	5,507	8,36
hBN-TiB ₂	7,069	7,338	3,67	5,280	5,398	2,19

Çizelge 6.7’de görüldüğü üzere bor karbür içeren kompozit malzemelerin deneysel kütle zayıflatma katsayıları ile teorik kütle zayıflatma katsayıları birbiri ile hayli uyumlu olduğu görülmektedir.

6.4 Tungsteniçeren Malzemelerin ve Karşılaştırma Yapılması Planlanan Standart Kurşunun Zayıflatma Katsayılarının Tayini

Tungsteniçeren malzemeler ve kurşun için Cs-137 ve Co-60 gama radyoizotop kaynakları karşısındaki davranışlarının değerlendirilmesine ilişkin olarak (Bölüm 5 içinde) ulaşılan deneysel sonuçlardan hareketle bulunan kütle zayıflatma katsayıları ile XCOM bilgisayar programı yardımıyla hesaplanan teorik kütle zayıflatma katsayıları hesaplanmıştır.

6.4.1 Tungsten içeren ve karşılaştırma yapılması planlanan standart kurşun malzemenin XCOM bilgisayar programı kullanılarak teorik olarak hesaplanan kütle zayıflatma katsayılarının tayini

Çalışılan tungsten içeren malzemeler ile karşılaştırılması yapılması planlanan standart kurşun malzemenin Cs-137 ve Co-60 gama radyoizotop kaynakları için XCOM bilgisayar programı kullanılarak teorik olarak hesaplanan kütle zayıflatma katsayıları Çizelge 6.8’de verilmektedir.

Çizelge 6.8 : Tungsten içeren ve kurşun malzemelerin Cs-137 ve Co-60 gama radyasyonuna ilişkin teorik kütle zayıflatma katsayıları

Malzeme	Kütle Zayıflatma Katsayısı	
	Cs-137 ($10^{-2}\text{cm}^2/\text{g}$)	Co-60 ($10^{-2}\text{cm}^2/\text{g}$)
W	9,776	5,576
WC_Co	9,290	5,536
Pb	10,01	5,875

6.4.2 Tungsten içeren ve karşılaştırma yapılması planlanan standart malzemelerin deneysel olarak hesaplanan kütle zayıflatma katsayılarının tayini

Titanyum içeren kompozit malzemeler ile karşılaştırma yapılması planlanan standart kurşun malzemenin Cs-137 ve Co-60 gama radyoizotop kaynaklar için elde edilen lineer zayıflatma katsayılarından yola çıkarak hesaplanan tungsten içeren kompozit malzemelere ait deneysel kütle zayıflatma katsayıları Çizelge 6.9’ da verilmektedir.

Çizelge 6.9 : Tungsten içeren malzemelerin ve kurşun malzemenin Cs-137 ve Co-60 gama radyasyonuna ilişkin deneysel kütle zayıflatma katsayıları

Malzeme	Cs-137		Co-60	
	Kütle Abs. Katsayısı	Std. Hata	Kütle Abs. Katsayısı	Std. Hata
W	8,831	0,072	5,312	0,038
WC_Co	8,416	0,148	5,129	0,028
Pb	9,267	0,159	5,514	0,084

6.4.3 Tungsten içeren malzemeler ile karşılaştırma yapılması planlanan standart kurşun malzemeye ilişkin deneysel ve teorik olarak tayin edilen kütle zayıflatma katsayılarının karşılaştırmalı değerlendirilmesi

Çalışılan Tungsten içeren malzemeler ile karşılaştırma yapılması planlanan standart kurşun malzemenin Cs-137 ve Co-60 gama radyoizotop kaynakları için deneysel ve teorik olarak hesaplanan kütle zayıflatma katsayıları beraberce Çizelge 6.10’da verilmektedir.

Çizelge 6.10 : Tungsten içeren malzemeler ile kurşun malzemenin Cs-137 ve Co-60 gama radyasyonuna ilişkin deneysel ve teorik kütle zayıflatma katsayıları.

Malzeme	Kütle zayıflatma katsayısı					
	Cs-137			Co-60		
	Deneysel (10 ⁻² cm ² /g)	Teorik (10 ⁻² cm ² /g)	Fark (%)	Deneysel (10 ⁻² cm ² /g)	Teorik (10 ⁻² cm ² /g)	Fark (%)
W	8,831	9,776	9,67	5,312	5,576	4,74
WC_Co	8,416	9,290	9,40	5,129	5,536	7,35
Pb	9,267	10,01	7,43	5,514	5,875	6,15

Çizelge 6.10’da görüldüğü üzere tungsten içeren malzemeler ile karşılaştırma yapılması planlanan standart kurşun malzemenin deneysel kütle zayıflatma

katsayıları ile teorik kütle zayıflatma katsayıları birbiri ile hayli uyumlu olduğu görülmektedir.

Ayrıca kurşun malzeme ile tungsten içeren malzemelerin kütle zayıflatma katsayıları benzerlik göstermektedir. Bu bağlamda RoHS uygulamaları çerçevesinde tungsten içeren malzemelerin uygulamalarda radyasyon zırh malzemesi olarak kurşun yerine kullanılabilmesi ifade edilebilmektedir.

6.5 Çalışılan Malzemelerin Yarı-Değer Kalınlıklarının (YDK)

Karşılaştırılması

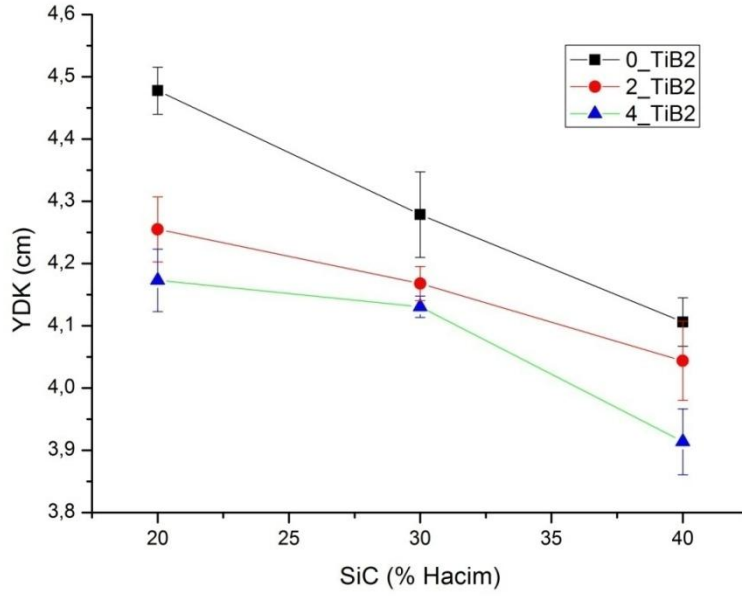
Nükleer teknolojide malzemelerin radyasyon karşısındaki davranışlarının incelenmesinde ve özellikle radyasyon zırh malzemesi olarak kullanılmalarına ilişkin değerlendirilmesinde önemli bir parametre yarı-değer kalınlıkları (half-value layer) önem arz etmektedir. Bu bağlamda, bu alt bölümde çalışılan malzemelere ilişkin yarı-kalınlık değerlerinin (YDK) tayini ve mukayeseli değerlendirilmesinin yapılması benimsenmiştir.

6.5.1 Çalışılan Malzemelerin Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerlerinin karşılaştırılması

Çalışılan malzemelerin lineer zayıflatma katsayılarından hareketle hesaplanan ve Çizelge 5.34- Çizelge 5.37 de verilen YDK değerlerinden hareketle malzeme içeriği, yapısı ve üretim koşulları göz önüne alınarak gruplara ayrılmış ve malzemelerdeki değişimin malzemelerin YDK değerleri üzerine etkisi aşağıdaki alt bölümlerde incelenmiştir. Bu bağlamda malzemelerin radyasyon zırh özellikleri ile birlikte bu özelliklerin geliştirilebilme imkanları değerlendirilmiştir.

6.5.1.1 Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin olarak borkarbür-silisyum karbür kompozitlerinde hacimce %SiC oranının YDK değerleri üzerine etkisi

Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin olarak borkarbür-silisyum karbür kompozitlerinde hacimce %SiC oranını göre hesaplanan ve Çizelge 5.34 de verilen YDK değerlerinden hareketle farklı oranlarda SiC içeren B₄C-SiC kompozitleri gruplandırılmıştır. Böylelikle hacimce %SiC oranının B₄C-SiC kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerleri üzerindeki etkisi araştırılmış ve Şekil 5.43'te mukayeseli olarak gösterilmiştir.

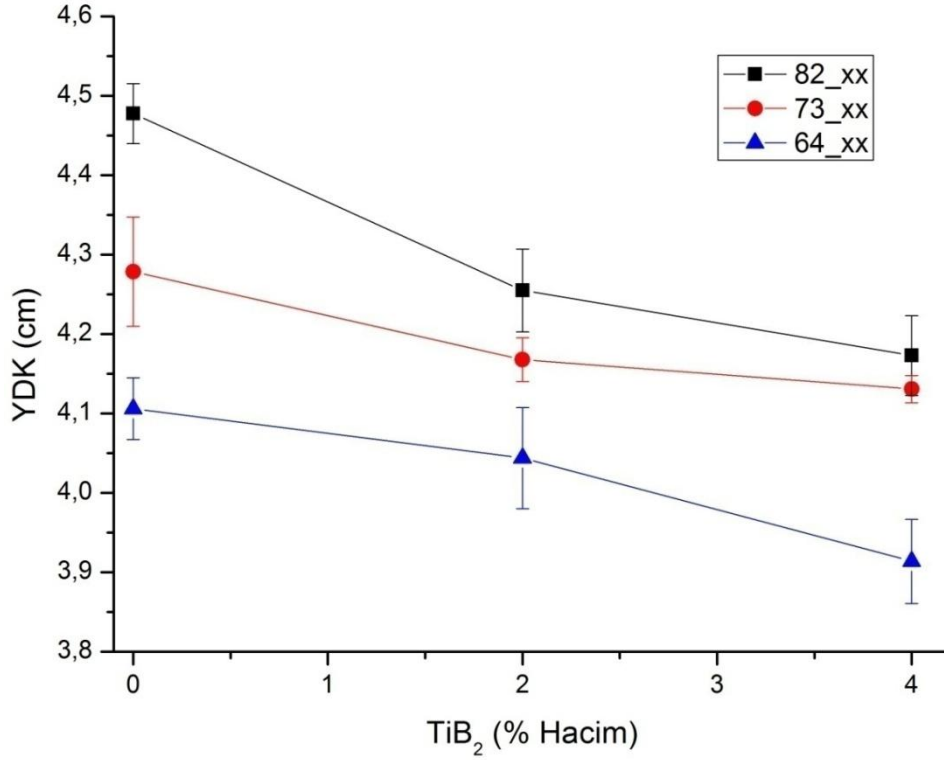


Şekil 6.2 : Hacimce %SiC oranının B₄C-SiC kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerleri üzerindeki etkisi.

Şekil 6.2’de görüldüğü üzere hacimce % SiC oranının artışı B₄C-SiC kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerlerinin azalmasına neden olmaktadır.

6.5.1.2 Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin TiB₂ katkıli B₄C-SiC kompozitlerinde hacimce %TiB₂ oranının YDK değerleri üzerine etkisi

Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin olarak borkarbür-silisyum karbür kompozitlerinde hacimce %TiB₂ oranını göre hesaplanan ve Çizelge 5.34 de verilen YDK değerlerinden hareketle farklı oranlarda TiB₂ içeren B₄C-SiC kompozitleri gruplandırılmıştır. Böylelikle hacimce TiB₂ oranının B₄C-SiC kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerleri üzerindeki etkisi araştırılmış ve Şekil 6.3’te mukayeseli olarak gösterilmiştir.

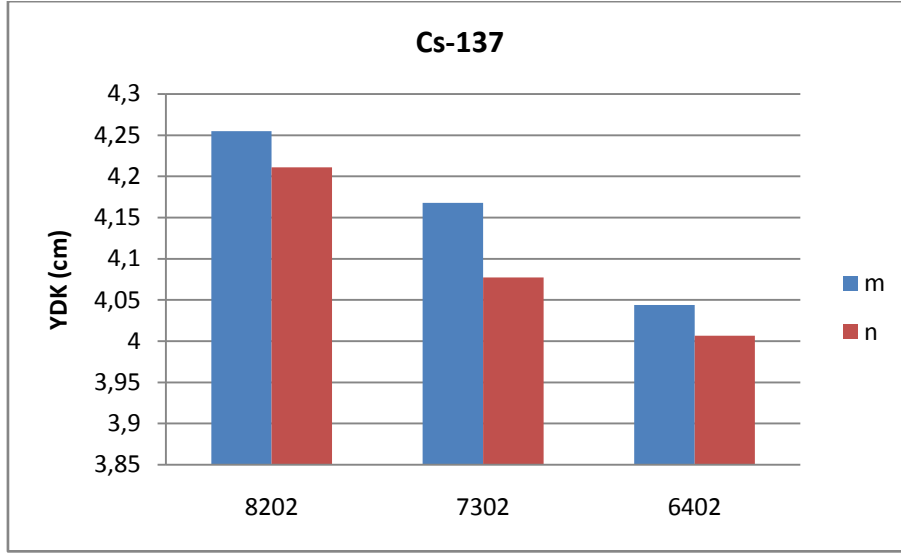


Şekil 6.3: Hacimce TiB₂ oranının TiB₂ katkılı B₄C-SiC kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerleri üzerindeki etkisi.

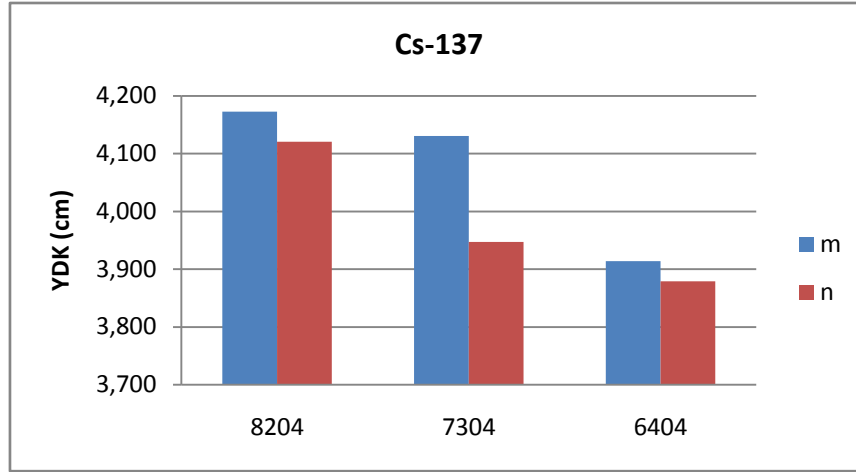
Şekil 6.3'te görüldüğü üzere hacimce % TiB₂ oranının artışı B₄C-SiC kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerlerinin azalmasına neden olmaktadır.

6.5.1.3 Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin TiB₂ katkılı B₄C-SiC kompozitlerinde TiB₂ parçacık boyutunun YDK değerleri üzerine etkisi

Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin olarak bor-karbür-silisyum karbür kompozitlerinde ortalama TiB₂ parçacık boyutuna göre hesaplanan ve Çizelge 5.34 de verilen YDK değerlerinden hareketle farklı parçacık boyularında TiB₂ içeren B₄C-SiC kompozitleri gruplandırılmıştır. Böylelikle ortalama TiB₂ oranının B₄C-SiC kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerleri üzerindeki etkisi araştırılmış ve Şekil 6.4'te mukayeseli olarak gösterilmiştir.



(a)



(b)

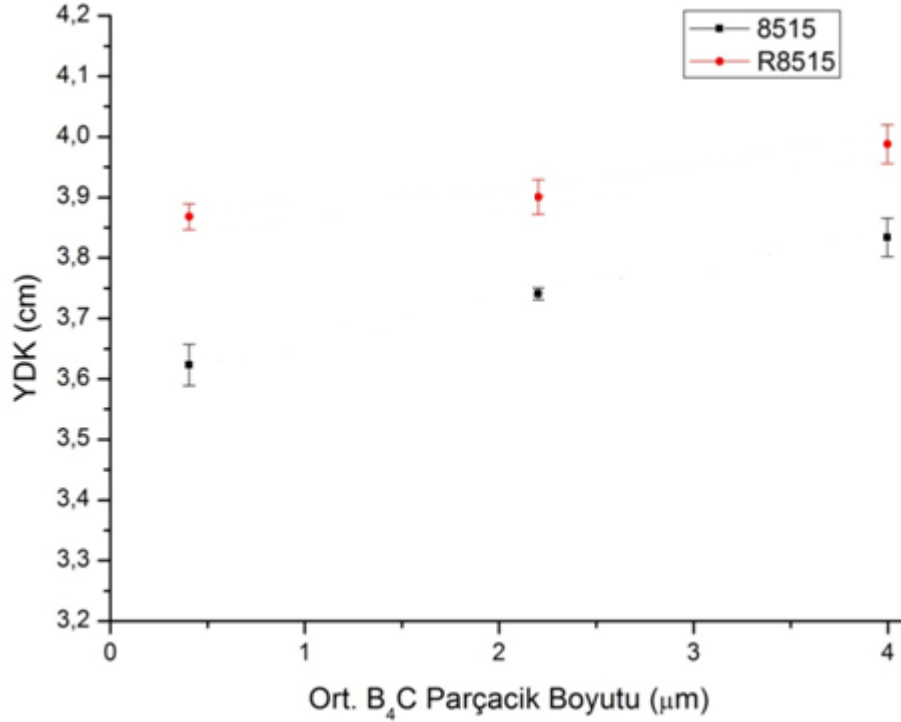
Şekil 6.4: TiB₂ parçacık boyutunun %2 (a) ve %4 (b) TiB₂ katkılı B₄C-SiC kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerleri üzerindeki etkisi.

Şekil 6.4'te görüldüğü üzere ortalama TiB₂ parçacık boyutunun küçülmesi TiB₂ katkılı B₄C-SiC kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerlerinin azalmasına neden olmaktadır.

6.5.1.4 Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin B₄C-TiB₂ kompozitlerinde B₄C parçacık boyutunun YDK değerleri üzerine etkisi

Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin olarak B₄C-TiB₂ kompozitlerinde B₄C parçacık boyutuna göre hesaplanan ve Çizelge 5.34 de verilen YDK değerlerinden hareketle farklı oranlarda ortalama B₄C parçacık boyutu içeren B₄C-

TiB₂kompozitleri gruplandırılmıştır. Böylelikle hacimce ortalama B₄C parçacık boyutunun B₄C-TiB₂ kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerleri üzerindeki etkisi araştırılmış ve Şekil 6.5'demukayeseli olarak gösterilmiştir.

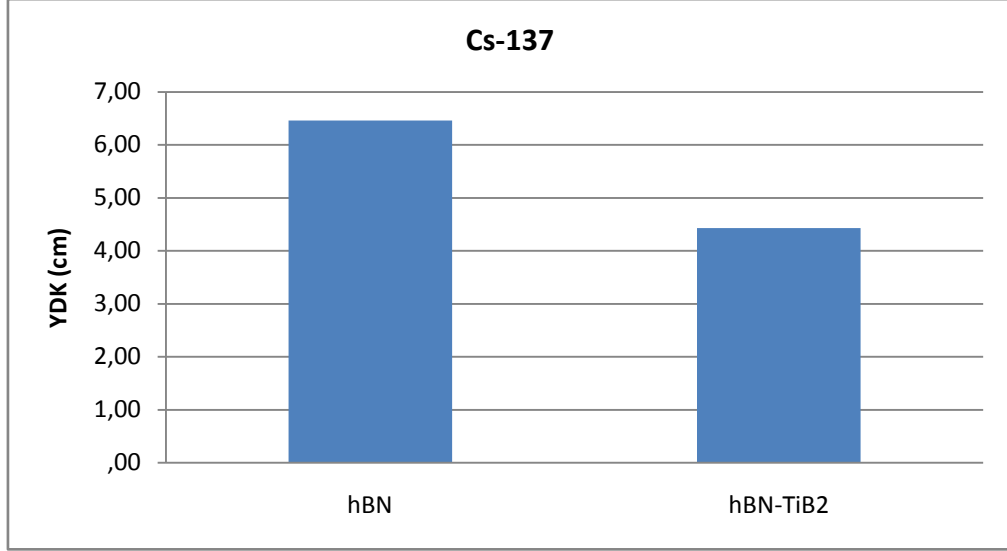


Şekil 6.5: Ortalama B₄C parçacık boyutunun B₄C-TiB₂ kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerleri üzerindeki etkisi.

Şekil 6.5'te görüldüğü üzere hacimce % SiC oranının artışı B₄C-SiC kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerlerinin azalmasına neden olmaktadır

6.5.1.5 Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin Hekzagonal bor nitrür ve hekzagonal bor nitrür-titanyum diborür malzemelerin YDK değerleri ve kurşun malzeme ile karşılaştırması

Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin olarak hekzagonal bor nitrür ve hekzagonal bor nitrür-titanyum diborür (hBN ve hBN-TiB₂) malzemelerin hesaplanan ve Çizelge 5.34 de verilen Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerlerinden hBN ve hBN-TiB₂ kompozit malzemeler gruplandırılmıştır. Böylelikle hBN ve hBN-TiB₂ kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerleri araştırılmış ve Şekil 6.6'da mukayeseli olarak gösterilmiştir.

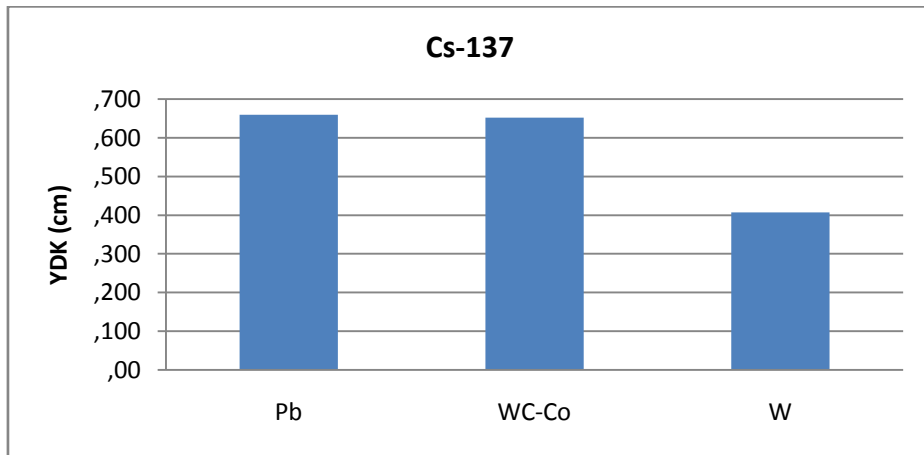


Şekil 6.6 : hBN ve hBN-TiB₂ kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerleri.

Şekil 6.6'da görüldüğü üzere hBN-TiB₂ kompozit malzemelerinde hBN malzemelere göre Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerleri daha düşük olmaktadır.

6.5.1.6 Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin tungsten içeren malzemelerin YDK değerleri ve kurşun malzeme ile karşılaştırması

Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin olarak tungsten içeren malzemelerin ve kurşun malzemenin hesaplanan ve Çizelge 5.34 de verilen Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerleri söz konusu malzemeler için gruplandırılmıştır. Böylelikle tungsten ve kurşun malzemelerin Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerleri araştırılmış ve Şekil 6.7'de mukayeseli olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.7: Kurşun, Tungsten ve WC-Co kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerleri.

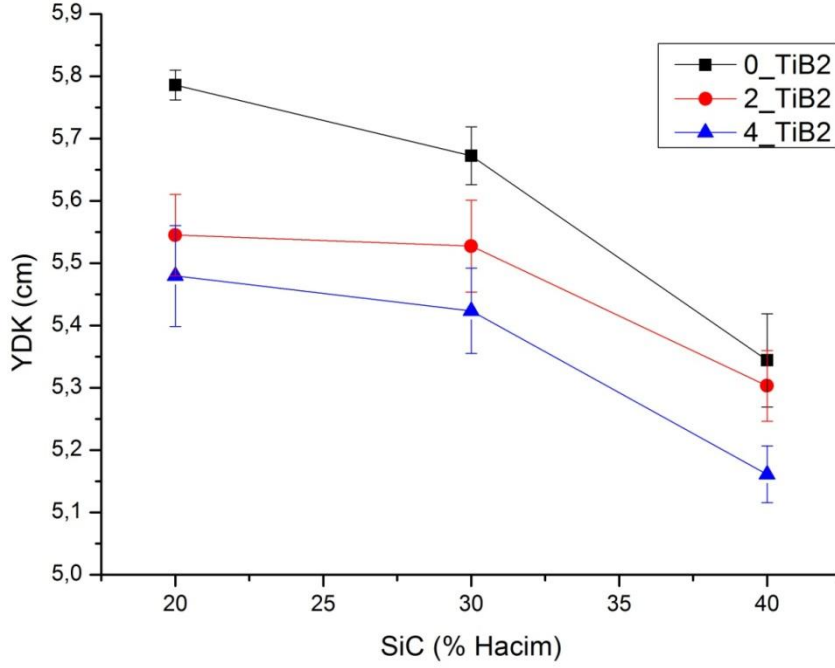
Şekil 6.7’de görüldüğü üzere saf tungsten malzeme WC_Co ve kurşun (Pb) malzemeye göre daha düşük YDK değerine sahiptir. Ayrıca WC_Co kompozit malzeme ile kurşunun YDK değerleri birbirine yakındır. Bu bağlamda tungsten içeren malzemelerin Cs-137 gama zırhlamasında kurşuna alternatif olabilecek malzemeler arasında yer aldığı söylenebilmektedir.

6.5.2 Malzemelerin Co-60 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerlerinin karşılaştırılması

Çalışılan malzemelerin lineer zayıflatma katsayılarından hareketle hesaplanan ve Çizelge 5.34- Çizelge 5.37 de verilen YDK değerlerinden hareketle malzeme içeriği, yapısı ve üretim koşulları göz önüne alınarak gruplara ayrılmış ve malzemelerdeki değişimin malzemelerin YDK değerleri üzerine etkisi aşağıdaki alt bölümlerde incelenmiştir. Bu bağlamda malzemelerin radyasyon zırh özellikleri ile birlikte bu özelliklerin geliştirilebilme imkanları değerlendirilmiştir.

6.5.2.1 Co-60 gama radyasyonuna ilişkin borkarbür-silisyum karbür kompozitlerinde hacimce %SiC oranının YDK değerleri üzerine etkisi

Co-60 gama radyasyonuna ilişkin olarak borkarbür-silisyum karbür kompozitlerinde hacimce %SiC oranını göre hesaplanan ve Çizelge 5.34 de verilen YDK değerlerinden hareketle farklı oranlarda SiC içeren B₄C-SiC kompozitleri gruplandırılmıştır. Böylelikle hacimce %SiC oranının B₄C-SiC kompozit malzemelerin Co-60 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerleri üzerindeki etkisi araştırılmış ve Şekil 6.8’te mukayeseli olarak gösterilmiştir.

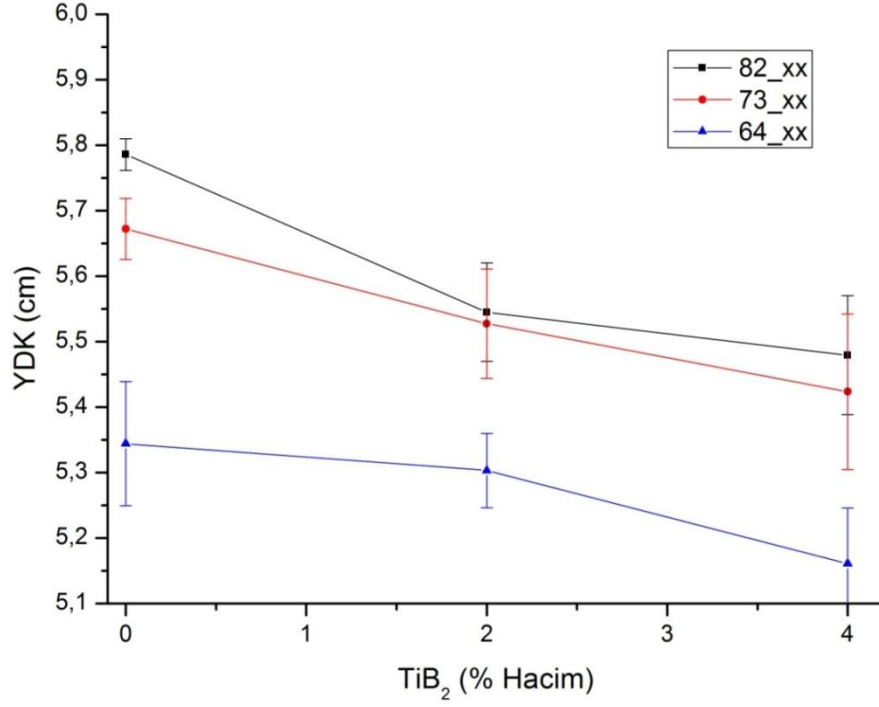


Şekil 6.8: Hacimce %SiC oranının B₄C-SiC kompozit malzemelerin Co-60 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerleri üzerindeki etkisi.

Şekil 6.8’te görüldüğü üzere hacimce % SiC oranının artışı B₄C-SiC kompozit malzemelerin Co-60 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerlerinin azalmasına neden olmaktadır

6.5.2.2 Co-60 gama radyasyonuna ilişkin TiB₂ katkılı B₄C-SiC kompozitlerinde hacimce %TiB₂ oranının YDK değerleri üzerine etkisi

Co-60 gama radyasyonuna ilişkin olarak borkarbür-silisyum karbür kompozitlerinde hacimce %TiB₂ oranını göre hesaplanan ve Çizelge 5.34 de verilen YDK değerlerinden hareketle farklı oranlarda TiB₂ içeren B₄C-SiC kompozitleri gruplandırılmıştır. Böylelikle hacimce TiB₂ oranının B₄C-SiC kompozit malzemelerin Co-60 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerleri üzerindeki etkisi araştırılmış ve Şekil 6.9’damukayeseli olarak gösterilmiştir.

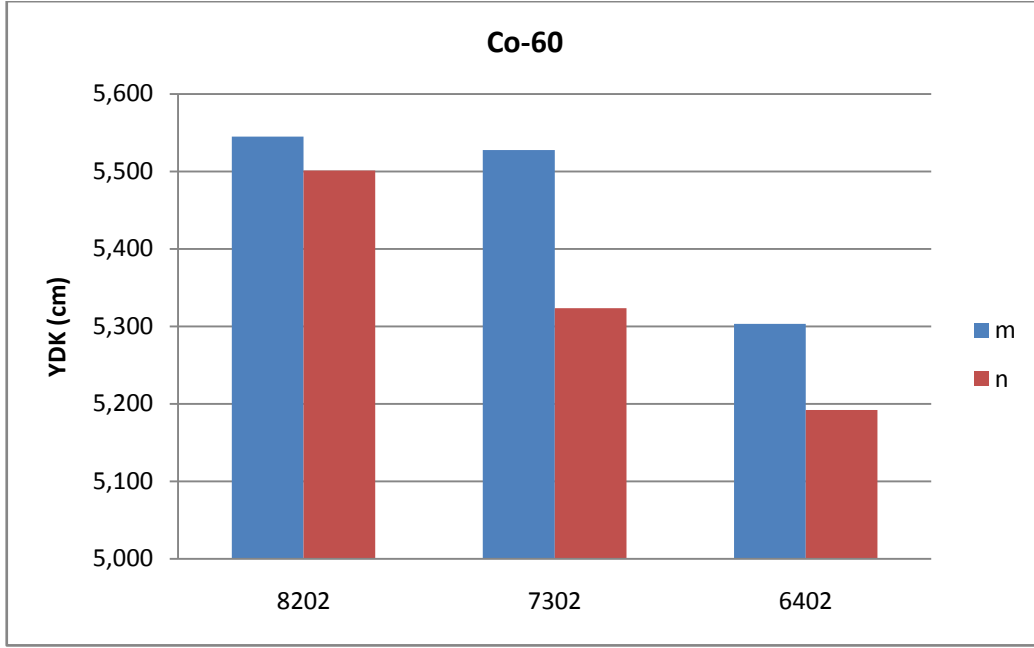


Şekil 6.9: Hacimce %SiC oranının B₄C-SiC kompozit malzemelerin Co-60 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerleri üzerindeki etkisi.

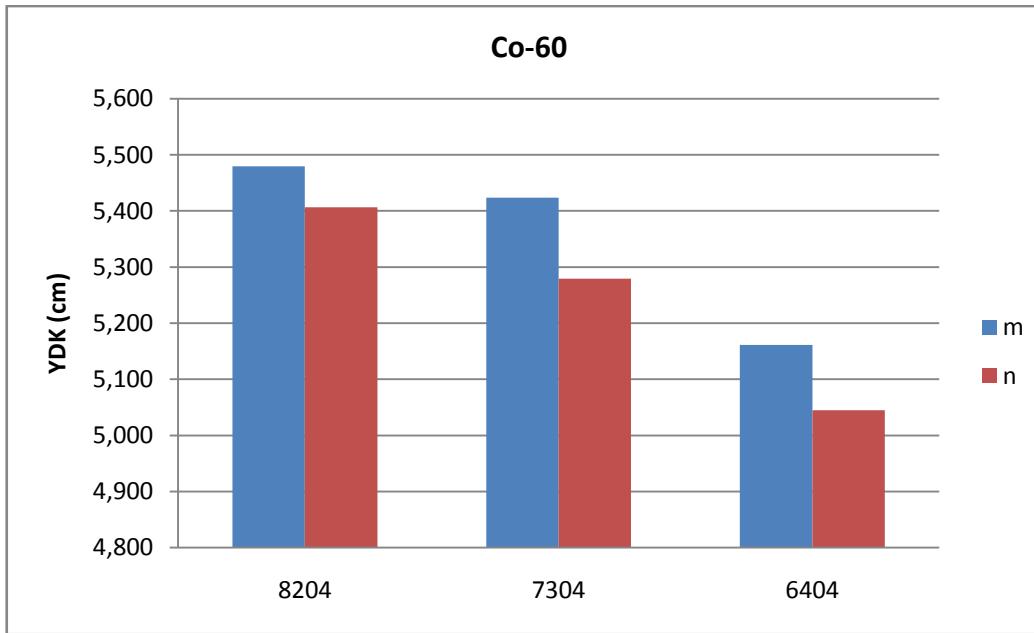
Şekil 6.9’da görüldüğü üzere hacimce % TiB₂ oranının artışı TiB₂ katkılı B₄C-SiC kompozit malzemelerin Co-60 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerlerinin azalmasına neden olmaktadır.

6.5.2.3 Co-60 gama radyasyonuna ilişkin TiB₂ katkılı B₄C-SiC kompozitlerinde TiB₂ parçacık boyutunun YDK değerleri üzerine etkisi

Malzemelerin hesaplanan ve Çizelge 5.34 de verilen Co-60 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerlerinden farklı ortalama TiB₂ parçacık boyutu içeren TiB₂ katkılı B₄C-SiC kompozitleri gruplandırılmıştır. Böylelikle ortalama TiB₂ parçacık boyutunun TiB₂ katkılı B₄C-SiC kompozit malzemelerin Co-60 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerleri üzerindeki etkisi araştırılmış ve şekil 6.10’te gösterilmiştir.



(a)



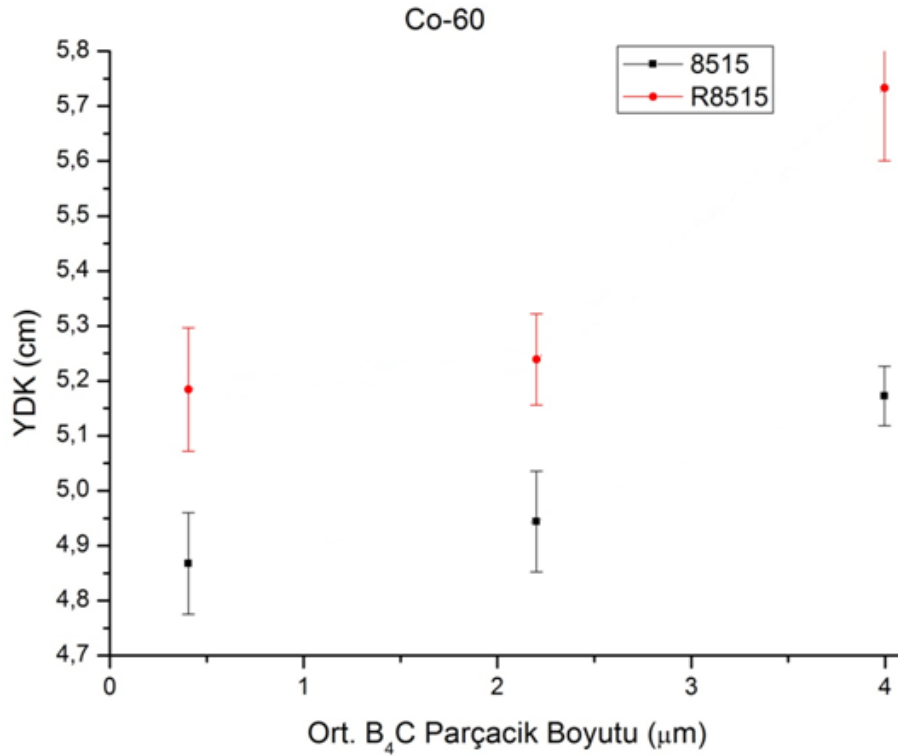
(b)

Şekil 6.10: TiB₂ parçacık boyutunun %2 ve %4 TiB₂ katkılıB₄C-SiC kompozit malzemelerin Co-60 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerleri üzerindeki etkisi.

Şekil 6.10'da görüldüğü üzere ortalama TiB₂ parçacık boyutunun azalması TiB₂ katkılıB₄C-SiC kompozit malzemelerin Co-60 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerlerinin azalmasına neden olmaktadır

6.5.2.4 B₄C-TiB₂kompozitlerinde B₄C parçacık boyutunun Co-60 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerleri üzerine etkisi

Malzemelerin hesaplanan ve Çizelge 5.34 de verilen Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerlerinden farklı ortalama B₄C parçacık boyutu içeren B₄C-TiB₂ kompozitleri gruplandırılmıştır. Böylelikle ortalama B₄C parçacık boyutunun B₄C-TiB₂ kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerleri üzerindeki etkisi araştırılmış ve Şekil 6.11’de gösterilmiştir.



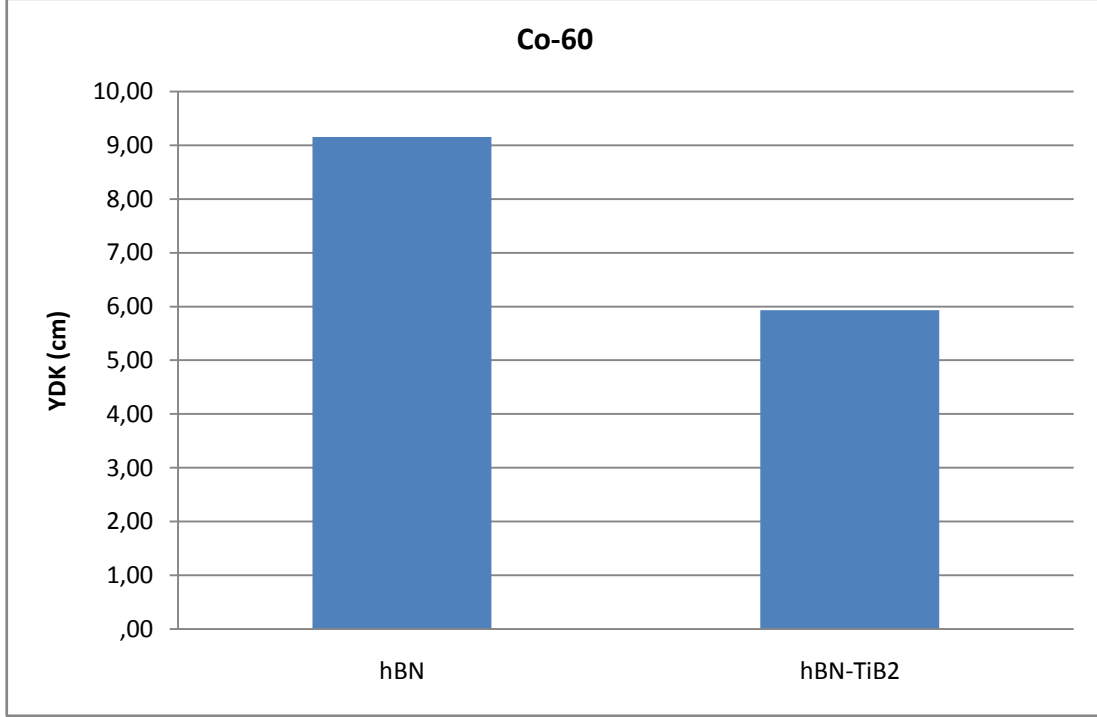
Şekil 6.11: Ortalama B₄C parçacık boyutunun B₄C-TiB₂ kompozit malzemelerin Co-60 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerleri üzerindeki etkisi.

Şekil 6.11’de görüldüğü üzere ortalama B₄C parçacık boyutunun azalması B₄C-TiB₂kompozit malzemelerin Co-60 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerlerinin azalmasına neden olmaktadır.

6.5.2.5 Hekzagonal bor nitrür ve hekzagonal bor nitrür-titanyum diborür kompozit malzemelerin Co-60 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerleri ve kurşun malzeme ile karşılaştırması

Malzemelerin hesaplanan ve Çizelge 5.34 de verilen Co-60 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerlerinden hekzagonal bor nitrür (hBN) ve hekzagonal bor nitrür-

titanyum diborür (hBN-TiB₂) kompozit malzemeler gruplandırılmıştır. Böylelikle TiB₂ katkısının hBN malzemelerin Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerleri üzerindeki etkisi araştırılmış ve Şekil 6.12’de gösterilmiştir.

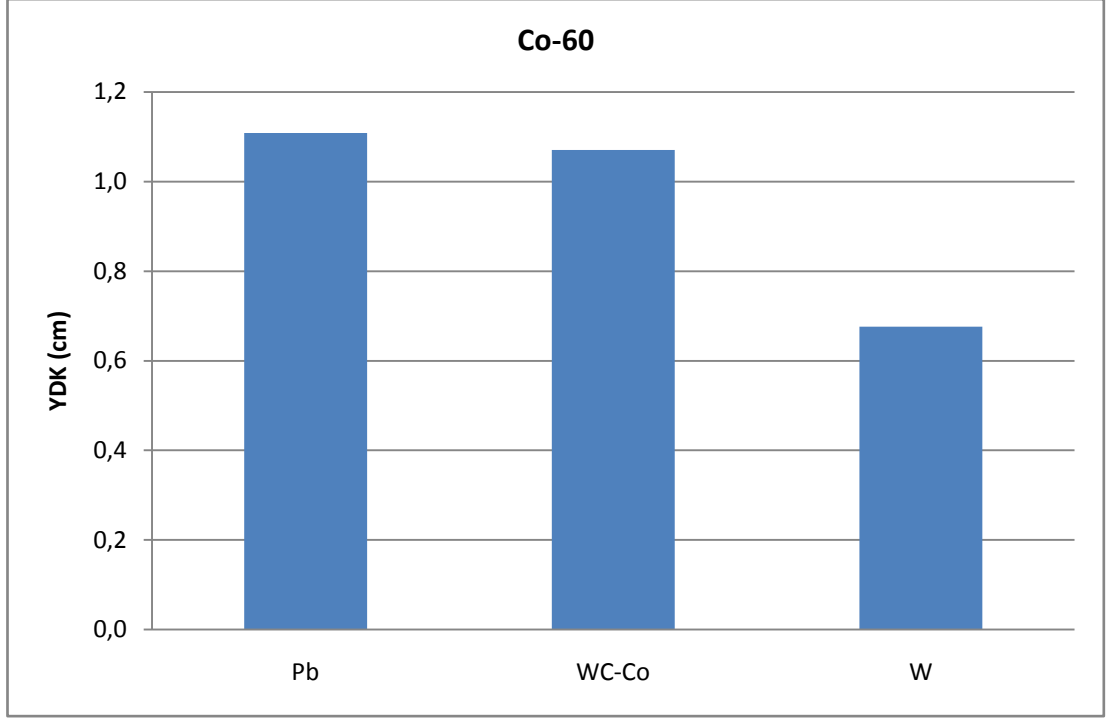


Şekil 6.12 : hBN ve hBN-TiB₂ kompozit malzemelerin Co-60gama radyasyonuna ilişkin YDK değerleri.

Şekil 6.12’de görüldüğü üzere hBN malzemelerin Co-60 gama radyasyonuna ilişkin YDK değeri, hBN-TiB₂ kompozit malzemelerin YDK değerinden daha büyük olmaktadır.

6.5.2.6 Tungsten içeren malzemelerin Co-60 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerleri ve kurşun malzeme ile karşılaştırması

Malzemelerin hesaplanan ve Çizelge 5.34 de verilen Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerlerinden saf tungsten, WC_Co ve karşılaştırma yapılması planlanan kurşun malzeme gruplandırılmıştır. Böylelikle tungsten içeren malzemelerin nükleer uygulamalarda yaygın zırh malzemesi olan kurşun malzeme ile karşılaştırması yapılmış ve Şekil 6.13’te gösterilmiştir.



Şekil 6.13 : Kurşun, Tungsten ve WC-Co kompozit malzemelerin Co-60 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerleri.

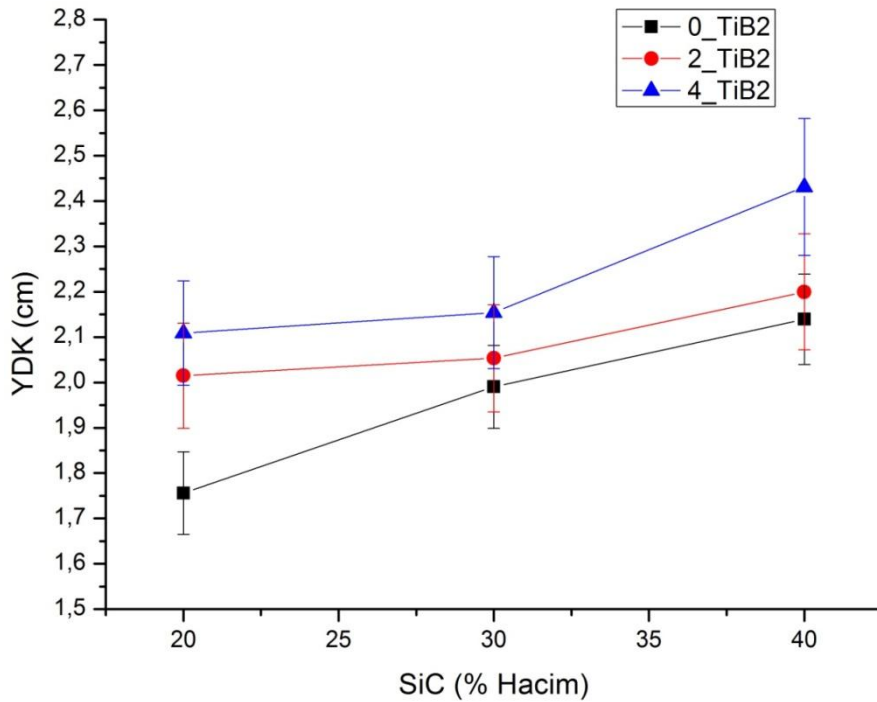
Şekil 6.13'te görüldüğü üzere saf tungsten malzeme, WC_Co ve kurşun (Pb) malzemeye göre daha düşük YDK değerine sahiptir. Ayrıca WC_Co kompozit malzeme ile kurşunun YDK değerleri birbirine yakındır. Bu bağlamda tungsten içeren malzemelerin Co-60 gama zırhlamasında kurşuna alternatif olabilecek malzemeler arasında yer aldığı söylenebilmektedir.

6.5.3 Malzemelerin Pu-Be nötron kaynağına ilişkin YDK değerlerinin karşılaştırılması

Malzemelerin hesaplanan ve Çizelge 5.34- Çizelge 5.37 de verilen YDK değerlerinden hareketle malzeme içeriği, yapısı ve üretim koşulları göz önüne alınarak gruplara ayrılmış ve malzemelerdeki değişimin malzemelerin YDK değerleri üzerine etkisi incelenmiştir. Bu bağlamda malzemelerin radyasyon zırh özellikleri ile birlikte bu özelliklerin geliştirilebilme imkanları değerlendirilmiştir.

6.5.3.1 Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağına ilişkin Borkarbür-silisyum karbür kompozitlerinde hacimce %SiC oranının YDK değerleri üzerine etkisi

Malzemelerin hesaplanan ve Çizelge 5.34 de verilen Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerlerinden farklı oranlarda SiC içeren B₄C-SiC kompozitleri gruplandırılmıştır. Böylelikle hacimce %SiC oranının B₄C-SiC kompozit malzemelerin Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağına ilişkin YDK değerleri üzerindeki etkisi araştırılmış ve şekil 6.14'te gösterilmiştir.



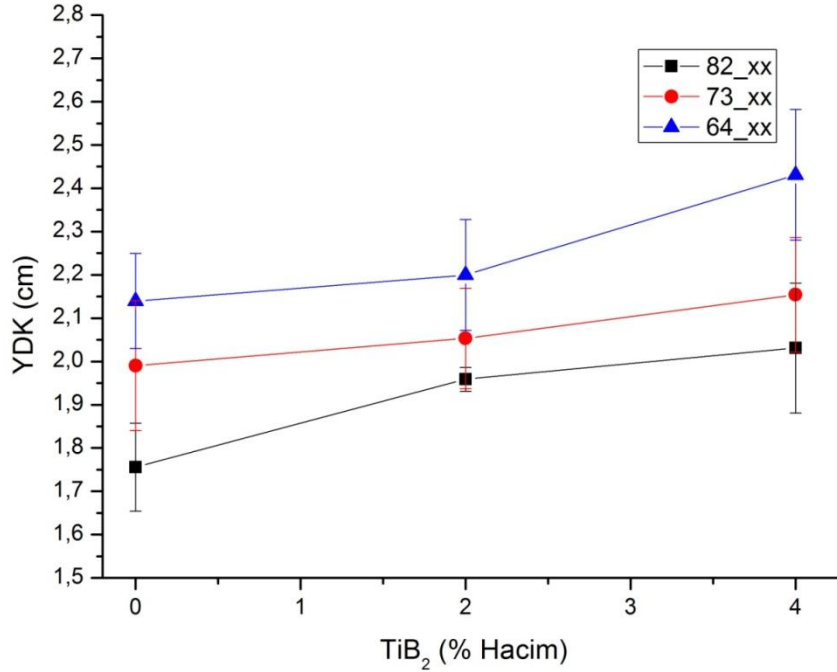
Şekil 6.14: Hacimce %SiC oranının B₄C-SiC kompozit malzemelerin Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağına ilişkin YDK değerleri üzerindeki etkisi.

Şekil 6.14'te görüldüğü üzere hacimce % SiC oranının artışı B₄C-SiC kompozit malzemelerin Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağına ilişkin YDK değerlerinin artmasına neden olmaktadır.

6.5.3.2 TiB₂ katkılı B₄C-SiC kompozitlerinde hacimce %TiB₂ oranının Pu-Be nötron kaynağına ilişkin YDK değerleri üzerine etkisi

Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağına ilişkin olarak TiB₂ katkılı borkarbür-silisyum karbür kompozitlerinde hacimce %TiB₂ oranına göre hesaplanan ve Çizelge 5.34 de verilen YDK değerlerinden hareketle farklı

oranlarda TiB_2 içeren B_4C-SiC kompozitleri gruplandırılmıştır. Böylelikle hacimce TiB_2 oranının B_4C-SiC kompozit malzemelerin Co-60 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerleri üzerindeki etkisi araştırılmış ve şekil 6.15'te gösterilmiştir.

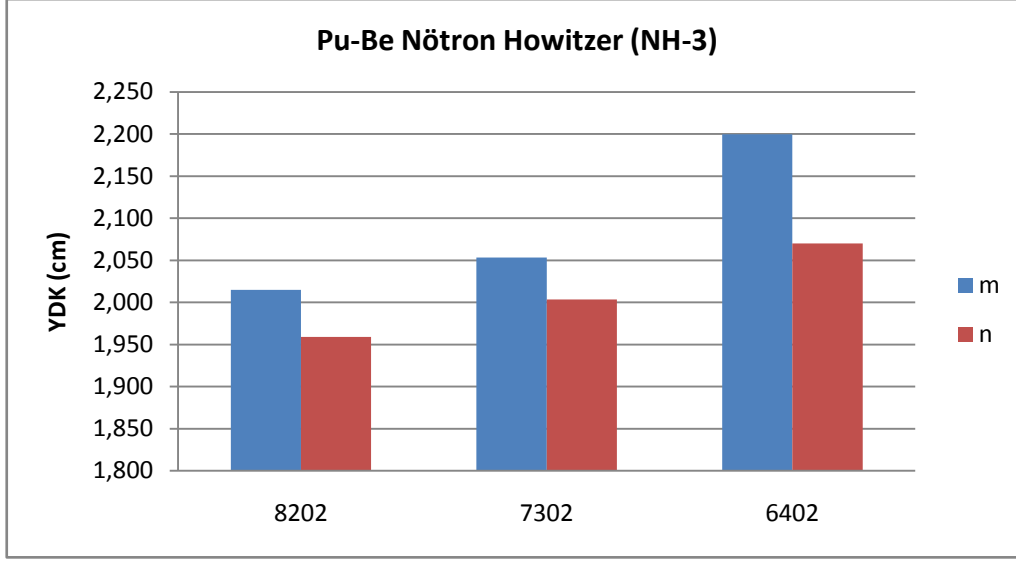


Şekil 6.15: Hacimce TiB_2 oranının TiB_2 katkılı B_4C-SiC kompozit malzemelerin Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağına ilişkin YDK değerleri üzerindeki etkisi.

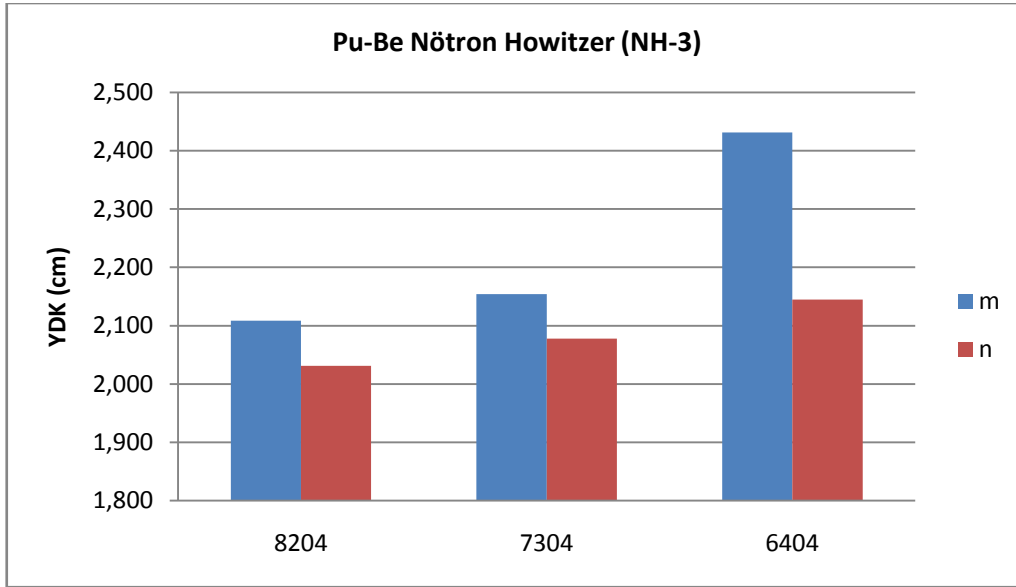
Şekil 6.15'te görüldüğü üzere hacimce % TiB_2 oranının artışı TiB_2 katkılı B_4C-SiC kompozit malzemelerin Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağına ilişkin YDK değerlerinin azalmasına neden olmaktadır.

6.5.3.3 TiB_2 katkılı B_4C-SiC kompozitlerinde TiB_2 parçacık boyutunun Pu-Be nötron kaynağına ilişkin YDK değerleri üzerine etkisi

Malzemelerin hesaplanan ve Çizelge 5.34 de verilen Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağına ilişkin YDK değerlerinden farklı ortalama TiB_2 parçacık boyutu içeren TiB_2 katkılı B_4C-SiC kompozitleri gruplandırılmıştır. Böylelikle ortalama TiB_2 parçacık boyutunun TiB_2 katkılı B_4C-SiC kompozit malzemelerin verilen Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağına ilişkin YDK değerleri üzerindeki etkisi araştırılmış ve Şekil 6.16'da gösterilmiştir.



(a)



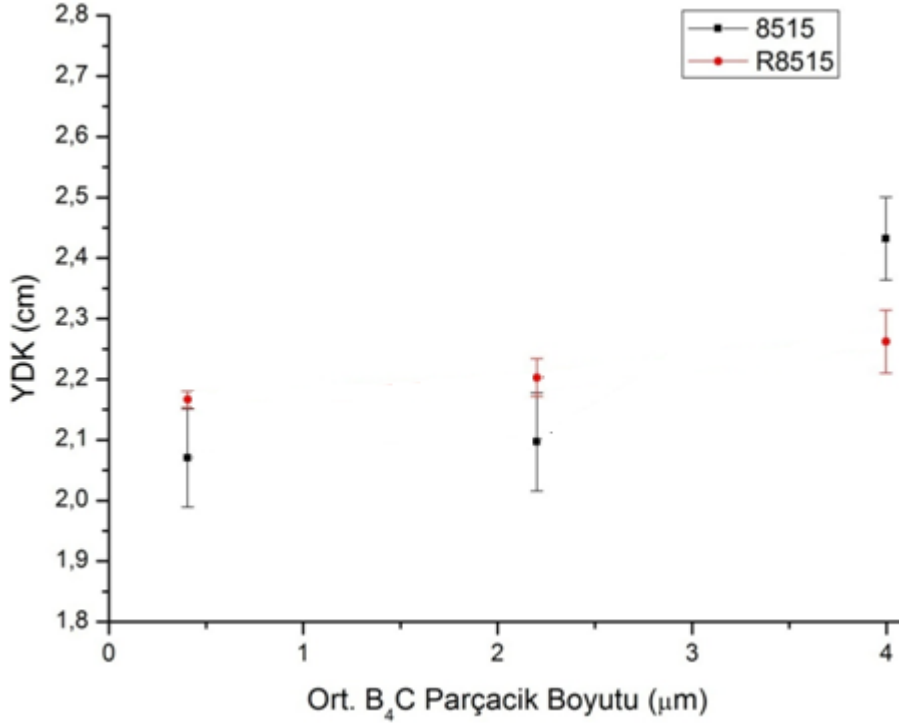
Şekil 6.16: TiB_2 parçacık boyutunun %2 ve %4 TiB_2 katkılı B_4C-SiC kompozit malzemelerin Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağına ilişkin YDK değerleri üzerindeki etkisi.

Şekil 6.16'da görüldüğü üzere TiB_2 parçacık boyutunun azalması TiB_2 katkılı B_4C-SiC kompozit malzemelerin verilen Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağına ilişkin YDK değerlerinin azalmasına neden olmaktadır

6.5.3.4 B_4C-TiB_2 kompozitlerinde B_4C parçacık boyutunun Pu-Be nötron kaynağına ilişkin YDK değerleri üzerine etkisi

Malzemelerin hesaplanan ve Çizelge 5.34 de verilen Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağına ilişkin YDK değerlerinden farklı ortalama B_4C parçacık

boyutu içeren B_4C - TiB_2 kompozitleri gruplandırılmıştır. . Böylelikle ortalama B_4C parçacık boyutunun B_4C - TiB_2 kompozit malzemelerin Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağına ilişkin ilişkin YDK değerleri üzerindeki etkisi araştırılmış ve şekil 6.17’de gösterilmiştir.



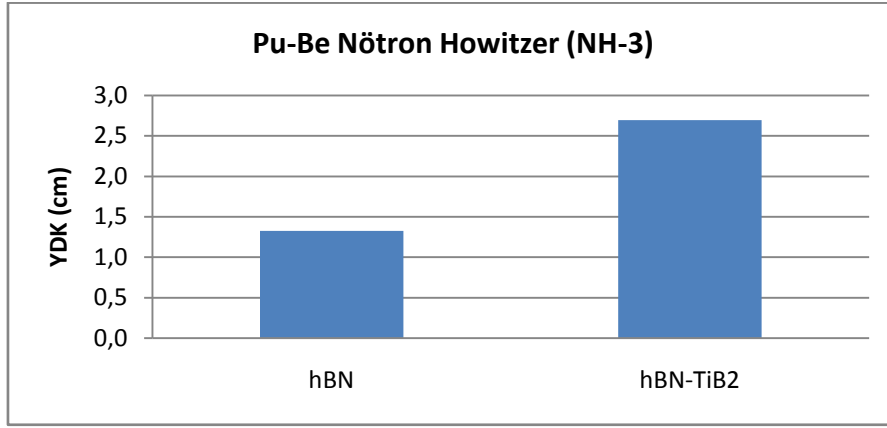
Şekil 6.17: Ortalama B_4C parçacık boyutunun B_4C - TiB_2 kompozit malzemelerin Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağına ilişkin ilişkin YDK değerleri üzerindeki etkisi.

Şekil 6.17’de görüldüğü üzere ortalama B_4C parçacık boyutunun azalması B_4C - TiB_2 kompozit malzemelerin Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağına ilişkin ilişkin YDK değerlerinin azalmasına neden olmaktadır

6.5.3.5 Hekzagonal bor nitrür ve hekzagonal bor nitrür-titanyum diborür kompozit malzemelerin Pu-Be nötron kaynağına ilişkin YDK değerlerinin karşılaştırması

Malzemelerin hesaplanan ve Çizelge 5.34 de verilen Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağına YDK değerlerinden hekzagonal bor nitrür (hBN) ve hekzagonal bor nitrür-titanyum diborür ($hBN-TiB_2$) kompozitleri gruplandırılmıştır. Böylelikle TiB_2 katkısının hBN malzemelerin Pu-Be Nötron

Howitzer (NH-3) nötron kaynağına ilişkin YDK değerleri üzerindeki etkisi araştırılmış ve Şekil 6.18’de gösterilmiştir.

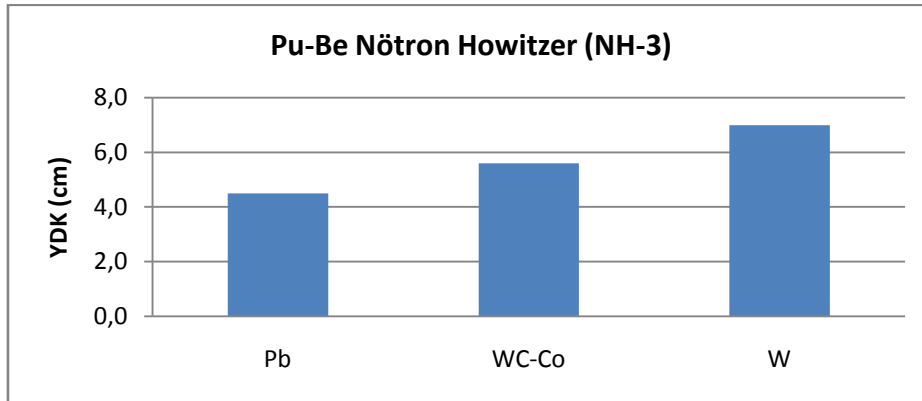


Şekil 6.18 : hBN ve hBN-TiB₂ kompozit malzemelerin Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağına ilişkin YDK değerleri.

Şekil 6.12’de görüldüğü üzere hBN malzemenin Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağına ilişkin YDK değeri, hBN-TiB₂ kompozit malzemenin YDK değerinden daha küçük olmaktadır.

6.5.3.6 Tungsten içeren malzemelerin Pu-Be nötron kaynağına ilişkin YDK değerleri ve kurşun malzeme ile karşılaştırması

Malzemelerin hesaplanan ve Çizelge 5.34 de verilen Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağına ilişkin YDK değerlerinden saf tungsten, WC_Co ve karşılaştırma yapılması planlanan kurşun malzeme gruplandırılmıştır. Böylelikle tungsten içeren malzemelerin nükleer uygulamalarda yaygın gama zırh malzemesi olan kurşun malzeme ile karşılaştırması yapılmış ve şekil 5.43’te gösterilmiştir.



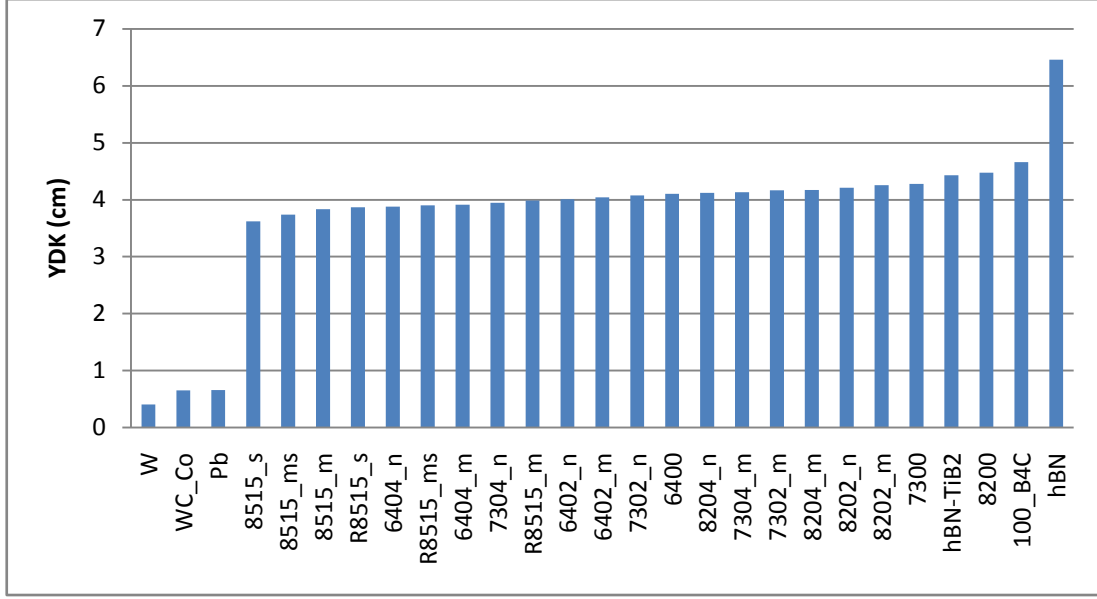
Şekil 6.19: Kurşun, Tungsten ve WC-Co kompozit malzemelerin Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağına ilişkin YDK değerleri.

Şekil 6.19'da görüldüğü üzere saf tungsten malzeme, WC_Co ve kurşun (Pb) malzemeye göre daha yüksek YDK değerine sahiptir. Ayrıca WC_Co kompozit malzeme ile kurşunun Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağına ilişkin YDK değerleri karşılaştırıldığında kurşunun daha düşük YDK değerine sahip olduğu görülmektedir.

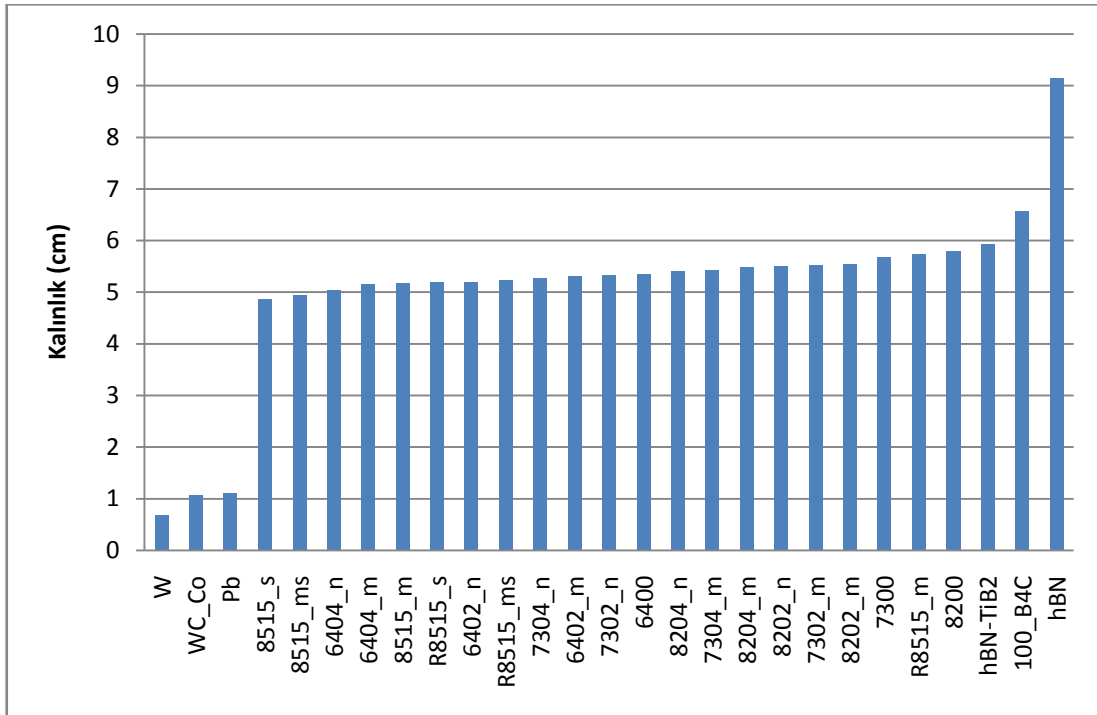
7. RADYASYON ZIRH MALZEMESİ OLARAK KULLANILABİLECEK YENİ BİR KOMPOZİT MALZEME ÖNERİSİ : TUNGSTEN DİBORÜR (WB₂)

Bu doktora tezinde farklı kompozit malzemeler kullanılarak yapılan çalışmalara ilişkin olarak Bölüm 5'te verilen deneysel sonuçlar ile Bölüm 6'da verilen söz konusu kompozit malzemelerin XCOM Bilgisayar programı kullanılarak hesaplanan kütle zayıflatma katsayılarının hesaplanması ve deneysel çalışmalara uyumunun görülmesinden sonra radyasyon zırh malzemesi olarak değerlendirme bağlamında (Bölüm 6'da verilen) YDK değerlerinin de incelenmesi sonucunda tungsten'in gama ışınları için iyi bir zırh malzemesi olduğu ve fazla olarak bor içeren malzemelerin nötronlar karşısında uygun bir zırh malzemesi olabileceği kanaati edinilmiştir. Bu bağlamda, nükleer teknolojide uygulanabileceği düşünülen hem gama ve hem de nötronlara karşı etkin zırhlama sağlayabilecek bu doktora tezinin özgünlüğü çerçevesinde tek bir yeni radyasyon zırh malzemesi önerisine gidilmesi fikri benimsenmiştir.

Bu bağlamda, yeni bir radyasyon zırh malzemesi önerisi yapılabilmesine ilişkin olarak, deneysel çalışmalar sonucunda radyasyon zırh malzemeleri değerlendirmesi için yol gösterici önemli bir parametre olan YDK değerleri topluca göz önüne alınmıştır. Cs-137 ve Co-60 gama radyoizotop kaynakları ile yapılan deneylerden hareketle tayin edilen lineer zayıflatma katsayıları kullanılarak ulaşılan YDK değerleri Cs-137 ve Co-60 gama radyoizotop kaynakları için toplu halde, sırasıyla Şekil 7.1 ve Şekil 7.2'de verilmektedir.



Şekil 7.1 : Çalışılan malzemelerin Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin zırhlama özelliklerine göre sıralanmış YDK değerleri.

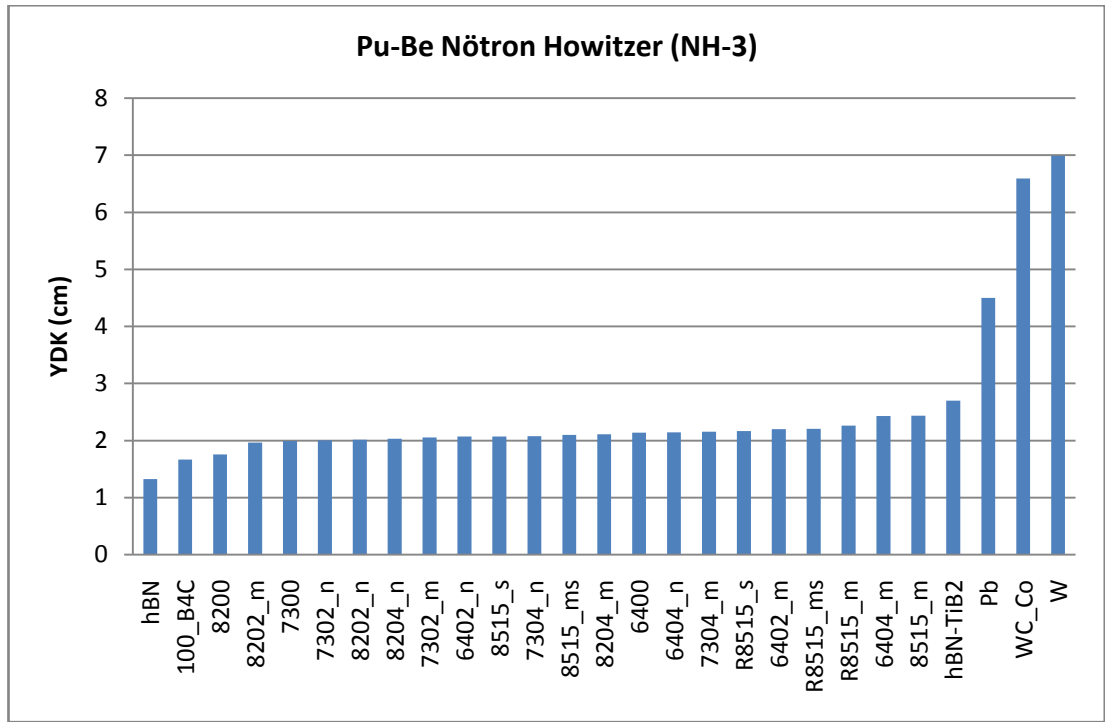


Şekil 7.2 : Çalışılan malzemelerin Co-60 gama radyasyonuna ilişkin zırhlama özelliklerine göre sıralanmış YDK değerleri.

Şekil 7.1 ve 7.2'den görüldüğü üzere tungsten içeren malzemelerin Cs-137 ve Co-60 gama radyasyonu zırhlama kabiliyetleri diğer malzemelere göre daha yüksektir. Uygulamalarda sıkça kullanılan ve halen gama ışınlarının ana zırh malzemesi olarak nitelenen kurşun malzeme ile karşılaştırıldığında, saf

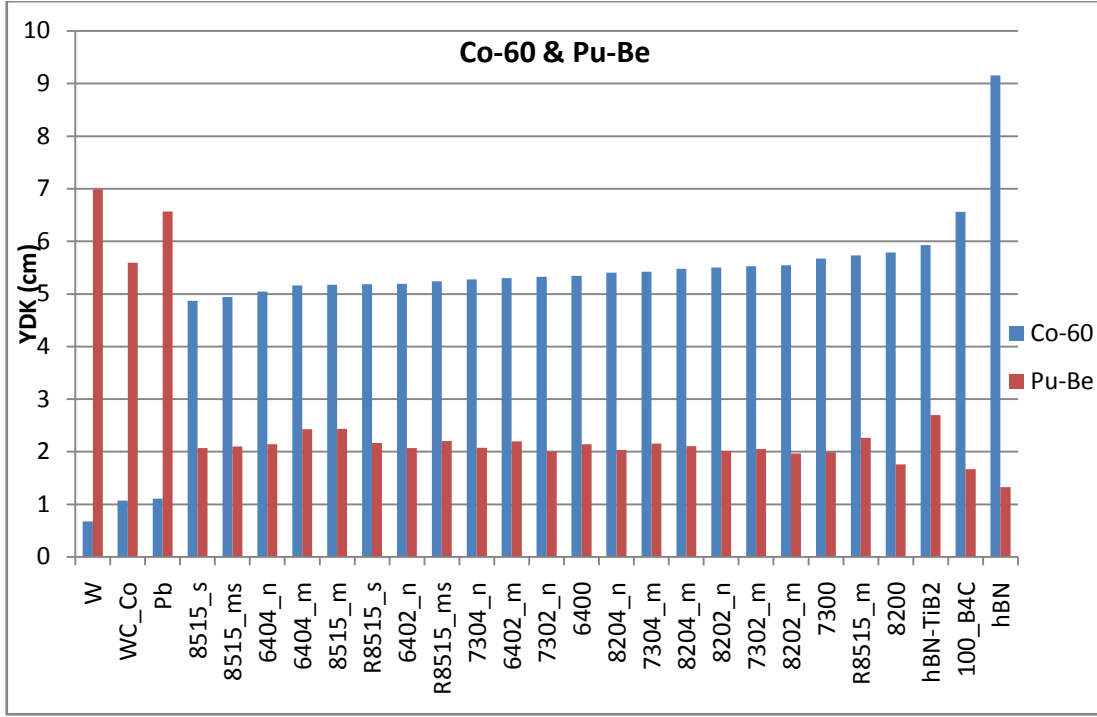
tungstenindaha yüksek zırhlama kabiliyeti gösterdiği tespit edilmiştir. Ayrıca, WC_Co kompozit malzemesinin de kurşun ile yaklaşık aynı mertebede zırhlama özelliğine sahip olduğu belirlenmiştir. Buradan hareketle, tungsten içeren malzemelerin gama radyasyonu zırhlamasında kurşun yerine kullanılacak uygun malzemeler arasında yer aldığı söylenebilir. Bu bağlamda, tungstenin gama radyasyonu için (çalışılan malzemeler içinde) en uygun zırh malzemesi olduğu belirlenmiştir.

Bu doktora tezi çerçevesinde hem gama radyasyonu ve hem de nötronlar karşısında iyi bir zırh malzemesi olabilecek bir malzemenin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu nedenle, Pu-Be nötron Howitzer (NH-3) kaynağı ile yapılan deneylerin toplu halde değerlendirmesi yoluna gidilmiştir. Pu-Be nötron Howitzer (NH-3) kaynağı ile yapılan deneylerden hareketle tayin edilen lineer zayıflatma katsayıları kullanılarak ulaşılan YDK değerleri toplu halde, Şekil 7.3 verilmektedir.



Şekil 7.3 : Çalışılan malzemelerin Pu-Be nötron kaynağına ilişkin zırhlama özelliklerine göre sıralanmış YDK değerleri.

Şekil 7.2 ve Şekil 7.3'ten yola çıkarak, malzemelerin gama (Co-60) ve nötron (Pu-Be) YDK değerlerinin bir arada incelenebilmesi amacıyla Şekil 7.4 elde edilmiştir.



Şekil 7.4 Malzemelerin gama (Co-60) ve nötron (Pu-Be) YDK değerleri.

Şekil 7.4'ten görüldüğü üzere, malzemelerin nötron zırlama özellikleri incelendiğinde bor içeren malzemelerin diğer malzemelere oranla daha yüksek nötron zırlama özelliğine sahip olduğu görülmektedir. Bu bağlamda nötronların ve gama radyasyonunun zırlanması amacı ile kurulan sistemlerde farklı malzemelerin bir arada kullanılması gerekmektedir. Bir başka deyişle, gama radyasyonu için tungsten malzeme kullanılması gerektiği, buna karşın nötron zırlaması için bor bulunması gerektiği, bu doktora tezi çerçevesinde belirlenmiş olmaktadır.

Yapılan deneyler neticesinde gama radyasyonu için etkin olan tungsten malzemeler ile nötron absorblama özelliği yüksek olan bor içeren malzemelerin uygulamalarda birlikte kullanılabilceği fikri benimsenmiştir. Ayrıca, malzemelerin ayrı ayrı olarak değil de birlikte kullanılmasının kullanım açısından uygun olabileceği düşünülmüştür. Dolayısıyla, tungsten ve bor içeren uygun bir kompozit malzemenin tek başına nötron ve gama radyasyonu zırlama malzemesi olabileceği kanaati edinildiğinden tungsten ve bor içeren malzemeler üzerinde durulmuştur.

7.1 Tungsten Diborür (WB₂)

Yapılan deneysel ve teorik çalışmaların ışığında amaca uygun yeni ve özgün bir kompozit malzemenin “Tungsten diborür (WB₂)” olabileceği kanaati edinilmiştir. Buradan hareketle, bu doktora tezinin özgünlüğü çerçevesinde (literatürde gama ve nötron zırhlaması için birlikte uygulandığına rastlanmamış olan) tungsten diborür üzerinde deneyler yapılarak çalışılmıştır.

Bu amaçla, öncelikle uygun tungsten diborür malzemelere ulaşılması hedeflenmiştir. Bu bağlamda, önerilen malzemenin kendisine ilişkin net sonuçlar alınabilmesi için saflığı % 99’un üzerinde olacak şekilde malzeme temin edilmesi yoluna gidilmiştir. Ancak, ileri ve gelişkin bir kompozit malzeme olan tungsten diborürün temini zorluklar arz etmekteydi. Bununla beraber, (İTÜ BAP Projesi çerçevesinde) saflığı % 99,95 olan tungsten diborür kompozit malzemeler Çin’den özel olarak getirtilmiştir. Böylelikle, safsızlıkları, kalite güvence bağlamında firmaca teminat altında bulunan tungsten diborür malzemelerle çalışılmıştır (Url-9) Temin edilen tungsten diborür (WB₂) malzemenin özellikleri Çizelge 7.2’de verilmektedir.

Çizelge 7.1 : Tungsten diborür (WB₂) özellikleri (Url-9-Url-11).

Özellik	Açıklama
Sembol	WB ₂
Mol Kütle	205,462 g/mol
Yoğunluk	12,631 g/cm ³
Erime Sıcaklığı	2860 °C

7.2 Tungsten Diborür (WB₂) İle Yapılan Deneylerin Sonuçları

Bu doktora tezi ile gama ve nötron zırh malzemesi olarak, doktora tezinin özgünlüğü çerçevesinde önerilen tungsten diborür malzemelerle radyasyon zırhlama özelliklerini incelemek amacı ile bir dizi deney yapılmıştır. Bölüm 4’de detayı verilen deneysel çalışma prensipleri bağlamında, bu doktora tezi ile çalışılan diğer malzemeler için yapıldığı üzere, Bölüm 5 ile Bölüm 6’da verilmiş çalışmalar paralelinde, radyasyon zırh malzemesi olarak yeni önerilen tungsten diborür malzemeler için de deneyler aynen tekrarlanmıştır. Bu bağlamda, gama radyasyon kaynağı olarak Cs-137 ve Co-60 gama radyoizotop kaynakları, nötron kaynağı olarak da Pu-Be nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağı kullanılmıştır.

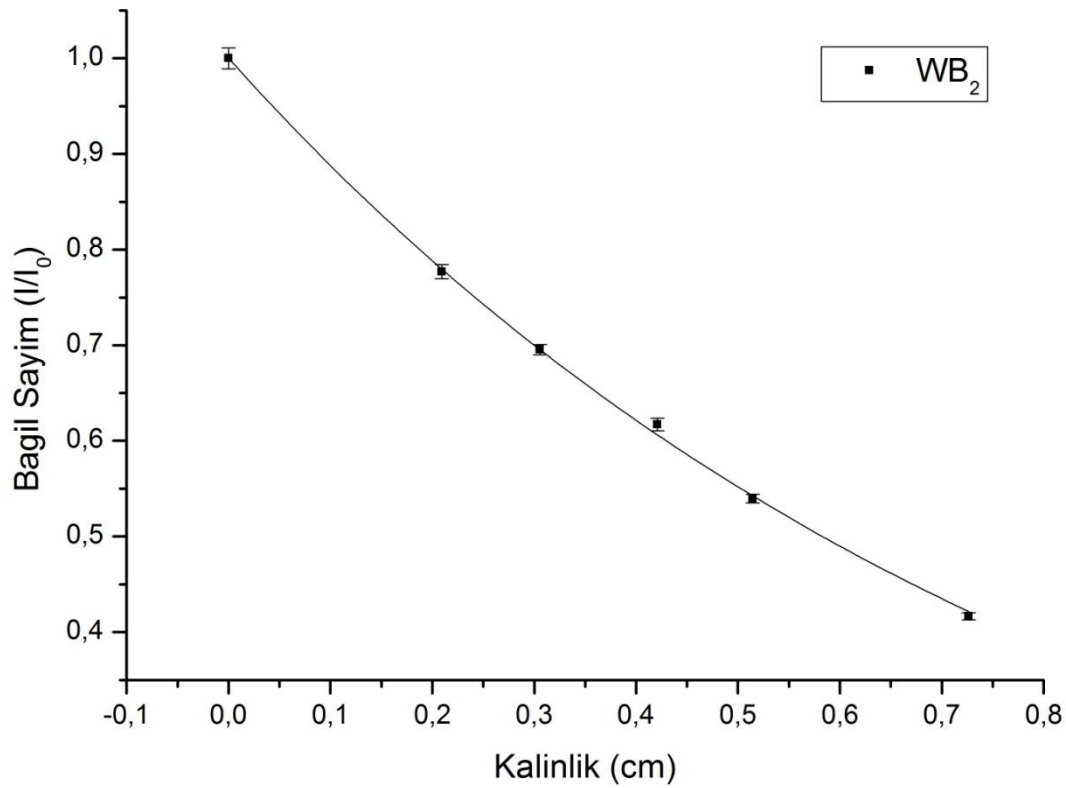
7.2.1 Cs-137 gama radyoizotop kaynağı ile tungsten diborür kompozit malzeme için yapılan deneylerin sonuçları

Cs-137 gama radyoizotop kaynağı kullanılarak tungsten diborür (WB_2) için gerçekleştirilen deneyler neticesinde elde edilen sonuçlar Ek A.22’de verilmiştir. Deneyler sonucunda hesaplanan farklı kalınlıklardaki bağıl sayım değerleri ise Çizelge 7.2’de verilmektedir.

Çizelge 7.2 : Cs-137 gama radyoizotop kaynağı kullanılarak tungsten diborür malzemenin kalınlık-bağıl sayım değerleri.

Kalınlık (cm)	Bağıl Sayım (I/I_0)
0	1
0,2092	0,777
0,3055	0,695
0,4209	0,617
0,5147	0,534
0,7264	0,416

Çizelge 7.2’den hareketle WB_2 kompozit malzeme için Cs-137 gama radyoizotop kaynağına ilişkin çizilen zayıflatma eğrisi Şekil 7.5’de görülmektedir.



Şekil 7.5 : WB_2 kompozit malzemenin Cs-137radyoizotop kaynağına ilişkin zayıflatma eğrisi.

Ayrıca, Cs-137 gama radyoizotop kaynağına ilişkin WB₂kompozit malzemenin XCOM bilgisayar programı kullanılarak kütle zayıflatma katsayısı teorikolarak bulunmuştur. Fazla olarak, WB₂ kompozit malzemenin deneysel sonuçlardan hareketle ulaşılan kütle zayıflatma katsayısı da hesaplanmıştır. Cs-137 gama radyoizotop kaynağına ilişkin WB₂ kompozit malzemenin lineer zayıflatma katsayısı, teorik ve deneysel hesaplanan kütle zayıflatma katsayıları, YDK ve ODK değerleri Çizelge 7.3'te verilmektedir.

Çizelge 7.3 : WB₂ kompozit malzeme için Cs-137 gama radyoizotop kaynağına ilişkin tayin edilen lineer zayıflatma katsayısı, kütle zayıflatma katsayıları, YDK ve ODK değerleri.

Lineer Zayıflatma Katsayısı (cm ⁻¹)	Kütle Zayıflatma Katsayısı (10 ⁻² cm ² /g)			YDK (cm)	ODK (cm)
	Deneysel	XCOM	Fark (%)		
1,189±0,010	9,413±0,007	9,499	0,91	0,583±0,005	1,937±0,016

Çizelge 7.3'den görüldüğü üzere, Cs-137 gama radyoizotop kaynağına ilişkin olarak WB₂ kompozit malzemenin XCOM bilgisayar programı kullanılarak teorik bağlamda hesaplanan kütle zayıflatma katsayısı ile deneysel sonuçlardan hareketle ulaşılan kütle zayıflatma katsayısının ileri derecede birbirine uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

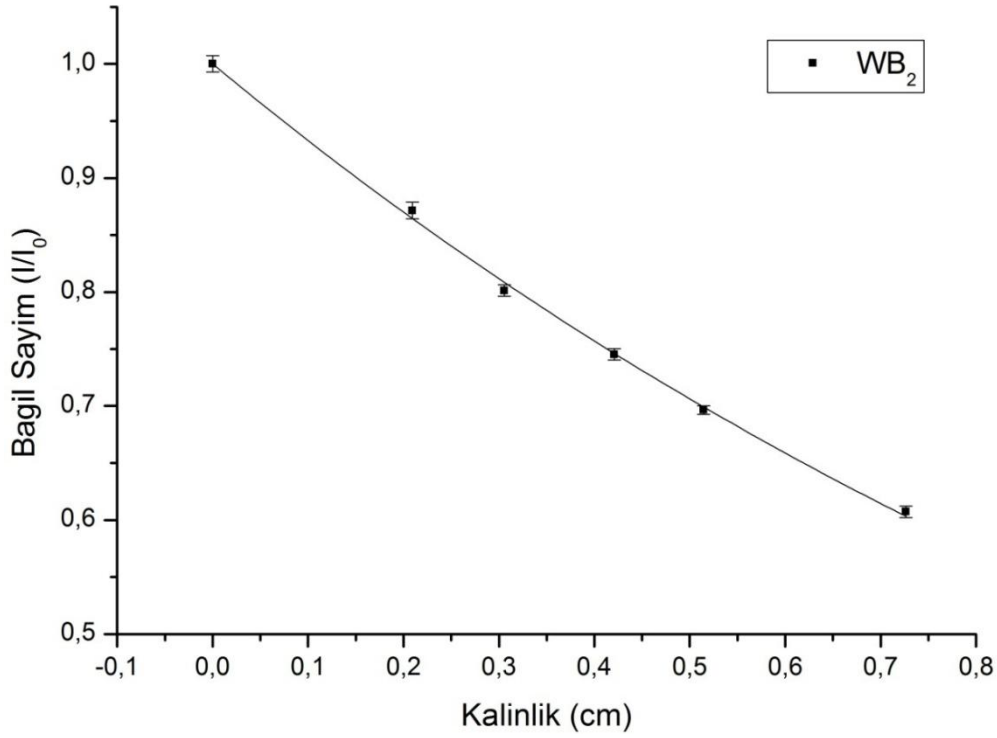
7.2.2 Co-60 gama radyoizotop kaynağı ile yapılan tungsten diborür kompozit malzeme için yapılan deneylerin sonuçları

Co-60 gama radyoizotop kaynağı kullanılarak tungsten diborür (WB₂) için gerçekleştirilen deneyler neticesinde elde edilen sonuçlar Ek A.23'de verilmiştir. Deneyler sonucunda hesaplanan farklı kalınlıklardaki bağıl sayım değerleri ise Çizelge 7.4'de verilmektedir.

Çizelge 7.4 : WB₂kompozit malzemenin Co-60 gama radyoizotop kaynağına ilişkin kalınlık-bağıl sayım değerleri.

Kalınlık (cm)	Bağıl Sayım (I/I ₀)
0,0000	1
0,2092	0,871
0,3055	0,801
0,4209	0,745
0,5147	0,696
0,7264	0,607

Çizelge 7.4'den hareketle WB₂ kompozit malzeme için Co-60 gama radyoizotop kaynağına ilişkin çizilen zayıflatma eğrisi Şekil 7.6'da verilmiştir.



Şekil 7.6 : WB₂ kompozit malzemenin Co-60 gama radyoizotop kaynağına ilişkin zayıflatma eğrisi.

Ayrıca, Co-60 gama radyoizotop kaynağına ilişkin WB₂ kompozit malzemenin XCOM bilgisayar programı kullanılarak kütle zayıflatma katsayısı teorik olarak bulunmuştur. Fazla olarak, WB₂ kompozit malzemenin deneysel sonuçlardan hareketle ulaşılan kütle zayıflatma katsayısı da hesaplanmıştır. Co-60 gama radyoizotop kaynağına ilişkin WB₂ kompozit malzemenin lineer zayıflatma katsayısı, teorik ve deneysel hesaplanan kütle zayıflatma katsayıları, YDK ve ODK değerleri Çizelge 7.5'te verilmektedir.

Çizelge 7.5 : WB₂ kompozit malzeme için Co-60 gama radyoizotop kaynağına ilişkin tayin edilen lineer zayıflatma katsayısı, kütle zayıflatma katsayıları, YDK ve ODK değerleri.

Lineer Zayıflatma Katsayısı (cm ⁻¹)	Kütle Zayıflatma Katsayısı (10 ⁻² cm ² /g)			YDK (cm)	ODK (cm)
	Deneysel	XCOM	Fark (%)		
0,696±0,007	5,510±0,055	5,544	0,61	0,996±0,010	3,308±0,033

Çizelge 7.5'den görüldüğü üzere, Co-60 gama radyoizotop kaynağına ilişkin olarak WB₂ kompozit malzemenin XCOM bilgisayar programı kullanılarak teorik

bağlamda hesaplanan kütle zayıflatma katsayısı ile deneysel sonuçlardan hareketle ulaşılan kütle zayıflatma katsayısının ileri derecede birbirine uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

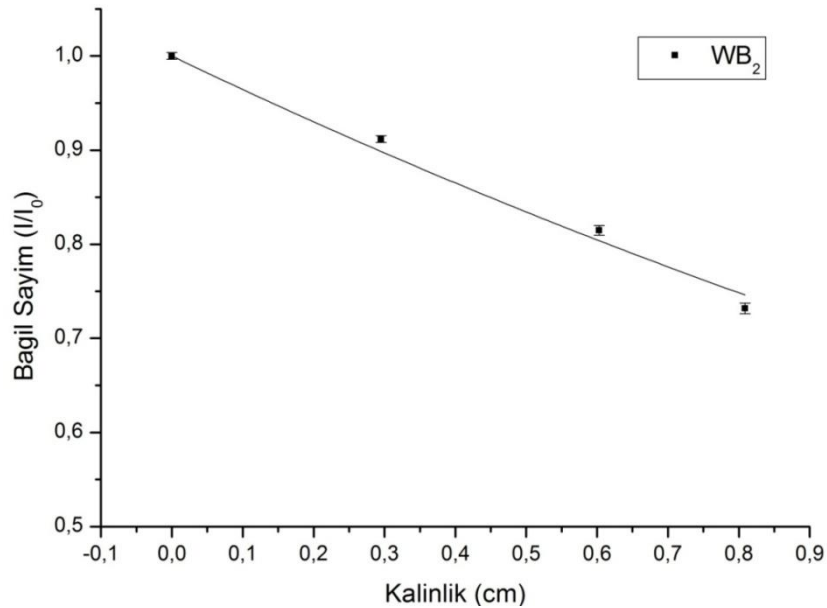
7.2.3 Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağı ile tungsten diborür kompozit malzeme için yapılan deneylerin sonuçları

Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağı kullanılarak tungsten diborür (WB_2) için gerçekleştirilen deneyler neticesinde elde edilen sonuçlar Ek A.24’de verilmiştir. Deneyler sonucunda hesaplanan farklı kalınlıklardaki bağıl sayım değerleri ise Çizelge 7.6’da verilmektedir

Çizelge 7.6 : WB_2 kompozit malzemenin Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağına ilişkin kalınlık-bağıl sayım değerleri.

Kalınlık (cm)	Bağıl Sayım (I/I_0)
0	1
0,295	0,9118
0,603	0,8147
0,8086	0,7317

Çizelge 7.6’dan hareketle WB_2 kompozit malzeme için Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağına ilişkin çizilen zayıflatma eğrisi Şekil 7.7’de verilmiştir.



Şekil 7.7: WB_2 kompozit malzemenin Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağına ilişkin zayıflatma eğrisi.

Ayrıca, Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağına ilişkin WB₂ kompozit malzemenin lineer zayıflatma katsayısı, YDK ve ODK değerleri hesaplanmış ve Çizelge 7.7’de verilmiştir.

Çizelge 7.7 : WB₂ kompozit malzeme için Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağına ilişkin tayin edilen lineer zayıflatma katsayısı, kütle zayıflatma katsayısı, YDK ve ODK değerleri.

Lineer Zayıflatma Katsayısı (cm ⁻¹)	YDK (cm)	ODK (cm)
0,362±0,158	1,915±0,084	6,361±0,278

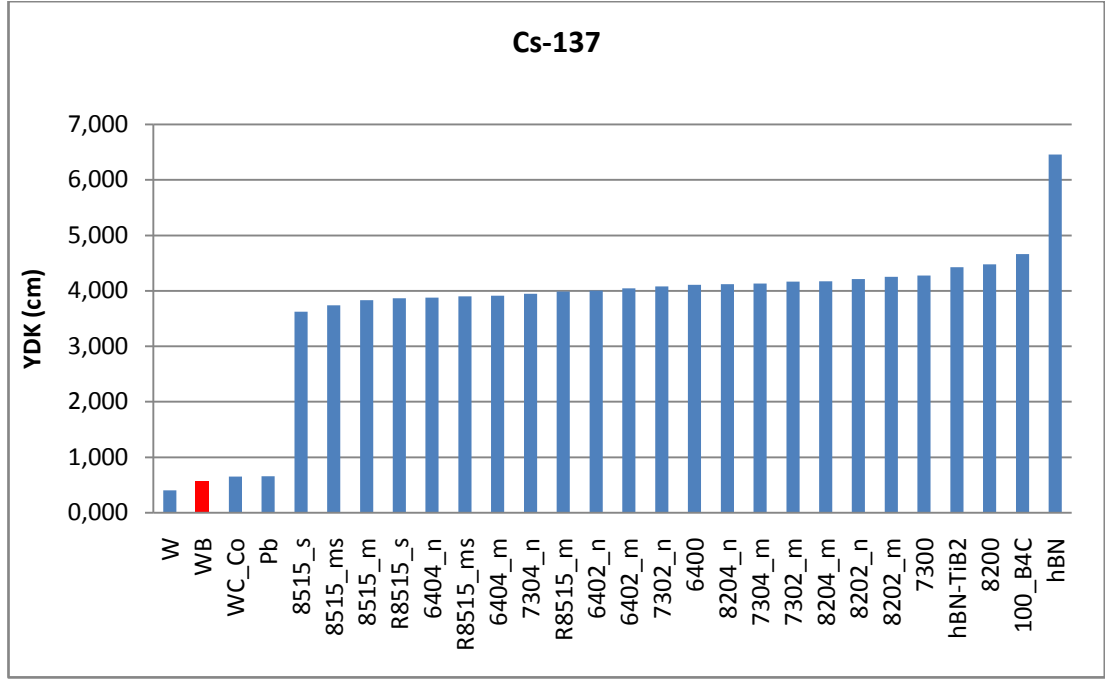
7.3 Önerilen WB₂ Kompozit Malzeme ile Diğer Çalışılan Malzemelerin Radyasyon Zırhlama Özelliklerinin Karşılaştırmalı Değerlendirilmesi

Bu doktora tezi ile yapılan araştırma ve çalışmalar sonucunda gama ve nötron radyasyonuna karşı tek bir yeni kompozit malzeme olarak kullanılabilceği önerilen tungsten diborür kompozit malzemenin, bu doktora tezi çerçevesinde çalışılan diğer tüm malzemelerle yapılan deneylerle elde edilmiş sonuçlarla karşılaştırılmasının yapılması benimsenmiştir. Böylelikle, yeni önerilen radyasyon zırh malzemesinin, gama ve nötron radyasyonuna karşı etkinliğinin irdelenmesi amaçlanmıştır.

Yarı-değer kalınlık değerinin (YDK), malzemelerin zırhlama özelliğini betimleyen önemli parametre olduğundan hareketle, yeni önerilen WB₂ kompozit malzemenin zırhlama etkinliğinin sınanması için YDK değerlerinin irdelenmesi yoluna gidilmiştir. Bu bağlamda, önerilen ve çalışılan tüm malzemelerin Cs-137 ve Co-60 gama radyoizotop kaynakları ile Pu-Be nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağına ilişkin YDK değerleri üzerinden karşılaştırmalı değerlendirilmesi aşağıdaki alt bölümlerde ayrı ayrı verilmektedir.

7.3.1. Önerilen WB₂ kompozit malzeme ile diğer çalışılan malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağına ilişkin olarak YDK değerlerinin karşılaştırmalı değerlendirilmesi

WB₂ kompozit malzemenin diğer çalışılan malzemeler ile Cs-137 gama radyoizotop kaynağına ilişkin YDK değerlerinin karşılaştırması Şekil 7.8’de verilmektedir.

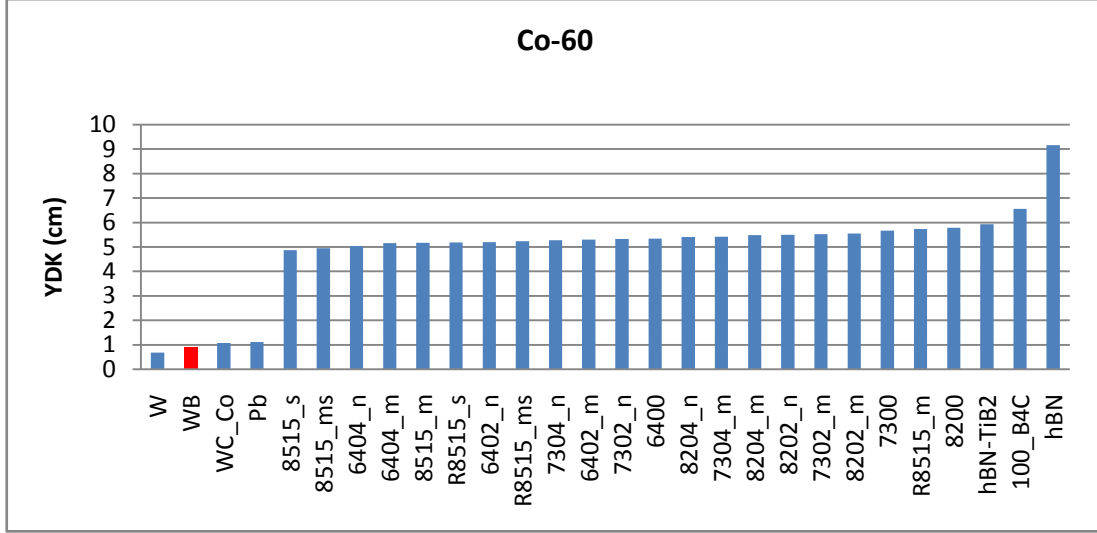


Şekil 7.8 : WB₂ kompozit malzemenin diğer çalışılan malzemeler ile Cs-137 gama radyoizotop kaynağına ilişkin YDK değerlerinin karşılaştırması.

Şekil 7.8 incelendiğinde, WB₂ kompozit malzemenin Cs-137 gama radyoizotop kaynağına ilişkin YDK değerinin (saf tungsten hariç) kurşun da dahil diğer malzemelerden daha düşük olduğu görülmektedir. Bir başka deyişle, WB₂ kompozit malzemenin, Cs-137 gama radyoizotop kaynağı için iyi ve uygun bir radyasyon zırh malzemesi olduğu söylenebilir.

7.3.2. Önerilen WB₂ kompozit malzeme ile diğer çalışılan malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağına ilişkin olarak YDK değerlerinin karşılaştırmalı değerlendirilmesi

WB₂ kompozit malzemenin diğer çalışılan malzemeler ile Co-60 gama radyoizotop kaynağına ilişkin YDK değerlerinin karşılaştırması Şekil 7.9'da verilmektedir.

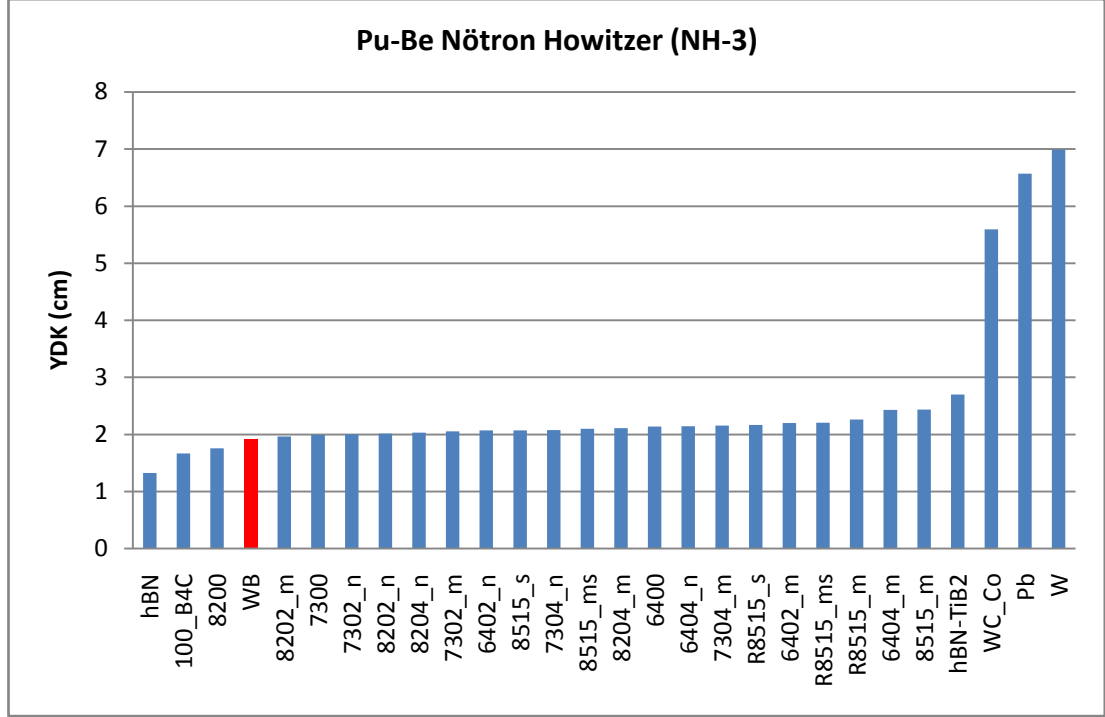


Şekil 7.9 : WB₂ kompozit malzemenin diğer çalışılan malzemeler ile Co-60 gama radyoizotop kaynağına ilişkin YDK değerlerinin karşılaştırması.

Şekil 7.9 incelendiğinde, WB₂ kompozit malzemenin Co-60 gama radyoizotop kaynağına ilişkin YDK değerinin (saf tungsten hariç) kurşun da dahil diğer malzemelerden daha düşük olduğu görülmektedir. Bir başka deyişle, Co-60 gama radyoizotop kaynağı için iyi ve uygun bir radyasyon zırh malzemesi olduğu söylenebilir.

7.3.3. Önerilen WB₂ kompozit malzeme ile diğer çalışılan malzemelerin Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağına ilişkin olarak YDK değerlerinin karşılaştırmalı değerlendirilmesi

WB₂ kompozit malzemenin diğer çalışılan malzemeler ile Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağına ilişkin YDK değerlerinin karşılaştırması Şekil 7.10'da verilmektedir.



Şekil 7.10 : WB₂ kompozit malzemenin diğer çalışılan malzemeler ile Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağına ilişkin YDK değerlerinin karşılaştırması.

Şekil 7.10'dan hareketle WB₂ kompozit malzemenin Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağı karşısındaki YDK değeri diğer malzemeler ile karşılaştırıldığında diğer bir çok malzemedan daha iyi nötron yutucu özelliğe sahip olduğu gözlenmektedir.

7.3.4. Önerilen WB₂ kompozit malzeme ile diğer çalışılan malzemelerin gama ve nötron zırhlamasına ilişkin olarak YDK değerlerinin karşılaştırmalı değerlendirilmesi

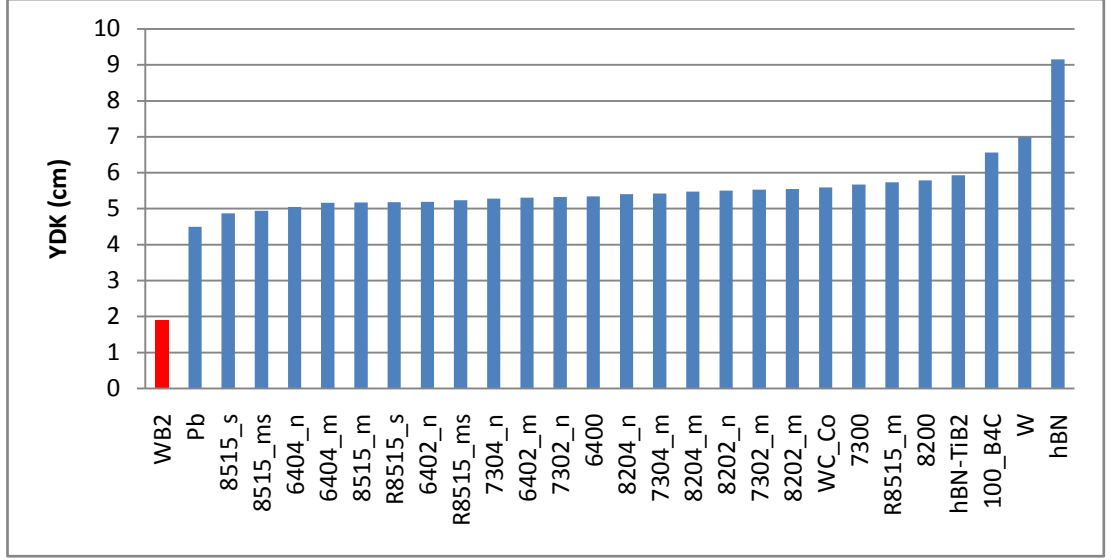
Bu doktora tezi ile yapılan çalışmalar sonucunda gama ve nötronlara karşı zırh malzemesi olarak kullanılabileceği önerilen WB₂ kompozit malzemenin gama kaynakları karşısındaki YDK değerlerinin diğer malzemeler ile karşılaştırıldığında irdemeleri çerçevesinde Şekil 7.8 ve Şekil 7.9'den hareketle WB₂ kompozit malzemenin saf Tungsten (W) malzemedan sonra en küçük YDK değerine sahip olduğu, buna karşın nötronlar karşısında da Şekil 7.10'dan gözleendiği üzere nötron yutucu malzemeler gibi davrandığı görülmektedir.

WB₂ kompozit malzemenin gama ve nötron zırhlamasına karşı davranışının diğer malzemeler için de gama ve nötron zırhlamasına ilişkin beraberce YDK

değerlendirmesi için Çizelge 7.8 oluşturulmuştur. Çizelge 7.8’de çalışılan her malzeme için en yüksek YDK değeri belirlenerek te düzenleme yapılmıştır. Zira, bir malzeme gama ve nötronların beraberce bulunduğu bir ortam için zırh malzemesi olarak kullanılacaksa, hangi radyasyon için daha yüksek YDK’ya sahipse o değer alınarak zırhlama amaçlı kullanılması radyasyon güvenliği açısından uygun olmaktadır. Bu düşünce bağlamında Çizelge 7.8’den hareketle Şekil 7.11 çizilmiştir.

Çizelge 7.8 : WB₂ kompozit malzemenin gama ve nötron zırhlamasına karşı davranışının diğer malzemeler için de gama ve nötron zırhlamasına ilişkin beraberce YDK değerlendirmesi.

Malzeme	YDK				
	Cs-137	Co-60	Pu-Be Nötron Howitzer	Cs-137 ve Co-60	Gama ve Nötron
100_B ₄ C	4,661	6,564	1,666	6,564	6,564
8200	4,478	5,786	1,756	5,786	5,786
7300	4,279	5,672	1,990	5,672	5,672
6400	4,106	5,344	2,140	5,344	5,344
8202_m	4,255	5,545	2,015	5,545	5,545
8202_n	4,211	5,501	1,959	5,501	5,501
8204_m	4,173	5,479	2,109	5,479	5,479
8204_n	4,121	5,407	2,031	5,407	5,407
7302_m	4,168	5,527	2,053	5,527	5,527
7302_n	4,077	5,324	2,003	5,324	5,324
7304_m	4,131	5,424	2,154	5,424	5,424
7304_n	3,947	5,279	2,078	5,279	5,279
6402_m	4,044	5,303	2,200	5,303	5,303
6402_n	4,007	5,192	2,070	5,192	5,192
6404_m	3,914	5,161	2,431	5,161	5,161
6404_n	3,879	5,045	2,145	5,045	5,045
8515_m	3,834	5,173	2,432	5,173	5,173
8515_ms	3,741	4,944	2,097	4,944	4,944
8515_s	3,623	4,868	2,071	4,868	4,868
R8515_m	3,988	5,733	2,262	5,733	5,733
R8515_ms	3,901	5,239	2,203	5,239	5,239
R8515_s	3,868	5,184	2,167	5,184	5,184
hBN	6,460	9,157	1,325	9,157	9,157
hBN-TiB ₂	4,429	5,929	2,697	5,929	5,929
W	0,407	0,676	6,988	0,676	6,988
WC_Co	0,652	1,070	5,594	1,070	5,594
Pb	0,660	1,109	4,501	1,109	4,501
WB ₂	0,583	0,996	1,915	0,996	1,915



Şekil 7.11: Çalışılan malzemelerin yüksek olan YDK'larına göre mukayesesi

Şekil 7.11'dan görüldüğü üzere gama ve nötron zırhlaması için (çalışılan malzemeler içinde) en uygun malzeme bu doktora tezinin özgünlüğü çerçevesinde önerilen WB_2 kompozit malzeme olmaktadır. Bir başka deyişle, WB_2 kompozit malzemenin gama ve nötron zırhlaması için kullanılabilmesinin uygunluğu ortaya çıkmaktadır.

8. SONUÇLAR

Bu Doktora Tez çalışmasında, farklı malzemelerin gama ve nötron radyasyonu karşısında davranışlarının incelenmesi ve irdelenmesine yönelik olarak esas itibariyle deneysel bir çalışma yapılması hedeflenmiştir. Farklı radyasyon tipleri bulunmasına karşın, radyasyon zırhlaması açısından malzemeye nüfuz edebilen iyonizan radyasyon daha büyük önem arz etmektedir. Bu bağlamda, öncelikle, malzemeye giriciliği (Bölüm 2.2.2.1.) fazla olan gama ışınlarıyla çalışılması benimsenmiştir. Buna karşın nötronların madde ile etkileşimi farklı olup (Bölüm 2.2.2.2) ayrıca değerlendirilmeleri gerekli görülmektedir. Dolayısı ile de bu doktora tez çalışmasında malzemelerin gama ve nötronradyasyonu karşısındaki davranışlarının incelenmesi, transmisyon tekniği kullanılarak radyasyon zırhlaması çerçevesinde irdelenmesi yapılmıştır.

Gama radyasyonu ile çalışma için nükleer teknolojide önemli iki gama radyoizotop kaynak olan Cs-137 ve Co-60 radyoizotop kaynaklarıyla çalışılmıştır. Böylelikle, nükleer uygulamalarda sıkça kullanılan monokromatik enerjili bir kaynak (Cs-137) ile enerji seviyesi yüksek ve iki pikli (Co-60) gama radyoizotop kaynakları ile deneyler gerçekleştirilmiştir.

Malzeme olarak tungsten, titanyum ve bor içeren malzemelerle çalışılması hedeflenmiştir. Zira, nükleer teknolojide zırhlama önemli bir konu olup, malzeme özellikleri ile yakından ilişkilidir. Son dönemlerde, gama zırhlamasına ilişkin günümüze kadar yaygın kullanılmış olan kurşunun toksisitesi ve yaratabileceği çevre sorunları ile ilişkili olarak kullanılmaması gündeme gelmiş bulunmaktadır. Nitekim, AB'nin direktifleri arasında yer alan ve bazı zararlı maddelerin kullanımının teknolojide kısıtlayan RoHS uygulamaları içerisinde kurşun da yer almakta olup, kurşun kullanımının terk edilmesine çalışılmaktadır. Bu çerçevede, bu doktora çalışmasında, gama radyasyon zırhlamasında kurşuna alternatif olabilecek tungsten ve titanyum malzemeler ile çalışılması benimsenmiştir. Öte yandan, nükleer reaktör teknolojisinde nötronlar da büyük önem taşımaktadır ve nötron zırhlaması da üzerinde durulması gereken bir konudur. Nötron yutuculuğu

açısından ise bor yadsınamaz öneme sahip bir malzemedir. Tüm bu hususlar göz önüne alınarak, bu doktora tez çalışmasında tungsten, titanyum ve bor içeren malzemelerle çalışılması yoluna gidilmiştir.

Ancak, bu malzemeleri bileşik halinde bulmak her zaman mümkün olmayabilmektedir. Bu bağlamda, tungsten, titanyum ve bor içeren malzemeler olarak, (son dönemlerde önemli gelişmeler kaydeden) kompozit teknolojisi ile üretilen kompozit malzemeler seçilmiştir. Bu doktora tezinde çalışılan ve Şekil 4.1’de toplu halde verilen malzemelerin her biri için gama ve nötron karşısındaki davranışları ayrı ayrı deneysel olarak incelenmiştir. Çalışılan kompozit malzemelerin bir çoğu için deneylerimiz ilk olma özelliğini taşımaktadır. Bu husus, bu doktora tezinin malzeme seçimi konusundaki özgünlüğünü oluşturmaktadır.

Ayrıca, aynı kompozit malzemenin, üretimi esnasında farklı ortalama parçacık boyutlarına sahip olacak şekilde oluşturulmuş olanları ile malzemenin radyasyon davranışına etkisi üzerinde de çalışılmıştır. Ortalama parçacık boyutu mertebesi olarak nano ve mikron altı boyutlar seçilmiş olup, nanoteknoloji açısından da irdeleme yapılması hedeflenmiştir. Bu husus ta, doktora tezinin özgünlüğü çerçevesindedir.

Cs-137 ve Co-60 gama radyoizotop kaynakları ile yapılan deneylerle,(Şekil 4.1’deki) çalışılan malzemelere ilişkin (Ek A.1 – Ek A.14 ve Çizelge 5.1 – Çizelge 5.22) elde edilen sonuçlardan hareketle çizilen zayıflatma eğrileri birbirine paralel sonuçlar vermiştir (Şekil 5.1- Şekil 5.22) . Bir başka deyişle, her ne kadar Cs-137 ve Co-60 farklı gama radyoizotop kaynaklarolsa da madde ile etkileşimleri (Bölüm 2.2.2.1’de anlatıldığı üzere) benzer olduğundan beklenti doğrultusunda aynı malzeme için genel değişimleri benzer olan sonuçları vermiştir. Ancak, Co-60 gama radyoizotop kaynak için elde edilen değerler, zayıflatma katsayıları açısından Cs-137 gama radyoizotop kaynak için daha düşük buna karşın daha YDK değerleri daha yüksek olmuştur. Bu sonuç beklenti doğrultusundadır. Zira, Co-60 gama radyoizotop kaynağın ortalama enerji seviyesi 1.25 MeV iken Cs-137 gama radyoizotop kaynağın enerjisi 0,662 MeV’dir. Dolayısı ile enerjisi yüksek olan gama radyoizotop kaynağa ilişkin olarak malzemelerin zayıflatma katsayıları daha düşük, ancak YDK’ları daha yüksek olmaktadır.

Öte yandan, Pu-Be nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağı ile yapılan deneylerle çalışılan malzemelere ilişkin (Ek A.15 – Ek A.21 ve Çizelge 5.23 – Çizelge 5.33) elde edilen sonuçlardan hareketle nötronlara karşı zayıflatma eğrileri (Şekil 5.23-Şekil 5.33) çizilmiştir. Cs-137, Co-60 ve Pu-Be nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağına ilişkin olarak çalışılan tüm malzemelerin yapılan deneylerinden hareketle lineer zayıflatma katsayısı, yarı-değer kalınlığı (YDK) ve onda-bir değer kalınlık (ODK) değerleri hesaplanmıştır.

Yapılan deneyler sonucunda, deneysel olarak gama ışınları karşısındaki davranışları incelenen tungsten, titanyum ve bor içeren bazı özel kompozit malzemeler için teorik bazda inceleme yapılmak üzere XCOM bilgisayar programı ile de hesaplamalar yapılmıştır. XCOM Bilgisayar programı kullanılarak hesaplanan kütle zayıflatma katsayıları ile deneysel çalışmalardan hareketle hesaplanan kütle zayıflatma katsayılarının birbirine uyumlu olduğu ve aradaki farkın çoğu kez % 7'nin, hemen daima %10'un altında kaldığı gözlenmiştir. Aradaki farkın imalattan kaynaklandığı söylenebilir. Zira, XCOM bilgisayar programı, malzemenin pür olduğunu ve mükemmel şekilde imal edildiğini kabul etmektedir. Çalışılan malzemelerin teorik deneysel kütle zayıflatma katsayılarının birbirine uyumluluğunun görülmesi, aynı zamanda deneylerimizin de güvenilirliğinin kanıtının bir göstergesidir.

Yarı-değer kalınlık değerinin (YDK), malzemelerin zırhlama özelliğini betimleyen önemli parametre olduğundan hareketle malzemelerin radyasyon zırhlama etkinliğinin değerlendirilmesi için esas itibarıyla YDK değerleri göz önüne alınmıştır. Yapılan çalışmalar neticesinde, çalışılan kompozit malzemeler ile ilgili elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

Bor karbür malzemelere silisyum karbür katkısının yapılması ve hacimce % SiC oranının artırılması Cs-137 ve Co-60 gama radyoizotop kaynakları karşısında malzemenin YDK değerlerini azaltmaktadır (Şekil 6.2, Şekil 6.8). Dolayısı ile bor karbür malzemelere silisyum karbür katkısının yapılması ve hacimce % SiC oranının artırılması gama radyasyon zırhlama kabiliyetini arttırmaktadır.

Bor karbür-silisyum karbür kompozit malzemelerde TiB₂ katkısının yapılması ve % TiB₂ oranının artırılması Cs-137 ve Co-60 gama radyoizotop kaynakları karşısında malzemenin YDK değerlerini azaltmaktadır (Şekil 6.3, Şekil 6.9).

Dolayısı ile bor karbür-silisyum karbür malzemelere titanyum diborür katkısının yapılması ve hacimce % TiB_2 oranının artırılması gama radyasyon zırlama kabiliyetini arttırmaktadır.

Titanyum diborür katkılı bor karbür-silisyum karbür kompozit malzemelerde ortalama TiB_2 parçacık boyutunun azaltılması Cs-137 ve Co-60 gama radyoizotop kaynakları karşısında malzemelerin YDK değerlerini azaltmaktadır (Şekil 6.4, Şekil 6.10). Dolayısı ile titanyum diborür katkılı bor karbür-silisyum karbür malzemelere ortalama TiB_2 parçacık boyutunun azaltılması gama radyasyon zırlama kabiliyetini de arttırmaktadır.

Bor karbür-titanyum diborür kompozit malzemelerde ortalama B_4C parçacık boyutunun azaltılması Cs-137 ve Co-60 gama radyoizotop kaynakları karşısında malzemelerin YDK değerlerini azaltmaktadır (Şekil 6.5, Şekil 6.11). Dolayısı ile bor karbür-titanyum diborür malzemelerde ortalama B_4C parçacık boyutunun azaltılması gama radyasyon zırlama kabiliyetini arttırmaktadır.

Hegzagonal bor nitür (hBN) malzemelere TiB_2 katkısının yapılması ve Cs-137 ve Co-60 gama radyoizotop kaynakları karşısında malzemenin YDK değerlerini azaltmaktadır (Şekil 6.6, Şekil 6.12). Dolayısı ile hegzagonal bor nitür malzemelere titanyum diborür katkısının yapılması gama radyasyon zırlama kabiliyetini arttırmaktadır.

Saf tungstenin, klasik gama zırh malzemesi olan saf kurşun ile karşılaştırılmasında Cs-137 ve Co-60 gama radyoizotop kaynakları karşısında tungsten malzemenin YDK değerlerinin daha düşük olduğu gözlenmiştir (Şekil 6.7, Şekil 6.12). Dolayısı ile saf tungstenin kurşuna göre zırlama kabiliyeti daha yüksek bulunmuştur. Endüstride uygulama bulan bir malzeme olan Tungsten karbür-kobalt (WC-Co) kompozit malzemesi için YDK değerleri incelendiğinde, kurşunun YDK değeri ile aynı mertebede olduğu görülmüş ve dolayısı ile kurşuna benzer zırlama kabiliyetinde olduğu belirlenmiştir.

Bor karbür malzemelere silisyum karbür katkısının yapılması ve hacimce % SiC oranının artırılması malzemelerin Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağına ilişkin YDK değerlerini arttırmaktadır (Şekil 6.14). Dolayısı ile bor karbür malzemelere silisyum karbür katkısının yapılması ve hacimce % SiC oranının artırılması nötron zırlama kabiliyetini azaltmaktadır.

Bor karbür-silisyum karbür kompozit malzemelerde TiB_2 katkısının yapılması ve % TiB_2 oranının artırılması malzemelerin Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağına ilişkin YDK değerlerini arttırmaktadır (Şekil 6.15). Dolayısı ile bor karbür-silisyum karbür malzemelere titanyum diborür katkısının yapılması ve hacimce % TiB_2 oranının artırılması nötron zırhlama kabiliyetini azaltmaktadır.

Titanyum diborür katkılı bor karbür-silisyum karbür kompozit malzemelerde ortalama TiB_2 parçacık boyutunun azaltılması malzemelerin Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağına ilişkin YDK değerlerini azaltmaktadır (Şekil 6.16). Dolayısı ile titanyum diborür katkılı bor karbür-silisyum karbür malzemelere ortalama TiB_2 parçacık boyutunun azaltılması nötron radyasyon zırhlama kabiliyetini arttırmaktadır.

Yapılan gama ve nötron deneyleri sonucunda gözlenmiştir ki; hem gama radyasyonu için ve hem de nötronlar için titanyum diborür katkılı bor karbür-silisyum karbür kompozit malzemelerde ortalama TiB_2 parçacık boyutunun azaltılması, YDK değerlerini azaltmakta (Şekil 6.16), bir başka deyişle zırhlama kabiliyetini arttırmaktadır. Bu husus, nanoteknolojinin önemini vurgulamaktadır.

Hegzagonal bor nitrür (hBN) malzemelere TiB_2 katkısının yapılması ve Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağı karşısında malzemenin YDK değerlerini arttırmaktadır (Şekil 6.18). Dolayısı ile hegzagonal bor nitrür malzemelere titanyum diborür katkısının yapılmasının nötron zırhlama kabiliyetini azaltmaktadır.

Bor karbür-titanyum diborür kompozit malzemelerde ortalama B_4C parçacık boyutunun azaltılması Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağına karşısında malzemelerin YDK değerlerini azaltmaktadır (Şekil 6.17). Dolayısı ile bor karbür-titanyum diborür malzemelerde ortalama B_4C parçacık boyutunun azaltılması nötron zırhlama kabiliyetini arttırmaktadır.

Saf tungsten, klasik zırh malzemesi olan saf kurşun ile karşılaştırıldığında Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağı karşısında tungsten malzemenin YDK değerlerinin daha yüksek olduğu gözlenmiştir (Şekil 6.19). Dolayısı ile saf tungsten, kurşuna göre nötron zırhlama kabiliyeti daha düşük bulunmuştur. Endüstride uygulama bulan bir malzeme olan Tungsten karbür-kobalt (WC-Co) için nötronlara karşı YDK değerleri incelendiğinde kurşunun YDK değerine göre

daha yüksek mertebede olduğu görülmüş ve dolayısı ile kurşundan daha düşük nötron zırhlama kabiliyetinde olduğu belirlenmiştir.

Bu doktora tezi çerçevesinde hem gama radyasyonu ve hem de nötronlar karşısında iyi bir zırh malzemesi olabilecek bir malzemenin belirlenerek önerilmesi bu doktora tezinin özgünlüğü çerçevesinde hedeflenmiştir. Bu bağlamda, çalışılan malzemelere ilişkin deneylerden hareketle Cs-137, Co-60 gama radyoizotop kaynakları ve Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağı için tayin edilen YDK değerleri topluca incelenmiştir (Şekil 7.1 – Şekil 7.3). Bu inceleme sonucunda tungsten diborürün hem gama radyasyonu ve hem de nötronlar karşısında uygun bir radyasyon zırh malzemesi olabileceği düşünülerek ilgili bir dizi deney gerçekleştirilmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda, Cs-137 ve Co-60 gama radyoizotop kaynakları ile Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağı için, gama ve nötronlara karşı zırh malzemesi olarak kullanılabileceği önerilen WB₂ kompozit malzemenin gama kaynakları ve nötron kaynağı karşısındaki YDK değerleri tayin edilmiştir (Çizelge 7.3, Çizelge 7.5 ve Çizelge 7.7). WB₂ kompozit malzeme için ulaşılan YDK değerlerinin diğer malzemelere ilişkin YDK değerleri ile karşılaştırıldığında (Şekil 7.7 - Şekil 7.9) WB₂ kompozit malzemenin hem gama ve hemde nötron zırhlaması için uygun bir radyasyon zırh malzemesi olduğu gösterilmiştir. Nitekim, söz konusu malzemenin; gama ve nötronların beraberce bulunduğu bir ortam için zırh malzemesi olarak kullanılmasında, radyasyon güvenliği açısından göz önüne alınması gereken YDK değerine bakıldığında (Çizelge 7.8 ve Şekil 7.10), WB₂ kompozit malzemenin çalışılan malzemeler içinde en uygun radyasyon zırh malzemesi olduğu görülmüştür.

Tüm bu sonuçlardan sonra, tungsten, titanyum ve bor içeren malzemelerin gama ve nötron zırhlaması değerlendirmesi için Cs-137, Co-60 gama radyoizotop kaynakları ve Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağı ile yapılan deneyler sonucunda ulaşılan YDK değerleri çerçevesinde gama ve nötron radyasyonu karşısındaki davranışları detayı ile birlikte incelenmiş ve irdelenmiştir. Ayrıca, yapılan bu çalışmalar ışığında, gama ve nötron radyasyonunun beraberce bulunduğu ortamlar için etkin bir radyasyon zırh malzemesi olarak Tungsten diborür önerilebilmiştir.

Öz olarak, belirtmek istenirse, bu doktora tezi ile, tungsten, titanyum ve bor içeren malzemelerin gama ve nötron radyasyonu karşısındaki davranışları (açık literatürdeki) özgünlük çerçevesinde incelenmiş, zayıflatma katsayıları, YDK, ODK değerleri tayin edilmiş ve mukayeseli olarak değerlendirilmiştir. Kütle zayıflatma katsayıları, XCOM bilgisayar programı ile hesaplanmış ve deneysel sonuçlarla uyumluluğu ortaya konmuştur. Yine bu doktora tezinin özgünlüğü çerçevesinde önerilen tungsten borürün etkin bir radyasyon zırh malzemesi olarak uygunluğu gösterilmiştir. Böylelikle, farklı yönlerden özgün ve uygulamada sadece nükleer teknolojide değil, nano teknoloji, uzay teknolojisi vb. gibi ileri teknolojilerde de kullanılabilir bir çalışma gerçekleştirilmeye çalışılmıştır.

KAYNAKLAR

- Abrefah R.G., Sogbadji R.B.M, Ampomah-Amoako E., Birikorang S.A., Odoi H.C., Nyarko B.J.B.**(2010). Design of boron carbide-shielded irradiation channel of the outer irradiation channel of the Ghana Research Reactor-1 using MCNP, *Applied Radiation and Isotopes*, 69 (2011) 85–89.
- Akarsu A.C.**(2009). *Titanyum diborür katkılı sıcak preslenmiş bor karbür-silisyum karbür kompozitlerinin özelliklerinin incelenmesi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Akarsu A.C., Gökçe H., Boyraz T., Ertuğ B., Addemir A.O., Öveçoğlu M.L.**(2010a.) 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*. Nevşehir.
- Akarsu A.C., Gökçe H., Boyraz T., Ertuğ B., Addemir A.O., Öveçoğlu M.L.**(2010b). The Characterization of The Mechanical And Thermal Properties Of Hot-Pressed Hexagonal Boron Nitride-Titanium Diboride Composites". *3rd International Symposium on SiAlONs and Non-Oxides*.
- Aktop S.**(2010). *Mikron altı bor karbür katkısının ve reaksiyon sinterlemenin bor karbür-titanyum diborür kompozitlerine etkilerinin incelenmesi*. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Alam M.N., Miah M.M.H., Chowdhury M.I., Kamal M., Ghose S., Rahman R.**(2001). Attenuation coefficients of soils and some building materials of Bangladesh in the energy range 276-1332 keV, *Applied Radiation and Isotopes*, 54, 973-976.
- Albarhoum M., Soufan A.H., Mustafa H.**, (2012). Experimental determination of the shielding characteristics of the dwelling houses' bulding materials against neutrons in the Central Region of Syria. *Annals of Nuclear Energy*, 47, pp134-139.
- Alexander M. N.**,(1986). Nuclear Magnetic Resonance Studies of the Structure of Boron Carbides, in Boron Rich Solids, *Am. Inst of Physics Conf. Proc.*, 140, New York.
- Anal A., Bandyopadhyay T. K., Karabi D.**,(2006). Synthesis and Characterization of TiB₂ Reinforced Iron Based Composites, *Journal of Materials Processing Technology*, 172, s70-76.

- Aran A., Temel M.A.,**(2003). Paslanmaz Çelikler Üretimi Kullanımı Standartları. *Sarıtaş Teknik Yayıncılık*.
- Ay N., Tore I.,** (2007). Pressureless Sintering of Hexagonal Boron Nitride Powders. *Materials Science Forum*, Vol 554, pp207.
- Aybers N., Bayülken A.,** (1992). *Nükleer Reaktörlerin Güvenliği*. İTÜ Rektörlüğü (Sayı:1475). İstanbul.
- Aybers N., Karasulu M.,** (1980). *Nükleer Enerjiye Giriş*. İTÜ Nükleer Enerji Enstitüsü Genel Yayınlar (No:15). İstanbul.
- Berger M.J., Hubbell J.H., Seltzer S.M., Chang J., Coursey J.S., Sukumar R., Zucker D.S., Olsen K.**(t.y).“XCOM: photon crosssection database. <http://www.nist.gov/pml/data/xcom/index.cfm>,”A.B.D. Alındığı Tarih (12.04.2013)
- Bilge A.N., Tuğrul A.B.**(1990). “*Endüstriyel Radyografinin Esasları*” İTÜ Rektörlük Ofset Atölyesi, İstanbul
- Büyük B., Tuğrul A.B.**(2009). “Gama Transmisyon Tekniği ile Cs-137 Gama Radyoizotop Kaynağı Kullanılarak Farklı Metaller İçin Kalınlık Tayini” X. Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi, Cilt 1, 49-58
- Büyük B., Tuğrul A.B., Akarsu A.C., Addemir A.O.,**(2012a). Investigation of Behaviour of Titanium Diboride Reinforced Boron Carbide-Silicon Carbide Composites Against Cs-137 Gamma Radioisotop Source By Using Gamma Transmission Technique, *Acta Physica Polonica A*, Vol.121, pp 135-137(2012).
- Büyük B., Tuğrul A.B., Akarsu A.C., Addemir A.O.,**(2012b). Investigation on the Effects of Titanium Diboride Particle Size on Radiation Shielding Properties of Titanium Diboride Reinforced Boron Carbide-Silicon Carbide Composites Against Cs-137 Gamma Radioisotop Source By Using Gamma Transmission Technique, *Journal of Nano-and Electronic Physics*, Vol 4, No1, 01010, pp4 (2012).
- Büyük B., Tuğrul A.B., Aktop S., Addemir A.O.** (2013). Investigation on the Effects of Boron Carbide Particle Size on Radiation Shielding Properties of Boron Carbide_Titanium Diboride Composites. *Acta Physica Polonica A*, Vol.123, pp177-179.
- Cai K., Nan C.W.,**(2000). The Influence of W2B5 addition on microstructure and Thermoelectric properties of B4C ceramic. *Ceramics International*, Vol. 26, Issue 5, pp 523–527
- Calzada E., Grünauer F., Schillinger B., Türck H.**(2011). Reusable shielding material for neutron- and gamma-radiation. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 651, pp77-80.
- Cameron J.F., Clayton C.G.,**(1971). *Radioisotope Instruments*. Vol. 1 Pergamon Pres, Oxford
- Cho N.**(2006). *Processing of Boron Carbide*, Doktora Tezi, s5-6-7-9, Georgia Institute of Technology.

- Choo V.K.S.**(1990). *Fundamentals of Composite Materials*. Knowen Academic Press Inc. Delaware, ABD.
- Coeck M., Vermeersch F., Vanhavere F.**(2002). Neutron shielding evaluation for a small fuel transport case. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 476, pp273-276.
- Croft S.**(2006). Observations on the experimental determination of mass attenuation coefficients. *Annals of Nuclear Energy*, 33 (2006) 466–471
- Çelik O.N., Ay N., Göncü Y.**(2013). The Effect of nano-hexagonal boron nitride lubricant additives on the friction and wear properties of AISI 4140 steel. *Particulate Science and Technology: An international journal*, DOI:10.1080/02726351.2013.779336.
- Da Silva A.X., Crispim V.R.**(2001). Study of a neutron radiography system Using 252Cf neutron source. *Radiation Physics and Chemistry*, Vol 61, pp515–517
- Daniels D.J., Hall A.M.**(1955). *Reactor Handbook Materials: General Properties*, US Atomic Energy Commission
- Das A., Ferbel T.**(2003). *Introduction to Nuclear and Particle Physics*. World Scientific Publishing, 2nd Ed, ISBN 981-238-744-7, Singapur.
- Demir D., Keleş G.**(2006). Radiation Transmission of Concrete Including Boron Waste for 59.54 and 80.99 keV Gamma Rays. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 245, pp501-504.
- Demir F.**(2010). Determination of mass attenuation coefficients of some boron ores at 59.54 keV by using scintillation detector. *Applied Radiation and Isotopes*, 68 (2010) 175–179
- Demir M.**(2008). *Nükleer Tıp Fiziği ve Klinik Uygulamaları*, İ.Ü. Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Nükleer Tıp Anabilim Dalı.
- Ditroi F., Takacs S., Tarkanyi F., Baba M., Corniani E., Shubin Yu. N.**(2009). Study of proton induced reactions on niobium targets up to 70 MeV. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 266(2008)5087-5100
- Durmaz H.**(2002). *Radyasyon Zırhlaması Amacıyla Karbonlu Yapı Çeliklerinin Değerlendirilmesi*, (Yüksek Lisans Tezi), İTÜ Enerji Enstitüsü, İstanbul
- Dzhosyuk S.N., Mattoni C.E.H., McKinsey D.N., Thompson A.K., Yang L., Doyle J.M., Huffman P.R.**(2004). Neutron-induced luminescence and activation in neutron shielding and scintillation detection materials at cryogenic temperatures. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 217, pp 457–470
- Eichler J., Lesniak C.**(2008). Boron nitride (BN) and BN composites for high-temperature applications. *Journal of the European Ceramic Society*, 28, pp1105–1109.
- El-Kateb A.H., R.A.M. Rizk, A.M. Abdul-Kader.**(2002). Determination of aluminium concentration in copper–aluminium alloys using γ -ray

transmission techniques. *Annals of Nuclear Energy*, 29 (2002) 991–1002

Ertug B., Boyraz T., Addemir A. O.(2007a). Microstructural Aspects of the Hot-Pressed Hexagonal Boron Nitride Ceramics with Limited Content of Boron Oxide. *Materials Science Forum*, Vol 554, pp189.

Ertug B., Boyraz T., Addemir A. O.(2007b). An Investigation of the Mechanical Properties and Fracture Characteristic of Hot-Pressed Boron Nitride Ceramics. *Materials Science Forum*, Vol 554, pp197.

Ertuğ B., (2013). *Sintering Applications*, Intech Pub., ISBN 978-953-51-0974-7, pp33-55.

Ertürk S., Boztosun İ.(t.y).Nükleer Fizik Araştırmalarında Kullanılan Hızlandırıcılar ve Uygulama Alanları,

Eşme İ.(1993). *Fiziksel Ölçmeler ve Değerlendirilmesi*, Marmara Üniversitesi Yayın No:539, İstanbul.

Etherington H.(1955). *Nuclear Engineering Handbook*.

Farr M.H., (1966). *An Investigation to Determine The Feasibility of Film Bagde as Dosimeters to Detect and Measure Exposure to Low Level neutron Radiation From The Source Used in The Drake University Nuclear Physics Laboratory*. Yüksek Lisans Tezi, Drake University, ABD.

Földiak G.(1986). *Industrial Application of Radioisotopes*. Elsevier, Amsterdam

Gardner R.P., Ely R.L.,(1967). *Radioisotopes Measurement Applications in Engineering*. Reinhold Publishing Company, New York

Gordus A.A.(1967). Quantitative Non-destructive Neutron Activation Analysis of Silver in Coins. *Archaeometry*, 10(1), pp78-86.

Göksel A.S.(1973). *Radyasyonların Biyolojik Etkileri ve Radyasyon Korunması*.

Halmshaw R.(1991). *Non-Destructive Testing*. E. Arnold, London

Halmshaw R.,(1995). *Industrial Radiology: Theory and Practice* London:Chapman&Hall

Han I., Demir L.(2009). Determination of mass attenuation coefficients, effective atomic and electron numbers for Cr, Fe and Ni alloys at different energies” *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 267(2009)3–8

Han I., Demir L., Sahin M.(2009). Determination of mass attenuation coefficients, effective atomic and electron numbers for some natural minerals *Radiation Physics and Chemistry* 78 (2009) 760–764

Hanafin J.W., Grant W., Bobek L., Regan T.(2011). Boron Fiber Neutron Shielding Properties.

Harrison R.K., Landsberger S.(2009). Determination of boron over a large dynamic range by prompt-gamma activation analysis. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 267(2009)513-518

Jones R.H., Giancarli L., Hasegawa A., Katoh Y., Kohyama A., Riccardi B., Snead L.L., Weber W.J.(2002). Promise and challenges of SiCf/SiC

composites for fusion energy applications. *Journal of Nuclear Materials*, 307-311(2002) 1057-1072.

Keshavamurthy R.S., Subramanian D.V., Prasad R.R., Haridas A., Mohanakrishnan P., Chetal S.C., (2011). Experimental Measurements of Neutron Attenuation in the Advanced Shield Material Ferro Boron in KAMINI Reactor. *Energy Procedia*, 7, pp273-278.

Kharita M.H., Alnassar M., Yousef S.,(2010). Review on the addition of boron compounds to radiation shielding concrete. *Progress in Nuclear Energy*, 1-5

Kharita M.H., Takeyeddin M., Alnassar M., Yousef S.(2008). Development of special radiation shielding concretes using natural local materials and evaluation of their shielding characteristics. *Progress in Nuclear Energy*, 50, 33-36

Kharita M.H., Yousef S., Alnassar M.(2011). Review on the addition of boron compounds to radiation shielding concrete. *Progress in Nuclear Energy*, 53, pp207-211.

Kima J.H., Hwang I.S., (2008). Electroless nickel-plating for the PWSCC mitigation of nickel-base alloys in nuclear power plants. *Nuclear Engineering and Design* 238(2008) 2529-2535

Knoll G.F.,(2002). *Radiation Detection and Measurement*. University of Michigan

Kobayashi S., Hosoda N., Takashima R.,(1997). Tungsten alloys as radiation protection materials, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 390(1997), 426-430

Koh Y., Lee S., Kim H.(2001). Oxidation Behaviour of Titanium Boride at Elevated Temperatures, *Journal of American Ceramic Society*, 84, s239-241.

Kulpa A., Troczynski T.(1995). Oxidation of Titanium Diboride Powders, *Journal of American Ceramic Society*, 79, s518-520.

L'Annunziata M.F.(2000) "Handbook of Radioactivity Analysis" 2nd Ed

L'Annunziata M.F.(2003). *Handbook of Radioactivity Analysis*. Elsevier Science, 2nd Ed, ABD.

Lassner E., Schubert W.D.(1999). *Tungsten: Properties, Chemistry, Technology of the Elements Alloys and Chemical Compounds*. Plenum Publishers, ISBN 0-306-45053-4, New York.

Lawrie J.J., Mostert F.J., König P.J., Werneyer K.D.(2010). The Use of the Gamma-Ray Absorption Technique as a Quality Control Procedure in the Manufacture of Powder Metal Shaped Charge Liners. *Journal of Applied Mechanics*, Vol.77, 051701-1

Leo W.R.(1987). *Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments*. Springer-Verlag Pub., ISBN 3-540-17386-2, Berlin.

Lieser K.H.(1997). *Nuclear and Radiochemistry: Fundamentals and Applications*. Wiley Co., ISBN 3-527-29453-8, Cambridge.

- Madtha S., Lee C., Chandran K.S.R.**(2008). Physical and Mechanical Properties of Nanostructured Titanium Boride(TiB) Ceramic. Journal of American Ceramic Society, 91(4), 1319-1321
- Medhat M.E.** (2009). Gamma-ray attenuation coefficients of some building materials available in Egypt” Annals of Nuclear Energy 36 (2009) 849–852
- Mix P.E.**,(1987). Introduction to NonDestructive Testing. John Wiley, New York
- Mollica S., Soad D. K., Evans P. J.**(2004). Effect of Aluminium Ion Implantation on the Oxidation Resistance of DC Magnetron Sputterdeposited TiB₂ Thin Films, Surface and Coating Technology, 177-178, s185-197.
- Montgomery L. C.**,(1992). Process for Producing Titanium Diboride and Boron Nitride Powders, U. S. Patent No: 5100845.
- Mortazavi S.M.J., Mosleh-Shirazi M.A., Roshan-Shomal P., Raadpey N., Baradaran-Ghahfarokhi M.**, (2010). High-performance Heavy Concrete as a Multi-Purpose Shield. Radiation Protection Dosimetry, 142, No: 2-4, pp120-124.
- Nelson G., Reilly D.**, Gamma-ray interactions with matter. <<http://www.fas.org/sgp/othergov/doe/lanl/lib-www/la-pubs/00326397.pdf>>, (Alındığı Tarih, 24.03.2013).
- Nuclear -Chicago Corp.**, (1960). Analytical Chemistry, 32 (10),pp107A.
- Nunomiya T., Yonai S., Takada M., Fukumura A., Nakamura T.**(2003) Shielding experiment of Heavy-ion produced neutrons using a tissue-equivalent proportional Counter. Radiation Protection Dosimetry, Vol:106, No3, pp 207-218
- Oray O.**(2007). Nükleer Enerji ve Çevre. Bitirme Ödevi İTÜ Kimya Metalurji Fakültesi
- Parke R.M.**(1955) Reactor Handbook Materials: General Properties. US Atomic Energy Commision
- Patel M., Subrahmanyam J., Prasad V.V.B., Goyal R.**(2010). “Processing and characterization of B₄C-SiC-Si-TiB₂ composites. Materials Science and Engineering A, 527 (2010) 4109-4112.
- Pelliccioni M., Zanini A.**(1986) . Neutron Attenuation Curves in ordinary Concrete using various radiation protection quantities. Radiation Protection Dosimetry, Vol:18, No1, pp 43-46
- Pierson H. O.**(1996). Handbook of Refractory Carbides and Nitrides. Noyes Publications, NJ, ABD.
- Powsner R.A., Powsner E.R.**(2006). Essential Nuclear Medicine Physics. Blackwell Publishing, 2nd Ed, ISBN 1-4051-0484-8, Massachusetts.
- Radiguet B., Pareige P., Barbu A.**(2009). Irradiation induced clustering in low copper or copper free ferritic model alloys. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 267(2009)1496-1499
- Ragheb M.**, (2006). Attenuation of gamma radiation.<<http://mragheb.com/NPRE%20441%20Principles%20of%2>

[ORadiation%20Protection/Attenuation%20of%20Gamma%20Radiation.pdf](#)>(Alındığı Tarih, 24.03.2013).

- Rao J., Cruz R., Lawson K. J., Nicholls J. R.,** (2004). Carbon and Titanium Diboride Multilayer Coatings, *Diamond and Related Materials*, 13, s2221-2225.
- Richerson D.W.**(1992). Modern Ceramic Engineering: Properties, Processing and Use in Design, 2nd Ed.
- Roquiny P., Mathot G., Terwagne G., Bodart F., Van den Brand P.,**(2000). Nucleation study of titanium nitride onto steel using $^{15}\text{N}(p,\alpha)^{12}\text{C}$ resonant nuclear reaction. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 161±163(2000)600±604
- Saito T., Fukuda T., Maeda H., Kusakabe K., Morooka S.,**(1997). Synthesis of Ultrafine Titanium Diboride Particles by Rapid Carbothermal Reduction in Particulate Transport Reactor, *Journal of Materials Science*, 32, s3933-3938.
- Sakurai Y., Sasaki A., Kobayashi T.,** (2004). Development of neutron shielding material using metathesis-polymer matrix. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 522, pp455-461.
- Seiler N., Bertrand F., Marchand O., Repetto G., Ederli S.,** (2008) Investigations on boron carbide oxidation for nuclear reactors safety- General modelling for ICARE/CATHERE code applications. *Nuclear Engineering and Design* 238(2008) 820-836
- Sepin O. A.,**(2004). Bor Karbür – Titanyum Diborür Kompozitlerinin Sıcak Presleme ile Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, İstanbul
- Shultis J. K., Faw R.E.,**(2000). Radiation Shielding.
- Singh N., Kanwar Jit Singh, Kulwant Singh, Harvinder Singh.**(2004) Comparative study of lead borate and bismuth lead borate glass systems as gamma-radiation shielding materials. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 225 (2004) 305–309
- Skorokhod V. Jr., Vlajic M. D., Krstic V. D.,** (1996). Mechanical Properties of Pressureless Sintered Boron Carbide Containing TiB₂ Phase, *J. Mater. Sci. Lett.*, 15, 1337-1139.
- Smith W.F.,** (1996). “Materials science and engineering”. Mcgraw-Hill, ABD.
- Spohn M. T.,**(1994). Boron Carbide, *Minerals Review*.
- Şahin L.,** Parçacıklar ve Radyasyonun madde ile etkileşmesi.
<thm.ankara.edu.tr/tac/YAZOKULU/yazokulu4/dersnotlari/Latife_sahin.doc>Alındığı tarih, 28.03.2013.
- Şahin N.,** (2006). Kompozit Malzemelere Giriş.Seçkin Yayıncılık, ISBN 975 02 0328 3, Ankara
- Taylor N.P., Cook I., Forrest R.A., Forty C.B.A., Han W.E., Ward D.J.,**(2001). 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

- Thevenot F.**,(1990). Boron Carbide – A Comprehensive Review, Journal of European Ceramic Society, 6, 205-225.
- Tjong S. C., Tam K. F.**,(2006). Mechanical and Thermal Expansion Behaviour of HIPped Aluminum – TiB₂ Composites, Material Chemistry and Physics, 97, s91-97.
- Tuğrul A.B.**(1986). Arkeometride Nükleer Tekniklerin Kullanımı, TÜBİTAK Arkeometri Ünitesi, VI. Ulusal Arkeometri Kolokyumu, TÜBİTAK Yayınları 622, 12-29
- Tuğrul A.B.**, (1998). Tahribatsız Muayene Metotları Ders Notları. İTÜ Nükleer Enerji Enstitüsü.
- Tuğrul A.B.**, (2006). Enerji Ekonomisi ve Politikaları Ders Notları) İ.T.Ü. Enerji Enstitüsü
- Turan E.**,(2004). Bor Karbür – Silisyum Karbür Kompozitlerinin Sıcak Presleme ile Elde Edilmesi, Yüksek Lisans Tezi, _TÜ.
- Url-1** (Alındığı Tarih, 20.04.2013)
- Url-10** <<http://www.americanelements.com/wbo.html>>, (Alındığı Tarih,20.04.2013)
- Url-11** <<http://www.espimetals.com/index.php/msds/817-tungsten-boride>>, (Alındığı Tarih,20.04.2013)
- Url-2** <http://en.wikipedia.org/wiki/Boron_nitride>, (Alındığı Tarih, 28.03.2013).
- Url-3** <http://en.wikipedia.org/wiki/Tungsten_carbide>, (Alındığı Tarih, 22.03.2013).
- Url-4** <<http://en.wikipedia.org/wiki/Tungsten>>, (Alındığı Tarih, 22.03.2013).
- Url-5** <www.polimaster.com>, (Alındığı Tarih, 21.03.2013).
- Url-6** <<http://www.china-raremetal.com/elements/w.html>>, (Alındığı Tarih, 20.03.2013).
- Url-7** <<http://www.originlab.com/index.aspx?go=Products/Origin&PID=1703>> (Alındığı Tarih, 20.04.2013).
- Url-8** <<http://physics.nist.gov/cgi-bin/Xcom/xcom2>>, (Alındığı Tarih, 20.04.2013).
- Url-9** <http://www.china-raremetal.com/Sputtering_Target_compound.htm> (Alındığı Tarih, 20.04.2013).
- Van Do N., Khue P.D., Van Loat B., Rahman Md. S., Soo K.**, (2009). Thermal neutron cross-section and resonance integral of the ⁹⁸Mo(n,c)⁹⁹Mo reaction.*Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 267(2009)462-468
- Viaud C., Maillard S., Carlot G., Valot C., Gilabert E., Sauvage T., Peaucelle C., Moncoffre N.**,(2009). Behaviour of helium after implantation in Molibdenum.*Journal of Nuclear Materials* 385 (2009) 294-298
- Was S.G.**, (2007). Fundamentals of Radiation Materials Science-Metals and Alloys. Springer, ISBN 978-3-540-49471-3.
- Weimer A. W.**,(1997). Carbide, Nitride and Boride Materials, Synthesis and Processing, s90-91-94-131-188-236-237, Chapman&Hall, Colorado.

- Yavuz N., Meriçboyu A.,**(2007) (Enerji Çevre ve Hukuku Ders Notları) İ.T.Ü. Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- Yiğit Z.,** (1996). Endüstriyel Atık Malzemesi Olan Kağıt ile Bor Elementi Kullanılarak Nötron Zırhlamasında Etkili bir Zırh Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İTÜ.
- Zavitsanos P. D., Morris J. R.,**(1983). Synthesis of Titanium Diboride by a Self – Propagating Reaction, *Ceramic Engineering and Science Proceeding*, 4, s624-633.
- Zawrah M.F. and Shaw, L.,**(2003). Liquid-phase sintering of SiC in presence of CaO, *Ceramics International*, 30, 721-725.

EKLER

Çizelge A.1 : Cs-137 ile B₄C-SiC kompozitlerinin deney sonuçları.

Malzeme (kod)	Kalınlık (cm)	1. sayım	2. sayım	3. sayım	ort. sayım	std. sapma	Bağıl Sayım	B.Hata (±)
100_00	0	7943	7961	7957	7954	9	1,000	0,0024
	0,5936	7258	7278	7240	7259	19	0,913	0,0035
	1,1909	6553	6573	6549	6558	13	0,825	0,0026
	1,7906	6095	6099	6085	6093	7	0,766	0,0018
	2,3986	5542	5528	5563	5544	18	0,697	0,0030
	2,9987	5174	5172	5179	5175	4	0,651	0,0012
8200	0	8077	8092	8066	8078	13	1,000	0,0032
	0,589	7335	7351	7330	7339	11	0,908	0,0028
	1,148	6743	6754	6771	6756	14	0,836	0,0031
	1,722	6141	6153	6155	6150	8	0,761	0,0022
	2,286	5649	5689	5663	5667	20	0,702	0,0036
	2,852	5257	5225	5235	5239	16	0,649	0,0031
7300	0	7913	7897	7921	7910	12	1,000	0,0031
	0,6036	7058	7070	7064	7064	6	0,893	0,0021
	1,2008	6520	6491	6508	6506	15	0,823	0,0031
	1,8024	5873	5865	5869	5869	4	0,742	0,0017
	2,4226	5344	5315	5325	5328	15	0,674	0,0029
	3,0538	4888	4908	4906	4901	11	0,620	0,0023
6400	0	7882	7901	7898	7894	10	1,000	0,0026
	0,5493	7142	7167	7174	7161	17	0,907	0,0033
	1,1281	6544	6524	6538	6535	10	0,828	0,0024
	1,7042	5849	5874	5858	5860	13	0,742	0,0026
	2,2833	5364	5375	5391	5377	14	0,681	0,0026
	2,8348	4922	4946	4930	4933	12	0,625	0,0024

Çizelge A.2 : Cs-137 ile titanyum diborür katkılı B₄C-SiC (82) kompozitleri deney sonuçları.

Malzeme (kod)	Kalınlık (cm)	1. sayım	2. sayım	3. sayım	ort. sayım	std. sapma	Bağlı Sayım	B.Hata (±)
8202_m	0	8145	8158	8171	8158	13	1,0000	0,0032
	0,59	7372	7363	7350	7362	11	0,9024	0,0028
	1,165	6684	6682	6720	6695	21	0,8207	0,0039
	1,725	6117	6121	6103	6114	9	0,7494	0,0024
	2,287	5686	5689	5671	5682	10	0,6965	0,0023
	2,859	5136	5136	5139	5137	2	0,6297	0,0012
8202_n	0	8081	8134	8096	8104	27	1,0000	0,0067
	0,5879	7287	7280	7306	7291	13	0,8997	0,0047
	1,1837	6630	6644	6640	6638	7	0,8191	0,0037
	1,766	6090	6050	6071	6070	20	0,7491	0,0050
	2,3512	5512	5538	5532	5527	14	0,6821	0,0040
	2,937	5004	5024	4980	5003	22	0,6173	0,0048
8204_m	0	8135	8128	8116	8126	10	1,0000	0,0024
	0,564	7346	7317	7347	7337	17	0,9028	0,0032
	1,112	6718	6696	6725	6713	15	0,8261	0,0028
	1,661	6163	6141	6151	6152	11	0,7570	0,0023
	2,209	5610	5626	5620	5619	8	0,6914	0,0018
	2,763	5209	5198	5192	5200	9	0,6399	0,0018
8204_n	0	8118	8123	8115	8119	4	1,0000	0,0010
	0,5661	7306	7332	7342	7327	19	0,9024	0,0027
	1,1332	6662	6688	6698	6683	19	0,8231	0,0027
	1,7	6086	6094	6062	6081	17	0,7490	0,0024
	2,27	5542	5572	5548	5554	16	0,6841	0,0023
	2,8207	5100	5070	5088	5086	15	0,6265	0,0022

Çizelge A.3 : Cs-137 iletitanyumdiborürkatkılı B4C-SiC (73)
kompozitlerinin deney sonuçları.

Malzeme (kod)	Kalınlık (cm)	1. sayım	2. sayım	3.sayım	ort.sayım	std.sapma	Bağıl Sayım	B.Hata (±)
7302_m	0	7932	7920	7937	7930	9	1,0000	0,0022
	0,58	7182	7183	7179	7181	2	0,9056	0,0013
	1,1554	6497	6535	6518	6517	19	0,8218	0,0033
	1,7266	5958	5946	5955	5953	6	0,7507	0,0016
	2,2982	5399	5384	5376	5386	12	0,6793	0,0022
	2,8695	4970	4949	4961	4960	11	0,6255	0,0020
7302_n	0	7892	7901	7905	7899	7	1,0000	0,0017
	0,5578	7172	7165	7149	7162	12	0,9067	0,0023
	1,1212	6497	6506	6498	6500	5	0,8229	0,0013
	1,6923	5883	5900	5894	5892	9	0,7459	0,0017
	2,2777	5364	5383	5378	5375	10	0,6804	0,0018
	2,8283	4944	4932	4922	4933	11	0,6244	0,0019
7304_m	0	7892	7901	7905	7899	7	1,0000	0,0017
	0,5554	7198	7208	7203	7203	5	0,9118	0,0014
	1,1092	6570	6585	6584	6580	8	0,8329	0,0018
	1,6602	5984	5953	5969	5969	16	0,7556	0,0026
	2,2282	5456	5443	5449	5449	7	0,6898	0,0014
	2,8038	4905	4929	4910	4915	13	0,6222	0,0021
7304_n	0	7943	7961	7957	7954	9	1,0000	0,0024
	0,5587	7213	7197	7186	7199	14	0,9051	0,0028
	1,1265	6437	6473	6440	6450	20	0,8109	0,0035
	1,7066	5882	5888	5904	5891	11	0,7407	0,0023
	2,2654	5362	5351	5330	5348	16	0,6724	0,0028
	2,8125	4925	4920	4947	4931	14	0,6199	0,0025

Çizelge A.4 : Cs-137 iletitanyumdiborürkatkılı B4C-SiC (64)
kompozitlerinin deney sonuçları.

Malzeme (kod)	Kalınlık (cm)	1. sayım	2. sayım	3. sayım	Ort. sayım	Std. sapma	Bağıl sayım	B.Hata (±)
6402_m	0	7980	7961	7987	7976	13	1,0000	0,0034
	0,6102	7123	7104	7090	7106	17	0,8909	0,0036
	1,2	6433	6435	6430	6433	3	0,8065	0,0017
	1,7828	5834	5838	5808	5827	16	0,7305	0,0033
	2,3745	5323	5315	5301	5313	11	0,6661	0,0025
	2,9575	4910	4898	4879	4896	16	0,6138	0,0030
6402_n	0	7960	7961	7937	7953	14	1,0000	0,0034
	0,577	7136	7154	7120	7137	17	0,8974	0,0037
	1,1587	6484	6499	6470	6484	15	0,8154	0,0032
	1,7299	5844	5838	5828	5837	8	0,7339	0,0023
	2,3121	5333	5335	5341	5336	4	0,6710	0,0017
	2,8913	4895	4888	4886	4890	5	0,6148	0,0016
6404_m	0	7980	7981	7967	7976	8	1,0000	0,0020
	0,5512	7186	7198	7188	7191	6	0,9015	0,0017
	1,1363	6448	6472	6465	6462	12	0,8101	0,0023
	1,6901	5876	5858	5878	5871	11	0,7360	0,0021
	2,2562	5353	5329	5355	5346	14	0,6702	0,0025
	2,8167	4910	4935	4928	4924	13	0,6174	0,0022
6404_n	0	7943	7961	7957	7954	9	1,0000	0,0024
	0,5625	7159	7124	7138	7140	18	0,8977	0,0033
	1,1207	6418	6427	6419	6421	5	0,8073	0,0016
	1,6774	5885	5886	5893	5888	4	0,7403	0,0014
	2,2529	5311	5316	5315	5314	3	0,6681	0,0011
	2,7977	4884	4894	4908	4895	12	0,6155	0,0022

Çizelge A.5 : Cs-137 ile B₄C-TiB₂kompozitlerinin deney sonuçları.

Malzeme (kod)	Kalınlık (cm)	1. sayım	2. sayım	3. sayım	Ort. sayım	Std. sapma	Bağlı sayım	B.Hata (±)
8515_m	0	8060	8026	8058	8048	19	1,0000	0,0047
	0,4565	7440	7422	7438	7433	10	0,9236	0,0034
	0,9343	6787	6766	6752	6768	18	0,8410	0,0042
	1,3864	6240	6234	6226	6233	7	0,7745	0,0027
	1,8552	5798	5784	5818	5800	17	0,7207	0,0038
	2,31	5281	5292	5299	5291	9	0,6574	0,0027
8515_ms	0	7971	7989	7999	7986	14	1,0000	0,0036
	0,4573	7318	7353	7348	7340	19	0,9190	0,0040
	0,9191	6735	6700	6719	6718	18	0,8412	0,0037
	1,3855	6192	6163	6178	6178	15	0,7735	0,0032
	1,8615	5652	5680	5679	5670	16	0,7100	0,0033
	2,325	5176	5184	5199	5186	12	0,6494	0,0026
8515_s	0	7993	7979	7983	7985	7	1,0000	0,0018
	0,4493	7274	7287	7264	7275	12	0,9111	0,0023
	0,8886	6679	6690	6715	6695	18	0,8384	0,0031
	1,3405	6172	6169	6187	6176	10	0,7735	0,0019
	1,7909	5690	5682	5658	5677	17	0,7109	0,0027
	2,2506	5232	5224	5212	5223	10	0,6541	0,0019
R8515_m	0	7963	7959	7967	7963	4	1,0000	0,0010
	0,5078	7239	7240	7245	7241	3	0,9094	0,0009
	1,018	6638	6662	6659	6653	13	0,8355	0,0021
	1,5524	6101	6079	6058	6079	22	0,7634	0,0031
	2,0433	5585	5611	5593	5596	13	0,7028	0,0020
	2,5066	5185	5158	5192	5178	18	0,6503	0,0026
R8515_ms	0	7927	7959	7918	7935	22	1,0000	0,0054
	0,4798	7263	7281	7256	7267	13	0,9158	0,0041
	0,9541	6648	6653	6659	6653	6	0,8385	0,0030
	1,4407	6145	6136	6147	6143	6	0,7742	0,0028
	1,9228	5637	5617	5645	5633	14	0,7099	0,0037
	2,3733	5228	5237	5242	5236	7	0,6598	0,0027
R8515_s	0	7927	7939	7938	7935	7	1,0000	0,0017
	0,4877	7268	7292	7300	7287	17	0,9183	0,0029
	0,9868	6663	6669	6659	6664	5	0,8398	0,0013
	1,4853	6060	6046	6035	6047	13	0,7621	0,0022
	1,9722	5581	5549	5553	5561	17	0,7008	0,0028
	2,4227	5148	5166	5172	5162	12	0,6506	0,0021

Çizelge A.6 : Cs-137 ileBN-TiB₂vehBNkompozitlerininindeneysonuçları.

Malzeme (kod)	Kalınlık (cm)	1. sayım	2. sayım	3. sayım	Ort. sayım	Std. sapma	Bağıl sayım	B.Hata (±)
BN	0	3044	3046	3058	3049	8	1,0000	0,0050
	0,6896	2826	2830	2822	2826	4	0,9268	0,0036
	1,3792	2620	2622	2625	2622	3	0,8600	0,0030
	2,0688	2432	2423	2429	2428	5	0,7962	0,0035
	2,7584	2285	2286	2291	2287	3	0,7501	0,0029
BN-TiB ₂	0	3010	3013	3025	3016	8	1,0000	0,0053
	0,2348	2916	2920	2920	2919	2	0,9677	0,0033
	0,6761	2690	2688	2696	2691	4	0,8924	0,0037
	1,8768	2256	2257	2258	2257	1	0,7483	0,0023
	2,5529	2022	2020	2023	2022	2	0,6703	0,0023
	2,7877	1943	1951	1956	1950	7	0,6466	0,0039

Çizelge A.7 : Cs-137 ileKurşun, WC_Covetungsten malzemelerininindeneysonuçları.

Malzeme (kod)	Kalınlık (cm)	1. sayım	2. sayım	3. sayım	Ort. sayım	Std. sapma	Bağıl sayım	B.Hata (±)
Tungsten (W)	0	2643	2639	2647	2643	4	1,0000	0,0030
	0,2272	1760	1759	1767	1762	4	0,6667	0,0027
	0,3228	1522	1530	1531	1528	5	0,5780	0,0027
	0,4541	1219	1229	1229	1226	6	0,4637	0,0029
	0,55	1047	1048	1053	1049	3	0,3970	0,0018
	0,7769	707	701	702	703	3	0,2661	0,0016
WC_Co	0	6236	6216	6223	6225	10	1,0000	0,0033
	1,0271	2030	2041	2044	2038	7	0,3274	0,0017
	2,0592	761	758	765	761	4	0,1223	0,0008
	3,0861	266	265	259	263	4	0,0423	0,0007
Kurşun (Pb)	0	3059	3062	3072	3064	7	1,0000	0,0044
	0,0913	2852	2843	2829	2841	12	0,9272	0,0058
	0,17	2625	2611	2616	2617	7	0,8541	0,0042
	0,2613	2398	2412	2398	2403	8	0,7841	0,0044
	0,318	2172	2183	2187	2181	8	0,7116	0,0041
	0,6608	1503	1496	1489	1496	7	0,4882	0,0034
	0,8308	1298	1288	1280	1289	9	0,4205	0,0039
	0,9788	1076	1073	1068	1072	4	0,3499	0,0021
	1,2401	812	816	804	811	6	0,2645	0,0026

Çizelge A.8 : Co-60ileB₄C-SiC kompozitlerininindeneysonuçları.

Malzeme	Kalınlık (cm)	1 sayım	2 sayım	3 sayım	Ort. sayım	Std. sapma	Bağlı sayım	B.Hata (±)
100_00	0	3005	3004	3008	3006	2	1,0000	0,0014
	0,5936	2808	2809	2815	2811	4	0,9351	0,0019
	1,1909	2650	2664	2665	2660	8	0,8849	0,0034
	1,7906	2479	2481	2487	2482	4	0,8259	0,0020
	2,3986	2321	2335	2339	2332	9	0,7758	0,0037
	2,9987	2188	2196	2193	2192	4	0,7294	0,0018
8200	0	3314	3321	3319	3318	4	1,0000	0,0022
	0,5891	3091	3087	3094	3091	4	0,9315	0,0021
	1,1482	2901	2893	2887	2894	7	0,8721	0,0031
	1,7222	2709	2716	2704	2710	6	0,8167	0,0027
	2,2862	2527	2523	2522	2524	3	0,7607	0,0016
7300	2,8517	2336	2335	2342	2338	4	0,7045	0,0019
	0	3025	3018	3020	3021	4	1,0000	0,0024
	0,6036	2819	2811	2812	2814	4	0,9315	0,0026
	1,2008	2629	2614	2633	2625	10	0,8690	0,0044
	1,8024	2407	2404	2415	2409	6	0,7973	0,0028
	2,4226	2243	2246	2251	2247	4	0,7437	0,0022
6400	3,0538	2076	2080	2085	2080	5	0,6886	0,0023
	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

Çizelge A.9 : Co-60 ile TiB₂katkılı B₄C-SiC kompozitlerinin deney sonuçları.

Malzeme (kod)	Kalınlık (cm)	1 sayım	2 sayım	3 sayım	Ort. sayım	Std. sapma	Bağıl sayım	B.Hata (±)
8202_m	0	3324	3311	3319	3318	7	1,0000	0,0040
	0,5903	3081	3080	3090	3084	6	0,9294	0,0035
	1,1647	2856	2862	2865	2861	5	0,8623	0,0031
	1,7246	2707	2720	2704	2710	9	0,8169	0,0042
	2,2865	2477	2475	2472	2475	3	0,7458	0,0022
	2,8594	2318	2314	2316	2316	2	0,6980	0,0020
8202_n	0	3094	3101	3109	3101	8	1,0000	0,0048
	0,5879	2863	2872	2868	2868	5	0,9247	0,0037
	1,1837	2665	2666	2653	2661	7	0,8581	0,0044
	1,766	2492	2483	2492	2489	5	0,8026	0,0036
	2,3512	2310	2312	2304	2309	4	0,7444	0,0031
	2,937	2136	2142	2149	2142	7	0,6908	0,0038
8204_m	0	3314	3311	3304	3310	5	1,0000	0,0031
	0,5635	3049	3047	3056	3051	5	0,9217	0,0029
	1,112	2871	2888	2865	2875	12	0,8686	0,0050
	1,6606	2716	2720	2704	2713	8	0,8198	0,0038
	2,2091	2490	2485	2492	2489	4	0,7520	0,0023
	2,7633	2333	2325	2335	2331	5	0,7043	0,0027
8204_n	0	3015	3028	3020	3021	7	1,0000	0,0043
	0,5661	2786	2797	2790	2791	6	0,9239	0,0038
	1,1332	2611	2608	2622	2614	7	0,8652	0,0043
	1,7	2434	2439	2444	2439	5	0,8073	0,0034
	2,27	2250	2257	2259	2255	5	0,7466	0,0032
	2,8207	2104	2114	2094	2104	10	0,6965	0,0048

Çizelge A.10 : Co-60 ile TiB₂katkılı B4C-SiC (73)kompozitlerindeneysunuçları.

Malzeme (kod)	Kalınlık (cm)	1 sayım	2 sayım	3 sayım	Ort. sayım	Std. sapma	Bağıl sayım	B.Hata (\pm)
7302_m	0	3015	3028	3020	3021	7	1,0000	0,0043
	0,58	2805	2820	2812	2812	8	0,9309	0,0045
	1,1554	2647	2643	2653	2648	5	0,8764	0,0036
	1,7266	2426	2417	2416	2420	6	0,8009	0,0036
	2,2982	2277	2278	2269	2275	5	0,7530	0,0033
	2,8695	2095	2093	2084	2091	6	0,6920	0,0034
7302_n	0	3015	3028	3020	3021	7	1,0000	0,0043
	0,5578	2807	2782	2781	2790	15	0,9235	0,0069
	1,1212	2564	2553	2558	2558	6	0,8468	0,0037
	1,6923	2424	2422	2409	2418	8	0,8005	0,0044
	2,2777	2269	2275	2266	2270	5	0,7514	0,0031
	2,8283	2109	2101	2104	2105	4	0,6967	0,0029
7304_m	0	3015	3028	3020	3021	7	1,0000	0,0043
	0,5554	2809	2790	2802	2800	10	0,9270	0,0052
	1,1092	2587	2578	2590	2585	6	0,8557	0,0039
	1,6602	2410	2417	2416	2414	4	0,7992	0,0030
	2,2282	2290	2288	2306	2295	10	0,7596	0,0049
	2,8038	2133	2131	2138	2134	4	0,7064	0,0027
7304_n	0	3015	3028	3020	3021	7	1,0000	0,0043
	0,5587	2775	2782	2798	2785	12	0,9219	0,0059
	1,1265	2602	2601	2605	2603	2	0,8615	0,0026
	1,7066	2429	2427	2439	2432	6	0,8049	0,0039
	2,2654	2263	2253	2247	2254	8	0,7462	0,0043
	2,8125	2087	2083	2098	2089	8	0,6916	0,0041

Çizelge A.11 : Co-60 ile TiB₂katkılı B4C-SiC (64)kompozitlerinin deney sonuçları.

Malzeme (kod)	Kalınlık (cm)	1. sayım	2. sayım	3. sayım	Ort. sayım	Std. sapma	Bağıl sayım	B.Hata (±)
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
6402_n	0	3015	3018	3006	3013	6	1,0000	0,0041
	0,577	2764	2759	2773	2765	7	0,9063	0,0042
	1,1587	2612	2603	2597	2604	8	1,3503	0,0067
	1,7299	2399	2395	2403	2399	4	1,2363	0,0046
	2,3121	2220	2240	2234	2231	10	1,1666	0,0078
	2,8913	2023	2024	2020	2022	2	1,0765	0,0033
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
6404_n	0	3015	3018	3006	3013	6	1,0000	0,0041
	0,5625	2775	2759	2756	2763	10	0,9171	0,0053
	1,1207	2595	2611	2609	2605	9	0,8646	0,0047
	1,6774	2431	2407	2422	2420	12	0,8032	0,0057
	2,2529	2203	2212	2196	2204	8	0,7314	0,0042
	2,7977	2039	2031	2034	2035	4	0,6753	0,0027

Çizelge A.12 : Co-60 ile BN ve BN-TiB₂ kompozitlerinin deney sonuçları.

Malzemeler (kod)	Kalınlık (cm)	1. sayım	2. sayım	3. sayım	Ort. sayım	Std. sapma	Bağıl sayım	B.Hata (±)
BN	0	2995	3014	2992	3000	12	1	0,008
	0,6896	2840	2831	2837	2836	5	0,9453	0,0054
	1,3792	2685	2673	2683	2680	6	0,8934	0,0058
	2,0688	2538	2534	2531	2534	4	0,8448	0,0084
	2,7584	2411	2405	2399	2405	6	0,8017	0,0074
BN-TiB ₂	0	2995	3014	2992	3000	12	1,0000	0,0080
	0,2348	2950	2936	2936	2941	8	0,9801	0,0066
	0,6761	2777	2775	2765	2772	6	0,9240	0,0058
	1,8768	2405	2406	2419	2410	8	0,8032	0,0058
	2,5529	2205	2212	2224	2214	10	0,7378	0,0061
	2,7877	2166	2175	2184	2175	9	0,7249	0,0059

Çizelge A.13 : Co-60 ile B₄C-TiB₂ kompozitlerinin deney sonuçları.

Malzemeler (kod)	Kalınlık (cm)	1. sayım	2. sayım	3. sayım	Ort. sayım	Std. sapma	Bağıl sayım	B.Hata (±)
8515_m	0	2995	3014	3008	3006	10	1,0000	0,0065
	0,4565	2829	2827	2815	2824	8	0,9394	0,0056
	0,9343	2663	2683	2664	2670	11	0,8883	0,0066
	1,3864	2495	2511	2517	2508	11	0,8343	0,0065
	1,8552	2350	2322	2339	2337	14	0,7775	0,0072
	2,31	2192	2206	2188	2195	9	0,7304	0,0055
8515_ms	0	2995	3014	3008	3006	10	1,0000	0,0065
	0,4573	2796	2801	2792	2796	5	0,9304	0,0045
	0,9191	2666	2660	2664	2663	3	0,8861	0,0039
	1,3855	2520	2499	2495	2505	13	0,8333	0,0072
	1,8615	2302	2311	2295	2303	8	0,7661	0,0051
2,325	2149	2167	2152	2156	10	0,7173	0,0055	
8515_s	0	2995	3014	3008	3006	10	1,0000	0,0065
	0,4493	2860	2838	2839	2846	12	0,9468	0,0072
	0,8886	2604	2618	2621	2614	9	0,8698	0,0058
	1,3405	2499	2486	2495	2493	7	0,8295	0,0049
	1,7909	2349	2325	2344	2339	13	0,7783	0,0067
	2,2506	2171	2174	2178	2174	4	0,7234	0,0035
R8515_m	0	3005	3004	3008	3006	2	1,0000	0,0014
	0,5078	2819	2821	2812	2817	5	0,9373	0,0022
	1,018	2681	2680	2674	2678	4	0,8911	0,0019
	1,5524	2498	2508	2497	2501	6	0,8321	0,0026
	2,0433	2366	2381	2384	2377	10	0,7908	0,0038
	2,5066	2178	2175	2188	2180	7	0,7254	0,0028
R8515_ms	0	3005	3004	3008	3006	2	1,0000	0,0014
	0,4798	2830	2816	2825	2824	7	0,9394	0,0030
	0,9541	2680	2678	2664	2674	9	0,8897	0,0035
	1,4407	2490	2489	2497	2492	4	0,8291	0,0020
	1,9228	2334	2340	2344	2339	5	0,7783	0,0022
	2,3733	2164	2167	2168	2166	2	0,7207	0,0012
R8515_s	0	3005	3004	3008	3006	2	1,0000	0,0014
	0,4877	2830	2840	2835	2835	5	0,9432	0,0023
	0,9868	2649	2638	2652	2646	7	0,8804	0,0031
	1,4853	2479	2505	2497	2494	13	0,8297	0,0050
	1,9722	2321	2314	2315	2317	4	0,7708	0,0018
	2,4227	2133	2129	2140	2134	6	0,7100	0,0023

Çizelge A.14 : Co-60 ile kurşun, tungsten ve WC_Co malzemelerinden deney sonuçları.

Malzeme (kod)	Kalınlık (cm)	1. sayım	2. sayım	3. sayım	Ort. sayım	Std. sapma	Bağıl sayım	B.Hata (±)
Tungsten	0	2500	2491	2509	2500	9	1,0000	0,0072
	0,2272	1990	2005	1996	1997	8	0,7988	0,0059
	0,3228	1807	1801	1811	1806	5	0,7225	0,0046
	0,4541	1577	1576	1560	1571	10	0,6284	0,0061
	0,55	1430	1415	1425	1423	8	0,5693	0,0051
	0,7769	1112	1115	1105	1111	5	0,4443	0,0037
WC_Co	0	3313	3290	3304	3302	12	1,0000	0,0070
	1,0271	1701	1697	1692	1697	5	0,5138	0,0032
	2,0592	877	884	885	882	4	0,2671	0,0023
	3,0861	436	434	432	434	2	0,1314	0,0011
Kurşun	0	3324	3311	3319	3318	7	1,0000	0,0040
	0,0913	3081	3074	3072	3076	5	0,9270	0,0033
	0,17	2965	2978	2977	2973	7	0,8961	0,0040
	0,318	2673	2700	2678	2684	14	0,8088	0,0059
	0,6608	2205	2202	2186	2198	10	0,6623	0,0044
	0,9788	1811	1802	1804	1806	5	0,5442	0,0025
	1,2401	1433	1438	1437	1436	3	0,4328	0,0017

Çizelge A.15 : Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) ile B₄C-SiC kompozitlerinin deney sonuçları.

Malzeme (kod)	Kalınlık (cm)	1. sayım	2. sayım	3. sayım	ort. sayım	std. sapma	Bağıl Sayım	B.Hata (±)
100_B ₄ C	0	2086	2095	2097	2093	6	1,0000	0,0040
	0,5968	1529	1534	1542	1535	7	0,7335	0,0037
	1,1858	1220	1225	1227	1224	4	0,5849	0,0024
	1,7819	1012	1013	1017	1014	3	0,4845	0,0019
8200	0	2911	2910	2903	2908	4	1,0000	0,0021
	0,5968	2179	2195	2178	2184	10	0,7509	0,0035
	1,1858	1799	1797	1789	1795	5	0,6173	0,0020
	1,7819	1523	1524	1519	1522	3	0,5234	0,0012
7300	0	3007	3006	2999	3004	4	1,0000	0,0021
	0,611	2259	2260	2267	2262	4	0,7529	0,0018
	1,2117	1988	1982	1973	1981	8	0,6597	0,0027
	1,813	1666	1671	1682	1673	8	0,5570	0,0028
6400	0	2999	3007	3005	3004	6	1,0000	0,0028
	0,5776	2408	2415	2413	2412	7	0,8030	0,0027
	1,1284	2045	2043	2036	2041	4	0,6796	0,0018
	1,6775	1820	1816	1817	1818	3	0,6051	0,0015

Çizelge A.16 : Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) ile titanyum diborür katkılı B₄C-SiC (82) kompozitleri deney sonuçları

Malzeme (kod)	Kalınlık (cm)	1. sayım	2. sayım	3. sayım	ort. sayım	std. sapma	Bağlı Sayım	B.Hata (±)
8202_m	0	3007	3006	2999	3004	4	1,0000	0,0021
	0,5606	2390	2402	2397	2396	6	0,7978	0,0023
	1,1509	2044	2043	2036	2041	4	0,6797	0,0018
	1,7228	1687	1691	1680	1686	6	0,5612	0,0020
8202_n	0	3007	3006	2999	3004	4	1,0000	0,0021
	0,5854	2413	2421	2419	2418	4	0,8049	0,0018
	1,1791	1987	1992	1982	1987	5	0,6615	0,0019
	1,7618	1613	1618	1617	1616	3	0,5381	0,0012
8204_m	0	3007	3006	2999	3004	4	1,0000	0,0021
	0,5537	2354	2359	2349	2354	5	0,7836	0,0020
	1,1105	2106	2107	2093	2102	8	0,6997	0,0028
	1,6734	1792	1794	1787	1791	4	0,5964	0,0015
8204_n	0	3007	3006	2999	3004	4	1,0000	0,0021
	0,5636	2342	2340	2326	2336	9	0,7778	0,0031
	1,1279	2008	2021	2022	2017	8	0,6715	0,0028
	1,6772	1788	1795	1775	1786	10	0,5947	0,0035

Çizelge A.17 : Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3)ile titanium diborürkatkılı B₄C-SiC (73) kompozitlerinin deney sonuçları.

Malzeme (kod)	Kalınlık (cm)	1. sayım	2. sayım	3.sayım	ort.sayım	std.sapma	Bağıl Sayım	B.Hata (±)
7302_m	0	3368	3367	3360	3365	4	1,0000	0,0018
	0,5786	2610	2616	2613	2613	3	0,7766	0,0013
	1,1517	2202	2196	2184	2194	9	0,6519	0,0029
	1,7199	2032	2035	2023	2030	6	0,6034	0,0020
7302_n	0	3052	3051	3044	3049	4	1,0000	0,0020
	0,556	2410	2408	2400	2406	5	0,7891	0,0021
	1,1172	1986	1985	1972	1981	8	0,6497	0,0027
	2,2121	1538	1528	1536	1534	5	0,5031	0,0019
7304_m	0	3052	3051	3044	3049	4	1,0000	0,0020
	0,5528	2406	2413	2408	2409	4	0,7899	0,0016
	1,1048	1992	1993	2000	1995	4	0,6544	0,0017
	2,2128	1662	1661	1651	1658	6	0,5438	0,0021
7304_n	0	3052	3051	3044	3049	4	1,0000	0,0020
	0,5573	2427	2426	2410	2421	10	0,7941	0,0033
	1,668	1668	1674	1665	1669	5	0,5473	0,0017
	2,214	1582	1578	1571	1577	6	0,5171	0,0020

Çizelge A.18 : Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3)ile titanium diborürkatkılı B₄C-SiC (64) kompozitlerinin deney sonuçları.

Malzeme (kod)	Kalınlık (cm)	1. sayım	2. sayım	3. sayım	Ort. sayım	Std. sapma	Bağıl sayım	B.Hata (±)
6402_m	0	3053	3052	3042	3049	6	1,0000	0,0028
	0,5703	2407	2402	2409	2406	4	0,7891	0,0020
	1,1469	1986	1989	1998	1991	6	0,6529	0,0024
	2,2825	1648	1640	1638	1642	5	0,5385	0,0020
6402_n	0	3046	3047	3054	3049	4	1,0000	0,0020
	0,5803	2317	2313	2300	2310	9	0,7577	0,0031
	1,1509	1948	1944	1937	1943	6	0,6372	0,0020
	2,3075	1602	1596	1584	1594	9	0,5228	0,0031
6404_m	0	3045	3052	3048	3049	4	1,0000	0,0016
	0,5845	2471	2477	2474	2474	3	0,8114	0,0014
	1,137	2162	2155	2145	2154	9	0,7065	0,0029
	2,261	1684	1682	1674	1680	5	0,5510	0,0018
6404_n	0	3052	3051	3044	3049	4	1,0000	0,0020
	0,5585	2429	2419	2412	2420	9	0,7937	0,0030
	1,1149	2115	2118	2109	2114	5	0,6933	0,0018
	1,6876	1838	1839	1834	1837	3	0,6026	0,0012

Çizelge A.19 : Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) ile B₄C-TiB₂kompozitlerinin deney sonuçları

Malzeme (kod)	Kalınlık (cm)	1. sayım	2. sayım	3. sayım	Ort. sayım	Std. sapma	Bağlı sayım	B.Hata (±)
8515_m	0	3048	3047	3040	3045	4	1,0000	0,0020
	0,4755	2614	2613	2603	2610	6	0,8571	0,0023
	0,9311	2335	2343	2345	2341	5	0,7687	0,0021
	1,384	2077	2073	2060	2070	9	0,6799	0,0031
8515_s	0	3048	3047	3040	3045	4	1,0000	0,0020
	0,4583	2472	2463	2478	2471	8	0,8113	0,0027
	0,9094	2285	2278	2268	2277	9	0,7478	0,0030
	1,3877	1968	1978	1976	1974	5	0,6480	0,0020
8515_s	0	3048	3047	3040	3045	4	1,0000	0,0020
	0,4486	2451	2438	2452	2447	8	0,8036	0,0028
	0,8973	2218	2219	2226	2221	4	0,7292	0,0018
	1,7972	1755	1753	1772	1760	10	0,5779	0,0035
R8515_m	0	3048	3047	3040	3045	4	1,0000	0,0020
	0,5071	2581	2577	2561	2573	11	0,8447	0,0037
	1,0118	2269	2268	2258	2265	6	0,7437	0,0023
	1,517	1902	1903	1910	1905	4	0,6255	0,0017
R8515_ms	0	3048	3047	3040	3045	4	1,0000	0,0020
	0,4666	2603	2613	2614	2610	6	0,8571	0,0023
	0,9158	2306	2305	2295	2302	6	0,7560	0,0023
	1,367	1976	1978	1968	1974	5	0,6484	0,0020
R8515_s	0	3048	3047	3040	3045	4	1,0000	0,0020
	0,4817	2613	2614	2609	2612	3	0,8578	0,0015
	0,9691	2251	2246	2232	2243	10	0,7366	0,0034
	1,4547	1908	1909	1895	1904	8	0,6252	0,0027

Çizelge A.20 : Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) ile BN-TiB₂ ve BN kompozitlerinin deney sonuçları.

Malzeme (kod)	Kalınlık (cm)	1. sayım	2. sayım	3. sayım	Ort. sayım	Std. sapma	Bağıl sayım	B.Hata (±)
BN	0	7223	7218	7204	7215	10	1,0000	0,0019
	0,3245	5517	5505	5515	5512	6	0,7641	0,0014
	0,6925	4841	4833	4827	4834	7	0,6700	0,0013
	1,017	4116	4125	4128	4123	6	0,5715	0,0012
	1,3821	3533	3529	3510	3524	12	0,4885	0,0018
	2,0726	2793	2790	2775	2786	10	0,3861	0,0014
BN-TiB ₂	0	1657	1667	1659	1661	5	1,0000	0,0036
	0,6939	1337	1343	1331	1337	6	0,8050	0,0040
	1,8918	1035	1043	1039	1039	4	0,6256	0,0027
	2,5857	857	869	859	862	6	0,5189	0,0041

Çizelge A.21 : Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) ile Kurşun, WC_Cove tungsten malzemelerinin deney sonuçları.

Malzeme (kod)	Kalınlık (cm)	1. sayım	2. sayım	3. sayım	Ort. sayım	Std. sapma	Bağıl sayım	B.Hata (±)
Tungsten (W)	0	1657	1667	1659	1661	5	1,0000	0,0036
	0,2273	1617	1629	1619	1622	6	0,9763	0,0043
	0,4535	1591	1587	1593	1591	3	0,9575	0,0023
	0,5502	1577	1579	1575	1577	2	0,9494	0,0018
	0,7764	1536	1531	1535	1534	3	0,9236	0,0021
WC_Co	0	1657	1667	1659	1661	5	1,0000	0,0036
	1,0271	1483	1489	1481	1485	4	0,8937	0,0029
	2,0592	1287	1275	1273	1279	8	0,7697	0,0049
	3,0861	1149	1157	1141	1149	8	0,6918	0,0052
Kurşun (Pb)	0	6391	6395	6409	6398	9	1,0000	0,0021
	0,17	6208	6224	6216	6216	8	0,9715	0,0019
	0,318	5957	5948	5971	5959	12	0,9313	0,0023
	0,6608	5782	5771	5785	5779	7	0,9033	0,0018
	0,8308	5641	5646	5628	5638	9	0,8812	0,0020
	0,9788	5534	5528	5535	5532	4	0,8647	0,0014
	1,2401	5297	5299	5310	5302	7	0,8287	0,0016

Çizelge A.22 : Cs-137GamaradyoizotopkaynağıileWB₂kompozitmalzemenindeneysonuçları.

Malzeme (kod)	Kalınlık (cm)	1. sayım	2. sayım	3. sayım	Ort. sayım	Std. sapma	Bağıl sayım	B.Hata (±)
WB ₂	0	2624	2651	2629	2635	14	1,0000	0,0109
	0,2092	2051	2046	2045	2047	3	0,7771	0,0075
	0,3055	1828	1837	1831	1832	5	0,6954	0,0054
	0,4209	1614	1633	1631	1626	11	0,6171	0,0067
	0,5147	1422	1425	1419	1422	3	0,5397	0,0047
	0,7264	1094	1097	1101	1097	4	0,4165	0,0038

Çizelge A.23 : Co-60GamaradyoizotopkaynağıileWB₂kompozitmalzemenindeneysonuçları.

Malzeme (kod)	Kalınlık (cm)	1. sayım	2. sayım	3. sayım	Ort. sayım	Std. sapma	Bağıl sayım	B.Hata (±)
WB ₂	0,0000	2500	2491	2509	2500	9	1,0000	0,0071
	0,2092	2176	2165	2195	2179	15	0,8714	0,0073
	0,3055	2004	2006	2001	2003	3	0,8013	0,005
	0,4209	1864	1870	1856	1863	7	0,7453	0,005
	0,5147	1740	1739	1745	1741	3	0,6965	0,0037
	0,7264	1524	1517	1513	1518	6	0,6072	0,005

Çizelge A.24 : Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) nötronkaynağıile WB₂kompozitmalzemenindeneysonuçları.

Malzeme (kod)	Kalınlık (cm)	1. sayım	2. sayım	3. sayım	Ort. sayım	Std. sapma	Bağıl sayım	B.Hata (±)
WB ₂	0	1499	1497	1501	1499	2	1,0000	0,0036
	0,295	1367	1369	1364	1367	3	0,9119	0,0035
	0,603	1225	1214	1226	1222	7	0,8150	0,0052
	0,8086	1096	1094	1100	1097	3	0,7316	0,0058

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Bülent Büyük

Doğum Yeri ve Tarihi: Şavşat/Artvin 10.07.1976

Lisans Üniversitesi: Marmara Üniversitesi Atatürk Eğitim Fakültesi Fizik Eğitimi
(İngilizce)

Yüksek Lisans: İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü

Yayın Listesi:

Makale

- **Buyuk B.**, Tugrul A.B. *An investigation on gamma attenuation behaviour of titanium diboride reinforced boroncarbide–silicon carbide composites*. Radiation physics and Chemistry, (basım aşamasında), (<http://dx.doi.org/10.1016/j.radphyschem.2013.07.025>)
- **Büyük B.**, Tuğrul A.B., Akarsu A.C., Addemir A.O., *Investigation of Behaviour of Titanium Diboride Reinforced Boron Carbide-Silicon Carbide Composites Against Cs-137 Gamma Radioisotop Source By Using Gamma Transmission Technique*, Acta Physica Polonica A, Vol.121, pp 135-137(2012). <http://przrybwn.icm.edu.pl/APP/PDF/121/a121z1p40.pdf>
- **Büyük B.**, Tuğrul A.B., Aktop S., Addemir A.O., *Investigation on the Effects of Boron Carbide Particle Size on Radiation Shielding Properties of Boron Carbide Titanium Diboride Composites*. Acta Physica Polonica A, Vol.123, pp177-179. 2013, <http://przrybwn.icm.edu.pl/APP/PDF/123/a123z2p004.pdf>
- **Büyük B.**, Tuğrul A.B., Akarsu A.C., Addemir A.O., *Investigation on the Effects of Titanium Diboride Particle Size on Radiation Shielding Properties of Titanium Diboride Reinforced Boron Carbide-Silicon Carbide Composites Against Cs-137 Gamma Radioisotop Source By Using Gamma Transmission Technique*, Journal of Nano-and Electronic Physics, Vol 4, No1, 01010,pp4 (2012). http://jnep.sumdu.edu.ua/download/numbers/2012/1/articles/jnep_2012_V4_01010.pdf
- A. F.Baytaş, A.B. Tugrul, N. Baydoğan, N. Altinsoy, S. Hacıyakupoğlu, **B. Büyük**, E.Demir. *Investigation of Salt Diffusion in Soil by Using Radiotracer Technique*, International Journal Defect and Diffusion Forum. DOI: 10.4028/www.scientific.net/DDF.334-335.274, <http://www.scientific.net/DDF.334-335.274>
- **Büyük B.**, Tuğrul A.B., Aktop S., Addemir A.O., *Investigation on the Effects of Boron Carbide Particle Size on Radiation Shielding Properties of Boron*

Carbide_Titanium Diboride Composites. Acta Physica Polonica A, Vol.123, pp177-179. <http://przyrbwn.icm.edu.pl/APP/PDF/123/a123z2p004.pdf>

▪ Altınsoy N., Tuğrul A.B., Baytaş F., Baydoğan N., Yavuz N., Hacıyakuboğlu S., **Büyük B.**, *Investigation of helical flow by using tracer technique*, The 6th International Conference on Tracers and Tracer Methods, Tracer 6, 6-8 June 2011, Oslo, (Norway) .EPJ Web of Conferences **50** 01001 (2013) DOI: <http://dx.doi.org/10.1051/epjconf/20135001001>)

Uluslar arası bildiri

- **B. Buyuk**, A.B. Tugrul, N. Ay, *Gamma Attenuation Behaviour of h-BN and h-BN-TiB2 composites*, 3rd International Advances in Applied Physics&Materials Science Conference, 24-28 April, 2013.
- **B. Buyuk**, A.B. Tugrul, *Comparison of Lead and WC_Co Materials Against Gamma Irradiation*, 3rd International Advances in Applied Physics&Materials Science Conference, 24-28 April, 2013.
- H. Durmaz, A.B. Tugrul, **B. Buyuk**,, *Evaluation Of Gamma Penetration Through Plain Carbon Steels*, 3rd International Advances in Applied Physics&Materials Science Conference, 24-28 April, 2013
- Uglov V.V., **Buyuk B.**, Tugrul A.B., Lastovski S.B, Zlotski S.V.,Addemir A.O., Ay N., Bogatyrev Yu. V., Shymanski V.I. *Irradiation Effects on Hexagonal Boron Nitride-Boron Carbide-Silicon Carbide Systems*. The Nuclear Materials Conference NUMAT, 22-25 October 2012, Osaka, Japan
- Uglov V.V., **Buyuk B.**, Tugrul A.B., Lastovski S.B, Zlotski S.V.,Addemir A.O., Bogatyrev Yu. V., Shymanski V.I., *Irradiation Effects On Hexagonal Boron Nitride Coated Titanium Diboride Reinforced Boron Carbide-Silicon Carbide Composites*, ICACS-25 International Conference on Atomic Collisions with Solids, 21-25 October, 2012, Kyoto, Japan
- Uglov V.V., **Buyuk B.**, Tugrul A.B., Lastovski S.B, Zlotski S.V.,Addemir A.O., Ay N., Bogatyrev Yu. V., Shymanski V.I. *Electron Irradiation Effects on h-BN And h-BN-TiB2 Composites*, The 7th International Conference on Plasma Physics & Plasma Technology, 17-21 September 2012, Minsk (Belarus),
- Uglov V.V., **Buyuk B.**, Tugrul A.B., Lastovski S.B, Zlotski S.V.,Addemir A.O., Bogatyrev Yu. V., Shymanski V.I., *The Effects of Silicon Carbide Ratio And Irradiation Dose on Boron Carbide-Silicon Carbide Composites*, 15th International Conference on Radiation Physics and Chemistry, 17-22 September, 2012, Tomsk, Russia
- S. Hacıyakupoğlu, A. B. Tuğrul, A. F. Baytaş, F. Gökbülak, N. Altınsoy, N. Baydoğan, **B. Büyük**. *Behaviour of KNO3 Fertilizer In Soil By The View Of Land Conservation*. International Conference on Land Conservation. 17-21 September, 2012 Denube, Serbia.
- S. Hacıyakupoğlu, S. Akyıl Erentürk, N.Karatepe, A.B. Tuğrul, A. F.Baytaş, N. Altınsoy, N. Baydoğan, **B. Büyük**, E. Demir. *Remediation Investigation Of Selenium In Aqueous Environment With Using Activated Carbon*. Global Conference on Global Warming, 8-12 July 2012, Istanbul, Turkey, proceeding pp. 940-949.

Kitap/Bölümü

- A B. Tuğrul, S. Hacıyakupoğlu, S. Akyıl Erentürk, N.Karatepe, A.F. Baytaş, N. Altınoy, N. Baydoğan, **B. Büyük**, E. Demir, *Investigation of Selenium Elimination From Aqueous Media by Using Activated Carbon*, Causes, Impacts, and Solutions to Global Warming, Springer

Ulusal Bildiri

- **Büyük B.**, Tuğrul A.B., *Gama Transmisyon Tekniği ile Cs-137 Gama Kaynağı Kullanılarak Farklı Metaller İçin Kalınlık Tayini*, X. Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi, 6-9 Ekim, 2009, Muğla, (Türkiye), Bildiri Kitabı, Cilt I, s:49-58.

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

Makale

- **Buyuk B.**, Tuğrul A.B. *An investigation on gamma attenuation behaviour of titanium diboride reinforced boroncarbide–silicon carbide composites*. Radiation physics and Chemistry, (basım aşamasında), (<http://dx.doi.org/10.1016/j.radphyschem.2013.07.025>)
- **Büyük B.**, Tuğrul A.B., Akarsu A.C., Addemir A.O., *Investigation of Behaviour of Titanium Diboride Reinforced Boron Carbide-Silicon Carbide Composites Against Cs-137 Gamma Radioisotop Source By Using Gamma Transmission Technique*, Acta Physica Polonica A, Vol.121, pp 135-137(2012). <http://przyrbwn.icm.edu.pl/APP/PDF/121/a121z1p40.pdf>
- **Büyük B.**, Tuğrul A.B., Aktop S., Addemir A.O., *Investigation on the Effects of Boron Carbide Particle Size on Radiation Shielding Properties of Boron Carbide_Titanium Diboride Composites*. Acta Physica Polonica A, Vol.123, pp177-179. 2013, <http://przyrbwn.icm.edu.pl/APP/PDF/123/a123z2p004.pdf>
- **Büyük B.**, Tuğrul A.B., Akarsu A.C., Addemir A.O., *Investigation on the Effects of Titanium Diboride Particle Size on Radiation Shielding Properties of Titanium Diboride Reinforced Boron Carbide-Silicon Carbide Composites Against Cs-137 Gamma Radioisotop Source By Using Gamma Transmission Technique*, Journal of Nano-and Electronic Physics, Vol 4, No1, 01010,pp4 (2012). http://jnep.sumdu.edu.ua/download/numbers/2012/1/articles/jnep_2012_V4_01010.pdf
- **Büyük B.**, Tuğrul A.B., Aktop S., Addemir A.O., *Investigation on the Effects of Boron Carbide Particle Size on Radiation Shielding Properties of Boron Carbide_Titanium Diboride Composites*. Acta Physica Polonica A, Vol.123, pp177-179. <http://przyrbwn.icm.edu.pl/APP/PDF/123/a123z2p004.pdf>

Bildir

- **B. Buyuk**, A.B. Tugrul, N. Ay, *Gamma Attenuation Behaviour of h-BN and h-BN-TiB₂ composites*, 3rd International Advances in Applied Physics&Materials Science Conference, 24-28 April, 2013.
- **B. Buyuk**, A.B. Tugrul, *Comparision of Lead and WC_Co Materials Against Gamma Irradiation*, 3rd International Advances in Applied Physics&Materials Science Conference, 24-28 April, 2013.