

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**ÖZEL HİBRİT KOMPOZİT MALZEMELERİN RADYASYON KARŞISINDA
DAVRANIŞININ İNCELENMESİ - XCOM İLE İRDELENMESİ, Xe²⁶⁺ İYONLARI
KARŞISINDA HASARININ SRIM SİMÜLASYONU İLE DEĞERLENDİRİLMESİ**

DOKTORA TEZİ

Ertuğrul DEMİR

Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı

Enerji Bilim ve Teknoloji Programı

ŞUBAT 2020

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**ÖZEL HİBRİT KOMPOZİT MALZEMELERİN RADYASYON KARŞISINDA
DAVRANIŞININ İNCELENMESİ - XCOM İLE İRDELENMESİ, Xe²⁶⁺ İYONLARI
KARŞISINDA HASARININ SRIM SİMÜLASYONU İLE DEĞERLENDİRİLMESİ**

DOKTORA TEZİ

**Ertuğrul DEMİR
(301132003)**

Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı

Enerji Bilim ve Teknoloji Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. A. Beril TUĞRUL

ŞUBAT 2020

İTÜ, Enerji Enstitüsü'nün 301132003 numaralı Doktora Öğrencisi Ertuğrul DEMİR, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “ÖZEL HİBRİT KOMPOZİT MALZEMELERİN RADYASYON KARŞISINDA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ - XCOM İLE İRDELENMESİ, Xe²⁶⁺ İYONLARI KARŞISINDA HASARININ SRIM SİMÜLASYONU İLE DEĞERLENDİRİLMESİ ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. A. Beril TUĞRUL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. M. Lütfi ÖVEÇOĞLU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Şerife İpek KARAASLAN
Yeditepe Üniversitesi

Prof. Dr. Nesrin ALTINSOY
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Figen KAYA
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 12.12.2019
Savunma Tarihi : 17.02.2020





Canım anneme, babama ve kardeşime,



ÖNSÖZ

Bu doktora tez çalışması ile, özel hibrit kompozit malzemelerin ileri teknolojik uygulamalara yönelik olarak gama ve nötron radyasyonu karşısındaki davranışlarının incelenmesi ve ileri nesil nükleer reaktörlerde söz konusu malzemelerin kullanılması halinde oluşabilecek malzeme hasar durum değerlendirmelerinin yapılması amaçlanmıştır. Çalışmanın, konuya ilgi duyanlara yararlı olmasını temenni ederim.

Doktora başladığım ilk günden itibaren her aşamada bilgi ve birikiminden yararlanma imkanı sağlayan, bu alandaki engin tecrübelerini benden hiçbir zaman esirgemeyen, her konuda beni destekleyen ve yanımda olan ve bir çok yönü ile de kendime örnek aldığım çok değerli danışman hocam Sn. Prof. Dr. A. Beril TUĞRUL'a en içten duygularıyla sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca doktora tez süresince, gerekli malzemelerin üretilmesi ve laboratuvar çalışma imkanlarının sağlanmasına kadar bir çok konuda desteğini aldığım Sn. hocam Prof. Dr. M. Lütfi ÖVEÇOĞLU'na, tez çalışması boyunca bilgi ve birikimi ile yanımda olan ve desteğini hiç esirgemeyen Sn. hocam Prof. Dr. Ş. İpek KARAASLAN'a, yakın alaka ve fikirleriyle her daim yanımda olan ve beni hep destekleyen Dr. Öğr. Üyesi Bülent BÜYÜK'e, malzeme üretimi konusunda katkılarından dolayı Dr. Ozan YILMAZ'a, Dr. Muhammet KARABAŞ ve Yük. Müh. Sultan SÖNMEZ'e, deneysel çalışmalarda yardımlarını esirgemeyen İ.T.Ü TRIGA Mark-II Reaktörü İşletme (E.) Müdürü Dr. Muhittin OKKA ve Sağlık Fizikçisi Yük. Lis. Sahip KIZILTAŞ'a, Belarussian State Üniversitesi'nde yapmış olduğum çalışmalar boyunca beni destekleyen ve zengin bir bakış açısı kazandıran başta Sn. Prof. Dr. V.V. UGLOV hocam olmak üzere, Dr. Vitaly SHYMANSKY, Dr. Sergey ZLOTSKI ve tüm laboratuvar ekibine, Rusya, Dubna'da Joint Institute For Nuclear Research Araştırma merkezinde yapmış olduğum çalışmalar süresince her türlü desteğini aldığım başta Sn. hocam Prof. Dr. Yury M. GLEDENOV'a, Dr. Sansar BAYAR'a, ve hala etkin bir biçimde çalışmalarımızı sürdürdüğüm Dr. Matlab N. MIRZAYEV'e, ve tüm laboratuvar personeline, ve desteklerini hiç unutmayacağım Dr. Hanif TANYILDIZI, Doç. Dr. Öğr. Üyesi Zeki CANDAN, Araş. Gör. Osman ÜRPER'e, Araş. Gör. Ümit ALTUNTAŞ ve Fatma KURUCU'ya çok teşekkür ederim.

Bu doktora tez çalışmasına verdiği desteklerden dolayı İ.T.Ü Enerji Enstitüsü, Belarussian State Üniversitesi, Joint Institute For Nuclear Research (JINR) ve TİNÇEL Vakfına da teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak, hayatın her kademesinde beni destekleyen ve yanımda olan, hayatını biz çocuklarına adanmış olan annem Güner Ayfer DEMİR'e, babam Osman DEMİR'e ve güzel kardeşim Görkem DEMİR'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Aralık 2019

Ertuğrul DEMİR



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xix
SEMBOLLER	xxi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xxiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xxvii
ÖZET	xxxv
SUMMARY	xxxix
1. GİRİŞ	1
2. RADYASYON	13
2.1 Radyoaktivitenin Keşfi ve Kısa Tarihi	13
2.2 Radyasyon Tipleri	14
2.2.1 Alfa parçacıkları.....	14
2.2.2 Beta parçacıkları	16
2.2.3 Gama ışınları	17
2.2.4 Nötronlar	18
2.3 Radyasyonun Madde ile Etkileşimi.....	19
2.3.1 Elektromanyetik radyasyonun madde ile etkileşimi	20
2.3.1.1 Fotoelektrik etki	21
2.3.1.2 Compton saçılması	21
2.3.1.3 Çift oluşumu.....	22
2.3.2 Yüklü parçacıkların madde ile etkileşimi	23
2.3.2.1 Ağır yüklü parçacıklar.....	24
2.3.2.2 Hafif yüklü parçacıklar	25
2.3.3 Nötronların madde ile etkileşimi.....	27
2.4 Radyasyonun Madde Üzerindeki Etkileri	29
2.4.1 Safsızlık üretimi	30
2.4.2 Atomik yer değiştirme	31
2.4.3 İyonizasyon	32
2.4.4 Enerji salımı	32
2.5 Radyasyonun Zayıflatılması.....	33
2.5.1 Gama fotonlarının zayıflatılması	33
2.5.2 Nötronların zayıflatılması	34
2.5.3 Çalışılan malzemelerin yarı-değer kalınlıklarının tayini	34
2.5.4 Çalışılan malzemelerin onda bir kalınlıklarının tayini.....	34
2.5.5 Çalışılan malzemelerin ortalama serbest yol değerlerinin tayini	34
2.5.6 Çalışılan malzemelerin efektif atomik numaralarının tayini.....	35
3. ÖZEL HİBRİT KOMPOZİT MALZEMELER	37
3.1 Modern Kompozit Malzemeler	37
3.2 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması.....	38
3.2.1 Metal matris kompozit malzemeler.....	39

3.2.2	Seramik matrisli kompozit malzemeler.....	39
3.2.3	Polimer matrisli kompozit malzemeler	39
3.3	Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları.....	40
3.4	Volfram, Vanadyum, Titanyum ve Bor İçeren Malzemeler.....	40
3.4.1	Volfram ve özellikleri	40
3.4.2	Vanadyum ve özellikleri	42
3.4.3	Titanyum ve özellikleri	44
3.4.4	Bor ve özellikleri.....	45
3.4.5	Karbür bileşikleri ve özellikleri.....	46
3.4.5.1	Titanyum karbür	46
3.4.5.2	Vanadyum karbür.....	47
3.4.5.3	Bor karbür	48
3.4.5.4	Volfram karbür	49
3.5	Paslanmaz Çelikler	51
4.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	53
4.1	Çalışılan Malzemeler.....	53
4.1.1	Volfram matrisli kompozit malzemeler	54
4.1.2	321 Paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemeleri ..	59
4.1.3	321 Paslanmaz çelik üzerine volfram esaslı kaplama malzemeleri	61
4.2	Deney Düzeneklerinin Tanıtımı	63
4.2.1	Gama deney düzeneği	63
4.2.1.1	Gama radyoizotop kaynakları	64
4.2.1.2	Sodyum iyodür sintilasyon dedektörü.....	65
4.2.1.3	Kompakt çok kanallı analizör	66
4.2.1.4	Kolimatör	66
4.2.1.5	Kurşun bloklar.....	66
4.2.2	Nötron deney düzeneği.....	67
4.2.2.1	Pu-Be nötron kaynağı.....	68
4.2.2.2	Nötron dedektörü.....	69
4.2.2.3	Çok kanallı analizör	70
4.2.2.4	Nötron kolimatörler.....	71
4.2.2.5	Nötron zırlama malzemeleri.....	71
4.2.3	İyon ışınlama deney düzeneği	71
4.2.3.1	Elektron hızlandırıcı rezonans kaynağı	73
4.2.4	X-ışınları difraksiyon	74
4.2.5	Raman spektroskopisi düzeneği.....	74
4.3	Deneylerin Yapılışı.....	75
4.3.1	Yoğunluk ölçümleri.....	75
4.3.2	Kalınlık tayini.....	76
4.3.3	Gama, nötron ve iyon ışınlama deneylerinin yapılışı.....	76
4.3.3.1	Gama deneylerinin yapılışı.....	77
4.3.3.2	Nötron deneylerinin yapılışı.....	77
4.3.3.3	IC-100 Hızlandırıcısında ağır iyonlarla ışınlamaların yapılması	77
4.3.4	Standart sapma hesaplaması.....	78
5.	DENEYSEL SONUÇLAR.....	79
5.1	Volfram Matrisli Kompozit Malzemelerle Yapılan Deneylerin Sonuçları	79
5.1.1	Volfram matrisli kompozit malzemelerin Cs -137 gama kaynakları ile ulaşılan deney sonuçları.....	79
5.1.1.1	W- ağ.% 6 VC- ağ. % 1C kompozit malzeme için Cs-137 Gama kaynağı ile ulaşılan deneylerin sonuçları.....	80

5.1.1.2 W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzeme için Cs-137 gama kaynağı ile ulaşılan deneylerin sonuçları.....	82
5.1.1.3 W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C ve W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Cs-137 gama kaynağı ile ulaşılan deneylerin karşılaştırılmalı sonuçları	84
5.1.1.4 W- % ağ. 6 B ₄ C- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemeleri için Cs-137 gama kaynağı ile ulaşılan deneylerin sonuçları	87
5.1.1.5 WC – % ağ. 6 Co kompozit malzemeleri için Cs-137 gama kaynağı ile ulaşılan deneylerin sonuçları	88
5.1.1.6 Volfram matrisli kompozit malzemelerin Cs-137 gama kaynağı ile ulaşılan deneylerin karşılaştırmalı sonuçları	89
5.1.2 Volfram matrisli kompozit malzemelerin Co-60 gama kaynakları ile ulaşılan deney sonuçları.....	90
5.1.2.1 W-% ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemeler için Co-60 gama kaynağı ile ulaşılan deneylerin sonuçları	90
5.1.2.2 W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemeler için Co-60 gama kaynağı ile ulaşılan deneylerin sonuçları.....	92
5.1.2.3 W-% ağ. 6 VC- % ağ. 1 C ve W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Co-60 gama kaynağı ile ulaşılan deneylerin karşılaştırılmalı sonuçları	95
5.1.2.4 W- % ağ. 6 B ₄ C- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemeleri için Co-60 gama kaynağı ile ulaşılan deneylerin sonuçları.....	98
5.1.2.5 WC - % ağ. 6 Co kompozit malzemeleri için Co-60 gama kaynağı ile ulaşılan deneylerin sonuçları	99
5.1.2.6 Volfram matrisli kompozit malzemelerin Co-60 gama kaynağı ile ulaşılan deneylerin karşılaştırmalı sonuçları	99
5.1.3 Volfram matrisli kompozit malzemelerin Pu-Be nötron kaynağı ile ulaşılan deney sonuçları.....	100
5.1.3.1 W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemeler için Pu-Be nötron kaynağı ile ulaşılan deneylerin sonuçları	101
5.1.3.2 W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemeler için Pu-Be nötron kaynağı ile ulaşılan deneylerin sonuçları	101
5.1.3.3 W- % ağ. 6 B ₄ C- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemeler için Pu-Be nötron kaynağı ile ulaşılan deneylerin sonuçları	102
5.1.3.4 WC - % ağ. 6 Co kompozit malzemeleri için Pu-Be nötron kaynağı ile ulaşılan deneylerin sonuçları	103
5.1.3.5 Volfram matrisli kompozit malzemelerin Pu-Be nötron kaynağı ile yapılan deneylerinin karşılaştırılmalı sonuçları.....	104
5.2 321 Paslanmaz Çelik Üzerine Alümina Bor Karbür Kaplama Malzemeleri ile Yapılan Deneylerin Sonuçları.....	105
5.2.1 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemelerin gama kaynakları ile ulaşılan deney sonuçları	105
5.2.1.1 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemelerin Cs-137 gama kaynağı ile ulaşılan deney sonuçları....	105
5.2.1.2 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemelerin Co-60 gama kaynağı ile ulaşılan deney sonuçları	109
5.2.2 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemelerin Pu-Be nötron kaynağı ile ulaşılan deney sonuçları	114
5.3 321 Paslanmaz Çelik Üzerine Volfram Temelli Kaplama Malzemeleri ile Yapılan Deneylerin Sonuçları.....	118

5.3.1 321 paslanmaz çelik üzerine volfram temelli kaplama malzemelerin gama kaynakları ile ulaşılan deney sonuçları	118
5.3.1.1 321 paslanmaz çelik üzerine volfram temelli kaplama malzemelerin Cs-137 gama kaynağı ile ulaşılan deney sonuçları.....	118
5.3.1.2 321 paslanmaz çelik üzerine volfram temelli kaplama malzemelerin Co-60 gama kaynağı ile ulaşılan deney sonuçları	121
5.3.2 321 paslanmaz çelik üzerine volfram temelli kaplama malzemenin Pu-Be nötron kaynağı ile ulaşılan deney sonuçları.....	124
5.4 Çalışılan Malzemelerin Lineer Zayıflatma Katsayılarının Hesaplanması.....	127
5.5 Çalışılan Malzemelerin Cs-137, Co-60 ve Pu-Be Radyasyonuna ait Olarak Ortalama Serbest Yol Değerlerinin Deneysel Sonuçlara Bağlı Olarak Tayini	127
5.5.1 Volfram matrisli kompozit malzemelerde Cs-137, Co-60 ve Pu-Be radyasyon kaynaklarının ortalama aldıkları serbest yolların karşılaştırılması sonuçları.....	128
5.5.1.1 Volfram matrisli kompozit malzemelerin Cs-137 gama kaynağı kullanılarak ulaşılan ortalama serbest yol değerlerinin karşılaştırmalı sonuçları.....	128
5.5.1.2 Volfram matrisli kompozit malzemelerin Co-60 gama kaynağı kullanılarak ulaşılan ortalama serbest yol değerlerinin karşılaştırmalı sonuçları.....	129
5.5.1.3 Volfram matrisli kompozit malzemelerin Pu-Be nötron kaynağı kullanılarak ulaşılan ortalama serbest yol değerlerinin karşılaştırmalı sonuçları.....	130
5.5.2 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemelerde Cs-137, Co-60 ve Pu-Be radyasyon kaynaklarının ortalama aldıkları serbest yolların karşılaştırmalı sonuçları	131
5.5.2.1 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemelerde Cs-137 gama kaynağı kullanılarak ulaşılan ortalama serbest yol değerlerinin karşılaştırmalı sonuçları	131
5.5.2.2 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemelerde Co-60 gama kaynağı kullanılarak ulaşılan ortalama serbest yol değerlerinin karşılaştırmalı sonuçları	132
5.5.2.3 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemelerin Pu-Be nötron kaynağı kullanılarak ulaşılan ortalama serbest yol değerlerinin karşılaştırmalı sonuçları	133
5.5.3 321 paslanmaz çelik üzerine volfram temelli kaplama malzemelerde Cs-137, Co-60 ve Pu-Be radyasyon kaynaklarının ortalama aldıkları serbest yolların karşılaştırmalı sonuçları	134
5.5.3.1 321 paslanmaz çelik üzerine volfram temelli kaplama malzemelerde Cs-137 gama kaynağı kullanılarak ulaşılan ortalama serbest yol değerlerinin karşılaştırmalı sonuçları	134
5.5.3.2 321 paslanmaz çelik üzerine volfram temelli kaplama malzemelerde Co-60 gama kaynağı kullanılarak ulaşılan ortalama serbest yol değerlerinin karşılaştırmalı sonuçları	135
5.5.3.3 321 paslanmaz çelik üzerine volfram temelli kaplama malzemelerde Pu-Be nötron kaynağı kullanılarak ulaşılan ortalama serbest yol değerlerinin karşılaştırmalı sonuçları	135
5.6 Çalışılan Malzemelerin Cs-137 ve Co-60 Gama Kaynaklarına İlişkin Efektif Atomik Numaralarının Tayini	136

5.6.1	Volfram matrisli kompozit malzemelerin Cs-137 gama kaynağı karşısındaki efektif atomik numaralarının sonuçları	137
5.6.2	Volfram matrisli kompozit malzemelerin Co-60 gama kaynağı karşısındaki efektif atomik numaralarının sonuçları	137
6.	XCOM BİLGİSAYAR PROGRAMI KULLANILARAK TEORİK OLARAK İNCELENEN MALZEMELERİN KÜTLE ZAYIFLATMA KATSAYILARININ BELİRLENMESİ VE DENEYSEL SONUÇLARLA MUKAYESELİ DEĞERLENDİRİLMESİ	139
6.1	XCOM Bilgisayar Programının Tanıtımı.....	140
6.2	Gama Kaynaklarına göre İncelenen Malzemelerin Deneysel ve Teorik Olarak Hesaplanan Kütle Zayıflatma Katsayılarının Tayini	142
6.2.1	Volfram matrisli kompozit malzemelerin XCOM bilgisayar programı kullanılarak teorik olarak hesaplanan kütle zayıflatma katsayılarının tayini	142
6.2.2	Volfram matrisli kompozit malzemelerin deneysel olarak hesaplanan kütle zayıflatma katsayılarının tayini	143
6.2.3	Volfram matrisli kompozit malzemelere ilişkin deneysel ve teorik olarak tayin edilen kütle zayıflatma katsayılarının karşılaştırılması değerlendirilmesi	143
6.2.4	321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemelerin XCOM bilgisayar programı kullanılarak teorik olarak hesaplanan kütle zayıflatma katsayılarının tayini	144
6.2.5	321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemelerin deneysel olarak hesaplanan kütle zayıflatma katsayılarının tayini.....	144
6.2.6	321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemelerin deneysel ve teorik olarak tayin edilen kütle zayıflatma katsayılarının karşılaştırılması değerlendirilmesi	145
6.2.7	321 paslanmaz çelik üzerine volfram temelli kaplama malzemelerin XCOM bilgisayar programı kullanılarak teorik olarak hesaplanan kütle zayıflatma katsayılarının tayini	145
6.2.8	321 paslanmaz çelik üzerine volfram temelli kaplama malzemelerin deneysel olarak hesaplanan kütle zayıflatma katsayılarının tayini.....	146
6.2.9	321 paslanmaz çelik üzerine volfram temelli kaplama malzemelerin deneysel ve teorik olarak tayin edilen kütle zayıflatma katsayılarının karşılaştırılması değerlendirilmesi	146
6.3	Çalışılan Malzemelerin Yarı-Değer ve Onda Bir-Değer Kalınlıklarının Karşılaştırılması.....	147
6.3.1	Çalışılan malzemelerin Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin olarak YDK ve ODK değerlerinin karşılaştırılması.....	147
6.3.1.1	Volfram kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerlerinin karşılaştırılması.....	148
6.3.1.2	321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemelerinin Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerlerinin karşılaştırılması.....	148
6.3.1.3	321 paslanmaz çelik üzerine volfram temelli kaplama malzemelerin Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerlerinin karşılaştırılması	149
6.3.1.4	Çalışılan malzemelerin Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerlerinin karşılaştırılması	149

6.3.2 Çalışılan malzemelerin Co-60 gama radyasyonuna ilişkin olarak YDK ve ODK değerlerinin karşılaştırılması.....	150
6.3.2.1 Volfram kompozit malzemelerin Co-60 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerlerinin karşılaştırılması.....	150
6.3.2.2 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemelerinin Co-60 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerlerinin karşılaştırılması.....	151
6.3.2.3 321 paslanmaz çelik üzerine volfram temelli kaplama malzemelerin Co-60 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerlerinin karşılaştırılması	151
6.3.2.4 Çalışılan malzemelerin Co-60 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerlerinin karşılaştırılması	152
6.3.3 Çalışılan malzemelerin Pu-Be nötron kaynağına ilişkin olarak YDK ve ODK değerlerinin karşılaştırılması.....	153
6.3.3.1 Volfram kompozit malzemelerin Pu-Be nötron kaynağına ilişkin YDK değerlerinin karşılaştırılması	153
6.3.3.2 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemelerinin Pu-Be nötron kaynağına ilişkin YDK değerlerinin karşılaştırılması.....	154
6.3.3.3 321 paslanmaz çelik üzerine volfram temelli kaplama malzemelerin Pu-Be nötron kaynağına ilişkin YDK değerlerinin karşılaştırılması	154
6.3.3.4 Çalışılan malzemelerin Pu-Be nötron kaynağına ilişkin YDK değerlerinin karşılaştırılması	155
6.3.4 Çalışılan malzemelerin Cs-137 ve Co-60 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerlerinin karşılaştırılması	156
6.3.5 Çalışılan malzemelerin Cs-137, Co-60 ve Pu-Be radyasyonuna ilişkin olarak YDK karşılaştırılması	157
7. DENEYSEL MALZEMELERİN KSENON İYONLARI İLE IŞINLANMASI VE SRIM SİMÜLASYONU KULLANILARAK SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	159
7.1 W- % ağı. 6 VC- % ağı. 1 C Volfram Kompozit Malzemelerde Ksenon İyon Işınlamalarına İlişkin Yapılan Çalışmalar	160
7.1.1 W- 6ağı% VC- 1ağı% C Volfram kompozit malzemelerde Ksenon iyon ışınlamalarına ilişkin XRD sonuçları.....	160
7.1.1.1 W- 6ağı% VC- 1ağı% C Volfram kompozit malzemelerde Ksenon iyon ışınlama öncesi XRD sonuçları	161
7.1.1.2 W- 6ağı% VC- 1ağı% C Volfram kompozit malzemelerde 10^{14} Ksenon iyon ışınlamaları sonrasında ilişkin XRD sonuçları	161
7.1.1.3 W- 6ağı% VC- 1ağı% C Volfram kompozit malzemelerde 3×10^{14} Ksenon iyon ışınlamaları sonrasında ilişkin XRD sonuçları.....	162
7.1.1.4 W- 6ağı% VC- 1ağı% C Volfram kompozit malzemelerde 5×10^{14} Ksenon iyon ışınlamalarına ilişkin XRD sonuçları	163
7.1.1.5 W- 6ağı% VC- 1ağı% C Volfram kompozit malzemelerde Ksenon iyon ışınlamaları sonrasında ilişkin karşılaştırmalı XRD sonuçları	163
7.1.2 W- % ağı. 6 VC- % ağı. 1 C Volfram kompozit malzemelerde Ksenon iyon ışınlamalarına ilişkin Raman spektroskopisi sonuçları.....	166
7.1.2.1 W- % ağı. 6 VC- % ağı. 1 C Volfram kompozit malzemelerde Ksenon iyon ışınlama öncesi Raman spektroskopisi sonuçları	166
7.1.2.2 W- % ağı. 6 VC- % ağı. 1 C Volfram kompozit malzemelerde 10^{14} Ksenon iyon ışınlamalarına ilişkin Raman spektroskopisi sonuçları	166

7.1.2.3 W- 6ağ% VC- 1ağ% C Volfram kompozit malzemelerde 3×10^{14} Ksenon iyon ışınlamalarına ilişkin Raman spektroskopisi sonuçları	167
7.1.2.4 W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C Volfram kompozit malzemelerde 5×10^{14} Ksenon iyon ışınlamalarına ilişkin Raman spektroskopisi sonuçları	168
7.1.2.5 W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerde Ksenon iyon ışınlamaları sonrasında ilişkin karşılaştırmalı Raman spektroskopisi sonuçları	168
7.2 321 Paslanmaz Çelik üzerine Alümina Bor Karbür Kaplama Malzemelerde Ksenon İyon Işınlamalarına İlişkin Yapılan Çalışmalar.....	169
7.2.1 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemelerde Ksenon iyon ışınlamalarına ilişkin XRD sonuçları	170
7.2.1.1 321 paslanmaz çelik üzerine Al_2O_3 - % ağ. 10 B_4C kaplama malzemelerin Xe iyon ışınlama öncesi ve sonrası XRD sonuçları...	170
7.2.1.2 321 paslanmaz çelik üzerine Al_2O_3 - % ağ. 20 B_4C kaplama malzemelerin Xe iyon ışınlama öncesi ve sonrası XRD sonuçları...	171
7.2.1.3 321 paslanmaz çelik üzerine Al_2O_3 - % ağ. 30 B_4C kaplama malzemelerin Xe iyon ışınlama öncesi ve sonrası XRD sonuçları...	171
7.2.1.4 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemelerde Ksenon iyon ışınlamaları sonrasında ilişkin karşılaştırmalı XRD sonuçları	172
7.2.2 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemelerde Ksenon iyon ışınlamalarına ilişkin Raman spektroskopisi sonuçları	172
7.2.2.1 321 paslanmaz çelik üzerine Al_2O_3 - % ağ. 10 B_4C kaplama malzemelerin Xe^{26+} iyon ışınlama öncesi ve sonrası Raman spektroskopisi sonuçları	173
7.2.2.2 321 paslanmaz çelik üzerine Al_2O_3 - % ağ. 20 B_4C kaplama malzemelerin Xe^{26+} iyon ışınlama öncesi ve sonrası Raman spektroskopisi sonuçları	173
7.2.2.3 321 paslanmaz çelik üzerine Al_2O_3 - % ağ. 30 B_4C kaplama malzemelerin Xe^{26+} iyon ışınlama öncesi ve sonrası Raman spektroskopisi sonuçları	174
7.2.2.4 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemelerde Ksenon iyon ışınlamalarına ilişkin Raman spektroskopisi sonuçlarının değerlendirilmesi	175
7.3 WC – % ağ. 6 Co Kompozit Malzemelerde Ksenon İyon Işınlamalarına İlişkin Yapılan Çalışmalar	176
7.3.1 WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerde Ksenon iyon ışınlamalarına ilişkin XRD sonuçları	176
7.3.1.1 WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerde Ksenon iyon ışınlama öncesi XRD sonuçları	176
7.3.1.2 WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerde 5×10^{12} Ksenon iyon ışınlamaları sonrasında ilişkin XRD sonuçları	177
7.3.1.3 WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerde 10^{13} Ksenon iyon ışınlamaları sonrasında ilişkin XRD sonuçları	178
7.3.1.4 WC-6ağ%Co kompozit malzemelerde 5×10^{13} Ksenon iyon ışınlamaları sonrasında ilişkin XRD sonuçları	178
7.3.1.5 WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerde $3,38 \times 10^{14}$ Ksenon iyon ışınlamaları sonrasında ilişkin XRD sonuçları	179
7.3.1.6 WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerde Ksenon iyon ışınlamaları sonrasında ilişkin karşılaştırmalı XRD sonuçları	179

7.3.2 WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerde Ksenon iyon ışınlamalarına ilişkin Raman spektroskopisi sonuçları	181
7.3.2.1 WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerde Ksenon iyon ışınlama ncesi Raman spektroskopisi sonuçları	181
7.3.2.2 WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerde 5×10^{12} Ksenon iyon ışınlamalarına ilişkin Raman spektroskopisi sonuçları	181
7.3.2.3 WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerde 10^{13} Ksenon iyon ışınlamalarına ilişkin Raman spektroskopisi sonuçları	182
7.3.2.4 WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerde 5×10^{13} Ksenon iyon ışınlamalarına ilişkin Raman spektroskopisi sonuçları	182
7.3.2.5 WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerde $3,38 \times 10^{14}$ Ksenon iyon ışınlamalarına ilişkin Raman spektroskopisi sonuçları	183
7.3.2.6 WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerde Ksenon iyon ışınlamaları sonrasına ilişkin karşılaştırmalı Raman spektroskopisi sonuçları	183
7.4 Hızlı Ksenon Ağır İyonların SRIM Simülasyonu Kullanılarak Malzeme Hasar Değerlendirilmesi.....	185
7.4.1 Volfram kompozit malzemelerde Ksenon iyon ışınlamalarına ilişkin SRIM programı sonuçları	186
7.4.1.1 Volfram kompozit malzemelerde 10^{14} Ksenon iyon ışınlamalarına ilişkin SRIM programı sonuçları	186
7.4.1.2 Volfram kompozit malzemelerde 3×10^{14} Ksenon iyon ışınlamalarına ilişkin SRIM programı sonuçları	187
7.4.1.3 Volfram kompozit malzemelerde 5×10^{14} Ksenon iyon ışınlamalarına ilişkin SRIM programı sonuçları	188
7.4.1.4 Volfram kompozit malzemelerde 167 MeV enerjili Ksenon iyon ışınlanmalarına ilişkin SRIM programı sonuçlarının değerlendirilmesi	188
7.4.2 321 paslanmaz elik alümina bor karbür kaplama malzemelerde Ksenon iyon ışınlamalarına ilişkin SRIM programı sonuçları	189
7.4.2.1 321 paslanmaz elik zerine Al_2O_3 - % ağ. 10 B_4C kaplama malzemelerde Ksenon iyon ışınlamalarına ilişkin SRIM programı sonuçları.....	189
7.4.2.2 321 paslanmaz elik zerine Al_2O_3 - % ağ. 20 B_4C kaplama malzemelerde Ksenon iyon ışınlamalarına ilişkin SRIM programı sonuçları.....	190
7.4.2.3 321 paslanmaz elik zerine Al_2O_3 - % ağ. 30 B_4C kaplama malzemelerde Ksenon iyon ışınlamalarına ilişkin SRIM programı sonuçları.....	190
7.4.2.4 321 paslanmaz elik alümina bor karbür kaplama malzemelerde Ksenon iyon ışınlamalarına ilişkin SRIM programı sonuçlarının değerlendirilmesi	191
7.4.3 WC – % ağ. 6 Co kompozit malzemelerde Ksenon iyon ışınlamalarına ilişkin SRIM programı sonuçları	191
7.4.3.1 WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerde 5×10^{12} Ksenon iyon ışınlamalarına ilişkin SRIM programı sonuçları	192
7.4.3.2 WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerde 10^{13} Ksenon iyon ışınlamalarına ilişkin SRIM programı sonuçları	192
7.4.3.3 WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerde 5×10^{13} Ksenon iyon ışınlamalarına ilişkin SRIM programı sonuçları	193

7.4.3.4 WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerde $3,38 \times 10^{14}$ Ksenon iyon ışınlamalarına ilişkin SRIM programı sonuçları	193
7.4.3.5 WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerde Ksenon iyon ışınlamalarına ilişkin SRIM programı sonuçlarının değerlendirilmesi	194
8. SONUÇLAR	195
KAYNAKLAR	211
ÖZGEÇMİŞ	219





KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
Dpa	: Displacement per atom
EC	: Electron Capture
IAEA	: International Atomic Energy Agency
ITER	: International Thermonuclear Experimental Reactor
JINR	: Joint Institute For Nuclear Research
LMFBR	: Liquid Metal Fast Breeder Reactors
NaI	: Sodyum İyodür
NEA	: Nuclear Energy Agency
NEI	: Nuclear Energy Institute
NH-3	: Nötron Howitzer Kaynak
ODK	: Ondabir Kalınlık Değeri
RoHS	: Restriction of Hazardous Substances
SEM	: Scanning Electron Microscope
SRIM	: Stopping and Range of Ions in Matter
TRIGA	: Training Research Isotopes General Atomic
TRIM	: Transport of Ions in Matter
XRD	: X-ray Difraksiyon
YDK	: Yarı Değer Kalınlık Değer



SEMBOLLER

\dot{L}	: Doz hızı
\dot{Q}	: Hacim başına enerji biriktirme oranı
μ	: Lineer zayıflatma katsayısı
μ_m	: Kütle zayıflatma katsayısı
A	: Kütle numarası
I	: Radyasyon şiddeti
l	: Ortalama serbest yol
R	: Menzil
Z	: Atom numarası
Z_{eff}	: Efektif atom numarası
ρ	: Yoğunluk
Σ	: Makroskopik tesir kesiti
τ	: Soğurma katsayısı



ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 : Yaygın alfa aktif bazı radyoizotoplar.....	15
Çizelge 2.2 : Bazı gama aktif radyoizotoplar.....	18
Çizelge 2.3 : Bazı nötron kaynakları ve ortalama enerjileri.....	18
Çizelge 2.4 : Farklı radyasyon tiplerinde malzeme hasarları ve olası etkileri.....	30
Çizelge 3.1 : Volfram'ın genel özellikleri.....	41
Çizelge 3.2 : Bazı önemli volfram izotopları.....	41
Çizelge 3.3 : Volfram zırh malzemelerinin özellikleri.....	42
Çizelge 3.4 : Vanadyum'un genel özellikleri.....	43
Çizelge 3.5 : Vanadyum alaşımlarının diğer aday malzemeler ile kıyaslanması.....	44
Çizelge 3.6 : Titanyum'un genel özellikleri.....	45
Çizelge 3.7 : Bor elementinin özellikleri.....	46
Çizelge 3.8 : Titanyum karbürün bazı özellikleri.....	46
Çizelge 3.9 : Vanadyum karbür'ün bazı özellikleri.....	48
Çizelge 3.10 : Bor karbür'ün özellikleri.....	49
Çizelge 3.11 : Volfram karbür'ün özellikleri.....	50
Çizelge 4.1 : Deneylerde kullanılan toz malzemelerin özellikleri.....	54
Çizelge 4.2 : W-VC-C ve W-VC-TiC-C kompozit malzemelerin kodları ve özellikleri.....	55
Çizelge 4.3 : W-B ₄ C-TiC-C kompozit malzemelerin kodları ve özellikleri.....	57
Çizelge 4.4 : WC-Co kompozit malzemelerin kodları ve özellikleri.....	59
Çizelge 4.5 : Atmosferik plazma spreynin işlem parametreleri.....	61
Çizelge 4.6 : 321 paslanmaz saf çelik ve Al ₂ O ₃ -B ₄ C kaplama kompozit malzemelerin kodları ve özellikleri.....	61
Çizelge 4.7 : Deneylerde kullanılan volfram, volfram bakır ve volfram bor karbür kaplama malzemelerin özellikleri.....	62
Çizelge 4.8 : 321 paslanmaz çelik üzerine W, W-Cu ve W-B ₄ C kaplama kompozit malzemelerin kodları ve özellikleri.....	63
Çizelge 4.9 : Deneysel çalışmalarda kullanılan gama radyoaktif kaynakların özellikleri.....	65
Çizelge 4.10 : Pu-Be nötron kaynağının (Nötron Howitzer) genel özellikleri.....	69
Çizelge 4.11 : PM1401K model çok amaçlı radyasyon dedektörünün özellikleri.....	70
Çizelge 4.12 : IC-100 hızlandırıcı genel özellikleri.....	73
Çizelge 4.13 : Radwag marka PS 600/C/2 olan hassas terazinin özellikleri.....	75
Çizelge 5.1 : 6V kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı ile yapılan deney sonuçları.....	80
Çizelge 5.2 : 12V kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı ile yapılan deney sonuçları.....	81
Çizelge 5.3 : 24V kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı ile yapılan deney sonuçları.....	81

Çizelge 5.4 : 6VT kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1C kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı ile yapılan deney sonuçları.	82
Çizelge 5.5 : 12VT kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı ile yapılan deney sonuçları.	83
Çizelge 5.6 : 24VT kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı ile yapılan deney sonuçları.	84
Çizelge 5.7 : W- % ağ. 6 B ₄ C- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı ile yapılan deney sonuçları.....	87
Çizelge 5.8 : WC- % ağ. 6 Co kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı ile yapılan deney sonuçları.	88
Çizelge 5.9 : 6V kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağı ile yapılan deney sonuçları.....	90
Çizelge 5.10 : 12V kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağı ile yapılan deney sonuçları.....	91
Çizelge 5.11 : 24V kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağı ile yapılan deney sonuçları.....	92
Çizelge 5.12 : 6VT kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağı ile yapılan deney sonuçları.	93
Çizelge 5.13 : 12VT kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağı ile yapılan deney sonuçları.	93
Çizelge 5.14 : 24VT kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağı ile yapılan deney sonuçları.	94
Çizelge 5.15 : W- % ağ. 6 B ₄ C- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağı ile yapılan deney sonuçları.....	98
Çizelge 5.16 : WC- % ağ. 6 Co kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağı ile yapılan deney sonuçları.	99
Çizelge 5.17 : W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer kaynağı ile yapılan deney sonuçları.	101
Çizelge 5.18 : W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer kaynağı ile yapılan deney sonuçları.	102
Çizelge 5.19 : W- % ağ. 6 B ₄ C- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer kaynağı ile yapılan deney sonuçları.	103
Çizelge 5.20 : WC- % ağ. 6 Co kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer kaynağı ile yapılan deney sonuçları.	104
Çizelge 5.21 : 321 paslanmaz çelik malzemelerin Cs-137 gama radyoizotopu kaynağı ile yapılan deney sonuçları.	106
Çizelge 5.22 : 321 paslanmaz çelik Al ₂ O ₃ - % ağ. 10 B ₄ C malzemelerin Cs-137 gama kaynağı ile yapılan deney sonuçları.	107
Çizelge 5.23 : 321 paslanmaz çelik Al ₂ O ₃ - % ağ. 20 B ₄ C malzemelerin Cs-137 gama kaynağı ile yapılan deney sonuçları.	108
Çizelge 5.24 : 321 paslanmaz çelik Al ₂ O ₃ - % ağ. 30 B ₄ C malzemelerin Cs-137 gama kaynağı ile yapılan deney sonuçları.	108
Çizelge 5.25 : 321 paslanmaz çelik malzemelerin Co-60 gama radyoizotopu kaynağı ile yapılan deney sonuçları.	110

Çizelge 5.26 : 321 paslanmaz çelik Al ₂ O ₃ - % ağ. 10 B ₄ C malzemelerin Co-60 gama kaynağı ile yapılan deney sonuçları.	111
Çizelge 5.27 : 321 paslanmaz çelik Al ₂ O ₃ - % ağ. 20 B ₄ C malzemelerin Co-60 gama kaynağı ile yapılan deney sonuçları.	112
Çizelge 5.28 : 321 paslanmaz çelik Al ₂ O ₃ - % ağ. 30 B ₄ C malzemelerin Co-60 gama kaynağı ile yapılan deney sonuçları.	112
Çizelge 5.29 : 321 paslanmaz çelik malzemelerin Pu-Be nötron howitzer kaynağı ile yapılan deney sonuçları.	114
Çizelge 5.30 : 321 paslanmaz çelik Al ₂ O ₃ - % ağ. 10 B ₄ C kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer kaynağı ile yapılan deney sonuçları.	115
Çizelge 5.31 : 321 paslanmaz çelik Al ₂ O ₃ - % ağ. 20 B ₄ C kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer kaynağı ile yapılan deney sonuçları.	116
Çizelge 5.32 : 321 paslanmaz çelik Al ₂ O ₃ - % ağ. 30 B ₄ C kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer kaynağı ile yapılan deney sonuçları.	117
Çizelge 5.33 : 321 paslanmaz çelik üzerine volfram kaplama malzemelerin Cs-137 gama kaynağı ile yapılan deney sonuçları.	119
Çizelge 5.34 : 321 paslanmaz çelik üzerine volfram bakır kaplama malzemelerin Cs-137 gama kaynağı ile yapılan deney sonuçları.	119
Çizelge 5.35 : 321 paslanmaz çelik üzerine volfram bor karbür kaplama malzemelerin Cs-137 gama kaynağı ile yapılan deney sonuçları.	120
Çizelge 5.36 : 321 paslanmaz çelik üzerine volfram kaplama malzemelerin Co-60 gama kaynağı ile yapılan deney sonuçları.	121
Çizelge 5.37 : 321 paslanmaz çelik üzerine volfram bakır kaplama malzemelerin Co-60 gama kaynağı ile yapılan deney sonuçları.	122
Çizelge 5.38 : 321 paslanmaz çelik üzerine volfram bor karbür kaplama malzemelerin Co-60 gama kaynağı ile yapılan deney sonuçları.	123
Çizelge 5.39 : 321 paslanmaz çelik üzerine volfram kaplama malzemelerin Pu-Be nötron howitzer kaynağı ile yapılan deney sonuçları.	124
Çizelge 5.40 : 321 paslanmaz çelik üzerine volfram bakır kaplama malzemelerin Pu-Be nötron howitzer kaynağı ile yapılan deney sonuçları.	125
Çizelge 5.41 : 321 paslanmaz çelik üzerine volfram bor karbür kaplama malzemelerin Pu-Be nötron howitzer kaynağı ile yapılan deney sonuçları.	126
Çizelge 5.42 : Deneysel çalışılan tüm kompozit malzemelerin Cs-137, Co-60 ve Pu-Be kaynakları için lineer zayıflatma katsayıları.	127
Çizelge 5.43 : Volfram matrisli kompozit malzemelerin Cs-137 gama kaynağına ilişkin ortalama serbest yol değerleri.	128
Çizelge 5.44 : Volfram matrisli kompozit malzemelerin Co-60 gama kaynağına ilişkin ortalama serbest yol değerleri.	129
Çizelge 5.45 : Volfram matrisli kompozit malzemelerin Pu-Be nötron kaynağına ilişkin ortalama serbest yol değerleri.	130
Çizelge 5.46 : 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemesinin Cs-137 gama kaynağına ilişkin ortalama serbest yol değerleri.	131
Çizelge 5.47 : 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemelerin Co-60 gama kaynağına ilişkin ortalama serbest yol değerleri.	132
Çizelge 5.48 : 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemelerin Pu-Be nötron kaynağına ilişkin ortalama serbest yol değerleri.	133

Çizelge 5.49 : 321 paslanmaz çelik üzerine volfram temelli kaplama malzemelerin Cs-137 gama kaynağına ilişkin ortalama serbest yol değerleri.	134
Çizelge 5.50 : 321 paslanmaz çelik üzerine volfram temelli kaplama malzemelerin Co-60 gama kaynağına ilişkin ortalama serbest yol değerleri.	135
Çizelge 5.51 : 321 paslanmaz çelik üzerine volfram temelli kompozit malzemelerin Pu-Be nötron kaynağına ilişkin ortalama serbest yol değerleri.	136
Çizelge 5.52 : Volfram matrisli kompozit malzemelerin Cs-137 gama kaynağına ilişkin efektif atomik numaraları değerleri.	137
Çizelge 5.53 : Volfram kompozit malzemelerin Co-60 gama kaynağına ilişkin efektif atomik numaraları değerleri.	137
Çizelge 6.1 : XCOM bilgisayar programı girdisi olarak incelenen Volfram kompozit malzemelerin kütlece yüzdeleri.	140
Çizelge 6.2 : XCOM bilgisayar programı girdisi olarak incelenen 321 paslanmaz çelik kaplama malzemelerin kütlece yüzdeleri.	141
Çizelge 6.3 : Volfram matrisli kompozit malzemelerin teorik olarak hesaplanan kütle zayıflatma katsayıları.	143
Çizelge 6.4 : Volfram matrisli kompozit malzemelerin deneysel kütle zayıflatma katsayıları.	143
Çizelge 6.5 : Volfram matrisli kompozit malzemelerin Cs-137 ve Co-60 gama radyasyonuna ilişkin deneysel ve teorik kütle zayıflatma katsayıları. ..	144
Çizelge 6.6 : 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür malzemelerin teorik olarak hesaplanan kütle zayıflatma katsayıları.	144
Çizelge 6.7 : 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür malzemelerin deneysel olarak hesaplanan kütle zayıflatma katsayıları.	145
Çizelge 6.8 : 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür malzemelerin Cs-137 ve Co-60 gama radyasyonuna ilişkin deneysel ve teorik kütle zayıflatma katsayıları.	145
Çizelge 6.9 : 321 paslanmaz çelik üzerine volfram, volfram bakır ve volfram bor karbür malzemelerin teorik olarak hesaplanan kütle zayıflatma katsayıları.	146
Çizelge 6.10 : 321 paslanmaz çelik üzerine volfram, volfram bakır ve volfram bor karbür malzemelerin deneysel olarak hesaplanan kütle zayıflatma katsayıları.	146
Çizelge 6.11 : 321 paslanmaz çelik üzerine volfram, volfram bakır ve volfram bor karbür malzemelerin Cs-137 ve Co-60 gama radyasyonuna ilişkin deneysel ve teorik kütle zayıflatma katsayıları.	146
Çizelge 6.12 : Çalışılan malzemelerin Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin YDK ve ODK değerleri.	147
Çizelge 6.13 : Çalışılan malzemelerin Co-60 gama radyasyonuna ilişkin YDK ve ODK değerleri.	150
Çizelge 6.14 : Çalışılan malzemelerin Pu-Be Nötron Howitzer nötron kaynağına ilişkin YDK ve ODK değerleri.	153

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Tek enerjili alfa demetinin havadaki ortalama menzili.....	16
Şekil 2.2 : Fotonların malzeme ile etkileşim mekanizmaları.	20
Şekil 2.3 : Fotoelektrik etkinin şematik gösterimi.....	21
Şekil 2.4 : Compton saçılmasının şematik gösterimi.	22
Şekil 2.5 : Çift oluşumunun şematik gösterimi.	23
Şekil 2.6 : Atomun yüklü bir parçacık ile iyonizasyonu.	24
Şekil 2.7 : Yüksek hızlı elektron tarafından kaynaklanan bremsstrahlung radyasyonun şematik gösterimi.....	26
Şekil 2.8 : Elektronun madde içerisindeki enerji kaybının şematik gösterimi.	26
Şekil 2.9 : Çeşitli kategorilerde nötron etkileşimlerinin şematik gösterimi.	27
Şekil 2.10 : Atomik yer değiştirmenin şematik gösterimi.	31
Şekil 3.1 : Titanyum karbürün faz diyagramı.....	47
Şekil 3.2 : Karbon-vanadyum faz diyagramı.....	48
Şekil 3.3 : Bor karbür faz diyagramı.	49
Şekil 3.4 : W-C faz diyagramı.	50
Şekil 4.1 : W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C ve W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2TiC- % ağ. 1C kompozit malzemelerin genel görünümü.....	55
Şekil 4.2 : 6 saat mekanik alaşımlanmış a) W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C ve b) W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C karışımındaki tozların 1500X taramalı elektron mikroskop (SEM) fotoğrafları.....	55
Şekil 4.3 : 12 saat mekanik alaşımlanmış a) W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C ve b) W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C karışımındaki tozların 1500X taramalı elektron mikroskop (SEM) fotoğrafları.....	56
Şekil 4.4 : 24 saat mekanik alaşımlanmış a) W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C ve b) W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C karışımındaki tozların 1500X taramalı elektron mikroskop (SEM) fotoğrafları.....	56
Şekil 4.5 : W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin XRD analizleri.....	56
Şekil 4.6 : W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin XRD analizleri.....	57
Şekil 4.7 : W- % ağ. 6 B ₄ C- % ağ. 2TiC- % ağ. 1C kompozit malzemelerin genel görünümü.	57
Şekil 4.8 : W- % ağ. 6 B ₄ C- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin XRD analizleri.....	58
Şekil 4.9 : W- % ağ. 6 B ₄ C- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1C karışımındaki tozların taramalı elektron mikroskop (SEM) fotoğrafları.....	58
Şekil 4.10 : WC- % ağ. 6 Co kompozit malzemelerin genel görünümü.	59
Şekil 4.11 : 321 paslanmaz çelik, Al ₂ O ₃ - % ağ. 10 B ₄ C, Al ₂ O ₃ - % ağ. 20 B ₄ C, Al ₂ O ₃ - % ağ. 30 B ₄ C kaplama kompozit malzemelerin genel görünümü.....	60
Şekil 4.12 : Volfram (W), volfram bakır (W-Cu) ve volfram bor karbür (W-B ₄ C) kaplama kompozit malzemelerin genel görünümü	62
Şekil 4.13 : Gama deney düzeneğinin şematik gösterimi.....	64

Şekil 4.14 : a) Co-60 ve b) Cs-137 radyoizotoplarının görünümü.	65
Şekil 4.15 : NaI sintilasyon dedektörü ve Ortec marka digibase sistemi.	65
Şekil 4.16 : Ortec Maestro çok kanallı analizör programının ara yüzü.	66
Şekil 4.17 : Deneysel çalışmalarda kullanılan kolimatör.	66
Şekil 4.18 : Kurşun bloklardan oluşan hücre sistemi.....	67
Şekil 4.19 : Nötron deney düzeniğinin şematik gösterimi.....	68
Şekil 4.20 : Nötron Howitzer sisteminin dış gösterimi.....	68
Şekil 4.21 : PM1401K model çok amaçlı dedektör.....	69
Şekil 4.22 : HP marka IPAQ model cep bilgisayarı.	71
Şekil 4.23 : H ₃ BO ₃ (borik asit) elemanlarından oluşturulan kolimatör sistemi.	71
Şekil 4.24 : IC-100 hızlandırıcı kompleksinin genel görünümü.....	72
Şekil 4.25 : IC-100 hızlandırıcı kompleksinin şematik yapısı.....	73
Şekil 4.26 : IC-100 eksenel enjeksiyon kanalının görünümü.	74
Şekil 4.27 : Radwag PS 600/C/2 marka hassas terazinin genel görünümü.	76
Şekil 4.28 : Mitutoyo marka mikrometrenin genel görünümü.	76
Şekil 5.1 : 6V kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri.	80
Şekil 5.2 : 12V kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri.	81
Şekil 5.3 : 24V kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri.	82
Şekil 5.4 : 6VT kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri.	83
Şekil 5.5 : 12VT kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri.	83
Şekil 5.6 : 24VT kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri.	84
Şekil 5.7 : 6V kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C ve 6VT kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri.....	85
Şekil 5.8 : 12V kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C ve 12VT kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri.....	85
Şekil 5.9 : 24V kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C ve 24VT kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri.....	86
Şekil 5.10 : 6V-12V-24V kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri.	86
Şekil 5.11 : 6VT-12VT-24VT kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri. ..	87
Şekil 5.12 : W-B ₄ C-TiC kodlu W- % ağ. 6 B ₄ C- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerinin Cs-137 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri.	88
Şekil 5.13 : WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerinin Cs-137 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri.....	89
Şekil 5.14 : Volfram matrisli kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri.....	89
Şekil 5.15 : 6V kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Co-60 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri.	90
Şekil 5.16 : 12V kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Co-60 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri.	91

Şekil 5.17 : 24V kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Co-60 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri.	92
Şekil 5.18 : 6VT kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Co-60 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri.....	93
Şekil 5.19 : 12VT kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Co-60 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri.....	94
Şekil 5.20 : 24VT kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Co-60 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri.....	95
Şekil 5.21 : 6V kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C ve 6VT kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Co-60 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri.	95
Şekil 5.22 : 12V kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C ve 12VT kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Co-60 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri.	96
Şekil 5.23 : 24V kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C ve 24VT kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Co-60 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri.	96
Şekil 5.24 : 6V-12V-24V kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Co-60 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri.	97
Şekil 5.25 : 6VT-12VT-24VT kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Co-60 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri. ...	97
Şekil 5.26 : W-B ₄ C-TiC kodlu W- % ağ. 6 B ₄ C- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerinin Co-60 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri.	98
Şekil 5.27 : WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerinin Co-60 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri.	99
Şekil 5.28 : Volfram matrisli kompozit malzemelerin Co-60 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri.	100
Şekil 5.29 : W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer kaynağı zayıflatma eğrileri.....	101
Şekil 5.30 : W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer kaynağı zayıflatma eğrileri.	102
Şekil 5.31 : W- % ağ. 6 B ₄ C- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer kaynağı zayıflatma eğrileri.	103
Şekil 5.32 : WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer kaynağı zayıflatma eğrileri.	104
Şekil 5.33 : Volfram matrisli kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer kaynağı zayıflatma eğrileri.	105
Şekil 5.34 : 321 paslanmaz çelik malzemelerin Cs-137 gama radyasyonu zayıflatma eğrisi.	106
Şekil 5.35 : 321 paslanmaz çelik Al ₂ O ₃ - % ağ. 10 B ₄ C malzemelerin Cs-137 gama radyasyonu zayıflatma eğrisi.....	107
Şekil 5.36 : 321 paslanmaz çelik Al ₂ O ₃ - % ağ. 20 B ₄ C malzemelerin Cs-137 gama radyasyonu zayıflatma eğrisi.....	108
Şekil 5.37 : 321 paslanmaz çelik Al ₂ O ₃ - % ağ. 30 B ₄ C malzemelerin Cs-137 gama radyasyonu zayıflatma eğrisi.....	109
Şekil 5.38 : 321 paslanmaz çelik ve alümina bor karbür malzemelerin Cs-137 gama radyasyonu zayıflatma eğrisi.....	109
Şekil 5.39 : 321 paslanmaz çelik malzemelerin Co-60 gama radyasyonu zayıflatma eğrisi.	110

Şekil 5.40 : 321 paslanmaz çelik Al ₂ O ₃ - % ağ. 10 B ₄ C malzemelerin Co-60 gama radyasyonu zayıflatma eğrisi.....	111
Şekil 5.41 : 321 paslanmaz çelik Al ₂ O ₃ - % ağ. 20 B ₄ C malzemelerin Co-60 gama radyasyonu zayıflatma eğrisi.....	112
Şekil 5.42 : 321 paslanmaz çelik Al ₂ O ₃ - % ağ. 30 B ₄ C malzemelerin Co-60 gama radyasyonu zayıflatma eğrisi.....	113
Şekil 5.43 : 321 paslanmaz çelik ve alümina bor karbür malzemelerin Co-60 gama radyasyonu zayıflatma eğrisi.....	113
Şekil 5.44 : 321 paslanmaz çelik malzemelerin Pu-Be nötron howitser kaynağı zayıflatma eğrisi.	114
Şekil 5.45 : 321 paslanmaz çelik Al ₂ O ₃ - % ağ. 10 B ₄ C malzemelerin Pu-Be nötron howitser kaynağı zayıflatma eğrisi.....	115
Şekil 5.46 : 321 paslanmaz çelik Al ₂ O ₃ - % ağ. 20 B ₄ C malzemelerin Pu-Be nötron howitser kaynağı zayıflatma eğrisi.....	116
Şekil 5.47 : 321 paslanmaz çelik Al ₂ O ₃ - % ağ. 30 B ₄ C malzemelerin Pu-Be nötron howitser kaynağı zayıflatma eğrisi.....	117
Şekil 5.48 : 321 paslanmaz çelik ve alümina bor karbür malzemelerin Pu-Be nötron howitser kaynağı zayıflatma eğrileri.	118
Şekil 5.49 : 321 paslanmaz çelik volfram kaplama malzemelerin Cs-137 gama radyasyonu zayıflatma eğrisi.	119
Şekil 5.50 : 321 paslanmaz çelik volfram bakır kaplama malzemelerin Cs-137 gama radyasyonu zayıflatma eğrisi.	120
Şekil 5.51 : 321 paslanmaz çelik volfram bor karbür kaplama malzemelerin Cs-137 gama radyasyonu zayıflatma eğrisi.	120
Şekil 5.52 : 321 paslanmaz çelik üzerine volfram temelli kaplama malzemelerin Cs-137 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri.	121
Şekil 5.53 : 321 paslanmaz çelik volfram kaplama malzemelerin Co-60 gama radyasyonu zayıflatma eğrisi.....	122
Şekil 5.54 : 321 paslanmaz çelik volfram bakır kaplama malzemelerin Co-60 gama radyasyonu zayıflatma eğrisi.....	122
Şekil 5.55 : 321 paslanmaz çelik volfram bor karbür kaplama malzemelerin Co-60 gama radyasyonu zayıflatma eğrisi.	123
Şekil 5.56 : 321 paslanmaz çelik üzerine volfram temelli kaplama malzemelerin Co-60 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri.	124
Şekil 5.57 : 321 paslanmaz çelik volfram kaplama malzemelerin Pu-Be nötron howitser kaynağı zayıflatma eğrisi.....	124
Şekil 5.58 : 321 paslanmaz çelik volfram bakır kaplama malzemelerin Pu-Be nötron howitser kaynağı zayıflatma eğrisi.....	125
Şekil 5.59 : 321 paslanmaz çelik volfram bor karbür kaplama malzemelerin Pu-Be nötron howitser kaynağı zayıflatma eğrisi.	126
Şekil 5.60 : 321 paslanmaz çelik üzerine volfram temelli kaplama malzemelerin Pu-Be nötron howitser kaynağı zayıflatma eğrileri.	126
Şekil 5.61 : Volfram matrisli kompozit malzemelerin Cs-137 gama kaynağına ilişkin ortalama serbest yol grafikleri.....	129
Şekil 5.62 : Volfram matrisli kompozit malzemelerin Co-60 gama kaynağına ilişkin ortalama serbest yol grafikleri.....	130
Şekil 5.63 : Volfram matrisli kompozit malzemelerin Pu-Be nötron kaynağına ilişkin ortalama serbest yol grafikleri.....	130
Şekil 5.64 : 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemelerin Cs-137 gama kaynağına ilişkin ortalama serbest yol grafikleri.	132

Şekil 5.65 : 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemelerin Co-60 gama kaynağına ilişkin ortalama serbest yol grafikleri.....	133
Şekil 5.66 : 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemelerin Pu-Be nötron kaynağına ilişkin ortalama serbest yol grafikleri.....	133
Şekil 5.67 : 321 paslanmaz çelik üzerine volfram temelli kaplama malzemelerin Cs-137 gama kaynağına ilişkin ortalama serbest yol grafikleri.....	134
Şekil 5.68 : 321 paslanmaz çelik üzerine volfram temelli kaplama malzemelerin Co-60 gama kaynağına ilişkin ortalama serbest yol grafikleri.....	135
Şekil 5.69 : 321 paslanmaz çelik üzerine volfram temelli kaplama malzemelerin Pu-Be nötron kaynağına ilişkin ortalama serbest yol grafikleri.	136
Şekil 6.1 : Çalışılan XCOM bilgisayar programının ara yüzü.....	142
Şekil 6.2 : Volfram matrisli kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin olarak YDK karşılaştırılması.....	148
Şekil 6.3 : 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemelerin Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin olarak YDK karşılaştırılması.	148
Şekil 6.4 : 321 paslanmaz çelik üzerine Volfram temelli kaplama malzemelerin Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin olarak YDK karşılaştırılması.....	149
Şekil 6.5 : Çalışılan tüm malzemelerin Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin olarak YDK karşılaştırılması.....	149
Şekil 6.6 : Volfram matrisli kompozit malzemelerin Co-60 gama radyasyonuna ilişkin olarak YDK karşılaştırılması.....	151
Şekil 6.7 : 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemelerin Co-60 gama radyasyonuna ilişkin olarak YDK karşılaştırılması.....	151
Şekil 6.8 : 321 paslanmaz çelik üzerine volfram temelli kaplama malzemelerin Co-60 gama radyasyonuna ilişkin olarak YDK karşılaştırılması.....	152
Şekil 6.9 : Çalışılan tüm malzemelerin Co-60 gama radyasyonuna ilişkin olarak YDK karşılaştırılması.....	152
Şekil 6.10 : Volfram matrisli kompozit malzemelerin Pu-Be nötron kaynağına ilişkin olarak YDK karşılaştırılması.....	154
Şekil 6.11 : 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemelerin Pu-Be nötron kaynağına ilişkin olarak YDK karşılaştırılması.....	154
Şekil 6.12 : 321 paslanmaz çelik üzerine volfram temelli kompozit malzemelerin Pu-Be nötron kaynağına ilişkin olarak YDK karşılaştırılması.	155
Şekil 6.13 : Çalışılan tüm malzemelerin Pu-Be nötron kaynağına ilişkin olarak YDK karşılaştırılması.	155
Şekil 6.14 : Çalışılan tüm malzemelerin Cs-137 ve Co-60 gama radyasyonuna ilişkin olarak YDK karşılaştırılması.....	156
Şekil 6.15 : Çalışılan tüm malzemelerin Cs-137 ve Co-60 gama radyasyonuna ilişkin olarak ODK karşılaştırılması.....	156
Şekil 6.16 : Çalışılan tüm malzemelerin Cs-137, Co-60 ve Pu-Be radyasyonuna ilişkin olarak YDK karşılaştırılması.....	157
Şekil 6.17 : Çalışılan tüm malzemelerin Cs-137, Co-60 ve Pu-Be radyasyonuna ilişkin olarak ODK karşılaştırılması.....	157
Şekil 7.1 : W-6ağ%VC-1ağ%C kompozit malzemelerin Xe ²⁶⁺ ışınlama öncesi XRD analizleri.	161
Şekil 7.2 : W-6ağ%VC-1ağ%C kompozit malzemelerin 10 ¹⁴ Xe ²⁶⁺ iyon/cm ² ışınlama sonrası XRD analizleri.	162
Şekil 7.3 : W-6ağ%VC-1ağ%C kompozit malzemelerin 3x10 ¹⁴ Xe ²⁶⁺ iyon/cm ² ışınlama sonrası XRD analizleri.....	162

Şekil 7.4 : W-6ağ%VC-1ağ%C kompozit malzemelerin 5×10^{14} Xe ²⁶⁺ iyon/cm ² ışınlama sonrası XRD analizleri.....	163
Şekil 7.5 : W-% ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Xe iyon ışınlamaları öncesi ve sonrası karşılaştırılmalı XRD analizleri.	164
Şekil 7.6 : W-% ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin maksimum volfram piklerinin Xe ²⁶⁺ iyon ışınlama dozuna bağlı olarak karşılaştırılmalı XRD analizleri.	165
Şekil 7.7 : W-% ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin kafes parametrelerinin Xe ²⁶⁺ iyon ışınlama dozuna bağlı olarak değişiminin gösterimi.	165
Şekil 7.8 : W-% ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Xe ²⁶⁺ iyon ışınlama öncesi Raman spektroskopisi analizleri.	166
Şekil 7.9 : W-% ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin 10^{14} Xe iyon/cm ² ışınlama sonrası Raman spektroskopisi analizleri.	167
Şekil 7.10 : W-% ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin 3×10^{14} Xe ²⁶⁺ iyon/cm ² ışınlama sonrası Raman spektroskopisi analizleri.	167
Şekil 7.11 : W-% ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin 5×10^{14} Xe ²⁶⁺ iyon/cm ² ışınlama sonrası Raman spektroskopisi analizleri.	168
Şekil 7.12 : 321 paslanmaz çelik Al ₂ O ₃ - % ağ. 10 B ₄ C malzemelerin 10^{14} Xe ²⁶⁺ iyon/cm ² ışınlanması neticesinde elde edilen XRD analizleri.....	170
Şekil 7.13 : 321 paslanmaz çelik Al ₂ O ₃ - % ağ. 20 B ₄ C malzemelerin 10^{14} Xe ²⁶⁺ iyon/cm ² ışınlanması neticesinde elde edilen XRD analizleri.....	171
Şekil 7.14 : 321 paslanmaz çelik Al ₂ O ₃ - % ağ. 30 B ₄ C malzemelerin 10^{14} Xe iyon/cm ² ışınlanması neticesinde elde edilen XRD analizleri.....	171
Şekil 7.15 : 321 paslanmaz çelik Al ₂ O ₃ - % ağ. 10 B ₄ C malzemelerin Raman spektroskopik sonuçları.....	173
Şekil 7.16 : 321 paslanmaz çelik Al ₂ O ₃ - % ağ. 20 B ₄ C malzemelerin Raman spektroskopik sonuçları.....	174
Şekil 7.17 : 321 paslanmaz çelik Al ₂ O ₃ - % ağ. 30 B ₄ C malzemelerin Raman spektroskopik sonuçları.....	174
Şekil 7.18 : WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerin Xe ²⁶⁺ ışınlama öncesi XRD analizleri.	177
Şekil 7.19 : WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerin 5×10^{12} Xe ²⁶⁺ iyon/cm ² ışınlama sonrası XRD analizleri.	177
Şekil 7.20 : WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerin 10^{13} Xe ²⁶⁺ iyon/cm ² ışınlama sonrası XRD analizleri.	178
Şekil 7.21 : WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerin 5×10^{13} Xe ²⁶⁺ iyon/cm ² ışınlama sonrası XRD analizleri.	178
Şekil 7.22 : WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerin $3,38 \times 10^{14}$ Xe ²⁶⁺ iyon/cm ² ışınlama sonrası XRD analizleri.....	179
Şekil 7.23 : WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerin Xe ²⁶⁺ iyon ışınlamaları öncesi ve sonrası karşılaştırılmalı XRD analizleri.	180
Şekil 7.24 : WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerin maksimum Volfram karbür piklerinin Xe ²⁶⁺ iyon ışınlama dozuna bağlı olarak karşılaştırılmalı XRD analizleri.	180
Şekil 7.25 : WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerin Xe ²⁶⁺ iyon ışınlama öncesi Raman spektroskopisi analizleri.....	181
Şekil 7.26 : WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerin 5×10^{12} Xe ²⁶⁺ iyon/cm ² ışınlama sonrası Raman spektroskopisi analizleri.	182
Şekil 7.27 : WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerin 10^{13} Xe ²⁶⁺ iyon/cm ² ışınlama sonrası Raman spektroskopisi analizleri.	182

Şekil 7.28 : WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerin 5×10^{13} Xe ²⁶⁺ iyon/cm ² ışınlama sonrası Raman spektroskopisi analizleri.	183
Şekil 7.29 : WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerin $3,38 \times 10^{14}$ Xe ²⁶⁺ iyon/cm ² ışınlama sonrası Raman spektroskopisi analizleri.....	183
Şekil 7.30 : WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerin Xe iyon ışınlamalarına ilişkin karşılaştırmalı Raman spektroskopisi analizleri.....	184
Şekil 7.31 : SRIM programının ara yüzü.....	185
Şekil 7.32 : 167 MeV enerjili Xe ²⁶⁺ iyonlarının 10^{14} iyon/cm ² dozunda W-% ağ. 6 VC- % ağ. 1 C malzemelerde oluşturduğu atom başına yer değiştirme sayısı ve menzili.	187
Şekil 7.33 : 167 MeV enerjili Xe ²⁶⁺ iyonlarının 3×10^{14} iyon/cm ² dozunda W-% ağ. 6 VC- % ağ. 1 C malzemelerde oluşturduğu atom başına yer değiştirme sayısı ve menzili.	187
Şekil 7.34 : 167 MeV enerjili Xe iyonlarının 5×10^{14} iyon/cm ² dozunda W-% ağ. 6 VC- % ağ. 1 C malzemelerde oluşturduğu atom başına yer değiştirme sayısı ve menzili.	188
Şekil 7.35 : 167 MeV enerjili Xe iyonlarının W-% ağ. 6 VC- % ağ. 1 C malzemelerde oluşturduğu atom başına yer değiştirme sayısı ve menzillerinin karşılaştırılması.	188
Şekil 7.36 : 167 MeV enerjili Xe ²⁶⁺ iyonlarının Al ₂ O ₃ - % ağ. 10 B ₄ C kaplama malzemelerde oluşturduğu atom başına yer değiştirme sayısı ve menzili.	189
Şekil 7.37 : 167 MeV enerjili Xe ²⁶⁺ iyonlarının Al ₂ O ₃ - % ağ. 20 B ₄ C kaplama malzemelerde oluşturduğu atom başına yer değiştirme sayısı ve menzili.	190
Şekil 7.38 : 167 MeV enerjili Xe ²⁶⁺ iyonlarının Al ₂ O ₃ - % ağ. 30 B ₄ C kaplama malzemelerde oluşturduğu atom başına yer değiştirme sayısı ve menzili.	190
Şekil 7.39 : 167 MeV enerjili Xe ²⁶⁺ iyonlarının Alümina bor karbür kaplama malzemelerde oluşturduğu atom başına yer değiştirme sayısı ve menzillerinin karşılaştırılması.	191
Şekil 7.40 : 167 MeV enerjili Xe ²⁶⁺ iyonlarının 5×10^{12} iyon/cm ² dozunda WC-% ağ. 6 Co malzemelerde oluşturduğu atom başına yer değiştirme sayısı ve menzili.....	192
Şekil 7.41 : 167 MeV enerjili Xe ²⁶⁺ iyonlarının 10^{13} iyon/cm ² dozunda WC-% ağ. 6 Co malzemelerde oluşturduğu atom başına yer değiştirme sayısı ve menzili.....	192
Şekil 7.42 : 167 MeV enerjili Xe ²⁶⁺ iyonlarının 5×10^{13} iyon/cm ² dozunda WC-% ağ. 6 Co malzemelerde oluşturduğu atom başına yer değiştirme sayısı ve menzili.....	193
Şekil 7.43 : 167 MeV enerjili Xe ²⁶⁺ iyonlarının $3,38 \times 10^{14}$ iyon/cm ² dozunda WC-% ağ. 6 Co malzemelerde oluşturduğu atom başına yer değiştirme sayısı ve menzili.....	193
Şekil 7.44 : 167 MeV enerjili Xe iyonlarının WC-% ağ. 6 Co malzemelerde oluşturduğu atom başına yer değiştirme sayısı ve menzillerinin karşılaştırılması.	194



ÖZEL HİBRİT KOMPOZİT MALZEMELERİN RADYASYON KARŞISINDA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ - XCOM İLE İRDELENMESİ, Xe²⁶⁺ İYONLARI KARŞISINDA HASARININ SRIM SİMÜLASYONU İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZET

Bu doktora tez çalışmasıyla öncelikle radyasyon zırh malzemesi olarak kullanılabilir özgün hibrit kompozit malzemelerin geliştirilmesi ve radyasyon karşısındaki davranışlarının incelenmesi amaçlanmıştır. Bununla beraber aynı zamanda, başta nükleer teknoloji olmak üzere diğer yüksek teknolojiler için örneğin; uzay teknolojisi, hidrojen teknolojisi, nanoteknoloji ve savunma teknolojisi gibi teknolojilerde de kullanılabilir uygun bir malzemeyle çalışılması hedeflenmiştir.

Çalışılan hibrit kompozit malzemeler, bu doktora tezine özgün olup, volfram matrisli hibrit kompozitlerle (W- % ağırlık 6 VC- % ağırlık 1 C, W- % ağırlık 6 VC- % ağırlık 2 TiC- % ağırlık 1 C, W- % ağırlık 6 B₄C- % ağırlık 2 TiC- % ağırlık 1 C ve WC- % ağırlık 6 Co), paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama ve yine paslanmaz çelik üzerine volfram esaslı kaplama malzemelerdir.

Burada, söz konusu bu özgün malzemeler oluşturulurken birkaç önemli husus göz önünde bulundurulmuştur. Bunlardan biri; volfram'ın ağır bir element olması ve girici elektromanyetik radyasyonu durdurma kabiliyetinin yüksek olmasının düşünülmesidir. Bir diğeri; borun nötronları durdurma kabiliyetinin yüksek olduğunun bilinmesidir.

Farklı bir hususta söz konusu bu elementlerin hibrit malzeme temel malzemesi olarak kullanımı yerine kaplama elemanı halinde olması durumunda ulaşılabilecek sonuçların irdelenmesidir. Bu bağlamda, nükleer teknolojide sıkça kullanılan bir malzeme olan paslanmaz çelik temel malzeme olarak alınarak üzerine çalışılan elementleri içeren kaplamaların yapılması halindeki durum incelenmeye çalışılmıştır.

Hibrit kompozit malzemelerde imalat tekniği açısından ve çalışmanın amacına uygun olacağı düşünülerek vanadyum, titanyum, kobalt ve karbür yapısı içinde karbon da kullanılmıştır. Bunlardan ayrı bir husus da; hem volfram'ın ve hem de borun ülkemizin önemli maden zenginliklerinden olması ve ulaşılan sonuçların uygun ve yeterli olması halinde ülke ekonomisine kazandırabileceği katma değer olasılığıdır.

Öte yandan, çalışılan malzemelerin radyasyon zırh malzemesi olarak kullanılma potansiyeli de mevcut görülmüştür. Bu bağlamda, Avrupa Birliği (AB)'nin direktiflerinde bulunan ve kimi zararlı maddelerin teknolojide kullanımını kısıtlayan RoHS uygulamaları içinde, nükleer teknolojide sıkça radyasyon zırh malzemesi olarak kullanılan kurşun da bulunmakta ve kurşun kullanımının kısıtlanmasına çalışılmaktadır. Dolayısıyla, bu doktora tez çalışmasında, özgün olarak oluşturulan hibrit kompozit malzemelerin gama radyasyonunun zırhlamasında kurşuna bir alternatif olabilecek element volfram olduğundan çalışılan hibrit kompozit malzemelerin bu bakımdan da uygun olabileceği düşünülmüştür. Ayrıca, nükleer reaktör teknolojisi için nötronlar da başat radyasyon tipi olup nötron zırhlamasının da düşünülmesi gerekmektedir. Burada da borun nötron yutucusu olarak yadsınamaz

özellikleri bulunmaktadır. Ayrıca, (karbür yapısı içinde yer alan) karbonun nötronun moderasyonunda önemli olduğu da göz önüne alınmıştır. Bütün bu hususlar düşünülerek bu doktora tez çalışmasında volfram ve borlu hibrit kompozitlerle çalışılması benimsenmiş olup bu doktora tezinin malzemeye ilişkin özgünlüğünü oluşturmaktadırlar.

Söz konusu hibrit kompozit malzemelerin öncelikle girici radyasyonlardan önemlileri olan gama ve nötron radyasyonu karşısındaki davranışları incelenmeye çalışılmıştır. Bu bağlamda, deneysel çalışmalarla ulaşılan sonuçlar XCOM Bilgisayar programı yardımı ile teorik manada hesaplamalar yapılarak deneysel sonuçların irdelemesi gerçekleştirilmiştir. Fazla olarak, çalışılan malzemelerin ileri nükleer teknoloji uygulamalarında kullanılması halinde malzemelerde oluşabilecek hasarlara ilişkin olarak malzemelerin Rusya/Dubna Joint Institute For Nuclear Research Flerov Nükleer Reaksiyonlar Laboratuvarlarında 167 MeV enerjili farklı dozlarda olmak üzere Xe^{26+} iyon ışınlanmaları gerçekleştirilmiş ve ileri nükleer teknikler kullanılarak durumlarının değerlendirilmesi de yapılmıştır.

Çalışılan hibrit kompozit malzemelerin radyasyon karşısındaki davranışlarının incelenmesine ilişkin olarak gama radyasyonu ile ilgili çalışmaların yapılabilmesi için nükleer uygulamalarda tercih edilerek kullanılan iki önemli gama radyoizotop kaynağı ile çalışılması benimsenmiştir. Söz konusu gama radyoizotop kaynaklar; Cs-137 ve Co-60 gama radyoizotop kaynaklarıdır. İlk çalışılan Cs-137 gama radyoizotop kaynağının tercih edilmesinin sebebi monokromatik enerjili bir radyoizotop kaynak olması ve sahip olduğu enerji piki (667 keV) ile hem fotoelektrik ve hem de Compton saçılması etkisinin gözlenebilir olmasıdır. İkinci çalışılan Co-60 gama radyoizotop kaynağı ise enerji piklerinin 1 MeV'in üzerinde olması (1,17 MeV ve 1,33 MeV) ve böylelikle fotoelektrik ve Compton saçılması etkilerinin yanısıra çift oluşumu etkisinin de incelenmesinin mümkün olmasıdır. Nötron kaynağı olarak kullanılan Pu-Be nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağı ile de hibrit kompozit malzemelere ilişkin nötron deneyleri gerçekleştirilmiştir.

XCOM bilgisayar programı kullanılarak teorik olarak hesaplanan kütle zayıflatma katsayıları ile deneysel çalışmalardan hareketle hesaplanan kütle zayıflatma katsayıları arasındaki farkların kabul edilebilir mertebelerde olduğu görülmüş ve böylelikle deneysel çalışmaların güvenilirliği kanıtlanmıştır.

Yapılan deneysel çalışmalardan hareketle hibrit kompozit malzemelere ilişkin lineer zayıflatma katsayısı, yarı-değer kalınlığı (YDK) ve onda-bir değer kalınlık (ODK) değerleri, ortalama serbest yol ve efektif atomik numaraları hesaplanmıştır.

Bunlardan ayrı olarak yapılan çalışmalarla, çalışılan malzemeler için de en uygun bulunan malzemelerin radyasyon hasar çalışmalarının değerlendirilmesine ilişkin olarak 167 MeV enerjili Xe^{26+} iyonlarıyla farklı doz değerlerinde olmak üzere ışınlanmaları da gerçekleştirilmiştir. Her bir doz değeri için ayrı ayrı ve karşılaştırmalı olarak X-ışını difraksiyon (XRD) ve Raman spektroskopik analizleri yapılmıştır. Ayrıca, 167 MeV enerjili Xe^{26+} iyonların malzemelerde oluşturduğu radyasyon hasarı ve malzemeler üzerinde ulaştığı derinlik profilleri SRIM programı kullanılarak tayin edilmiştir. Alınan sonuçlarla genel olarak malzemelerin radyasyon hasarına dirençli olduğu kanaati edinilmiştir.

Böylelikle, çeşitli yönlerden özgün ve nükleer teknolojide kullanılabileceği gibi bu konu dışında da ileri teknoloji uygulamalarında (nano teknoloji ve uzay teknolojisi vb. gibi diğer ileri teknolojilerde) kullanılabilme olasılığı olan hibrit kompozit

malzemelere ilişkin olarak radyasyon davranışlarının incelenmesinin yanısıra radyasyon hasarı konusunda da ileri bilgiler edinilebilmiştir.





ASSESSMENT OF SPECIAL HYBRID COMPOSITE MATERIALS AGAINST RADIATION, ANALYSIS BY XCOM PROGRAM, EVALUATION OF RADIATION DAMAGE WITH Xe⁺²⁶ IONS BY SRIM SIMULATION

SUMMARY

The aim of this doctoral dissertation is to develop unique hybrid composite materials, which can be used as radiation shielding materials and to investigate their behavior against radiation. It is also aimed to work with a suitable material that firstly can be used in nuclear technologies, as well as, for other technologies such as space technologies, hydrogen technologies, nanotechnologies, and defense technologies.

The studied hybrid composite materials for this doctoral dissertation are original. The hybrid composite materials comprise of wolfram matrix hybrid composites (W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C, W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C, W- % ağ. 6 B₄C- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C ve WC- % ağ. 6 Co), Alumina boron carbide coatings on stainless steel, and wolfram-based coatings on stainless steel.

Wolfram (W) based materials are known as refractory materials. Adding carbides such as VC and TiC into W matrix is one of the most effective way to grain growth mechanism. They have excellent properties such as high melting point, high modulus, high resistance of thermal shock, and high temperature strength. Wolfram based materials are important for nuclear applications, especially fusion reactor applications. In addition, wolfram based composites have comparatively high gamma radiation shielding properties.

However, wolfram has still several drawbacks like poor oxidation resistance which would produce harmful effects on chemical and physical features of wolfram-based components, brittleness at low temperature, and high radioactivity (short-term waste, decay after heat). At this point, wolfram and wolfram alloys demand to improve their performance in order to achieve the desired properties for shielding.

Vanadium and titanium alloys are low activation materials in the nature of things and so have many advantageous properties. Vanadium alloys have more than one advantage particularly in the shielding materials. They have been identified as a promising candidate material for fusion first-wall blanket applications in the fusion systems because of their high thermal stress factor, low activation properties and resistance to irradiation damage. Titanium carbide is an extremely high heat resistance ceramic material which has high melting point, low density, high hardness, superior chemical and thermal stabilities.

Boron carbide compounds have been widely used in nuclear technology due to its low density, high melting temperature and high neutron absorption cross-section of the boron isotope ¹⁰B. Boron carbide materials have extremely good hardness, high mechanical properties, and also highly resistant to chemicals. They are widely used in advanced technology such as neutron absorber and ballistic armor materials. Boron carbide compounds retain its basic structure when formed in interaction with a different energetic neutron flow in processes.

Wolfram coatings are considered as the shielding materials for the plasma facing components in order to improve their properties. W-Cu composites have been used for many applications due to high thermal and electrical conductivity of copper as well as high density, high melting point and high erosion resistance of wolfram. There are several techniques to produce coating materials such as VPS (vacuum plasma spraying), PVD (physical vapor deposition), CVD (chemical vapor deposition) and atmospheric plasma spraying technique (APS). In this doctoral dissertation, wolfram coatings were produced atmospheric plasma spraying technique (APS) which is relatively low cost and high deposition rate. On the other hand APS-W coatings have some disadvantages such as being handily oxidized, high porosity and comparing with poor physical and mechanical properties.

In this doctoral dissertation, wolfram-based composite materials were fabricated by mechanical alloying (MA) technique at the room temperature. MA is a powder processing technique that has attracted great attention because it allows production of homogeneous materials starting from blended elemental powder mixtures. In addition, MA as a production procedure is usually a dry, high-energy ball milling technique and has been utilized to manufacture a variety of commercially handy and scientifically attractive materials.

Here, a few important considerations have been taken into account when selecting these specific materials. One of these, it is thought that wolfram is a heavy element and that its ability to stop the electromagnetic radiation will be high. Another reason, boron is known to have a high ability to absorb neutrons.

A further consideration is to investigate the results that can be achieved if these elements are in the form of a coating element rather than the use as the base material of the hybrid material. In this context, stainless steel, which is a frequently used material in nuclear technology, was taken as the base material and the situation in which coatings containing the base elements have been tried to examine.

In hybrid composite materials, vanadium, titanium, cobalt and boron carbide were used in terms of manufacturing technique and considering the purpose of the study. Apart from these, a different matter; is the possibility that both wolfram and boron are one of the important mineral riches of our country and it can bring added-value to the national economy if the results reached are appropriate and sufficient.

On the other hand, the potential of the studied materials to be used as radiation shielding material was also considered. In this context, RoHS applications included in the directives of the European Union (EU) and restricting the use of certain harmful substances in technology included lead, which is frequently used as radiation shielding material in nuclear technology and attempts are made to limit the use of lead.

Therefore, in this doctoral dissertation, it was thought that hybrid composite materials which are based on wolfram can be used as an alternative material naturally against gamma radiation.

The differences between the theoretically calculated mass attenuation coefficients using the XCOM computer program and the mass attenuation coefficients calculated from the experimental studies were found to be acceptable and thus the reliability of the experimental studies was proved.

Based on the experimental studies, linear attenuation coefficient, half-value thickness (HVL) and one-tenth thickness (TVL) values, the average free path and effective atomic numbers of hybrid composite materials were calculated.

Apart from these studies, irradiation was also performed with 167 MeV energy Xe^{26+} ions with different dose values in order to evaluate the radiation damage of the materials which were found to be the most suitable material among the examined materials.

For each dose value, X-ray diffraction (XRD) and Raman spectroscopic analyses were performed separately and comparatively. Moreover, radiation damage caused by 167 MeV energy Xe^{26+} ions and the depth profiles reached on the materials were determined by using the SRIM program. In general, it was concluded that the examined materials are resistant to radiation damage.

Thus, in addition to examining the radiation behavior of the hybrid composite materials, which are unique in various aspects and are likely to be used in nuclear technology. It was also obtained information regarding radiation damage of these materials, which may also be used in advanced technology applications such as nanotechnology and space technologies.





1. GİRİŞ

Günümüzde enerji ve enerji uzantılı tüm kavramların yadsınamaz stratejik önemi bulunmaktadır. Artan enerji talebi ve kısıtlı enerji kaynakları tüm dünyayı temiz ve güvenli enerjiyi bulma arayışına itmiştir. Enerjinin gelişmişlik ölçütü olarak kullanıldığı günümüz dünyasında, gelişmiş veya gelişimini henüz tamamlamamış tüm dünya devletleri için enerji kaynaklarının doğru kullanılması her zaman ana gündem maddesi olmaktadır. Dünya enerji tüketimi, esas itibariyle insanların refahlarını sağlamak için yapmak istedikleri faaliyet silsileleriyle artmaktadır. Bu bağlamda düşünüldüğünde nüfus artışı, sanayileşme ve teknolojik gelişim ile beraber enerji talebi de günden güne artmaktadır (Tuğrul, 2014).

Bugün dünyada büyük ölçüde yenilenemeyen enerji kaynakları kullanılmaktadır. Dünya birincil enerji tüketimi kaynaklarının payına baktığımızda ilk sırada petrol, arkasından kömür ve doğalgazın geldiği görülmektedir. Fosil yakıtları gelecek çerçevesi içinde, çevre ve yaşanılabilir dünya şartlarının sürdürülebilirliği açısından değerlendirdiğimizde, özellikle son yüzyılda sera gazları ve karbon salımının artmış olması göz ardı edilememektedir. Bu bağlamda, küresel iklim değişiklikleri de üzerinde durulması gereken ayrı bir hususu oluşturmaktadır (Tuğrul ve Çimen, 2015).

Küresel boyuttaki bu sorunlar, baz santral olması ve bu bağlamda emre amadelik şartlarını sağlayan, fosil yakıtlı santrallar dışındaki enerji üretim santralları olarak nükleer santralları gündeme getirmektedir. Günümüzde ticarileşmiş olan santrallar olan fisyon esaslı nükleer güç reaktörleri ve ileri nükleer güç santralları için yeni teknolojik uygulamalara gereksinim bulunmaktadır.

21.yy'da artan nüfus ve bunun yanında gelişen sanayi ve teknoloji ile ve bu bağlamda emre amadelik şartlarını sağlayan, fosil yakıtlı santrallar dışındaki enerji üretim santralları olarak nükleer santralları gündeme getirmektedir. Bu sebepten günümüzde ticarileşmiş olan santrallar olan fisyon esaslı nükleer güç reaktörleri ve ileri nükleer güç santralları için yeni teknolojik uygulamalara gereksinim bulunmaktadır.

İlk ticari nükleer güç reaktörlerinin 1950 yıllarından beri işleme alınmasından itibaren günümüze gelene kadar 31 farklı ülkede yaklaşık 350 GWe kapasiteye sahip 440'tan fazla nükleer güç reaktörü çalıştırılmaktadır. Karbon salımı yapmadan güvenilir bir şekilde dünya çapında üretilen elektriğin yaklaşık %11'ini oluşturan bu tesislere ilaveten 55 ülkede toplamda 245 araştırma reaktörü bulunmaktadır ve bunlara ek olarak 60 reaktör hali hazırda yapım aşamasındadır (IAEA, 2018).

2017 yılında elektrik üretiminin %20'sini nükleer tesislerden karşılayan ABD'de 99 adet nükleer reaktör işletme halinde bulunmaktadır ve bunlara ilaveten 2 Nükleer reaktör inşaatı halen devam etmektedir (NEI, 2018). Elektrik üretiminin yaklaşık %18'lik kısmını nükleer santrallerden sağlamakta olan Rusya'da ise 35 nükleer reaktör işletim halindedir ve 7 nükleer reaktör yapım aşamasındadır. Öte yandan, nükleer teknoloji bakımından Avrupa'nın en önde gelen ülkelerinden biri olan Fransa'da ise 58 Nükleer güç reaktörü işletim halinde olmakla beraber ülkedeki elektrik üretiminin %71,6 oluşturmaktadır (IAEA, 2018). Fukuşima nükleer kazası sonrasında 8 nükleer reaktörünü kapatan Almanya'da 7 nükleer işletimde olup, üretilen elektrik enerjisinin %13'lük kısmını nükleer güç tesisleri oluşturmaktadır (IAEA, 2018).

Nükleer sanayi, çeşitli sermaye biçimlerini içeren büyük bir varlığı temsil etmektedir. Bu bağlamda Nükleer santrallerin ikame değeri yaklaşık olarak 700 milyar dolar olarak ifade edilmektedir (NEA, 2000).

Nükleer enerjinin bol miktarda kaynak tabanı vardır ve mevcut rezervler nükleer yakıt üretimini yıllarca destekleyecek kadar geniştir. Nükleer yakıtın maliyeti nükleer elektriğin maliyetinin küçük bir oranı olduğundan, yüksek yakıt fiyatları nükleer enerjinin rekabetçi konumunu maddi olarak etkilemeksizin çok daha fazla kaynak sağlayabilmektedir. Ayrıca, nükleer enerjinin kaynak tabanı, fisil malzemelerin geri dönüşümü ile beraber gelişmiş yakıt çevrimlerinin uygulanması yoluyla genişletilebilmektedir. Bu bakımdan, nükleer enerji ile ilgili kaynakların etkin kullanımı ile nükleer enerji sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle de tutarlılık göstermektedir.

Eski fosil yakıtlı tesislerin özellikle de CO₂ salımında başı çeken kömür santrallerinin yerini almak ve birçok ülkede artan elektrik enerjisi beklentilerini karşılamak için dünyada yeni üretim kapasitesine açık bir ihtiyaç bulunmaktadır. Dünya çapında yaklaşık 127.000 fosil yakıtlı tesis bulunmaktadır ve bu tesislerin %96.5'u 300 MW

ve daha az kapasite üretim yapmaktır. Yine bu tesislerin dördte biri 30 yaş ve üzerinde bulunmaktadır (NEA, 2000).

Fisyon reaktörlerinin güçlerinin daha da artırılması veya hızlı üretken reaktörlerin geliştirilmesi ya da füzyon reaktörlerinin ticarileştirilebilmesi için yeni ve inovatif teknolojik gelişmeler üzerinde çalışmak gerekmektedir. Tüm bu gelişimlerin sağlanabilmesi, önemli ölçüde yüksek sıcaklık ve darbeli çalışma şartlarına dayanıklı, mukavemeti ve ısı direnci yüksek özel malzemelerin kullanılmasını gerekli kılmaktadır. Fazla olarak, bu malzemelerin radyasyon dayanıklılığının ve de radyasyon zırlaması açısından da uygun şartları sağlıyor olması mutlaka gerekmektedir.

Nükleer teknoloji, özel malzemelerin kullanıldığı ileri bir teknoloji durumundadır. Bu bağlamda, gelişen teknolojik şartlar ve talepler çerçevesinde yeni ve gelişkin malzemelere gereksinim duyulmaktadır. Nükleer teknolojinin farklı dallarında böylesi özel ve gelişkin malzemeler talep edilmektedir.

Söz konusu farklı dal ve uygulamalar;

- Nükleer fisyon reaktörlerinin giderek yüksek güçlerde kurulma isteği,
- Hızlı üretken reaktörlerin konvansiyonel hale getirilme isteği,
- Füzyon reaktörlerin geliştirilmesi isteği

olarak sayılabilir.

Nükleer fisyon ile çalışan nükleer güç reaktörlerinin günümüzde, basınçlı su reaktörleri çerçevesinde 1200 MW ve 1400 MW güçlerde kuruldukları görülmektedir. 320-340°C ve 150 atm. basınçta çalışan konvansiyonel güç santralleri için uzun dayanımlı malzeme arayışları süregitmektedir.

Hızlı üretken reaktörler için NaK gibi özel soğutucu kullanımlarının düşünülüyor olması ve 800°C gibi yüksek sıcaklıklara ulaşılmasının söz konusu olabilmesi nedeniyle hızlı üretilen reaktörlerin ticarileşmesi için özel malzemelere gereksinim duyulmaktadır.

Füzyon reaktörleri ise, önemli ölçüde malzeme sorunları bulunan, buna karşın gelecek enerji ihtiyacımızı karşılayabilmek için büyük güç yoğunluğu sağlayabilecek, çevreye zarar vermeyen ve temiz enerji üretebilmesi adına umut verici güç reaktörleri konumunda olmaktadır (Pan ve diğ, 2008). Füzyon teknolojisi yaklaşık 30 yılı aşkın

süredir devam eden araştırmalar neticesinde füzyon enerjisinin üretilebilmesi ve ticarileşebilmesi adına ciddi yatırımlar yapıldığı ve devletlerin bir araya gelerek ortak bir amaç uğruna konsorsiyum kurduğu nadir konulardan biri durumundadır. Gelecek nesil füzyon reaktörlerinde kullanılacak malzemelerin araştırılması, belirlenmesi ve geliştirilmesi için yapılan plan ve programlar Japonya, Avrupa Birliği ve Amerika öncülüğünde yürütölmektedir (Ghoranneviss ve Elahi, 2015). Ancak, halen istenen düzeyde başarı sağlandığı söylenememektedir.

Plazma ve onu çevreleyen yapı malzemelerinin birbirleriyle olan etkileşimi, füzyon reaktörlerinin temel mühendislik sorunlarından biri durumundadır (Roth ve diğ, 2008). Füzyon enerjisinin kullanılabilmesi ve füzyon reaktörlerinin geliştirilmesi aşamasında önemli sorunlar bulunmaktadır. Bu sorunların başında çok yüksek sıcaklık koşulları altında, termal direnci yüksek, uzun işletim süresine sahip sürdürülebilir uygun malzemelerin henüz net olarak belirlenememesi, ikinci olarak ise döteryum ve trityum tepkimesi sonucu ortaya çıkan nötronların absorpsiyonu ve kullanılan yapı malzemelerinin radyasyon ışınlamaları karşısındaki karakterizasyonun ortaya konulması gerekliliğidir (Noda ve diğ, 1997; Palacios ve diğ, 2015).

Nükleer teknolojide kullanılan malzemeler, diğer sektörlerde kullanılan malzemelerle karşılaştırıldığında, hayli ileri ve farklı şartlara dayanıklılık bekleniyor olan malzemelerdir. Bir başka deyişle, nükleer teknolojide kullanılacak malzemelerin;

- Radyasyon direnci yüksek
- Yüksek sıcaklığa dayanıklı,
- Isıl direnci yüksek,
- Yüksek ergime sıcaklığına sahip,
- Yüzey erozyonu düşük
- Düşük aktivasyona sahip
- Radyasyon hasarına dayanıklı
- Farklı radyasyon tipleri için radyasyon zırhı oluşturabilecek

temel özellikleri gösterebilen malzemeler olması istenmektedir.

Bu bağlamda, nükleer teknolojide kullanılması planlanan malzemelerin geliştirilmesi ve çeşitli yüksek performans koşulları altında testlerinin yapılması da bir gereklilik olarak ortaya çıkmaktadır (Yoshida, 1999; Wong ve diğ, 2002).

1990'lı yılların ortalarına kadarki süreçte sadece birkaç yüksek atom numaralı element radyasyon ve plazma koruyucu katman malzemesi (PFM-Plasma facing material) olarak kullanılmıştır (Noda ve diğ, 1997). Daha sonraki süreçte ise yüksek atom numaralı refrakter malzemeler, erozyona karşı olan dayanıklılığı ve nötron ışınlamalarına karşı kararlılığı neticesinde plazma koruyucu katman malzemeleri olarak büyük ilgi toplamış ve füzyon reaktörlerinde kullanılması planlanan aday malzemeler olarak ön plana çıkmışlardır (Neu ve diğ, 2009).

Yüksek atom numaralı elementlerin plazmanın çekirdeğinde ve kenarlarında safsızlıklarını, erozyonunu, tekrar yenilenmesini, ve hidrojen izotoplarını sızdırmama kabiliyetlerini anlayabilmek için ve ileri nükleer reaktörlerin gereksinimi için hatırı sayılır derecede araştırma ve geliştirme testleri için çaba sarf edilmektedir (Maier ve diğ, 2002).

Bu bağlamda, ileri nükleer teknolojinin hayata geçirilmesi kapsamında; kaplama veya takviye matris elemanlarının yüksek atom numaralı elementlere ilavesi, koruyucu katmanlar için en uygun malzemenin bulunması, işletim süresi, güvenilirlik, nötron ışınlamalarına karşı malzemelerin direnci ve emniyet açısından yeni malzemelerin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bunlara ilaveten kullanılması ve geliştirilmesi planlanan malzemelerin maliyeti diğer araştırılması gereken parametre olmaktadır (Smid ve diğ, 1998).

Radyasyon koruyucusu katman olarak kullanılacak malzemelerin özelliklerini anlayabilmek, emniyetli ve yüksek performans şartlarına uygun bir füzyon reaktör tesisi yapabilmek adına anahtar rol oynamaktadır (Bhuyan ve diğ, 2013). Bu aşamada ileri nükleer reaktörlerin hayata geçirilmesi ve plazma koruyucu katman malzemelerinin araştırılması ve geliştirilmesi büyük bir ilgi toplamakta olup, uluslararası düzeyde projeler ile desteklenip araştırılmaktadır. Bu bağlamda güney Fransa'da Uluslararası Termonükleer Araştırma Reaktörü (ITER) projesi hayata geçirilmiş bulunmaktadır (Gasuter ve Spears, 1994).

Yürütülmesi planlanan bu çalışmada, ileri nükleer reaktörlerde radyasyona maruz kalan yapı ve koruyucu katman olarak kullanılacak malzemelerin sorunlarının çözümü

üzerine gidilmesine gerek duyulmuş ve bu bağlamda yüksek atom numaralı elementlerin kullanımı hedef alınmıştır. Yüksek atom numaralı elementler, nükleer teknolojinin yanı sıra; uzay teknolojisi, savunma sanayi gibi ileri ve stratejik alanlarda uygulama alanı bulmuş bulunmaktadır. Bir başka deyişle, yüksek atom numaralı elementler, nükleer endüstrisinde, savunma sanayinde ve son yıllarda füzyon teknolojisi uygulamalarında geniş çaplı kullanım alanına sahiptir (Wang ve diğ., 2013).

Malzemelerin termal şok direncine bağlı olarak gösterdiği değişimler ve radyasyon ışınlamalarına maruz kalan cihazların yapılarındaki değişimler ile plazma koruyucu katman malzemelerin geliştirilmesi füzyon reaktörlerinin karşısında duran en büyük sorunlardan biri olmaktadır. Bu bağlamda ileri nükleer reaktörlerde radyasyonla etkileşim halinde olan malzemelerin sağlıklı çalışma şartlarında sürdürülebilmesi için birçok farklı araştırma ve geliştirme projesi yürütülmektedir (Wang ve diğ., 2013).

Burada tanıtılan elementler çalışılması planlanan malzeme için kullanılabilceği düşünülen elementlerdir. Ancak, bunların hepsi veya bazılarının bulunduğu yahut bunlara ilave element ve/veya elementleri içeren hibrit kompozit malzemelerle çalışılabileceği düşünülmektedir.

Bu doktora tez çalışmasının diğer bir amacı ise; Avrupa Birliğinin 2002 yılında yayınladığı ve 2011 yılında tekrardan düzenlediği “Bazı zararlı maddelerin elektronik araçlarda kullanımının kısıtlanması” (ROHS) adlı rapora göre ve toksik özelliği göstermesi sebebiyle kurşunun da bu zararlı malzemelerin içinde bulunduğu belirtilen söz konusu bu raporda, kullanımının sınırlandırılması isteğidir.

Ayrıca raporda, nükleer uygulamalarda çoğunlukla zırh malzemesi olarak kullanılan kurşunun yerine alternatif uygun maliyetli bir malzemenin olmadığından bahsedilmektedir (Grob ve diğ., 2008). Bu bağlamda kurşuna göre daha yüksek yoğunluğa sahip aynı zamanda ROHS raporuna uygunluk gösteren, volfram’in ve volfram temelli kompozit malzemelerin, özellikle de gama radyasyonun zırhlanması açısından çok daha iyi avantajlara sahip olduğu düşünülmekte ve bu bağlamda radyasyon zırh malzemesi üretilmesi amaçlanmaktadır.

Yukarıdaki açıklananların uzantısında, bu doktora tez çalışmasında yapılması planlanan çalışmayla ilgili bir literatür taraması yapılmış olup, bu bağlamda ulaşılabilen yayınlar aşağıda tanıtılmıştır ve ilgili sorunların çözülmesine ilişkin olarak; Tungesten, Titanyum, Vanadyum ve Bor ile yapılan çalışmalar üzerinde

durulmuştur. Buna göre; Matsui ve diğ. (1996) ileri nükleer reaktör uygulamalarında yapısal uygulamalar için vanadyum alaşımlarının avantajlarını, düşük indüklenmiş aktivasyon, mükemmel termal gerilme faktörü, yüksek sıcaklıklarda yüksek dayanım gücü, düşük sıcaklıklarda istenilen yumuşaklık olduğunu belirtmişlerdir. İlâveten vanadyum alaşımlarının radyasyon ışınlamalarında etkileyici bir şekilde direnç gösterdiği belirtilmiştir.

Kobayashi ve diğ. (1997) bazı volfram alaşımlarının Ba-133 ve Cs-137 gama ışınları karşısındaki gama zayıflatma özelliklerini incelemişlerdir. Volfram karbür malzemenin kurşun ile benzer zayıflatma oranına sahip olduklarını belirtmişlerdir. Ayrıca elde ettikleri sonuçları Monte-Carlo simülasyon programı ile karşılaştırarak değerlerin birbiri ile uyumunu göstermişlerdir .

Smith ve diğ. (2000) vanadyum alaşımlarının uygun güvenilirlikli olması, çevresel uyumluluk karakteristiği göstermesi, kolay üretilme kapasitesine sahip olması, yüksek sıcaklık ve yüksek ısı kapasitesi olması nedeniyle füzyon reaktörlerinde koruyucu ilk duvar katmanı olarak tanımlanabileceğini ifade etmişlerdir. Bu çalışmada, vanadyum alaşımlarının füzyon uygulamaları için genel bir değerlendirmesi sunulmaktadır.

Cambe ve diğ. (2001) volfram'ın yüksek enerji eşiğine sahip olması ve düşük kimyasal hassasiyete sahip olması nedeniyle iyi bir zırh malzemesi olduğundan bahsedilmiştir. Bu çalışmada volfram kaplama özellikleri grafit, paslanmaz çelik ve bakır üzerinde iyi bir yapışkanlık özelliği gösterdiğini de ortaya koymuşlardır.

Nunomiya ve diğ. (2003) çalışmalarında ağır iyonlardan üretilen nötronların zırhlanmasını araştırmışlardır. Bu bağlamda deneysel ölçümler sonucunda elde ettikleri bulguları Monte-Carlo yöntemi ile elde edilen teorik verilerle mukayase etmişlerdir.

Taylor ve Pampin (2006) volfram'ın plazma koruyucu ilk duvar için koruyucu zırh malzemesi adayı olduğunu belirtmişlerdir. Yapılan bu çalışmada 2 mm kalınlığındaki volfram tabaka ferritli duvar üzerine eklenerek genişletilmiştir. Bu bağlamda, uzun süreli kullanımda nötronik ve aktivasyon modellemeleriyle volfram materyalinin önemli bir değişiklik göstermediği görülmüştür.

Madtha ve diğ. (2008) nano yapıtlı titanyum borürün fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemişler ve nükleer uygulamalarda kullanılabilirliğini araştırmışlardır.

Han ve diğ. (2009) yaptıkları bu çalışmada bazı doğal minerallerin farklı foton enerjilerinde (22.1, 25, 59.5 ve 88 keV) kütle zayıflatma katsayıları hesaplanmış ve elde ettikleri deneysel verileri XCOM bilgisayar programından hesapladıkları teorik sonuçlarla karşılaştırıp uyumlu olduğunu göstermişlerdir.

Fukumoto ve diğ. (2009) hidrojen-karbon iyon demeti ve döteryum ışınlamaları neticesinde volfram metalinde radyasyon hasarı sonucunda oluşan hidrojen tuzaklarının etkilerini araştırmışlardır. Radyasyon hasarını 300 ve 700 keV'lik hidrojen iyon demeti sonucu oluşturmuşlardır. Yapılan SIMS ölçümleri neticesinde döteryumun çoğunluk itibariyle radyasyon hasarlı bölgelerde tuzaklar oluşturduğunu gözlemlemişlerdir.

Hohe ve Gumbsch (2010) nükleer füzyon güç reaktörlerinde kullanılacak kompozit malzemelerin volfram ve vanadyum içeriklerine sahip olması üzerine yoğunlaşmışlardır. Yapılan bu çalışmada, farklı malzemeler ile ve farklı mikroyapılarda (düzgün veya random) testler yapılmıştır. Araştırmanın sonucunda volfram-vanadyum kompozit malzemelerinin termal dirençlerinin iyi bir potansiyele sahip olduğunun açıkça görüldüğü ifade edilmiştir.

Lawrie ve diğ. (2010) yapılan bu çalışmada gama transmisyon tekniğinin toz metal üretimi ile şekillendirilmiş patlayıcıların kalite kontrol prosedüründe kullanılabilirliğini incelemişlerdir. Yapılan deneyler neticesinde gama transmisyon tekniğinin toz metal yöntemi ile şekillendirilmiş patlayıcıların üretiminde kalite kontrol sistemi içinde kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Büyük ve diğ. (2012) nükleer teknoloji için önemli bir malzeme konumunda olan boron karbür üzerinde çalışılmıştır. Bu çalışmada, boron karbür-silisyum karbür katkılı titanyum diborürün radyasyon zırh özellikleri araştırılmıştır.

Büyük ve diğ. (2012) bu çalışmada boron karbür ve silikon karbür ile takviye edilmiş titanyum diborür Cs-137 gamma radyoizotopu karşısındaki davranışları gama transmisyon tekniği kullanılarak araştırılmıştır. Bu bağlamda artan oranlardaki titanyum diborürür oranı kompozitlerde yüksek sertlik ve dayanım sağlarken, öte yandan kütle soğurma katsayısının düşmesine sebebiyet verdiği ifade edilmiştir.

Bhuyan ve diğ. (2013) volfram'ın üstün termofiziksel ve mekaniksel özellikleri sebebiyle füzyon reaktörlerinde kullanılması konusu üzerine çalışmışlardır. Gerçekleştirilen bu çalışmada proton ışınlamasına maruz bırakılan volfram

numunelerinin yüzey analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda, volfram materyalleri üzerinde kıl çatlak oluşumu, kabarcıklanma, gözeneklenme, ergime ve malzeme kusurlarının gözlemlendiğini belirtmişlerdir.

Büyük ve Tuğrul (2014); yapılan bu çalışmada saf volfram ve volfram karbür-kobalt materyallerinin gama ışınlaması neticesinde zayıflatma katsayıları bulunmuştur. Bu bağlamda Cs-137 ve Co-60 radyoizotoplarından yararlanılmış olup, elde edilen veriler kurşun ile kıyaslanmıştır. Radyasyon zırhlamalarında yaygın olarak kullanılan kurşuna alternatif bir malzeme olarak WC-Co kompozit malzemenin kurşun ile hemen hemen eşit lineer zayıflatma katsayısına sahip olduğundan söz edilmektedir.

Büyük ve diğ. (2014) Cs-137 ve Co-60 gama radyoizotopları kullanılarak yapılan bu çalışmada h-BN ve h-BN-TiB₂ kompozitlerinin gama zayıflatma katsayıları araştırılmıştır. Basıncsız 1800 °C argon atmosferinde 2 saat süre zarfında üretilen malzemelerin lineer ve kütle zayıflatma katsayıları hesaplanmıştır. Sonuç olarak malzemeye eklenen TiB₂ katkısı kompozit malzemenin lineer gama zayıflatma katsayısını artırmıştır.

Hu ve diğ. (2014) füzyon reaktörlerinde birincil aday malzeme olarak önerilen volfram'ın hidrojen, döteryum ve trityum ile arasındaki ilişkisini incelemişlerdir. Ayrıca, farklı hidrojen bombardımanı altında artan sıcaklıklarda volframdaki hidrojen kabarcıklarının değerlendirilmesi ve analizi yapılmıştır.

Büyük ve Tuğrul (2014) gerçekleştirilen bu çalışmada titanyum diborür, hacimce %70 boron karbür ve %30 silikon karbür olan kompozit materyallere katkılanmıştır. Sırasıyla %2 ve %4 oranlarında eklenen titanyum diborür Cs-137 ve Co-60 gama kaynakları kullanılarak gama zayıflatma katsayıları hesaplanmıştır.

Zhang ve diğ. (2015) Çin Akademi bilimlerinde gerçekleştirdikleri bu çalışmada volfram'in önceden kesinliği doğrulanmış nükleer verilerinin bir nötron sızıntısı altındaki durumunu incelemişlerdir.

Gao ve diğ. (2015) çalışmalarında demir üzerine uygulanmış difüzyon bariyerli Volfram-Titanyum alaşım kaplamalarının güneş panellerinde 20 yıl boyunca 308 K (35 °C) sıcaklığında koruma sağlayabileceğinden bahsedilmiştir.

Brooks ve diğ. (2015) plazma ile yüzyüze temas halindeki ekipmanların erozyonunun halen kritik bir mesele durumunda olduğu ve bu bağlamda yüksek atom numaralı elementler üzerine odaklanması gerektiğini belirtmişlerdir. Bu çalışmada, volfram

üzerine karbon püskürtülmüş ve erozyonu azaltacağı yönünde ümit verici sonuçlar ortaya konmuştur.

Ravi ve diğ. (2015) bu çalışmada üç volfram ağır alaşımı üzerinde 93W–4.9Ni–2.1Fe (ağ%), 93W–4.2Ni–1.2Fe–1.6Co (ağ%) and 93W–4.9Ni–1.9Fe–0.2Re (ağ%) sıvı faz sintirleme, ısıl işlem ve tokaçlama çalışmaları, mikroyapı, gerilme ve darbe özellikleri bakımından detaylı olarak inceleme yapılmıştır. Tüm alaşımlar sinterlenmiş ve %40 deformasyona maruz bırakılmıştır. Sonuçlar, Re ilavesinin, W-Ni-Fe ve W-Ni-Fe-Co alaşımlarına kıyasla alaşımının tane boyutunu azalttığını göstermektedir. İlâveten, W-Ni-Fe-Re alaşımı, W-Ni-Fe ve W-Ni-Fe-Co alaşımlarına kıyasla, ısıyla muamele görmüş durumda üstün çekme özellikleri göstermiştir.

Chang ve diğ. (2015) volfram/epoksi kompozitleri farklı ağırlıkça yüzdelerde volfram tozu kullanılarak epoksi reçinesi ile harmanlanarak hazırlanmıştır. Dolgu yükünün, kompozitlerin zırhlama ve mekanik özelliklerine etkisi iki farklı aktivitede Co-60 kullanılarak araştırılmıştır. Radyasyon bozunum mekanizmaları kompozitlerin serbest radikal konsantrasyonlarının değişimine, mekanik ve termal özelliklerinin değişimine göre incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, artan volfram yüklemesiyle beraber kompozitlerin zırh özelliklerinin arttığını göstermektedir.

Arshad ve diğ. (2016) volfram esaslı plazma kaplama malzemeleri döteryum ışınlaması sonucu malzeme yüzeylerinde oluşan kabarcıkların değerlendirilmesi amacıyla haddelenmiş W ve farklı sınıflarda W-V hedefleri iki farklı yüzey sıcaklığında $1,2 \times 10^{24} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ akısında, düşük enerjili 38 eV döteryum plazmada yüksek akışa maruz bırakılmıştır. En yüksek sayıda kabarcık, haddelenmiş volfram yüzeyinde gözlenmiştir. Vanadyum'un volfram'e ilavesi kabarcıklanmayı bastırmıştır. W-V alaşımlarında, karşılaştırmalı olarak mikron altı V içeren malzemeler, mikron V içeren numunelere kıyasla yüksek eğilimli ancak küçük boyutlu kabarcık oluşumu gösterdiği ifade edilmiştir.

Palacios ve diğ. (2016) yitrium oksit (Y_2O_3) takviyeli volfram vanadyum alaşımlarının mekanik karakterizasyonu hakkında daha iyi bir bilgi sağlanması adına bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. İki farklı W alaşımı ve saf volfram, toz metalürjisi ile işlenmiş ve sıcak izostatik pres ile konsolide edilmiştir. Kompaktlarda yoğunlaşma V ve Y_2O_3 ilaveleri ile bir artış göstermektedir. Gözeneklilik, $\text{W}_2\text{V}_{0.5}\text{Y}$ alaşımında esas olarak gözlemlenmesine rağmen, bir W-V katı çözeltilisinin oluşması ve taneler

arasındaki gözenekleri dolduran V havuzlarının oluşması nedeniyle gözeneklilik azalmaktadır.

Hasegawa ve diğ. (2016) volfram ve volfram renyum alaşımlarının mikroyapısal gelişimine ilişkin veriler Japon Malzeme Test Reaktöründe 400-800 °C aralığında nötron ışınlamasından sonra elde edilmiştir. Işınlama hasar seviyesi 0,09-1,54 dpa aralığında yapılan deneylerde mikroyapısal gözlemler W-Re alaşımlarda küçük miktarda (%3-5) renyum katkısının boşluk oluşumunun bastırılmasında etkili olduğu göstermiştir. Öte yandan, W-Re alaşımlarda %10'dan büyük renyum konsantrasyonları birincil yapısal kusurları oluşturduğu gözlenmiştir.

Mostofa ve diğ. (2017) bu çalışmada bileşimde (100-x) [0.1B₂O₃-0.4P₂O₅-0.5PbO] - xWO₃, WO₃ esaslı cam sistemi X= 10, 20, 30, 40, 50 ve 60 mol% gama radyasyonu zırh özelliklerini incelemek için hazırlanmıştır. Elde edilen sonuçlar, cam numunelerinin artan WO₃ ile beraber kütle zayıflatma katsayısının, efektif atom numarasının (Z_{eff}) ve elektron yoğunluğunun arttığını göstermiştir. Öte yandan, artan WO₃ konsantrasyonu ile beraber poisson oranı, yarı-değer kalınlığı ve ortalama serbest yol değerlerinin azaldığı bulunmuştur. Kütle zayıflatma katsayısı XCOM programından alınan değerler ile karşılaştırılmış ve sonuçlar arasında mükemmel bir uyum olduğu gözlenmiştir.

Bailet ve diğ. (2018) çalışmalarında silikon karbür peletlerinin 800 keV enerjili ksenon iyonları ile 5×10^{15} ve 1×10^{17} Xe⁺/cm.s dozunda ışınlamışlardır. Malzemelerin mikroyapılarını TEM ve SEM elektron mikroskoplariyle incelemişlerdir. Bu bağlamda, ksenon iyon ışınlamaları sonucu malzemelerin oksidasyon süreçleri ve ksenon iyonlarının malzeme üzerinde oluşturduğu kabarcıklaşma araştırılmıştır.

Trukhanov ve diğ. (2019) BeO seramik malzemelerin Ni¹²⁺ ağır iyonları ile ışınlaması ve akabinde tavlanması sonucunda mikroyapısındaki değişimleri araştırmışlardır. Bu bağlamda, XRD analizleri yapılması neticesinde malzemelerde meydana gelen kristal latis parametrelerini ve malzeme kusurlarının hareketini iyon ışınlanmış ve ışınlama sonrasındaki tavlanmış malzemeler için analiz etmişlerdir. Sonuç olarak, tavlamanın radyasyon kusurlarını iyileştirdiğini görmüşlerdir.

Shvets ve diğ. (2019) stabil ve stabil olmayan Vanadyum oksit fazlarının Raman spektroskopik analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Bu bağlamda, toplam 21 fazın tespitini yapmışlardır ve XRD analizleriyle doğrulamışlardır.

Li ve diğ. (2019) Al₂O₃ malzemelerinin 5 MeV enerjili Xe²⁰⁺ iyonları ile farklı doz değerlerinde ışınlaması neticesinde kristal yapısı incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar XRD ve Raman spektroskopik metotları ile analiz edilmiştir. Ksenon ışınlamalar sonucunda malzemelerde dislokasyonlar ve latis kusurlarının meydana geldiğini ifade etmişlerdir.

Mirzayev ve diğ. (2019) SiB₆ malzemesinin gama ışınlaması altında oksidasyon kinetiğini ve termofiziksel özelliklerini incelemek için Co-60 gama radyoizotopu ile 5 farklı doz değerinde (9,7 kGy, 48,6 kGy, 97,2 kGy, 145,8 kGy, ve 194,4 kGy) DSC analiz yöntemiyle malzemelerin gama radyasyonu altında oksidasyon karakteristiğini araştırmışlardır. Malzemelerin yüzeyinde 10 nm ile 60 nm aralığında değişen bir oksit tabakasının varlığını belirlemişlerdir.

Yapılması planlanan bu doktora tez çalışmasıyla, literatür çalışmasından da görüldüğü üzere bilimsel olarak farklı araştırmalarda öne çıkan ileri teknoloji malzeme kullanımıyla radyasyona dirençli malzemelerin belirlenmesine ilişkin bir araştırma yapılması benimsenmiştir. Bu bağlamda, radyasyon zırh malzemesi olarak kullanılabilir kompozit malzeme ve/veya malzemelerin geliştirilmesinin yanı sıra, başta nükleer teknoloji olmak üzere diğer yüksek teknolojiler için örneğin; uzay teknolojisi, hidrojen teknolojisi, nanoteknoloji ve savunma teknolojisi gibi teknolojilerde de kullanılabilir uygun bir malzemeyle çalışılması hedeflenmiştir. Öz olarak, bu doktora tezi ile radyasyon karşısında kullanılması planlanan yüksek atom numaralı elementleri de içeren özgün malzeme ve/veya malzemelerin radyasyon karşısındaki davranışlarının karakterizasyonu ve değerlendirmelerinin yapılması amaçlanmaktadır.

2. RADYASYON

2.1 Radyoaktivitenin Keşfi ve Kısa Tarihi

Radyasyon fiziği temel olarak iki alan ile beraber değerlendirilmektedir. Bu alanlar atom fiziği ve nükleer fizik olmak üzere 19. yüzyılın sonlarından başlayarak yaklaşık 50 yıllık bir süre zarfında önemli keşifler ile beraber temel kavramlarının gelişimi sağlanmıştır. Bu bağlamda gerçekleştirilen önemli keşifler;;

- Wilhelm Röntgen'in X-ışınlarının keşfi
- Henri Becquerel'in radyoaktiviteyi keşfi
- J. J. Thomson'un elektronu keşfi
- Max Planck'in temel radyasyon yasası
- Ernest Rutherford'un alfa saçılma deneyi
- Niels Bohr atom modeli

olmaktadır. W.Röntgen tarafından X-ışınlarının keşfi radyoaktivitenin keşfine sebep olmuştur. 1896 yılında Fransız bilim insanı Henri Becquerel X-ışınlarının doğasını anlamak için bir potasyum uranil sülfat tuzunu fotoğraf filmi üzerine bırakıp indüklenmiş floresansın Röntgen'in X-ışınlarını içerip içermediğini anlamak adına güneş ışığına tabi tutmuştur. Deneylerini tekrarlamak adına bir kaç farklı fotoğraf plakası hazırlayan Becquerel, uranyum tuzlarının olduğu çekmecesinde bulunan plakaların güneş ışığı görmemesine rağmen diğer plakalar ile aynı olduğunu farketti. Bunun üzerine plakaları etkileyen radyasyonun uranyum tuzlarından ve kendiliğinden olduğuna karar verdi. Deneyinde şans eseri uranyum tuzlarını kullanan Henri Becquerel böylelikle radyoaktivitenin keşfini gerçekleştirmiştir.

Daha sonraki süreçte Marie S. Curie ve eşi Pierre Curie maddelerin bu özelliğini araştırarak radyoaktivite diye isimlendirdiler. İlerleyen süreçte radyum ve polonyum gibi ve daha sonraki süreçte aktinyum, toryum gibi radyoaktif elementler keşfedilmiştir. Bu olayların neticesinde radyoaktivite kavramı ve radyoaktif çekirdekler hakkında temel bilgiler açığa çıkmıştır (Arya, 1970).

Radyasyon; partikül akımı veya dalga tabiatına uygun olarak bir maddeye veya bir ortama enerji transfer edilişi olarak tanımlanmaktadır (Knoll, 2002). Radyasyonu tanımlamak için üç ana parametreden yararlanılmaktadır (Tuğrul, 2011). Bunlar;

- Radyasyon Türü: Parçacık radyasyonu ve elektromanyetik radyasyon
- Radyasyon Enerjisi: Düşük ve yüksek enerjili radyasyon
- Radyasyon Kaynağı: Doğal ve yapay radyasyon kaynakları

olmaktadır. Bu bağlamda radyasyonu betimleyen parametleri göz önünde bulundurarak farklı şekillerde sınıflandırmak mümkündür. Radyasyonun türüne göre sınıflandırılması daha çok radyasyonun doğasını anlamak adına yapılan bir sınıflamadır. Öte yandan, radyasyonun enerjisine göre sınıflandırılması teknolojik bağlamda yapılan bir sınıflandırmadır ve atomları iyonize edip, edememesine bağlı olarak yapılmaktadır. Bu bağlamda iyonizan radyasyon ve iyonizan olmayan radyasyon türlerinden bahsedilmektedir. Radyasyonun kaynağına göre sınıflandırılması daha çok uygulamaya yönelik bir sınıflama olmaktadır.

2.2 Radyasyon Tipleri

2.2.1 Alfa parçacıkları

İyonizan radyasyon ailesine mensup olan alfa parçacıkları 2 proton, 2 nötrona sahiptirler ve Helyum çekirdeği olarak ifade edilmektedirler. Çekirdek içerisinde proton sayısının nötron sayısına göre çok fazla olduğu durumlarda elektrostatik itme kuvveti nükleer kuvvetlere baskın hale gelmektedir ve bu bağlamda alfa parçacığı yayınlanmaktadır. Ağır çekirdekler, bir alfa parçacığının (${}^4\text{He}$ çekirdeği) kendiliğinden yayınlanmasına karşı enerjik olarak kararsızdır. Bozunma olasılığı, nükleer fizikte bariyer penetrasyon mekanizması olarak ifade edilen ve günler mertebesinden binlerce yıl arasında değişmekte olan radyoizotopların yarı ömrü tarafından yönetilmektedir (Knoll, 2002). Bozunma süreci şematik olarak denklem 2.1'de gösterilmektedir.



X ve Y sırasıyla ana çekirdek ve ürün çekirdeği temsil etmektedir. Çekirdeğin kütle numarası A ile ifade edilirken, Z atom numarasını göstermektedir. Alfa parçacığı α ile ifade edilmektedir.

Çizelge 2.1’de yaygın alfa kaynaklarının bazı özellikleri verilmiştir (Rytz, 1973). Alfa parçacıklarının enerjisinin 4-6 MeV arasında sınırlanmış olması tesadüfi bir durum olmamakla beraber alfa partikül enerji ve ana izotopun yarı ömrü arasında çok güçlü bir korelasyon söz konusudur. Bu bağlamda, yüksek enerjilere sahip olan radyoizotoplar kısa yarı ömre sahip olmaktadır (Knoll, 2002).

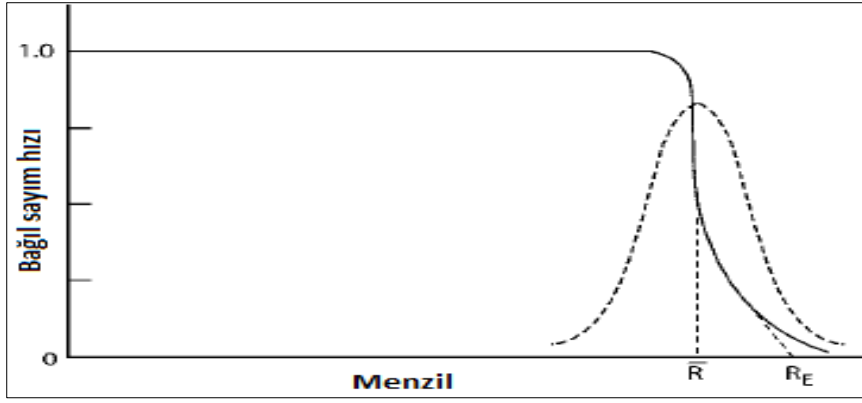
Çizelge 2.1 : Yaygın alfa aktif bazı radyoizotoplar.

Kaynak	Yarı ömür	Enerji (MeV)	Dallanma yüzdesi
^{148}Gd	93 y	$3,182787 \pm 0,000024$	100
^{232}Th	$1,4 \times 10^{10}$ y	$4,012 \pm 0,005$	77
		$3,953 \pm 0,008$	23
^{238}U	$4,5 \times 10^9$ y	$4,196 \pm 0,004$	77
		$4,149 \pm 0,005$	23
		$4,598 \pm 0,002$	4,6
^{235}U	$7,1 \times 10^8$ y	$4,401 \pm 0,002$	56
		$4,374 \pm 0,002$	6
		$4,365 \pm 0,002$	12
		$4,219 \pm 0,002$	6
^{230}Th	$7,7 \times 10^4$ y	$4,6875 \pm 0,0015$	76,3
		$4,6210 \pm 0,0015$	23,4
^{234}U	$2,5 \times 10^5$ y	$4,7739 \pm 0,0009$	72
		$4,7220 \pm 0,0009$	28
^{231}Pa	$3,2 \times 10^4$ y	$5,0590 \pm 0,0008$	11
		$5,0297 \pm 0,0008$	20
^{241}Am	433 y	$5,48574 \pm 0,00012$	85,2
		$5,44298 \pm 0,00013$	12,8
^{210}Po	138 d	$5,30451 \pm 0,00007$	99+
^{242}Cm	163 d	$6,11292 \pm 0,00008$	74
		$6,06963 \pm 0,00012$	26

Şekil 2.1’de bir alfa parçacığının havadaki ortalama menzili gösterilmektedir (Martin, 2006).

Alfa parçacıklarının enerjileri ve menzilleri arasında ampirik bir ilişki söz konusudur. Denklem 2.2 alfa parçacıklarının enerjilerine bağlı olarak menzillerini ifade etmektedir (Martin, 2006).

$$R = 0,325E^{3/2} \quad (2.2)$$



Şekil 2.1 : Tek enerjili alfa demetinin havadaki ortalama menzili.

Burada R, alfa parçacıklarının hava içindeki menzili ifade etmektedir ve birimi santimetredir, öte yandan E alfa parçacıklarının enerjisini MeV cinsinden tanımlamaktadır.

6,5 MeV enerjinin ötesindeki alfa kaynaklarının yarı ömrünün bir kaç günden az olması beklenir ve bu nedenle de çok sınırlı bir kullanım alanına sahip olmaktadır. Diğer taraftan, radyoizotopun enerjisi 4 MeV'in altına düşerse, bariyer penetrasyonu olasılığı çok küçük olur ve izotopun yarı ömrü çok büyüktür. İlaveten, izotopun yarı ömrünün çok büyük olduğu durumlarda, malzemenin pratik bir örneğinden elde edilebilen spesifik aktivite çok küçük olur ve yoğunluğu çok düşük olduğu için radyoaktif kaynak ilgi çekmemektedir (Knoll, 2002).

2.2.2 Beta parçacıkları

Beta parçacıkları da alfa parçacıkları gibi atom çekirdeğinden bir proton veya bir nötronun, sırası ile bir nötron veya protona dönüşmesi neticesinde meydana gelmekte veya çekirdeğin bir elektron yakalaması durumunda ortaya çıkmaktadır ve bu olay beta bozunması olarak ifade edilmektedir. Beta parçacıkları alfa parçacıklarına göre görece daha küçük olduklarından dolayı aynı enerjilerde alfa parçacıklarına göre oldukça yüksek hızlarda hareket etmektedir. Beta parçacıklarının enerjisi parçacığın hızına bağlıdır ve küçük kütleleri nedeniyle MeV enerjilerine sahip beta parçacıkları ışık hızına yakın hızlara sahip olmaktadır.

Beta parçacıkları bir ortamda enerjilerini dört yolla kaybederler. Bunlar; direkt iyonizasyon, delta ışınları, bremsstrahlung ve çerenkov radyasyonu olarak ifade edilmektedir (Martin, 2006). Her ne kadar tüm mekanizmalar meydana gelse de iyonizasyon ve bremsstrahlung en önemli etkileşim mekanizmalarıdır.

Beta parçacıkları yüklü olmaları nedeniyle malzeme içerisinde enerjilerinin tamamını iyonizasyon ve bremsstrahlung radyasyonu ile kaybettikleri bir menzile sahiptirler. Beta parçacıkları küçük kütleli olmaları nedeniyle aldıkları yollar uzun ve dolambaçlıdır fakat buna rağmen havadaki ortalama menzilleri bir kaç metreden fazla olmamaktadır.

Deneysel verilerden beta parçacığının enerji ve menzilinini ilişkilendirmek için ampirik ilişkiler geliştirilmiştir. Menzil “R” mg/cm² ve beta parçacığının enerjisi MeV cinsinden $0,01 \leq E \leq 2,5$ aralığında olmak üzere denklem 2.3’de enerji menzil ilişkisi ifade edilmektedir (Martin, 2006).

$$R=412 E^{1,265-0,0954\ln E} \quad (2.3)$$

Yüklü parçacık olmaları ve enerjilerini geçtiği ortamda iyonizasyon ve bremsstrahlung yoluyla dağıtılmaları neticesinde sınırlı bir menzile sahiptirler. İyonlaşma yolu elektronların küçüklüğü nedeniyle oldukça uzun ve zikzaklı olabilir fakat yine de sınırlıdır. Çoğu beta parçacığının ortalama menzili havada bir kaç metreden fazla değildir. Bu bağlamda hava önemli ölçüde beta parçacıklarını zayıflatırken, yoğun materyallerde beta parçacıklarının menzili bir kaç millimetre olmaktadır.

Bir radyoizotop kaynağından yayımlanan beta parçacıklarının zırhlaması ise en yüksek enerjili beta parçacığının menzilinini hesaplanması ve buna bağlı olarak ortam kalınlığı seçilmesi neticesinde tüm beta parçacıkları durdurulabilir. Bir çok beta zırhlaması bu pratik yaklaşımı temel alarak yapılmaktadır.

2.2.3 Gama ışınları

Elektromanyetik radyasyon ailesi içinde yüksek giriciliğe sahip olan gama ışınları genellikle proton ve nötronların çok sıkı bağlı olmadığı uyarılmış bir çekirdeğin yeniden düzenlenmesi esnasında oluşmaktadır. Çizelge 2.2’de bazı gama aktif radyoizotoplar verilmektedir (Knoll, 2002).

Gama ışınlarının yayımlanması, kararsız bir çekirdeğin alfa parçacığı, pozitron, negatron veya elektron kapma gibi işlemler sonucunda meydana gelmektedir ve bu bağlamda radyasyondan korunma açısından da önem arz etmektedir. Gama ışınları sadece uyarılmış çekirdeğin fazla enerjisinin atılması işlemi olduğu için bu olay sonucunda gama ışını yayını yapan atom aynı atom olarak kalmaktadır.

Çizelge 2.2 : Bazı gama aktif radyoizotoplar.

Kaynak	YarıÖmür	Kinetik Enerji (MeV)
⁶⁰ Co	5.26 y	1.17 1.33
¹³⁷ Cs	30 y	0.662
¹⁹² Ir	74 d	0.3 0.6
¹²⁴ Sb	60 d	0.6 2.1
²² Na	2.6y	1.2745
²⁴ Na	15.0h	1.3685 2.754
⁴⁶ Sc	83.7d	889.2 1120.5

Gama ışınları, malzeme içerisinde yol alırken üstel olarak zayıflamaktadırlar. Bu sebepten zırh malzemesinin kalınlığı ne olursa olsun teorik olarak gama ışınlarının tamamının soğurulması mümkün olamamaktadır.

2.2.4 Nötronlar

Nükleer reaktörler ve hızlandırıcılar geniş bir enerji yelpazesinde nötron üretebilmektedir. Çeşitli nötron jeneratörleri, hedef materyalin ışınlanmasına bağlıdır ve bu kaynaklardan gelen nötronlar, ışınlama kaynağı çıkarıldığında da sona ermektedir.

Nötronlar, elektrik yüküne sahip olmadıklarından çekirdeğe nüfuz etme olasıkları proton, döteron ve alfa parçacıklarına göre bir hayli fazladır. Çizelge 2.3’de bazı nötron kaynakları gösterilmektedir (Martin, 2006).

Çizelge 2.3 : Bazı nötron kaynakları ve ortalama enerjileri.

Kaynak	Reaksiyon	Enerji aralığı	Ortalama Eneji (MeV)
¹²⁴ Sb-Be	(γ ,n)	[a]	0.024
⁸⁸ Y-Be	(γ ,n)	[a]	0.16
²⁴ Na-D ₂ O	(γ ,n)	[a]	0.22
²⁴ Na-Be	(γ ,n)	[a]	0.83
Fisyon	(n,n)	0-8 MeV	2
² H- ² H (D-D)	(d,n)	[a]	3.27
²³⁹ Pu-Be	(α ,n)	0-8 MeV	4.5
²⁵² Cf	Spontane fisyon	0-10 MeV	2.3
² H- ³ H (D-T)	(d,n)	[a]	14.1

[a] Aslında kaynağın self-absorpsiyonuna bağlı olarak monoenerjiktir.

Nötron kaynakları olarak; nükleer reaktörlerde elde edilen nötronların yanı sıra, Berilyum ve/veya döteryum karışımli alfa yayınlayıcıları (α,n), ^{252}Cf gibi kendiliğinden fisyon yapabilen çekirdekler ve hızlandırıcılarda üretilen (d,n) reaksiyonlarından yararlanılabilmektedir.

Bir çok nötron kaynağı çizelge 2.3'de de görüldüğü üzere "hızlı" nötronlar olarak adlandırılan enerjilik nötronlar üretirler. Her ne kadar nötronlar hızlı olarak doğsalarda bulunduğı ortam ile etkışime girer ve enerjilerini kaybederler. Bu bağlamda nötronlar enerjilerine bağılı olarak řu şekilde sınıflandırılabilir:

- Soğuk nötronlar ($T < 20\text{ }^\circ\text{C}$): $<0.0253\text{ eV}$
- Termal nötronlar: 0.0253 eV
- Epitermal nötronlar: $0.0253-1\text{ eV}$
- Yavaş nötronlar: $0.0253-100\text{ eV}$
- Orta hızlı nötronlar: $0.5-10^4\text{ eV}$
- Hızlı nötronlar: $0.01-10\text{ MeV}$
- Yüksek enerjili nötronlar: $> 10\text{ MeV}$

Düşük ve orta enerjili nötronlar sıklıkla birbirinin yerine kullanılmaktadır (Martin, 2006).

2.3 Radyasyonun Madde ile Etkileşimi

Radyasyonun madde ile etkileşimleri günümüz teknolojik uygulamalarında bir hayli önem arz etmektedir. Bu bağlamda endüstri, sanayi, nükleer tıp, uçak uzay teknolojisi ve tarım gibi birçok alanlarda radyasyon teknolojisi ve biliminden faydanılma yoluna gidilmiştir. Bu başlık altında radyasyon madde etkileşimleri;

- Elektromanyetik radyasyonun madde ile etkileşimi
- Yüklü parçacıkların madde ile etkileşimi
- Nötronların madde ile etkileşimi

Temel alınarak 3 ana başlıkta incelenebilir.

2.3.1 Elektromanyetik radyasyonun madde ile etkileşimi

Radyasyondan korunma bağlamında rolleri çok iyi anlaşılmış olsa da durgun kütlelerinin olmaması, her zaman ışık hızında yol almaları ve hem parçacık hem de dalga özelliği göstermesi nedeniyle bir fotonu tanımlamak zordur. Fotonun enerjisi $h\nu$, momentumu h/λ ve enerji momentum cinsinden $E=p.c$ olarak ifade edilebilmektedir. Bir fotonun bileşimi bilinmemektedir ve elektron gibi fiziksel bir boyutu yoktur ve alt bileşenlerini elde etmek için ayrı olarak ele alınamazlar.

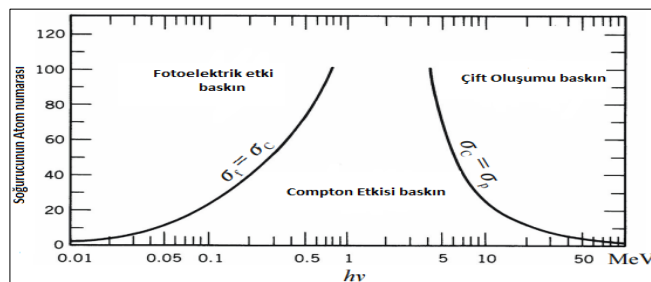
Elektromanyetik kuvvetin taşıyıcısı olması nedeniyle fotonlar fizik için temel teşkil etmektedirler. Fotonlar sadece teorik fiziğin matematiksel çerçevesinde var olsalar bile iki elektrik yükünün fotonların “değişimi” ile etkileşime girdiğine inanılmaktadır (Martin, 2006). Fotonlar, aşırı enerji taşınımı durumunda (bremsstrahlung üretimi, radyoaktif transformasyon veya nükleer etkileşimlerde) ortaya çıkmaktadırlar. Hem bir dalga hem de bir parçacık özelliği göstermesi ilgi çekici olmakla beraber her iki özelliği de foton etkileşimlerini açıklamak için gereklidir. Girişim ve kırınım olayları fotonların dalga özelliği ile açıklanırken, fotoelektrik, Compton ve çift oluşum olayları parçacık tanımını gerektirir.

X ve gama ışınları elektromanyetik radyasyon ailesine mensupturlar ve madde ile etkileşimleri çoğunlukla 3 temel olay çerçevesinde açıklanmaktadır (Powsner, 2006).

Bunlar;

- Fotoelektrik Etki
- Compton Saçılması
- Çift oluşumu

Şeklinde olmaktadır. Fotonların madde ile etkileşimlerinde atom numarası ve gelen fotonun enerjisine bağlı olarak baskın olan etkileşimler şekil 2.2’de gösterilmektedir (Powsner, 2006).

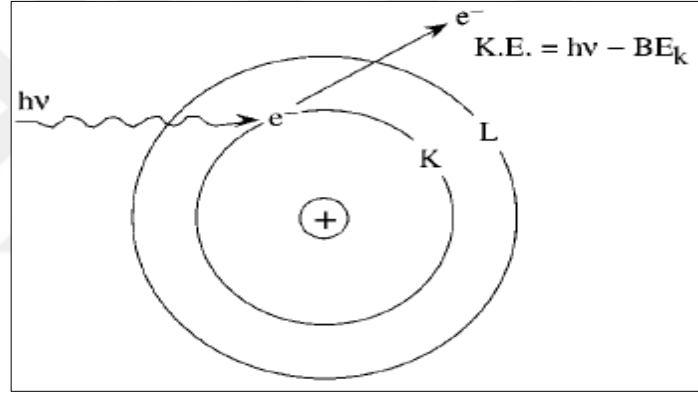


Şekil 2.2 : Fotonların malzeme ile etkileşim mekanizmaları.

2.3.1.1 Fotoelektrik etki

Düşük enerjili bir fotonun, atomun yörünge elektronu ile etkileşerek onu yörüngesinden koparması olayına “Fotoelektrik Olay” adı verilmektedir. Bu etkileşimde, gelen foton, enerjisinin tamamını elektrona aktarır ve K_e kinetik enerjili bir fotoelektron yayınlanmasına sebep olur. Kopan elektronun yörüngede bıraktığı boşluk, genellikle üst yörünge elektronları tarafından doldurulur ve bunun neticesinde iki yörünge arasındaki enerji farkı kadarlık bir enerjiye sahip karakteristik X-ışını yayımlanır (Bilge ve Tuğrul, 1990).

Üretilen karakteristik X-ışınlarının absorplanması da genellikle aynı ortam içerisinde, başka bir fotoelektrik etkileşim veya Auger elektronlarının yayınlanması sonucu gerçekleşir. Şekil 2.3’de fotoelektrik olayın şematik gösterimi verilmektedir (Martin, 2006).



Şekil 2.3 : Fotoelektrik etkinin şematik gösterimi.

Fotoelektrik soğurma katsayısı τ , denklem 2.4’de gösterildiği gibi ifade edilmektedir. Burada Z , soğurucu malzemenin atom numarası, E ise malzeme tarafından soğurulan foton enerjisidir.

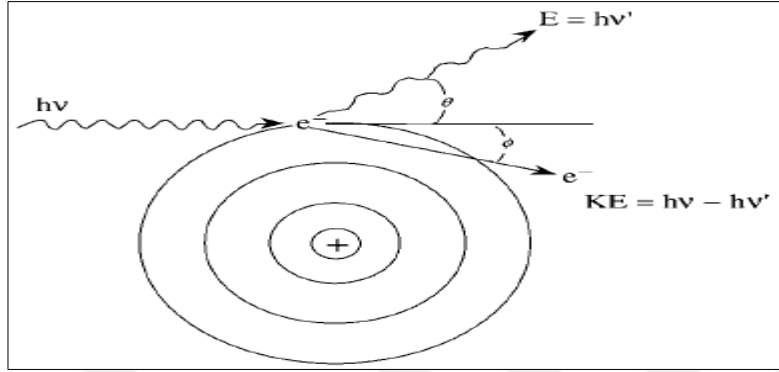
$$\tau \approx \text{sabit} \times Z^5/E^3 \quad (2.4)$$

Fotoelektrik olayın gerçekleşme olasılığı yüksek atom numaralı soğurucu malzemelerde ve düşük foton enerjilerinde daha yüksek olmaktadır (Martin,2006).

2.3.1.2 Compton saçılması

Fotoelektrik olaya kıyasla görece daha yüksek enerjilere sahip fotonların, atomun “serbest” veya çok gevşek bağlı bir elektronu ile etkileşmesi sonucu onu yörüngesinden koparması ve gelen fotonun yoluna artan dalgaboyu ile saçılarak

devam etmesi olayı Compton saçılması olarak adlandırılmaktadır. Compton saçılması, fotonun atomun elektronları ile esnek çarpışma yapması sonucu gerçekleşmektedir ve bu bağlamda enerji ve momentum korunur. Şekil 2.4’de Compton saçılması şematik olarak ifade edilmektedir (Martin, 2006).



Şekil 2.4 : Compton saçılmasının şematik gösterimi.

Compton saçılması sonucunda gelen foton, çarpışmadan yön değiştirerek, azalan bir enerjide yoluna devam eder. Compton kayması olarak da ifade edilen değişim, denklem 2.5’de gösterilmektedir.

$$\lambda' - \lambda = (h/m_0c) (1 - \cos\theta) = 0,024264 (1 - \cos\theta) \text{ \AA} \quad (2.5)$$

Burada λ' ve λ sırasıyla etkileşmeden sonra ve önce gelen fotonun dalgalı boylarını temsil etmektedir, h/m_0c ise Compton dalga boyu olarak ifade edilir ve sayısal değeri $2,4264 \times 10^{-10} \text{ cm}$ ’dir (Martin, 2006).

Compton etkileşme katsayısı σ aşağıdaki ifade edilen parametrelere bağlıdır. Bunlar;

- Gelen fotonun enerjisi
- Hedef malzemenin atom numarası

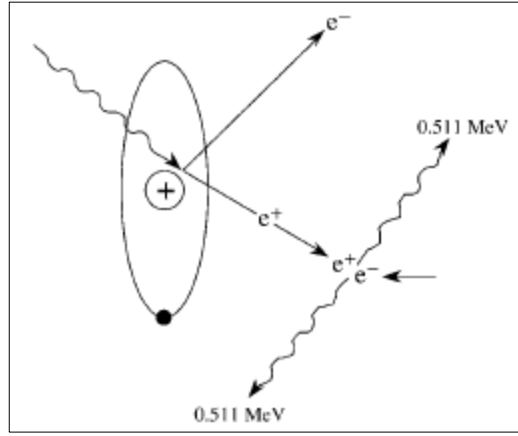
olarak ifade edilmektedir.

Compton etkileşiminin en önemli sonuçlarından biri de elektrona enerji aktarımıdır. Aktarılan bu enerji sıfırdan maksimum değere kadar değişkenlik gösterebilmektedir.

2.3.1.3 Çift oluşumu

Yüksek enerjili bir fotonun ($> 1,022 \text{ MeV}$) bir atom çekirdeğinin yakınından geçerken çekirdeğin elektromanyetik alanıyla etkileşerek, elektron ve pozitron olmak üzere bir çift elektron yayınlanması çift oluşum olayı olarak adlandırılmaktadır. Çift oluşumunda enerji korunduğundan pozitron ve elektron durgun kütle haricindeki

enerjiyi ($h\nu-1,022$) paylaşmaktadırlar. Şekil 2.5’de çift oluşumunun şematik gösterimi verilmektedir (Martin, 2006).



Şekil 2.5 : Çift oluşumunun şematik gösterimi.

Çift oluşumu etkileşimi sonucunda artı yüklü elektron (pozitron) antimadde olması nedeniyle atom içerisinde yol alırken negatif yüklü elektronlar ile etkileşerek “pozitronyum” atomunu oluşturur ve pozitronyum atomu bozularak (anihilasyon) 0,511 MeV’lik iki foton meydana getirmektedir.

Çift oluşum etkileşme katsayısı κ ile ifade edilir ve malzemenin atom numarasına ve gelen foton enerjisine bağlıdır. Bu bağlamda denklem 2.6’da çift oluşum etkileşim katsayısı ifade edilmektedir (Martin, 2006).

$$\kappa \approx s b t \times Z^2 (E-1,022) \quad (2.6)$$

2.3.2 Yüklü parçacıkların madde ile etkileşimi

Yüklü parçacıklar madde ile elektriksel kuvvetler bir diğer ifade ile coulomb etkileşimi bağlamında etkileşim yapmaktadırlar (Tuğrul, 2011). Yüklü parçacıklar atom içerisinde yol alırken kinetik enerjilerini;

- Uyarım
- İyonizasyon
- Radyatif kayıp

Şeklinde kaybetmektedirler. Yüklü parçacıkların madde ile etkileşimi maddenin atomik elektronları ile inelastik çarpışması ve çekirdekte elastik saçılmanın meydana gelmesi sonucunda oluşmaktadır. Bu reaksiyonlar maddede birim uzunluk başına bir

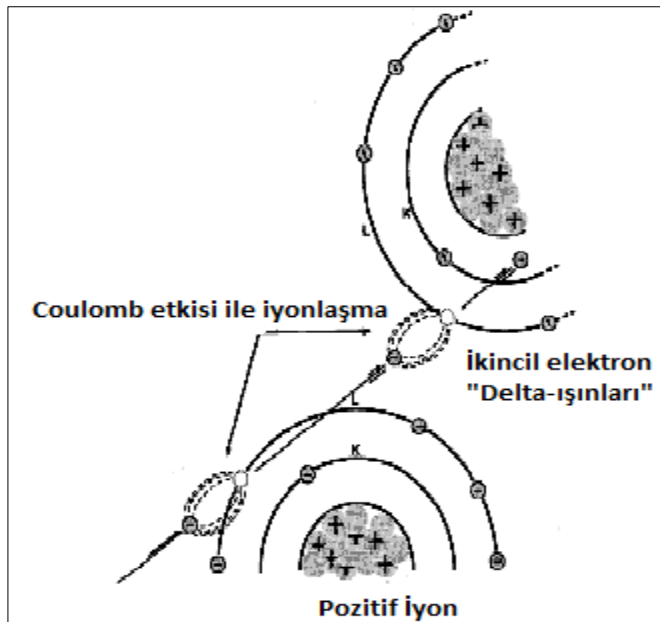
çok defa meydana gelmektedir. Yüklü parçacıkların madde ile etkileşimi hafif ve ağır parçacıkların etkileşimi olmak üzere iki grupta incelenmektedir.

2.3.2.1 Ağır yüklü parçacıklar

Geri tepen ağır çekirdekler, fisyon ürünleri ve alfalar yüklü parçacıklardır ve bir ortamı geçerken iyonizasyona neden olmaktadır ve esas itibariyle atom çekirdeği menşelidirler. Yükleri büyük olduğundan aldıkları yollar boyunca çok yoğun bir iyonizasyon oluştururlar. Bu etkileşimlerde yüklü parçacığın kinetik enerjisi atomun iyonlaşma enerjisinden büyük ise, yolu üzerindeki atomları iyonize etmektedir (Knoll, 2002). Yüklü bir parçacık madde içerisinde geçerken madde ile etkileşimleri sonucunda 2 durum gözlenmektedir. Bunlar;

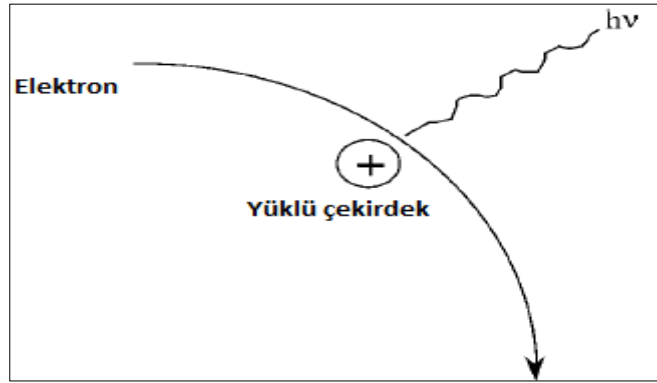
- Enerji kaybı
- Geliş doğrultusundan sapmalar

olmaktadır. İyonizasyon sonucunda ortamda birden fazla iyon çifti meydana gelmektedir ve bu durum yüklü parçacığın enerjisini tamamen kaybedene kadar devam etmektedir. Meydana gelen negatif iyonlar tekrardan ikincil bir iyonlaşmaya sebep olabilmektedir ve bu bağlamda oluşan elektronlar delta-ışınları olarak tanımlanmaktadır. Şekil 2.6'da delta ışınlarının şematik gösterimi verilmiştir (Knoll, 2002).



Şekil 2.6 : Atomun yüklü bir parçacık ile iyonizasyonu.

miktarına bağlı olarak değişmektedir. Şekil 2.7’de bremsstrahlung radyasyonunun şematik gösterimi verilmiştir (Martin, 2006).



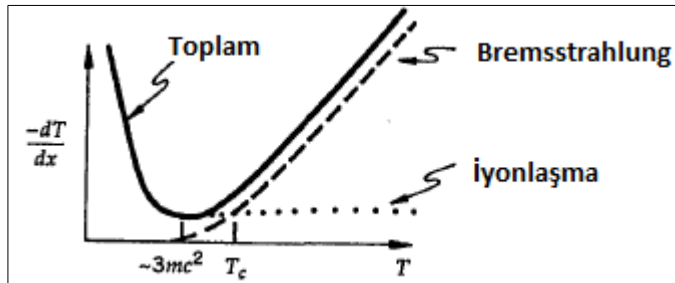
Şekil 2.7 : Yüksek hızlı elektron tarafından kaynaklanan bremsstrahlung radyasyonunun şematik gösterimi.

Beta parçalarının enerjisi ve malzeme içerisinde aldıkları yollar arasında deneysel sonuçlardan üretilmiş ampirik bağıntılar mevcuttur (Denklem 2.3).

Beta parçacıklarının malzeme içerisinde yol alırken kaybettiği toplam enerji denklem 2.7’de gösterildiği gibi ifade edilebilir.

$$\left(-\frac{dT}{dx}\right)_{\text{Top.}} = \left(-\frac{dT}{dx}\right)_{\text{iyon.}} + \left(-\frac{dT}{dx}\right)_{\text{Brem.}} \quad (2.7)$$

Betaların zırhlanmasında bremsstrahlung olarak ifade edilen elektromanyetik radyasyonun ortaya çıkması ve yüksek enerjilerde baskın hale gelmesi sebebiyle betalardan korunma bağlamında sorun teşkil etmektedir. Şekil 2.8’de elektronların madde içerisindeki enerji kayıpları elektron enerjisinin bir fonksiyonu olarak gösterilmektedir (Das ve Ferbel, 2003).



Şekil 2.8 : Elektronun madde içerisindeki enerji kaybının şematik gösterimi.

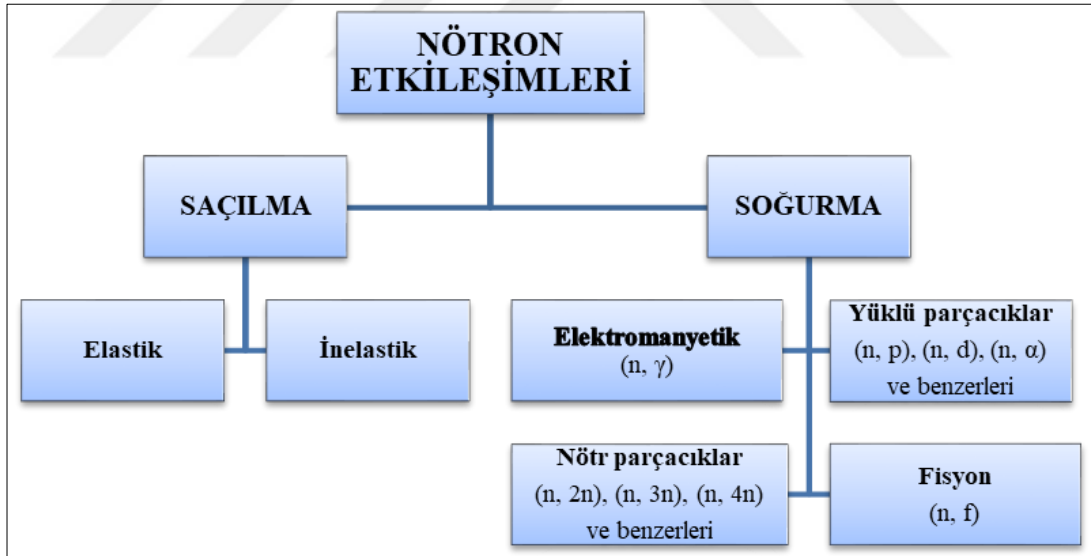
Bremsstrahlung olayının frekansı maddenin atom numarasının karesiyle doğru orantılı olarak artarken, beta parçacığının kütleyle ters orantılı olarak artış göstermektedir. Bir beta kaynağının enerjisi sıfırdan başlayıp karakteristik olarak maksimum enerjiye

uzanmakta olup, ortalama enerjisi E_{maks} değerinin $1/3$ 'ü olarak ifade edilmektedir. Bu bağlamda, beta parçacıklarının zırhlamasında yüksek atom numaralı elementlerin bremsstrahlung verimi yüksek olduğu için pratik olarak bütün beta enerjilerini soğuracak ve bremsstrahlung radyasyonunu en aza indirecek görece küçük atom numaralı plastik, alimünyum vb gibi malzemelerin kullanımına gereksinim duyulmaktadır. Bu bağlamda yapılan zırhlamada en yüksek enerjili beta parçacığın enerjisine göre malzeme ve kalınlık seçimi yapılmaktadır (L' Annunziata, 2012).

2.3.3 Nötronların madde ile etkileşimi

Nötronlar, elektrik yüküne sahip olmadıklarından çekirdeğe nüfuz etme olasılıkları proton, döteron ve alfa parçacıklarına göre bir hayli fazladır. Nötron kaynakları olarak; nükleer reaktörlerde elde edilen nötronların yanı sıra, Berilyum ve/veya döteryum karışımı yayımlayıcılar (α, n), ^{252}Cf gibi kendiliğinden fisyon yapabilen çekirdekler ve hızlandırıcılarda üretilen ((d,n) reaksiyonları) nötronlar kullanılmaktadır.

Bir nötron bir atom çekirdeği ile bir çok türde etkileşime sahip olabilir. Şekil 2.9, nötronların çekirdek etkileşimlerini göstermektedir (Rinard, 1970).



Şekil 2.9 : Çeşitli kategorilerde nötron etkileşimlerinin şematik gösterimi.

Nötronların çekirdek çarpışmalarında, tüm enerjilerini veya bir kısım enerjilerini vererek serbest nötron halinde olmaları “saçılma” etkileşimi olmaktadır. Saçılma prosesinde hedef çekirdeğe çarpan nötronun enerjisinin bir kısmı çarptığı çekirdeğe transfer edilmektedir. Böylece nötron yavaşlar ve termal reaktörlerde termalizasyon olayı için son derece önemli nötronlar elde edilir.

Elastik saçılma hızlı nötronların yavaşlatılması için en önemli reaksiyon olmaktadır ve elastik saçılma esnasında kinetik enerji korunmuş olur. Nötronların hedef çekirdek ile çarpışması neticesinde kaybedilen enerji miktarı çekirdeğin kütesine ve saçılma açısına bağlıdır. Basit bir esnek saçılma prosesinde nötron tarafından kaybedilen maksimum enerji “elastik” diye isimlendirdiğimiz çarpışmalar neticesinde olmaktadır.

Elastik saçılma etkileşimleri, hidrojen gibi küçük atom numaralı malzemelerle nötronların yavaşlatılması adına büyük bir öneme sahiptir. Bu tür saçılma reaksiyonları gelen demet içindeki nötronları yavaşlattığından, enerji spektrumunda doğal olarak önemli ölçüde değişiklik meydana getirmektedir.

İnelastik saçılmalar, yani esnek olmayan saçılmalar da nötronların yavaşlatılmasında etkin olmaktadır. İnelastik saçılmalarda nötronlar soğurucu ortamdaki çekirdeklerin uyarılmasına sebebiyet verirler ve bunun sonucunda atomdan uyarılma enerjisinin neredeyse tamamına yakını foton olarak atılır.

İnelastik saçılmalar, hızlı nötronlar ve ağır çekirdekler için baskındır ki bu sebepten hızlı nötron etkileşimleri, özellikle 1-2 MeV’in üzerindeki nötron enerjilerinde ve büyük Z’li atomlara sahip soğurucu ortamlarda bir gama ışını kaynağı meydana getirmektedir (Martin, 2006).

Elastik ve inelastik etkileşimler esnasında, radyasyon dozunu belirlemek adına bir hedef atoma aktarılan enerji önem arz etmektedir. Esnek çarpışmalarda, E enerjili nötronların geri tepen hedef atoma aktardıkları ortalama E’ enerjisi denklem 2.8 ve 2.9’da verilmektedir (Martin, 2006).

$$E - \bar{E}' = \frac{1}{2}(1 - a)E \quad (2.8)$$

Burada,

$$a = \left(\frac{A-1}{A+1}\right)^2 \quad (2.9)$$

ve A hedef çekirdeklerin kütle sayısıdır.

Ağır ortamlarda, esnek saçılmalar ile aktarılan enerji miktarı önemli derecede azalır, örneğin kurşun ve uranyum’da bu oran %1’den küçük olmaktadır (Martin, 2006). Bu bağlamda, ağır atomlu malzemelerde yüksek enerjili nötronların başlıca enerji kaybetme mekanizmaları esnek olmayan saçılmalardır. Bu durumda, E enerjili

nötronların, kütle numarası A olan ortamlardaki atomlarla yaptığı esnek olmayan saçılmalar neticesinde sahip olacağı ortalama enerji E'_{is} yaklaşık olarak denklem 2.10'de gösterildiği gibi olmaktadır (Martin, 2006).

$$E'_{is} \cong 6.4 \sqrt{\frac{E}{A}} \quad (2.10)$$

olmaktadır.

Nötronların çekirdek ile etkileştikten sonra hedef çekirdekten başka parçacıkların yayımlanması olayı “soğurma” etkileşimleri olarak tanımlanmaktadır. Bu bağlamda;

- Elektromanyetik reaksiyon (n, γ)
- Yüklü parçacıklar (n,p), (n,d), (n, α)
- Nötr parçacıklar (n,2n), (n,3n), (n,4n)
- Filyon (n,f)

Etkileşimleri incelenmektedir.

2.4 Radyasyonun Madde Üzerindeki Etkileri

Radyasyonun zararlı sonuçları radyasyon hasarı olarak tanımlanmaktadır. Radyasyonun madde üzerinde ne tür hasarlara sebebiyet verdiğinin anlaşılması için öncelikle, radyasyonun malzeme ile yaptığı etkileşimlerin analiz edilip daha sonrasında madde üzerinde ne gibi hasarlar bıraktığının incelenmesi gerekmektedir.

Çizelge 2.4'de farklı radyasyon tiplerinde çeşitli malzeme hasarları ve olası etkileri gösterilmektedir (Holbert, 2006).

Bu bağlamda genel olarak radyasyonun madde üzerindeki etkileri 4 başlık altında incelenebilir (Holbert, 2006). Bunlar;

- Safsızlık Üretimi: Çekirdeğin transmutasyonu sonucunda oluşan çekirdeğin yine radyoaktif olması durumunda safsızlıklar meydana gelebilmektedir. Ayrıca proton ve alfa parçacıkları da malzemede safsızlıkların depolanmasına sebebiyet verebilmektedirler.
- Atomik yerdeğiştirme: Atomun bulunduğu konumdan ayrılıp bir ara yer konumunda bulunması durumudur.

- İyonizasyon: Atomdan elektronun ayrılması ve atomun iyonize halde bulunması durumudur.
- Küçük hacimlerde büyük enerji salımı: Malzemelerin termal ısınma neticesinde ortaya çıkan sonuçlarından biridir, özellikle radyasyon zırh çalışmalarında önem arz etmektedir.

Çizelge 2.4 : Farklı radyasyon tiplerinde malzeme hasarları ve olası etkileri.

Radyasyon	Safsızlık üretimi	Atomik yerdeğiştirme	İyonizasyon	Enerji Salınımı
Termal nötronlar (eV)	Doğrudan doğruya safsızlık üretimine katkıda bulunurlar.	İndirekt	İndirekt	İndirekt
Hızlı nötronlar (MeV)	Kendiliğinden safsızlığa neden olurlar	Saçılma reaksiyonları neticesinde çok sayıda atomik yer değiştirmeye sebebiyet verebilirler.	Beta ve gama yayılımı nedeniyle çok sayıda iyonizasyona neden olurlar.	Çok kısa mesafelerde yüksek ısı aktarımı.
Fisyon ürünleri	He oluşumu malzeme içerisinde basınç problemlerine sebebiyet verebilir.	Atomik yer değiştirmeye sebebiyet verebilir.	Oldukça büyük derecede iyonizasyona sebebiyet verirler.	Kısa mesafelerde
Alfa	H oluşumu basınç problemlerine sebebiyet verir.		Doğrudan	
Proton				
Beta	-	Kısmen	Doğrudan	Lokal olarak ısı aktarımı söz konusudur.
Foton (γ ve X-ışınları)	-	Nadiren (Compton Etkisi ile)	İndirekt	Uzun mesafelerde ısınma

2.4.1 Safsızlık üretimi

Safsızlık üretimi, bir materyalde önceden var olmuş ya da olabilecek herhangi bir safsızlığı değil, radyasyonun sebebiyet verdiği safsızlığı temsil eder. Bir kristal içerisindeki safsızlıklar, elektriksel ve mekanik özellikleri değiştirebilecek yapısal kusurları oluşturabilmektedir. Çizelge 2.4’de görüldüğü üzere elektronlar ve protonlar

doğrudan safsızlık üretimine sebebiyet vermezler fakat malzemenin kimyasal bağlarının parçalanması yoluyla dolaylı yoldan safsızlık üretimine katkı verdiği düşünülebilir. Safsızlık üretiminde nötron ve iyonlar ile malzemenin ışınlanması çok daha büyük bir önem teşkil etmektedir. Malzemeye gelen iyonlar zamanla yavaşlar ve nötr duruma gelmek için elektron yakalarlar. Çizelge 2.4’da gösterildiği gibi protonlar hidrojen, alfa parçacıkları da helyum çekirdeği haline gelmektedir. Her iki durumda da nötr atom oda sıcaklığında gaz fazındadır ve dolayısıyla komşu atomlara basınç uygulamaktadır. Katılarda, bu iç basıncın malzemede şişmeye neden olduğu gözlenmiştir.

2.4.2 Atomik yer değiştirme

Yüklü bir parçacık madde içerisinden geçerken enerjisi hedef atomun yörünge elektronları ve malzeme çekirdeği ile elastik çarpışmalarla azalmaktadır. Elastik çarpışmalar atomu normal kafes konumundan çıkarabilir. Yerinden çıkarılmış bu atom birincil vuruntu olarak ifade edilir ve bu da atomik yer değiştirmelerin çoğalmasına neden olabilir. Şekil 2.10’da gösterildiği üzere yer değiştiren atom “ara yer atomu” olarak adlandırılır ve arkasında bir boşluk bırakır. Aynı zamanda ara yer atomu ve boşluk frenkel çifti diye adlandırılan frenkel kusurlarını da oluşturur. Yer değiştirme hasarı kafes kusurlarına sebep olan genellikle saçılma reaksiyonlarından meydana gelen nükleer etkileşimlerin bir sonucudur. Gelen parçacık ve bir örgü atomu arasındaki çarpışma, atomu Şekil 2.10’da gösterildiği gibi orjinal kafes konumundan çıkartmaktadır. Yer değiştirme hasarı üreten parçacıklar, protonların tüm enerjilerinde, 150 keV üzeri elektron enerjilerinde ve nötronların malzeme ile etkileşimlerinde gerçekleşmektedir (Holbert, 2006).



Şekil 2.10 : Atomik yer değiştirmenin şematik gösterimi.

2.4.3 İyonizasyon

İyonlaşma, nötr bir atomdan bir elektronun eksilmesi veya artması sonucu atomun iyon haline gelme işlemidir. İyonlaşma terimi kısmen iyonize olmuş bir atomdan elektron kopması durumunu ifade etmek için sıklıkla kullanılmaktadır. Bununla birlikte, uyarma iyonizasyon için gereken enerjiden daha düşük bir enerjide gerçekleşebilir. Çizelge 2.4’da gösterildiği üzere alfa, beta, protonlar doğrudan iyonizasyona neden olmaktadır, nötron ve gama ışınları ise dolaylı yollardan iyonizasyona sebebiyet vermektedirler.

İyonizan radyasyon, aşağıdaki kimyasal bağ sıralamasını takip edecek şekilde malzemelere artan sırada zarar verme eğilimindedir. Bu bağlamda en yüksek radyasyon hasarı kovalent bağlı bileşiklerde görülürken, en az hasar metalik bağlarda olma eğilimindedir (Holbert, 2006).

- Metalik bağ
- İyonik bağ
- Kovalent bağ

Bu bakımdan biyolojik dokular önemli miktarda kovalent bağ ile karakterize edildiklerinden, genellikle metalik bağlı yapısal bileşenlere kıyasla radyasyon hasarına karşı daha hassastırlar.

2.4.4 Enerji salımı

Radyasyonların tümü iyonizasyon işlemi yoluyla absorblayıcı malzeme üzerinde enerji ve yük birikimine neden olmaktadır. Su ve organik bileşiklerde absorbe edilen iyonlaşma enerjisinin çoğu kimyasal bağları bozar. Öte yandan metallerde, iyonlaşmadan kaynaklanan absorbe edilen enerjinin neredeyse tamamına yakını malzemenin termal ısınması olarak depo edilmektedir. İlgili sıcaklık artışı malzemenin bir takım özelliklerini değiştirebilir. Bu bağlamda absorbe edilen doz hızı (\dot{D}) ve malzemenin yoğunluğunun (ρ) çarpımı hacimsel ısı üretim oranını bir başka deyişle hacim başına enerji biriktirme oranını (\dot{Q}) vermektedir. Denklem 2.11’de malzemelerin birim hacim başına enerji biriktirme oranı ifade etmektedir (Knief, 1981).

$$\dot{Q} = \dot{D} \cdot \rho \quad (2.11)$$

2.5 Radyasyonun Zayıflatılması

2.5.1 Gama fotonlarının zayıflatılması

Radyasyonun madde ile etkileşimi sonucunda radyasyonun zayıflatılması söz konusu olmaktadır. Her ne kadar radyasyon tipine bağlı olarak (yukarıdaki alt bölümlerde açıklandığı üzere) farklı etkileşim olayları gerçekleşiyor olsa da sonuç olarak radyasyonun zayıflatılması söz konusu olmaktadır.

Beer Lambert Kanunu:

İdeal dar-demet şartlarında fotonların çeşitli soğurucu materyallerle azaltılması;

$$I_{(x)} = I_0 e^{-\mu x} \quad (2.12)$$

eşitliği ile verilmektedir. Burada;

I_0 : Gelen foton şiddetidir,

$I_{(x)}$: x kalınlıklı bir malzemeden geçtikten sonraki foton şiddeti

μ : Toplam zayıflatma katsayısı (cm^{-1})

olmaktadır (Martin,2006).

Toplam zayıflatma katsayısı, saçılma reaksiyonları dahil olmak üzere tüm etkileşme süreçlerini ifade eden bir terim olmaktadır, μ toplam zayıflatma katsayısı, soğurucu ortama ve foton enerjisine bağlı olarak değişmektedir.

μ değerleri genellikle soğurucunun Z 'si arttıkça artmaktadır. Özellikle düşük enerjili fotonlar için Z 'si büyük malzemelerde fotoelektrik etkileşme olasılığı ve yüksek enerjili fotonlar için Z 'si büyük materyallerde çift oluşum etkileşme olasılığı artmaktadır.

Kütle zayıflatma katsayısı ise malzemelerin lineer zayıflatma katsayısının malzemenin yoğunluğuna oranı olarak ifade edilmektedir. Eşitlik 2.13'de farklı elementlerden oluşan malzemeler için kütle zayıflatma katsayısı gösterilmektedir (Knoll,2002).

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} = \sum_i W_i (N_i/\rho_i) \quad (2.13)$$

W_i : i. Elementin karışım içindeki ağırlıksal yüzdesi.

Beta ışınlarının zayıflatılması için de yaklaşıklıkla eksponansiyel bir azalımın olduğu kabul edilmektedir (Knoll, 2002).

2.5.2 Nötronların zayıflatılması

Nötronların zayıflatılmasına ilişkin olarak ise;

$$I = I_0 e^{-\Sigma_{tot} x} \quad (2.14)$$

ifadesi kullanılabilir (Knoll, 2002). Burada; Σ_{tot} nötronlar için toplam makroskopik tesir kesitini betimlemektedir. Nötronlar enerjilerine bağlı olarak maddenin atomları ile farklı etkileşimlere sebebiyet vermektedirler. Bu etkileşimler elastik saçılma, inelastik saçılma, nötron yakalaması, nükleer reaksiyonlar ve fisyon olarak gerçekleşmektedir.

2.5.3 Çalışılan malzemelerin yarı-değer kalınlıklarının tayini

Bu tez çalışmasında çalışılan kompozit malzemelerin Cs-137, Co-60 ve Pu-Be nötron howitzer kaynağı karşısındaki Yarı-Değer Kalınlıkları (YDK) tayin edilmiştir. YDK, gelen radyasyon şiddetinin malzemeden geçtikten sonra radyasyon şiddetinin yarı değerine düştüğü malzeme kalınlığı olarak tanımlanmaktadır. Linear zayıflatma katsayılarına bağlı olarak çalışılan kompozit malzemelerin YDK değerleri eşitlik 2.15 yardımıyla hesaplanmıştır (Martin, 2006).

$$YDK = \frac{0.693}{\mu} \quad (2.15)$$

2.5.4 Çalışılan malzemelerin onda bir kalınlıklarının tayini

Bu tez çalışmasında çalışılan kompozit malzemelerin Cs-137, Co-60 ve Pu-Be nötron howitzer kaynağı karşısındaki Onda Bir Kalınlıkları (ODK) tayin edilmiştir. ODK, gelen radyasyon şiddetinin malzemeden geçtikten sonra radyasyon şiddetinin onda bir değerine düştüğü malzeme kalınlığı olarak tanımlanmaktadır. Linear zayıflatma katsayılarına bağlı olarak çalışılan kompozit malzemelerin ODK değerleri eşitlik 2.16'da ifade edildiği üzere hesaplanmıştır (Martin, 2006).

$$ODK = \frac{\ln 10}{\mu} \quad (2.16)$$

2.5.5 Çalışılan malzemelerin ortalama serbest yol değerlerinin tayini

Ortalama serbest yol, yönünü veya enerjisini veya diğer parçacık özelliklerini değiştiren ardışık etkiler (çarpışmalar) arasında hareketli bir parçacık (atom, molekül, foton gibi) tarafından alınan ortalama mesafesidir. Cs-137 ve Co-60 gama

radyoizotoplarının ve Pu-Be nötron howitser kaynağın çalışılan malzemeler karşısında aldıkları ortalama serbest yol değerleri hesaplanmıştır. Gama ışın radyografisinde, bir fotonun iki etkileşme arası gidebildiği ortalama uzaklık “ortalama serbest yol” olarak ifade edilmektedir. Fotonun serbest yolu, hedef malzemeye ve foton enerjisine bağlı olmaktadır. Ortalama serbest yol ifadesi eşitlik 2.17’de gösterilmektedir. Ortalama serbest yol “l” ile gösterilmektedir ve toplam zayıflatma katsayısının 1’e bölünmesiyle ifade edilmektedir (Martin, 2006).

$$l = \mu^{-1} \quad (2.17)$$

2.5.6 Çalışılan malzemelerin efektif atomik numaralarının tayini

Foton etkileşim tesir kesiti, foton enerjisinin ve Z atom numarasının bir fonksiyonu olarak ifade edilebilir. Verilen foton enerjisinde etkileşim tesir kesiti, Z^n ile orantılıdır. N değeri compton etkisi için 1, çift oluşumu için 2 ve fotoelektrik olay için 4 ile 5 arasında olması beklenmektedir (Murthy, 1965). Eleman sayısının değişken oranlarda olduğu kompozit malzemeler için, efektif atom numarası kullanılmaktadır. Z_{eff} , kompozit malzemeleri karakterize ettiği için uzay teknolojisinde radyasyondan korunmada, nükleer reaktör ve radyasyon dozimetre, vb gibi çeşitli alanlarda geniş çaplı uygulamalara sahiptir (Salehi, 2015; Issa, 2017). Bu nedenle, kompozit malzemelerin efektif atom numaralarının belirlenmesi son yıllarda deneysel ve teorik olarak ilgi çekmektedir. Kompozit malzemelerin Z_{eff} ’nin bulunması için çeşitli yöntemler belirlenmiştir. Bu yöntemler arasında “Direct Metot” en fazla tercih edilen yöntemlerden biri olmaktadır (Singh, 2014).

Bu doktora tez çalışmasında “direct metot” yöntemi kullanılarak, kompozit malzemelerin efektif atom numaraları hesaplanmıştır. Bu bağlamda eşitlik 2.18’de “direct metot” ifadesi gösterilmektedir (Singh, 2014).

$$Z_{eff} = \frac{\sum_i f_i A_i (\mu/\rho)_i}{\sum_j \left(\frac{f_j A_j}{z_j} \right) (\mu/\rho)_j} \quad (2.18)$$



3. ÖZEL HİBRİT KOMPOZİT MALZEMELER

3.1 Modern Kompozit Malzemeler

Tanım olarak “Özel” her zaman görülenden olağandan farklı ayırt edici bir niteliği olan anlamına gelmektedir. Hibrit ise kelime anlamı olarak “melez” anlamına gelmektedir. Bu bağlamda düşünüldüğünde Özel Hibrit Kompozit Malzemeler; iki ya da daha fazla sayıdaki, aynı veya farklı gruplardaki malzemelerin en iyi özelliklerini, yeni ve tek bir malzeme toplamak amacıyla, makro-düzeyde birleştirilmesiyle oluşturulan malzemeler olarak tanımlanmaktadır. Kompozit malzemelerin bileşenlerini iki ana başlık altında incelemek mümkündür (Zor, 2018).

Bunlar;

- Matris: Kompoziti oluşturan ana malzeme olarak ifade edilmektedir ve takviye elemanını bir arada tutmaktadır.
- Takviye elemanı: Matris içindeki ikincil faz olarak veya matrisi güçlendiren daha sert malzeme olarak ifade edilmektedir.

Kompozit malzemelere ihtiyaç duyulmasının ana nedeni, malzemelerin tek başına iken mevcut olmayan bazı özelliklerinin geliştirilmesi ve bir arada elde edilme isteği olmaktadır. Bu bağlamda kompozit malzemelerin başlıca özelliklerini şöyle sıralayabiliriz:

- Kompozit temel olarak karışım anlamına gelmekle beraber çözünen ve çözen bileşenlerden oluşmamaktadır.
- Kompozit malzemenin bileşenleri arasında atom alışverişi söz konusu değildir.
- Bileşenler, kimyasal olarak hiçbir şekilde birbirini etkilememektedirler.
- Kompozit malzemedeki partiküller nanometre seviyelerinde ise, bu tip kompozitlere “nanokompozitler” adı verilmektedir.
- Kompozit malzemelerde, matris elemanı plastik deformasyona geçişte oluşabilecek malzeme hasarlarını önleyici ve geciktirici rol oynarken, takviye

elemanı ise malzemenin dayanıklılığını ve yük taşıma özelliğini arttırmaktadır (Zor, 2018).

3.2 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Yeni geliştirilen bir malzemenin modern kompozit olarak adlandırılması için birtakım kriterleri yerine getirmesi gerekmektedir. Bu bağlamda;

- En az iki veya daha fazla fiziksel ve mekaniksel özelliklere sahip olan malzemelerin birleştirilmesi ve farklı ara yüzeye sahip olmaları,
- Yeni oluşturulan kompozitin, bileşeninde bulunan elemanlara göre daha iyi mekanik özellikler sunması,
- En uygun özellikler elde etmek için bir malzemenin diğer malzeme içine kontrollü şekilde dağıtılması neticesinde iki ayrı malzeme karıştırılarak Kompozit (Karma) bir malzeme oluşturulması,
- Özellikler mükemmel olup kompoziti oluşturan elemanların en iyi özelliklerini bir araya getirmesi,

gerekli olmaktadır.

Bu bağlamda, bahsedilen bu şartları kapsayan üç temel kompozit grubu bulunmaktadır. Bunlar takviye elemanlarına göre aşağıda verildiği gibi olmaktadır (Şahin, 2006).

- Elyaf takviyeli kompozit malzemeler
- Parçacık takviyeli kompozit malzemeler
- Tabakalı kompozit malzemeler

Bu üç tip takviye elemanlı kompozit; metal, plastik veya seramik matriks içinde olabilir. Takviye elemanı (ikinci faz) her zaman daha iyi özellik sağlanması açısından matristen daha sert olmaktadır.

Kompozit malzemelerin oluşum seçenekleri bir hayli fazladır ve bu sebepten bunların sınıflandırılması da güç olmaktadır. Kompozitleri matris malzemelerine göre kıyasladığımızda ise 3 temel durum söz konusu olmaktadır (Zor, 2018). Bunlar;

- Metal Matris Malzemeler

- Seramik Matris Malzemeler
- Polimer Matris Malzemeler

3.2.1 Metal matris kompozit malzemeler

Ana yapıyı metal matrisin oluşturduğu metal matrisli kompozitlerde deneysel çalışmalara bakıldığında çok farklı türlerin kullanıldığı göze çarpmaktadır. Metal matrisli kompozitlerin uygulama alanı, geniş bir spektrumu içine almaktadır. Bunlardan başlıcaları; Otomotiv sanayi, makine tasarımı, hava sanayi ve savunma sanayisi olmaktadır. Ayrıca, ileri teknoloji ürünleri olarak kullanılmaktadırlar. Metal matrisli kompozit malzemelere SiC takviyeli alüminyum kompozit malzemeler örnek gösterilebilir.

3.2.2 Seramik matrisli kompozit malzemeler

Seramik malzemeler sert ve kırılındırlar. Ayrıca yüksek sıcaklık dayanımlarına ve düşük yoğunluk özelliklere sahiptirler. Seramik malzemeler genellikle ısı şok direnci ve tokluğu düşük malzemeler olarak bilinmektedir. Bunlar; Al_2O_3 , SiC, Si_3N_4 , B_4C gibi kompozit malzemelerdir. Bu bileşikler değişik yapılarda olup, amaca göre bir ya da bir kaçını beraber kullanılarak seramik matrisli kompozitler elde edilebilmektedir. Başlıca kullanım alanları arasında askeri ekipmanlar ile uzay araç ve gereç uygulamaları yer almaktadır. İlaveten, seramik kompozit malzemelerin seramik fiberler ile takviye edilmesi durumunda, malzemenin mukavemet ve tokluk özellikleri gelişmektedir (Zor, 2018).

3.2.3 Polimer matrisli kompozit malzemeler

Termoset ve termoplastikler olarak iki gruba ayrılan polimer matrisler sürekli fiber takviyeli olmak üzere yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu kompozitlerin sürekli fiberlerle takviye edilmiş polyster ve epoksi reçine matrisli olanları en önemlileri olmaktadır. Polimer matrisli kompozit (PMK) malzemelerde kullanılan takviye malzemelerinin başında ise cam fiber, bor fiber, kevlar fiber ve karbon fiberler gelmektedir (Zor, 2018). PMK'lerin başlıca kullanım alanları ise, korozyon direncinin yüksek olması sebebiyle denizcilik uygulamaları, hafifliği sebebiyle uçak uzay sanayisinde ve otomotiv sektöründe tercih sebebi olmaktadır.

3.3 Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları

Üç ana grupta toplanan kompozit malzemelerde; genellikle kendi başlarına elde edilemeyen, bileşenlerinin en iyi özelliklerinin bir malzemede toplanması önemli avantaj meydana getirmektedir. Avantajlar genel olarak şöyle sıralanabilir;

- Yüksek dayanım
- Yüksek rijitlik
- İyi korozyon direnci
- Yüksek aşınma direnci
- Isı iletkenliği ve iyi termal özellikler
- Estetik görünümü
- Yüksek yorulma dayanımı
- Elektriksel Özellikler
- Yapı malzemelerinde çatlak ilerlemesini engellemesi

olarak ifade edilebilmektedir.

Dezavantajları ise;

- Üretiminin güç ve nispeten pahalı olması
- Fırınlamadan (pişirmeden) kullanılamamaları
- Nem ve hava zerreciklerinin, kompozitlerin mekanik ve yorulma özelliklerini olumsuz yönde etkilemesi
- Diğer malzemeler gibi geri dönüşümünün olmayışı,
- Kırılma uzamasının az oluşu,

gibi faktörler sayılabilir (Zor, 2018).

3.4 Volfram, Vanadyum, Titanyum ve Bor İçeren Malzemeler

3.4.1 Volfram ve özellikleri

Volfram, sembolü “W” ve atom numarası 74 olan metalik bir geçiş elementidir. Periyodik tabloda 6. periyod 6A grubunda bulunan volfram’ın atomik kütlesi

183,85±0,03 g/mol olmaktadır. Kelime anlamı olarak ağır taş anlamına gelen tungsten, izomerleri de dahil olmak üzere 35 izotopa sahiptir. Bunlardan sadece 5 tanesi doğal yollar ile oluşurken, geri kalan izotoplar yapay olarak oluşturulabilirler ve yarı ömürleri, milisaniye ile 200 günden fazla olmak üzere kararsız durumda bulunmaktadır (Lassner ve Schubert, 1999). Volfram'a ait bazı özellikler çizelge 3.1'de verilmektedir.

Çizelge 3.1 : Volfram'ın genel özellikleri.

Özellik	Açıklama
Simgesi	W
Yoğunluk	19,34 g/cm ³
Atom Kütle	183,84 g/mol
Buharlaşma Sıcaklığı	5555 °C
Ergime Sıcaklığı	3410 °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

Doğal ve iki önemli yapay izotopların özellikleri çizelge 3.2'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.2 : Bazı önemli volfram izotopları.

Sembol	Proton Sayısı	Nötron Sayısı	Atomik Kütle	Doğal Bolluk	T _{1/2}	Bozunum Tipi	Uygulama Alanları
¹⁸⁰ W	74	106	179,946	0,13	Kararlı	-	-
¹⁸² W	74	108	181,948	26,3	Kararlı	-	-
¹⁸³ W	74	109	182,950	14,3	Kararlı	-	NMR
¹⁸⁴ W	74	110	183,950	30,67	Kararlı	-	-
¹⁸⁵ W	74	111	184,953	0	75,1(gün)	β ⁻ , γ	İzleyici
¹⁸⁶ W	74	112	185,954	28,6	Kararlı	-	-
¹⁸⁷ W	74	113	186,957	0	23,9(saat)	β ⁻ , γ	İzleyici

Saf volfram elektrik uygulamalarında kendine yer bulurken, alaşım ve bileşimleri bir çok alanda kullanılabilir (Lassner ve Schubert, 1999). Volfram, nükleer füzyon uygulamalarında yüksek ergime sıcaklığı ve yüksek termal iletkenliğe sahip olması

nedeniyle gelecek adına en umut veren malzeme konumundadır. Füzyon uygulamaları için en önemli özellikler termal iletkenlik, mukavemet ve süneklik, termal şok ve termal yorulma direnci, yüksek sıcaklıkta yapısal stabilite ve nötron ışınlaması altındaki özelliklerin stabilitesidir (Pintsuk, 2012).

Malzemenin avantajları, yüksek sıcaklık tutma kapasitesine bağlı olmakla birlikte, sınırlamalar, düşük sıcaklıklarda üretim ve işleme, nötron ışınlaması ve radyolojik konular dahil olmak üzere plazma uyumluluğu ile ilişkilidir.

Avantajlarının yanı sıra dezavantajlara sahip olmasına rağmen volfram nükleer füzyon uygulamaları için en önemli malzemelerden biri olmaktadır. Volfram'in avantajları ve dezavantajları, çizelge 3.3'de gösterilmektedir (Pintsuk, 2012).

Çizelge 3.3 : Volfram zırh malzemelerinin özellikleri.

Avantajları	Dezavantajları
Yüksek ergime sıcaklığı	Yüksek atom numarası
Düşük erozyon	Kötü işlenebilirlik
Yüksek termal gerilme direnci	Yeniden kristalleşme
Yüksek termal iletkenlik	Nötron gevrekleşmesi
Düşük şişme	Yüksek radyoaktivite (kısa süreli atık)
Düşük trityum tutulumu	İşinlama kaynaklı transmutasyon

3.4.2 Vanadyum ve özellikleri

Vanadyum, atom numarası 23 olan sert, gümüş gri, sünek ve eğilebilir, “V” sembolü ile gösterilen bir geçiş metalidir. Vanadyum her yerde bulunan bir metaldir. Dünya kabuğundaki ortalama vanadyum konsantrasyonu 150 µg/g'dır (National research council, 1974; Water, 1977), vanadyumun topraktaki konsantrasyonu 3-310 µg/g aralığında değişir ve uçucu kül ile kirlenmiş alanlarda ise yüksek değerlere (400 µg/g) kadar ulaşabilmektedir (Bengtsson ve Tyler, 1976). Sudaki vanadyum konsantrasyonu büyük ölçüde coğrafi konuma bağlıdır ve tatlı sudaki konsantrasyonu 0,2-100 µg/litre arasında ve deniz suyundaki 0,2-29 µg/litre arasında değişmektedir (Water, 1977; Bengtsson ve Tyler, 1976).

Genellikle diğer metaller ile birlikte üretildiği için vanadyumun varlığı ve üretim ekonomisi söz konusu ilgili yan ürünler ile yakından ilgilidir. Üretilen vanadyumun yaklaşık %80'i çelik katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Vanadyum çelik

alaşimleri çok serttir ve zırh plakası, akslar, aletler, piston kolları ve krank milleri için kullanılır (Heiserman, 1992). Vanadyum alaşimleri 1970’li yıllarda Sıvı Metal Hızlı Üretken Reaktörler’de (LMFBR) kaplama malzemeleri için aday konumundaydı fakat temel olarak sıvı sodyum ile çözülmemiş bir korozyon sorunu nedeniyle vanadyum alaşimleri ile yapılan çalışmalar askıya alındı. Vanadyum alaşimleri “düşük aktivasyon” özelliklerinden dolayı füzyon reaktörlerinde kullanılmak üzere 1980’li yıllarda tekrar dikkat çekmiştir. Vanadyum’a ait bazı özellikler çizelge 3.4’de verilmektedir (Lide, 2005).

Günümüzde, vanadyum alaşimleri füzyon reaktörleri için ümit vaat eden üç adaydan biri olarak kabul edilmektedir (Muroga, 2014). Yirmi yılı aşkın süren araştırmalardan sonra V-4Cr-4Ti alaşimleri füzyon reaktörlerinde lider aday malzeme olarak ortaya çıkmıştır ve vanadyum alaşımının füzyon reaktör uygulamalarında teknolojik ilerleme sağlanmıştır (Muroga, 2014).

Çizelge 3.4 : Vanadyum’un genel özellikleri.

Özellik	Açıklama
Simgesi	V
Atom numarası	23
Yoğunluk (200°C)	6,1 g/cm ³
Atom Kütleli	50,9415 g/mol
Buharlaşma Sıcaklığı	3407 °C
Ergime Sıcaklığı	1910 °C
Elektrik direnci (20°C)	24.8 μΩ·cm
Termal İletkenlik (20°C)	35 W/m.K
Termal Nötron Absorbsiyon Tesir Kesiti	4,7 barn

Bazı vanadyum alaşimleri, bir füzyon ortamında uygun güvenlik ve çevresel özellikler, iyi üretilebilirlik, yüksek performans ve uzun çalışma ömrü ile elverişli potansiyel sergilemektedir (Smith, 2000). Vanadyum alaşımınlar, füzyon reaktörlerinde plazma ile etkileşen ilk yüzey uygulamaları için elverişli fiziksel özellikleri yerine getirmektedir. Bu bağlamda çizelge 3.5’de paslanmaz çelik (Tip 316) ve ferritik/martensitik (HT-9) çeliklere kıyasla vanadyum alaşimleri için seçilmiş fiziksel özellikleri gösterilmektedir.

Çizelge 3.5 : Vanadyum alaşımlarının diğer aday malzemeler ile kıyaslanması.

	316 SS	HT-9	VCrTi
Ergime Sıcaklığı (°C)	1400	1420	1890
Yoğunluk (g/cm ³)	8,0	7,8	6,1
Poisson oranı	0,27	0,27	0,36
Elastik modülü, Gpa@400°C	168	180	120
Lineer termal genişleme 10 ⁻⁶ /K			
400 °C	17,6	11,8	10,2
500°C	18,0	12,3	10,3
600 °C	18,3	12,6	10,5
Termal iletkenlik (W/m.K)			
400 °C	19,5	26,8	33,6
500°C	21,0	27,3	34,5
600 °C	22,5	27,7	35,3
Elektrik direnci (µm)			
400 °C	1,01	0,91	0,67
500°C	1,06	0,99	0,74
600 °C	1,12	1,05	0,81
Özgül Isı (J/kg.K)			
400 °C	560	600	535
500°C	575	680	560
600 °C	580	800	575

3.4.3 Titanyum ve özellikleri

Bir kimyasal element olarak 220 yıldan fazla bir süredir bilinen titanyum, yer kabuğunda alüminyum, demir ve magnezyumun ardından en yüksek konsantrasyona sahip dördüncü element olarak yer almaktadır. Titanyum saf halde nadiren kullanılmasına karşın, son yıllarda geliştirilen yöntemlerle titanyum alaşımlarının kullanımı önemli ölçüde artmıştır. Titanyum ve alaşımlarının diğer bilinen yapısal malzemelere göre avantajları; geniş bir sıcaklık aralığında yüksek mekanik özellikler, düşük yoğunluk, zor ortam koşullarında mükemmel korozyon direnci, düşük ısı iletkenlik ve iyi işlenebilirlik olarak ifade edilebilmektedir (Gospodinov, 2016). Çok sayıda titanyum alaşımları geliştirilmesine rağmen, bunlar α -alaşımları, β -alaşımları ve $\alpha+\beta$ alaşımları olmak üzere üç ana kategoride gruplandırılmaktadır (Luo, 2010).

Titanyum alaşımlarının özellikleri, kimyasal yapıya ve termomekanik işlemlere dayanan mikroyapıya bağlı olmaktadır.

Yüksek zgl mukavemeti ve olağanüstü korozyon direncinden ötürü, titanyum alaşımları, mühendislik, otomotiv ve biyomedikal alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Ribeiro, 2003). Ti-6Al-4V alaşımları, titanyumun iyi mekanik ve korozyon direncinin, biyo uyumluluğu ile beraber biyomedikal bileşenlerinde en popüler titanyum bazlı malzeme olmaktadır (Latsyh, 2005; Arrazola, 2009). Çizelge 3.6 titanyum'un genel özelliklerini göstermektedir (Lide, 2005).

Çizelge 3.6 : Titanyum'un genel özellikleri.

Özellik	Açıklama
Simgesi	Ti
Atom numarası	22
Yoğunluk (200°C)	4,51 g/cm ³
Atom Kütlesi	47,90 g/mol
Buharlaşma Sıcaklığı	3289 °C
Ergime Sıcaklığı	1678 °C
Elektrik direnci (20°C)	54 μΩ·cm
Termal İletkenlik (20°C)	26 W/m.K
Ortalama zgl Isı	528 J.kg ⁻¹ K ⁻¹

Nükleer uygulamalarda da bir hayli öneme sahip olan titanyum alaşımları, füzyon reaktörlerinin ilk duvar ve manyetik bobin yapıları için aday yapısal malzemeler olarak kabul edilmektedir. Titanyum alaşımlarının yüksek özgül mukavemetleri ve düşük elastik modülü, radyasyon hasarlarına karşı iyi direnç göstermeleri ve hızlı indüklenen radyoaktivite bozulmaları nedeniyle ilgi çeken malzemeler olmaktadır. ITER füzyon reaktörün ilk duvar modüllerinin eki, titanyum alaşımlarından yapılmış esnek konektörler kullanılarak tasarlanmıştır (Marmy ve Lippo, 2003).

3.4.4 Bor ve zellikleri

Bor bileşikleri binlerce yıldır bilinmektedir, ancak 19. y.y. kadar keşfedilmemiştir. Element, doğada serbest olarak bulunmamakla beraber, genellikle volkanik kaynak sularında ortoborik asit olarak ve boraks ve kolemanitlerde boratlar olarak ortaya çıkmaktadır.

Önemli bor kaynakları, ores rasorit (kernit) ve tinkal (boraks cevheri) 'dir. Bu cevherlerin ikisi de Mojave Çölü'nde bulunur. Bor rezervlerinin 2/3'ü bulunan Türkiye'de yaygın boraks yatakları bulunmaktadır (Lide, 2005). Bor elementinin bazı özellikleri çizelge 3.7'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.7 : Bor elementinin özellikleri.

Özellik	Açıklama
Simgesi	B
Atom numarası	5
Yoğunluk (200°C)	2,34 g/cm ³
Atom Kütle	10,811 g/mol
Buharlaşma Sıcaklığı	4000 °C
Ergime Sıcaklığı	2075 °C

3.4.5 Karbür bileşikleri ve özellikleri

3.4.5.1 Titanyum karbür

Titanyum karbür, yüksek mukavemet, sertlik ve üstün aşınma direnci ile beraber son derece sert bir malzemedir. Bu özelliklerinden ötürü tercih edilen bir malzeme durumundadır.

Düşük sürtünme katsayısına sahiptir ve soğuk kaynaklara dayanıklıdır ve aynı zamanda yüksek sıcaklıkta da iyi bir kararlılığa sahiptir. Bu sebeplerden dolayı titanyum karbür, kesme ve taşlama aletlerinde ikincil bir karbür olarak büyük kullanımı olan bir endüstriyel malzeme haline gelmiştir. İlâveten, bu araçlar için ve diğer mekanik ve aşınma uygulamalarında kaplama olarak da kullanılmaktadır. Titanyum karbürün bazı özellikleri çizelge 3.8'de gösterilmektedir (Pierson, 1996).

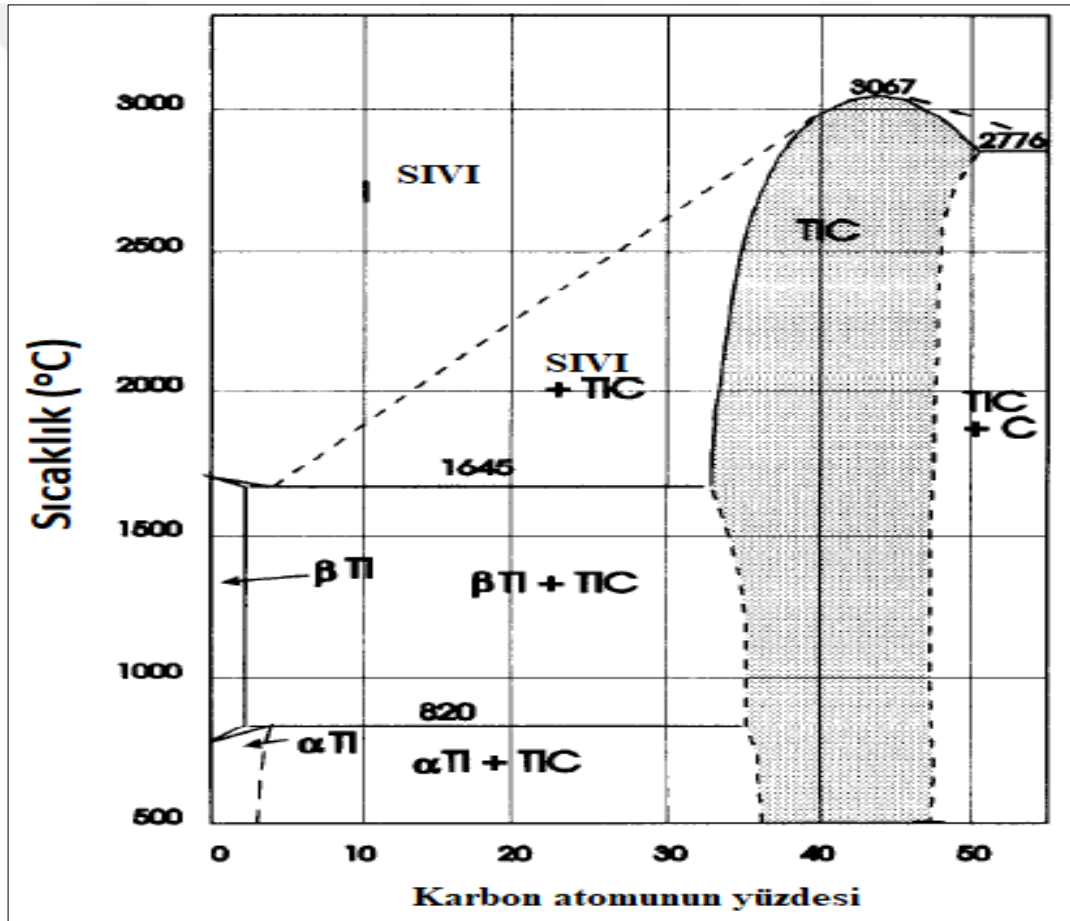
Çizelge 3.8 : Titanyum karbürün bazı özellikleri.

Özellik	Açıklama
Simgesi	TiC
Rengi	Gümüş gri
Yoğunluk (200°C)	4,91 g/cm ³
Atom Kütle	59,91 g/mol
Termal genleşme	7,4x10 ⁻⁶ /°C
Ergime Sıcaklığı	3067 °C
Elektrik direnci (20°C)	50 ± 10 µΩ·cm
Termal İletkenlik (20°C)	21 W/m.°C
Özgül Isı	33,8 J.mole.K ⁻¹
Vickers Sertlik	28-35 GPa
Elastik modülü	410-450 Gpa
Poisson Oranı	0,191

Aşağıda titanyum karbür uygulamaları verilmektedir.

- Metal katkılı karbürlerde ikincil karbür olarak
- Kesme, damgalama, kırma, kaplama, pompa milleri ve besleme milleri için kaplama olarak
- Yüksek voltajlı batarya ve yakıt gücü için kalıplanmış bipolar plakalarda
- Füzyon reaktör uygulamalarında kaplama malzemesi olarak

kullanılmaktadır (Mullendore, 1981). Şekil 3.1'de titanyum karbürün faz diyagramı gösterilmektedir (Lowther, 1986). Taralı alan stoikiyometrik olmayan tek fazlı bölgeyi ifade etmektedir.



Şekil 3.1 : Titanyum karbürün faz diyagramı.

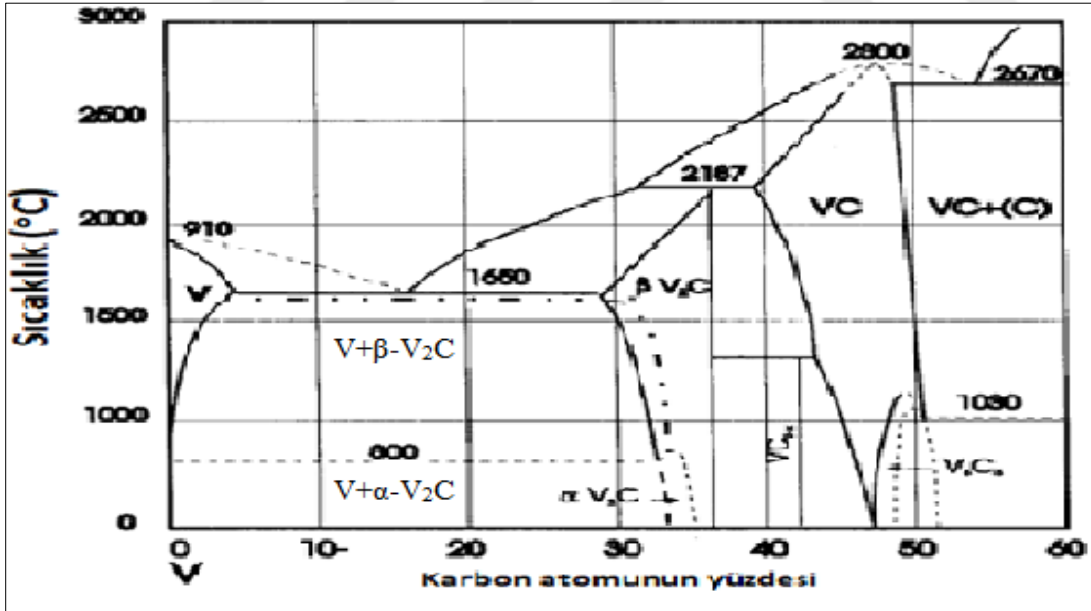
3.4.5.2 Vanadyum karbür

Monokarbit vanadyum karbür (VC), endüstriyel olarak üretilen tek fazdır, ancak kullanımını sınırlıdır. Vanadyum karbür'ün bazı özellikleri çizelge 3.9'da gösterilmektedir (Pierson, 1996).

Çizelge 3.9 : Vanadyum karbür'ün bazı özellikleri.

Özellik	Açıklama
α -V ₂ C (düşük sıcaklık faz)	Ortorombik
β -V ₂ C (yüksek sıcaklık faz)	hekzagonal
Yoğunluk (V ₂ C)	5,75 g/cm ³
Yoğunluk (VC)	5,65 g/cm ³
Atom Kütlesi (V ₂ C)	113,89 g/mol
Atom Kütlesi (VC)	62,953 g/mol
Renk	Gri
Ergime Sıcaklığı	2830 °C
Özgül Isı	32,3 J/mol.K
Elektrik direnci (20°C)	60 $\mu\Omega \cdot \text{cm}$
Termal İletkenlik (20°C)	38,9 W/m.°C
Termal Genleşme	$7,3 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
Vickers Sertlik	27,2 GPa
Elastik modülü	430 Gpa
Poisson Oranı	0,22

Yüksek sıcaklıklarda sadece VC ve VC₂ fazları bulunmaktadır. Bu fazlar 1320 °C'de peritektoid tepkime sonucu V₄C_{3-x} fazını oluşturmaktadır. Daha düşük sıcaklıklarda daha komplike fazlar oluşmaktadır (Pierson, 1996). V-C faz diyagramı şekil 3.2'de gösterilmektedir (Moffatt, 1984; Massalski, 1990).



Şekil 3.2 : Karbon-vanadyum faz diyagramı.

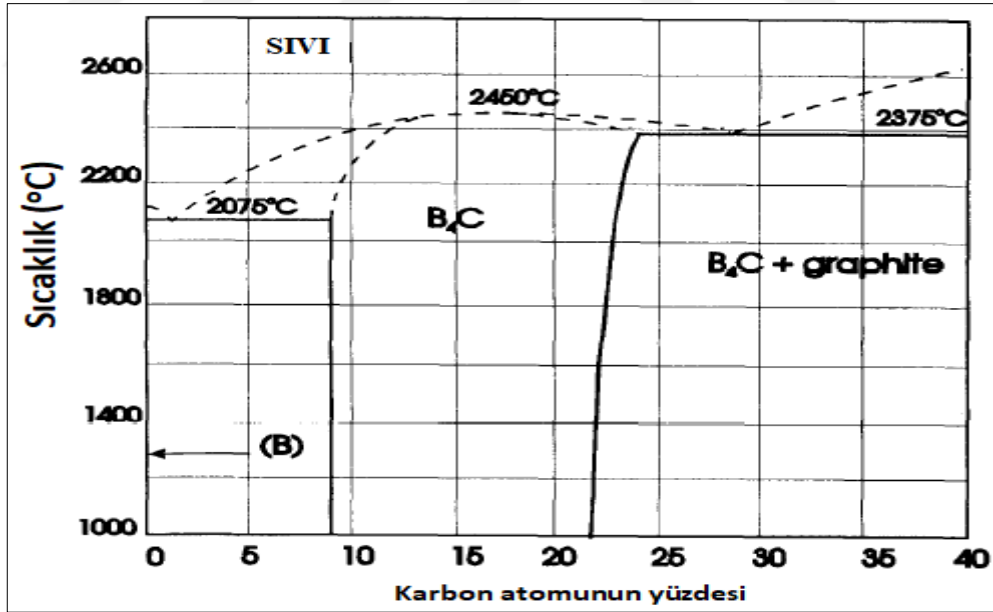
3.4.5.3 Bor karbür

İlk kez 1889 yılında Henry Moissan tarafından sentezlenen bor karbür, elmas ve kübik bor nitrürden sonra bilinen en sert malzeme olmaktadır (Kovalev, 2017). Çizelge 3.10'da bor karbür'ün bazı özellikleri verilmiştir (Pierson, 1996).

Çizelge 3.10 : Bor karbür'ün özellikleri.

Özellik	Açıklama
Simgesi	(B ₁₁ C) CBC
Renji	Siyah
Yoğunluk	2,52 g/cm ³
Atom Kütlesi	55,26 g/mol
Termal genişleme	4,3x10 ⁻⁶ /°C
Ergime Sıcaklığı	2450 °C
Elektrik direnci (20°C)	0,1-10 μΩ·cm
Termal İletkenlik (20°C)	30 W/m.°C
Özgül Isı	33,8 J.mole.K ⁻¹
Vickers Sertlik	27,4-34,3 GPa
Elastisite modülü	290-450 Gpa
Poisson Oranı	0,18
Nötron Zayıflatma Tesir Kesiti	755 barn (¹⁰ B)

Bor karbürün çeşitli kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri modern teknolojideki geniş uygulama yelpazesi sağlamaktadır. Bor karbür düşük yoğunluğu, yüksek termal nötron tesir kesiti ve yüksek ergime sıcaklığı ile önemli bir seramik malzeme konumunda olmaktadır (Thevenot, 1990). Bor karbürün faz diyagramı şekil 3.3'de gösterilmektedir (Moffatt, 1984; Massalski, 1990).



Şekil 3.3 : Bor karbür faz diyagramı.

3.4.5.4 Volfram karbür

Yaklaşık olarak yıllık 20.000 ton üretim hacmi ile volfram karbür büyük bir endüstriyel malzeme konumundadır. En büyük kullanım alanı metal katkı

karbürlerde kesme aletleri uygulamaları olmaktadır. Volfram karbür'ün bazı özellikleri çizelge 3.11'de verilmektedir (Pierson, 1996).

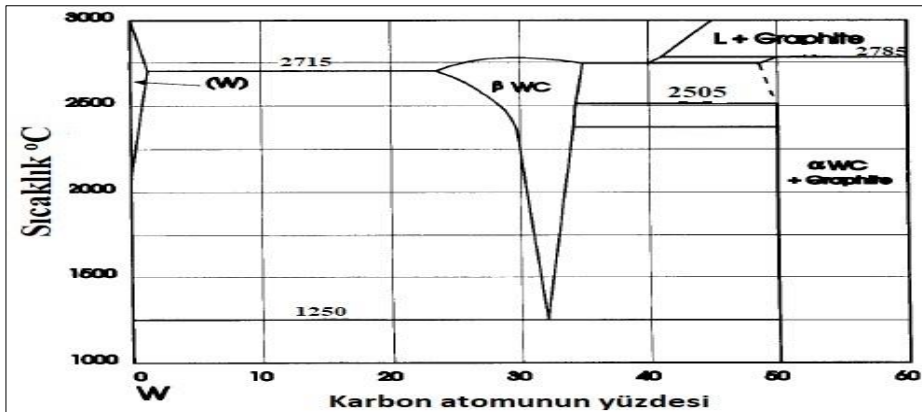
Çizelge 3.11 : Volfram karbür'ün özellikleri.

Özellik	Açıklama
Simgesi	W_2C , WC, β - WC_{1-x}
Rengi	Gri
Yoğunluk	
W_2C	17,2 g/cm ³
WC	15,8 g/cm ³
Atom Kütleli	
W_2C	379,71 g/mol
WC	195,86 g/mol
Ergime Sıcaklığı	
W_2C	2730 °C
WC	2870 °C
Elektrik direnci (20°C)	17-22 $\mu\Omega \cdot cm$
Termal İletkenlik (20°C)	63 W/m.°C
Özgül Isı	39,8 J.mole.K ⁻¹
Vickers Sertlik	22 GPa
Elastisite modülü	620-720 GPa
Poisson Oranı	0,18

Volfram karbür'ün bazı uygulama alanları aşağıda verilmektedir.

- Kesme ve sondaj araçlarında
- Petrol sahası ve madencilikte
- Tıp ve diş hekimliği uygulamaları

W-C ikili faz diyagramı şekil 3.4'de gösterilmektedir (Moffatt, 1984; Massalski, 1990).



Şekil 3.4 : W-C faz diyagramı.

3.5 Paslanmaz Çelikler

Bir malzeme sınıfı olarak, paslanmaz çelikler diğer malzeme gruplarından ayrılırlar ve kimyasal, petrokimyasal, açık deniz, enerji üretimi gibi önemli alanlarda geniş uygulamalar buldukları için modern endüstrinin omurgası olarak kabul edilmektedirler. (Geogy ve Shaikh, 2002).

Paslanmaz çelik alaşımlarının tasarımı öncelikle kimyasal, mekanik ve termal stabilite hususları değerlendirilerek yapılmaktadır. Çeşitli paslanmaz çelikler için temel yapı, ilave edilen Ni, Mo, Mn gibi büyük alaşım elementlerinin yanı sıra C ve N gibi minör elementler tarafından modifiye edilen Fe-Cr ikili sistemleridir (Rivlin ve Raynor, 1980). Bir çok farklı paslanmaz çelik vardır ve ana tipler aşağıdaki gösterildiği gibi metalurjik yapılarına göre gruplandırılmıştır (Pickering, 1976).

- Martensitik paslanmaz çelik
- Çökelme yoluyla sertleşebilen paslanmaz çelikler
- Ferritli paslanmaz çelikler
- Östenitli paslanmaz çelikler
- Yüksek azotlu paslanmaz çelikler
- Dupleks paslanmaz çelikler

Deneysel çalışmalarımızda kullandığımız “321 paslanmaz çelik” östenitli paslanmaz çelik grubunda yer almaktadır. Yüksek sıcaklıklarda mükemmel korozyon direnci ve mekanik özelliklere sahip olmasından dolayı östenitli paslanmaz çelikler konvansiyonel ve nükleer santrallerde yaygın olarak kullanılmaktadır.



4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu doktora tez çalışmasında, volfram matrisli kompozit malzemeler ve ilgili kaplama malzemelerin farklı tip radyasyonlar karşısında davranışlarının incelenmesi ve bu kapsamda uygun malzemenin farklı tip radyasyonlar karşısında davranışlarının belirlenmesi hedef alınmıştır. Bu bağlamda, volfram, vanadyum, titanyum, alümina, bor ve bakır içeren malzemeler temin edilmiş ve radyasyon etkileşimlerinin incelenmesine yönelik deneysel çalışmalar ve deney düzenekleri tasarlanmıştır.

4.1 Çalışılan Malzemeler

Farklı radyasyon tipleri karşısında davranışları incelenen malzemeler, temel olarak üç başlık altında değerlendirilebilir. Söz konusu bu malzemeler;

- Volfram matrisli kompozit malzemeler
 1. W- % ağı. 6 VC- % ağı. 1 C
 2. W- % ağı. 6 VC- % ağı. 2 TiC- % ağı. 1 C
 3. W- % ağı. 6 B₄C- % ağı. 2 TiC- % ağı. 1 C
 4. WC- % ağı. 6 Co
- 321 Paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemeleri
 1. 321 paslanmaz saf çelik
 2. 321 paslanmaz çelik üzerine Al₂O₃- % ağı. 10 B₄C
 3. 321 paslanmaz çelik üzerine Al₂O₃- % ağı. 20 B₄C
 4. 321 paslanmaz çelik üzerine Al₂O₃- % ağı. 30 B₄C
- 321 Paslanmaz çelik üzerine volfram temelli kaplama malzemeleri
 1. 321 paslanmaz çelik üzerine W kaplamalar
 2. 321 paslanmaz çelik üzerine W-B₄C kaplamalar
 3. 321 paslanmaz çelik üzerine W-Cu kaplamalar

olarak gruplandırılmıştır. Deneylede kullanılan malzemeler, özelliklerine göre kodlanarak farklı radyasyon tipleri karşısında deneyleri gerçekleştirilmiştir.

4.1.1 Volfram matrisli kompozit malzemeler

Volfram matrisli kompozit malzemeler kütlece farklı oranlarda vanadyum karbür (VC), titanyum karbür (TiC), bor karbür (B₄C) ve kobalt (Co) katkılı Volfram karbür malzemeler olarak dört ana başlık altında değerlendirilmiştir.

İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya-Metalurji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde özel olarak üretilen volfram matrisli kompozit malzemeler aşağıda verilmektedir.

- W- % ağı. 6 VC- % ağı. 1 C
- W- % ağı. 6 VC- % ağı. 2 TiC- % ağı. 1 C
- W- % ağı. 6 B₄C- % ağı. 2 TiC- % ağı. 1 C

Volfram ana matrisle kütlece farklı yüzdeler ile ilave edilen vanadyum karbür (VC), titanyum karbür (TiC) ve karbon (C) katkılı malzemeler 6, 12, 24 saat gibi farklı alaşımlama sürelerinde mekanik alaşımlama tekniği kullanılarak üretilmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan volfram ve ilave katkı malzemelerin saflıkları ve başlangıç boyutları Çizelge 4.1'de görülmektedir.

Çizelge 4.1 : Deneylede kullanılan toz malzemelerin özellikleri.

Malzeme	Saflığı %	Tane boyutu (µm)
Volfram (W)	99.9	17
Vanadyum karbür (VC)	99.9	16
Titanyum karbür (TiC)	99.9	15
Karbon (C)	99.9	21
Bor karbür (B ₄ C)	99.5	20

Çalışılan malzemeler mekanik alaşımlama tekniği ile Spex™ 8000D öğütücüde 1200 devir/dakika hızda volfram karbür bilyeler (6.35 mm çapında) kullanılarak üretilmiş ve APEX™ 3010/4 hidrolik pres ile 500 MPa basınç altında preslenmiştir. Preslenen bu malzemeler 1750 °C'de 1 saat süre ile Linn™ HT-1800 yüksek sıcaklık fırınında sinterlenmiştir. Şekil 4.1'de W- % ağı. 6 VC- % ağı. 1 C ve W- % ağı. 6VC- % ağı. 2 TiC- % ağı. 1C kompozit malzemelerin genel görünümü verilmektedir.



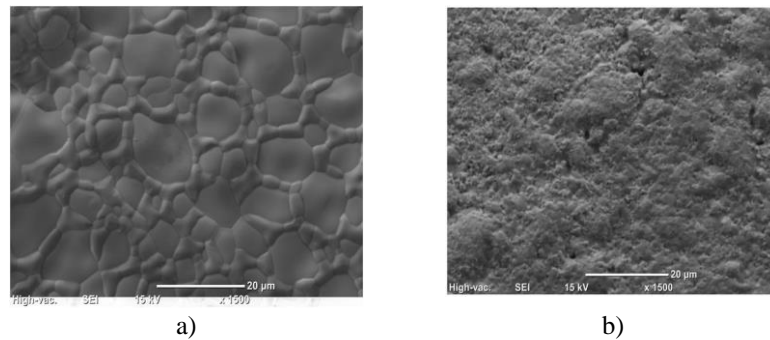
Şekil 4.1 : W- % ağı. 6 VC- % ağı. 1 C ve W- % ağı. 6 VC- % ağı. 2TiC- % ağı. 1C kompozit malzemelerin genel görünümü.

Çizelge 4.2’de Volfram matrisine VC ve VC-TiC ilavesi ile elde edilen kompozit malzemelerinin kodları, ağırlıkça yüzdeleri, mekanik alaşımlama süreleri ve özellikleri gösterilmektedir (Tuğrul, 2016).

Çizelge 4.2 : W-VC-C ve W-VC-TiC-C kompozit malzemelerin kodları ve özellikleri.

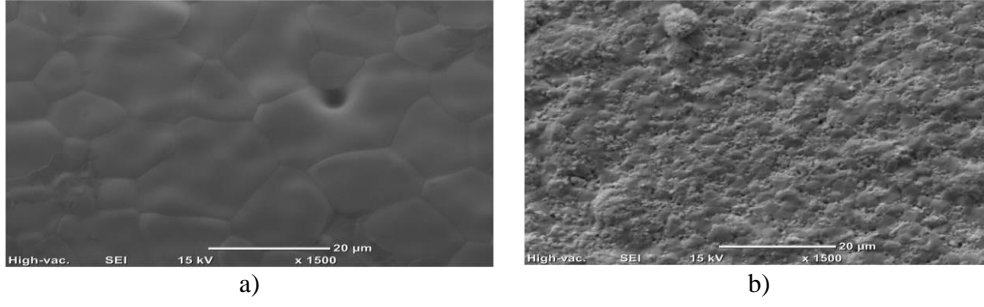
Malzeme Kodu	W (ağı.%)	VC (ağı.%)	TiC(ağı.%)	C (ağı.%)	Yoğunluk (g/cm ³)	M.A süresi (saat)	Numunelerin çapı (cm)
6V	93	6	-	1	16.80	6	1.2
12V	93	6	-	1	16.50	12	1.2
24V	93	6	-	1	16.46	24	1.2
6VT	91	6	2	1	16.21	6	1.2
12VT	91	6	2	1	15.56	12	1.2
24VT	91	6	2	1	15.44	24	1.2

Çalışılan bu malzemelerin, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile görüntüleri elde edilmiş ve incelenmiştir. Bu bağlamda, tozların dağılımı ve homojenite gibi temel fiziksel özellikler değerlendirilmiştir. Şekil 4.2’de 6 saatlik mekanik alaşımlama ile üretilmiş W- % ağı. 6 VC- % ağı. 1 C ve W- % ağı. 6 VC- % ağı. 2 TiC- % ağı. 1 C kompozit malzemelerin taramalı elektron mikroskobu (SEM) tarafından elde edilen görüntüleri gösterilmektedir (Yılmaz, 2017).



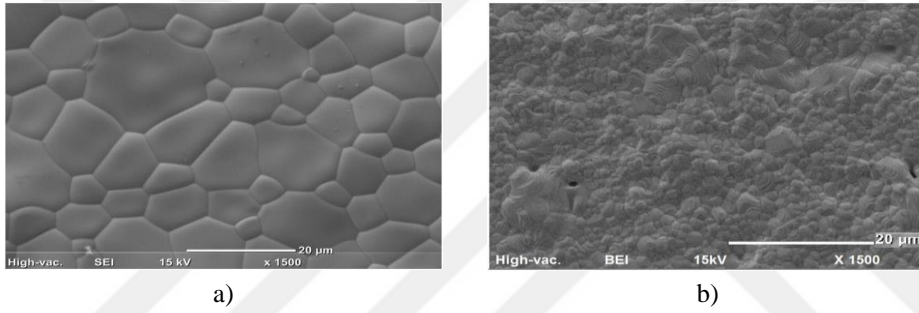
Şekil 4.2 : 6 saat mekanik alaşımlanmış a) W- % ağı. 6 VC- % ağı. 1 C ve b) W- % ağı. 6 VC- % ağı. 2 TiC- % ağı. 1 C karışımındaki tozların 1500X taramalı elektron mikroskop (SEM) fotoğrafları.

Şekil 4.3’de 12 saatlik mekanik alaşımlama ile üretilmiş W- % ağı. 6 VC- % ağı. 1 C ve W- % ağı. 6 VC- % ağı. 2 TiC- % ağı. 1 C kompozit malzemelerin taramalı elektron mikroskobu tarafından elde edilen görüntüleri gösterilmektedir.



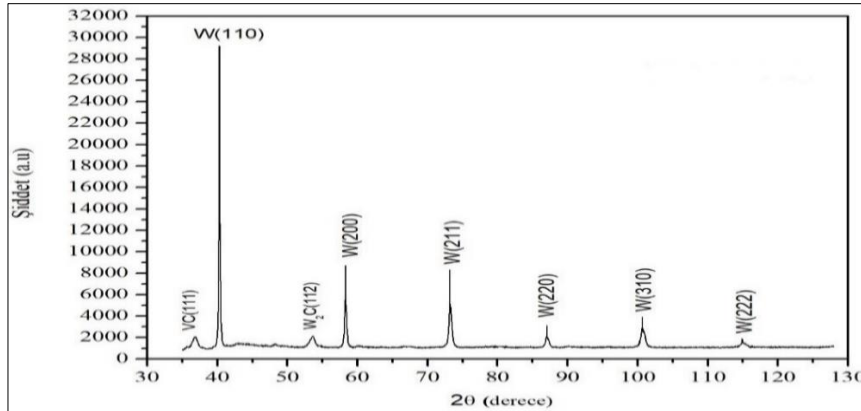
Şekil 4.3 : 12 saat mekanik alaşımlanmış a) W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C ve b) W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C karışımındaki tozların 1500X taramalı elektron mikroskop (SEM) fotoğrafları.

Şekil 4.4’de 24 saatlik mekanik alaşımlama ile üretilmiş W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C ve W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin taramalı elektron mikroskobu tarafından elde edilen görüntüleri gösterilmektedir (Yılmaz, 2017).



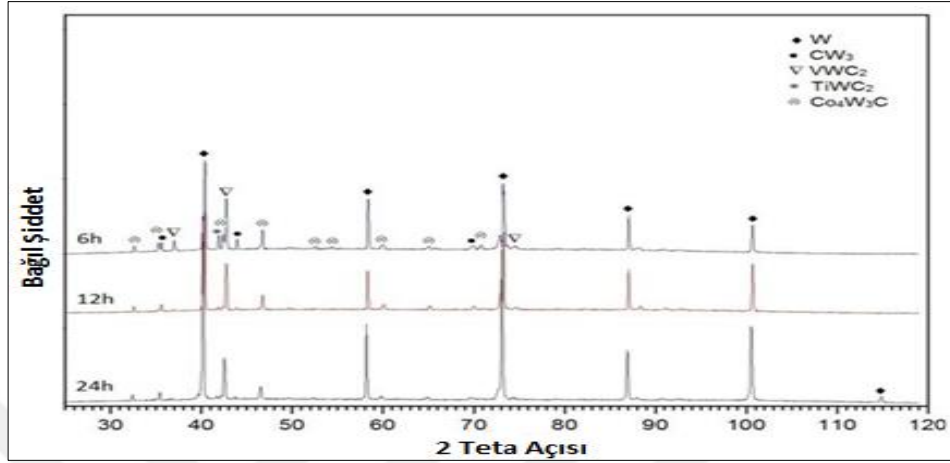
Şekil 4.4 : 24 saat mekanik alaşımlanmış a) W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C ve b) W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C karışımındaki tozların 1500X taramalı elektron mikroskop (SEM) fotoğrafları.

Şekil 4.5 ve şekil 4.6’de üretilmiş W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C ve W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin XRD analiz sonuçları sırasıyla gösterilmektedir.



Şekil 4.5 : W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin XRD analizleri.

Çizelge 4.3’de deneysel çalışmalarda kullanılan Wolfram matrisine bor karbür (B_4C), titanyum karbür (TiC) ve karbon (C) ilavesi ile elde edilen birden farklı kalınlıklardaki W- % ağı. 6 B_4C - % ağı. 2 TiC- % ağı. 1 C kompozit malzemelerinin kodları, ağırlıkça yüzdeleri, mekanik alaşımlama süreleri ve özellikleri gösterilmektedir.



Şekil 4.6 : W- % ağı. 6 VC- % ağı. 2 TiC- % ağı. 1 C kompozit malzemelerin XRD analizleri.

Çizelge 4.3 : W- B_4C -TiC-C kompozit malzemelerin kodları ve özellikleri.

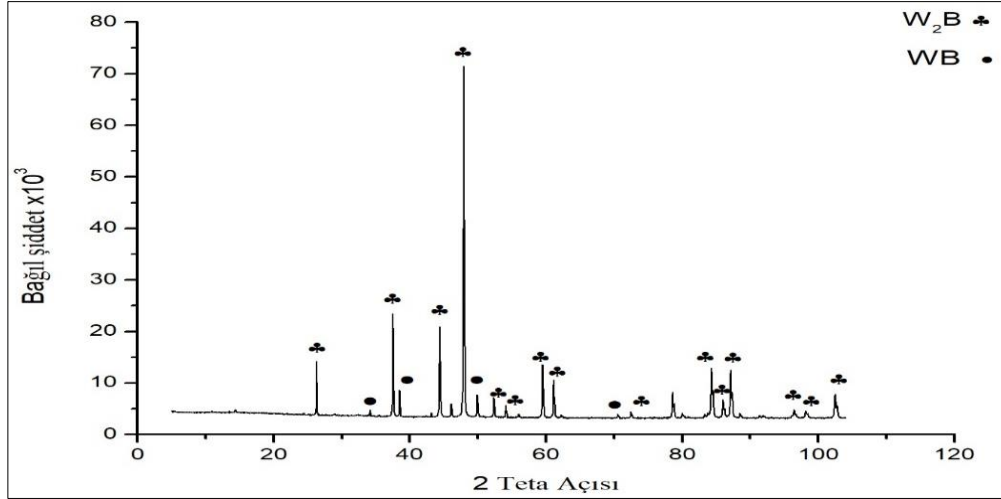
Malzeme Kodu	W (ağı.%)	B_4C (ağı.%)	TiC (ağı.%)	C (ağı.%)	Yoğunluk (g/cm ³)	M.A süresi (saat)	Numunelerin çapı (cm)
W- B_4C -TiC (1)	91	6	2	1	11.15	6	1.2
W- B_4C -TiC (2)	91	6	2	1	11.30	6	1.2
W- B_4C -TiC (3)	91	6	2	1	12.53	6	1.2
W- B_4C -TiC (4)	91	6	2	1	10.29	6	1.2
W- B_4C -TiC (5)	91	6	2	1	12.64	6	1.2
W- B_4C -TiC (6)	91	6	2	1	11.56	6	1.2

Şekil 4.7’de W- % ağı. 6 B_4C - % ağı. 2 TiC- % ağı. 1 C kompozit malzemelerin genel görünümü verilmektedir.



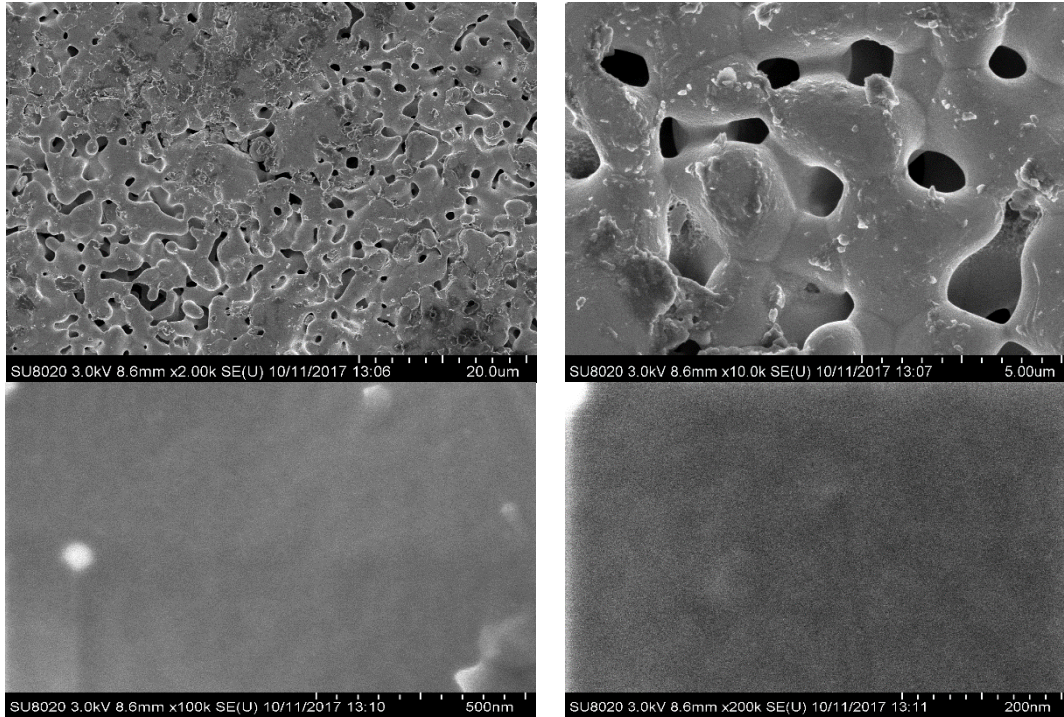
Şekil 4.7 : W- % ağı. 6 B_4C - % ağı. 2TiC- % ağı. 1C kompozit malzemelerin genel görünümü.

Çalışılan W- 6ağ% B₄C- 2ağ% TiC- 1ağ% C kompozit malzemelerin, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile görüntüleri elde edilmiş ve değerlendirilmiştir. Bu bağlamda şekil 4.8’de W- 6ağ% B₄C- 2ağ% TiC- 1ağ% C kompozit malzemelerinin XRD analiz sonuçları gösterilmektedir (Demir, 2019).



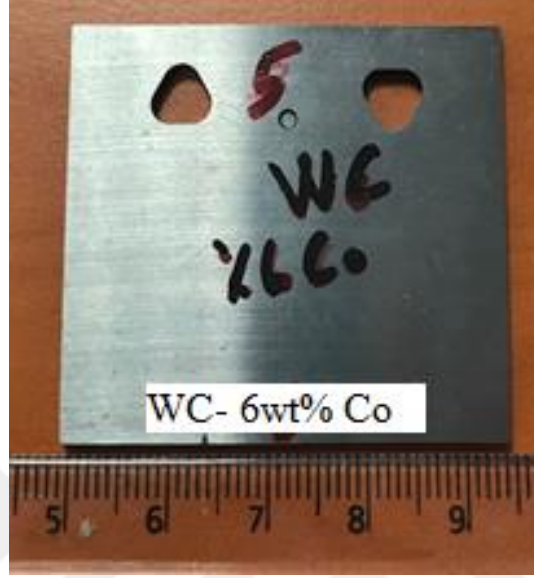
Şekil 4.8 : W- % ağ. 6 B₄C- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin XRD analizleri.

Şekil 4.9’da W- % ağ. 6 B₄C- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1C kompozit malzemelerin taramalı elektron mikroskobu (SEM) tarafından elde edilen görüntüleri gösterilmektedir.



Şekil 4.9 : W- % ağ. 6 B₄C- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1C karışımındaki tozların taramalı elektron mikroskop (SEM) fotoğrafları.

Deneysel çalışmalarda kullanılan bir diğer Volfram kompozit malzeme Böhler Sert Metal A.Ş tarafından üretilen ve içeriğinde ağırlıkça % 6 kobalt bulunan Volfram karbür malzemeler olmaktadır. Şekil 4.10’da WC- % ağ. 6 Co kompozit malzemelerin genel görünümü verilmektedir.



Şekil 4.10 : WC- % ağ. 6 Co kompozit malzemelerin genel görünümü.

Deneyslerimizde, endüstriyel çalışmalarda sıkça kullanılan WC-Co malzemelerin gama ve nötron radyasyonu karşısında zırh özelliklerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Çizelge 4.4’de Volfram karbür malzemelerinin özellikleri gösterilmektedir.

Çizelge 4.4 : WC-Co kompozit malzemelerin kodları ve özellikleri.

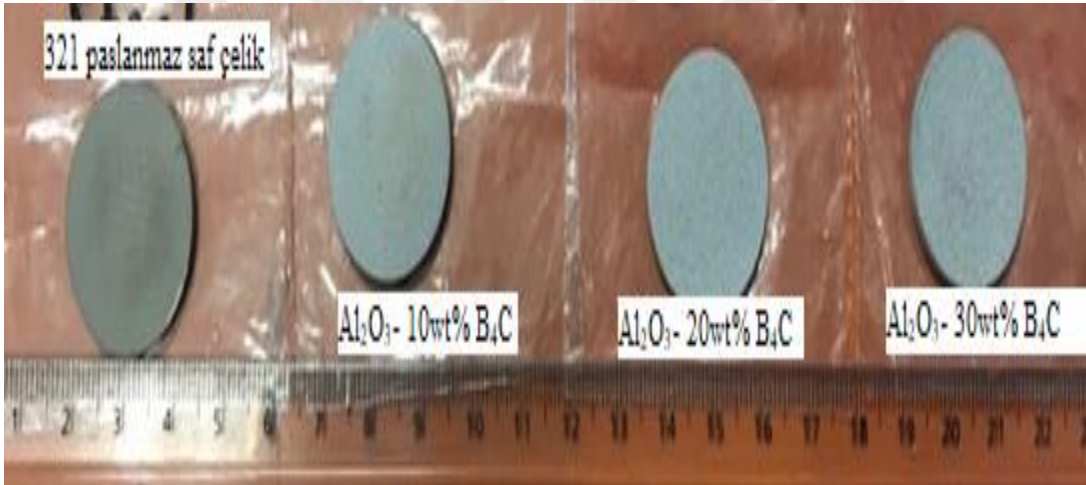
Malzeme Kodu	WC (ağ.%)	Co (ağ.%)	Yoğunluk (g/cm ³)	Kalınlık (mm)
WC-Co_1	94	6	14.9	2.10
WC-Co_2	94	6	14.9	2.15
WC-Co_3	94	6	14.9	2.11
WC-Co_4	94	6	14.9	2.52
WC-Co_5	94	6	14.9	2.11

4.1.2 321 Paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemeleri

Deneysel çalışmamızda kullanılan 321 paslanmaz çelik ile, İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya-Metalurji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği laboratuvarlarında 321 paslanmaz çelik üzerine çeşitli kaplamalar yapılarak özel olarak üretilen malzemeler şunlardır:

- 321 paslanmaz saf çelik
- Al₂O₃- % ağı. 10 B₄C kaplamaları
- Al₂O₃- % ağı. 20 B₄C kaplamaları
- Al₂O₃- % ağı. 30 B₄C kaplamaları

olmak üzere dört ana başlık altında gama ve nötron radyasyonu karşısındaki zırh özelliklerinin öncelikle kendi içinde daha sonrasında ise birbirleriyle mukayese edilerek değerlendirilmesi amaçlanmıştır. 321 paslanmaz çelik üzerine birden farklı kalınlıkta ve farklı kütlece olmak üzere ilave edilen alümina ve bor karbür tozları atmosferik plazma tekniği kullanılarak üretilmiştir. Şekil 4.11’de 321 paslanmaz çelik, Al₂O₃- % ağı. 10 B₄C, Al₂O₃- % ağı. 20 B₄C, Al₂O₃- % ağı. 30 B₄C kaplama kompozit malzemelerin genel görünümü verilmektedir.



Şekil 4.11 : 321 paslanmaz çelik, Al₂O₃- % ağı. 10 B₄C, Al₂O₃- % ağı. 20 B₄C, Al₂O₃- % ağı. 30 B₄C kaplama kompozit malzemelerin genel görünümü.

Alt tabaka olarak 25.4 mm çapında ve 2 mm kalınlığında 321 paslanmaz çelik disk şeklindeki numuneler kullanılmıştır. Kaplama üretiminden önce, numunelerin yüzey oksitlerini çıkarmak ve kaplamaların yapışmasını arttırmak için 321 paslanmaz çelik diskler alümina tanecikler ile kumlanmıştır. Atmosferik plazma sprej tabancası üç eksenli bir CNC masasında sabitlenmiş bir halde sprej hızı 200 mm/dak olacak şekilde seçilmiştir. Döner bir levha üzerine yerleştirilen numunelerin dönüş hızı 100 rpm ve geçiş sayısı 12 olarak ayarlanmıştır. Malzemelerin üretilmesi Sulzer Metco 9MB plazma spray tabancası kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda çizelge 4.5’de atmosferik plazma sprejinin işlem parametreleri gösterilmektedir.

Çizelge 4.5 : Atmosferik plazma spreynin işlem parametreleri.

Parametreler	
Akım (A)	600
Sprey mesafesi uzaklığı (mm)	65
Tabanca hızı (mm/min)	200
Döner levhanın dönüş hızı (rpm)	100
Geçiş sayısı	12

Çizelge 4.6’da 321 paslanmaz çelik üzerine Al₂O₃ ve B₄C ilavesi ile elde edilen kaplama kompozit malzemelerinin kodları, ağırlıkça yüzdeleri ve özellikleri gösterilmektedir.

Çizelge 4.6 : 321 paslanmaz saf çelik ve Al₂O₃_B₄C kaplama kompozit malzemelerin kodları ve özellikleri.

Malzeme Kodu	Al ₂ O ₃ (ağ.%)	B ₄ C (ağ.%)	Yoğunluk (g/cm ³)	Kalınlık (mm)
321 SS_1	-	-	8.09	2.074
321 SS_2	-	-	8.09	2.078
321 SS_3	-	-	8.09	2.077
321 SS_4	-	-	8.09	2.078
321 SS_5	-	-	8.09	2.028
Al ₂ O ₃ %10 B ₄ C_1	90	10	7.55	2.359
Al ₂ O ₃ %10 B ₄ C_2	90	10	7.57	2.352
Al ₂ O ₃ %10 B ₄ C_3	90	10	7.57	2.350
Al ₂ O ₃ %10 B ₄ C_4	90	10	7.56	2.355
Al ₂ O ₃ %10 B ₄ C_5	90	10	7.57	2.350
Al ₂ O ₃ %10 B ₄ C_6	90	10	7.52	2.382
Al ₂ O ₃ %20 B ₄ C_1	80	20	7.54	2.355
Al ₂ O ₃ %20 B ₄ C_2	80	20	7.55	2.352
Al ₂ O ₃ %20 B ₄ C_3	80	20	7.55	2.350
Al ₂ O ₃ %20 B ₄ C_4	80	20	7.55	2.350
Al ₂ O ₃ %20 B ₄ C_5	80	20	7.48	2.395
Al ₂ O ₃ %20 B ₄ C_6	80	20	7.55	2.351
Al ₂ O ₃ %30 B ₄ C_1	70	30	7.65	2.285
Al ₂ O ₃ %30 B ₄ C_2	70	30	7.69	2.265
Al ₂ O ₃ %30 B ₄ C_3	70	30	7.64	2.291
Al ₂ O ₃ %30 B ₄ C_4	70	30	7.65	2.285
Al ₂ O ₃ %30 B ₄ C_5	70	30	7.63	2.295
Al ₂ O ₃ %30 B ₄ C_6	70	30	7.67	2.276

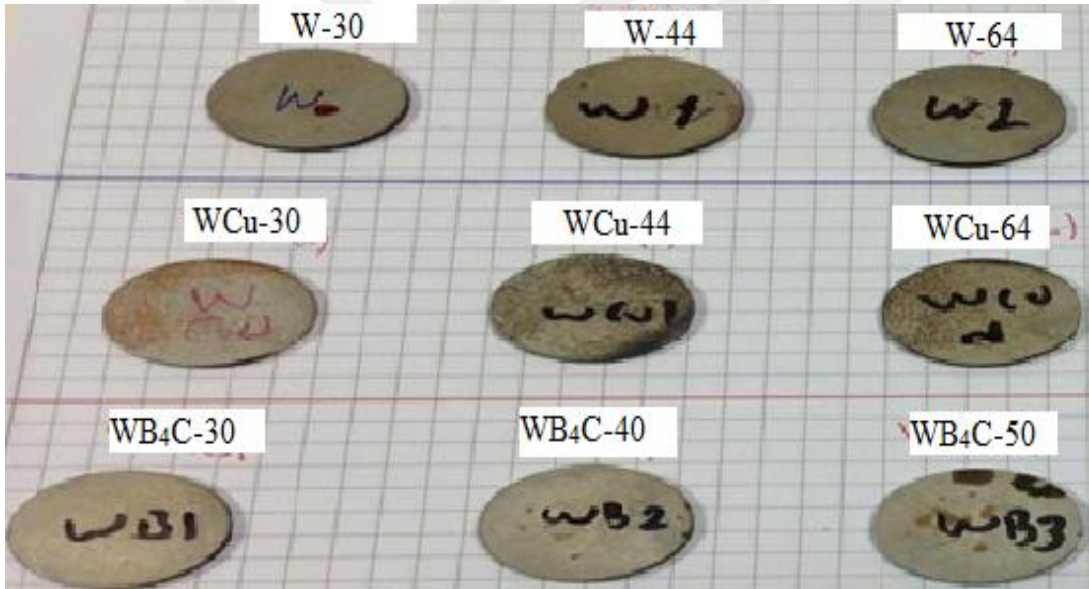
4.1.3 321 Paslanmaz çelik üzerine volfram esaslı kaplama malzemeleri

Deneysel çalışmalarımızda kullanılan, 321 paslanmaz çelik üzerine volfram, volfram bakır ve volfram bor karbür tozları kullanılarak farklı kalınlıklarda olmak üzere, İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya-Metalurji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme

Mühendisliği laboratuvarlarında 321 paslanmaz çelik üzerine özel olarak üretilen malzemeler aşağıda gösterilmektedir.

- Volfram (W) kaplamaları
- Volfram bakır (W-Cu) kaplamaları
- Volfram bor karbür (W-B₄C) kaplamaları

olmak üzere üç ana başlık altında gama ve nötron radyasyonu karşısındaki zırh özelliklerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. 321 paslanmaz çelik üzerine ilave edilerek farklı kalınlıklarda üretilen W, W-Cu ve W-B₄C malzemeleri bölüm 4.1.2 başlığı altında anlatılan atmosferik plazma tekniği kullanılarak üretilmiştir. Şekil 4.12’de volfram (W), volfram bakır (W-Cu) ve volfram bor karbür (W-B₄C) kaplama kompozit malzemelerin genel görünümü verilmektedir.



Şekil 4.12 : Volfram (W), volfram bakır (W-Cu) ve volfram bor karbür (W-B₄C) kaplama kompozit malzemelerin genel görünümü

Çizelge 4.7’de 321 paslanmaz çelik üzerine Volfram, Volfram bakır ve Volfram bor karbür kaplama malzemelerine ilişkin özellikler verilmektedir.

Çizelge 4.7 : Deneylerde kullanılan volfram, volfram bakır ve volfram bor karbür kaplama malzemelerin özellikleri.

Malzeme	Saflığı (%)	Tane boyutu (µm)
Volfram (W)	99.9	17
Bakır (Cu)	99	45
Bor karbür (B ₄ C)	99.5	20

Çizelge 4.8’da 321 paslanmaz çelik üzerine W, W-Cu ve W-B₄C ilavesi ile elde edilen kompozit malzemelerinin kodları, malzeme kalınlığı, kaplama kalınlığı ve özellikleri gösterilmektedir.

Çizelge 4.8 : 321 paslanmaz çelik üzerine W, W-Cu ve W-B₄C kaplama kompozit malzemelerin kodları ve özellikleri.

Malzeme Kodu	Malzeme kalınlığı (mm)	Kaplama kalınlığı (µm)	Kütle (g)	Yoğunluk (g/cm ³)
321-SS	1.975	-	7.686	7.931
321SS-W30	2.044	69	7.854	7.965
321SS-W44	2.066	91	8.014	8.022
W-64	2.081	106	8.187	8.113
WCu-30	2.096	121	7.863	7.950
WCu-44	2.097	122	7.962	7.977
WCu-64	2.120	145	8.167	8.094
WB ₄ C-30	2.020	45	7.910	8.054
WB ₄ C-40	2.022	47	7.897	8.091
WB ₄ C-50	2.044	69	8.001	8.081

4.2 Deney Düzeneklerinin Tanıtımı

Deneyisel çalışmalarımızda kullanılan kompozit malzemelerin farklı tip radyasyonlar karşısında davranışlarının incelenmesi amacıyla üç farklı deney düzeneği tasarlanmıştır. Hazırlanan bu deney düzenekleri;

- Gama deney düzeneği
- Nötron deney düzeneği
- İyon ışınlama deney düzeneği

olarak gruplandırmak mümkündür.

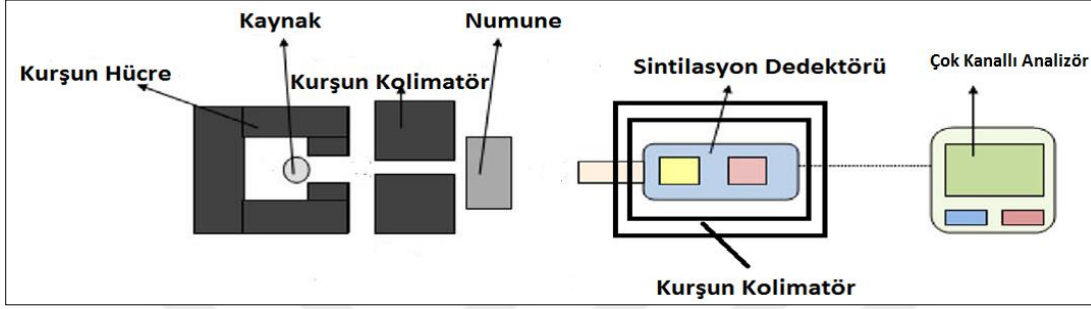
4.2.1 Gama deney düzeneği

Deneyler “Gama Transmisyon Tekniği” çerçevesinde gerçekleştirilmiştir. Bir başka deyişle gama deney düzeneği, gama transmisyon tekniği prensibi çerçevesinde oluşturulmuştur. Gama transmisyon tekniğinde, hedef malzemenin iki farklı tarafına aynı eksende yerleştirilen radyoizotop kaynağı ve radyasyon dedektörü kullanılarak gama radyasyonu ölçülmektedir.

Radyoizotop kaynağından çıkan gama fotonları kurşun kolimatörler yardımıyla paralel demet halinde malzemeye nüfuz edip geçtikten sonra dedektör tarafından radyasyon şiddetinin ölçülmesi neticesinde bir değerlendirme yapılmaktadır (Knoll 2002; Büyük

ve Tuğrul, 2009). Doğru bir sayım geometrisi oluşturmak ve saçılan radyasyonların dedektöre ulaşmasını engellemek adına radyoizotop kaynağı ve radyasyon dedektörünün etrafı kurşun bloklar ile zırhlanmıştır.

Gama transmisyon tekniğinde dedektörden alınan numuneli hale ilişkin sayımlar, numunesiz haldeki sayımlar ile karşılaştırılarak yorumlanmış ve değerlendirilmiştir (Knoll, 2002). Şekil 4.13’de gama deney düzeneğinin şematik gösterimi verilmektedir.



Şekil 4.13 : Gama deney düzeneğinin şematik gösterimi.

Gama transmisyon tekniği temel alınarak oluşturulan gama deney düzeği elemanları aşağıda gösterildiği gibi;

1. Gama radyoizotop kaynakları,
2. Sodyum İyodür (NaI) sintilasyon dedektörü,
3. Ortec Maestro kompakt çok kanallı analizör,
4. Kolimatör,
5. Kurşun bloklar

olmaktadır.

4.2.1.1 Gama radyoizotop kaynakları

İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü imkanları dahilinde bulunan Co-60 ve Cs-137 gama radyoizotop kaynakları deneysel çalışmalarda kullanılan malzemelerin gama radyasyonu karşısında zırh özelliklerinin değerlendirilmesi amacıyla kullanılmıştır. Cs-137 ve Co-60 gama radyoizotop kaynakları, nükleer uygulamalarda ve deneysel çalışmalarda sıkça kullanılmaktadır. Yaklaşık 30 yıllık yarı ömrü ile Cs-137, 0.662 MeV enerjide tek bir gama foto pikine sahip olması nedeniyle mono enerjitiktir ve çift oluşum bölgesinden uzakta yer alması nedeniyle deneysel çalışmalarımızda tercih edilen gama radyoaktif kaynaklarından biri olmaktadır.

1.17 ve 1.33 MeV gama enerjilerinde iki ana pike sahip, ortalama olarak 1.25 MeV enerji değerine sahip olan Co-60 gama radyoizotopu 5.23 yıl yarı ömrüne sahip olmaktadır (Croft, 2006). Endüstriyel uygulamalarda sıkça kullanılması ve ayrıca çift oluşum bölgesinde bulunması sebebiyle Co-60 gama radyoizotopu deneysel çalışmalarımızda kullanılmak üzere tercih edilmiştir. Şekil 4.14’de Co-60 ve Cs-137 radyoizotop kaynaklarının görüntüsü verilmektedir (Büyük, 2013; Akkaş, 2015).



Şekil 4.14 : a) Co-60 ve b) Cs-137 radyoizotoplarının görünümü.

Çizelge 4.9’da deneylerde çalışılan gama radyoizotop kaynaklarının özellikleri verilmektedir.

Çizelge 4.9 : Deneysel çalışmalarda kullanılan gama radyoaktif kaynakların özellikleri.

Radyoaktif Kaynak	Enerjisi (MeV)	Yarı Ömrü	Çalışılan Aktivite
Co-60	1.17 1.33	5.23	14.1 μ Ci
Cs-137	0.662	30.1	8.89 μ Ci

4.2.1.2 Sodyum iyodür sintilasyon dedektörü

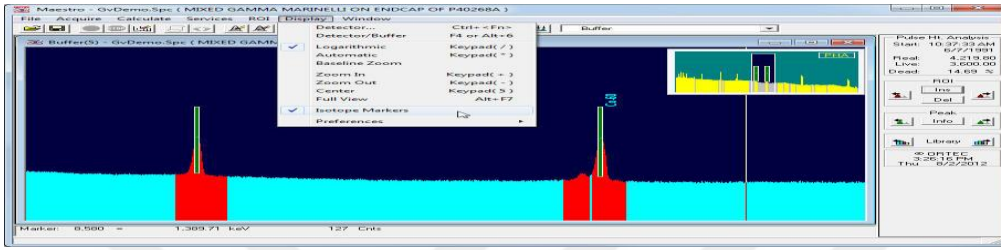
Deneysel çalışmalarımızda İTÜ Enerji Enstitüsü Laboratuvarları imkanları dahilinde bulunan Canberra marka (802-2X2) sodyum iyodür (NaI) sintilasyon gama dedektörü kullanılmıştır. Ortec marka digibase sistemi ile beraber kullanılan gama dedektör sistemi şekil 4.15’de gösterilmektedir.



Şekil 4.15 : NaI sintilasyon dedektörü ve Ortec marka digibase sistemi.

4.2.1.3 Kompakt çok kanallı analizör

İTÜ Enerji Enstitüsü Laboratuvarlarında mevcut ORTEC MAESTRO Software versiyon 7.1 bilgisayar programı neticesinde farklı gama enerji aralıklarındaki radyoizotoplar analiz edilebilmektedir. Bu bağlamda deneysel çalışmalarımızda kullandığımız malzemelerin gama zırh özelliklerinin belirlenebilmesi adına ORTEC MAESTRO software versiyon 7.1 bilgisayar programından yararlanılmıştır. Şekil 4.16'de programın ara yüzü gösterilmektedir.



Şekil 4.16 : Ortec Maestro çok kanallı analizör programının ara yüzü.

4.2.1.4 Kolimatör

Deneysel çalışmalarımızda radyoizotop kaynağının ve gama dedektör sistemin zırhlanması ve uygun gama ışın demetinin sağlanabilmesi adına 5 cm kalınlığında 7 mm çapında kurşun kolimatör kullanılmıştır. Şekil 4.17'de deneysel çalışmalarda kullanılan kolimatör gösterilmektedir.



Şekil 4.17 : Deneysel çalışmalarda kullanılan kolimatör.

4.2.1.5 Kurşun bloklar

İTÜ Enerji Enstitüsü Laboratuvarları imkanları dahilinde olan kurşun bloklardan yararlanılmıştır. Bu bağlamda şekil 4.18'de gösterilmekte olan özel olarak üretilmiş

birbiri içine monte edilen kurşun bloklar kullanılarak güvenli bir radyasyon alanı oluşturulmuştur.



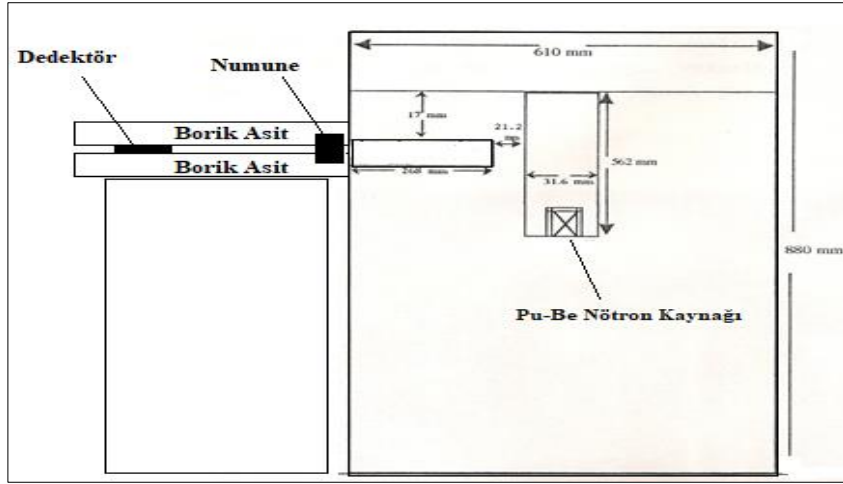
Şekil 4.18 : Kurşun bloklardan oluşan hücre sistemi.

4.2.2 Nötron deney düzeneği

Deneysel çalışmalarımızda nötron transmisyon tekniği prensibi esas alınarak malzemelerin nötronlar karşısındaki davranışlarının incelenmesi amaçlanmıştır. Bu bağlamda İTÜ Enerji Enstitüsü imkanları dahilinde bulunan İTÜ TRIGA Mark-II Eğitim ve Araştırma Reaktörü'nde numunelerin nötron zırh özelliklerinin değerlendirilmesi için nötron deney düzeneği sistemi oluşturulmuştur.

- Pu-Be Nötron Kaynağı (Nötron Howitzer-3)
- PM1401K model Nötron dedektörü
- Çok kanallı analizör
- Nötron kolimatörler
- Nötron zırh elemanlarından

oluşan deney elemanları ile beraber deneyde çalışılacak malzemelerin uygun bir geometride tasarlanarak nötron deney sistemi oluşturulmuştur. Bu bağlamda, Nötron Howitzer (NH-3) kaynaktan çıkan nötronlar kolimatör sistemi yardımıyla numunelere nüfuz edip geçtikten sonra nötron dedektörüne çarpması sonucu sayımlar elde edilmiştir. Şekil 4.19'da nötron deney sisteminin şematik gösterimi verilmektedir.



Şekil 4.19 : Nötron deney düzeniğinin şematik gösterimi.

4.2.2.1 Pu-Be nötron kaynağı

İTÜ Enerji Enstitüsü İTÜ TRIGA Mark-II Eğitim ve Araştırma Reaktörü imkan ve bünyesinde bulunan Nuclear Chicago Corporation tarafından üretilen $1,85 \times 10^5$ MBq (5 Ci) aktiviteli Pu-Be nötron kaynağı, Nötron Howitzer-3 (NH-3) kaynağı deneysel çalışmalarda kullanılmıştır (Nuclear Chiago 1960; Yiğit 1996). Nötron Howitzer sistemi, 61 cm çapında ve 91 cm yüksekliğinde olup silindirik çelik bir yapının içine oturtulmuştur. Termal ve epitermal nötronlar olmak üzere iki farklı ışınlama kanalı bulunmaktadır. Üretilen nötronların ortalama enerjisi 4 MeV, nötron akısı 10^5 n/cm²s olmaktadır. Pu-Be nötron kaynağın etrafı yaklaşık 25 cm kalınlığında parafin malzeme ile kapatılmıştır (Gordus, 1967). Şekil 4.20’de Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) sisteminin dış ve iç yapısı gösterilmektedir (Büyük, 2013; Akkaş, 2015).



Şekil 4.20 : Nötron Howitzer sisteminin dış gösterimi.

Çizelge 4.10’de Nötron Howitzer Pu-Be nötron kaynağının genel özellikleri verilmektedir (Büyük, 2013).

Çizelge 4.10 : Pu-Be nötron kaynağının (Nötron Howitzer) genel özellikleri.

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

4.2.2.2 Nötron dedektörü

Deneysel çalışmalarımızda şekil 4.21’de gösterilen Polimaster marka PM1401K model çok amaçlı radyasyon dedektörü ile çalışılmıştır. Dedektör içinde mevcut olan He-3 dedektörü ile 0.025 eV – 14 MeV enerjili nötronların sayımı gerçekleştirilmektedir.



Şekil 4.21 : PM1401K model çok amaçlı dedektör.

Çizelge 4.11’de Polimaster marka PM1401K model çok amaçlı radyasyon dedektörünün genel özellikleri verilmektedir (Url-1).

Çizelge 4.11 : PM1401K model çok amaçlı radyasyon dedektörünün özellikleri.

Standartlara Uygunluk	IEC 846, ANSI N42.33(2), ANSI N42.34, IEC 62327
<i>Araştırma ve spektrum γ-kanalı</i>	
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
Sintilasyon spektrum için kanal sayısı	1024
<i>Nötron Araştırma Kanalı</i>	
Dedektör	Yavaş nötron sayıcı
Enerji Aralığı	0.025 eV - 14 MeV
<i>γ- ölçüm kanalı</i>	
Detektör	GM-sayıcı
Doz oranı	0.1 $\mu\text{Sv/h}$ - 100 mSv/h
Enerji aralığı	0.015 - 15 MeV
<i>α ve β- ölçüm kanalı</i>	
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
<i>Fiziksel Parametreler</i>	
Boyutlar	242 x 58 x 57 mm (9½" x 2¼" x 2¼")
Ağırlık	650 g (22.9 oz)
Çevresel Karakteristikler	
Sıcaklık	-30°C ile 50°C (-22°F to 122°F)
Nem	35 °C (95 °F)'de % 95'e kadar

4.2.2.3 Çok kanallı analizör

DeneySEL çalışmalarda kullanılan Polimaster marka PM1401K model çok amaçlı dedektör ile uyumlu çalışan HP marka IPAQ model cep bilgisayarı kullanılmıştır. Kablosuz bağlantı yapabilme (Bluetooth) özelliği sayesinde nükleer güvenlik şartlarının yerine getirilmesi, radyasyondan korunma ve sağlık fiziği adına da son derece uygun olmaktadır. Nötronlar ile yapılan çalışmalarda şekil 4.22'de gösterilen HP marka IPAQ model çok kanallı analizör sistemi ve PM1401K model çok amaçlı dedektör arasında bluetooth bağlantısı gerçekleştirilmiş ve sayımlar bu şekilde elde edilmiştir.



Şekil 4.22 : HP marka IPAQ model cep bilgisayarı.

4.2.2.4 Nötron kolimatörler

Deneysel çalışmalarda nötron kolimatörü olarak H_3BO_3 (borik asit) kullanılmıştır. Uygun geometride yerleştirilen içinde borik asit bulunan bloklar neticesinde Nötron Howitzer kaynaktan gelen nötronların düz bir demet halinde dedektöre ulaşması sağlanmıştır. Şekil 4.23’de nötron kolimatör ve zırh elemanları gösterilmektedir.



Şekil 4.23 : H_3BO_3 (borik asit) elemanlarından oluşturulan kolimatör sistemi.

4.2.2.5 Nötron zırhlama malzemeleri

Deneysel çalışmalarda kullanılan nötron zırh elemanları borik asit ve ağır betonlardan oluşmaktadır. Nötron deney elemanlarının zırhlanmasında esas olarak borik asit kullanılırken, biyolojik olarak koruma sağlamak için ağır betonlardan faydalanılmıştır.

4.2.3 İyon ışınlama deney düzeneği

Deneysel çalışmalarımızda çalışılan kompozit malzemelerin ağır radyasyon ışınlanması altındaki davranışının incelenmesi amacıyla söz konusu malzemelerin iyonlarla

ışınlanması ve ilgili çalışmaların yapılması hedeflenmiştir. Bu amaçla, çalışılan kompozit malzemelerin Rusya Federasyonu – Dubna’da Joint Institute For Nuclear Research (Araştırma Merkezinde) yer alan Flerov Nükleer Reaksiyonlar Laboratuvarları’nın imkanlarından yararlanılarak deneyleri yapılmıştır. Söz konusu laboratuvarlarda ilgili deneysel çalışmalar Nano Malzemeler İyonik Görüntüleme ve Radyasyon Malzemesi Bilim Bölümü’nün desteği ile gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda ağır iyonlarla ışınlamalar yapılmış ve ilgili çalışmalar tamamlanmıştır.

Joint Institute for Nuclear Research (JINR) 26 Mart 1956’da onbir kurucu devlet tarafından imzalanan ve 1 Şubat 1957’de Birleşmiş Milletler’e kayıtlı olan sözleşme ile kurulmuş uluslararası bir hükümetler arası bilimsel araştırma organizasyonudur. Moskova’nın yaklaşık 150 km kuzeyinde Dubna şehrinde yer almaktadır. Söz konusu Araştırma Merkezi araştırmacılara ileri deneysel çalışmalarını yapabileceği imkânı sunmaktadır. The Joint Institute for Nuclear Research (JINR)’da:

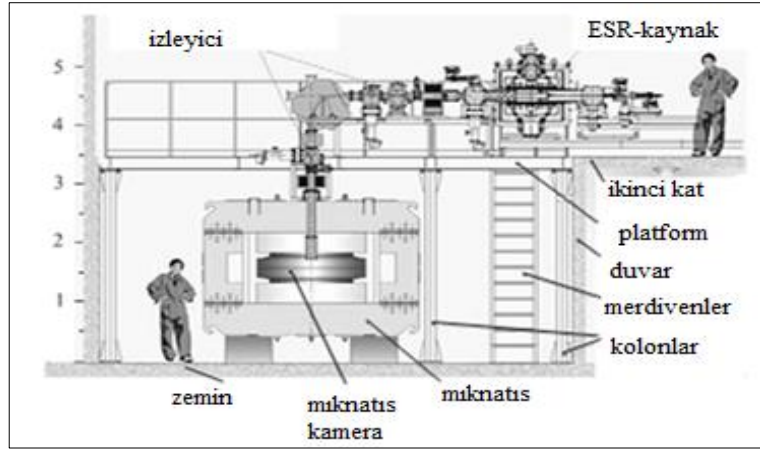
- Çekirdeklerin ve ağır iyonların hızlandırılması için Avrupa ve Asya’da süper iletken hızlandırıcısında tek olan Nuclotron,
- Ağır ve egzotik iyonların sentezi üzerine kullanılan ağır iyon siklotronları U-400 ve U-400 M

tesisleri bulunmaktadır.



Şekil 4.24 : IC-100 hızlandırıcı kompleksinin genel görünümü.

1985 yılında kurulan IC-100 hızlandırıcı kompleksinde, iyonları 1.2 MeV enerjiye kadar hızlandırmak mümkün olmaktadır. Şekil 4.24’de IC-100 hızlandırıcı kompleksinin genel görünümü ve Şekil 4.25’te ise şematik yapısı verilmektedir (Boltushkin, 1986).



Şekil 4.25 : IC-100 hızlandırıcı kompleksinin şematik yapısı.

IC-100 iyon hızlandırıcı kompleksi, 2003-2005 yıllarında modernize edilmiş bulunmaktadır. Böylelikle, elektron hızlandırıcı rezonans kaynağına dayalı olarak yüksek yoğunluklu Xe, I, Kr, Ar ve diğer yüksek yoğunluklu iyonlar hızlandırmak mümkün olabilmektedir (Gikal, 2003).

4.2.3.1 Elektron hızlandırıcı rezonans kaynağı

IC-100 iyon hızlandırıcısı, $A/Z = 5,30-5,95$ aralığında yüklü iyonları hızlandırmak için tasarlanmıştır. Hızlandırıcının ana amacı ağır iyonların elde edilmesi ve ilgili ışınlamaların yapılabilmesinin sağlanmasıdır. Bu amaçla, yüksek geçirgenliğe sahip 3T manyetik alanında ve 18 Ghz frekansında yüksek geçirgenliğe sahip ECR iyon kaynağı kullanılmaktadır. Çizelge 4.12’de IC-100 iyon hızlandırıcısının genel özellikleri verilmektedir.

Çizelge 4.12 : IC-100 hızlandırıcı genel özellikleri.

Parametreler	
İyonlar	22Ne4+, 40Ar7+, 56Fe10+, 86Kr15+, 127I22+, 132Xe23+, 132Xe24+, 182W32+, 184W31+, 184W32+
Hızlandırılmış iyonların diyapozonu	$A/Z = 5,30-5,95$
İyonların enerjisi, MeV/nucl.	0,90-1,25
Jeneratörün frekansı, MHz	19,8-20,9
Enjeksiyon enerjisi, kV	12,5-15
Manyetik Alan, T	1,78-2,01
Enjeksiyonun kanalının basıncı, Torr	$1,5 \cdot 10^{-7} - 5 \cdot 10^{-7}$
Voltaj, Kv	45-55

IC-100 iyon hızlandırıcı kompleksinin enjeksiyon kanalının görünümü şekil 4.26’da gösterilmektedir. Enjeksiyon kanalı esas olarak iyon optik elemanlardan, odaklanmış selenoidlerden, lenslerden ve manyetik analizörlerden oluşmaktadır. IC-100 aksenal enjeksiyon kanalının uzunluğu 5,222 metredir.



Şekil 4.26 : IC-100 aksenal enjeksiyon kanalının görünümü.

4.2.4 X-ışınları difraksiyon

Deneyel çalışmalarımızda kullanılan kompozit malzemelerin XRD analizleri Joint Institute For Nuclear Research Flerov Nükleer Laboratuvarlar’ında Dubna/Rusya imkanları dahilinde olan EMPYREAN PANalytical™ marka difraktometre Co-K α radyasyonu, $\lambda=1,78901 \text{ \AA}$, 30 mA ve 40 kV parametrelerinde oda sıcaklığında yapılmıştır. Deneyel çalışmalarda kullanılan malzemelerin XRD analizleri ve kristal yapısı ICDD veri tabanı yardımıyla değerlendirilmiştir.

4.2.5 Raman spektroskopisi düzeneği

Raman spektroskopisi, atomların kafes titreşim modları, malzeme kusurları ve elektron-fonon etkileşimleri hakkında bilgi edinmek için kullanılan etkili ve kullanışlı bir araçtır. Raman spektroskopik analizleri, Joint Institute For Nuclear Research

Flerov Nükleer Laboratuvarlar'ında Dubna/Rusya imkanları dahilinde olan Horiba™ LabRAM HR Evolution marka Raman spektroskopisi cihazı kullanılarak 633 nm dalga boyutunda He-Ne lazer kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Raman spektroskopisi yöntemi kullanılarak ksenon (Xe^{26+}) iyonları ile ışınlanmış malzemelerin ışınlama öncesi ve ışınlama sonrasında kimyasal bağ yapılarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

4.3 Deneylerin Yapılışı

Yukarıdaki bölümlerde tanıtılan malzemeler, gama transmisyon tekniği uygulaması bağlamında önceki bölümlerde tanıtılan cihaz ve elemanlar kullanılarak deneyler yapılmıştır. Deneyler aşağıdaki sıra takip edilerek gerçekleştirilmiştir.

- Yoğunluk ölçümü,
- Kalınlık tayini,
- Gama deneylerinin yapılışı,
- Nötron deneylerinin yapılışı,
- Standart sapma.

4.3.1 Yoğunluk ölçümleri

Deneysel çalışmalarda kullanılan malzemelerin yoğunluk ölçümleri İTÜ Enerji Enstitüsü laboratuvarlarında mevcut durumda bulunan ve Arşimet (Archimedes) prensibi esas alınarak Radwag marka PS 600/C/2 olan hassas terazi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kullanılan hassas terazinin özellikleri Çizelge 4.13'de verilmektedir (Url-2).

Çizelge 4.13 : Radwag marka PS 600/C/2 olan hassas terazinin özellikleri.

Parametreler	
Maksimum kapasitesi	600 g
Minimal yük	20 mg
Okunabilirliği	1 mg
Dara ölççeği	-600 g
Saptama süresi	2 s
Çalışma sıcaklığı	+15 – +30 °C

Şekil 4.27’de Radweg marka hassas terazinin resmi gösterilmektedir.



Şekil 4.27 : Radweg PS 600/C/2 marka hassas terazinin genel görünümü.

4.3.2 Kalınlık tayini

Deneyisel çalışmalarda kullanılan malzemelerin kalınlık tayinleri İTÜ Enerji Enstitüsü laboratuvarlarında mevcut durumda olan 0-25 mm arasında ölçümler alabilen Mitutoyo Digimatic Micrometer marka mikrometre kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.28’de Mitutoyo marka mikrometrenin genel görünümü verilmektedir.



Şekil 4.28 : Mitutoyo marka mikrometrenin genel görünümü.

4.3.3 Gama, nötron ve iyon ışınlama deneylerinin yapılışı

Deneylerin gerçekleştirilmesi radyasyon tipine göre değerlendirilmiştir. Bu bağlamda, deneyleri:

- Gama ışınlama deneylerinin yapılışı,
- Nötron ışınlama deneylerinin yapılışı,
- İyon ışınlama deneylerinin yapılışı

şeklinde üç grupta değerlendirmek mümkündür.

4.3.3.1 Gama deneylerinin yapılışı

İTÜ Enerji Enstitüsü Laboratuvarları imkanları kullanılarak Bölüm 4.2.1 içinde “gama deney düzeneği” başlığı altında tanıtılan gama deney düzeneği kullanılarak gama deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalarda ilk olarak doğal ortam radyasyonu (background) ölçülmüştür. Ardından radyoizotop kaynak, deney sistemine yerleştirilerek başlangıç sayımı (I_0) alınmıştır. Daha sonrasında ise ölçüm yapılacak numuneler radyoizotop kaynak ve dedektör sistemi arasında konumlandırılarak farklı kalınlık değerlerinde ölçümler gerçekleştirilmiştir.

Deneysel minimum sayım süresi 5 dk olmak üzere sayımlar en az üç kere tekrar edilmiş ve sayım verileri kaydedilmiştir. Elde edilen sayım değerlerinden doğal ortam radyasyon sayımları çıkarılarak nihai sonuçlar (Bölüm 5 – Bölüm 7’de ifade edildiği üzere) elde edilmiş, değerlendirilmiş ve yorumlanmıştır.

4.3.3.2 Nötron deneylerinin yapılışı

İTÜ Enerji Enstitüsü ve İTÜ TRIGA Mark-II Eğitim ve Araştırma Reaktörü bölgesinde Bölüm 4.2.2’de “nötron deney düzeneği” başlığı altında tanıtılan nötron deney düzeneği kullanılarak nötron deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deney sistemi kurulduktan sonra nötron kaynağı ve dedektör arasına nötron zırh elemanları yerleştirilerek ortam sayımı (background) ölçümleri alınmıştır. Akabinde, bölüm 4.2.2 başlığı altında tanıtılan nötron kaynağı, nötron dedektörü ve nötron kolimatörü kullanılarak başlangıç sayımları (I_0) elde edilmiştir.

Başlangıç sayımlarının ardından, her bir kompozit malzeme farklı kalınlık değerlerinde her sayım en az üç kere tekrarlanmak suretiyle minimum 200 saniye süre ile sayımlar alınmış ve kaydedilmiştir. Elde edilen sayım değerlerinden doğal ortam radyasyon sayımları çıkarılarak nihai sonuçlar (Bölüm 5 – Bölüm 7’de ifade edildiği üzere) elde edilmiş, değerlendirilmiş ve yorumlanmıştır.

4.3.3.3 IC-100 Hızlandırıcısında ağır iyonlarla ışınlamaların yapılması

Bölüm 4.2.3’de İyon ışınlama deney düzeneği başlığı altında tanıtılan Rusya Dubna Joint Institute For Nuclear Research araştırma merkezinde IC-100 iyon hızlandırıcı deney düzeneği kullanılarak çalışılan malzemelerin Xe iyonları ile ışınlamaları gerçekleştirilmiştir. 167 MeV enerjili, 3 farklı dozda $\phi_1 = 10^{14}$ iyon/cm², $\phi_2 = 3 \times 10^{14}$

iyon/cm², $\Phi_3 = 5 \times 10^{14}$ iyon/cm² akısında olmak üzere Xe²⁶⁺ iyonları deneysel çalışmalarda kullanılmıştır.

Xe²⁶⁺ iyonlarının kompozit malzemelerde oluşturduğu malzeme kusurlarının tayin edilebilmesi için Xe iyon ışınlama öncesi ve ışınlama sonrası kompozit malzemelerin XRD ve Raman spektroskopisi analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve yorumlanmıştır.

4.3.4 Standart sapma hesaplaması

Deneysel sistemler oluşturulduktan sonra amaca uygun temin edilen kompozit malzemeler ile gama ve nötron deneyleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler tablolar halinde düzenlenip kaydedildikten sonra grafik çizimlerinde, hata ve eğilim hesaplamalarında Origin 8 bilgisayar programından faydalanılarak gerekli değerlendirmeler yapılmıştır (Url-3). Bileşik sonuçların standart sapma hesaplamalarında nükleer ölçümlerde uygulanabilen eşitlik 4.1'den yararlanılmıştır (Knoll, 2002).

$$\sigma_u^2 = \left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2 \sigma_x^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)^2 \sigma_y^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial z}\right)^2 \sigma_z^2 + \dots \quad (4.1)$$

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. Origin 8 bilgisayar programı kullanılarak gerekli hesaplamalar yapılmıştır.

5. DENEYSEL SONUÇLAR

Bu doktora tezi için yapılan deneylerde, Volfram matrisli kompozit malzemeler ve ilgili kaplama malzemelerin farklı tip radyasyonlar karşısında davranışlarının araştırılması hedeflenmiş olup Bölüm 4'de açıklanan deneysel sistemlerden yararlanılarak ilgili deneyler yapılmıştır.

Bu amaçla, esas itibariyle gama ve nötron kaynakları ile çalışılmıştır. Geliştirilen malzemelerin gama radyasyonu karşısındaki davranışlarının araştırılması bağlamında Cs-137 ve Co-60 gama kaynakları kullanılmıştır. Söz konusu Volfram matrisli kompozit malzemeler ve ilgili kaplama malzemelerin gelişkin ileri nükleer reaktörlerde kullanılabilmesi düşüncesi ile nötronlar ile çalışılması da benimsenmiştir.

Bu amaçla, Pu-Be nötron kaynağı ile deneysel çalışmalar yapılmıştır. Burada, gerçekleştirilen deneylerle ulaşılan deneysel sonuçlar, Volfram matrisli kompozit malzemeler ve ilgili kaplama malzemelerin her birine ilişkin olarak ayrı ayrı bu bölümde alt bölümler halinde verilmektedir.

5.1 Volfram Matrisli Kompozit Malzemelerle Yapılan Deneylerin Sonuçları

Bu Doktora tez incelemesinde, öncelikle volfram matrisli kompozit malzemelerle çalışılmış olup, Cs-137 ve Co-60 gama kaynakları ve nötron kaynağı kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir.

Bölüm 4 içinde tanıtılan dört farklı volfram içeren kompozit malzemelerle yapılan deney sonuçları kullanılan radyasyon kaynaklarına göre aşağıdaki alt bölümlerde verilmektedir.

5.1.1 Volfram matrisli kompozit malzemelerin Cs -137 gama kaynakları ile ulaşılan deney sonuçları

Gama transmisyon tekniği bağlamında Cs-137 gama kaynağı ile volfram matrisli kompozit malzemelere ilişkin olarak yapılan deneylerin sonuçları ayrı ayrı oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlar, tablolar ve ilgili grafikler halinde verilmektedir.

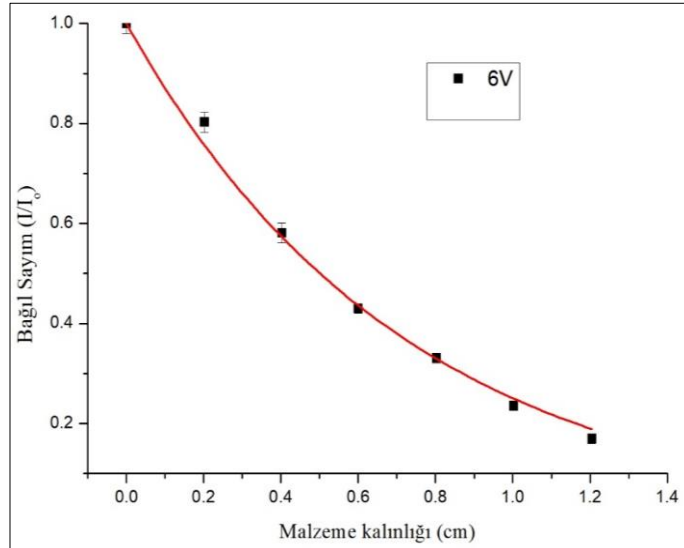
5.1.1.1 W- ağ. % 6 VC- ağ. % 1 C kompozit malzeme için Cs-137 Gama kaynağı ile ulaşılan deneylerin sonuçları

Cs-137 gama kaynağı karşısında W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemeler için yapılan deneylerle ulaşılan deneysel sonuçlar kullanılarak bağıl sayım değerleri elde edilmiştir. 6 saat mekanik alaşımlama ile üretilen (6V kodlu) W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Cs-137 gama kaynağı karşısında ulaşılan deneysel sonuçları çizelge 5.1’de verilmektedir.

Çizelge 5.1 : 6V kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı ile yapılan deney sonuçları.

Kalınlık (cm)	1.sayım	2.sayım	3.sayım	Ort. Sayım	Std. Sapma	Bağıl sayım
0	2357	2366	2354	2359	8	1
0,2022	1894	1891	1900	1895	4	0,80330
0,4025	1376	1367	1370	1371	5	0,58117
0,6003	1020	1011	1014	1015	6	0,43026
0,8025	781	787	778	782	1	0,33149
1,0028	557	554	563	558	3	0,23654
1,2050	401	407	398	402	7	0,17041

Şekil 5.1’de 6V kodlu kompozit malzemelerinin Cs-137 gama radyoizotopu karşısında zayıflatma eğrisi verilmektedir.



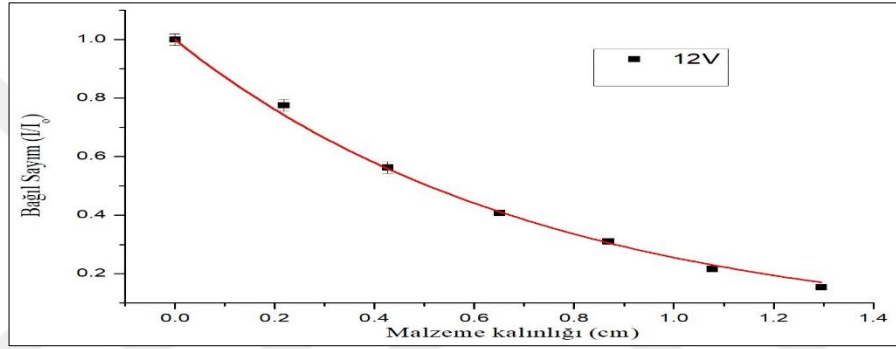
Şekil 5.1 : 6V kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri.

12 saat mekanik alaşımlama ile üretilen (12V kodlu) W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Cs-137 gama kaynağı karşısında ulaşılan deneysel sonuçları çizelge 5.2’de verilmektedir.

Çizelge 5.2 : 12V kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı ile yapılan deney sonuçları.

Kalınlık (cm)	1.sayım	2.sayım	3.sayım	Ort. Sayım	Std. Sapma	Bağlı sayım
0	2357	2366	2354	2359	2	1
0,2183	1831	1826	1833	1830	6	0,776
0,4268	1323	1332	1329	1328	9	0,563
0,6506	965	960	961	962	2	0,408
0,8689	734	735	730	733	4	0,311
1,0774	506	512	515	511	5	0,217
1,2957	366	362	361	363	8	0,154

Şekil 5.2’de 12V kodlu kompozit malzemelerinin Cs-137 gama radyoizotopu karşısında zayıflatma eğrisi verilmektedir.



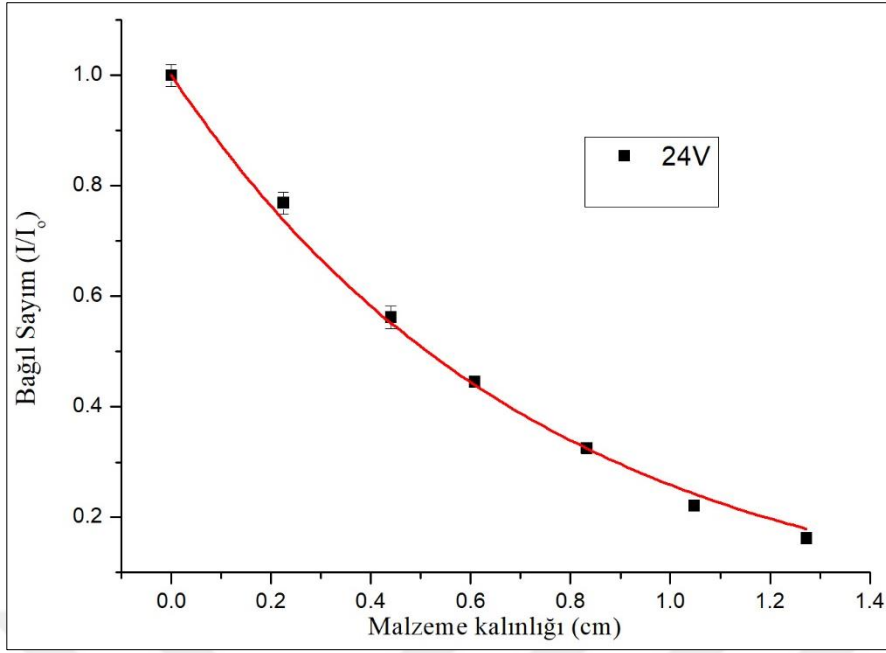
Şekil 5.2 : 12V kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri.

24 saat mekanik alaşımlama ile üretilen (24V kodlu) W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Cs-137 gama kaynağı karşısında ulaşılan deneysel sonuçları çizelge 5.3’de verilmektedir.

Çizelge 5.3 : 24V kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı ile yapılan deney sonuçları.

Kalınlık (cm)	1.sayım	2.sayım	3.sayım	Ort. Sayım	Std. Sapma	Bağlı sayım
0	2357	2366	2354	2359	1	1
0,2249	1813	1811	1818	1814	4	0,769
0,4403	1328	1323	1324	1325	5	0,562
0,6077	1048	1054	1054	1052	9	0,446
0,8326	767	766	765	766	2	0,325
1,0480	523	516	524	521	3	0,221
1,2729	381	380	385	382	1	0,162

Şekil 5.3’de 24V kodlu kompozit malzemelerinin Cs-137 gama radyoizotopuna ilişkin zayıflatma eğrisi verilmektedir.



Şekil 5.3 : 24V kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri.

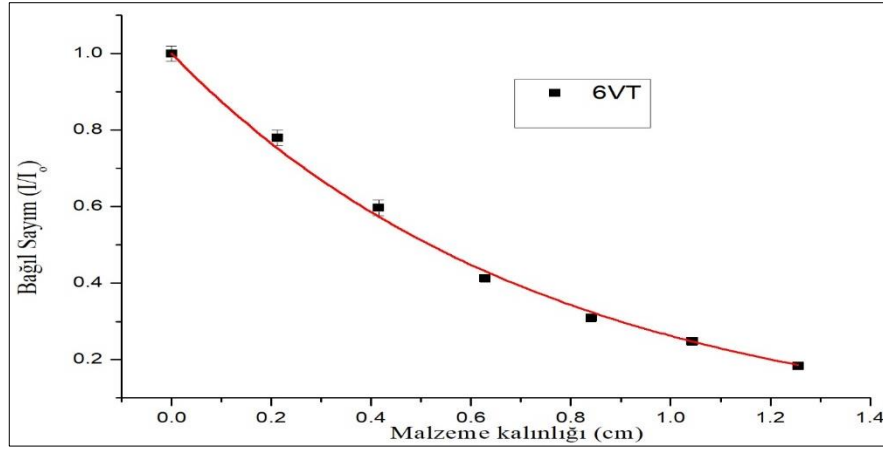
5.1.1.2 W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzeme için Cs-137 gama kaynağı ile ulaşılan deneylerin sonuçları

Cs-137 gama kaynağı karşısında W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemeler için yapılan deneylerle ulaşılan deneysel sonuçlar kullanılarak bağıl sayım değerleri elde edilmiştir. 6 saat mekanik alaşımlama ile üretilen (6VT kodlu) W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Cs-137 gama kaynağı karşısında ulaşılan deneysel sonuçları çizelge 5.4'de verilmektedir.

Çizelge 5.4 : 6VT kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1C kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı ile yapılan deney sonuçları.

Kalınlık (cm)	1.sayım	2.sayım	3.sayım	Ort. Sayım	Std. Sapma	Bağıl sayım
0	2357	2366	2354	2359	1	1
0,2123	1839	1843	1837	1839	7	0,780
0,4148	1409	1405	1410	1408	1	0,597
0,6285	972	976	974	974	8	0,413
0,8408	724	731	729	728	6	0,309
1,0433	586	589	580	585	5	0,248
1,2556	436	435	431	434	2	0,184

Şekil 5.4'de 6VT kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerinin Cs-137 gama radyoizotopuna ilişkin zayıflatma eğrisi verilmektedir.



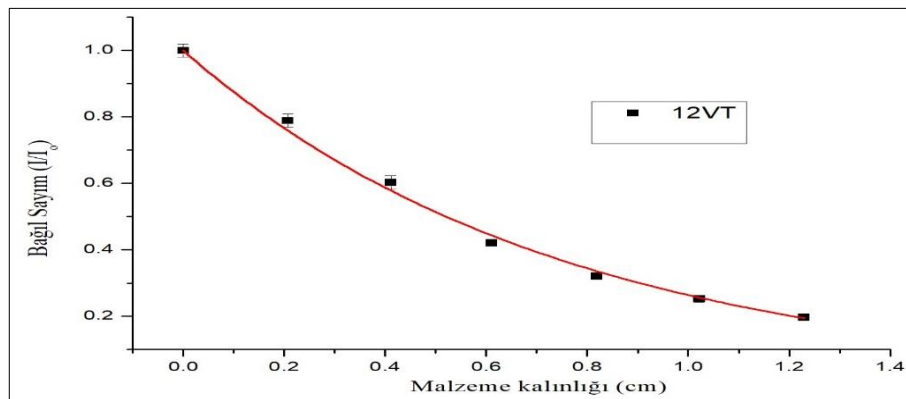
Şekil 5.4 : 6VT kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri.

12 saat mekanik alaşımlama ile üretilen (12VT kodlu) W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Cs-137 gama kaynağı karşısında ulaşılan deneysel sonuçları çizelge 5.5’de verilmektedir.

Çizelge 5.5 : 12VT kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı ile yapılan deney sonuçları.

Kalınlık (cm)	1.sayım	2.sayım	3.sayım	Ort. Sayım	Std. Sapma	Bağıl sayım
0	2357	2366	2354	2359	2	1
0,2074	1860	1858	1865	1861	1	0,789
0,4110	1425	1421	1420	1422	5	0,603
0,6110	994	993	992	993	4	0,421
0,8184	758	753	760	757	5	0,321
1,0220	594	599	595	596	6	0,253
1,2294	464	465	463	464	3	0,197

Şekil 5.5’de 12VT kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerinin Cs-137 gama radyoizotopuna ilişkin zayıflatma eğrisi verilmektedir.



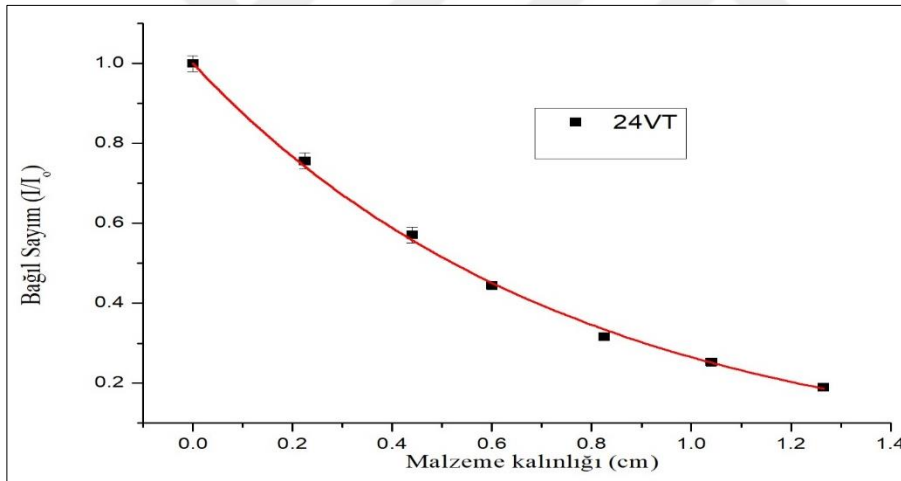
Şekil 5.5 : 12VT kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri.

24 saat mekanik alaşımlama ile üretilen (24VT kodlu) W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Cs-137 gama kaynağı karşısında ulaşılan deneysel sonuçları çizelge 5.6'da verilmektedir.

Çizelge 5.6 : 24VT kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı ile yapılan deney sonuçları.

Kalınlık (cm)	1.sayım	2.sayım	3.sayım	Ort. Sayım	Std. Sapma	Bağlı sayım
0	2357	2366	2354	2359	2	1
0,2249	1786	1784	1779	1783	7	0,756
0,4403	1349	1345	1347	1347	6	0,571
0,6003	1046	1045	1050	1047	4	0,444
0,8252	746	745	744	745	4	0,316
1,0406	598	591	599	596	5	0,253
1,2655	448	447	449	448	2	0,190

Şekil 5.6'da 24VT kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerinin Cs-137 gama radyoizotopuna ilişkin zayıflatma eğrisi verilmektedir.

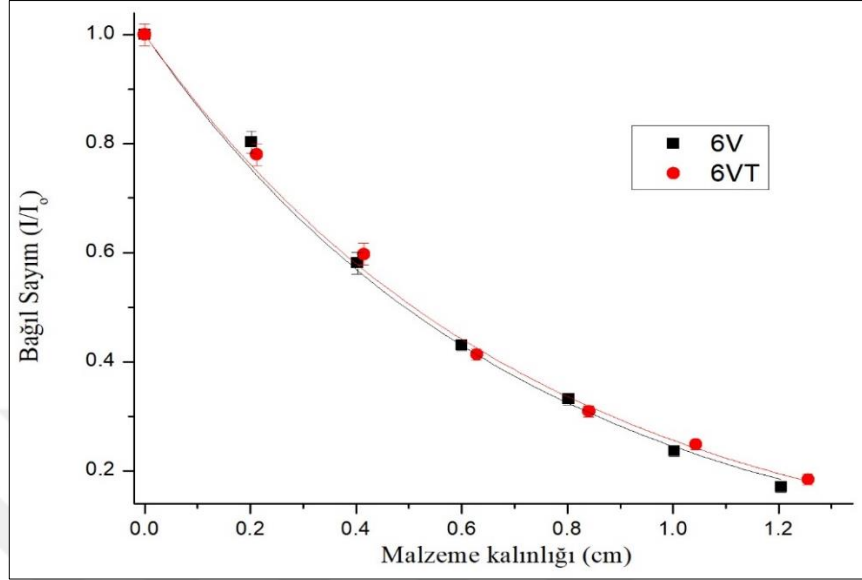


Şekil 5.6 : 24VT kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri.

5.1.1.3 W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C ve W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Cs-137 gama kaynağı ile ulaşılan deneylerin karşılaştırılmalı sonuçları

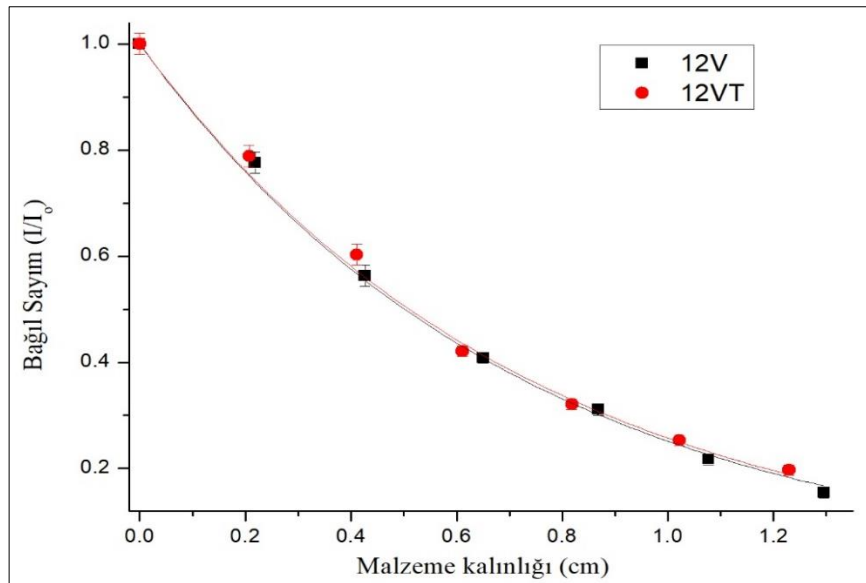
Cs-137 gama radyoizotop kaynağı ile W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C ve W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemeler için yapılan deneylerle ulaşılan deneysel sonuçlar kullanılarak bağlı sayım değerleri elde edilmiştir. Bu bağlamda farklı mekanik alaşımlama sürelerinde (6-12-24 saat) % 6 vanadyum karbür malzemeler ile % 2 titanyum karbür ilaveli malzemeler kendi aralarında değerlendirilmiştir. Şekil

5.7’de 6 saatlik mekanik alaşımlama ile üretilmiş W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C ve W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri gösterilmektedir.



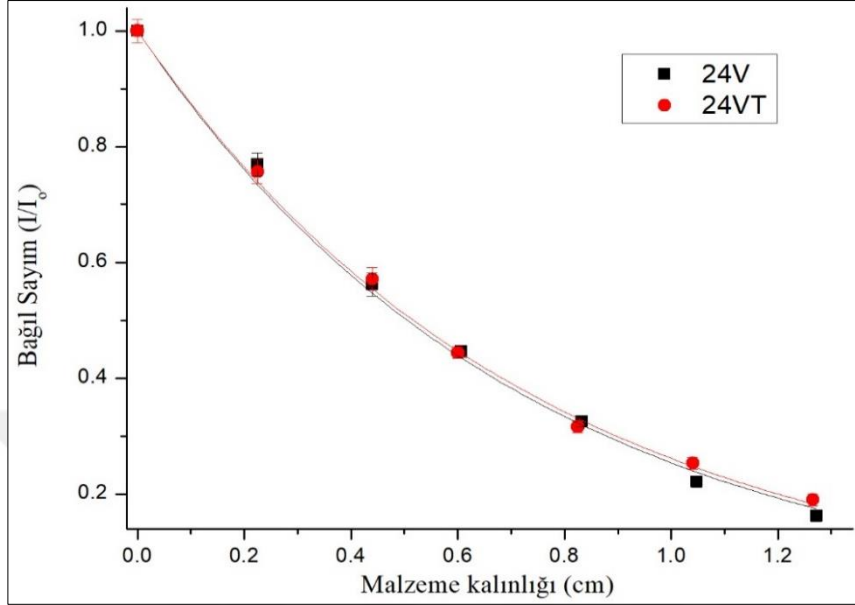
şekil 5.7 : 6V kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C ve 6VT kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri.

şekil 5.8’de 12 saatlik mekanik alaşımlama ile üretilmiş W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C ve W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri gösterilmektedir.



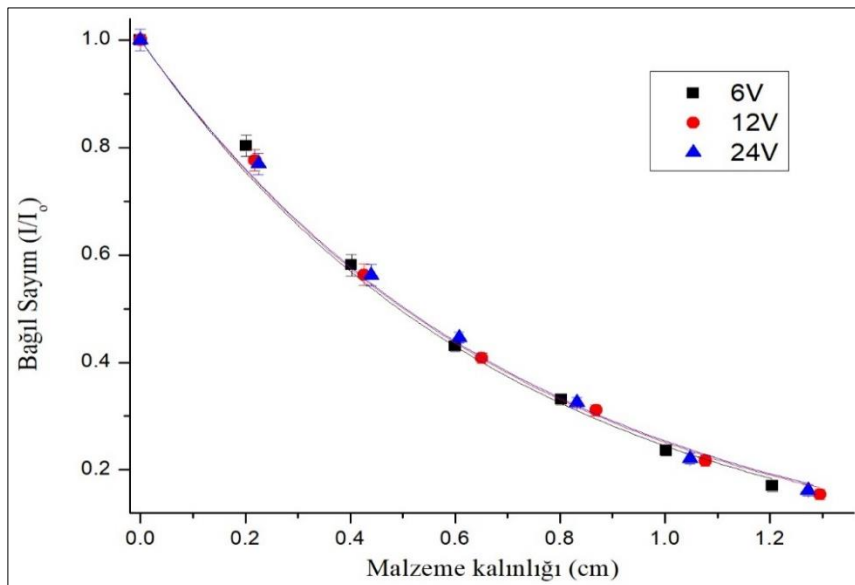
şekil 5.8 : 12V kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C ve 12VT kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri.

Şekil 5.9’da 24 saatlik mekanik alaşımlama ile üretilmiş W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C ve W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri gösterilmektedir.



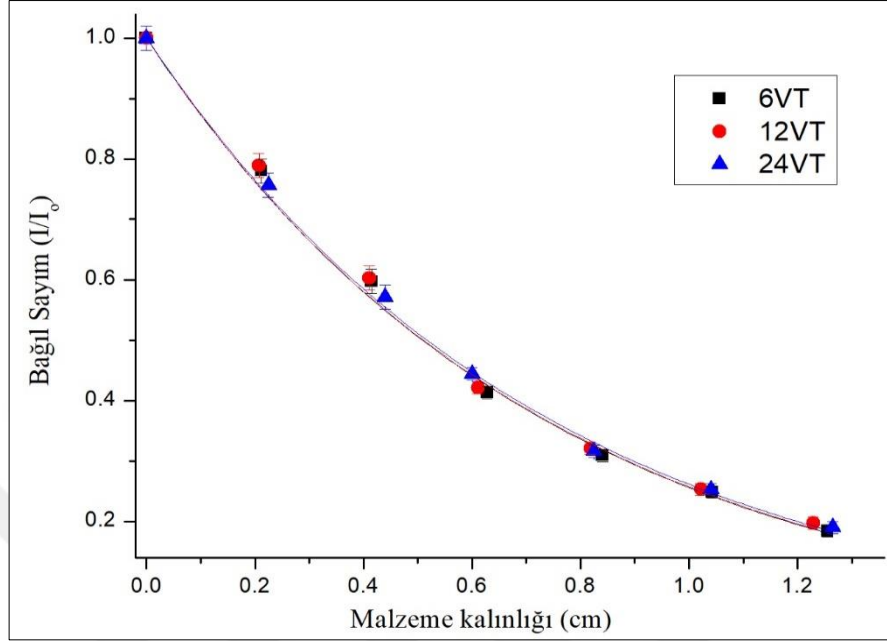
Şekil 5.9 : 24V kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C ve 24VT kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri.

Şekil 5.10’da 6-12-24 saatlik mekanik alaşımlama ile üretilmiş W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1C kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri gösterilmektedir.



Şekil 5.10 : 6V-12V-24V kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri.

Şekil 5.11’de 6-12-24 saatlik mekanik alaşımlama ile üretilmiş W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri gösterilmektedir.



Şekil 5.11 : 6VT-12VT-24VT kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri.

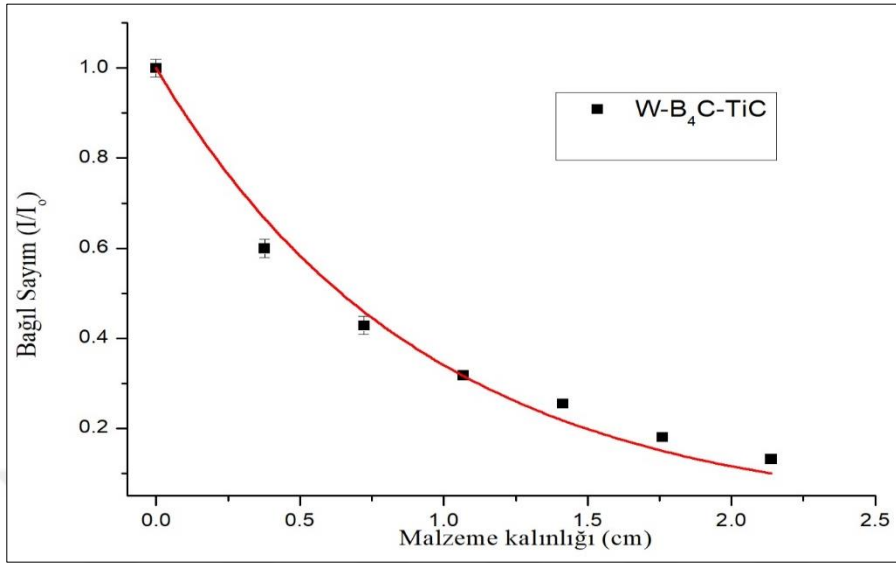
5.1.1.4 W- % ağ. 6 B₄C- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemeleri için Cs-137 gama kaynağı ile ulaşılan deneylerin sonuçları

Cs-137 gama kaynağı karşısında W- % ağ. 6 B₄C- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemeler için yapılan deneylerle ulaşılan deneysel sonuçlar kullanılarak bağıl sayım değerleri elde edilmiştir. W- % ağ. 6 B₄C- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Cs-137 gama kaynağı karşısında ulaşılan deneysel sonuçları çizelge 5.7’de verilmektedir.

Çizelge 5.7 : W- % ağ. 6 B₄C- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı ile yapılan deney sonuçları.

Kalınlık (cm)	1.sayım	2.sayım	3.sayım	Ort. Sayım	Std. Sapma	Bağıl sayım
0	45201	47867	43015	45361	358	1
0,3771	28098	26901	26574	27191	311	0,5994
0,7227	19188	18962	20173	19441	279	0,4285
1,0677	14605	14741	13896	14414	219	0,3177
1,4139	11738	11209	11766	11571	218	0,2559
1,7597	8102	8440	8010	8184	212	0,1804
2,1379	5917	6099	5873	5963	192	0,1314

Şekil 5.12’de W-B₄C-TiC kodlu W- % ağı. 6 B₄C- % ağı. 2 TiC- % ağı. 1 C kompozit malzemelerinin Cs-137 gama radyoizotopuna ilişkin zayıflatma eğrisi verilmektedir.



Şekil 5.12 : W-B₄C-TiC kodlu W- % ağı. 6 B₄C- % ağı. 2 TiC- % ağı. 1 C kompozit malzemelerinin Cs-137 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri.

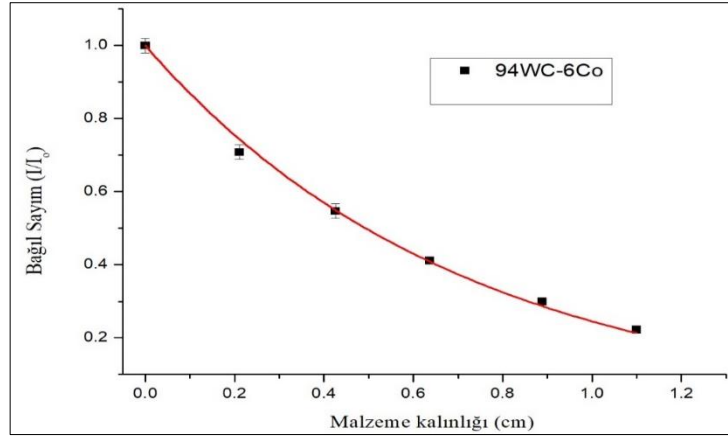
5.1.1.5 WC – % ağı. 6 Co kompozit malzemeleri için Cs-137 gama kaynağı ile ulaşılan deneylerin sonuçları

Cs-137 gama kaynağı karşısında WC- % ağı. 6 Co kompozit malzemeler için yapılan deneylerle ulaşılan deneysel sonuçlar kullanılarak bağıl sayım değerleri elde edilmiştir. WC- % ağı. 6 Co kompozit malzemelerin Cs-137 gama kaynağı karşısında ulaşılan deneysel sonuçları çizelge 5.8’de verilmektedir.

Çizelge 5.8 : WC- % ağı. 6 Co kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı ile yapılan deney sonuçları.

Kalınlık (cm)	1.sayım	2.sayım	3.sayım	Ort. Sayım	Std. Sapma	Bağıl sayım
0	40255	42435	43340	42010	314	1
0,2107	29739	29453	30028	29740	318	0,7079
0,4258	22972	22990	22963	22975	271	0,5468
0,6368	17320	17413	17221	17318	221	0,4122
0,8888	12594	12654	12468	12572	204	0,2992
1,0999	9356	9346	9361	9354	207	0,2226

Şekil 5.13’de WC- % ağı. 6 Co kompozit malzemelerinin Cs-137 gama radyoizotopuna ilişkin zayıflatma eğrisi verilmektedir.



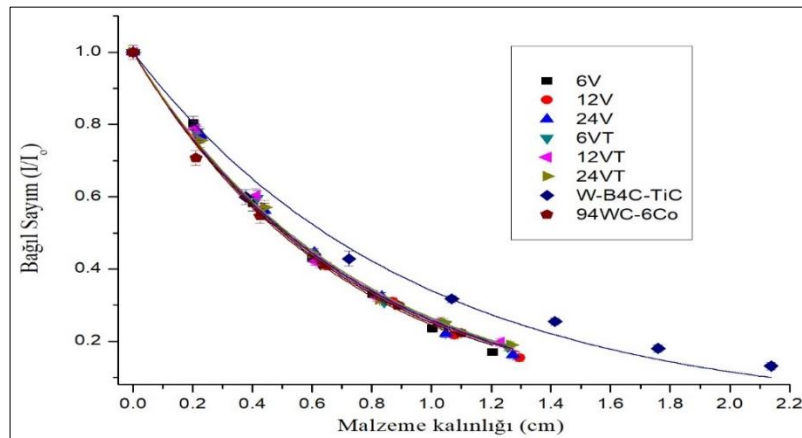
Şekil 5.13 : WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerinin Cs-137 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri.

5.1.1.6 Volfram matrisli kompozit malzemelerin Cs-137 gama kaynağı ile ulaşılan deneylerin karşılaştırmalı sonuçları

Bölüm 4’de volfram matrisli kompozit malzemeler başlığı adı altında tanıtılan;

- W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C
- W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C
- W- % ağ. 6 B₄C- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C
- WC- % ağ. 6 Co

Volfram matrisli kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotopu kaynağı ile yapılan deneyleri neticesinde ulaşılan sonuçlar kullanılarak bağıl sayım değerleri elde edilmiştir. Bu bağlamda volfram matrisli kompozit malzemelerin şekil 5.14’de Cs-137 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri karşılaştırılmalı olarak gösterilmektedir.



Şekil 5.14 : Volfram matrisli kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri.

5.1.2 Volfram matrisli kompozit malzemelerin Co-60 gama kaynakları ile ulaşılan deney sonuçları

Gama transmisyon tekniği bağlamında Co-60 gama kaynağı ile volfram matrisli kompozit malzemelere ilişkin olarak yapılan deneylerin sonuçları kullanılan gama radyoizotop kaynaklar için ayrı ayrı oluşturulmuştur. Deney sonuçları, tablolar ve ilgili grafikler bağlamında verilmektedir.

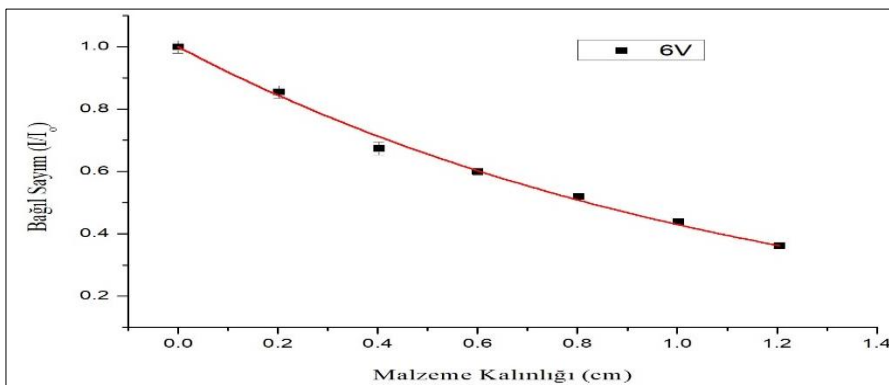
5.1.2.1 W-% ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemeler için Co-60 gama kaynağı ile ulaşılan deneylerin sonuçları

Co-60 gama kaynağı karşısında W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemeler için yapılan deneylerle ulaşılan deneysel sonuçlar kullanılarak bağıl sayım değerleri elde edilmiştir. 6 saat mekanik alaşımlama ile üretilen (6V kodlu) W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Co-60 gama kaynağı karşısında ulaşılan deneysel sonuçları çizelge 5.9'da verilmektedir.

Çizelge 5.9 : 6V kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağı ile yapılan deney sonuçları.

Kalınlık (cm)	1.sayım	2.sayım	3.sayım	Ort. Sayım	Std. Sapma	Bağıl sayım
0	64705	64822	64777	64768	1362	1
0,2022	55269	55560	55359	55396	1254	0,8553
0,4025	43780	43528	43633	43647	1232	0,6739
0,6003	38467	38983	39073	38841	1136	0,5997
0,8025	33599	33846	33709	33718	1078	0,5206
1,0028	28645	28364	28386	28465	1043	0,4395
1,2050	23498	23501	23453	23484	1042	0,3626

Şekil 5.15'de 6V kodlu kompozit malzemelerinin Co-60 gama radyoizotopu karşısında zayıflatma eğrisi verilmektedir.



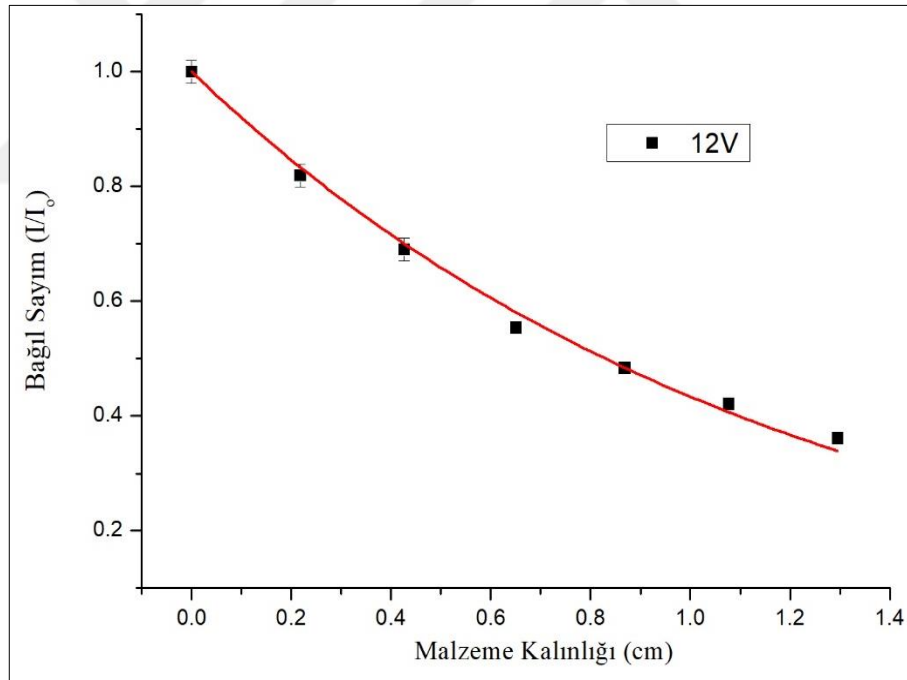
Şekil 5.15 : 6V kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Co-60 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri.

12 saat mekanik alaşımlama ile üretilen (12V kodlu) W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Co-60 gama kaynağı karşısında ulaşılan deneysel sonuçları izelge 5.10’da verilmektedir.

Çizelge 5.10 : 12V kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağı ile yapılan deney sonuçları.

Kalınlık (cm)	1.sayım	2.sayım	3.sayım	Ort. Sayım	Std. Sapma	Bağıl sayım
0	64705	64882	64777	64768	1362	1
0,2183	53055	53124	52917	53032	1236	0,8553
0,4268	44852	44625	44668	44715	1171	0,6739
0,6506	35890	35741	35895	35842	1149	0,5997
0,8689	31420	31450	31093	31321	1087	0,5206
1,0774	27567	27351	26979	27229	1023	0,4395
1,2957	23208	23410	23504	23374	985	0,3626

Şekil 5.16’da 12V kodlu kompozit malzemelerinin Co-60 gama radyoizotopu karşısında zayıflatma eğrisi verilmektedir.



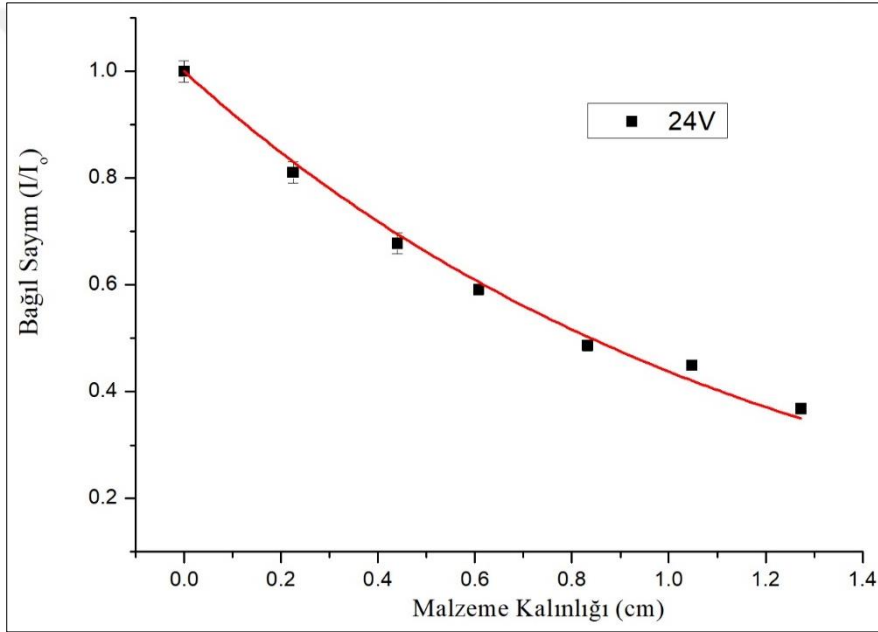
Şekil 5.16 : 12V kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Co-60 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri.

24 saat mekanik alaşımlama ile üretilen (24V kodlu) W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Co-60 gama kaynağı karşısında ulaşılan deneysel sonuçları izelge 5.11’de verilmektedir.

Çizelge 5.11 : 24V kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağı ile yapılan deney sonuçları.

Kalınlık (cm)	1.sayım	2.sayım	3.sayım	Ort. Sayım	Std. Sapma	Bağıl sayım
0	64705	64822	64777	64768	1326	1
0,2249	52559	52431	52570	52520	1259	0,8109
0,4403	43408	43955	44316	43893	1198	0,6777
0,6077	38450	38501	37958	38303	1127	0,5914
0,8326	31420	31620	31487	31509	1108	0,4865
1,0480	29175	29054	29128	29119	1038	0,4496
1,2729	23652	23950	23939	23847	1010	0,3682

Şekil 5.17’de 24V kodlu kompozit malzemelerinin Co-60 gama radyoizotopuna ilişkin zayıflatma eğrisi verilmektedir.



Şekil 5.17 : 24V kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Co-60 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri.

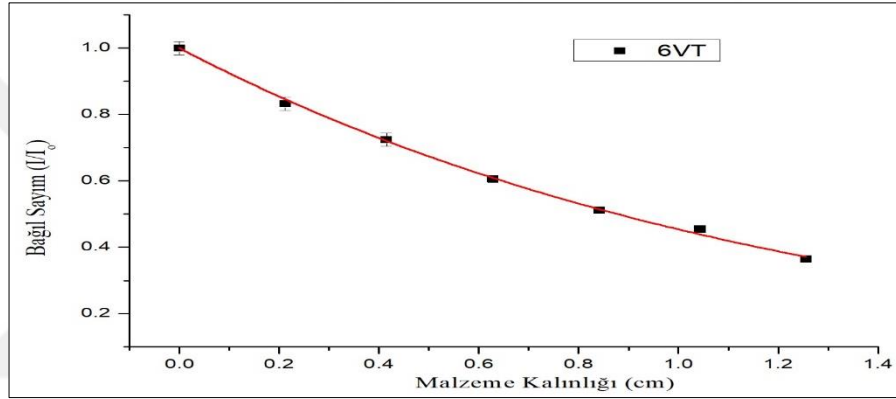
5.1.2.2 W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemeler için Co-60 gama kaynağı ile ulaşılan deneylerin sonuçları

Co-60 gama kaynağı karşısında W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemeler ile ulaşılan deneysel sonuçlar kullanılarak bölüm 4’de Volfram matrisli kompozit malzemeler adı altında tanıtılan malzemeler için bağıl sayım değerleri elde edilmiştir. Bu bağlamda 6 saat mekanik alaşımlama ile üretilen (6VT kodlu) W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Co-60 gama kaynağı karşısında ulaşılan deneysel sonuçları çizelge 5.12’de verilmektedir.

Çizelge 5.12 : 6VT kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağı ile yapılan deney sonuçları.

Kalınlık (cm)	1.sayım	2.sayım	3.sayım	Ort. Sayım	Std. Sapma	Bağlı sayım
0	64705	64822	64777	64768	1362	1
0,2123	53911	53886	53921	53906	1265	0,8323
0,4148	46940	46892	46883	46905	1180	0,7242
0,6285	39351	39025	39392	39256	1136	0,6061
0,8408	33155	33309	32881	33115	1094	0,5113
1,0433	29350	29404	29614	29456	1006	0,4548
1,2556	23608	23543	23634	23595	1008	0,3643

Şekil 5.18’de 6VT kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerinin Co-60 gama radyoizotopuna ilişkin zayıflatma eğrisi verilmektedir.



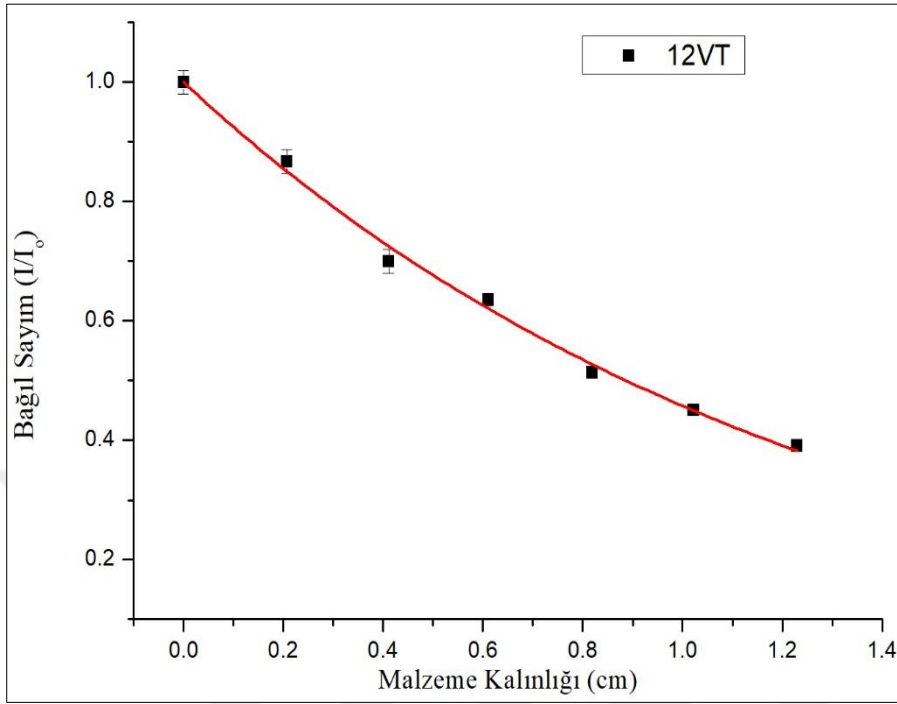
Şekil 5.18 : 6VT kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Co-60 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri.

12 saat mekanik alaşımlama ile üretilen (12VT kodlu) W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Co-60 gama kaynağı karşısında ulaşılan deneysel sonuçları çizelge 5.13’de verilmektedir.

Çizelge 5.13 : 12VT kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağı ile yapılan deney sonuçları.

Kalınlık (cm)	1.sayım	2.sayım	3.sayım	Ort. Sayım	Std. Sapma	Bağlı sayım
0	64705	64822	64777	64768	1326	1
0,2249	56182	56120	56139	56147	1218	0,8669
0,4403	45300	45480	45231	45337	1195	0,7000
0,6003	41341	41108	41166	41205	1095	0,6362
0,8252	33275	33401	33254	33310	1085	0,5143
1,0406	29211	29140	29222	29191	1030	0,4507
1,2655	25273	25385	25293	25317	973	0,3909

Şekil 5.19'da 12VT kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerinin Co-60 gama radyoizotopuna ilişkin zayıflatma eğrisi verilmektedir.



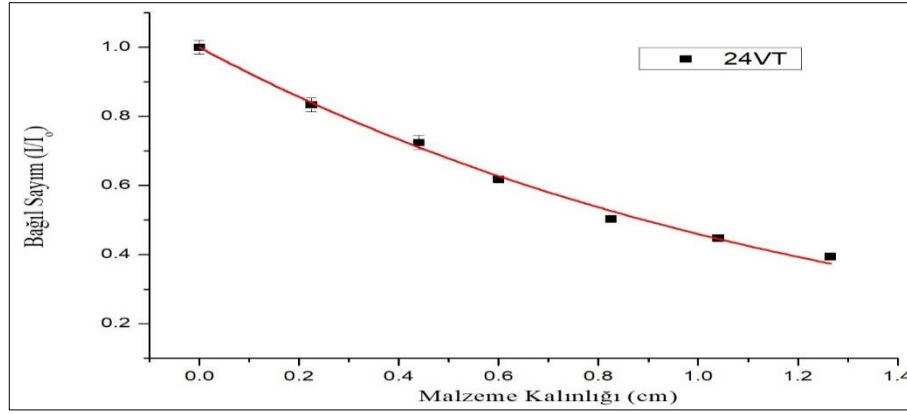
Şekil 5.19 : 12VT kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Co-60 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri.

24 saat mekanik alaşımlama ile üretilen (24VT kodlu) W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Co-60 gama kaynağı karşısında ulaşılan deneysel sonuçları çizelge 5.14'de verilmektedir.

Çizelge 5.14 : 24VT kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağı ile yapılan deney sonuçları.

Kalınlık (cm)	1.sayım	2.sayım	3.sayım	Ort. Sayım	Std. Sapma	Bağıl sayım
0	64705	64822	64777	64768	1306	1
0,2074	53962	53852	54099	53971	1280	0,8333
0,4110	46902	46923	46908	46911	1181	0,7243
0,6110	40082	40001	39995	40026	1122	0,6180
0,8184	35152	35280	35441	35291	1108	0,5032
1,0220	29102	29052	28894	29016	1052	0,4480
1,2294	25540	25401	25712	25551	1016	0,3945

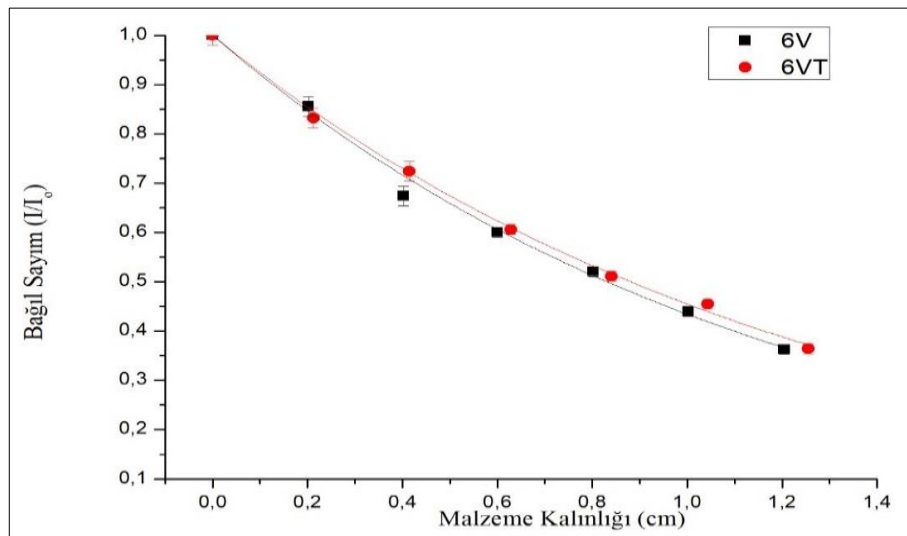
Şekil 5.20'de 24VT kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerinin Co-60 gama radyoizotopuna ilişkin zayıflatma eğrisi verilmektedir.



Şekil 5.20 : 24VT kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Co-60 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri.

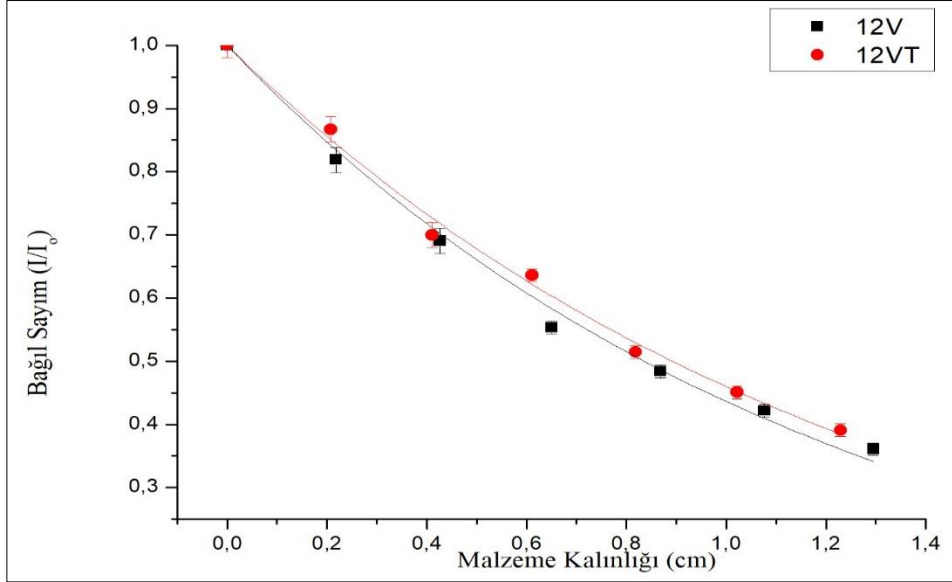
5.1.2.3 W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C ve W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Co-60 gama kaynağı ile ulaşılan deneylerin karşılaştırılmalı sonuçları

Co-60 gama radyoizotop kaynağı ile W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C ve W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemeler için yapılan deneylerle ulaşılan deneysel sonuçlar kullanılarak bağıl sayım değerleri elde edilmiştir. Bu bağlamda farklı mekanik alaşımlama sürelerinde (6-12-24 saat) % 6 vanadyum karbür malzemeler ile % 2 titanyum karbür ilaveli malzemeler kendi aralarında değerlendirilmiştir. Şekil 5.21'de 6 saatlik mekanik alaşımlama ile üretilmiş W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C ve W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Co-60 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri gösterilmektedir.



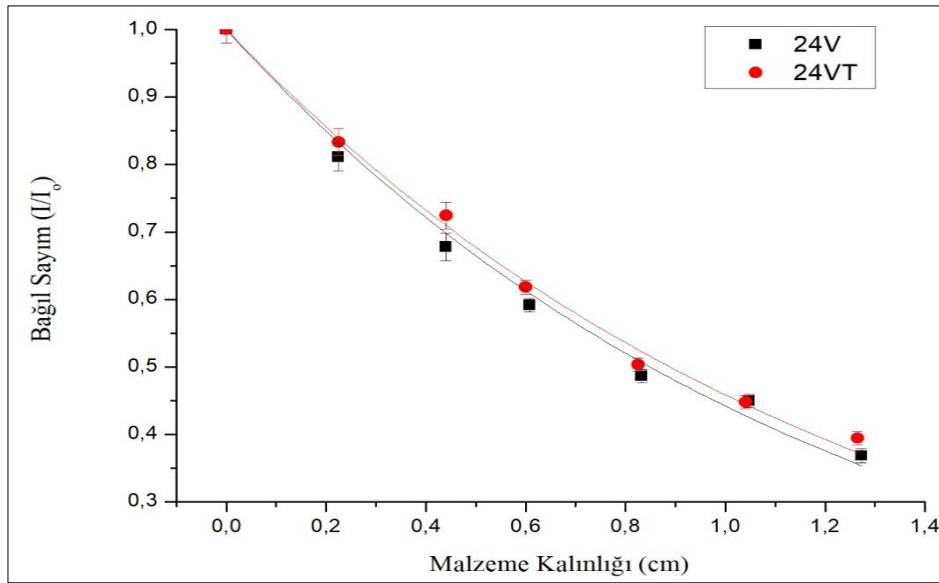
Şekil 5.21 : 6V kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C ve 6VT kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Co-60 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri.

Şekil 5.22’de 12 saatlik mekanik alaşımlama ile üretilmiş W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C ve W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Co-60 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri gösterilmektedir.



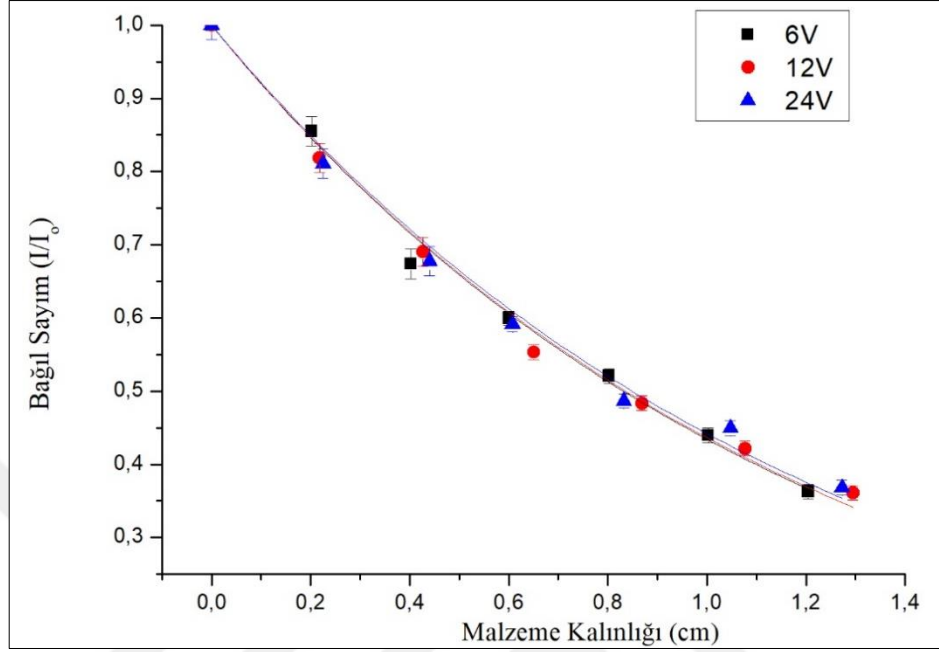
Şekil 5.22 : 12V kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C ve 12VT kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Co-60 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri.

Şekil 5.23’de 24 saatlik mekanik alaşımlama ile üretilmiş W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C ve W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Co-60 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri gösterilmektedir.



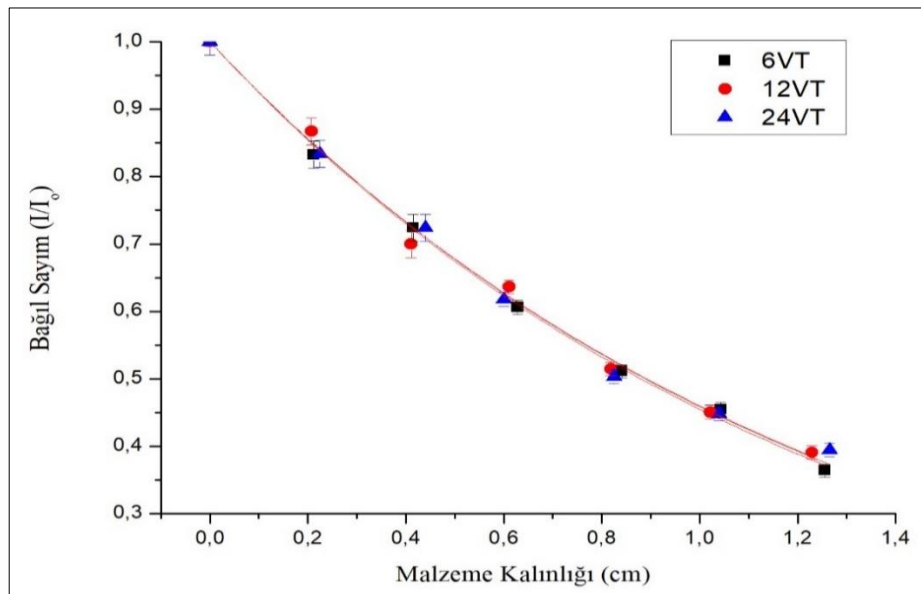
Şekil 5.23 : 24V kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C ve 24VT kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Co-60 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri.

Şekil 5.24’de 6-12-24 saatlik mekanik alaşımlama ile üretilmiş W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1C kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri gösterilmektedir.



Şekil 5.24 : 6V-12V-24V kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Co-60 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri.

Şekil 5.25’de 6-12-24 saatlik mekanik alaşımlama ile üretilmiş W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Co-60 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri gösterilmektedir.



Şekil 5.25 : 6VT-12VT-24VT kodlu W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Co-60 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri.

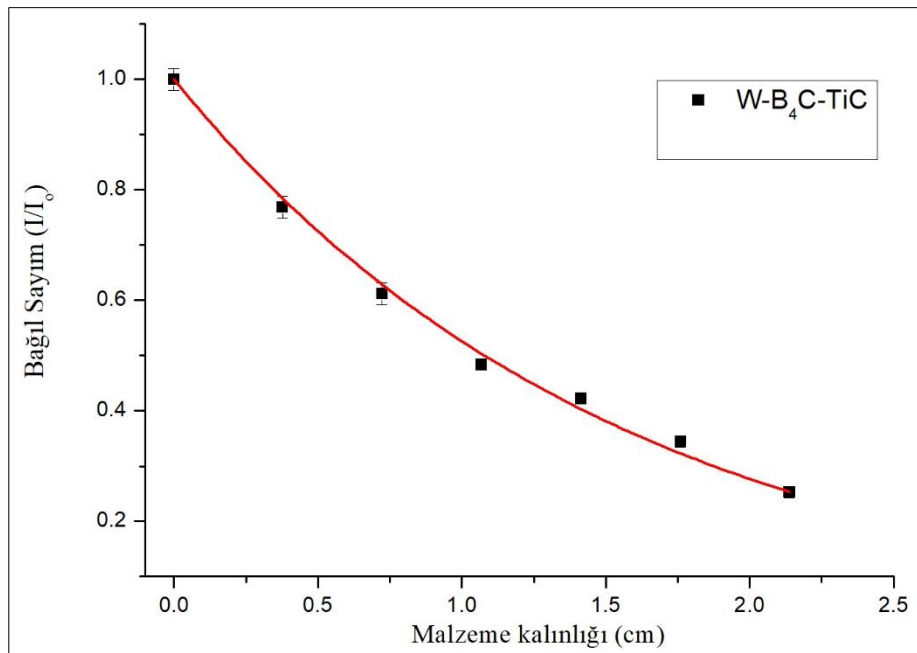
5.1.2.4 W- % ağ. 6 B₄C- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemeleri için Co-60 gama kaynağı ile ulaşılan deneylerin sonuçları

Co-60 gama kaynağı karşısında W- % ağ. 6 B₄C- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemeler ile ulaşılan deneysel sonuçlar kullanılarak bölüm 4’de Volfram matrisli kompozit malzemeler adı altında tanıtılan malzemeler için bağıl sayım değerleri elde edilmiştir. Bu bağlamda W- % ağ. 6 B₄C- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Co-60 gama kaynağı karşısında ulaşılan deneysel sonuçları çizelge 5.15’de verilmektedir (Demir, 2018; Demir, 2017).

Çizelge 5.15 : W- % ağ. 6 B₄C- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağı ile yapılan deney sonuçları.

Kalınlık (cm)	1.sayım	2.sayım	3.sayım	Ort. Sayım	Std. Sapma	Bağıl sayım
0	64125	64014	64103	64125	1369	1
0,3771	49253	49198	49157	49253	1367	0,7680
0,7227	39261	39089	39361	39261	1280	0,6122
1,0677	31022	31270	30368	31022	1250	0,4837
1,4139	27115	27250	27056	27115	1165	0,4228
1,7597	22095	22164	22111	22095	996	0,3445
2,1379	16204	16195	16097	16204	946	0,2526

Şekil 5.26’da W-B₄C-TiC kodlu W- % ağ. 6 B₄C- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerinin Co-60 gama radyoizotopuna ilişkin zayıflatma eğrisi verilmektedir.



Şekil 5.26 : W-B₄C-TiC kodlu W- % ağ. 6 B₄C- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerinin Co-60 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri.

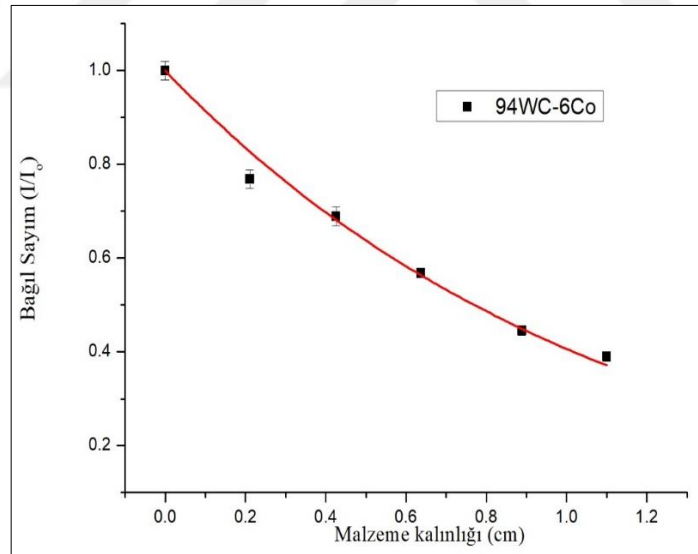
5.1.2.5 WC - % ağ. 6 Co kompozit malzemeleri için Co-60 gama kaynağı ile ulaşılan deneylerin sonuçları

Co-60 gama kaynağı karşısında WC- % ağ. 6 Co kompozit malzemeler için yapılan deneylerle ulaşılan deneysel sonuçlar kullanılarak bağıl sayım değerleri elde edilmiştir. Bu bağlamda WC- % ağ. 6 Co kompozit malzemelerin Co-60 gama kaynağı karşısında ulaşılan deneysel sonuçları çizelge 5.16'da verilmektedir.

Çizelge 5.16 : WC- % ağ. 6 Co kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağı ile yapılan deney sonuçları.

Kalınlık (cm)	1.sayım	2.sayım	3.sayım	Ort. Sayım	Std. Sapma	Bağıl sayım
0	16322	16497	16264	16361	706	1
0,2107	13176	12503	12052	12577	620	0,7687
0,4258	11771	11084	10970	11275	586	0,6891
0,6368	9345	9205	9359	9303	537	0,5686
0,8888	7275	7099	7490	7288	459	0,4454
1,0999	6530	6305	6320	6385	410	0,3902

Şekil 5.27'de WC- % ağ. 6 Co kompozit malzemelerinin Co-60 gama radyoizotopuna ilişkin zayıflatma eğrisi verilmektedir (Demir, 2019).



Şekil 5.27 : WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerinin Co-60 gama radyasyonu zayıflatma eğrisi.

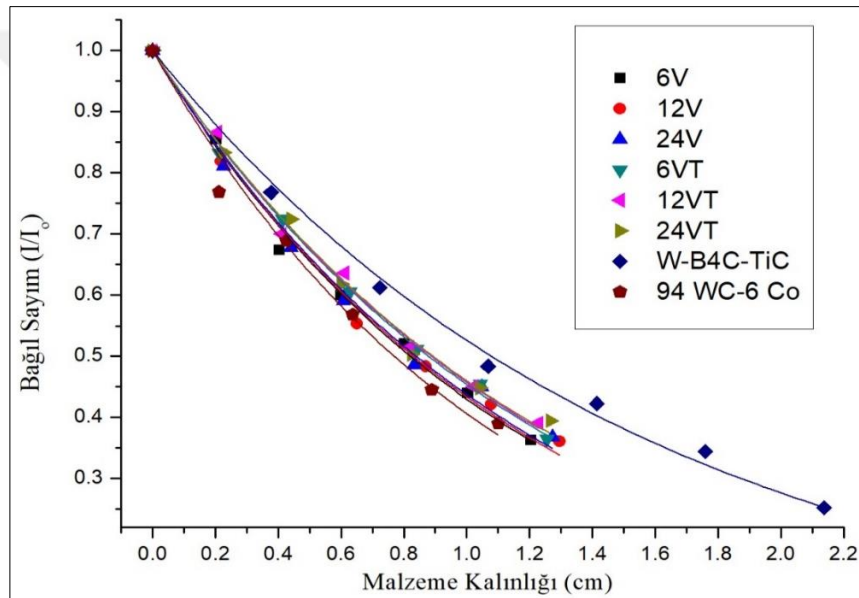
5.1.2.6 Volfram matrisli kompozit malzemelerin Co-60 gama kaynağı ile ulaşılan deneylerin karşılaştırmalı sonuçları

Bölüm 4'de Volfram matrisli kompozit malzemeler başlığı adı altında tanıtılan;

- W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C

- W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C
- W- % ağ. 6 B₄C- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C
- WC- % ağ. 6 Co

Volfram matrisli kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotopu kaynağı ile yapılan deneyler neticesinde ulaşılan sonuçlar kullanılarak bağıl sayım değerleri elde edilmiştir. Bu bağlamda Volfram matrisli kompozit malzemelerin şekil 5.22’de Co-60 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri karşılaştırılmalı olarak gösterilmektedir. Bu bağlamda, sonuçların birbirine yakın olmasıyla beraber yine de en iyi sonucu WC- % ağ. 6 Co malzemesine ait olduğu görülmüştür.



şekil 5.28 : Volfram matrisli kompozit malzemelerin Co-60 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri.

5.1.3 Volfram matrisli kompozit malzemelerin Pu-Be nötron kaynağı ile ulaşılan deney sonuçları

Bölüm 4 içinde tanıtılan dört farklı volfram temelli kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer kaynağı ile ulaşılan deney sonuçları kullanılarak malzemelerin nötron kaynağı karşısında zayıflatma eğrileri elde edilmiştir. Volfram, vanadyum karbür, titanyum karbür, bor karbür, karbon, volfram karbür ve kobalt içeren malzemelerin nötron zayıflatma özelliklerinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu bağlamda volfram temelli kompozit malzemelerin nötron howitzer kaynağı karşısında kalınlık-bağıl sayım değerleri ve ilgili grafikleri aşağdaki alt bölümlerde ifade edilmektedir.

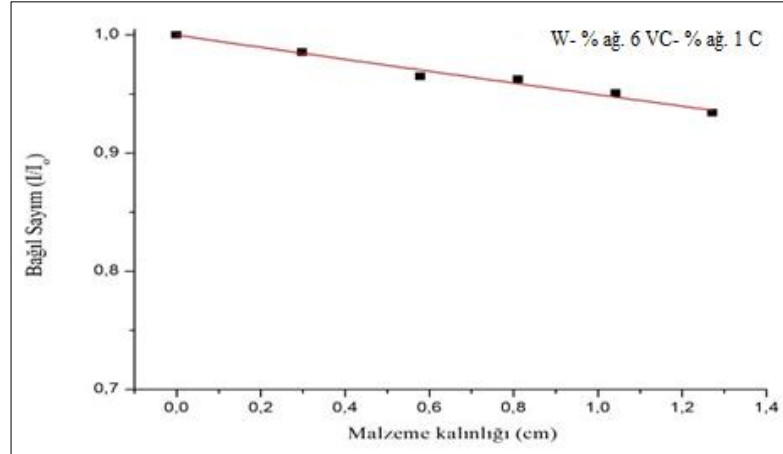
5.1.3.1 W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemeler için Pu-Be nötron kaynağı ile ulaşılan deneylerin sonuçları

Pu-Be nötron howitzer kaynağı karşısında W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemeler için yapılan deneylerle ulaşılan deneysel sonuçlar kullanılarak bağıl sayım değerleri elde edilmiştir. W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Pu-Be nötron kaynağı karşısında ulaşılan deneysel sonuçları çizelge 5.17’de verilmektedir.

Çizelge 5.17 : W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer kaynağı ile yapılan deney sonuçları.

Kalınlık (cm)	1.sayım	2.sayım	3.sayım	Ort. Sayım	Std. Sapma	Bağıl sayım
0	11334	11514	11185	11344	113	1
0,299	11064	11382	11088	11178	156	0,9853
0,579	10641	11151	11051	10948	109	0,9650
0,8112	11079	10704	10970	10918	131	0,9623
1,0431	10707	10893	10759	10786	152	0,9508
1,2719	10110	10416	11259	10595	151	0,9339

Çizelge 5.17’de verilen sayım değerlerinden hareketle W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin kalınlık-bağıl sayım grafikleri elde edilmiştir. Bu bağlamda, şekil 5.29’da W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerinin Pu-Be nötron kaynağına ilişkin zayıflatma eğrisi verilmektedir.



Şekil 5.29 : W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer kaynağı zayıflatma eğrileri.

5.1.3.2 W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemeler için Pu-Be nötron kaynağı ile ulaşılan deneylerin sonuçları

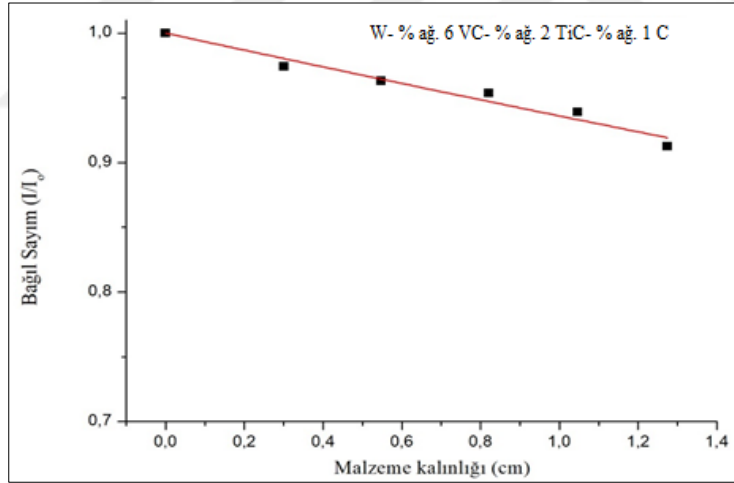
Pu-Be nötron howitzer kaynağı karşısında W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemeler için yapılan deneylerle ulaşılan deneysel sonuçlar kullanılarak

bağlı sayım değerleri elde edilmiştir. Volfram matrisli W- % ağı. 6 VC- % ağı. 2 TiC- % ağı. 1 C kompozit malzemelerin Pu-Be nötron kaynağı karşısında ulaşılan deneysel sonuçları çizelge 5.18’de verilmektedir.

Çizelge 5.18 : W- % ağı. 6 VC- % ağı. 2 TiC- % ağı. 1 C kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer kaynağı ile yapılan deney sonuçları.

Kalınlık (cm)	1.sayım	2.sayım	3.sayım	Ort. Sayım	Std. Sapma	Bağlı sayım
0	11334	11514	11185	11344	113	1
0,301	11069	11380	10707	11052	110	0,9742
0,548	10633	11155	10987	10925	109	0,9630
0,8216	11065	10710	10679	10818	108	0,9536
1,0465	10699	10760	10497	10652	106	0,9389
1,2749	10256	10390	10404	10350	103	0,9123

Çizelge 5.18’de verilen sayım değerlerinden hareketle W- % ağı. 6 VC- % ağı. 2 TiC- % ağı. 1 C kompozit malzemelerin kalınlık-bağlı sayım grafikleri elde edilmiştir. Bu bağlamda, şekil 5.30’da W- % ağı. 6 VC- % ağı. 2 TiC- % ağı. 1 C kompozit malzemelerinin Pu-Be nötron kaynağına ilişkin zayıflatma eğrisi verilmektedir.



Şekil 5.30 : W- % ağı. 6 VC- % ağı. 2 TiC- % ağı. 1 C kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer kaynağı zayıflatma eğrileri.

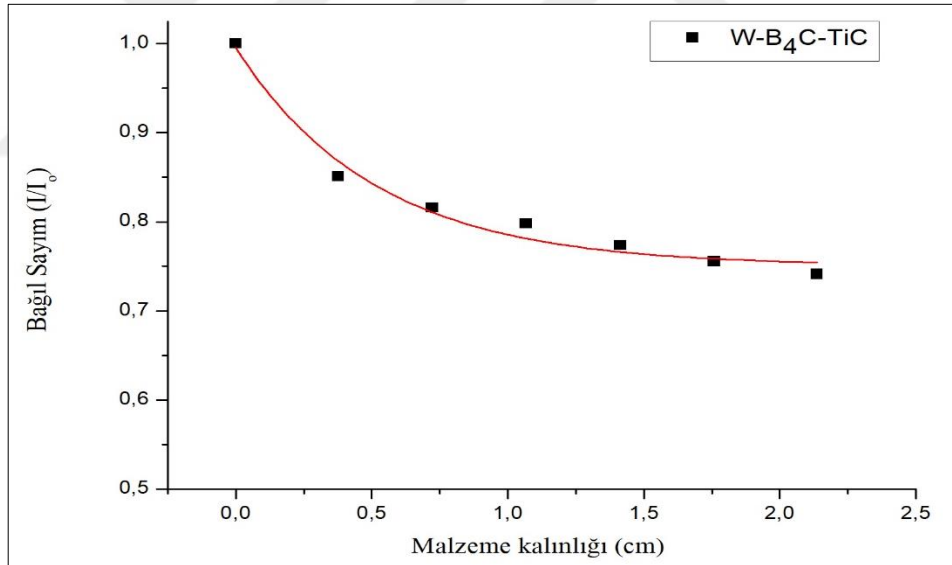
5.1.3.3 W- % ağı. 6 B₄C- % ağı. 2 TiC- % ağı. 1 C kompozit malzemeler için Pu-Be nötron kaynağı ile ulaşılan deneylerin sonuçları

Pu-Be nötron howitzer kaynağı karşısında W- % ağı. 6 B₄C- % ağı. 2 TiC- % ağı. 1 C kompozit malzemeler için yapılan deneylerle ulaşılan deneysel sonuçlar kullanılarak bağlı sayım değerleri elde edilmiştir. Volfram matrisli W- % ağı. 6 B₄C- % ağı. 2 TiC- % ağı. 1 C kompozit malzemelerin Pu-Be nötron kaynağı karşısında ulaşılan deneysel sonuçları çizelge 5.19’da verilmektedir.

Çizelge 5.19 : W- % ağı. 6 B₄C- % ağı. 2 TiC- % ağı. 1 C kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer kaynağı ile yapılan deney sonuçları.

Kalınlık (cm)	1.sayım	2.sayım	3.sayım	Ort. Sayım	Std. Sapma	Bağıl sayım
0	46290	46860	46620	46590	462	1
0,3771	40200	39480	39219	39633	395	0,8506
0,7227	37470	38460	38091	38007	380	0,8157
1,0677	36300	37200	38019	37173	371	0,7978
1,4139	35850	36240	36021	36037	360	0,7734
1,7597	35160	35070	35340	35190	351	0,7553
2,1379	35460	34170	34860	34530	345	0,7411

Çizelge 5.19’da verilen sayım değerlerinden hareketle W- % ağı. 6 B₄C- % ağı. 2 TiC- % ağı. 1 C kompozit malzemelerin kalınlık-bağıl sayım grafikleri elde edilmiştir. Bu bağlamda, şekil 5.31’da W- % ağı. 6 B₄C- % ağı. 2 TiC- % ağı. 1 C kompozit malzemelerinin Pu-Be nötron kaynağına ilişkin zayıflatma eğrisi verilmektedir.



Şekil 5.31 : W- % ağı. 6 B₄C- % ağı. 2 TiC- % ağı. 1 C kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer kaynağı zayıflatma eğrileri.

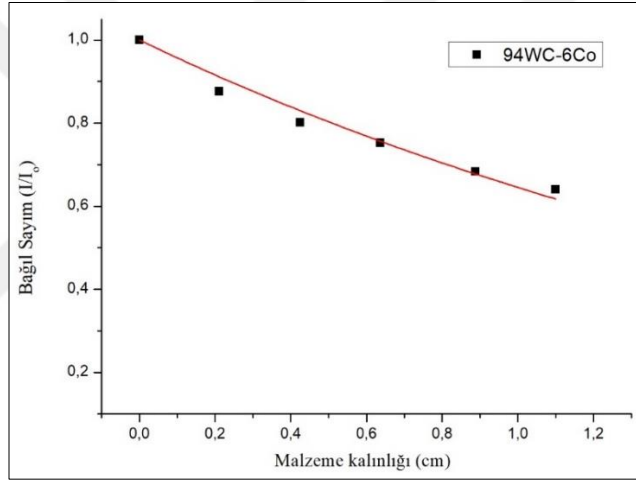
5.1.3.4 WC - % ağı. 6 Co kompozit malzemeleri için Pu-Be nötron kaynağı ile ulaşılan deneylerin sonuçları

Pu-Be nötron howitzer kaynağı karşısında WC- % ağı. 6 Co kompozit malzemeler için yapılan deneylerle ulaşılan deneysel sonuçlar kullanılarak bağıl sayım değerleri elde edilmiştir. Volfram matrisli WC- % ağı. 6 Co kompozit malzemelerin Pu-Be nötron kaynağı karşısında ulaşılan deneysel sonuçları çizelge 5.20’de verilmektedir.

Çizelge 5.20 : WC- % ağ. 6 Co kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer kaynağı ile yapılan deney sonuçları.

Kalınlık (cm)	1.sayım	2.sayım	3.sayım	Ort. Sayım	Std. Sapma	Bağlı sayım
0	59310	59760	59382	59484	706	1
0,2107	52320	52320	51705	52115	620	0,8761
0,4258	47610	47520	47685	47665	586	0,8013
0,6368	44640	44850	44790	44760	537	0,7524
0,8888	40200	40950	40800	40650	459	0,6833
1,0999	38130	38040	38070	38080	410	0,6401

Çizelge 5.20’de verilen sayım değerlerinden hareketle WC- % ağ. 6 Co kompozit malzemelerin kalınlık-bağlı sayım grafikleri elde edilmiştir. Bu bağlamda, şekil 5.32’de WC- % ağ. 6 Co kompozit malzemelerinin Pu-Be nötron kaynağına ilişkin zayıflatma eğrisi verilmektedir.



Şekil 5.32 : WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer kaynağı zayıflatma eğrileri.

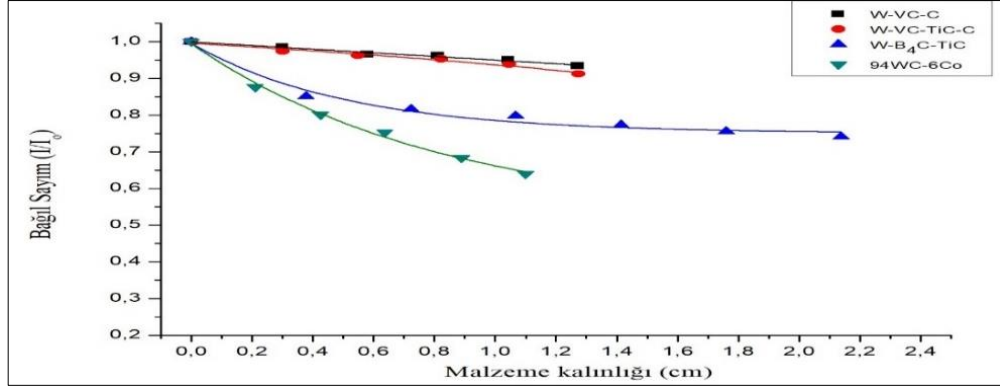
5.1.3.5 Volfram matrisli kompozit malzemelerin Pu-Be nötron kaynağı ile yapılan deneylerinin karşılaştırılmalı sonuçları

Bölüm 4’de Volfram matrisli kompozit malzemeler başlığı adı altında tanıtılan;

- W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C
- W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C
- W- % ağ. 6 B₄C- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C
- WC- % ağ. 6 Co

Volfram matrisli kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer kaynağı ile yapılan deneyleri neticesinde ulaşılan sonuçlar kullanılarak bağlı sayım değerleri elde

edilmiştir. Bu bağlamda volfram matrisli kompozit malzemelerin şekil 5.33’de Pu-Be nötron howitzer kaynağına ilişkin zayıflatma eğrileri karşılaştırılmalı olarak gösterilmektedir.



Şekil 5.33 : Volfram matrisli kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer kaynağı zayıflatma eğrileri.

5.2 321 Paslanmaz Çelik Üzerine Alümina Bor Karbür Kaplama Malzemeleri ile Yapılan Deneylerin Sonuçları

Cs-137 ve Co-60 gama kaynakları ve nötron kaynağı kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Bölüm 4 içinde tanıtilan 321 paslanmaz çelik ve 321 paslanmaz çelik üzerine Al₂O₃- % ağ. 10 B₄C, Al₂O₃- % ağ. 20 B₄C, Al₂O₃- % ağ. 30 B₄C kaplama malzemeleri ile yapılan deney sonuçları kullanılan radyasyon kaynaklarına göre aşağıdaki alt bölümlerde verilmektedir.

5.2.1 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemelerin gama kaynakları ile ulaşılan deney sonuçları

Gama transmisyon tekniği bağlamında gama kaynakları ile 321 paslanmaz çelik ve 321 paslanmaz çelik üzerine Al₂O₃- % ağ. 10 B₄C, Al₂O₃- % ağ. 20 B₄C, Al₂O₃- % ağ. 30 B₄C kaplama malzemelerine ilişkin olarak yapılan deneylerin sonuçları kullanılan gama radyoizotop kaynaklar için ayrı ayrı oluşturulmuştur. Deney sonuçları, tablolar ve ilgili grafikler bağlamında verilmektedir.

5.2.1.1 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemelerin Cs-137 gama kaynağı ile ulaşılan deney sonuçları

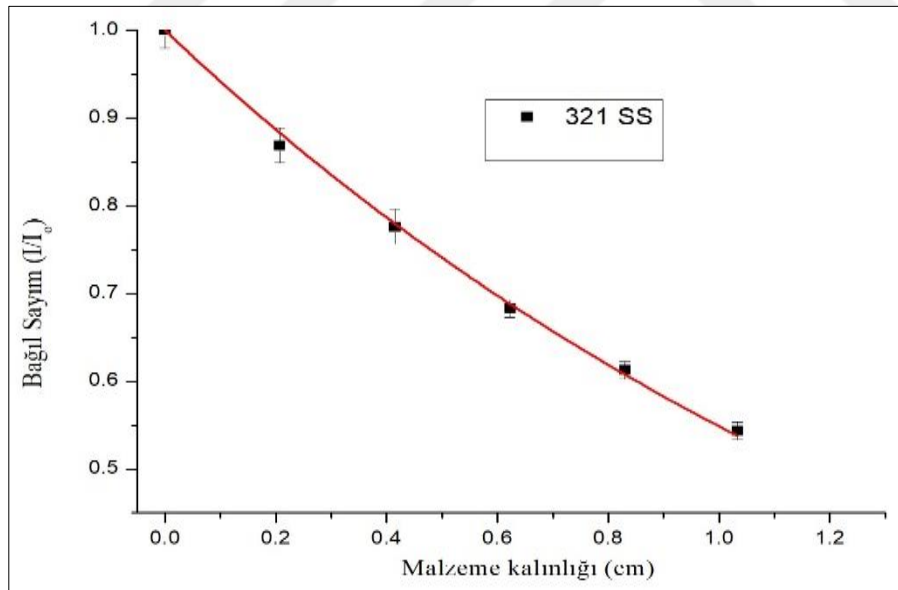
Cs-137 gama kaynağı karşısında 321 paslanmaz çelik ve 321 paslanmaz çelik üzerine Al₂O₃- % ağ. 10 B₄C, Al₂O₃- % ağ. 20 B₄C, Al₂O₃- % ağ. 30 B₄C kaplama malzemeler

İçin yapılan deneylerle ulaşılan deneysel sonuçlar kullanılarak bağıl sayım değerleri elde edilmiştir. 321 paslanmaz saf çelik malzemelerin Cs-137 gama kaynağı karşısında ulaşılan deneysel sonuçları çizelge 5.21’de verilmektedir.

Çizelge 5.21 : 321 paslanmaz çelik malzemelerin Cs-137 gama radyoizotopu kaynağı ile yapılan deney sonuçları.

Kalınlık (cm)	1.sayım	2.sayım	3.sayım	Ort. Sayım	Std. Sapma	Bağıl sayım
0	40251	40830	39450	40177	341	1
0,2074	34459	35212	35056	34909	330	0,8688
0,4152	31100	31466	30983	31183	311	0,7761
0,6229	27409	27335	27591	27445	335	0,6831
0,8307	24901	24750	24212	24621	285	0,6128
1,0335	21762	21895	21851	21836	279	0,5434

Şekil 5.34’de 321 paslanmaz çelik malzemelerinin Cs-137 gama radyoizotopuna ilişkin zayıflatma eğrisi verilmektedir.



Şekil 5.34 : 321 paslanmaz çelik malzemelerin Cs-137 gama radyasyonu zayıflatma eğrisi.

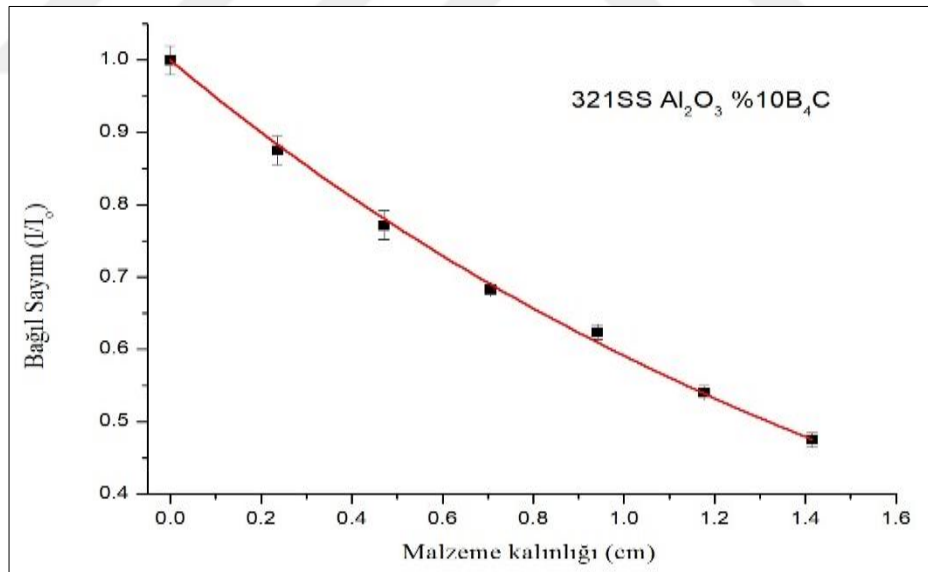
Cs-137 gama kaynağı karşısında 321 paslanmaz çelik üzerine Al₂O₃- % ağ. 10 B₄C, kaplama malzemeler için yapılan deneylerle ulaşılan deneysel sonuçlar kullanılarak bağıl sayım değerleri elde edilmiştir. 321 paslanmaz saf çelik üzerine Al₂O₃- % ağ. 10

B₄C malzemelerin Cs-137 gama kaynağı karşısında ulaşılan deneysel sonuçları çizelge 5.22’de verilmektedir.

Çizelge 5.22 : 321 paslanmaz çelik Al₂O₃- % ağ. 10 B₄C malzemelerin Cs-137 gama kaynağı ile yapılan deney sonuçları.

Kalınlık (cm)	1.sayım	2.sayım	3.sayım	Ort. Sayım	Std. Sapma	Bağlı sayım
0	40251	40830	39450	40177	341	1
0,2359	35005	35280	35180	35155	327	0,8750
0,4711	30954	31049	30997	31000	315	0,7715
0,7061	27301	27639	27380	27440	340	0,6829
0,9416	25014	25128	25098	25080	277	0,6242
1,1766	21421	21763	21895	21693	207	0,5399
1,4148	19047	19104	19101	19084	259	0,4749

Şekil 5.35’de 321 paslanmaz çelik Al₂O₃- % ağ. 10 B₄C malzemelerinin Cs-137 gama radyoizotopuna ilişkin zayıflatma eğrisi verilmektedir.



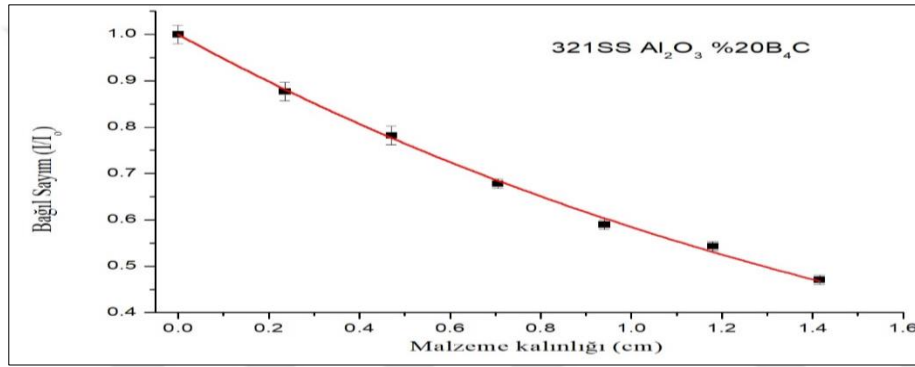
Şekil 5.35 : 321 paslanmaz çelik Al₂O₃- % ağ. 10 B₄C malzemelerin Cs-137 gama radyasyonu zayıflatma eğrisi.

Cs-137 gama kaynağı karşısında 321 paslanmaz çelik üzerine Al₂O₃- % ağ. 20 B₄C, kaplama malzemeler için yapılan deneylerle ulaşılan deneysel sonuçlar kullanılarak bağlı sayım değerleri elde edilmiştir. 321 paslanmaz saf çelik üzerine Al₂O₃- % ağ. 20 B₄C malzemelerin Cs-137 gama kaynağı karşısında ulaşılan deneysel sonuçları çizelge 5.23’de verilmektedir.

Çizelge 5.23 : 321 paslanmaz çelik Al₂O₃- % ağ. 20 B₄C malzemelerin Cs-137 gama kaynağı ile yapılan deney sonuçları.

Kalınlık (cm)	1.sayım	2.sayım	3.sayım	Ort. Sayım	Std. Sapma	Bağlı sayım
0	40251	40830	39450	40177	341	1
0,2355	35298	35011	35387	35232	239	0,8769
0,4707	31358	31650	31276	31428	312	0,7822
0,7057	27218	27404	27113	27245	303	0,6781
0,9407	23654	23780	23657	23697	294	0,5898
1,1802	21760	21854	21855	21823	272	0,5431
1,4153	18904	18925	18922	18917	266	0,4708

Şekil 5.36’da 321 paslanmaz çelik Al₂O₃- % ağ. 20 B₄C malzemelerinin Cs-137 gama radyoizotopuna ilişkin zayıflatma eğrisi verilmektedir.



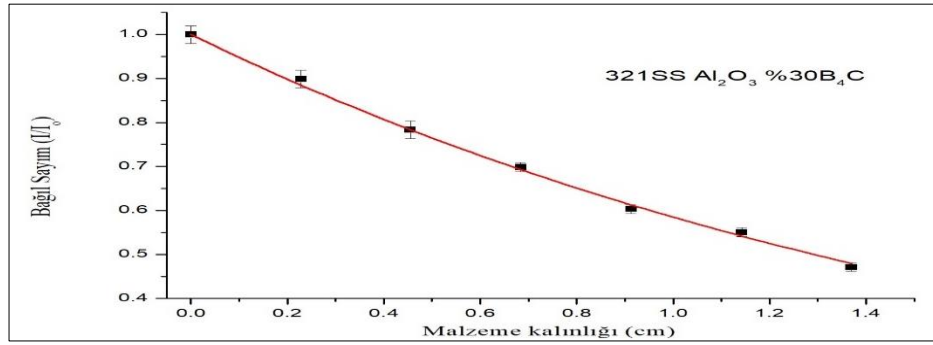
Şekil 5.36 : 321 paslanmaz çelik Al₂O₃- % ağ. 20 B₄C malzemelerin Cs-137 gama radyasyonu zayıflatma eğrisi.

Cs-137 gama kaynağı karşısında 321 paslanmaz çelik üzerine Al₂O₃- % ağ. 30 B₄C, kaplama malzemeler için yapılan deneylerle ulaşılan deneysel sonuçlar kullanılarak bağlı sayım değerleri elde edilmiştir. 321 paslanmaz saf çelik üzerine Al₂O₃- % ağ. 30 B₄C malzemelerin Cs-137 gama kaynağı karşısında ulaşılan deneysel sonuçları çizelge 5.24’de verilmektedir.

Çizelge 5.24 : 321 paslanmaz çelik Al₂O₃- % ağ. 30 B₄C malzemelerin Cs-137 gama kaynağı ile yapılan deney sonuçları.

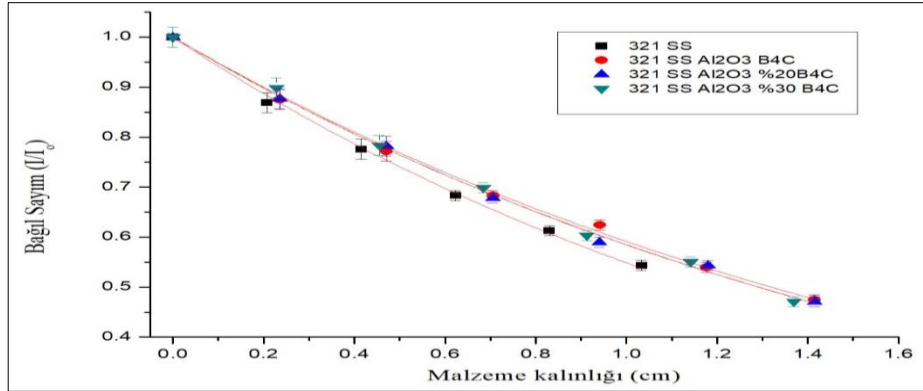
Kalınlık (cm)	1.sayım	2.sayım	3.sayım	Ort. Sayım	Std. Sapma	Bağlı sayım
0	36095	36102	36070	36089	363	1
0,2285	32158	32480	32640	32426	262	0,8985
0,4550	28277	28429	28107	28271	346	0,7833
0,6841	25222	25171	25258	25217	319	0,6987
0,9126	21779	21648	21886	21771	324	0,6032
1,1421	19792	19899	19913	19868	364	0,5505
1,3697	17058	17108	16855	17007	364	0,4712

Şekil 5.37’de 321 paslanmaz çelik Al₂O₃- % ağ. 30 B₄C malzemelerinin Cs-137 gama radyoizotopuna ilişkin zayıflatma eğrisi verilmektedir.



Şekil 5.37 : 321 paslanmaz çelik Al₂O₃- % ağ. 30 B₄C malzemelerin Cs-137 gama radyasyonu zayıflatma eğrisi.

Cs-137 gama kaynağı karşısında 321 paslanmaz çelik ve 321 paslanmaz çelik üzerine Al₂O₃- % ağ. 10 B₄C, Al₂O₃- % ağ. 20 B₄C, Al₂O₃- % ağ. 30 B₄C kaplama malzemeler için yapılan deneylerle ulaşılan deneysel sonuçlar kullanılarak bağlı sayım değerleri elde edilmiştir. Bu bağlamda 321 paslanmaz saf çelik ve 321 paslanmaz çelik üzerine farklı kütlece yüzdeler ile üretilen alümina bor karbür malzemelerin Cs-137 gama kaynağı karşısında ulaşılan karşılaştırılmalı gama radyasyon zayıflatma eğrisi şekil 5.38’de gösterilmektedir.



Şekil 5.38 : 321 paslanmaz çelik ve alümina bor karbür malzemelerin Cs-137 gama radyasyonu zayıflatma eğrisi.

5.2.1.2 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemelerin Co-60 gama kaynağı ile ulaşılan deney sonuçları

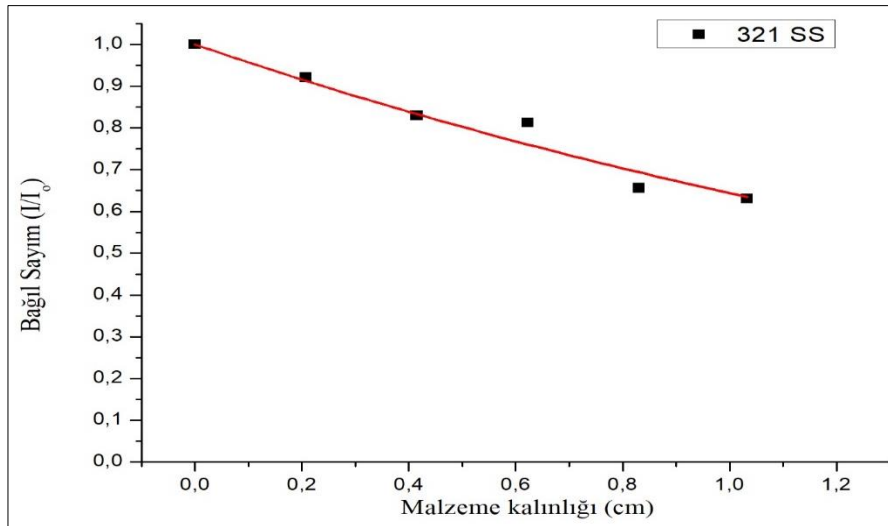
Co-60 gama kaynağı karşısında 321 paslanmaz çelik ve 321 paslanmaz çelik üzerine Al₂O₃- % ağ. 10 B₄C, Al₂O₃- % ağ. 20 B₄C, Al₂O₃- % ağ. 30 B₄C kaplama malzemeler için yapılan deneylerle ulaşılan deneysel sonuçlar kullanılarak bağlı sayım değerleri

elde edilmiştir. 321 paslanmaz saf çelik malzemelerin Co-60 gama kaynağı karşısında ulaşılan deneysel sonuçları çizelge 5.25’de verilmektedir (Demir, 2017).

Çizelge 5.25 : 321 paslanmaz çelik malzemelerin Co-60 gama radyoizotopu kaynağı ile yapılan deney sonuçları.

Kalınlık (cm)	1.sayım	2.sayım	3.sayım	Ort. Sayım	Std. Sapma	Bağlı sayım
0	11205	11249	11257	11237	652	1
0,2074	10241	10433	10381	10352	620	0,9212
0,4152	9203	9596	9156	9318	617	0,8292
0,6229	8953	9199	9223	9125	565	0,8120
0,8307	7472	7573	7072	7372	592	0,6560
1,0335	7083	7102	7071	7085	531	0,6305

Şekil 5.39’da 321 paslanmaz çelik malzemelerinin Co-60 gama radyoizotopuna ilişkin zayıflatma eğrisi verilmektedir.



Şekil 5.39 : 321 paslanmaz çelik malzemelerin Co-60 gama radyasyonu zayıflatma eğrisi.

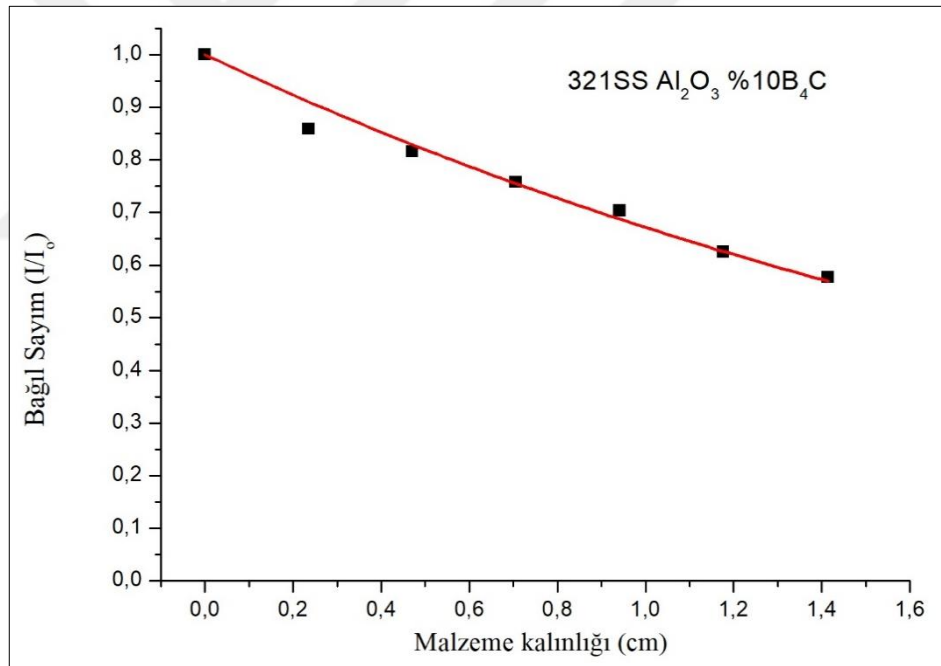
Co-60 gama kaynağı karşısında 321 paslanmaz çelik üzerine Al₂O₃- % ağ. 10 B₄C kaplama malzemeler için yapılan deneylerle ulaşılan deneysel sonuçlar kullanılarak bağlı sayım değerleri elde edilmiştir. 321 paslanmaz saf çelik üzerine Al₂O₃- % ağ. 10

B₄C malzemelerin Co-60 gama kaynağı karşısında ulaşılan deneysel sonuçları çizelge 5.26’da verilmektedir.

Çizelge 5.26 : 321 paslanmaz çelik Al₂O₃- % ağı. 10 B₄C malzemelerin Co-60 gama kaynağı ile yapılan deney sonuçları.

Kalınlık (cm)	1.sayım	2.sayım	3.sayım	Ort. Sayım	Std. Sapma	Bağlı sayım
0	11178	11152	11151	11160	668	1
0,2359	9295	9956	9497	9583	656	0,8586
0,4711	8754	9300	9252	9102	618	0,8155
0,7061	8849	7831	8677	8452	583	0,7573
0,9416	7705	8217	7627	7850	573	0,7033
1,1766	7033	7198	6701	6977	546	0,6251
1,4148	6561	6344	6408	6438	509	0,5768

Şekil 5.40’da 321 paslanmaz çelik Al₂O₃- % ağı. 10 B₄C malzemelerinin Co-60 gama radyoizotopuna ilişkin zayıflatma eğrisi verilmektedir.



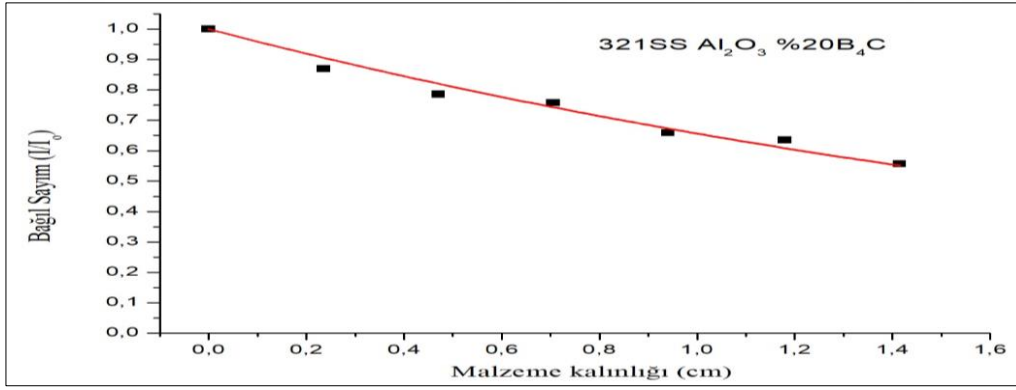
Şekil 5.40 : 321 paslanmaz çelik Al₂O₃- % ağı. 10 B₄C malzemelerin Co-60 gama radyasyonu zayıflatma eğrisi.

Co-60 gama kaynağı karşısında 321 paslanmaz çelik üzerine Al₂O₃- % ağı. 20 B₄C kaplama malzemeler için yapılan deneylerle ulaşılan deneysel sonuçlar kullanılarak bağlı sayım değerleri elde edilmiştir. 321 paslanmaz saf çelik üzerine Al₂O₃- % ağı. 20 B₄C malzemelerin Co-60 gama kaynağı karşısında ulaşılan deneysel sonuçları çizelge 5.27’de verilmektedir.

Çizelge 5.27 : 321 paslanmaz çelik Al₂O₃- % ağ. 20 B₄C malzemelerin Co-60 gama kaynağı ile yapılan deney sonuçları.

Kalınlık (cm)	1.sayım	2.sayım	3.sayım	Ort. Sayım	Std. Sapma	Bağıl sayım
0	12091	12450	12169	12237	625	1
0,2355	1001	11280	10641	10641	630	0,8695
0,4707	9587	9622	9613	9607	611	0,7851
0,7057	9301	9155	9355	9270	548	0,7575
0,9407	8088	8086	7996	8057	554	0,6583
1,1802	7780	7725	7814	7773	520	0,6352
1,4153	7014	6682	6733	6810	533	0,5565

Şekil 5.41’de 321 paslanmaz çelik Al₂O₃- % ağ. 20 B₄C malzemelerinin Co-60 gama radyoizotopuna ilişkin zayıflatma eğrisi verilmektedir.



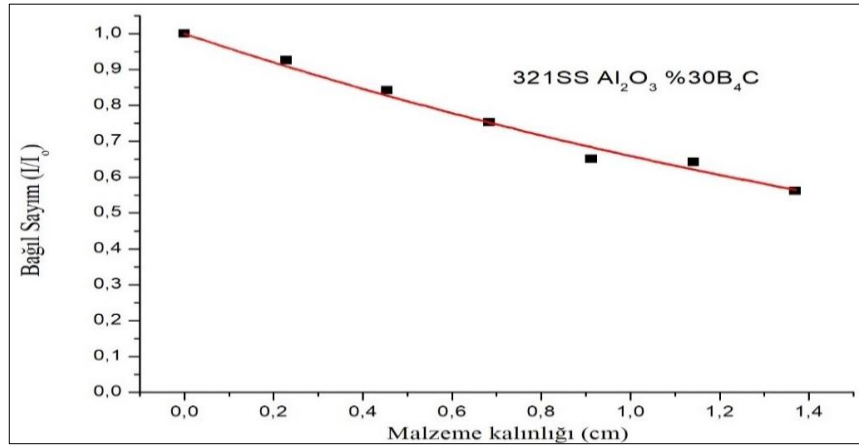
Şekil 5.41 : 321 paslanmaz çelik Al₂O₃- % ağ. 20 B₄C malzemelerin Co-60 gama radyasyonu zayıflatma eğrisi.

Co-60 gama kaynağı karşısında 321 paslanmaz çelik üzerine Al₂O₃- % ağ. 30 B₄C kaplama malzemeler için yapılan deneylerle ulaşılan deneysel sonuçlar kullanılarak bağıl sayım değerleri elde edilmiştir. 321 paslanmaz saf çelik üzerine Al₂O₃- % ağ. 30 B₄C malzemelerin Co-60 gama kaynağı karşısında ulaşılan deneysel sonuçları çizelge 5.28’de verilmektedir.

Çizelge 5.28 : 321 paslanmaz çelik Al₂O₃- % ağ. 30 B₄C malzemelerin Co-60 gama kaynağı ile yapılan deney sonuçları.

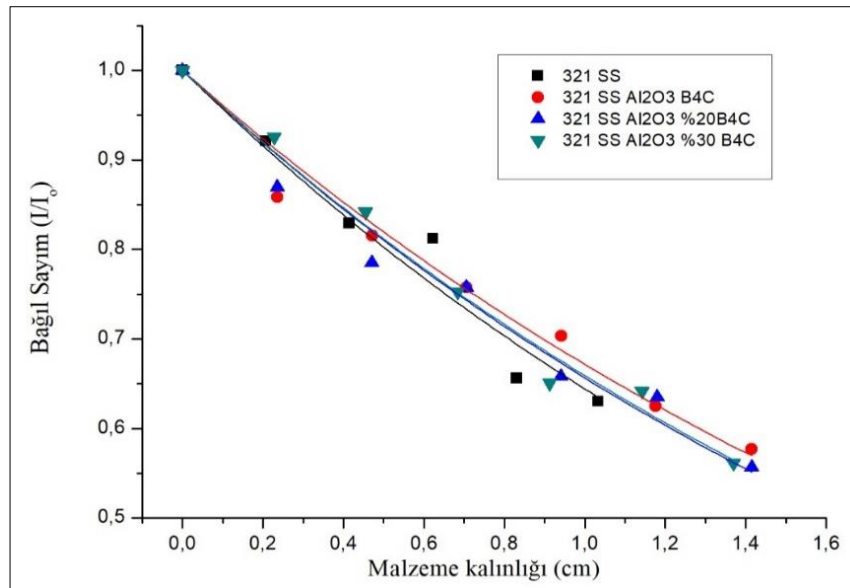
Kalınlık (cm)	1.sayım	2.sayım	3.sayım	Ort. Sayım	Std. Sapma	Bağıl sayım
0	11338	11213	11060	11204	654	1
0,2285	10471	10259	10383	10371	621	0,9256
0,4550	9588	9317	9385	9430	618	0,8417
0,6841	8288	8339	8663	8430	577	0,7524
0,9126	7273	7328	7266	7289	567	0,6506
1,1421	7112	7199	7254	7188	546	0,6416
1,3697	6355	6159	6342	6285	506	0,5610

Şekil 5.42’de 321 paslanmaz çelik Al_2O_3 - % ağ. 30 B_4C malzemelerinin Co-60 gama radyoizotopuna ilişkin zayıflatma eğrisi verilmektedir.



Şekil 5.42 : 321 paslanmaz çelik Al_2O_3 - % ağ. 30 B_4C malzemelerin Co-60 gama radyasyonu zayıflatma eğrisi.

Co-60 gama kaynağı karşısında 321 paslanmaz çelik ve 321 paslanmaz çelik üzerine Al_2O_3 - % ağ. 10 B_4C , Al_2O_3 - % ağ. 20 B_4C , Al_2O_3 - % ağ. 30 B_4C kaplama malzemeler için yapılan deneylerle ulaşılan deneysel sonuçlar kullanılarak bağıl sayım değerleri elde edilmiştir. Bu bağlamda 321 paslanmaz saf çelik ve 321 paslanmaz çelik üzerine farklı kütlece yüzdeler ile üretilen alümina bor karbür malzemelerin Co-60 gama kaynağı karşısında ulaşılan karşılaştırılmalı gama radyasyon zayıflatma eğrisi şekil 5.43’de gösterilmektedir.



Şekil 5.43 : 321 paslanmaz çelik ve alümina bor karbür malzemelerin Co-60 gama radyasyonu zayıflatma eğrisi.

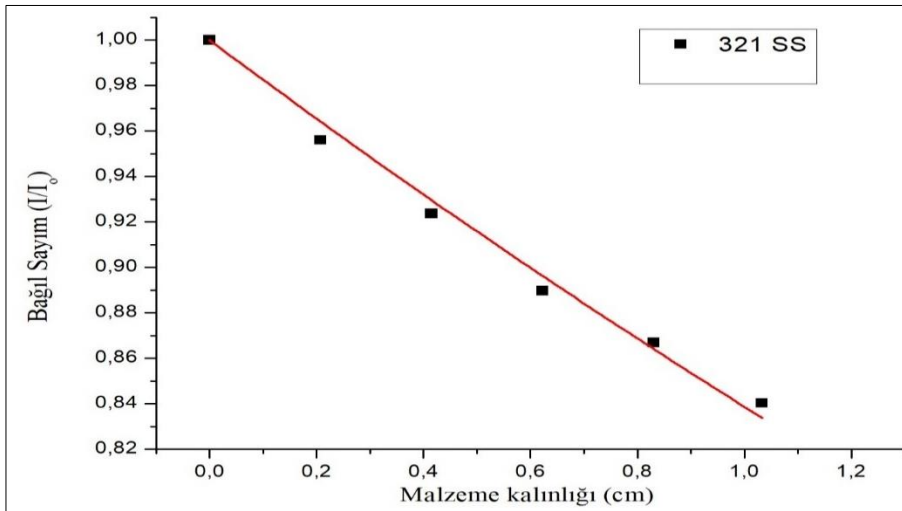
5.2.2 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemelerin Pu-Be nötron kaynağı ile ulaşılan deney sonuçları

Pu-Be nötron howitzer kaynağı karşısında 321 paslanmaz çelik ve 321 paslanmaz çelik üzerine Al_2O_3 - % ağı. 10 B_4C , Al_2O_3 - % ağı. 20 B_4C , Al_2O_3 - % ağı. 30 B_4C kaplama malzemeler için yapılan deneylerle ulaşılan deneysel sonuçlar kullanılarak bağıl sayım değerleri elde edilmiştir. 321 paslanmaz saf çelik malzemelerin Pu-Be nötron howitzer kaynağı karşısında ulaşılan deneysel sonuçları çizelge 5.29’da verilmektedir.

Çizelge 5.29 : 321 paslanmaz çelik malzemelerin Pu-Be nötron howitzer kaynağı ile yapılan deney sonuçları.

Kalınlık (cm)	1.sayım	2.sayım	3.sayım	Ort. Sayım	Std. Sapma	Bağıl sayım
0	36690	36600	36114	36468	364	1
0,2074	34890	34860	34839	34863	348	0,9559
0,4152	33720	33840	33489	33683	336	0,9236
0,6229	32070	32460	32793	32441	324	0,8895
0,8307	31770	31740	31323	31611	316	0,8668
1,0335	30660	30780	30495	30645	306	0,8403

Şekil 5.44’de 321 paslanmaz çelik malzemelerinin Pu-Be nötron howitzer kaynağına ilişkin zayıflatma eğrisi verilmektedir.



Şekil 5.44 : 321 paslanmaz çelik malzemelerin Pu-Be nötron howitzer kaynağı zayıflatma eğrisi.

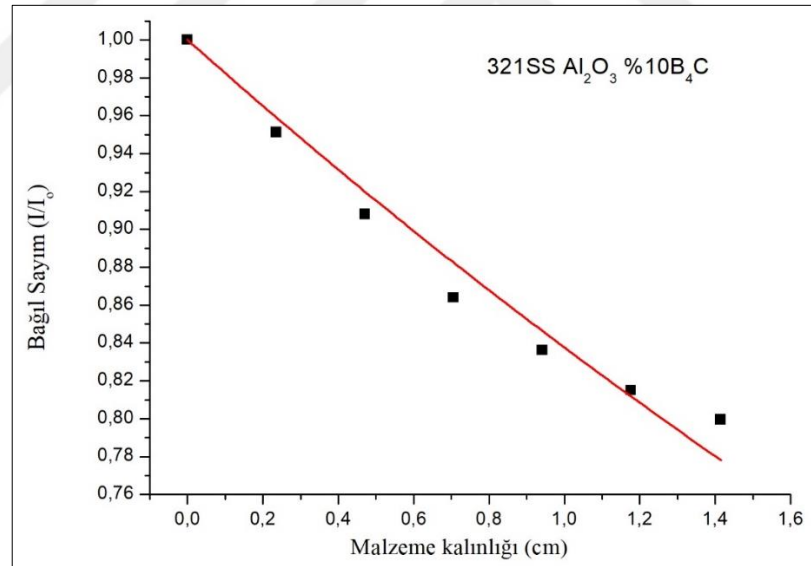
Pu-Be nötron howitzer kaynağı karşısında 321 paslanmaz çelik üzerine Al_2O_3 - % ağı. 10 B_4C kaplama malzemeler için yapılan deneylerle ulaşılan deneysel sonuçlar kullanılarak bağıl sayım değerleri elde edilmiştir. 321 paslanmaz saf çelik üzerine

Al_2O_3 - % ağ. 10 B_4C malzemelerin Pu-Be nötron howitzer kaynağı karşısında ulaşılan deneysel sonuçları izelge 5.30’da verilmektedir.

Çizelge 5.30 : 321 paslanmaz elik Al_2O_3 - % ağ. 10 B_4C kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer kaynağı ile yapılan deney sonuçları.

Kalınlık (cm)	1.sayım	2.sayım	3.sayım	Ort. Sayım	Std. Sapma	Bağıl sayım
0	36360	36420	36570	36450	364	1
0,2359	34050	35040	34923	34671	346	0,9512
0,4711	33030	32940	33312	33094	330	0,9079
0,7061	31440	31530	31503	31491	314	0,8639
0,9416	30510	30450	30480	30480	304	0,8362
1,1766	29841	29412	29874	29709	297	0,8150
1,4148	29106	29148	29178	29144	291	0,7995

şekil 5.45’de 321 paslanmaz elik Al_2O_3 - % ağ. 10 B_4C kaplama malzemelerinin Pu-Be nötron howitzer kaynağına ilişkin zayıflatma eğrisi verilmektedir.



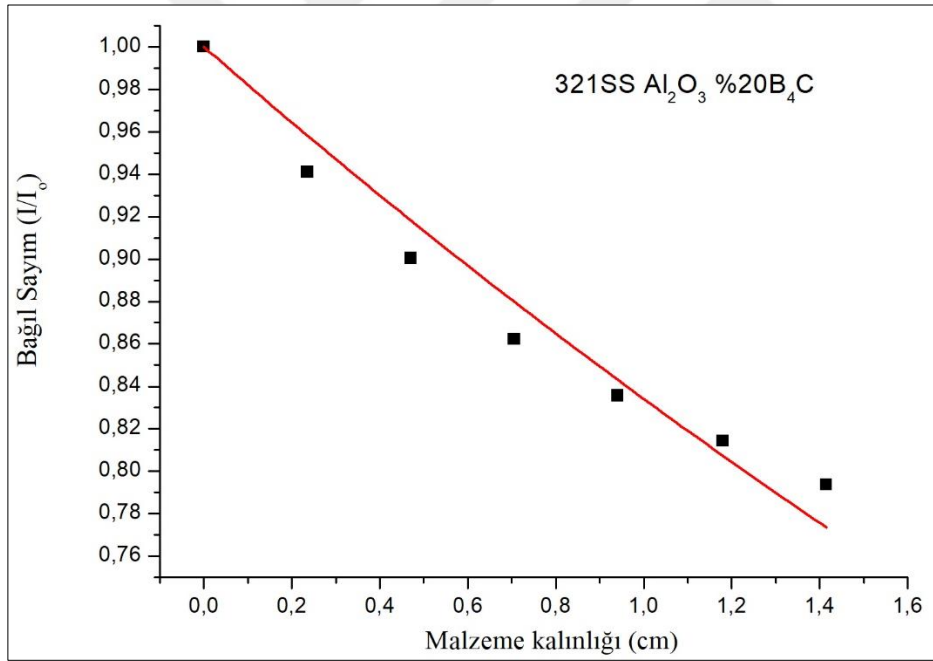
şekil 5.45 : 321 paslanmaz elik Al_2O_3 - % ağ. 10 B_4C malzemelerin Pu-Be nötron howitzer kaynağı zayıflatma eğrisi.

Pu-Be nötron howitzer kaynağı karşısında 321 paslanmaz elik zerine Al_2O_3 - % ağ. 20 B_4C kaplama malzemeler için yapılan deneylerle ulaşılan deneysel sonuçlar kullanılarak bağıl sayım değerleri elde edilmiştir. 321 paslanmaz saf elik zerine Al_2O_3 - % ağ. 20 B_4C malzemelerin Pu-Be nötron howitzer kaynağı karşısında ulaşılan deneysel sonuçları izelge 5.31’da verilmektedir.

Çizelge 5.31 : 321 paslanmaz çelik Al₂O₃- % ağı. 20 B₄C kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer kaynağı ile yapılan deney sonuçları.

Kalınlık (cm)	1.sayım	2.sayım	3.sayım	Ort. Sayım	Std. Sapma	Bağıl sayım
0	37350	37260	36864	37158	371	1
0,2355	34710	34770	35403	34961	349	0,9408
0,4707	33210	33660	33498	33456	334	0,9003
0,7057	32430	32100	31590	32040	320	0,8622
0,9407	30990	31050	31101	31047	310	0,8355
1,1802	30390	30300	30072	30254	302	0,8141
1,4153	29562	29604	29301	29489	294	0,7936

Şekil 5.46’da 321 paslanmaz çelik Al₂O₃- % ağı. 20 B₄C kaplama malzemelerinin Pu-Be nötron howitzer kaynağına ilişkin zayıflatma eğrisi verilmektedir.



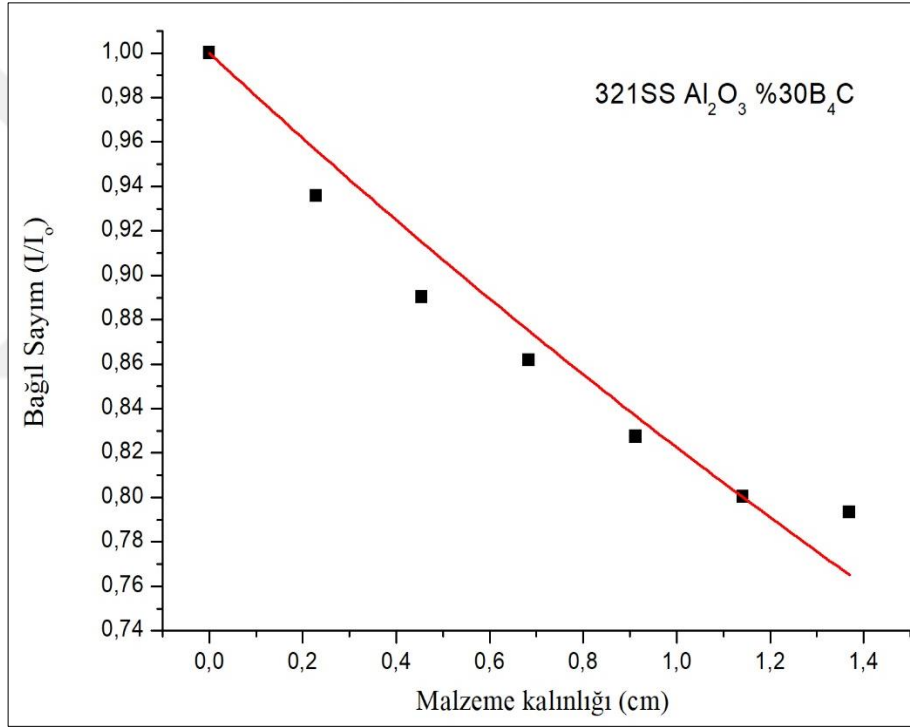
Şekil 5.46 : 321 paslanmaz çelik Al₂O₃- % ağı. 20 B₄C malzemelerin Pu-Be nötron howitzer kaynağı zayıflatma eğrisi.

Pu-Be nötron howitzer kaynağı karşısında 321 paslanmaz çelik üzerine Al₂O₃- % ağı. 30 B₄C kaplama malzemeler için yapılan deneylerle ulaşılan deneysel sonuçlar kullanılarak bağıl sayım değerleri elde edilmiştir. 321 paslanmaz saf çelik üzerine Al₂O₃ %30 B₄C malzemelerin Pu-Be nötron howitzer kaynağı karşısında ulaşılan deneysel sonuçları çizelge 5.32’de verilmektedir.

Çizelge 5.32 : 321 paslanmaz çelik Al₂O₃- % ağ. 30 B₄C kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer kaynağı ile yapılan deney sonuçları.

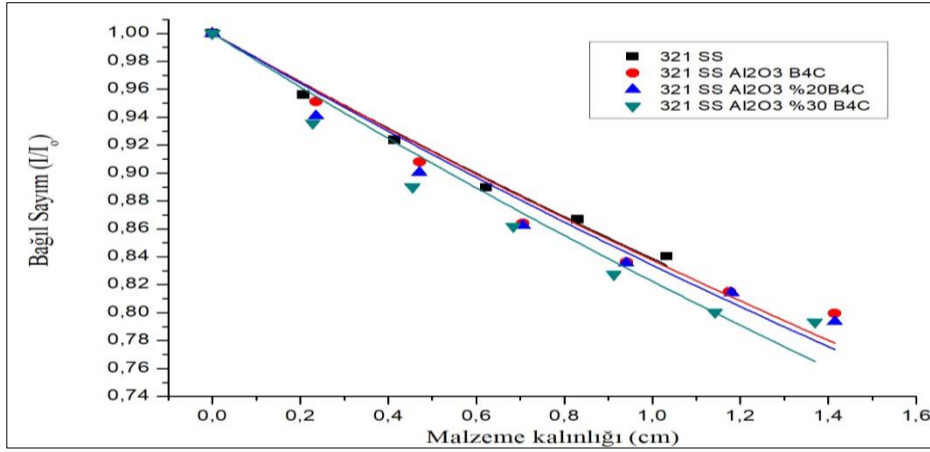
Kalınlık (cm)	1.sayım	2.sayım	3.sayım	Ort. Sayım	Std. Sapma	Bağlı sayım
0	37350	37260	36864	37158	371	1
0,2285	34560	34710	35040	34770	347	0,9357
0,4550	32970	33240	33006	33072	330	0,8900
0,6841	31950	32010	32106	32022	320	0,8617
0,9126	30660	30780	30783	30741	307	0,8273
1,1421	29850	29520	29847	29739	297	0,8003
1,3697	29313	29295	29820	29476	294	0,7932

Şekil 5.47’de 321 paslanmaz çelik Al₂O₃- % ağ. 30 B₄C kaplama malzemelerinin Pu-Be nötron howitzer kaynağına ilişkin zayıflatma eğrisi verilmektedir.



Şekil 5.47 : 321 paslanmaz çelik Al₂O₃- % ağ. 30 B₄C malzemelerin Pu-Be nötron howitzer kaynağı zayıflatma eğrisi.

Pu-Be nötron howitzer kaynağı karşısında 321 paslanmaz çelik ve 321 paslanmaz çelik üzerine Al₂O₃- % ağ. 10 B₄C, Al₂O₃- % ağ. 20 B₄C, Al₂O₃- % ağ. 30 B₄C kaplama malzemeler için yapılan deneylerle ulaşılan deneysel sonuçlar kullanılarak bağlı sayım değerleri elde edilmiştir. Bu bağlamda 321 paslanmaz saf çelik ve 321 paslanmaz çelik üzerine farklı kütlece yüzdeler ile üretilen alümina bor karbür malzemelerin Pu-Be nötron howitzer kaynağı karşısında ulaşılan karşılaştırılmalı zayıflatma eğrileri şekil 5.48’de gösterilmektedir.



Şekil 5.48 : 321 paslanmaz çelik ve alümina bor karbür malzemelerin Pu-Be nötron howitzer kaynağı zayıflatma eğrileri.

5.3 321 Paslanmaz Çelik Üzerine Volfram Temelli Kaplama Malzemeleri ile Yapılan Deneylerin Sonuçları

Cs-137 ve Co-60 gama kaynakları ve nötron kaynağı kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Bölüm 4 içinde tanıtılan 321 paslanmaz çelik ve 321 paslanmaz çelik üzerine volfram, volfram bakır, ve volfram bor karbür kaplama malzemeleri ile yapılan deney sonuçları kullanılan radyasyon kaynaklarına göre aşağıdaki alt bölümlerde verilmektedir.

5.3.1 321 paslanmaz çelik üzerine volfram temelli kaplama malzemelerin gama kaynakları ile ulaşılan deney sonuçları

Gama transmisyon tekniği bağlamında gama kaynakları ile 321 paslanmaz çelik üzerine Volfram, Volfram bakır ve Volfram bor karbür kaplama malzemelerine ilişkin olarak yapılan deneylerin sonuçları kullanılan gama radyoizotop kaynaklar için ayrı ayrı oluşturulmuştur. Deney sonuçları, tablolar ve ilgili grafikler bağlamında verilmektedir.

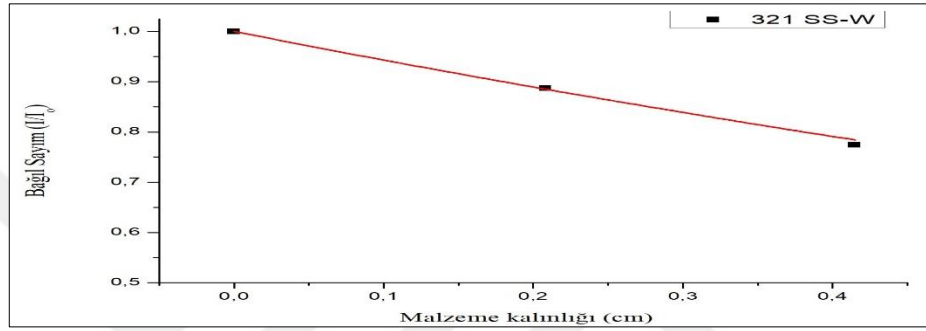
5.3.1.1 321 paslanmaz çelik üzerine volfram temelli kaplama malzemelerin Cs-137 gama kaynağı ile ulaşılan deney sonuçları

Cs-137 gama kaynağı karşısında 321 paslanmaz çelik üzerine volfram, volfram bakır ve volfram bor karbür kaplama malzemeler için yapılan deneylerle ulaşılan deneysel sonuçlar kullanılarak bağlı sayım değerleri elde edilmiştir. 321 paslanmaz saf çelik üzerine volfram kaplama malzemelerin Cs-137 gama kaynağı karşısında ulaşılan deneysel sonuçları çizelge 5.33'de verilmektedir.

Çizelge 5.33 : 321 paslanmaz çelik üzerine volfram kaplama malzemelerin Cs-137 gama kaynağı ile yapılan deney sonuçları.

Kalınlık (cm)	1.sayım	2.sayım	3.sayım	Ort. sayım	Std. Sapma	Bağlı sayım
0	5755	5723	5739	5739	57	1
0,2081	5089	5101	5083	5091	50	0,8870
0,4147	4325	4664	4340	4443	44	0,7741

Şekil 5.49’da 321 paslanmaz çelik üzerine volfram kaplama malzemelerinin Cs-137 gama radyoizotopuna ilişkin zayıflatma eğrisi verilmektedir.



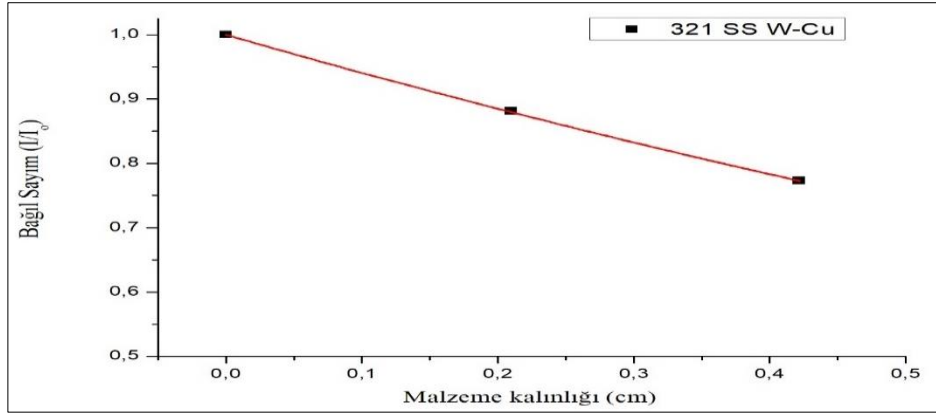
Şekil 5.49 : 321 paslanmaz çelik volfram kaplama malzemelerin Cs-137 gama radyasyonu zayıflatma eğrisi.

Cs-137 gama kaynağı karşısında 321 paslanmaz çelik üzerine volfram bakır kaplama malzemeler için yapılan deneylerle ulaşılan deneysel sonuçlar kullanılarak bağlı sayım değerleri elde edilmiştir. 321 paslanmaz saf çelik üzerine volfram bakır kaplama malzemelerin Cs-137 gama kaynağı karşısında ulaşılan deneysel sonuçları çizelge 5.34’de verilmektedir.

Çizelge 5.34 : 321 paslanmaz çelik üzerine volfram bakır kaplama malzemelerin Cs-137 gama kaynağı ile yapılan deney sonuçları.

Kalınlık (cm)	1.sayım	2.sayım	3.sayım	Ort. sayım	Std. Sapma	Bağlı sayım
0	5755	5723	5739	5739	57	1
0,2097	5064	5051	5059	5058	50	0,8813
0,4217	4425	4440	4449	4438	44	0,7733

Şekil 5.50’de 321 paslanmaz çelik üzerine volfram bakır kaplama malzemelerinin Cs-137 gama radyoizotopuna ilişkin zayıflatma eğrisi verilmektedir.



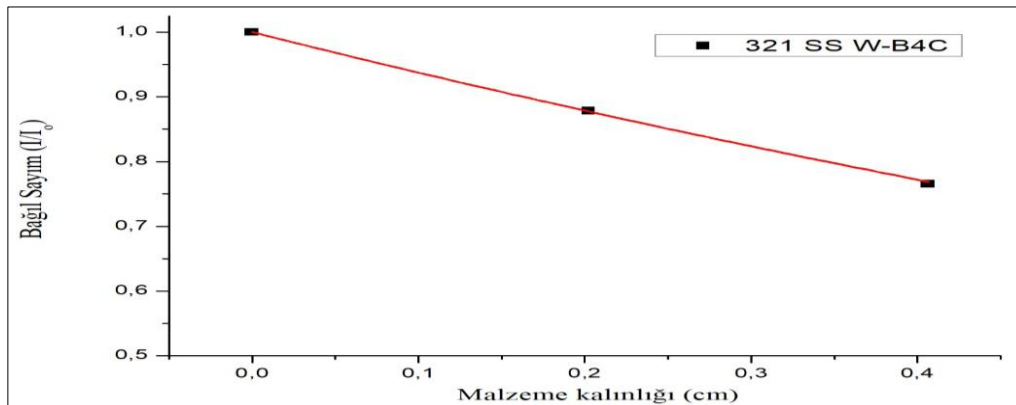
Şekil 5.50 : 321 paslanmaz çelik volfram bakır kaplama malzemelerin Cs-137 gama radyasyonu zayıflatma eğrisi.

Cs-137 gama kaynağı karşısında 321 paslanmaz çelik üzerine volfram bor karbür kaplama malzemeler için yapılan deneylerle ulaşılan deneysel sonuçlar kullanılarak bağıl sayım değerleri elde edilmiştir. 321 paslanmaz saf çelik üzerine volfram bor karbür kaplama malzemelerin Cs-137 gama kaynağı karşısında ulaşılan deneysel sonuçları çizelge 5.35’de verilmektedir.

Çizelge 5.35 : 321 paslanmaz çelik üzerine volfram bor karbür kaplama malzemelerin Cs-137 gama kaynağı ile yapılan deney sonuçları.

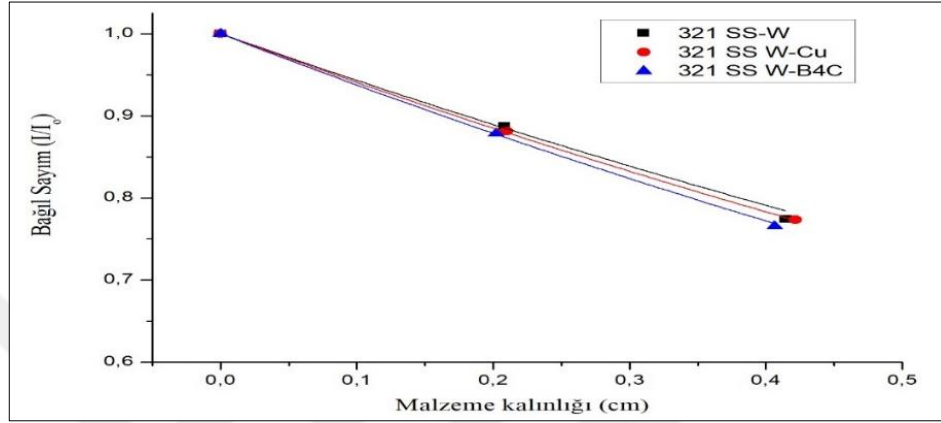
Kalınlık (cm)	1.sayım	2.sayım	3.sayım	Ort. sayım	Std. Sapma	Bağıl sayım
0	5755	5723	5739	5739	57	1
0,2022	5038	5049	5039	5042	50	0,8785
0,4064	4387	4405	4387	4393	43	0,7654

Şekil 5.51’de 321 paslanmaz çelik üzerine Volfram bor karbür kaplama malzemelerinin Cs-137 gama radyoizotopuna ilişkin zayıflatma eğrisi verilmektedir.



Şekil 5.51 : 321 paslanmaz çelik volfram bor karbür kaplama malzemelerin Cs-137 gama radyasyonu zayıflatma eğrisi.

Cs-137 gama kaynağı karşısında 321 paslanmaz çelik üzerine volfram, volfram bakır ve volfram bor karbür kaplama malzemeler için yapılan deneylerle ulaşılan deneysel sonuçlar kullanılarak bağıl sayım değerleri elde edilmiştir. Bu bağlamda 321 paslanmaz çelik üzerine volfram, volfram bakır ve volfram bor karbür malzemelerin Cs-137 gama kaynağı karşısında ulaşılan karşılaştırılmalı gama radyasyon zayıflatma eğrisi şekil 5.52’de gösterilmektedir.



Şekil 5.52 : 321 paslanmaz çelik üzerine volfram temelli kaplama malzemelerin Cs-137 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri.

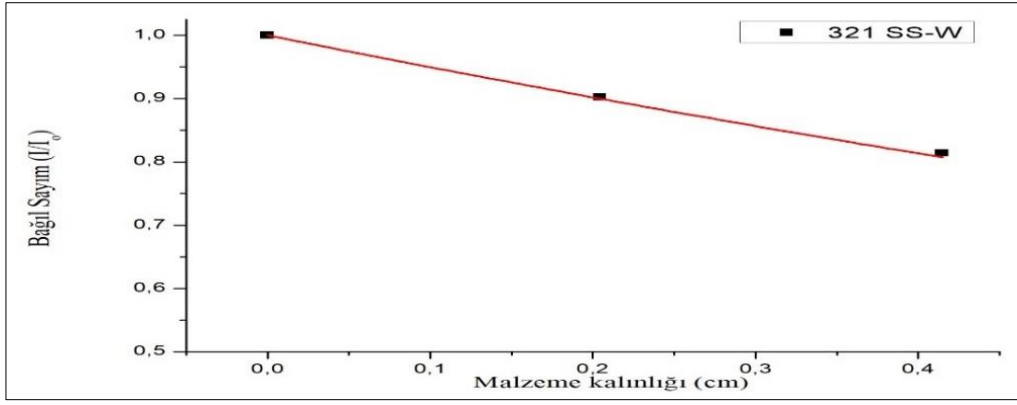
5.3.1.2 321 paslanmaz çelik üzerine volfram temelli kaplama malzemelerin Co-60 gama kaynağı ile ulaşılan deney sonuçları

Co-60 gama kaynağı karşısında 321 paslanmaz çelik üzerine volfram, volfram bakır ve volfram bor karbür kaplama malzemeler için yapılan deneylerle ulaşılan deneysel sonuçlar kullanılarak bağıl sayım değerleri elde edilmiştir. Bu bağlamda 321 paslanmaz saf çelik üzerine volfram kaplama malzemelerin Co-60 gama kaynağı karşısında ulaşılan deneysel sonuçları çizelge 5.36’da verilmektedir.

Çizelge 5.36 : 321 paslanmaz çelik üzerine volfram kaplama malzemelerin Co-60 gama kaynağı ile yapılan deney sonuçları.

Kalınlık (cm)	1.sayım	2.sayım	3.sayım	Ort. sayım	Std. Sapma	Bağıl sayım
0	21702	21509	21841	21684	67	1
0,2044	19561	19569	19580	19570	61	0,9025
0,4147	18352	18355	18340	18349	64	0,8462

Şekil 5.53’de 321 paslanmaz çelik üzerine volfram kaplama malzemelerinin Co-60 gama radyoizotopuna ilişkin zayıflatma eğrisi verilmektedir.



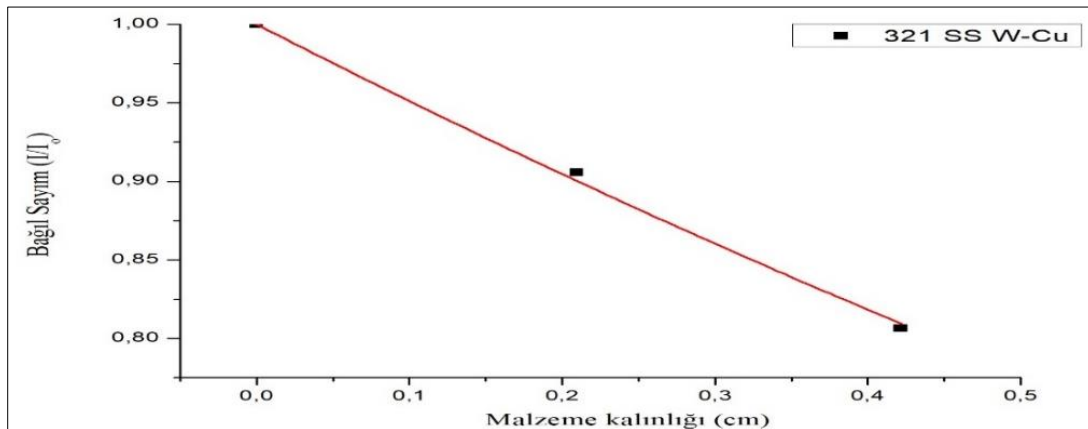
Şekil 5.53 : 321 paslanmaz çelik volfram bakır kaplama malzemelerin Co-60 gama radyasyonu zayıflatma eğrisi.

Co-60 gama kaynağı karşısında 321 paslanmaz çelik üzerine volfram bakır kaplama malzemeler için yapılan deneylerle ulaşılan deneysel sonuçlar kullanılarak bağıl sayım değerleri elde edilmiştir. 321 paslanmaz saf çelik üzerine volfram bakır kaplama malzemelerin Co-60 gama kaynağı karşısında ulaşılan deneysel sonuçları çizelge 5.37’de verilmektedir.

Çizelge 5.37 : 321 paslanmaz çelik üzerine volfram bakır kaplama malzemelerin Co-60 gama kaynağı ile yapılan deney sonuçları.

Kalınlık (cm)	1.sayım	2.sayım	3.sayım	Ort. sayım	Std. Sapma	Bağıl sayım
0	21702	21509	21841	21684	67	1
0,2096	19651	19632	19634	19639	61	0,9056
0,4217	18142	18092	18069	18101	54	0,8347

Şekil 5.54’de 321 paslanmaz çelik üzerine volfram bakır kaplama malzemelerinin Co-60 gama radyoizotopuna ilişkin zayıflatma eğrisi verilmektedir.



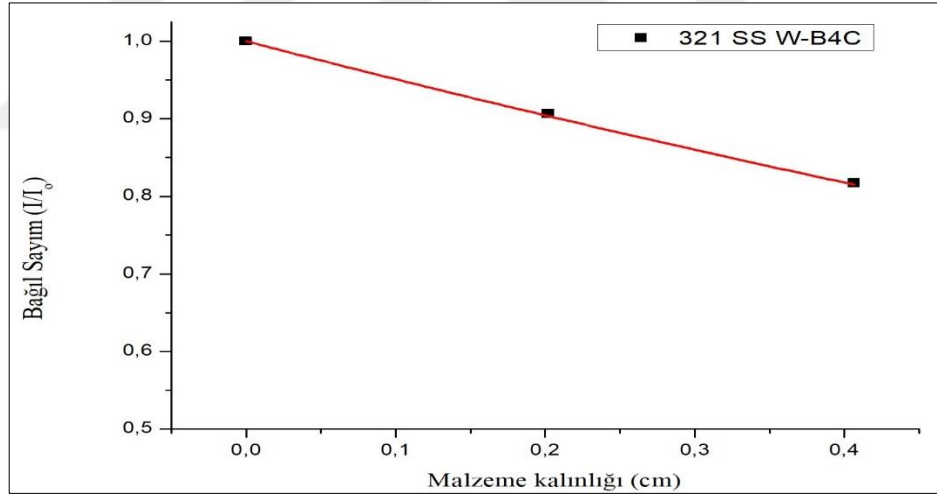
Şekil 5.54 : 321 paslanmaz çelik volfram bakır kaplama malzemelerin Co-60 gama radyasyonu zayıflatma eğrisi.

Co-60 gama kaynağı karşısında 321 paslanmaz çelik üzerine volfram bor karbür kaplama malzemeler için yapılan deneylerle ulaşılan deneysel sonuçlar kullanılarak bağıl sayım değerleri elde edilmiştir. 321 paslanmaz saf çelik üzerine volfram bor karbür kaplama malzemelerin Co-60 gama kaynağı karşısında ulaşılan deneysel sonuçları çizelge 5.38’de verilmektedir.

Çizelge 5.38 : 321 paslanmaz çelik üzerine volfram bor karbür kaplama malzemelerin Co-60 gama kaynağı ile yapılan deney sonuçları.

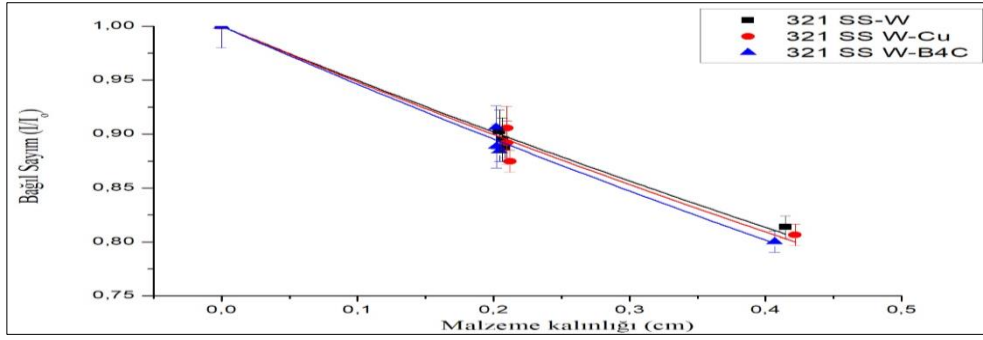
Kalınlık (cm)	1.sayım	2.sayım	3.sayım	Ort. sayım	Std. Sapma	Bağıl sayım
0	25245	25310	25246	25267	67	1
0,2020	22910	22888	22893	22897	61	0,9062
0,4066	21199	21229	21226	21218	52	0,8397

Şekil 5.55’de 321 paslanmaz çelik üzerine volfram bor karbür kaplama malzemelerinin Co-60 gama radyoizotopuna ilişkin zayıflatma eğrisi verilmektedir.



Şekil 5.55 : 321 paslanmaz çelik volfram bor karbür kaplama malzemelerin Co-60 gama radyasyonu zayıflatma eğrisi.

Co-60 gama kaynağı karşısında 321 paslanmaz çelik üzerine volfram, volfram bakır ve volfram bor karbür kaplama malzemeler için yapılan deneylerle ulaşılan deneysel sonuçlar kullanılarak bağıl sayım değerleri elde edilmiştir. Bu bağlamda 321 paslanmaz çelik üzerine volfram, volfram bakır ve volfram bor karbür malzemelerin Co-60 gama kaynağı karşısında ulaşılan karşılaştırılmalı gama radyasyon zayıflatma eğrisi şekil 5.56’de gösterilmektedir.



Şekil 5.56 : 321 paslanmaz çelik üzerine volfram temelli kaplama malzemelerin Co-60 gama radyasyonu zayıflatma eğrileri.

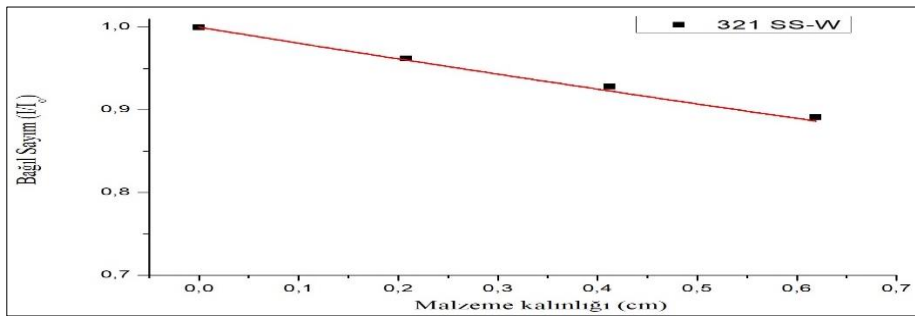
5.3.2 321 paslanmaz çelik üzerine volfram temelli kaplama malzemesinin Pu-Be nötron kaynağı ile ulaşılan deney sonuçları

Pu-Be nötron howitzer kaynağı karşısında 321 paslanmaz çelik üzerine volfram, volfram bakır ve volfram bor karbür kaplama malzemeler için yapılan deneylerle ulaşılan deneysel sonuçlar kullanılarak bağıl sayım değerleri elde edilmiştir. 321 paslanmaz saf çelik üzerine volfram kaplama malzemelerin Pu-Be nötron howitzer kaynağı karşısında ulaşılan deneysel sonuçları çizelge 5.39’da verilmektedir.

Çizelge 5.39 : 321 paslanmaz çelik üzerine volfram kaplama malzemelerin Pu-Be nötron howitzer kaynağı ile yapılan deney sonuçları.

Kalınlık (cm)	1.sayım	2.sayım	3.sayım	Ort. sayım	Std. Sapma	Bağıl sayım
0	6890	6911	6873	6891	68	1
0,2081	6629	6633	6627	6630	66	0,9620
0,4125	6391	6399	6401	6397	63	0,9282
0,6191	6141	6139	6144	6141	61	0,8911

Şekil 5.57’de 321 paslanmaz çelik üzerine volfram kaplama malzemelerinin Pu-Be nötron howitzer kaynağına ilişkin zayıflatma eğrisi verilmektedir.



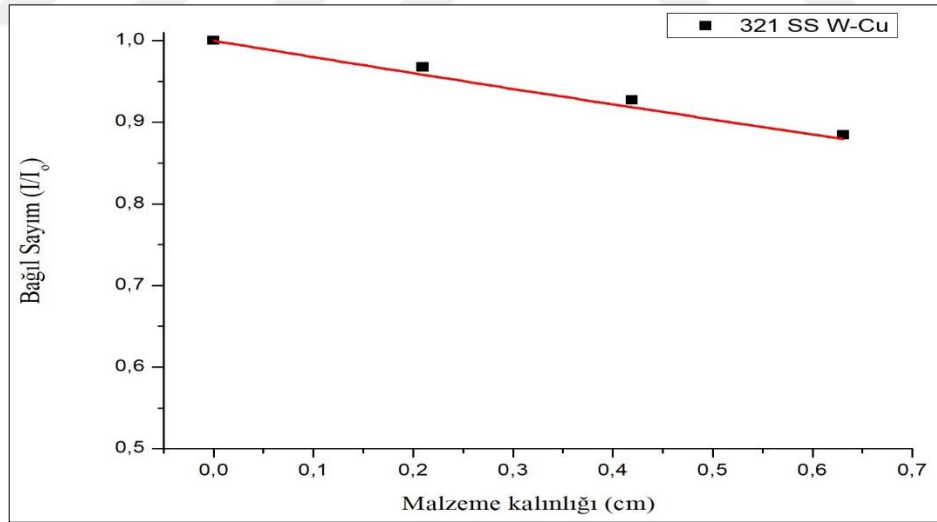
Şekil 5.57 : 321 paslanmaz çelik volfram kaplama malzemelerinin Pu-Be nötron howitzer kaynağı zayıflatma eğrisi.

Pu-Be nötron howitzer kaynağı karşısında 321 paslanmaz çelik üzerine volfram bakır kaplama malzemeler için yapılan deneylerle ulaşılan deneysel sonuçlar kullanılarak bağıl sayım değerleri elde edilmiştir. 321 paslanmaz saf çelik üzerine volfram bakır kaplama malzemelerin Pu-Be nötron howitzer kaynağı karşısında ulaşılan deneysel sonuçları çizelge 5.40'da verilmektedir.

Çizelge 5.40 : 321 paslanmaz çelik üzerine volfram bakır kaplama malzemelerin Pu-Be nötron howitzer kaynağı ile yapılan deney sonuçları.

Kalınlık (cm)	1.sayım	2.sayım	3.sayım	Ort. sayım	Std. Sapma	Bağıl sayım
0	6890	6911	6873	6891	68	1
0,2097	6661	6666	6674	6667	66	0,9674
0,4193	6392	6380	6394	6389	63	0,9270
0,6313	6091	6099	6093	6094	60	0,8843

Şekil 5.58'de 321 paslanmaz çelik üzerine volfram bakır kaplama malzemelerinin Pu-Be nötron howitzer kaynağına ilişkin zayıflatma eğrisi verilmektedir.



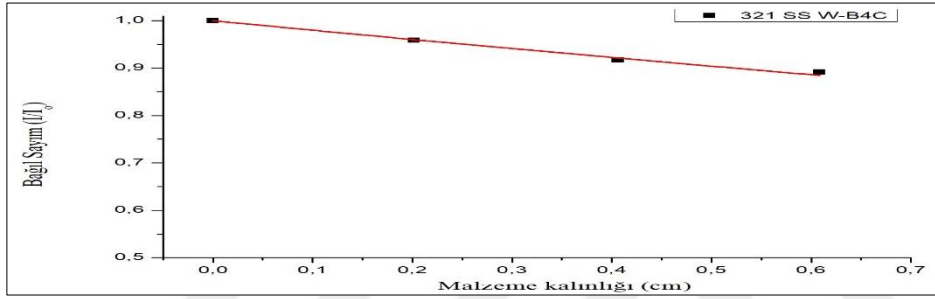
Şekil 5.58 : 321 paslanmaz çelik volfram bakır kaplama malzemelerinin Pu-Be nötron howitzer kaynağı zayıflatma eğrisi.

Pu-Be nötron howitzer kaynağı karşısında 321 paslanmaz çelik üzerine volfram bor karbür kaplama malzemeler için yapılan deneylerle ulaşılan deneysel sonuçlar kullanılarak bağıl sayım değerleri elde edilmiştir. 321 paslanmaz saf çelik üzerine volfram bor karbür kaplama malzemelerin Pu-Be nötron howitzer kaynağı karşısında ulaşılan deneysel sonuçları çizelge 5.41'da verilmektedir.

Çizelge 5.41 : 321 paslanmaz çelik üzerine volfram bor karbür kaplama malzemelerin Pu-Be nötron howitzer kaynağı ile yapılan deney sonuçları.

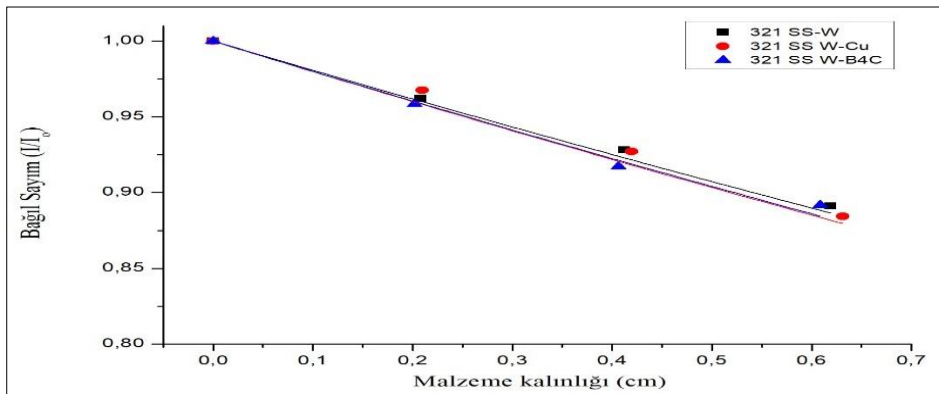
Kalınlık (cm)	1.sayım	2.sayım	3.sayım	Ort. sayım	Std. Sapma	Bağlı sayım
0	6890	6911	6873	6891	68	1
0,2020	6601	6603	6612	6605	66	0,9584
0,4064	6311	6319	6331	6320	63	0,9171
0,6086	6140	6157	6139	6145	61	0,8917

Şekil 5.59’da 321 paslanmaz çelik üzerine volfram bor karbür kaplama malzemelerinin Pu-Be nötron howitzer kaynağına ilişkin zayıflatma eğrisi verilmektedir.



Şekil 5.59 : 321 paslanmaz çelik volfram bor karbür kaplama malzemelerinin Pu-Be nötron howitzer kaynağı zayıflatma eğrisi.

Pu-Be nötron howitzer kaynağı karşısında 321 paslanmaz çelik üzerine volfram, volfram bakır ve volfram bor karbür kaplama malzemeler için yapılan deneylerle ulaşılan deneysel sonuçlar kullanılarak bağlı sayım değerleri elde edilmiştir. Bu bağlamda 321 paslanmaz çelik üzerine volfram, volfram bakır ve volfram bor karbür malzemelerin Pu-Be nötron howitzer kaynağı karşısında ulaşılan karşılaştırılmalı Pu-Be nötron radyasyon zayıflatma eğrisi şekil 5.60’de gösterilmektedir.



Şekil 5.60 : 321 paslanmaz çelik üzerine volfram temelli kaplama malzemelerinin Pu-Be nötron howitzer kaynağı zayıflatma eğrileri.

5.4 Çalışılan Malzemelerin Lineer Zayıflatma Katsayılarının Hesaplanması

Bölüm 4.1’de tanıtılan çalışılan malzemeler kapsamında Cs-137 ve Co-60 gama radyoizotop kaynakları ve Pu-Be nötron howitzer kaynağı için deneysel olarak zayıflatma eğrileri (Bölüm 5 içinde ayrı alt bölümler halinde - yukarıda) çizilmiştir. Buradan hareketle söz konusu kompozit malzemelerin lineer zayıflatma katsayıları Origin 8 pro programı ile hesaplanmış ve elde edilen değerler çizelge 5.42’de verilmiştir.

Çizelge 5.42 : Deneysel çalışılan tüm kompozit malzemelerin Cs-137, Co-60 ve Pu-Be kaynakları için lineer zayıflatma katsayıları.

Malzeme	Cs-137		Co-60		Pu-Be	
	Lineer Zayıflatma Katsayısı (cm ⁻¹)	Std. Hata	Lineer Zayıflatma Katsayısı (cm ⁻¹)	Std. Hata	Lineer Zayıflatma Katsayısı (cm ⁻¹)	Std. Hata
6V	1,408	0,025	0,844	0,020	0,051	0,001
12V	1,382	0,021	0,835	0,019		
24V	1,371	0,024	0,825	0,021		
6VT	1,363	0,021	0,789	0,010	0,066	0,003
12VT	1,359	0,023	0,781	0,016		
24VT	1,342	0,016	0,777	0,015		
W-B ₄ C-TiC	1,077	0,053	0,642	0,014	0,175	0,020
WC-Co	1,405	0,034	0,900	0,036	0,438	0,020
321 SS	0,600	0,008	0,439	0,027	0,175	0,004
321SS Al ₂ O ₃ %10 B ₄ C	0,525	0,006	0,397	0,015	0,177	0,007
321SS Al ₂ O ₃ %20 B ₄ C	0,536	0,006	0,420	0,017	0,181	0,008
321SS Al ₂ O ₃ %30 B ₄ C	0,536	0,007	0,416	0,013	0,195	0,010
321SS W	0,585	0,017	0,516	0,014	0,194	0,015
321SS W-Cu	0,610	0,025	0,529	0,024	0,203	0,011
321SS W-B ₄ C	0,646	0,017	0,552	0,017	0,201	0,011

5.5 Çalışılan Malzemelerin Cs-137, Co-60 ve Pu-Be Radyasyonuna ait Olarak Ortalama Serbest Yol Değerlerinin Deneysel Sonuçlara Bağlı Olarak Tayini

Bu bölümde, deneysel çalışmalarımızda kullanılan malzemelerin Cs-137, Co-60 ve Pu-Be nötron kaynağı kullanılarak yapılan deneylerden elde edilen lineer zayıflatma

tesir kesiti ve makroskopik tesir kesit değerleri kullanılarak bölüm 2.6.3’de ifade edilen, denklem 2.17’den hareketle ortalama serbest yol değerleri hesaplanmıştır.

5.5.1 Volfram matrisli kompozit malzemelerde Cs-137, Co-60 ve Pu-Be radyasyon kaynaklarının ortalama aldıkları serbest yolların karşılaştırılmalı sonuçları

Bölüm 4’de Volfram matrisli kompozit malzemeler başlığı adı altında tanıtılan;

- W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C
- W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C
- W- % ağ. 6 B₄C- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C
- WC- % ağ. 6 Co

Volfram matrisli kompozit malzemelerin Cs-137, Co-60 ve Pu-Be nötron kaynağı kullanılarak yapılan deneylerden hareketle ortalama serbest yol değerleri hesaplanmıştır.

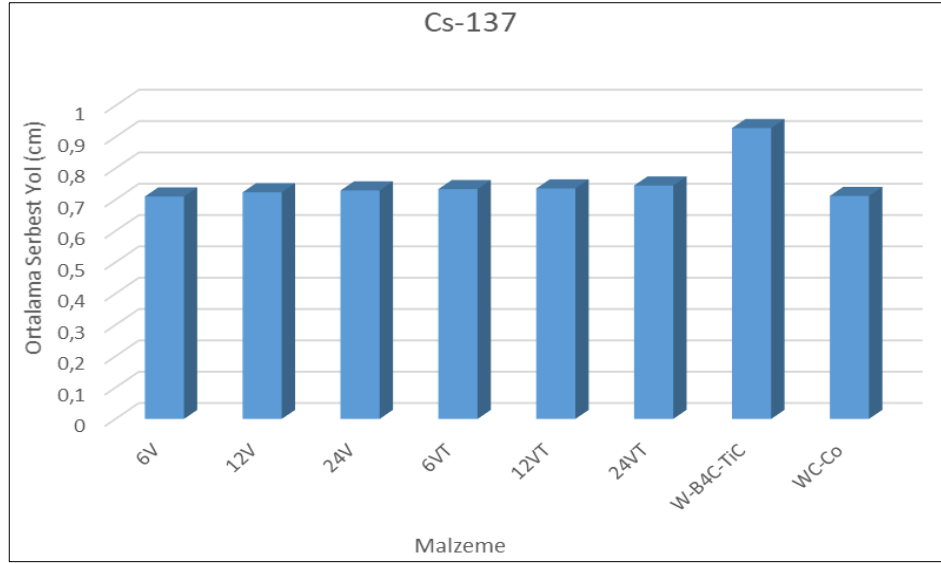
5.5.1.1 Volfram matrisli kompozit malzemelerin Cs-137 gama kaynağı kullanılarak ulaşılan ortalama serbest yol değerlerinin karşılaştırılmalı sonuçları

Bölüm 5.5.1’de ifade edilen bilgiler ışığında volfram matrisli kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotopu ile ulaşılan sonuçları izelge 5.43’de sunulmaktadır.

Çizelge 5.43 : Volfram matrisli kompozit malzemelerin Cs-137 gama kaynağına ilişkin ortalama serbest yol değerleri.

Malzeme	Ortalama Serbest Yol (cm)	Std. Sapma
6V	0,710	0,025
12V	0,723	0,021
24V	0,729	0,024
6VT	0,733	0,021
12VT	0,735	0,023
24VT	0,745	0,016
W-B ₄ C-TiC	0,928	0,053
WC-Co	0,711	0,034

Volfram matrisli kompozit malzemelerin Cs-137 gama kaynağı ile yapılan deneyler neticesinde ulaşılan sonuçlar kullanılarak Volfram matrisli kompozit malzemelerin şekil 5.61’de ortalama serbest yol değerleri karşılaştırılmalı olarak gösterilmektedir.



Şekil 5.61 : Volfram matrisli kompozit malzemelerin Cs-137 gama kaynağına ilişkin ortalama serbest yol grafikleri.

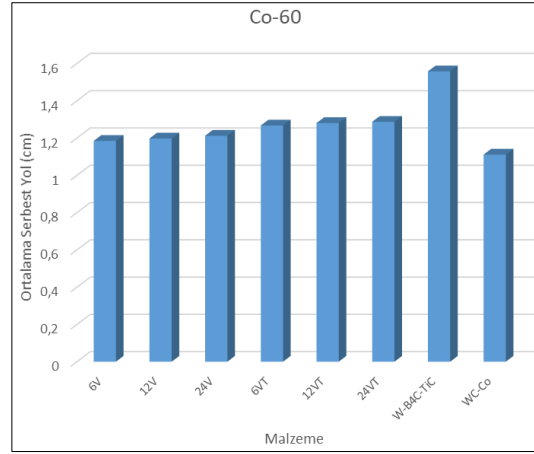
5.5.1.2 Volfram matrisli kompozit malzemelerin Co-60 gama kaynağı kullanılarak ulaşılan ortalama serbest yol değerlerinin karşılaştırmalı sonuçları

Volfram matrisli kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotopu ile ulaşılan ortalama serbest yol sonuçları çizelge 5.44’de sunulmaktadır.

Çizelge 5.44 : Volfram matrisli kompozit malzemelerin Co-60 gama kaynağına ilişkin ortalama serbest yol değerleri.

Malzeme	Ortalama Serbest Yol (cm)	Std. Sapma
6V	1,184	0,002
12V	1,197	0,019
24V	1,212	0,021
6VT	1,267	0,010
12VT	1,280	0,016
24VT	1,287	0,015
W-B4C-TiC	1,557	0,014
WC-Co	1,111	0,036

Volfram matrisli kompozit malzemelerin Co-60 gama kaynağı ile yapılan deneyler neticesinde ulaşılan sonuçlar kullanılarak volfram matrisli kompozit malzemelerin şekil 5.62’de ortalama serbest yol değerleri karşılaştırılmalı olarak gösterilmektedir.



Şekil 5.62 : Volfram matrisli kompozit malzemelerin Co-60 gama kaynağına ilişkin ortalama serbest yol grafikleri.

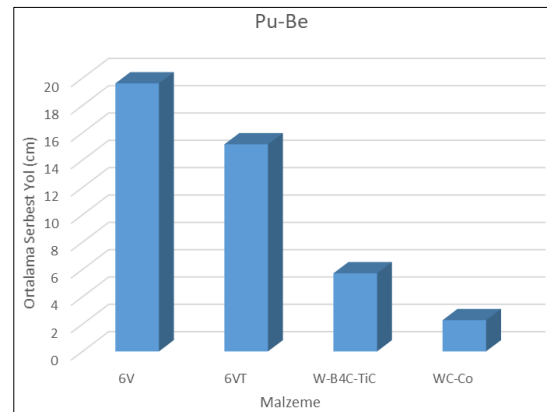
5.5.1.3 Volfram matrisli kompozit malzemelerin Pu-Be nötron kaynağı kullanılarak ulaşılan ortalama serbest yol değerlerinin karşılaştırmalı sonuçları

Volfram matrisli kompozit malzemelerin Pu-Be nötron kaynağı ile ulaşılan ortalama serbest yol sonuçları çizelge 5.45’de sunulmaktadır.

Çizelge 5.45 : Volfram matrisli kompozit malzemelerin Pu-Be nötron kaynağına ilişkin ortalama serbest yol değerleri.

Malzeme	Ortalama Serbest Yol (cm)	Std. Sapma
6V	19,607	0,001
6VT	15,151	0,003
W-B4C-TiC	5,714	0,020
WC-Co	2,283	0,020

Volfram matrisli kompozit malzemelerin Pu-Be nötron kaynağı ile yapılan deneyler neticesinde ulaşılan sonuçlar kullanılarak volfram matrisli kompozit malzemelerin şekil 5.63’de ortalama serbest yol değerleri karşılaştırılmalı olarak gösterilmektedir.



Şekil 5.63 : Volfram matrisli kompozit malzemelerin Pu-Be nötron kaynağına ilişkin ortalama serbest yol grafikleri.

5.5.2 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemelerde Cs-137, Co-60 ve Pu-Be radyasyon kaynaklarının ortalama aldıkları serbest yolların karşılaştırmalı sonuçları

Bölüm 4.1.2’de 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemeler başlığı adı altında tanıtilen;

- 321 paslanmaz saf çelik
- 321 paslanmaz çelik üzerine Al₂O₃- % ağı. 10 B₄C
- 321 paslanmaz çelik üzerine Al₂O₃- % ağı. 20 B₄C
- 321 paslanmaz çelik üzerine Al₂O₃- % ağı. 30 B₄C

321 paslanmaz çelik malzemelerin Cs-137, Co-60 ve Pu-Be nötron kaynağı kullanılarak yapılan deneylerden hareketle ortalama serbest yol değerleri hesaplanmıştır.

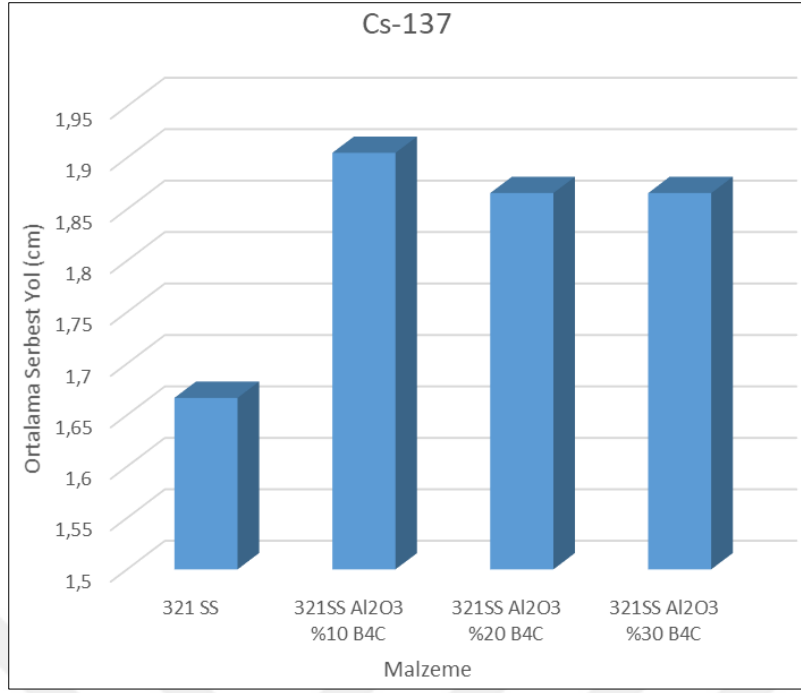
5.5.2.1 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemelerde Cs-137 gama kaynağı kullanılarak ulaşılan ortalama serbest yol değerlerinin karşılaştırmalı sonuçları

321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemelerin Cs-137 gama radyoizotopu ile ulaşılan ortalama serbest yol sonuçları çizelge 5.46’da sunulmaktadır.

Çizelge 5.46 : 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemenin Cs-137 gama kaynağına ilişkin ortalama serbest yol değerleri.

Malzeme	Ortalama Serbest Yol (cm)	Std. Sapma
321 SS	1,666	0,008
321 SS Al ₂ O ₃ - % ağı. 10 B ₄ C	1,904	0,006
321 SS Al ₂ O ₃ - % ağı. 20 B ₄ C	1,865	0,006
321 SS Al ₂ O ₃ - % ağı. 30 B ₄ C	1,865	0,007

321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemelerin Cs-137 gama kaynağı ile yapılan deneyler neticesinde ulaşılan ortalama serbest yol değerleri şekil 5.64’de karşılaştırılmalı olarak gösterilmektedir.



Şekil 5.64 : 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemelerin Cs-137 gama kaynağına ilişkin ortalama serbest yol grafikleri.

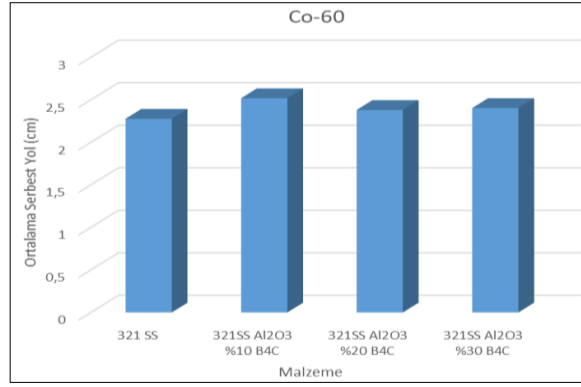
5.5.2.2 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemelerde Co-60 gama kaynağı kullanılarak ulaşılan ortalama serbest yol değerlerinin karşılaştırmalı sonuçları

321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemelerin Co-60 gama radyoizotopu ile ulaşılan ortalama serbest yol sonuçları çizelge 5.47’de sunulmaktadır.

Çizelge 5.47 : 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemelerin Co-60 gama kaynağına ilişkin ortalama serbest yol değerleri.

Malzeme	Ortalama Serbest Yol (cm)	Std. Sapma
321 SS	2,277	0,027
321 SS Al ₂ O ₃ - % ağ. 10 B ₄ C	2,518	0,015
321 SS Al ₂ O ₃ - % ağ. 20 B ₄ C	2,380	0,017
321 SS Al ₂ O ₃ - % ağ. 30 B ₄ C	2,403	0,013

321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemelerin Co-60 gama kaynağı ile yapılan deneyler neticesinde ulaşılan ortalama serbest yol değerleri şekil 5.65’de karşılaştırılmalı olarak gösterilmektedir.



Şekil 5.65 : 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemelerin Co-60 gama kaynağına ilişkin ortalama serbest yol grafikleri

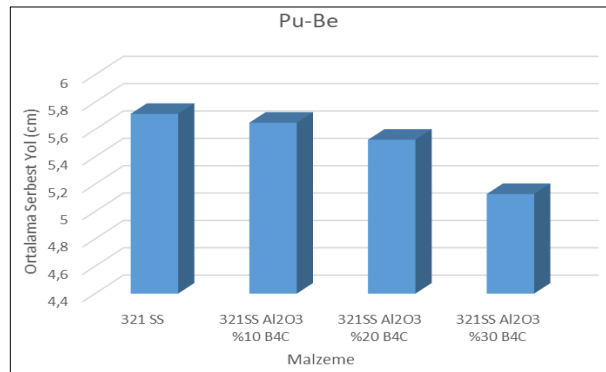
5.5.2.3 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemelerin Pu-Be nötron kaynağı kullanılarak ulaşılan ortalama serbest yol değerlerinin karşılaştırmalı sonuçları

321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemelerin Pu-Be nötron kaynağı kullanılarak ulaşılan ortalama serbest yol sonuçları çizilge 5.48’de sunulmaktadır.

Çizelge 5.48 : 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemelerin Pu-Be nötron kaynağına ilişkin ortalama serbest yol değerleri.

Malzeme	Ortalama Serbest Yol (cm)	Std. Sapma
321 SS	5,714	0,004
321 SS Al ₂ O ₃ - % ağ. 10 B ₄ C	5,649	0,007
321 SS Al ₂ O ₃ - % ağ. 20 B ₄ C	5,524	0,008
321 SS Al ₂ O ₃ - % ağ. 30 B ₄ C	5,128	0,010

321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemelerin Pu-Be nötron kaynağı ile yapılan deneyler neticesinde ulaşılan ortalama serbest yol değerleri şekil 5.66’da karşılaştırılmalı olarak gösterilmektedir.



Şekil 5.66 : 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemelerin Pu-Be nötron kaynağına ilişkin ortalama serbest yol grafikleri.

5.5.3 321 paslanmaz çelik üzerine volfram temelli kaplama malzemelerde Cs-137, Co-60 ve Pu-Be radyasyon kaynaklarının ortalama aldıkları serbest yolların karşılaştırmalı sonuçları

Bölüm 4.1.3’de 321 paslanmaz çelik üzerine Volfram esaslı kaplama malzemeleri başlığı adı altında tanıtılan;

- Volfram (W) kaplamaları
- Volfram bakır (W-Cu) kaplamaları
- Volfram bor karbür (W-B₄C) kaplamaları

321 paslanmaz çelik malzemelerin Cs-137, Co-60 ve Pu-Be nötron kaynağı kullanılarak yapılan deneylerden hareketle ortalama serbest yol değerleri hesaplanmıştır.

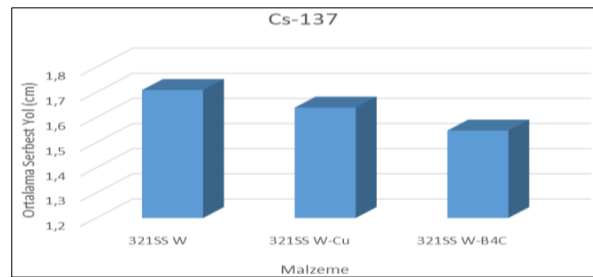
5.5.3.1 321 paslanmaz çelik üzerine volfram temelli kaplama malzemelerde Cs-137 gama kaynağı kullanılarak ulaşılan ortalama serbest yol değerlerinin karşılaştırmalı sonuçları

321 paslanmaz çelik üzerine volfram temelli kaplama malzemelerin Cs-137 gama radyoizotopu ile ulaşılan ortalama serbest yol sonuçları çizelge 5.49’da sunulmaktadır.

Çizelge 5.49 : 321 paslanmaz çelik üzerine volfram temelli kaplama malzemelerin Cs-137 gama kaynağına ilişkin ortalama serbest yol değerleri.

Malzeme	Ortalama Serbest Yol (cm)	Std. Sapma
321 SS-W	1,709	0,017
321 SS W-Cu	1,639	0,025
321 SS W-B ₄ C	1,547	0,017

321 paslanmaz çelik üzerine volfram temelli kaplama malzemelerin Cs-137 gama kaynağı ile yapılan deneyler neticesinde ulaşılan sonuçlar kullanılarak şekil 5.67’de ortalama serbest yol değerleri karşılaştırılmalı olarak gösterilmektedir.



Şekil 5.67 : 321 paslanmaz çelik üzerine volfram temelli kaplama malzemelerin Cs-137 gama kaynağına ilişkin ortalama serbest yol grafikleri.

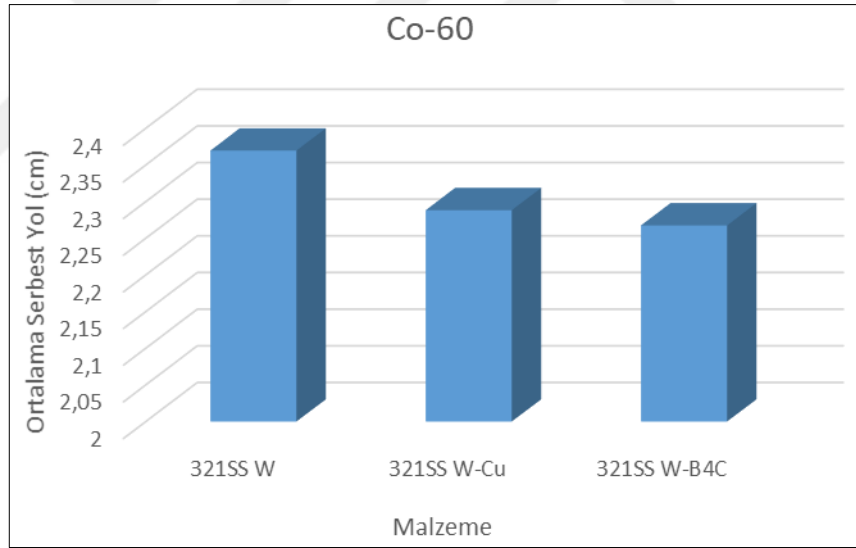
5.5.3.2 321 paslanmaz çelik üzerine volfram temelli kaplama malzemelerde Co-60 gama kaynağı kullanılarak ulaşılan ortalama serbest yol değerlerinin karşılaştırmalı sonuçları

321 paslanmaz çelik üzerine volfram temelli kaplama malzemelerin Co-60 gama radyoizotopu ile ulaşılan ortalama serbest yol sonuçları çizelge 5.50’de sunulmaktadır.

Çizelge 5.50 : 321 paslanmaz çelik üzerine volfram temelli kaplama malzemelerin Co-60 gama kaynağına ilişkin ortalama serbest yol değerleri.

Malzeme	Ortalama Serbest Yol (cm)	Std. Sapma
321 SS-W	2,369	0,014
321 SS W-Cu	2,283	0,057
321 SS W-B ₄ C	2,267	0,016

321 paslanmaz çelik üzerine volfram temelli kaplama malzemelerin Co-60 gama kaynağı ile yapılan deneyler neticesinde ulaşılan sonuçlar kullanılarak şekil 5.68’de ortalama serbest yol değerleri karşılaştırılmalı olarak gösterilmektedir.



Şekil 5.68 : 321 paslanmaz çelik üzerine volfram temelli kaplama malzemelerin Co-60 gama kaynağına ilişkin ortalama serbest yol grafikleri

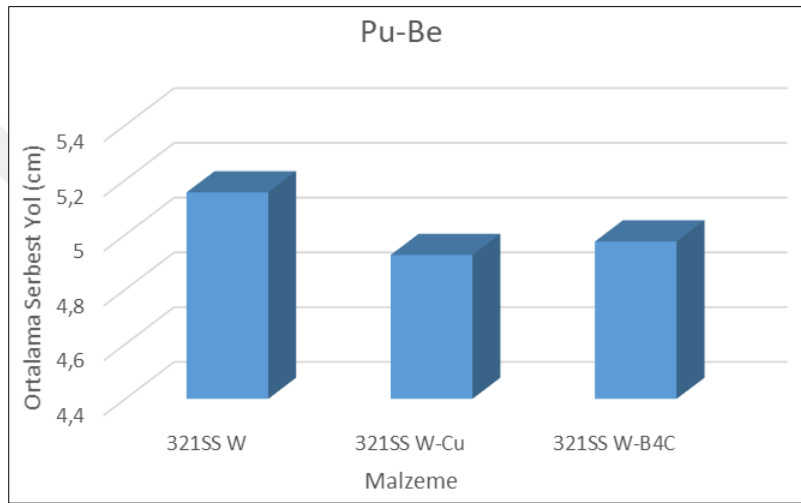
5.5.3.3 321 paslanmaz çelik üzerine volfram temelli kaplama malzemelerde Pu-Be nötron kaynağı kullanılarak ulaşılan ortalama serbest yol değerlerinin karşılaştırmalı sonuçları

321 paslanmaz çelik üzerine volfram temelli kaplama malzemelerin Pu-Be nötron kaynağı ile ulaşılan ortalama serbest yol sonuçları çizelge 5.51’de sunulmaktadır.

Çizelge 5.51 : 321 paslanmaz çelik üzerine volfram temelli kompozit malzemelerin Pu-Be nötron kaynağına ilişkin ortalama serbest yol değerleri.

Malzeme	Ortalama Serbest Yol (cm)	Std. Sapma
321 SS-W	5,154	0,015
321 SS W-Cu	4,926	0,011
321 SS W-B ₄ C	4,975	0,011

321 paslanmaz çelik üzerine volfram temelli kaplama malzemelerin Pu-Be nötron kaynağı ile yapılan deneyler neticesinde ulaşılan sonuçlar kullanılarak şekil 5.69’da ortalama serbest yol değerleri karşılaştırılmalı olarak gösterilmektedir.



Şekil 5.69 : 321 paslanmaz çelik üzerine volfram temelli kaplama malzemelerin Pu-Be nötron kaynağına ilişkin ortalama serbest yol grafikleri.

5.6 Çalışılan Malzemelerin Cs-137 ve Co-60 Gama Kaynaklarına İlişkin Efektif Atomik Numaralarının Tayini

Bu bölümde, deneysel çalışmalarımızda kullanılan malzemelerin Cs-137 ve Co-60 gama kaynağı kullanılarak yapılan deneylerinden elde edilen linear zayıflatma tesir kesiti, makroskopik tesir kesit ve malzemelerin yoğunluk değerleri kullanılarak bölüm 2.5.6’da ifade edilen, denklem 2.18’den hareketle malzemelerin efektif atomik numaraları tayin edilmiştir. Volfram matrisli kompozit malzemelerin Cs-137 ve Co-60 radyasyon kaynakları karşısındaki efektif atomik numaraları karşılaştırılmalı sonuçları, bölüm 4’de volfram matrisli kompozit malzemeler başlığı adı altında tanıtılan;

- W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C
- W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C

- W- % ağ. 6 B₄C- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C
- WC- % ağ. 6 Co

Volfram matrisli kompozit malzemelerin Cs-137 ve Co-60 gama kaynağı kullanılarak yapılan deneylerden hareketle efektif atomik numaraları tayin edilmiştir.

5.6.1 Volfram matrisli kompozit malzemelerin Cs-137 gama kaynağı karşısındaki efektif atomik numaralarının sonuçları

Bölüm 5.6'da ifade edilen bilgiler ışığında volfram matrisli kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotopu ile ulaşılan sonuçları çizelge 5.52'de sunulmaktadır.

Çizelge 5.52 : Volfram matrisli kompozit malzemelerin Cs-137 gama kaynağına ilişkin efektif atomik numaraları değerleri.

Malzeme	0,662 MeV
W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C	70,60
W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C	69,59
W- % ağ. 6 B ₄ C- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C	60,62
WC- % ağ. 6 Co	70,29

5.6.2 Volfram matrisli kompozit malzemelerin Co-60 gama kaynağı karşısındaki efektif atomik numaralarının sonuçları

Volfram matrisli kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotopu ile 1.17 MeV ve 1.33 MeV olmak üzere ulaşılan efektif atomik numaraları sonuçları çizelge 5.53'de sunulmaktadır.

Çizelge 5.53 : Volfram kompozit malzemelerin Co-60 gama kaynağına ilişkin efektif atomik numaraları değerleri.

Malzeme	1.17 MeV	1.33 MeV
W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C	69,95	69,86
W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C	68,76	68,34
W- % ağ. 6 B ₄ C- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C	58,19	58,24
WC- % ağ. 6 Co	69,97	68,70



6. XCOM BİLGİSAYAR PROGRAMI KULLANILARAK TEORİK OLARAK İNCELENEN MALZEMELERİN KÜTLE ZAYIFLATMA KATSAYILARININ BELİRLENMESİ VE DENEYSEL SONUÇLARLA MUKAYESELİ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu doktora tezinde, Bölüm 5 içinde deneysel olarak gama kaynakları ve nötronlar karşısındaki davranışları incelenen kompozit malzemelere ilişkin olarak teorik inceleme yapılması benimsenmiştir. İncelenen malzemelerin teorik kütle zayıflatma katsayıları belirlenmesi için uluslararası bağlamda kabul gören ve birçok araştırmacı tarafından kullanılarak güvenilir olarak nitelenen XCOM bilgisayar programı kullanılmıştır (Demir F. (2010), Han ve diğ., (2009), Büyük B., (2013), Akkaş A., (2015)). Böylelikle, incelenen malzemelerin teorik kütle zayıflatma katsayılarının hesaplamaları yapılmıştır.

İncelenen kompozit malzemelerin (Bölüm 4.1’de tanıtılan malzemelerin) hepsine ilişkin olarak XCOM bilgisayar programından yararlanılarak kütle zayıflatma katsayıları hesaplanmıştır. İlaveten, Bölüm 5 içinde verilen deneysel sonuçlar yardımıyla yapılan hesaplamalarla ulaşılan kütle zayıflatma katsayıları bulunmuş ve XCOM bilgisayar programından hesaplanan kütle zayıflatma katsayıları ile mukayeseleri gerçekleştirilmiştir. Dolayısıyla, deneysel ve teorik olarak yapılan hesaplamalarla ulaşılan sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Deneysel çalışmalardan hareketle gama zayıflatma katsayılarının hesaplanması için deney sonuçlarından hareketle çizilen gama zayıflatma eğrilerinden deneysel lineer zayıflatma katsayıları bulunmuştur. İncelenen malzemeler için deneysel olarak bulunan lineer zayıflatma katsayıları ve de ölçülen malzeme yoğunlukları ile malzemelerin kütle zayıflatma katsayıları eşitlik 2.13’e göre hesaplanmıştır.

İncelenen malzemelerin deneylerde kullanılan gama kaynakları (Cs-137 ve Co-60) için teorik kütle zayıflatma katsayılarının hesaplanması yapılmıştır. Bunun için incelenen malzemelerin içerdiği kompozit konfigürasyonu (madde ağırlıkça yüzde oranları) ve çalışılan gama kaynaklarının enerji pik değerleri XCOM bilgisayar programına girilerek sonuçlara ulaşılmıştır.

Deneylerde kullanılan gama kaynaklarından Cs-137, monokromatik bir başka deyişle tek gama enerji pikine sahiptir ve gama enerjisi 0,662 MeV'dir. Co-60 gama kaynağı ise iki enerji pikine sahiptir. Bunlar % 100 bollukla 1,17 MeV ve 1,33MeV'dir (Knoll, 2002). XCOM ile hesaplamalarda Cs- 137 için 0,662 MeV alınmış ancak Co-60 için iki enerji pikinin ortalaması olan 1,25 MeV girdi olarak programa girilmiştir.

6.1 XCOM Bilgisayar Programının Tanıtımı

XCOM bilgisayar programı malzemelerin kütle zayıflatma katsayılarının hesaplanması için; element, karışım ve bileşik olarak 1 keV-100 GeV enerji aralığında yer alan radyasyona ait maddeyle etkileşim olaylarına (fotoelektrik olay, compton saçılması ve çift oluşumuna) ilişkin tesir kesitlerinin hesaplanmasını yapabilmektedir. Bu bağlamda, maddelerin teorik kütle zayıflatma katsayılarının elde edilmesi mümkün olabilmektedir. Bir başka deyişle, malzemelerin içeriklerine ve yüzde bileşim değerlerine göre istenilen enerji değerine ait teorik kütle zayıflatma katsayısı belirlenebilmektedir (Büyük, 2013; Akkaş, 2015).

İncelenen volfram kompozit malzemelere ilişkin olarak XCOM bilgisayar programı girdisi olarak kullanılan Volfram kompozit malzemelerin kütlece yüzdeleri Çizelge 6.1'de görülmektedir.

Çizelge 6.1 : XCOM bilgisayar programı girdisi olarak incelenen Volfram kompozit malzemelerin kütlece yüzdeleri.

Malzeme (kodu)	Kütle Oranı (%)							
	W	VC	TiC	C	Al ₂ O ₃	B ₄ C	WC	Co
6V	0,93	0,06	-	0,01	-	-	-	-
12V	0,93	0,06	-	0,01	-	-	-	-
24V	0,93	0,06	-	0,01	-	-	-	-
6VT	0,91	0,06	0,02	0,01	-	-	-	-
12VT	0,91	0,06	0,02	0,01	-	-	-	-
24VT	0,91	0,06	0,02	0,01	-	-	-	-
W-B ₄ C-TiC	0,91	-	0,02	0,01	-	0,06	-	-
WC-Co	-	-	-	-	-	-	0,94	0,06

321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür (Al₂O₃ B₄C), volfram (W), volfram bakır (W-Cu) ve volfram bor karbür (W-B₄C) kaplama malzemelerine ilişkin olarak XCOM bilgisayar programı girdisi olarak kullanılan malzemelerin kütlece yüzdeleri çizelge 6.2'de verilmektedir.

Çizelge 6.2 : XCOM bilgisayar programı girdisi olarak incelenen 321 paslanmaz çelik kaplama malzemelerin kütlece yüzdeleri.

Malzeme (kodu)	Kütle Oranı (%)											
	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Ti	N	Fe	Al ₂ O ₃	B ₄ C
321 SS	0,0008	0,020	0,00045	0,0003	0,0075	0,170	0,090	0,007	0,0010	0,703	-	-
321SS Al ₂ O ₃ %10 B ₄ C	0,0007	0,017	0,00040	0,0002	0,0065	0,149	0,078	0,006	0,0008	0,616	0,1110	0,0123
321SS Al ₂ O ₃ %20 B ₄ C	0,0007	0,017	0,00039	0,0002	0,0065	0,148	0,078	0,006	0,0008	0,615	0,0989	0,0247
321SS Al ₂ O ₃ %30 B ₄ C	0,0007	0,018	0,00040	0,0002	0,0067	0,153	0,081	0,006	0,0009	0,636	0,0661	0,0283

Yararlanılan XCOM bilgisayar programı, programın ulaşılan en son sürümüdür (Url-4). Söz konusu XCOM bilgisayar programına ilişkin ara yüz Şekil 6.1’de verilmektedir.

The screenshot displays the XCOM program's user interface. At the top, there is a text area for entering compound formulae and relative weights, with an example showing 'H2O 0.9' and 'NaCl 0.1'. Below this is a note about normalization and a text input field. The middle section is divided into two columns: 'Graph options' with several checkboxes (Total Attenuation with/without Coherent Scattering, Coherent/Incoherent Scattering, Photoelectric Absorption, Pair Production in Nuclear/Electron Field, and None) and 'Additional energies in MeV' with a note, a text input field, and a checkbox for 'Include the standard grid'. The bottom section contains 'Energy Range' fields for 'Minimum' (0.001 MeV) and 'Maximum' (100000 MeV). At the very bottom are 'Submit Information' and 'Reset' buttons.

Şekil 6.1 : Çalışılan XCOM bilgisayar programının ara yüzü.

6.2 Gama Kaynaklarına göre İncelenen Malzemelerin Deneysel ve Teorik Olarak Hesaplanan Kütle Zayıflatma Katsayılarının Tayini

Volfram kompozit malzemelerin 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 Volfram matrisli kompozit malzemelerin XCOM bilgisayar programı kullanılarak teorik olarak hesaplanan kütle zayıflatma katsayılarının tayini

Çalışılan volfram matrisli kompozit malzemelerin Cs-137 ve Co-60 gama radyoizotop kaynakları için XCOM bilgisayar programı kullanılarak teorik olarak hesaplanan kütle zayıflatma katsayıları Çizelge 6.3’te verilmektedir.

Çizelge 6.3 : Volfram matrisli kompozit malzemelerin teorik olarak hesaplanan kütle zayıflatma katsayıları.

Malzeme	Kütle Zayıflatma Katsayısı	
	Cs-137 (10^{-2} cm ² /g)	Co-60 (10^{-2} cm ² /g)
6V	9,081	5,410
12V	9,081	5,410
24V	9,081	5,410
6VT	9,042	5,408
12VT	9,042	5,408
24VT	9,042	5,408
W-B ₄ C-TiC	9,566	5,680
WC-Co	9,506	5,640

6.2.2 Volfram matrisli kompozit malzemelerin deneysel olarak hesaplanan kütle zayıflatma katsayılarının tayini

Volfram matrisli kompozit malzemelerin Cs-137 ve Co-60 gama radyoizotop kaynaklar için deneysel olarak lineer zayıflatma katsayılarından yola çıkarak hesaplanan volfram kompozit malzemelere ait deneysel kütle zayıflatma katsayıları Çizelge 6.4' de verilmektedir.

Çizelge 6.4 : Volfram matrisli kompozit malzemelerin deneysel kütle zayıflatma katsayıları.

Malzeme	Kütle Zayıflatma Katsayısı	
	Cs-137 (10^{-2} cm ² /g)	Co-60 (10^{-2} cm ² /g)
6V	8,381	5,024
12V	8,350	5,045
24V	8,329	5,012
6VT	8,408	4,867
12VT	8,728	5,016
24VT	8,692	5,032
W-B ₄ C-TiC	9,306	5,545
WC-Co	9,430	6,042

6.2.3 Volfram matrisli kompozit malzemelere ilişkin deneysel ve teorik olarak tayin edilen kütle zayıflatma katsayılarının karşılaştırılmalı değerlendirilmesi

Volfram matrisli kompozit malzemelerin Cs-137 ve Co-60 gama radyoizotop kaynaklar için deneysel olarak lineer zayıflatma katsayılarından yola çıkarak hesaplanan volfram kompozit malzemelere ait deneysel kütle zayıflatma katsayıları ve teorik olarak hesaplanan kütle zayıflatma katsayılarının karşılaştırılması çizelge 6.5'de sunulmaktadır.

Çizelge 6.5 : Volfram matrisli kompozit 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} cm ² /g)	Teorik (XCOM)(10^2 cm ² /g)	Fark (%)	Deneysel (10^{-2} cm ² /g)	Teorik (XCOM)(10^2 cm ² /g)	Fark (%)
6V	8,381	9,081	7,709	5,024	5,410	7,138
12V	8,350	9,081	8,045	5,045	5,410	6,741
24V	8,329	9,081	8,278	5,012	5,410	7,354
6VT	8,408	9,042	7,007	4,867	5,408	9,997
12VT	8,728	9,042	3,469	5,016	5,408	7,247
24VT	8,692	9,042	3,874	5,032	5,408	6,946
W-B ₄ C-TiC	9,306	9,566	2,712	5,545	5,680	2,360
WC-Co	9,430	9,506	0,804	6,042	5,640	6,657

6.2.4 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemelerin XCOM bilgisayar programı kullanılarak teorik olarak hesaplanan kütle zayıflatma katsayılarının tayini

321 paslanmaz çelik ve 321 paslanmaz çelik üzerine Al₂O₃- % ağ. 10 B₄C, Al₂O₃- % ağ. 20 B₄C, Al₂O₃- % ağ. 30 B₄C kaplama malzemelerine ilişkin olarak Cs-137 ve Co-60 gama radyoizotop kaynakları için XCOM bilgisayar programı kullanılarak teorik olarak hesaplanan kütle zayıflatma katsayıları Çizelge 6.6’da verilmektedir.

Çizelge 6.6 : 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür malzemelerin teorik olarak hesaplanan kütle zayıflatma katsayıları.

Malzeme	Kütle Zayıflatma Katsayısı	
	Cs-137 (10^{-2} cm ² /g)	Co-60 (10^{-2} cm ² /g)
321 SS	7,349	5,354
321 SS Al ₂ O ₃ - % ağ. 10 B ₄ C	7,374	5,370
321 SS Al ₂ O ₃ - % ağ. 20 B ₄ C	7,370	5,368
321 SS Al ₂ O ₃ - % ağ. 30 B ₄ C	7,420	5,404

6.2.5 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemelerin deneysel olarak hesaplanan kütle zayıflatma katsayılarının tayini

321 paslanmaz çelik ve 321 paslanmaz çelik üzerine Al₂O₃- % ağ. 10 B₄C, Al₂O₃- % ağ. 20 B₄C, Al₂O₃- % ağ. 30 B₄C kompozit malzemelerin Cs-137 ve Co-60 gama radyoizotop kaynakları için deneysel olarak lineer zayıflatma katsayılarından yola çıkarak hesaplanan deneysel kütle zayıflatma katsayıları Çizelge 6.7’ de verilmektedir.

Çizelge 6.7 : 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür malzemelerin deneysel olarak hesaplanan kütle zayıflatma katsayıları.

Malzeme	Kütle Zayıflatma Katsayısı	
	Cs-137 (10^{-2} cm ² /g)	Co-60 (10^{-2} cm ² /g)
321 SS	7,364	5,388
321 SS Al ₂ O ₃ - % ağı. 10 B ₄ C	7,124	5,387
321 SS Al ₂ O ₃ - % ağı. 20 B ₄ C	7,360	5,515
321 SS Al ₂ O ₃ - % ağı. 30 B ₄ C	7,243	5,497

6.2.6 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemelerin deneysel ve teorik olarak tayin edilen kütle zayıflatma katsayılarının karşılaştırılmalı değerlendirilmesi

321 paslanmaz çelik ve 321 paslanmaz çelik Al₂O₃- % ağı. 10 B₄C, Al₂O₃- % ağı. 20 B₄C, Al₂O₃- % ağı. 30 B₄C kompozit malzemelerin Cs-137 ve Co-60 gama radyoizotop kaynaklar için deneysel olarak lineer zayıflatma katsayılarından yola çıkarak hesaplanan Wolfram kompozit malzemelere ait deneysel kütle zayıflatma katsayıları ve teorik olarak hesaplanan kütle zayıflatma katsayılarının karşılaştırılması çizelge 6.8'de sunulmaktadır.

Çizelge 6.8 : 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür 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} cm ² /g)	Teorik (XCOM)(10^{-2} cm ² /g)	Fark (%)	Deneysel (10^{-2} cm ² /g)	Teorik (XCOM)(10^{-2} cm ² /g)	Fark (%)
321 SS	7,364	7,349	0,211	5,388	5,354	0,638
321 SS Al ₂ O ₃ %ağı.10 B ₄ C	7,124	7,374	3,379	5,387	5,370	0,328
321 SS Al ₂ O ₃ %ağı.30 B ₄ C	7,360	7,370	0,125	5,515	5,368	2,671
321 SS Al ₂ O ₃ %ağı.30 B ₄ C	7,243	7,420	2,372	5,497	5,404	1,699

6.2.7 321 paslanmaz çelik üzerine wolfram temelli kaplama malzemelerin XCOM bilgisayar programı kullanılarak teorik olarak hesaplanan kütle zayıflatma katsayılarının tayini

321 paslanmaz çelik üzerine wolfram, wolfram bakır ve wolfram bor karbür kaplama malzemelerine ilişkin olarak Cs-137 ve Co-60 gama radyoizotop kaynakları için XCOM bilgisayar programı kullanılarak teorik olarak hesaplanan kütle zayıflatma katsayıları çizelge 6.9'da verilmektedir.

Çizelge 6.9 : 321 paslanmaz çelik üzerine volfram, volfram bakır ve volfram bor karbür malzemelerin teorik olarak hesaplanan kütle zayıflatma katsayıları.

Malzeme	Kütle Zayıflatma Katsayısı	
	Cs-137 (10^{-2} cm ² /g)	Co-60 (10^{-2} cm ² /g)
321 SS W	7,464	5,364
321 SS W-Cu	7,461	5,363
321 SS W-B ₄ C	7,401	5,359

6.2.8 321 paslanmaz çelik üzerine volfram temelli kaplama malzemelerin deneysel olarak hesaplanan kütle zayıflatma katsayılarının tayini

321 paslanmaz çelik üzerine volfram, volfram bakır ve volfram bor karbür kaplama malzemelerine ilişkin olarak Cs-137 ve Co-60 gama radyoizotop kaynakları için deneysel olarak lineer zayıflatma katsayılarından yola çıkarak hesaplanan deneysel kütle zayıflatma katsayıları Çizelge 6.10' da verilmektedir.

Çizelge 6.10 : 321 paslanmaz çelik üzerine volfram, volfram bakır ve volfram bor karbür malzemelerin deneysel olarak hesaplanan kütle zayıflatma katsayıları.

Malzeme	Kütle Zayıflatma Katsayısı	
	Cs-137 (10^{-2} cm ² /g)	Co-60 (10^{-2} cm ² /g)
321 SS W	7,322	5,281
321 SS W-Cu	7,597	5,442
321 SS W-B ₄ C	8,005	5,460

6.2.9 321 paslanmaz çelik üzerine volfram temelli kaplama malzemelerin deneysel ve teorik olarak tayin edilen kütle zayıflatma katsayılarının karşılaştırılmalı değerlendirilmesi

321 paslanmaz çelik üzerine volfram, volfram bakır ve volfram bor karbür kaplama malzemelerine ilişkin olarak Cs-137 ve Co-60 gama radyoizotop kaynaklar için deneysel olarak lineer zayıflatma katsayılarından yola çıkarak hesaplanan volfram kompozit malzemelere ait deneysel kütle zayıflatma katsayıları ve teorik olarak hesaplanan kütle zayıflatma katsayılarının karşılaştırılması çizelge 6.11'de sunulmaktadır.

Çizelge 6.11 : 321 paslanmaz çelik üzerine volfram, volfram bakır ve volfram bor karbür 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} cm ² /g)	Teorik (XCOM)(10^{-2} cm ² /g)	Fark (%)	Deneysel (10^{-2} cm ² /g)	Teorik (XCOM)(10^{-2} cm ² /g)	Fark (%)
321 SS W	7,322	7,464	1,907	5,281	5,364	1,536
321 SS W-Cu	7,597	7,461	1,784	5,442	5,363	1,451
321 SS W-B ₄ C	8,005	7,401	7,545	5,460	5,359	1,860

6.3 Çalışılan Malzemelerin Yarı-Değer ve Onda Bir-Değer Kalınlıklarının Karşılaştırılması

Yarı-değer kalınlığı absorlayıcı malzemenin gelen radyasyon şiddetini yarı değere düşürmesi için gerekli olan malzeme kalınlığı olup, genellikle mm veya cm olarak ifade edilmektedir. Nükleer uygulamalarda malzemelerin radyasyon karşısında özellikle de zırh malzemesi olarak kullanıldığı durumlarda anlaşılması ve değerlendirilmesi açısından önemli bir parametre olmaktadır. Bu bağlamda, çalışılan malzemelerin Cs-137, Co-60 ve Pu-Be kaynağı karşısında yarı-değer kalınlıklarının (YDK) ve onda bir-değer kalınlıklarının (ODK) tayini ve karşılaştırmalı değerlendirilmesi yapılması amaçlanmıştır.

6.3.1 Çalışılan malzemelerin Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin olarak YDK ve ODK değerlerinin karşılaştırılması

Bu alt bölümde, çalışılan malzemelerin Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin olarak bölüm 4.1’de çalışılan malzemeler adı altında tanıtilen her bir grup malzemenin ilk olarak kendi arasında, daha sonrasında ise tüm malzemelerin bir arada mukayeseli olarak değerlendirilmesi yapılmaktadır. Bu bağlamda Cs-137 gama radyasyonuna ait olarak malzemelerin radyasyon zırh özelliklerinin belirlenmesi ve geliştirilebilme imkanlarının değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

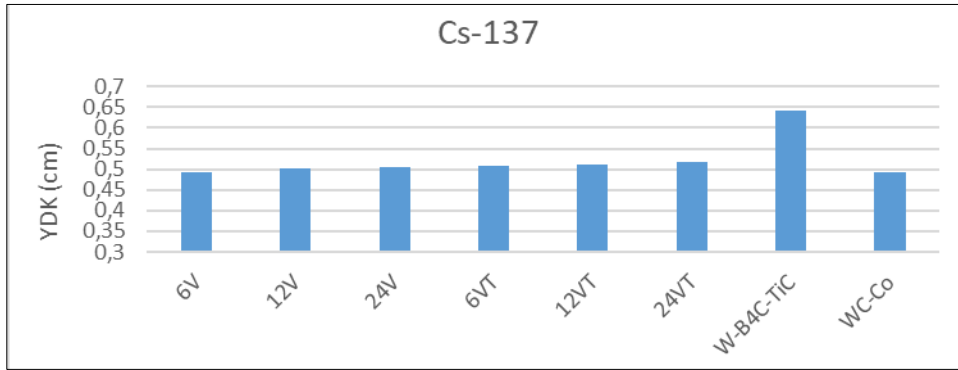
Çalışılan malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağına ilişkin olarak tayin edilen YDK ve ODK değerleri çizelge 6.12’de sunulmaktadır.

Çizelge 6.12 : Çalışılan malzemelerin Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin YDK ve ODK değerleri.

Malzeme	Cs-137			
	YDK (cm)	Std. Sapma	ODK (cm)	Std. Sapma
6V	0,492	0,012	1,635	0,029
12V	0,501	0,011	1,666	0,025
24V	0,505	0,012	1,679	0,029
6VT	0,508	0,011	1,689	0,026
12VT	0,510	0,012	1,694	0,028
24VT	0,516	0,008	1,715	0,020
W-B ₄ C-TiC	0,643	0,031	2,136	0,105
WC-Co	0,493	0,011	1,638	0,039
321 SS	1,155	0,015	3,837	0,051
321SS Al ₂ O ₃ %10 B ₄ C	1,320	0,015	4,385	0,050
321SS Al ₂ O ₃ %20 B ₄ C	1,293	0,014	4,295	0,048
321SS Al ₂ O ₃ %30 B ₄ C	1,293	0,016	4,295	0,056
321SS W	1,184	0,034	3,936	0,114
321SS W-Cu	1,136	0,031	3,774	0,105
321SS W-B ₄ C	1,072	0,028	3,564	0,093

6.3.1.1 Volfram kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerlerinin karşılaştırılması

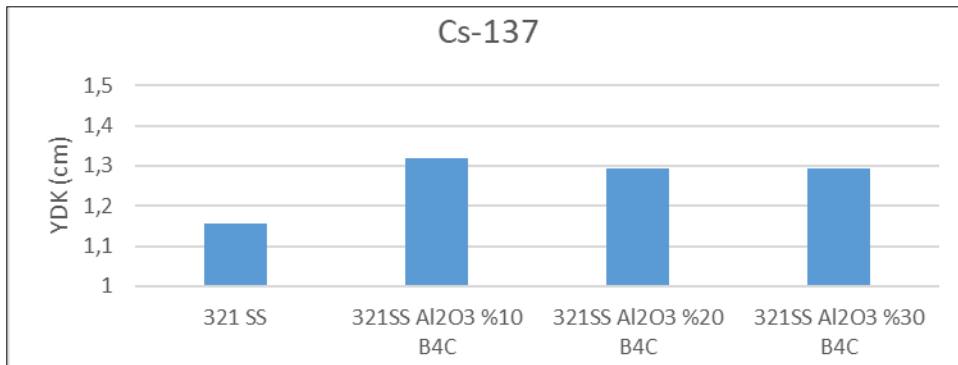
Bölüm 4.1’de çalışılan malzemeler adı altında tanıtılan volfram matrisli kompozit malzemelerin lineer zayıflatma katsayılarından hareketle hesaplanan ve çizelge 6.12’de verilen YDK değerleri kullanılarak volfram matrisli kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyasyonuna ait mukayeseli YDK değerlendirilmesi şekil 6.2’de gösterilmektedir.



Şekil 6.2 : : Volfram matrisli kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin olarak YDK karşılaştırılması.

6.3.1.2 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemelerinin Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerlerinin karşılaştırılması

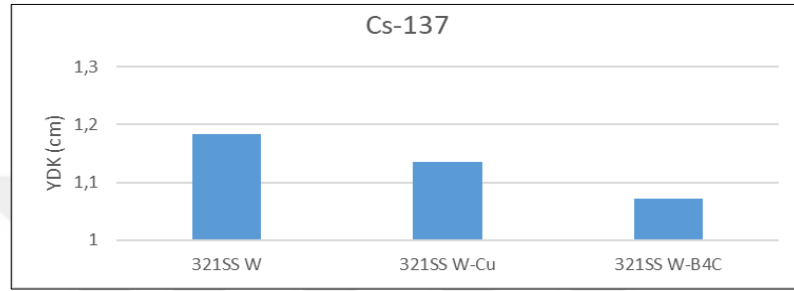
Bölüm 4.1’de çalışılan malzemeler adı altında tanıtılan 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemelerin lineer zayıflatma katsayılarından hareketle hesaplanan ve çizelge 6.12’de verilen YDK değerleri kullanılarak 321 Paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemelerin Cs-137 gama radyasyonuna ait mukayeseli YDK değerlendirilmesi şekil 6.3’de gösterilmektedir.



Şekil 6.3 : : 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemelerin Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin olarak YDK karşılaştırılması.

6.3.1.3 321 paslanmaz çelik üzerine volfram temelli kaplama malzemelerin Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerlerinin karşılaştırılması

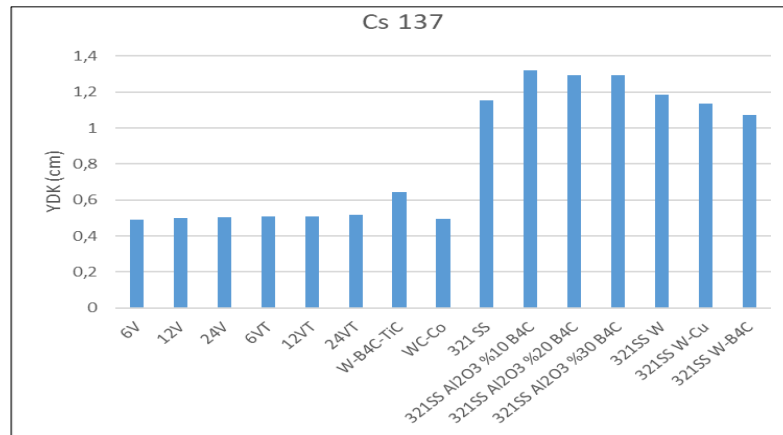
Bölüm 4.1’de çalışılan malzemeler adı altında tanıtılan 321 Paslanmaz çelik üzerine Volfram temelli kaplama malzemelerin lineer zayıflatma katsayılarından hareketle hesaplanan ve çizelge 6.12’de verilen YDK değerleri kullanılarak 321 Paslanmaz çelik üzerine Volfram temelli kaplama malzemelerin Cs-137 gama radyasyonuna ait mukayeseli YDK değerlendirilmesi şekil 6.4’de gösterilmektedir.



Şekil 6.4 : : 321 paslanmaz çelik üzerine volfram temelli kaplama malzemelerin Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin olarak YDK karşılaştırılması.

6.3.1.4 Çalışılan malzemelerin Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerlerinin karşılaştırılması

Bölüm 4.1’de çalışılan malzemeler adı altında tanıtılan Volfram matrisli kompozit malzemeler, 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemeleri ve 321 Paslanmaz çelik üzerine Volfram temelli kaplama malzemelerin lineer zayıflatma katsayılarından hareketle hesaplanan ve çizelge 6.12’de verilen YDK değerleri kullanılarak tez çalışmasında kullanılan tüm malzemelerin Cs-137 gama radyasyonuna ait mukayeseli YDK değerlendirilmesi şekil 6.5’de gösterilmektedir.



Şekil 6.5 : : Çalışılan tüm malzemelerin Cs-137 gama radyasyonuna ilişkin olarak YDK karşılaştırılması.

6.3.2 Çalışılan malzemelerin Co-60 gama radyasyonuna ilişkin olarak YDK ve ODK değerlerinin karşılaştırılması

Bu alt başlıkta, çalışılan malzemelerin Co-60 gama radyasyonuna ilişkin olarak bölüm 4.1’de çalışılan malzemeler adı altında tanıtılan her bir grup malzemenin ilk olarak kendi arasında, daha sonrasında ise tüm malzemelerin bir arada mukayeseli olarak değerlendirilmesi yapılmaktadır. Bu bağlamda Co-60 gama radyasyonuna ait olarak malzemelerin radyasyon zırh özelliklerinin belirlenmesi ve geliştirilebilme imkanlarının değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

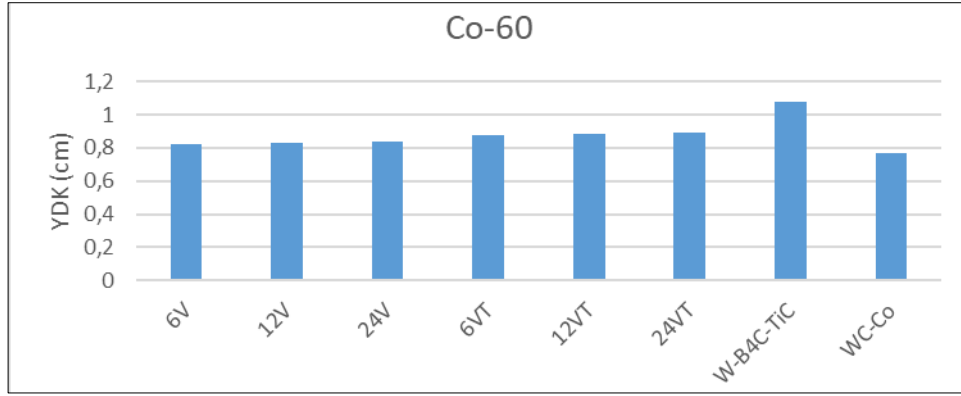
Çalışılan malzemelerin Co-60 kaynağına ilişkin olarak tayin edilen YDK ve ODK değerleri çizelge 6.13’de sunulmaktadır.

Çizelge 6.13 : Çalışılan malzemelerin Co-60 gama radyasyonuna ilişkin YDK ve ODK değerleri.

Malzeme	Co-60			
	YDK (cm)	Std. Sapma	ODK (cm)	Std. Sapma
6V	0,821	0,016	2,728	0,020
12V	0,830	0,016	2,757	0,019
24V	0,840	0,018	2,791	0,021
6VT	0,878	0,009	2,918	0,010
12VT	0,887	0,014	2,948	0,016
24VT	0,892	0,013	2,963	0,015
W-B ₄ C-TiC	1,079	0,023	3,584	0,078
WC-Co	0,769	0,030	2,557	0,010
321 SS	1,578	0,097	5,245	0,322
321SS Al ₂ O ₃ % 10 B ₄ C	1,745	0,065	5,799	0,219
321SS Al ₂ O ₃ % 20 B ₄ C	1,650	0,066	5,482	0,221
321SS Al ₂ O ₃ % 30 B ₄ C	1,666	0,052	5,535	0,172
321SS W	1,642	0,036	5,456	0,121
321SS W-Cu	1,586	0,141	5,269	0,468
321SS W-B ₄ C	1,571	0,036	5,221	0,120

6.3.2.1 Volfram kompozit malzemelerin Co-60 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerlerinin karşılaştırılması

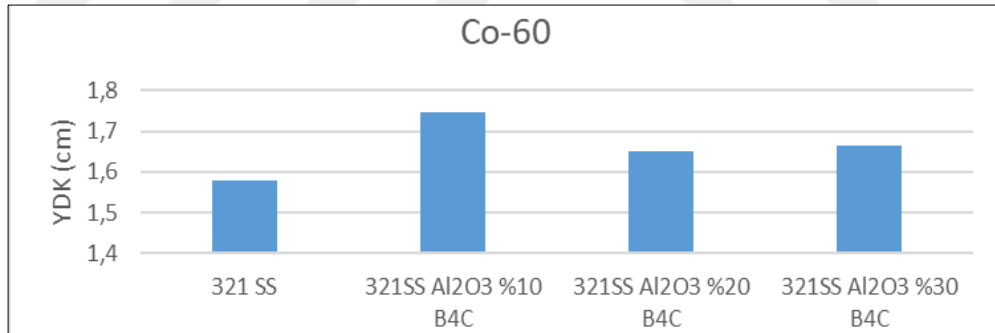
Bölüm 4.1’de çalışılan malzemeler adı altında tanıtılan volfram matrisli kompozit malzemelerin lineer zayıflatma katsayılarından hareketle hesaplanan ve çizelge 6.13’de verilen YDK değerleri kullanılarak volfram matrisli kompozit malzemelerin Co-60 gama radyasyonuna ait mukayeseli YDK değerlendirilmesi şekil 6.6’da gösterilmektedir.



Şekil 6.6 : : Volfram matrisli kompozit malzemelerin Co-60 gama radyasyonuna ilişkin olarak YDK karşılaştırılması.

6.3.2.2 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemelerinin Co-60 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerlerinin karşılaştırılması

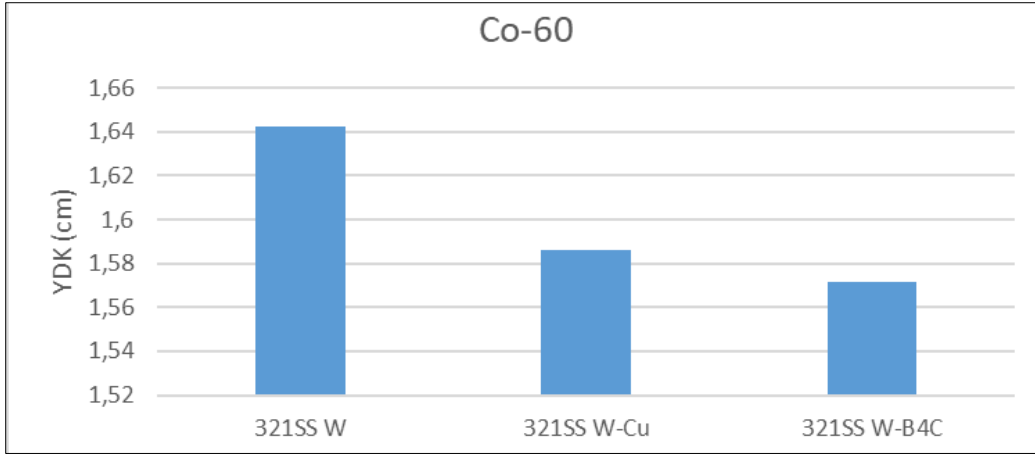
Bölüm 4.1’de çalışılan malzemeler adı altında tanıtılan 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemelerin lineer zayıflatma katsayılarından hareketle hesaplanan ve çizelge 6.13’de verilen YDK değerleri kullanılarak 321 Paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemelerin Co-60 gama radyasyonuna ait mukayeseli YDK değerlendirilmesi şekil 6.7’de gösterilmektedir.



Şekil 6.7 : : 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemelerin Co-60 gama radyasyonuna ilişkin olarak YDK karşılaştırılması.

6.3.2.3 321 paslanmaz çelik üzerine volfram temelli kaplama malzemelerin Co-60 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerlerinin karşılaştırılması

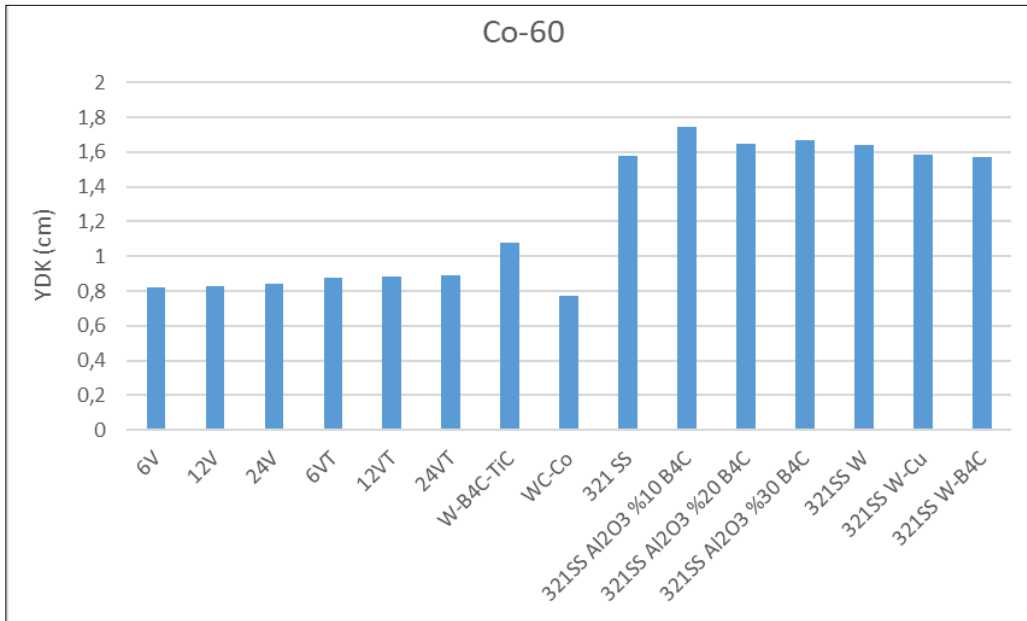
Bölüm 4.1’de çalışılan malzemeler adı altında tanıtılan 321 Paslanmaz çelik üzerine volfram temelli kaplama malzemelerin lineer zayıflatma katsayılarından hareketle hesaplanan ve çizelge 6.13’de verilen YDK değerleri kullanılarak 321 Paslanmaz çelik üzerine volfram temelli kaplama malzemelerin Co-60 gama radyasyonuna ait mukayeseli YDK değerlendirilmesi şekil 6.8’de gösterilmektedir.



Şekil 6.8 : : 321 paslanmaz çelik üzerine volfram temelli kaplama malzemelerin Co-60 gama radyasyonuna ilişkin olarak YDK karşılaştırılması.

6.3.2.4 Çalışılan malzemelerin Co-60 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerlerinin karşılaştırılması

Bölüm 4.1’de çalışılan malzemeler adı altında tanımlanan volfram matrisli kompozit malzemeler, 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemeleri ve 321 Paslanmaz çelik üzerine volfram temelli kaplama malzemelerin lineer zayıflatma katsayılarından hareketle hesaplanan ve çizelge 6.13’de verilen YDK değerleri kullanılarak tez çalışmasında kullanılan tüm malzemelerin Co-60 gama radyasyonuna ait mukayeseli YDK değerlendirilmesi şekil 6.9’da gösterilmektedir.



Şekil 6.9 : : Çalışılan tüm malzemelerin Co-60 gama radyasyonuna ilişkin olarak YDK karşılaştırılması.

6.3.3 Çalışılan malzemelerin Pu-Be nötron kaynağına ilişkin olarak YDK ve ODK değerlerinin karşılaştırılması

Bu alt başlıkta, çalışılan malzemelerin Pu-Be nötron kaynağına ilişkin olarak bölüm 4.1’de çalışılan malzemeler adı altında tanıtilan her bir grup malzemenin ilk olarak kendi arasında, daha sonrasında ise tüm malzemelerin bir arada mukayeseli olarak değerlendirilmesi yapılmaktadır. Bu bağlamda Pu-Be nötron kaynağına ait olarak malzemelerin radyasyon zırh özelliklerinin belirlenmesi ve geliştirilebilme imkanlarının değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

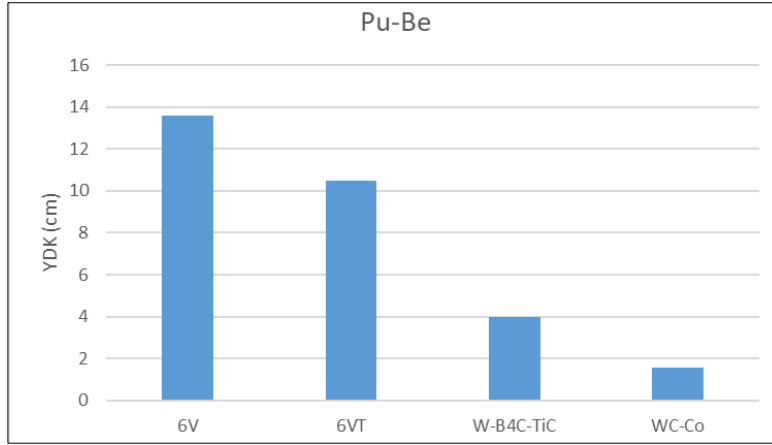
Çalışılan malzemelerin Pu-Be Nötron Howitzer kaynağına ilişkin olarak tayin edilen YDK ve ODK değerleri çizelge 6.14’de sunulmaktadır.

Çizelge 6.14 : Çalışılan malzemelerin Pu-Be Nötron Howitzer nötron kaynağına ilişkin YDK ve ODK değerleri.

Malzeme	Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3)			
	YDK (cm)	Std. Sapma	ODK (cm)	Std. Sapma
6V	13,591	0,266	45,148	0,885
6VT	10,502	0,477	34,887	1,585
W-B ₄ C-TiC	3,960	0,452	13,157	1,503
WC-Co	1,582	0,072	5,257	0,240
321 SS	3,961	0,090	13,158	0,300
321SS Al ₂ O ₃ %10 B ₄ C	3,916	0,154	13,008	0,514
321SS Al ₂ O ₃ %20 B ₄ C	3,829	0,169	12,721	0,562
321SS Al ₂ O ₃ %30 B ₄ C	3,554	0,182	11,808	0,605
321SS W	3,572	0,027	11,868	0,917
321SS W-Cu	3,414	0,185	11,342	0,614
321SS W-B ₄ C	3,448	0,188	11,455	0,626

6.3.3.1 Volfram kompozit malzemelerin Pu-Be nötron kaynağına ilişkin YDK değerlerinin karşılaştırılması

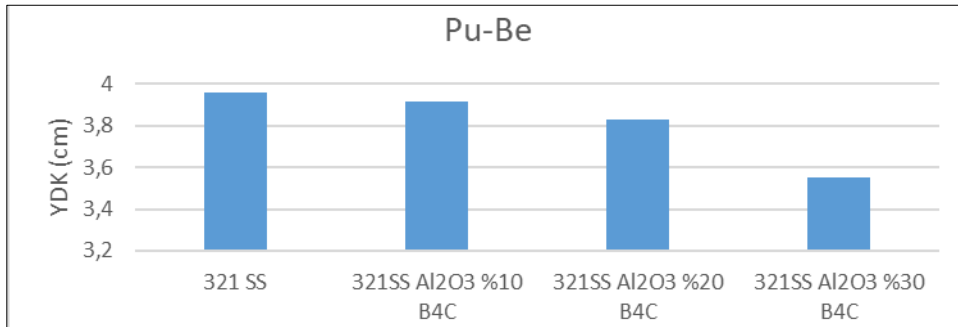
Bölüm 4.1’de çalışılan malzemeler adı altında tanıtilan volfram matrisli kompozit malzemelerin lineer zayıflatma katsayılarından hareketle hesaplanan ve çizelge 6.14’de verilen YDK değerleri kullanılarak volfram matrisli kompozit malzemelerin Pu-Be nötron kaynağına ait mukayeseli YDK değerlendirilmesi şekil 6.10’da gösterilmektedir.



Şekil 6.10 : : Volfram matrisli kompozit malzemelerin Pu-Be nötron kaynağına ilişkin olarak YDK karşılaştırılması.

6.3.3.2 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemelerinin Pu-Be nötron kaynağına ilişkin YDK değerlerinin karşılaştırılması

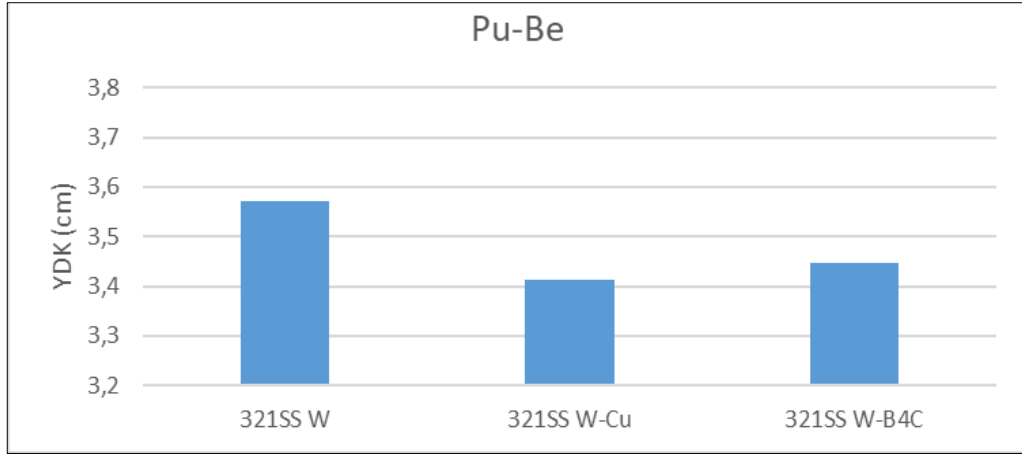
Bölüm 4.1’de çalışılan malzemeler adı altında tanıtılan 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemelerin lineer zayıflatma katsayılarından hareketle hesaplanan ve çizelge 6.14’de verilen YDK değerleri kullanılarak 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemelerin Pu-Be nötron kaynağına ait mukayeseli YDK değerlendirilmesi şekil 6.11’de gösterilmektedir.



Şekil 6.11 : : 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemelerin Pu-Be nötron kaynağına ilişkin olarak YDK karşılaştırılması.

6.3.3.3 321 paslanmaz çelik üzerine volfram temelli kaplama malzemelerin Pu-Be nötron kaynağına ilişkin YDK değerlerinin karşılaştırılması

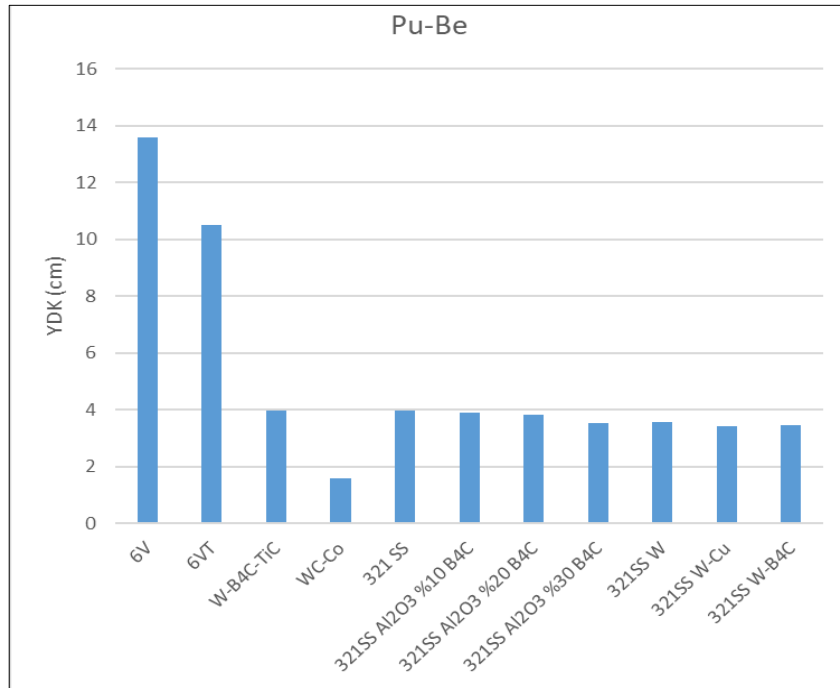
Bölüm 4.1’de çalışılan malzemeler adı altında tanıtılan 321 paslanmaz çelik üzerine Volfram temelli kaplama malzemelerin lineer zayıflatma katsayılarından hareketle hesaplanan ve çizelge 6.14’de verilen YDK değerleri kullanılarak 321 paslanmaz çelik üzerine volfram temelli kaplama malzemelerin Pu-Be nötron kaynağına ait mukayeseli YDK değerlendirilmesi şekil 6.12’de gösterilmektedir.



Şekil 6.12 : : 321 paslanmaz çelik üzerine volfram temelli kompozit malzemelerin Pu-Be nötron kaynağına ilişkin olarak YDK karşılaştırılması.

6.3.3.4 Çalışılan malzemelerin Pu-Be nötron kaynağına ilişkin YDK değerlerinin karşılaştırılması

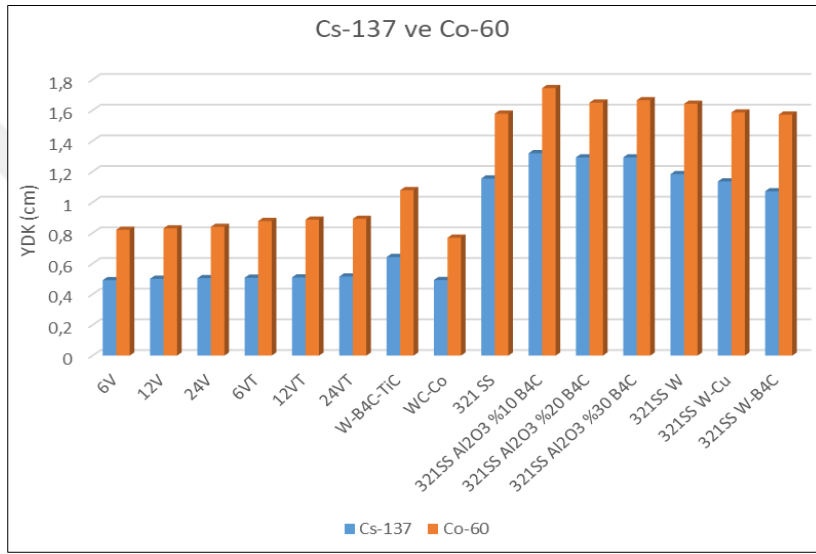
Bölüm 4.1’de çalışılan malzemeler adı altında tanımlanan volfram matrisli kompozit malzemeler, 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemeleri ve 321 Paslanmaz çelik üzerine volfram temelli kaplama malzemelerin lineer zayıflatma katsayılarından hareketle hesaplanan ve çizelge 6.14’de verilen YDK değerleri kullanılarak tez çalışmasında kullanılan tüm malzemelerin Pu-Be nötron kaynağına ait mukayeseli YDK değerlendirilmesi şekil 6.13’de gösterilmektedir.



Şekil 6.13 : : Çalışılan tüm malzemelerin Pu-Be nötron kaynağına ilişkin olarak YDK karşılaştırılması.

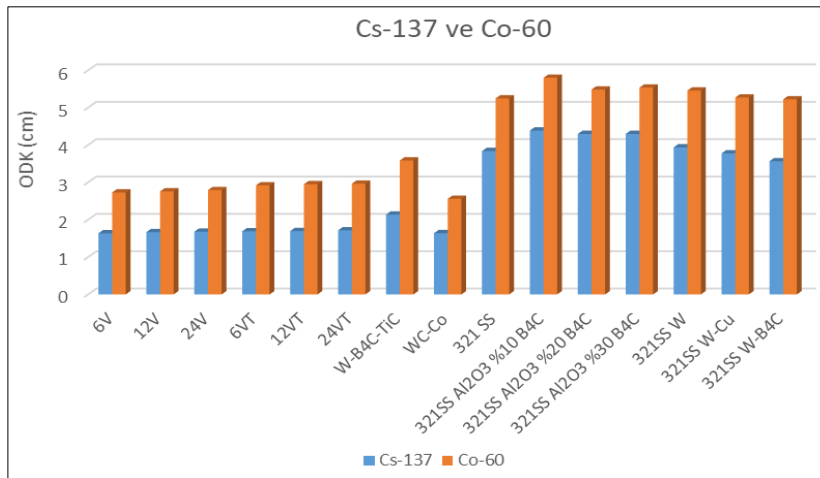
6.3.4 Çalışılan malzemelerin Cs-137 ve Co-60 gama radyasyonuna ilişkin YDK değerlerinin karşılaştırılması

Bölüm 4.1’de çalışılan malzemeler adı altında tanımlanan volfram matrisli kompozit malzemeler, 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemeleri ve 321 Paslanmaz çelik üzerine volfram temelli kaplama malzemelerin lineer zayıflatma katsayılarından hareketle hesaplanan ve çizelge 6.12 ve 6.13’de verilen YDK değerleri kullanılarak tez çalışmasında kullanılan tüm malzemelerin Cs-137 ve Co-60 gama radyasyonuna ait mukayeseli YDK değerlendirilmesi şekil 6.14’de gösterilmektedir.



Şekil 6.14 : : Çalışılan tüm malzemelerin Cs-137 ve Co-60 gama radyasyonuna ilişkin olarak YDK karşılaştırılması.

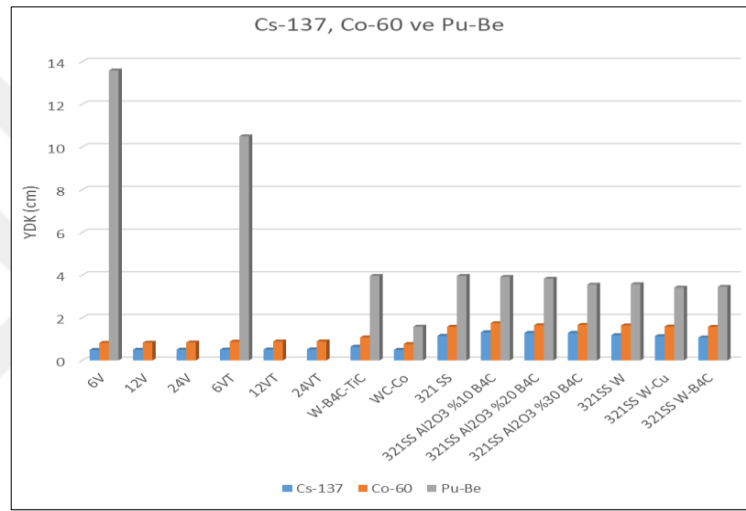
Şekil 6.15’de çalışılan malzemelerin Cs-137 ve Co-60 gama radyasyonuna ait mukayeseli ODK değerlendirilmesi gösterilmektedir.



Şekil 6.15 : : Çalışılan tüm malzemelerin Cs-137 ve Co-60 gama radyasyonuna ilişkin olarak ODK karşılaştırılması.

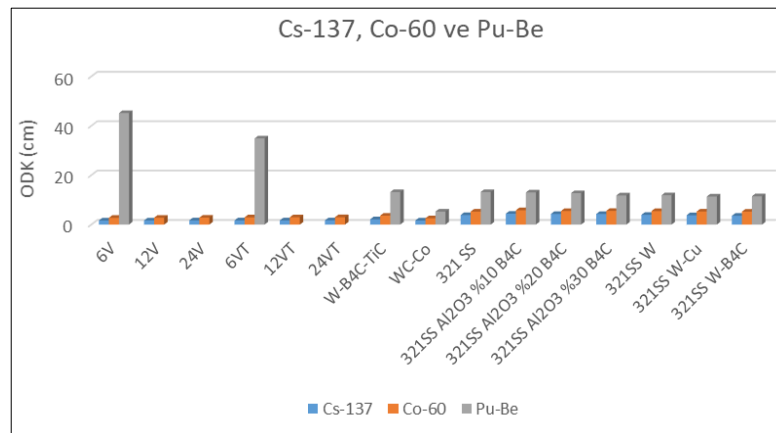
6.3.5 Çalışılan malzemelerin Cs-137, Co-60 ve Pu-Be radyasyonuna ilişkin olarak YDK karşılaştırılması

Tez’de çalışılan malzemeler adı altında tanıtılan volfram matrisli kompozit malzemeler, 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemeleri ve 321 Paslanmaz çelik üzerine volfram temelli kaplama malzemelerin lineer zayıflatma katsayılarından hareketle hesaplanan ve çizelge 6.12, 6.13 ve 6.14’de verilen YDK değerleri kullanılarak tez çalışmasında kullanılan tüm malzemelerin Cs-137, Co-60 ve Pu-Be radyasyonuna ait mukayeseli YDK değerlendirilmesi şekil 6.16’de gösterilmektedir.



Şekil 6.16 : Çalışılan tüm malzemelerin Cs-137, Co-60 ve Pu-Be radyasyonuna ilişkin olarak YDK karşılaştırılması.

Şekil 6.17’de çalışılan malzemelerin Cs-137, Co-60 ve Pu-Be radyasyonuna ait mukayeseli ODK değerlendirilmesi gösterilmektedir.



Şekil 6.17 : Çalışılan tüm malzemelerin Cs-137, Co-60 ve Pu-Be radyasyonuna ilişkin olarak ODK karşılaştırılması.



7. DENEYSEL MALZEMELERİN KSENON İYONLARI İLE IŞINLANMASI VE SRIM SİMÜLASYONU KULLANILARAK SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Malzemelerin radyasyon hasar çalışmalarının değerlendirilmesi, nükleer uygulamalarda kullanılan malzemelerin aşırı radyasyon koşullarına toleransının belirlenmesi temel fizik ve aynı zamanda malzeme mühendisliği bakış açısından son derece önemli bir yer tutmaktadır. Nükleer uygulamalar için malzemelerdeki radyasyon ışınlama hasarları öncelikle fisyon, nükleer reaksiyon ve radyoaktif bozunma olaylarında enerjik parçacıkların üretilmesinden kaynaklanmaktadır.

Enerjik parçacıkların (fisyon ürünleri, hızlı nötronlar, protonlar, alfalar ve geri tepen çekirdekler) balistik çarpışmalar, atom ölçekli hataların üretilmesi ve yeni kimyasal elementlerin ortaya çıkması ile sonuçlanmaktadır (Dryzek, 2017). İyon ışınlamalarının benzersiz etkileri ve hızlı nötronların malzemelerde oluşturduğu değişimleri anlayabilmek adına iyonların kullanılması kritik bir konu olarak nitelenmektedir. Yeni yapısal malzemelerin geliştirilmesi ve nitelendirilmesi, mevcut nükleer test reaktörlerinde veya nötron kaynaklarında elde edilemeyecek kadar yüksek olan nötron dozlarını gerektirmektedir.

Bu bağlamda düşünüldüğünde iyon ışınlamaları malzemedeki oluşacak kusurların araştırılması adına önem arz etmektedir. Nükleer reaktörlerde, teknolojik engellerden bir tanesi de fisyon gazı salınımları olmaktadır. Bu bakımdan, ksenon gaz fisyon ürünlerinin başında gelmektedir. Asal gaz olması sebebiyle, UO_2 'deki düşük çözünürlüklerinin yanı sıra, başka fisyon ürünleriyle de etkileşime girmemeleri nedeniyle ortamda bulunan malzemeler üzerinde radyasyon hasarları oluşmasında etkin bir rol almaktadırlar (Trukhanov, 2019).

Bu Doktora tez çalışmasında, W- % ağırlıkta 6 VC- % ağırlıkta 1 C, WC-% ağırlıkta 6 Co ve 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür (Al_2O_3 - % ağırlıkta 10 B_4C , Al_2O_3 - % ağırlıkta 20 B_4C , Al_2O_3 - % ağırlıkta 30 B_4C) malzemelerin 167 MeV enerjili Xe^{26+} iyonlarıyla farklı doz değerlerinde olmak üzere Ksenon iyon ışınlamaları bölüm 4.2.3'de tanıtilen Rusya/Dubna Joint Institute For Nuclear Research Flerov Nükleer Reaksiyonlar

Labarotuvuarlarında gerçekleştirilmiştir. Malzemelerde oluşan radyasyon hasarlarına bağlı olarak ortaya çıkan etkileşimleri anlayabilmek adına her bir malzemenin Ksenon ışınlamadan önce ve sonra olmak üzere ve her bir doz değeri için ayrı ayrı ve karşılaştırmalı olarak X-ray difraksiyon (XRD) ve Raman spektroskopik analizleri yapılmıştır.

Malzemelerin hızlı ve ağır 167 MeV Xe²⁶⁺ iyon ışınlamaları karşısındaki kristal yapısındaki değişimlerin belirlenmesi adına XRD analizleri yapılırken, malzemelerin yüzeyindeki değişimler hakkında XRD tekniğine göre çok daha hassas sonuçlar veren Raman spektroskopik çalışmalar da gerçekleştirilmiştir.

7.1 W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C Volfram Kompozit Malzemelerde Ksenon İyon Işınlamalarına İlişkin Yapılan alışmalar

Volfram kompozit malzemeler içinde W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemeler ile yapılan deneysel çalışmalar sonucunda hem imalat kolaylığı ve hem de gama radyasyonu ile çalışmalarla daha iyi sonuçlara ulaşılması nedeniyle W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C malzemelerin ne çıktığı grlmştir. Bu bağlamda, bu bölüm içinde malzeme değerlendirilmesi çerçevesinde W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerle çalışılması yoluna gidilmiştir.

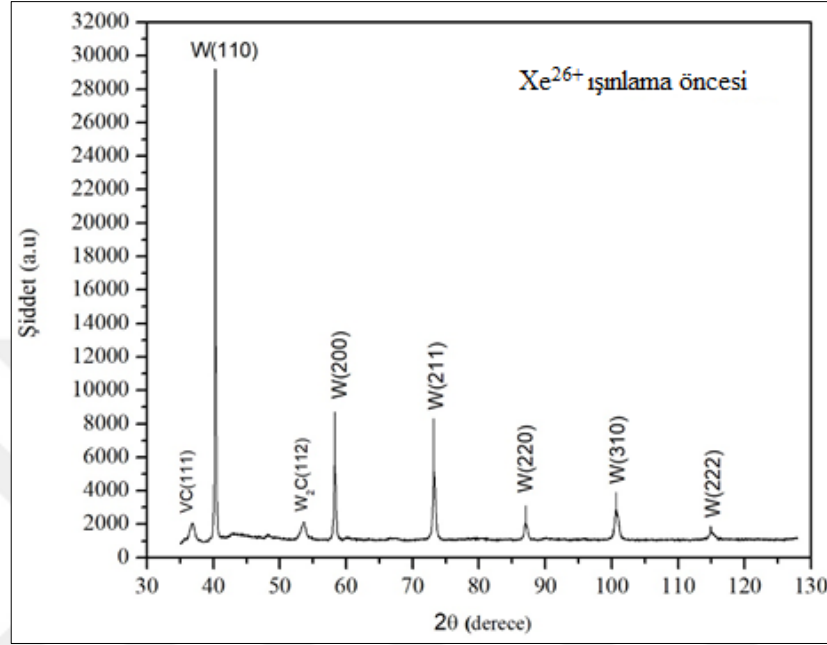
Bölüm 4.1.1'de tanıtılan W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C malzemeler 167 MeV enerjili, 3 farklı dozda, $\phi_1 = 10^{14}$ iyon/cm², $\phi_2 = 3 \times 10^{14}$ iyon/cm², $\phi_3 = 5 \times 10^{14}$ iyon/cm² akısında, oda sıcaklığında olmak üzere ksenon (Xe²⁶⁺) iyonları ile bölüm 4.2.3'de tanıtılan Rusya/Dubna Joint Institue For Nuclear Research Flerov Nükleer Reaksiyonlar Laboratuvarlarında Nano Malzemeler İyonik Görüntüleme ve Radyasyon Malzemesi Bilimi bölümünde ışınlanmıştır. Ksenon iyonlarının volfram kompozit malzemelerde oluşturduğu malzeme farklılıkların tayin edilebilmesi için ksenon iyon ışınlama öncesi ve ışınlama sonrası volfram kompozit malzemelerin XRD ve Raman spektroskopisi analizleri yapılmıştır.

7.1.1 W- 6ağ% VC- 1ağ% C Volfram kompozit malzemelerde Ksenon iyon ışınlamalarına ilişkin XRD sonuçları

Aşağıdaki alt bölümlerde W- 6ağ% VC- 1ağ% C Volfram kompozit malzemeler için 3 farklı ksenon dozunda gerçekleştirilen XRD alışmaları sunulmaktadır.

7.1.1.1 W- 6ağ% VC- 1ağ% C Volfram kompozit malzemelerde Ksenon iyon ışınlama öncesi XRD sonuçları

W- 6ağ% VC- 1ağ% C malzemelerin Xe^{26+} iyon ışınlamaları öncesi XRD analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda şekil 7.1’de XRD sonuçları verilmektedir.



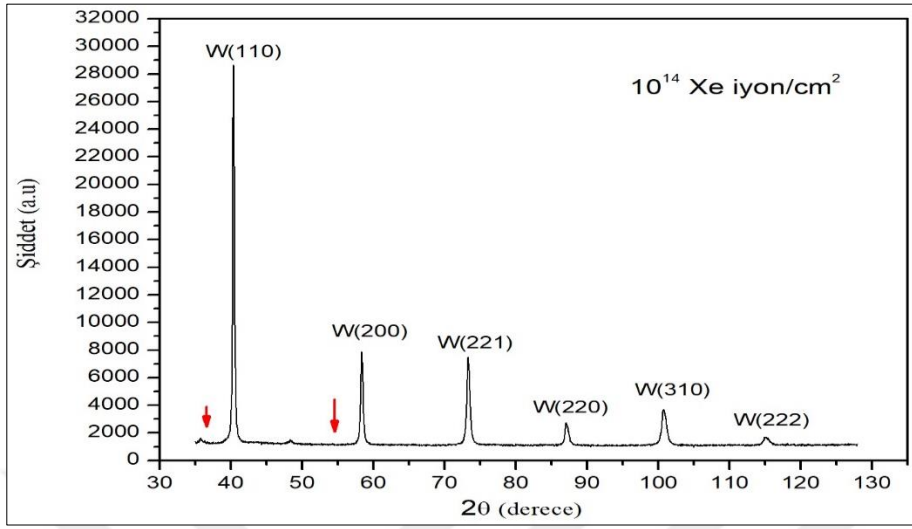
Şekil 7.1 : W-6ağ% VC-1ağ% C kompozit malzemelerin Xe^{26+} ışınlama öncesi XRD analizleri.

Xe^{26+} ışınlanmamış W- 6ağ% VC- 1ağ% C kompozit malzemelerin XRD sonuçları Volfram fazın karakteristik piklerini ortaya çıkarmıştır. Bu bağlamda, Volfram fazları hacim merkezli kübik, $Im3m$ uzay grubunda ve kafes parametresi $a=3,1625 \text{ \AA}$ olarak belirlenmiştir. XRD spektrumunda (110), (200), (211), (220), (310), (222) miller indisleriyle Volfram karakteristik pikleri gösterilmektedir (Powder Diffraction Files: Card No. 04-0806, database edition, The International Centre for Diffraction Data (ICDD)). İlâveten, XRD spektrumunda $2\theta= 36,99^\circ$ ve $53,62^\circ$ olmak üzere iki adet düşük şiddette faz tespit edilmiştir. Bu bağlamda yapılan literatür taramasında bu piklerin sırasıyla VC ve W_2C fazlarına ait olduğu düşünülmektedir (Herrera, 2000; Dash, 2013).

7.1.1.2 W- 6ağ% VC- 1ağ% C Volfram kompozit malzemelerde 10^{14} Ksenon iyon ışınlamaları sonrasına ilişkin XRD sonuçları

W- 6ağ% VC- 1ağ% C malzemelerin 10^{14} iyon/cm² akısında Xe^{26+} iyonları ile ışınlanması neticesinde malzemenin kristal yapısındaki değişimlerin belirlenebilmesi

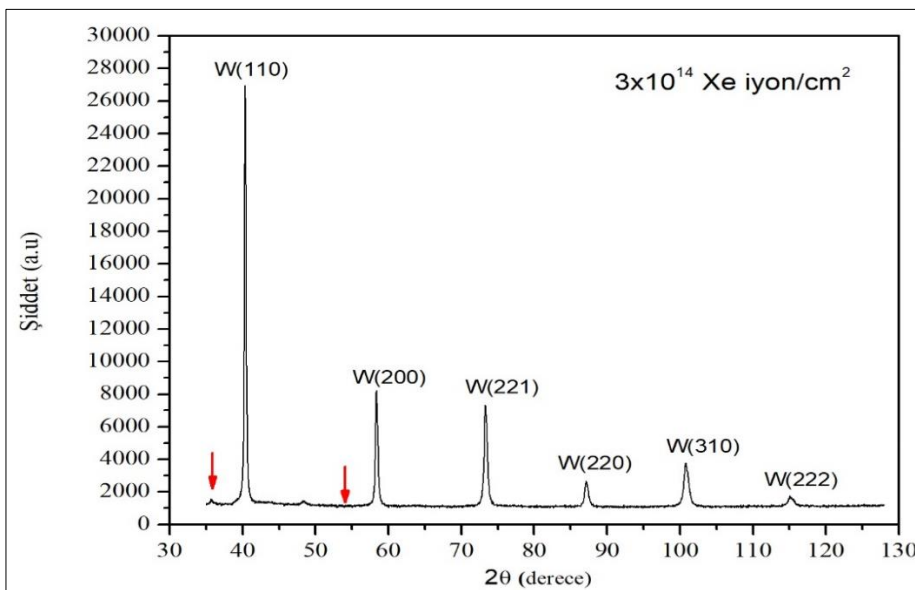
adına XRD analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda şekil 7.2’de XRD sonuçları verilmektedir.



Şekil 7.2 : W-6ağ% VC-1ağ% C kompozit malzemelerin 10^{14} Xe²⁶⁺ iyon/cm² ışınlama sonrası XRD analizleri.

7.1.1.3 W- 6ağ% VC- 1ağ% C Volfram kompozit malzemelerde 3×10^{14} Ksenon iyon ışınlamaları sonrasına ilişkin XRD sonuçları

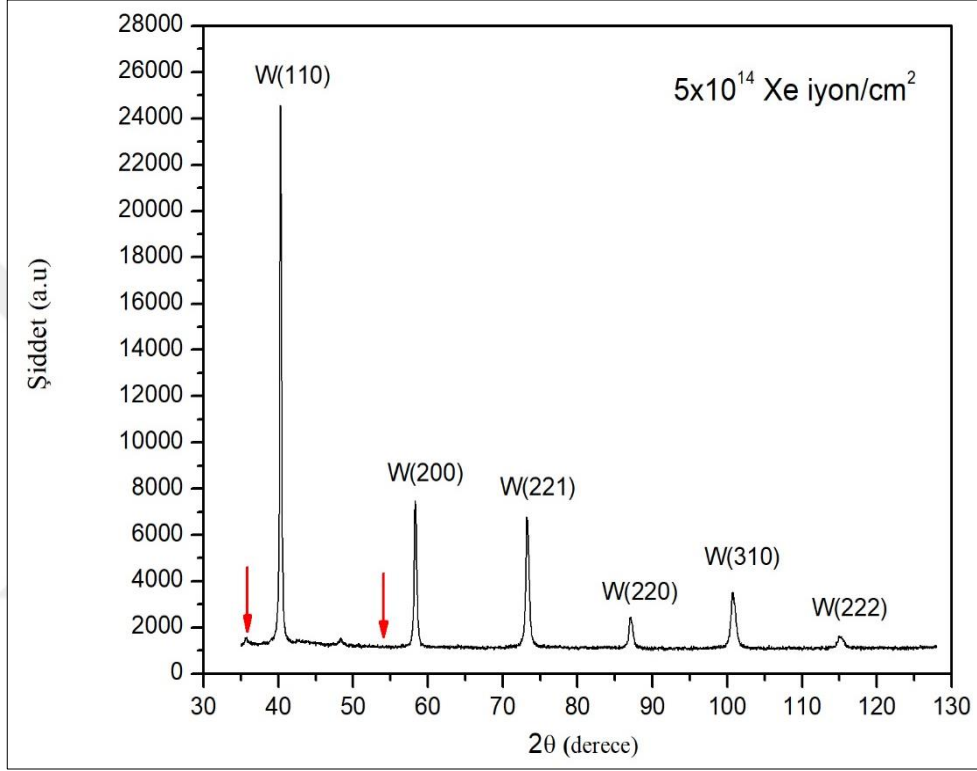
W- 6ağ% VC- 1ağ% C malzemelerin 3×10^{14} iyon/cm² akısında Xe²⁶⁺ iyonları ile ışınlanması neticesinde malzemenin kristal yapısındaki değişimlerin belirlenebilmesi adına XRD analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda şekil 7.3’de XRD sonuçları verilmektedir.



Şekil 7.3 : W-6ağ% VC-1ağ% C kompozit malzemelerin 3×10^{14} Xe²⁶⁺ iyon/cm² ışınlama sonrası XRD analizleri.

7.1.1.4 W- 6ağ% VC- 1ağ% C Volfram kompozit malzemelerde 5×10^{14} Ksenon iyon ışınlamalarına ilişkin XRD sonuçları

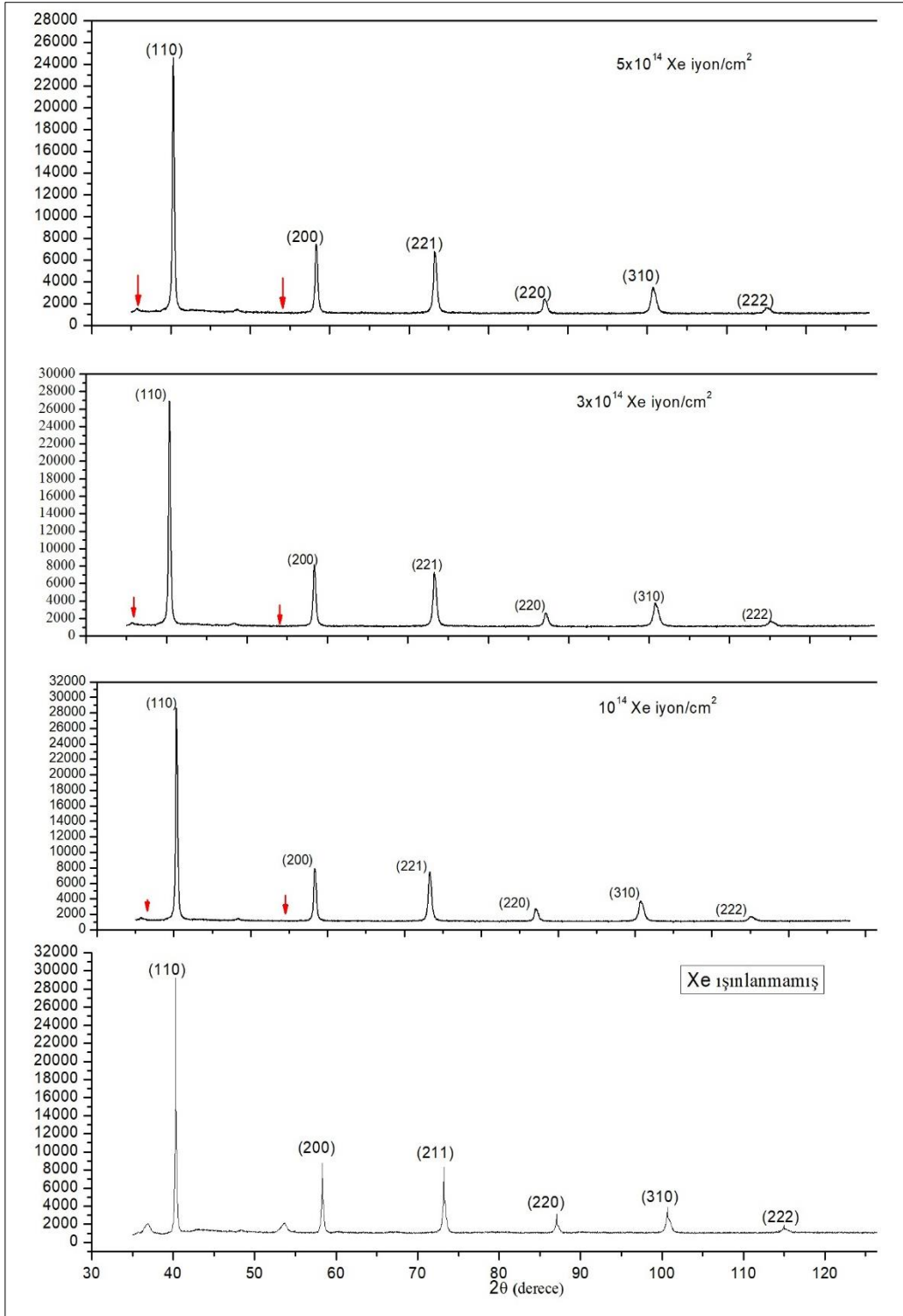
W- 6ağ% VC- 1ağ% C malzemelerin 5×10^{14} iyon/cm² akısında Xe²⁶⁺ iyonları ile ışınlanması neticesinde malzemenin kristal yapısındaki değişimlerin belirlenebilmesi adına XRD analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda şekil 7.4'de XRD sonuçları verilmektedir.



Şekil 7.4 : W-6ağ% VC-1ağ% C kompozit malzemelerin 5×10^{14} Xe²⁶⁺ iyon/cm² ışınlama sonrası XRD analizleri.

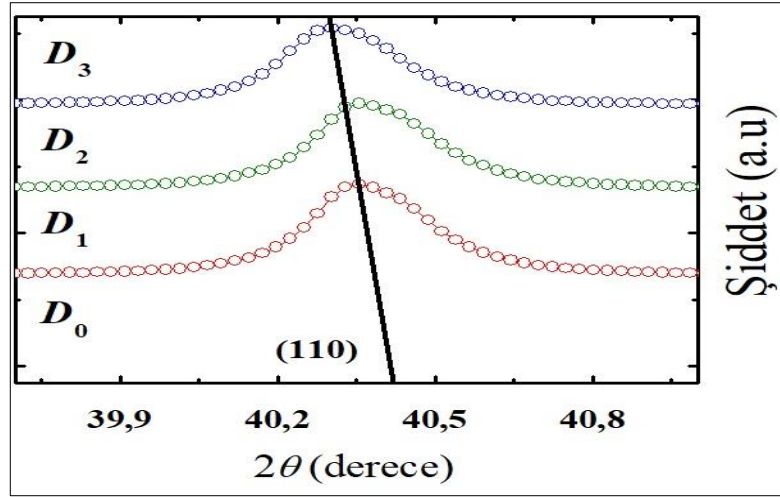
7.1.1.5 W- 6ağ% VC- 1ağ% C Volfram kompozit malzemelerde Ksenon iyon ışınlamaları sonrasına ilişkin karşılaştırmalı XRD sonuçları

W- 6ağ% VC- 1ağ% C malzemelerin $\phi_1 = 10^{14}$ iyon/cm², $\phi_2 = 3 \times 10^{14}$ iyon/cm², $\phi_3 = 5 \times 10^{14}$ iyon/cm² akısında Xe²⁶⁺ iyonları ile ışınlanması neticesinde malzemenin kristal yapısındaki değişimlerin belirlenebilmesi adına XRD analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda şekil 7.5'de Xe²⁶⁺ ışınlanmış ve ışınlanmamış Volfram kompozit malzemelerin XRD sonuçları karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir. X-ışını kırınım analizine göre, farklı dozda Xe²⁶⁺ iyon ışınlanmış malzemelerin diffraksiyon piklerinin artan ışınlama dozu ile beraber şiddetinin azaldığı ve küçük açılı bölgelere kaymaların olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 7.5 : W-% ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Xe iyon ışınlamaları öncesi ve sonrası karşılaştırılmalı XRD analizleri.

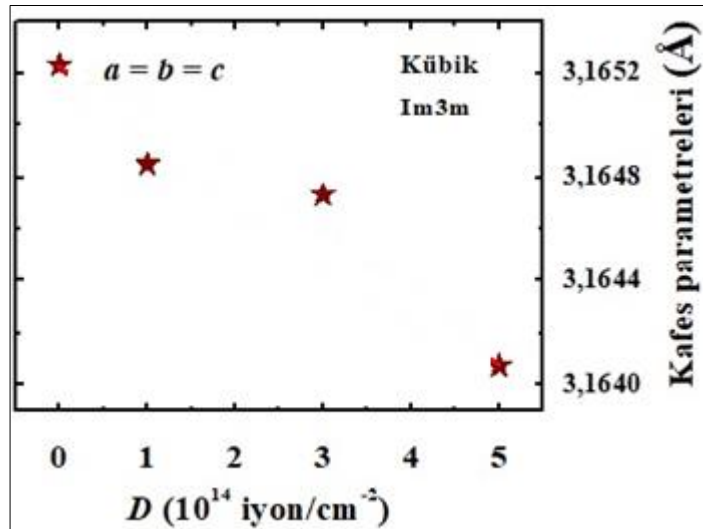
Şekil 7.6’da maksimum Volfram pikinin artan ışınlama dozuyla beraber küçük açılara doğru kaydığı gösterilmektedir. Maksimum piklerin küçük açılara doğru kayması Xe iyon ışınlamaları sonrası atomların düzlemsel mesafelerinin arttığını göstermektedir (Trukhanov, 2019).



Şekil 7.6 : W-% ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin maksimum volfram piklerinin Xe²⁶⁺ iyon ışınlama dozuna bağlı olarak karşılaştırılmalı XRD analizleri.

Xe²⁶⁺ iyonları ile ışınlanmamış W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C numunelerde başlangıçta 36° ve 52°'de bulunan VC (111) ve W₂C (112) fazları artan ışınlama dozuyla beraber amorflaşma eğilimi göstermiştir.

W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C malzemelerin üç farklı $\phi_1 = 10^{14}$ iyon/cm², $\phi_2 = 3 \times 10^{14}$ iyon/cm², $\phi_3 = 5 \times 10^{14}$ iyon/cm² akısında Xe²⁶⁺ iyonları ile ışınlanmasına bağlı olarak kafes parametreleri (Rietveld Metot ile) hesaplanmıştır. Bu bağlamda volfram kompozit malzemelerin Xe²⁶⁺ iyon dozuna bağlı olarak kafes parametrelerindeki değişimi şekil 7.7'de gösterilmektedir.



Şekil 7.7 : W-% ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin kafes parametrelerinin Xe²⁶⁺ iyon ışınlama dozuna bağlı olarak değişiminin gösterimi.

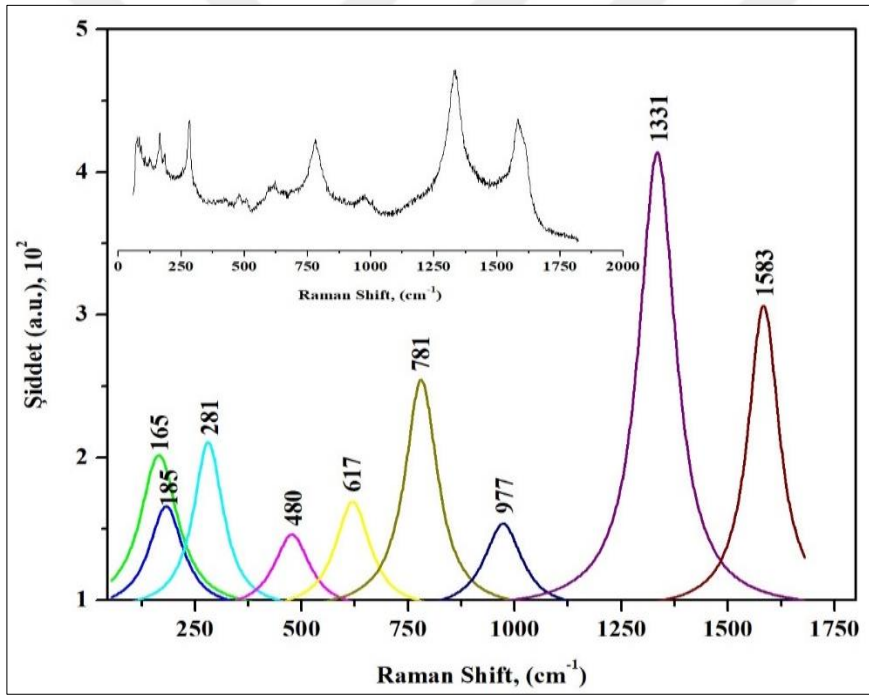
Deneysel sonuçlardan hareketle artan Xe²⁶⁺ iyon dozuyla beraber malzemelerin kafes parametrelerinin dinamiği gösterilmektedir.

7.1.2 W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C Volfram kompozit malzemelerde Ksenon iyon ışınlamalarına ilişkin Raman spektroskopisi sonuçları

W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C malzemeler oda sıcaklığında; 167 MeV enerjili, 3 farklı dozda $\phi_1 = 10^{14}$ iyon/cm², $\phi_2 = 3 \times 10^{14}$ iyon/cm², $\phi_3 = 5 \times 10^{14}$ iyon/cm² olmak üzere Xe²⁶⁺ iyonları ile ışınılandıktan sonra Xe²⁶⁺ iyonlarının malzemede oluşturabileceği farklılıklar Raman spektroskopisi yardımıyla araştırılmıştır.

7.1.2.1 W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C Volfram kompozit malzemelerde Ksenon iyon ışınlama öncesi Raman spektroskopisi sonuçları

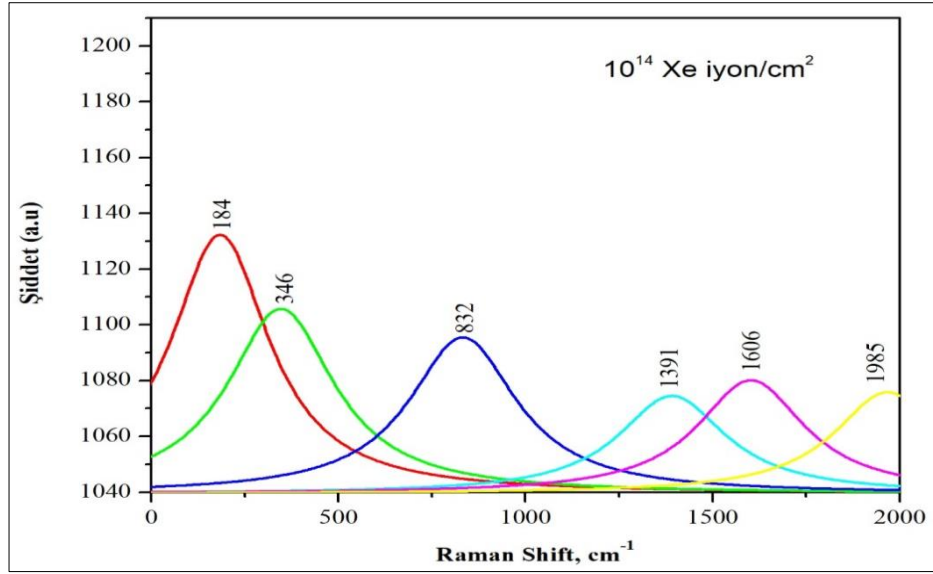
W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C malzemelerin Xe²⁶⁺ iyon ışınlamaları öncesi Raman spektroskopisi analizleri He-Ne lazer (633 nm) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda Şekil 7.8'de malzemelerin Raman spektroskopisi sonuçları verilmektedir.



Şekil 7.8 : W-% ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin Xe²⁶⁺ iyon ışınlama öncesi Raman spektroskopisi analizleri.

7.1.2.2 W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C Volfram kompozit malzemelerde 10¹⁴ Ksenon iyon ışınlamalarına ilişkin Raman spektroskopisi sonuçları

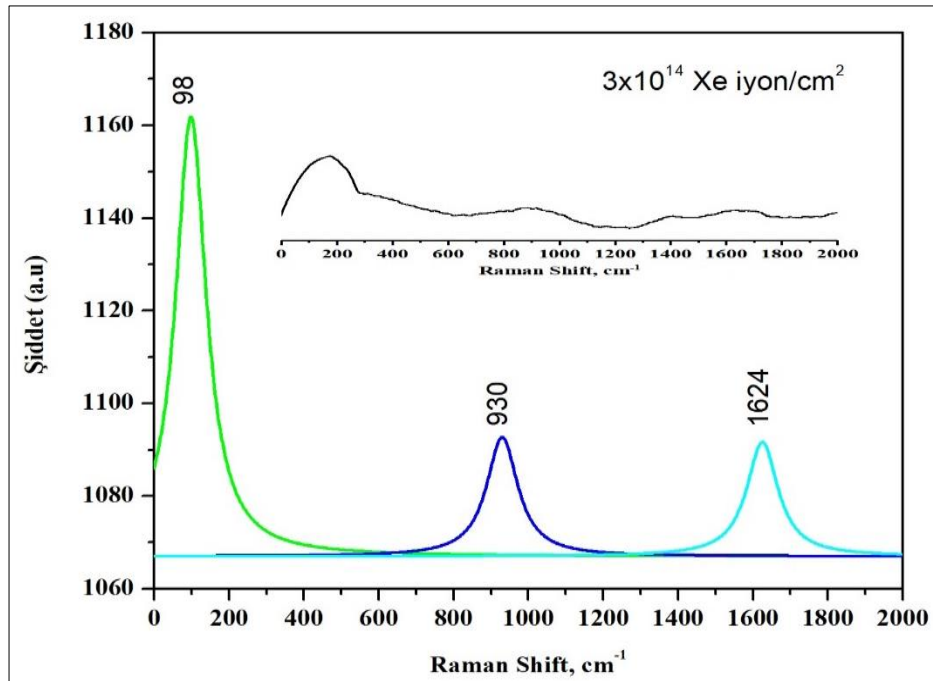
W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C malzemelerin 10¹⁴ iyon/cm² akısında Xe²⁶⁺ iyonları ile ışınlanması neticesinde malzemenin kristal yapısındaki değişimlerin belirlenebilmesi adına Raman spektroskopisi analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda Şekil 7.9'da malzemelerin Raman spektroskopisi sonuçları verilmektedir.



Şekil 7.9 : W-% ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin 10¹⁴ Xe iyon/cm² ışınlatma sonrası Raman spektroskopisi analizleri.

7.1.2.3 W- 6ağ% VC- 1ağ% C Volfram kompozit malzemelerde 3x10¹⁴ Ksenon iyon ışınlatmalarına ilişkin Raman spektroskopisi sonuçları

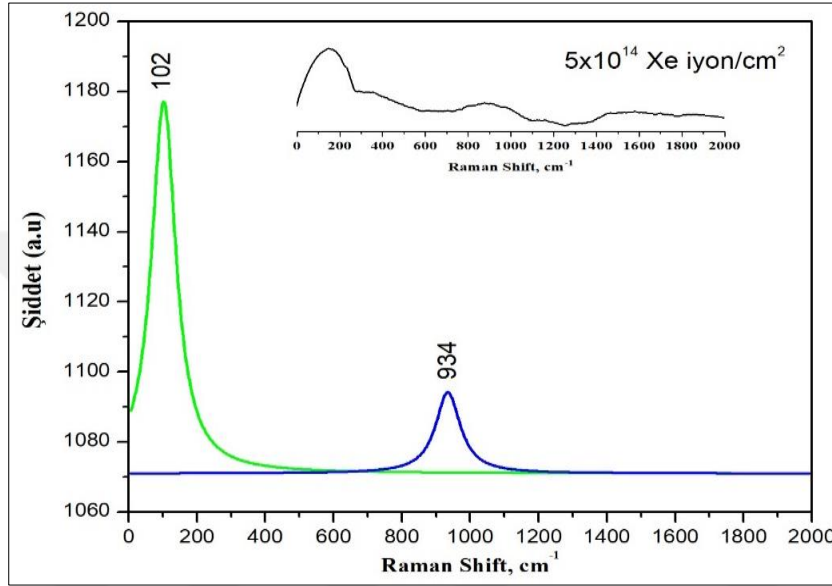
W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C malzemelerin 3x10¹⁴ iyon/cm² akısında Xe²⁶⁺ iyonları ile ışınlanması neticesinde malzemenin kristal yapısındaki değişimlerin belirlenebilmesi adına Raman spektroskopisi analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda şekil 7.10'da malzemelerin Raman spektroskopisi sonuçları verilmektedir.



Şekil 7.10 : W-% ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin 3x10¹⁴ Xe²⁶⁺ iyon/cm² ışınlatma sonrası Raman spektroskopisi analizleri.

7.1.2.4 W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C Volfram kompozit malzemelerde 5×10^{14} Ksenon iyon ışınlamalarına ilişkin Raman spektroskopisi sonuçları

W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C malzemelerin 5×10^{14} iyon/cm² akısında Xe²⁶⁺ iyonları ile ışınlanması neticesinde malzemenin kristal yapısındaki değişimlerin belirlenebilmesi adına Raman spektroskopisi analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda şekil 7.11’de malzemelerin Raman spektroskopisi sonuçları verilmektedir.



Şekil 7.11 : W-% ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin 5×10^{14} Xe²⁶⁺ iyon/cm² ışınlama sonrası Raman spektroskopisi analizleri.

7.1.2.5 W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerde Ksenon iyon ışınlamaları sonrasına ilişkin karşılaştırmalı Raman spektroskopisi sonuçları

Raman spektroskopisi atomların kafes yapılarındaki titreşimsel modlara bağlı olarak molekülleri tanımlamak için kullanılan bir lazer tekniğidir.

Bununla birlikte, Raman spektrumlarının yorumlanması, ölçülen spektrumların referans spektrumlarla karşılaştırılmasına dayanmaktadır. İlave edilmelidir ki, spektrumda birbirine çok yakın olan pikler, birden farklı faz durumlarına karşılık gelebilir ve bu sebepten spektrumda özellikle keskin olmayan pikler için belirli bir kristal faz durumundan söz etmek doğru değildir.

Işınlanmamış W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C malzemelerin Raman spektroskopik analizlerinde 165 (o) cm⁻¹, 185 (o) cm⁻¹, 281 (g) cm⁻¹, 480 (z) cm⁻¹, 617 (z) cm⁻¹, 781 (g) cm⁻¹, 977 (z) cm⁻¹, 1331 (çg) cm⁻¹ ve 1583 (çg) cm⁻¹ frekansında olmak üzere 9 ana pike sahip olduğu görülmüştür. Bu pikleri kendi aralarında zayıf (z), orta (o), güçlü (g)

ve çok güçlü (çg) olarak tanımlamak mümkün olmaktadır. Bu bağlamda spektrumda, 1331 cm^{-1} ve 1583 cm^{-1} olmak üzere iki çok güçlü pik ortaya çıkmaktadır (Demir, 2019). Bu bantlar $\sim 1330\text{-}1350 \text{ cm}^{-1}$, $\sim 1580\text{-}1600 \text{ cm}^{-1}$ aralığında sırasıyla “Disorder graphite (D)” ve “Graphite (G)” olmak üzere karbon bağlarını temsil etmektedir (Urbonaitė, 2008). 1331 cm^{-1} 'de yer alan disorder graphite pikinin görece yüksek şiddetli olması malzemenin yüzeyinde bozulmuş karbon fazlarının bulunduğunu göstermektedir.

617 (z) cm^{-1} ve 781 (g) cm^{-1} pikleri ise WO_2 fazına ait olmaktadır (Frey, 2001). 165 (o) cm^{-1} ve 281 (g) cm^{-1} bulunan iki pik V_6O_{13} fazına ait olduğu düşünülmektedir (Armstrong, 2014). Volfram (W) saf bir metal olarak Raman spektroskopisinde herhangi bir aktivite göstermemektedir (Dash, 2013).

Literatüre göre, Volfram karbür ve Volfram oksit fazlarının Raman spektrumunda 600-900 cm^{-1} aralığında oluştuğu belirlenmiştir. Bu bağlamda, şekil 7.8'de Raman spektrumundan “W-O stretching modes” görülebilir. İlaveten 200-400 cm^{-1} aralığındaki zayıf piklerin Volfram oksit (W-O-W bending modes) fazlarına ait olduğu düşünülmektedir (Baserga, 2007; B.Q.Yang 2008).

Ksenon iyon ışınlanmasıyla beraber W-% ağı. 6 VC- % ağı. 1 C kompozit malzemelerin başlangıçtaki faz durumlarından bir kısmını kaybettiğini ve yeni faz durumlarının ortaya çıktığı görülmektedir. Bu durumda başlangıçtaki bazı kristal fazların artan ksenon iyon ışınlanmasıyla beraber amorfılaştığı sonucuna ulaşabilmektedir. En yüksek ksenon iyon ışınlama dozunda ($5 \times 10^{14} \text{ Xe}^{26+} \text{ iyon/cm}^2$) sadece 102 cm^{-1} ve 934 cm^{-1} frekansında olmak üzere iki ana pik dedekte edilmiştir. Yapılan literatür araştırması sonuçlarına göre bu piklerin sırasıyla WO_3 ve V_3O_7 ait olduğu düşünülmektedir (Shvets, 2019; Reyes, 2010; Regragui, 2000; Wijs, 2001). Oksit fazlarının XRD analizleri sonucu tespit edilememesi fakat Raman spektroskopik analizlerde ortaya çıkmış olması oksit tabakasının volfram kompozit malzemelerinin yüzeyinde çok ince bir yapıda olduğu şeklinde yorumlanmaktadır.

7.2 321 Paslanmaz Çelik üzerine Alümina Bor Karbür Kaplama Malzemelerde Ksenon İyon Işınlamalarına İlişkin Yapılan Çalışmalar

Bölüm 4.1.2'de tanıtılan 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama kompozit malzemelerle (Al_2O_3 - % ağı. 10 B_4C kaplamaları, Al_2O_3 - % ağı. 20 B_4C

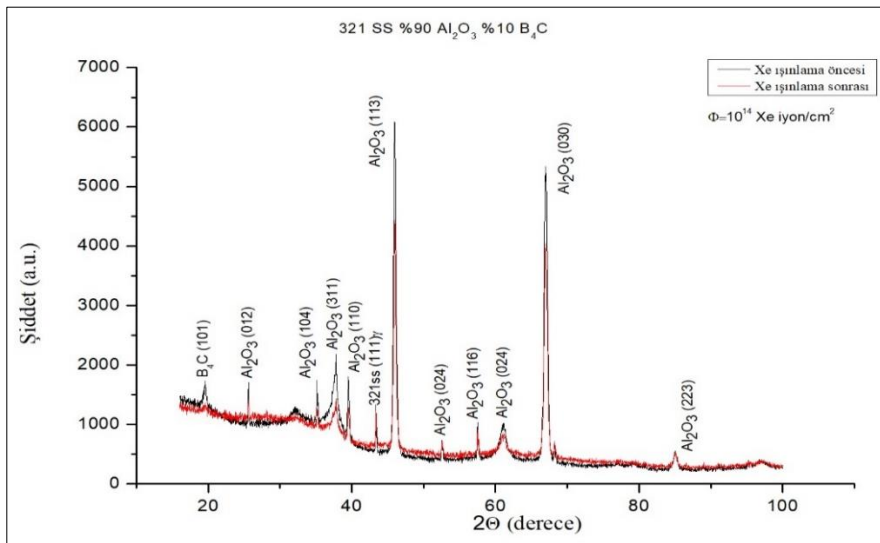
kaplamaları ve Al₂O₃- % ağ. 30 B₄C kaplamaları) Xe²⁶⁺ iyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Kompozit malzemeler 167 MeV enerjili, $\Phi_1 = 10^{14}$ iyon/cm² akısında ve oda sıcaklığında olmak üzere Xe²⁶⁺ iyonları ile bölüm 4.2.3’de tanıtılan Rusya/Dubna Joint Institute For Nuclear Research Flerov Nükleer Reaksiyonlar Laboratuvarlarında Nano Malzemeler İyonik Görüntüleme ve Radyasyon Malzemesi Bilimi bölümünde ışınlanmıştır. Xe²⁶⁺ iyonlarının Alümina bor karbür kaplama malzemelerde oluşturduğu malzeme farklılıklarının tayin edilebilmesi için Xe²⁶⁺ iyon ışınlama öncesi ve ışınlama sonrası olarak malzemelerin XRD ve Raman spektroskopisi analizleri ortaya konmuştur.

7.2.1 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemelerde Ksenon iyon ışınlamalarına ilişkin XRD sonuçları

Aşağıdaki alt bölümlerde 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemeler için 10^{14} Xe²⁶⁺ iyon/cm² akısında gerçekleştirilen iyon ışınlamalarının XRD analizleri sunulmaktadır.

7.2.1.1 321 paslanmaz çelik üzerine Al₂O₃- % ağ. 10 B₄C kaplama malzemelerin Xe iyon ışınlama öncesi ve sonrası XRD sonuçları

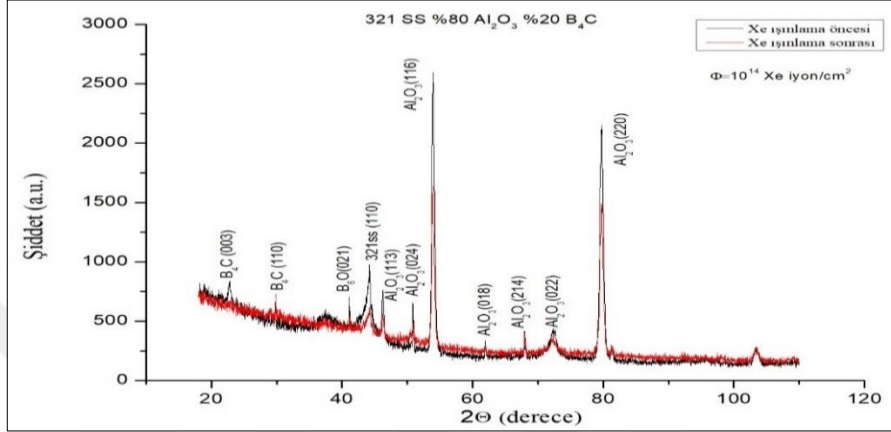
321 paslanmaz çelik üzerine Al₂O₃- % ağ. 10 B₄C malzemelerin 10^{14} iyon/cm² akısında Xe²⁶⁺ iyonları ile ışınlanması neticesinde malzemenin kristal yapısındaki değişimlerin belirlenebilmesi adına XRD analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda şekil 7.12’de XRD sonuçları verilmektedir.



Şekil 7.12 : 321 paslanmaz çelik Al₂O₃- % ağ. 10 B₄C malzemelerin 10^{14} Xe²⁶⁺ iyon/cm² ışınlanması neticesinde elde edilen XRD analizleri.

7.2.1.2 321 paslanmaz çelik üzerine Al₂O₃- % ağ. 20 B₄C kaplama malzemelerin Xe iyon ışınlama öncesi ve sonrası XRD sonuçları

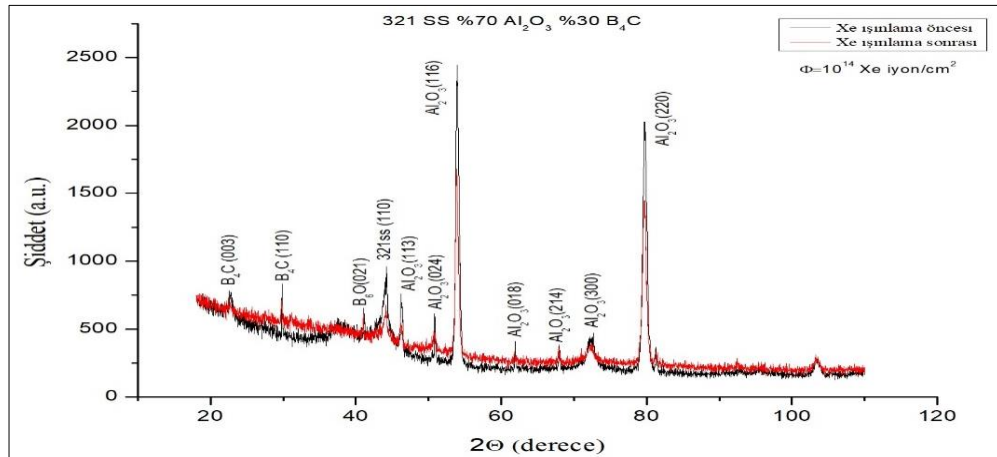
321 paslanmaz çelik üzerine Al₂O₃- % ağ. 20 B₄C malzemelerin 10¹⁴ iyon/cm² akısında Xe²⁶⁺ iyonları ile ışınlanması neticesinde malzemenin kristal yapısındaki değişimlerin belirlenebilmesi adına XRD analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda şekil 7.13'de XRD sonuçları verilmektedir.



Şekil 7.13 : 321 paslanmaz çelik Al₂O₃- % ağ. 20 B₄C malzemelerin 10¹⁴ Xe²⁶⁺ iyon/cm² ışınlanması neticesinde elde edilen XRD analizleri.

7.2.1.3 321 paslanmaz çelik üzerine Al₂O₃- % ağ. 30 B₄C kaplama malzemelerin Xe iyon ışınlama öncesi ve sonrası XRD sonuçları

321 paslanmaz çelik üzerine Al₂O₃- % ağ. 30 B₄C malzemelerin 10¹⁴ iyon/cm² akısında Xe²⁶⁺ iyonları ile ışınlanması neticesinde malzemenin kristal yapısındaki değişimlerin belirlenebilmesi adına XRD analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda şekil 7.14'de XRD sonuçları verilmektedir.



Şekil 7.14 : 321 paslanmaz çelik Al₂O₃- % ağ. 30 B₄C malzemelerin 10¹⁴ Xe iyon/cm² ışınlanması neticesinde elde edilen XRD analizleri.

7.2.1.4 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemelerde Ksenon iyon ışınlamaları sonrasında ilişkin karşılaştırmalı XRD sonuçları

321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama kompozit malzemelerle (Al_2O_3 - % ağı. 10 B_4C kaplamaları, Al_2O_3 - % ağı. 20 B_4C kaplamaları ve Al_2O_3 - % ağı. 30 B_4C kaplamaları) 167 MeV enerjili Xe^{26+} iyonları ile 10^{14} iyon/cm² akısında gerçekleştirilen ışınlamalar neticesinde ışınlama öncesi ve sonrası olmak üzere elde edilen XRD analizleri şekil 7.12, şekil 7.13 ve şekil 7.14’de gösterilmektedir. Al_2O_3 - % ağı. 10 B_4C kaplama malzemeleri için diffraksiyon piklerinin 2θ değerleri 25,54 (012), 35,05 (104), 37,95 (110), 45,82 (113), 52,58 (024), 57,26 (116), 61,13 (024), 66,28 (214), ulaşılan ICDD (International Centre for Diffraction Data) verilerinde α - Al_2O_3 fazı ile çok uygun bir şekilde eşleşmiştir [JCPDS No. 42-1468]. 2θ değeri 19,59’da B_4C (101) ait olduğu sonucuna ulaşılmıştır [JCPD No. 35-0798]. İlâveten, alüminyum-karbür veya alüminyum-bor-karbon fazlarının gözlenmemesi B_4C ve Al_2O_3 partiküllerinin arasında herhangi bir kimyasal reaksiyon olmadığına göstergesi olarak yorumlanabilir. Al_2O_3 - % ağı. 20 B_4C kaplamaları ve Al_2O_3 - % ağı. 30 B_4C kaplamaları Al_2O_3 - % ağı. 10 B_4C ’dan farklı olarak $2\theta=41,02$ değerinde B_6O (021) fazında olmak üzere bor oksidasyonu göstermektedir. Xe^{26+} iyon ışınlaması sonrası alınan XRD sonuçlarında tüm fazların şiddetinde bir azalma meydana gelmiştir.

Tüm kaplama malzemelerde sırasıyla $2\theta= 19,59, 22,80$ ve $22,78$ derecelerinde bulunan B_4C fazının ve bor oksit piklerinin (B_6O , $2\theta= 41,04$ ve $41,05$) Xe^{26+} 10^{14} iyon/cm² akısında gerçekleştirilen ışınlamalar neticesinde amorf hale geldiği söylenebilir. Öte yandan kaplama malzemelerde Al_2O_3 ait güçlü piklerin şiddetin azalması, malzemenin kristallik derecesinin azaldığını göstermektedir.

7.2.2 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemelerde Ksenon iyon ışınlamalarına ilişkin Raman spektroskopisi sonuçları

Bölüm 4.1.2’de tanıtılan 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür malzemelerin 167 MeV enerjili, $\Phi_1 = 10^{14}$ iyon/cm² akısında ve oda sıcaklığında olmak üzere Xe iyonları ile ışınlamaları gerçekleştirilmiştir.

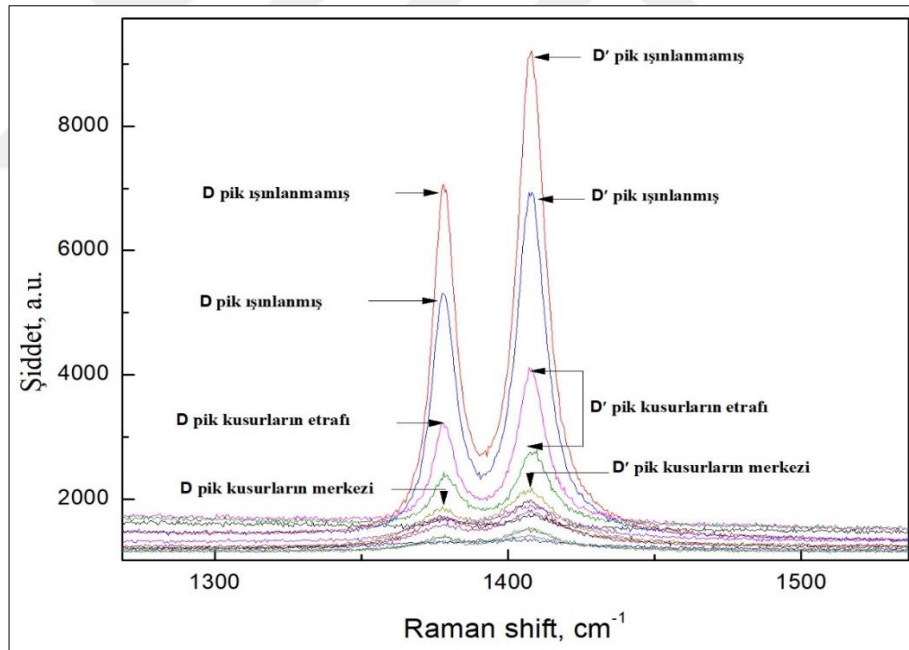
Bu bağlamda, alt bölümlerde Xe^{26+} iyon ışınlamalarına ilişkin Raman spektroskopisi analizleri ışınlama öncesi ve sonrası olmak üzere sunulmaktadır. Daha sonrasında, Xe^{26+} iyonların oluşturduğu kusurların etrafından ve merkezinden Raman spektroskopik analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda malzemenin yüzeyinden,

malzemede oluşan kusurların etrafından ve merkezinden alınan spektroskopik sonuçlar analiz edilmiştir (Mirzayev, 2018).

Literatürde, Raman spektroskopik analizlerde 270, 320, 481, 531, 728, 1000, 1088 cm^{-1} frekanslarında B_4C 'ün karakteristik pikleri ortaya çıkmıştır (Werheit, 2000; Lazzari, 1999). Bor karbürün aksine, farklı kütlece yüzdelerdeki Al_2O_3 kombinasyonlarının Raman pikleri ise 424 ve 514 cm^{-1} frekanslarında gözlenmiştir (Mortensen, 1991; Reddy 2013).

7.2.2.1 321 paslanmaz çelik üzerine Al_2O_3 - % ağı. 10 B_4C kaplama malzemelerin Xe^{26+} iyon ışınlama öncesi ve sonrası Raman spektroskopisi sonuçları

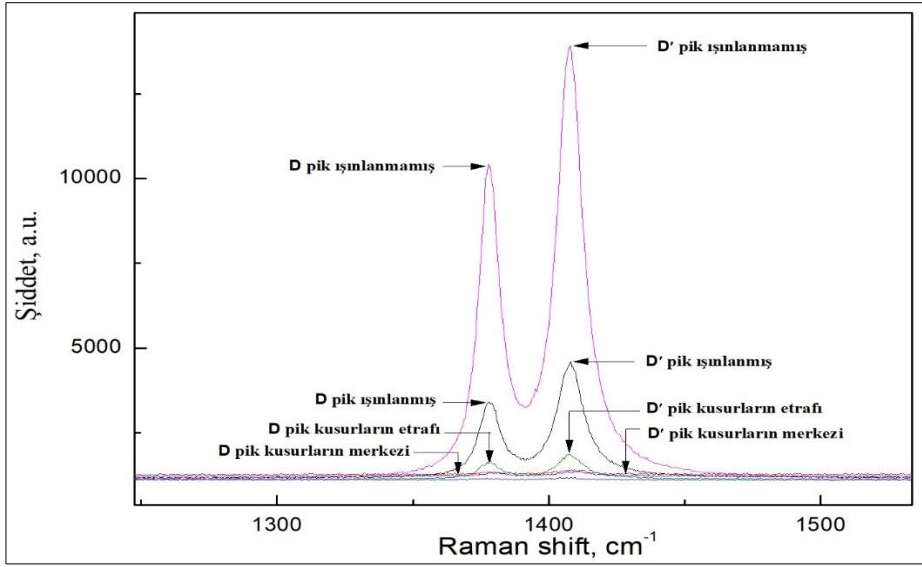
321 paslanmaz çelik üzerine Al_2O_3 - % ağı. 10 B_4C malzemelerin Xe^{26+} iyon ışınlamaları öncesi ve sonrası Raman spektroskopisi analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda şekil 7.15'de malzemelerin Raman spektroskopisi sonuçları ortaya konmaktadır.



Şekil 7.15 : 321 paslanmaz çelik Al_2O_3 - % ağı. 10 B_4C malzemelerin Raman spektroskopik sonuçları.

7.2.2.2 321 paslanmaz çelik üzerine Al_2O_3 - % ağı. 20 B_4C kaplama malzemelerin Xe^{26+} iyon ışınlama öncesi ve sonrası Raman spektroskopisi sonuçları

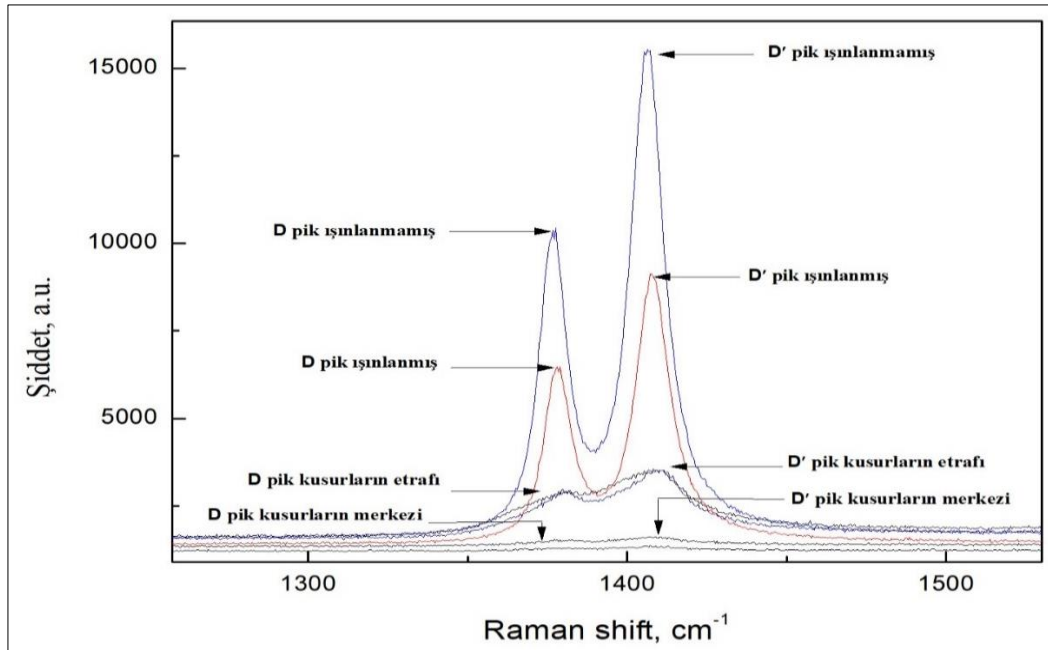
321 paslanmaz çelik üzerine Al_2O_3 - % ağı. 20 B_4C malzemelerin Xe iyon ışınlamaları öncesi ve sonrası Raman spektroskopisi analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda şekil 7.16'de malzemelerin Raman spektroskopisi sonuçları ortaya konmaktadır.



Şekil 7.16 : 321 paslanmaz çelik Al₂O₃- % ağ. 20 B₄C malzemelerin Raman spektroskopik sonuçları.

7.2.2.3 321 paslanmaz çelik üzerine Al₂O₃- % ağ. 30 B₄C kaplama malzemelerin Xe²⁶⁺ iyon ışınlama öncesi ve sonrası Raman spektroskopisi sonuçları

321 paslanmaz çelik üzerine Al₂O₃- % ağ. 30 B₄C malzemelerin Xe²⁶⁺ iyon ışınlamaları öncesi ve sonrası Raman spektroskopisi analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda şekil 7.17'de malzemelerin Raman spektroskopisi sonuçları ortaya konmaktadır.



Şekil 7.17 : 321 paslanmaz çelik Al₂O₃- % ağ. 30 B₄C malzemelerin Raman spektroskopik sonuçları.

7.2.2.4 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama malzemelerde Ksenon iyon ışınlamalarına ilişkin Raman spektroskopisi sonuçlarının değerlendirilmesi

Gelişmiş fiziksel ve kimyasal kararlılık ve yüksek elektiksel direnç nedeniyle, alümina (Al_2O_3), füzyon reaktörlerinde kullanılması düşünülen en önemli aday seramik malzemelerden biri olarak kabul edilir. İlâveten, alümina ayrıca inert yakıt konnektörü ve fisyon reaktörlerinde reaktör bileşeni olarak da kullanılabilir (Yamamoto, 2000; Clinard, 1984). Bu sebepten, radyasyon ışınlamalarının alümina üzerindeki etkileri on yıllardır çalışılmaktadır. Alimünanın nötron ve iyon ışınlamaları altındaki mikroyapısal değişimleri geniş çaplı incelenmiştir (Li, 2019). Bor karbür (B_4C) ise çok zorlu çevre şartlarda, balistik zırh ve nükleer reaktörlerde nötron absorblayıcı malzeme olarak geniş çaplı kullanılmaktadır (Gosset, 2016).

Şimdiye kadar olan çalışmalarda ise Al_2O_3 üzerine ksenon iyon ışınlama etkileri az bir şekilde değerlendirilmiştir (Zirour, 2016). Ksenon büyük bir inert gaz fisyon ürünüdür ve bu bakımdan alümina üzerindeki davranışları incelenmeye değer olmaktadır. Araştırmanın bu kısmında alümina bor karbür kaplama malzemelerin ksenon iyon ışınlama altında mikroyapısı araştırılmıştır.

Deneysel çalışmalarda, ksenon (Xe^{26+}) iyonlarının yaratmış olduğu kusurlar, kafes parametrelerinin dejenere olması Raman spektroskopik analizlerinde görülmektedir. Raman spektroskopik analizlerde $1300-1500\text{ cm}^{-1}$ frekans aralığında yapılan ölçümlerde, ortaya çıkan ana 1376 ve 1406 cm^{-1} pikler C-C bantlarına ait “D” disorder graphite diye isimlendirilen dejenere olmuş karbon fazlarını göstermektedir (Ferrari, 2007). D grup bantlar her zaman 1300 cm^{-1} frekansından sonra ortaya çıkmaktadır ve frekans aralığı $\sim 100\text{ cm}^{-1}$ aralığında değişmektedir (Baldissarelli, 2014). Aynı zamanda, D grup bantlara ait pikler daha çok $1300-1450\text{ cm}^{-1}$ frekans aralığında amorflaşmış C-C bantlarını gösterirler ve kusur (defects) karakterlidir. Yukarı frekanslarda ise $2450-2650\text{ cm}^{-1}$ aralığında G grubuna ait bantlar elde edilmektedir ve C-C bantlarını gösterirler.

Malzemelerin yüzey morfolojisinde ksenon iyonlarının oluşturduğu kusurların merkezinde ve etrafında tamamiyle bir dejenerasyon söz konusu olmaktadır. Raman spektroskopisi metodu, malzemelerin ağır iyon ışınlamalarında uğradığı değişimlerin öğrenilmesi için en üstün metotlardan biri olarak kabul edilmektedir.

7.3 WC – % ağ. 6 Co Kompozit Malzemelerde Ksenon İyon Işınlamalarına İlişkin Yapılan Çalışmalar

Bölüm 4.1.1’de Volfram matrisli kompozit malzemeler başlığı adı altında tanıtılan ve çizelge 4.4’de özellikleri verilen WC- % ağ. 6 Co kompozit malzemeler, 167 MeV enerjili, 4 farklı dozda, $\phi_1 = 5 \times 10^{12}$ iyon/cm², $\phi_2 = 10^{13}$ iyon/cm², $\phi_3 = 5 \times 10^{13}$ iyon/cm², $\phi_4 = 3,38 \times 10^{14}$ iyon/cm² akısında, oda sıcaklığında olmak üzere ksenon (Xe²⁶⁺) iyonları ile bölüm 4.2.3’de tanıtılan Rusya/Dubna Joint Institute For Nuclear Research Flerov Nükleer Reaksiyonlar Laboratuvarlarında Nano Malzemeler İyonik Görüntüleme ve Radyasyon Malzemesi Bilimi bölümünde ışınlanmıştır.

Volfram kompozit malzemeler içinde WC- % ağ. 6 Co kompozit malzemeler ile yapılan deneysel çalışmalar sonucunda (Bölüm 5) hem gama radyasyonu ve hem de nötronlar ile gerçekleştirilen çalışmalarla en iyi sonuçlara ulaşıldığı görülmüştür. Bu nedenle WC- % ağ. 6 Co kompozit malzemelerle, malzeme değerlendirilmesi çerçevesinde çalışılması yoluna gidilmiştir.

Ksenon iyonlarının WC- % ağ. 6 Co kompozit malzemelerde oluşturduğu malzeme farklılıkların tayin edilebilmesi için ksenon iyon ışınlama öncesi ve ışınlama sonrası WC- 6ağ%Co kompozit malzemelerin XRD ve Raman spektroskopisi analizleri yapılmıştır.

7.3.1 WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerde Ksenon iyon ışınlamalarına ilişkin XRD sonuçları

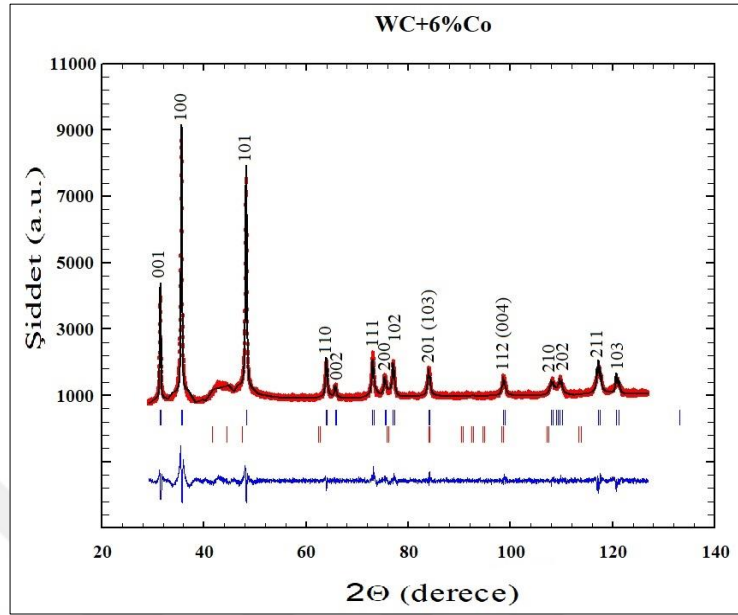
Aşağıdaki alt bölümlerde WC- % ağ. 6 Co Volfram kompozit malzemeler için 4 farklı ksenon dozunda gerçekleştirilen ($\phi_1 = 5 \times 10^{12}$ iyon/cm², $\phi_2 = 10^{13}$ iyon/cm², $\phi_3 = 5 \times 10^{13}$ iyon/cm², $\phi_4 = 3,38 \times 10^{14}$ iyon/cm²) XRD çalışmaları sunulmaktadır.

7.3.1.1 WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerde Ksenon iyon ışınlama öncesi XRD sonuçları

WC- % ağ. 6 Co malzemelerin Xe²⁶⁺ iyon ışınlamaları öncesi XRD analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda şekil 7.18’de XRD sonuçları verilmektedir.

XRD spektrumunda sadece Volfram karbür (kırmızı ile çizilen) ve kobalt (mavi ile çizilen) ait piklere rastlanmıştır. Bu bağlamda WC fazı P6m2 uzay grubuna ve a=b= 2,9086, c= 2,8393; ve $\alpha=\beta=90^\circ$; $\gamma=120^\circ$ kafes parametrelerine sahiptir. Kobalt fazı ise

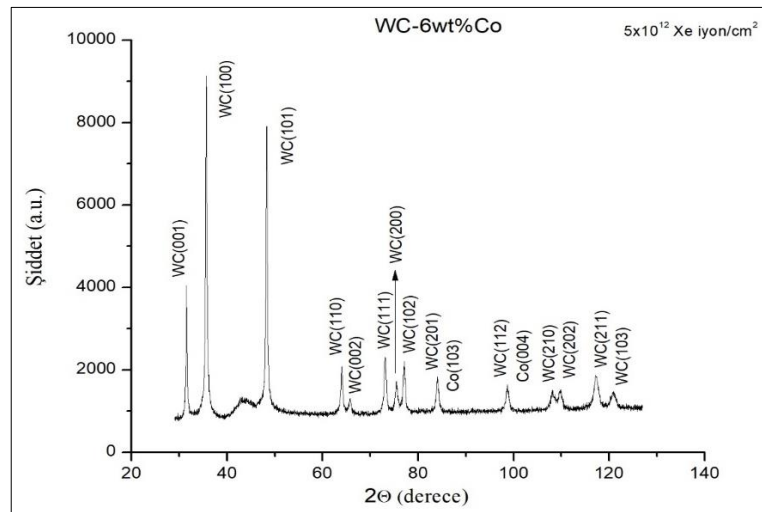
P 63/mmc, a=b=2,5058; c= 4,0737; $\alpha=\beta=90^\circ$; $\gamma=120^\circ$, kafes parametrelerine sahip olmaktadır.



Şekil 7.18 : WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerin Xe^{26+} ışınlama öncesi XRD analizleri.

7.3.1.2 WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerde 5×10^{12} Ksenon iyon ışınlamaları sonrasında ilişkin XRD sonuçları

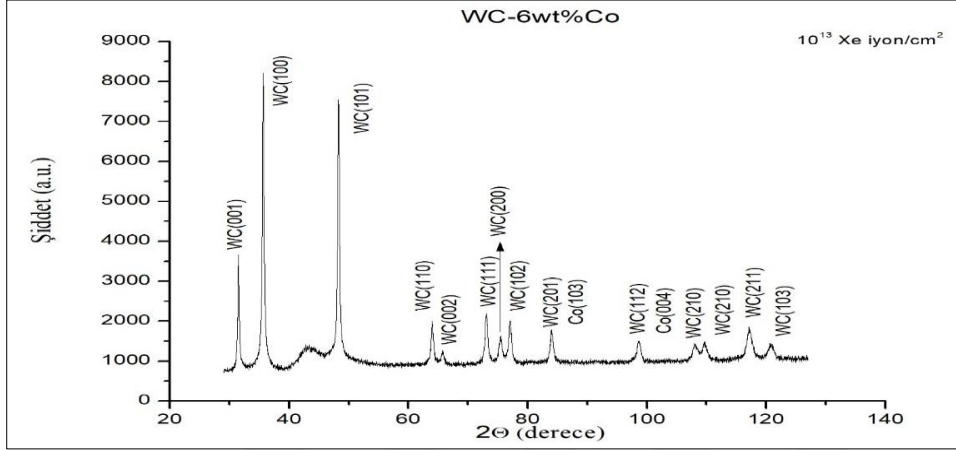
WC-% ağ. 6 Co malzemelerin 5×10^{12} iyon/cm² akısında Xe^{26+} iyonları ile ışınlanması neticesinde malzemenin kristal yapısındaki değişimlerin belirlenebilmesi adına XRD analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda şekil 7.19’da XRD sonuçları verilmektedir.



Şekil 7.19 : WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerin 5×10^{12} Xe^{26+} iyon/cm² ışınlama sonrası XRD analizleri.

7.3.1.3 WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerde 10^{13} Ksenon iyon ışınlamaları sonrasında ilişkin XRD sonuçları

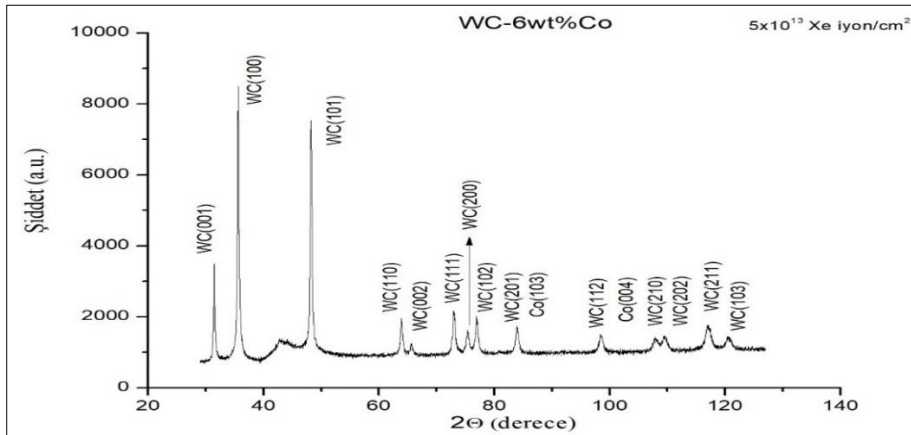
WC-% ağ. 6 Co malzemelerin 10^{13} iyon/cm² akısında Xe²⁶⁺ iyonları ile ışınlanması neticesinde malzemenin kristal yapısındaki değişimlerin belirlenebilmesi adına XRD analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda şekil 7.20’de XRD sonuçları verilmektedir.



Şekil 7.20 : WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerin 10^{13} Xe²⁶⁺ iyon/cm² ışınlama sonrası XRD analizleri.

7.3.1.4 WC-6ağ%Co kompozit malzemelerde 5×10^{13} Ksenon iyon ışınlamaları sonrasında ilişkin XRD sonuçları

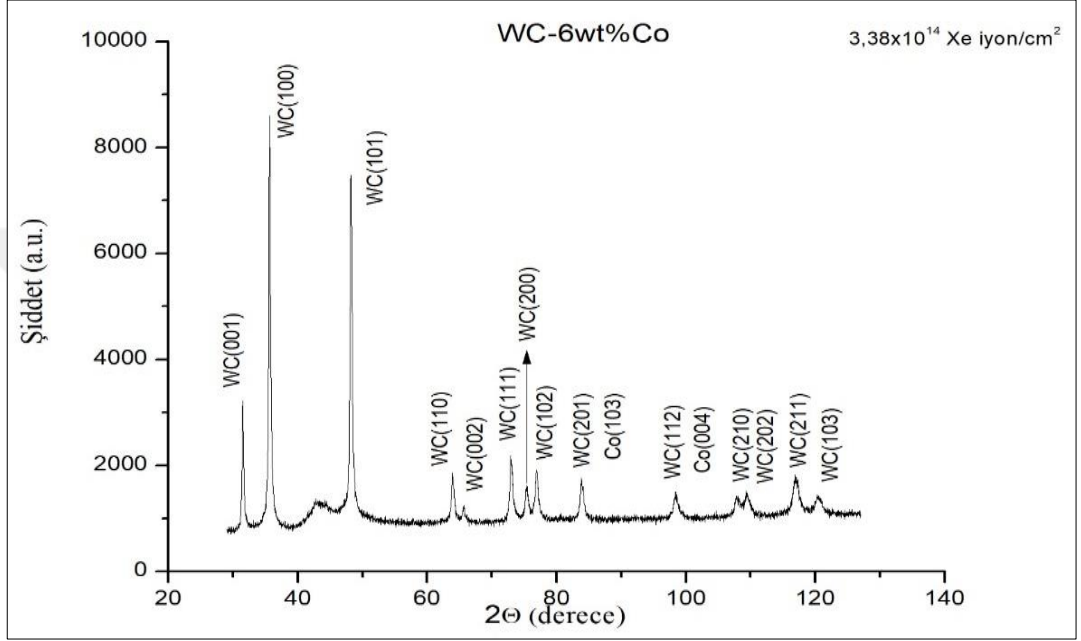
WC-% ağ. 6 Co malzemelerin 5×10^{13} iyon/cm² akısında Xe²⁶⁺ iyonları ile ışınlanması neticesinde malzemenin kristal yapısındaki değişimlerin belirlenebilmesi adına XRD analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda şekil 7.21’de XRD sonuçları verilmektedir.



Şekil 7.21 : WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerin 5×10^{13} Xe²⁶⁺ iyon/cm² ışınlama sonrası XRD analizleri.

7.3.1.5 WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerde $3,38 \times 10^{14}$ Ksenon iyon ışınlamaları sonrasında ilişkin XRD sonuçları

WC-% ağ. 6 Co malzemelerin $3,38 \times 10^{14}$ iyon/cm² akısında Xe²⁶⁺ iyonları ile ışınlanması neticesinde malzemenin kristal yapısındaki değişimlerin belirlenebilmesi adına XRD analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda şekil 7.22’de XRD sonuçları verilmektedir.

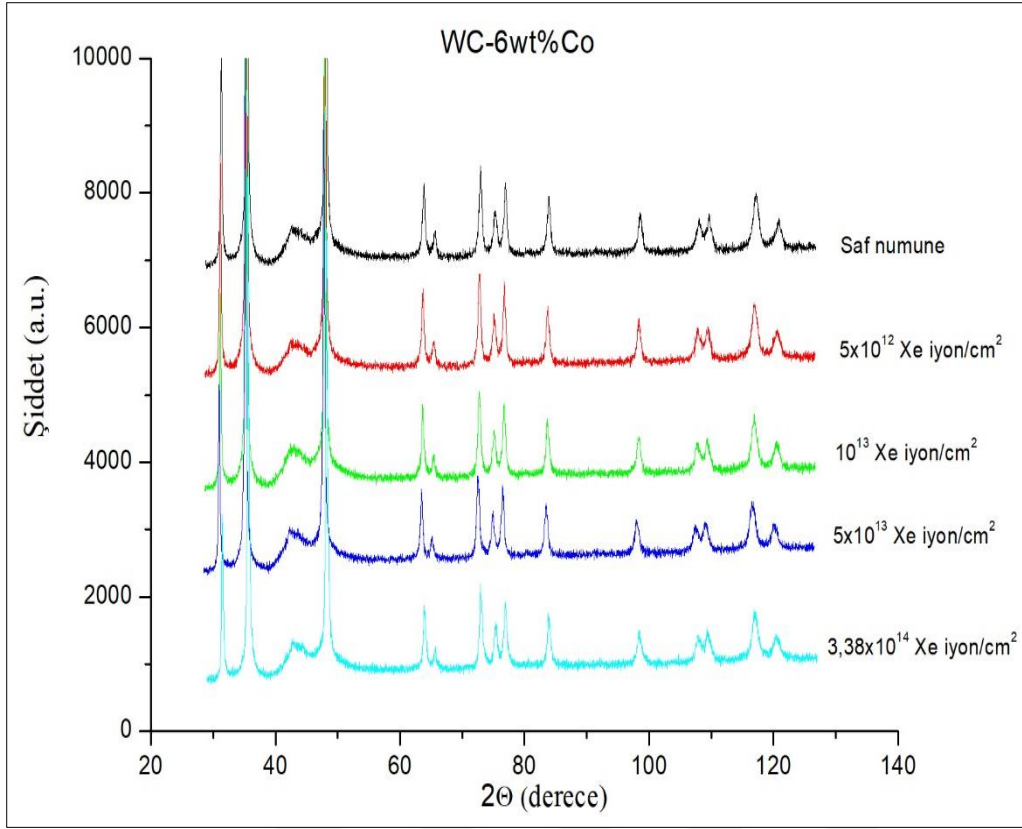


Şekil 7.22 : WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerin $3,38 \times 10^{14}$ Xe²⁶⁺ iyon/cm² ışınlama sonrası XRD analizleri.

7.3.1.6 WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerde Ksenon iyon ışınlamaları sonrasında ilişkin karşılaştırmalı XRD sonuçları

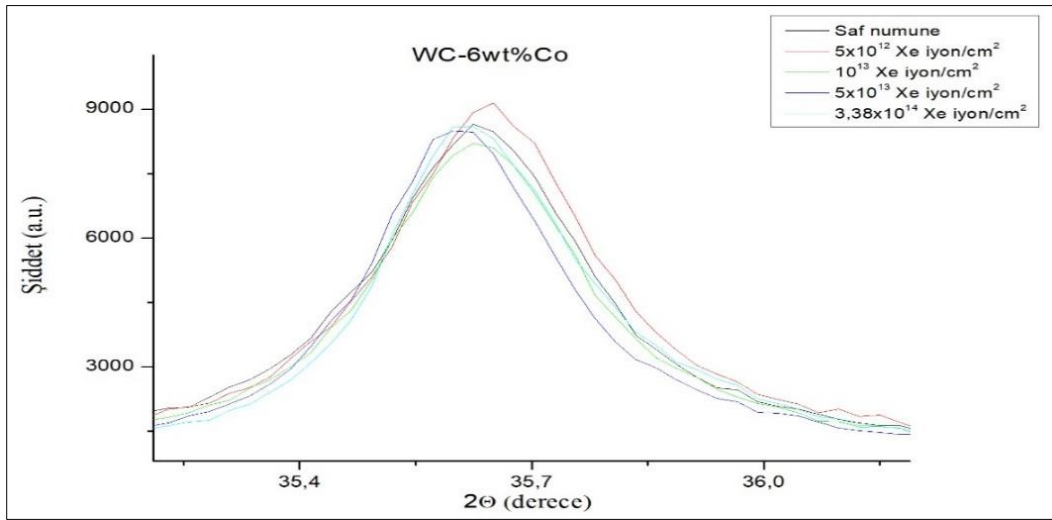
WC-% ağ. 6 Co malzemelerin 167 MeV enerjili ksenon iyonlarıyla 4 farklı dozda $\phi_1 = 5 \times 10^{12}$ iyon/cm², $\phi_2 = 10^{13}$ iyon/cm², $\phi_3 = 5 \times 10^{13}$ iyon/cm², $\phi_4 = 3,38 \times 10^{14}$ iyon/cm² ışınlanması neticesinde malzemenin kristal yapısındaki değişimlerin belirlenebilmesi adına XRD analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda şekil 7.23’de Xe ışınlanmış ve ışınlanmamış WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerin XRD sonuçları karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir.

X-ışını kırınım analizine göre, 4 farklı dozda ksenon iyon ışınlanmış malzemelerin diffraksiyon piklerinin şiddetinin artan ışınlama dozu ile beraber aynı kaldığı tespit edilmektedir. Ksenon ışınlama sonrası WC-% ağ. 6 Co malzemelerde herhangi yeni bir faz durumunun da ortaya çıkmadığı sonuç olarak bahsedilmelidir.



Şekil 7.23 : WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerin Xe^{26+} iyon ışınlamaları öncesi ve sonrası karşılaştırılmalı XRD analizleri.

Şekil 7.24’de maksimum volfram karbür pikinin artan ışınlama dozuyla beraber çok hafif olmak kaydıyla küçük açılara doğru kaydığı gösterilmektedir. Maksimum piklerin küçük açılara doğru kayması ksenon iyon ışınlamaları sonrası atomların düzlemsel mesafelerinin artması olarak yorumlanmaktadır.



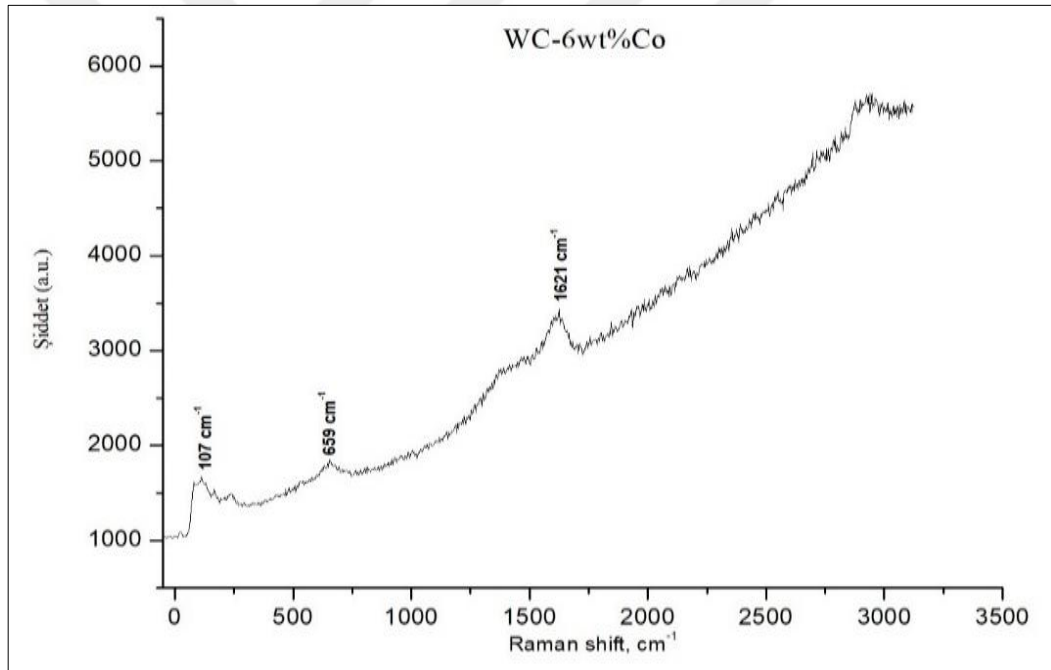
Şekil 7.24 : WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerin maksimum Volfram karbür piklerinin Xe^{26+} iyon ışınlama dozuna bağlı olarak karşılaştırılmalı XRD analizleri.

7.3.2 WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerde Ksenon iyon ışınlamalarına ilişkin Raman spektroskopisi sonuçları

WC-% ağ. 6 Co malzemeler oda sıcaklığında; 167 MeV enerjili, 4 farklı dozda $\phi_1 = 5 \times 10^{12}$ iyon/cm², $\phi_2 = 10^{13}$ iyon/cm², $\phi_3 = 5 \times 10^{13}$ iyon/cm², $\phi_4 = 3,38 \times 10^{14}$ iyon/cm² olmak üzere Xe²⁶⁺ iyonları ile ışlandıktan sonra hızlı ağır iyonların malzemede oluşturabileceği farklılıklar Raman spektroskopisi yardımıyla araştırılmıştır.

7.3.2.1 WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerde Ksenon iyon ışınlama öncesi Raman spektroskopisi sonuçları

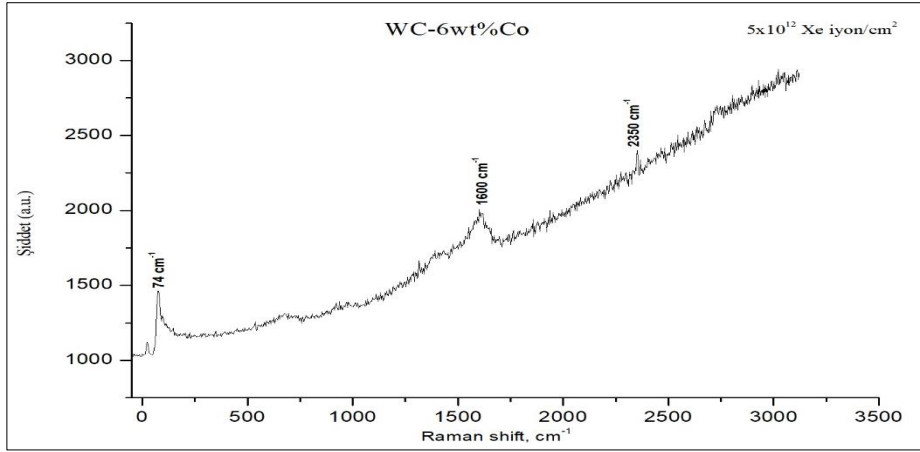
WC-% ağ. 6 Co malzemelerin Xe²⁶⁺ iyon ışınlamaları öncesi Raman spektroskopisi analizleri He-Ne lazer (633 nm) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda şekil 7.25’de malzemelerin Raman spektroskopisi sonuçları verilmektedir.



Şekil 7.25 : WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerin Xe²⁶⁺ iyon ışınlama öncesi Raman spektroskopisi analizleri.

7.3.2.2 WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerde 5×10^{12} Ksenon iyon ışınlamalarına ilişkin Raman spektroskopisi sonuçları

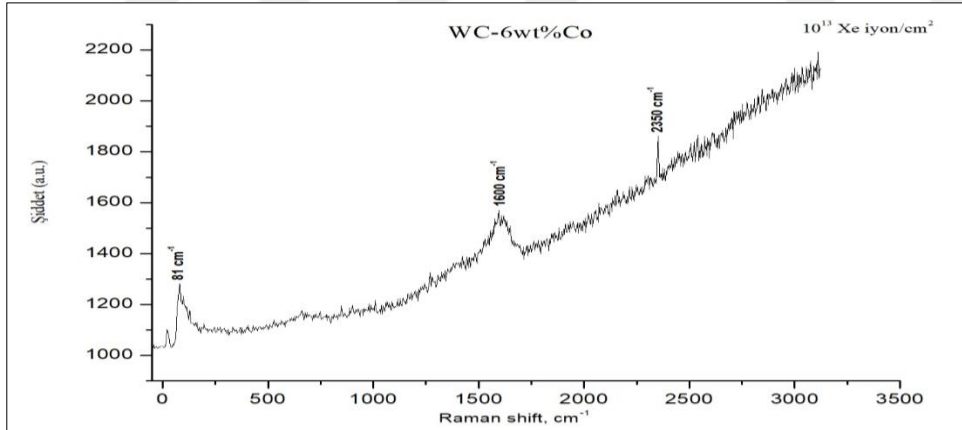
WC-% ağ. 6 Co malzemelerin 5×10^{12} iyon/cm² akısında Xe²⁶⁺ iyonları ile ışınlanması neticesinde malzemenin kristal yapısındaki değişimlerin belirlenebilmesi adına Raman spektroskopisi analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda şekil 7.26’da malzemelerin Raman spektroskopisi sonuçları verilmektedir.



Şekil 7.26 : WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerin 5×10^{12} Xe^{26+} iyon/ cm^2 ışınlama sonrası Raman spektroskopisi analizleri.

7.3.2.3 WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerde 10^{13} Ksenon iyon ışınlamalarına ilişkin Raman spektroskopisi sonuçları

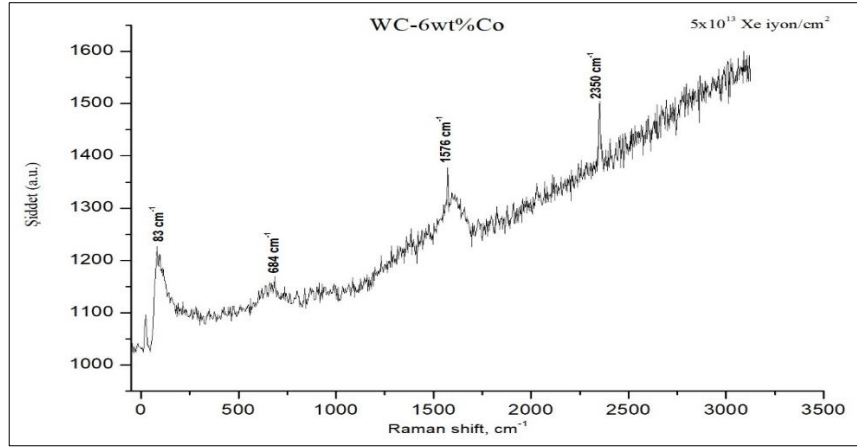
WC-% ağ. 6 Co malzemelerin 10^{13} iyon/ cm^2 akısında Xe^{26+} iyonları ile ışınlanması neticesinde malzemenin kristal yapısındaki değişimlerin belirlenebilmesi adına Raman spektroskopisi analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda şekil 7.27’de malzemelerin Raman spektroskopisi sonuçları verilmektedir.



Şekil 7.27 : WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerin 10^{13} Xe^{26+} iyon/ cm^2 ışınlama sonrası Raman spektroskopisi analizleri.

7.3.2.4 WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerde 5×10^{13} Ksenon iyon ışınlamalarına ilişkin Raman spektroskopisi sonuçları

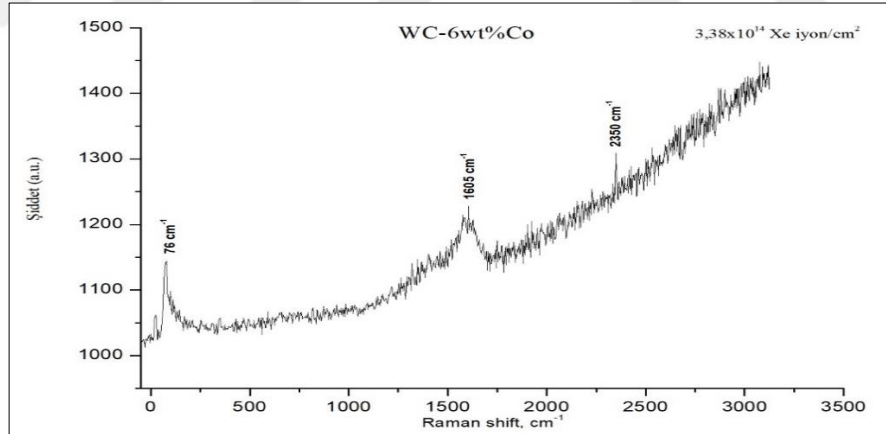
WC-% ağ. 6 Co malzemelerin 5×10^{13} iyon/ cm^2 akısında Xe^{26+} iyonları ile ışınlanması neticesinde malzemenin kristal yapısındaki değişimlerin belirlenebilmesi adına Raman spektroskopisi analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda şekil 7.28’de malzemelerin Raman spektroskopisi sonuçları verilmektedir.



Şekil 7.28 : WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerin 5×10^{13} Xe²⁶⁺ iyon/cm² ışınlatma sonrası Raman spektroskopisi analizleri.

7.3.2.5 WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerde $3,38 \times 10^{14}$ Ksenon iyon ışınlatmalarına ilişkin Raman spektroskopisi sonuçları

WC-% ağ. 6 Co malzemelerin $3,38 \times 10^{14}$ iyon/cm² akısında Xe²⁶⁺ iyonları ile ışınlanması neticesinde malzemenin kristal yapısındaki değişimlerin belirlenebilmesi adına Raman spektroskopisi analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda şekil 7.29'da malzemelerin Raman spektroskopisi sonuçları verilmektedir.

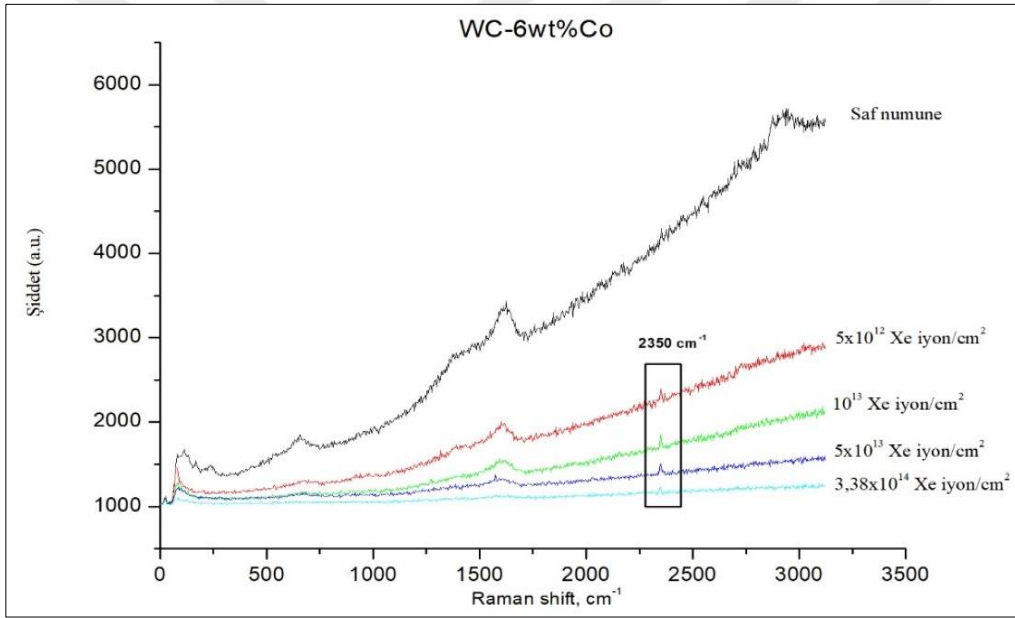


Şekil 7.29 : WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerin $3,38 \times 10^{14}$ Xe²⁶⁺ iyon/cm² ışınlatma sonrası Raman spektroskopisi analizleri.

7.3.2.6 WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerde Ksenon iyon ışınlatmaları sonrasına ilişkin karşılaştırmalı Raman spektroskopisi sonuçları

Bağlayıcısız volfram karbür (WC) sert malzemeler, yüksek mukavemet, yüksek ergime noktası (3422 °C) ve aşınma direnci gerektiren uygulamalarda kullanılır. Özellikle, bağlayıcısız WC diğer karbür malzemelere kıyasla üstün aşınma direnci sunar (Nishimura, 1981; Banerjee, 2011). Volfram karbür'ün mükemmel aşınma

direnci, kesici aletler, işleme aletleri ve aşınmaya dirençli malzemelerle çeşitli endüstrilere uygun şekilde uygulanır (Nahak, 2015; Xiaoyang, 2013). Volfram ve karbürleri, nükleer füzyon reaktörleri ve kompakt küresel reaktörler gibi aşırı çevresel tolerans gerektiren uygulamalar için de geliştirilmektedir (Humphry, 2016). “Sert metaller” olarak adlandırılan bu malzeme ailesi, toz metalürji teknikleri ve sıvı faz sinterlemesi ile üretilir ve 90 yıldan fazla bir süredir kullanılmaktadır (Sarin, 2014). Bu malzemeler sert ve aşınmaya dayanıklı bir faz ile (WC), ve ayrıca daha yumuşak bir sünek fazdan, genellikle kobaltdan oluşur. Bağlayıcı faz olarak adlandırılan kobalt, sert fazları birleştirerek malzemenin yüksek sertliğe, tokluğa ve aşınma direnci gibi özelliklere sahip olmasını sağlar. Şekil 7.30’da WC-% ağ. 6 Co tüm numunelerin farklı ışınlanma dozundaki sonuçları gösterilmektedir.

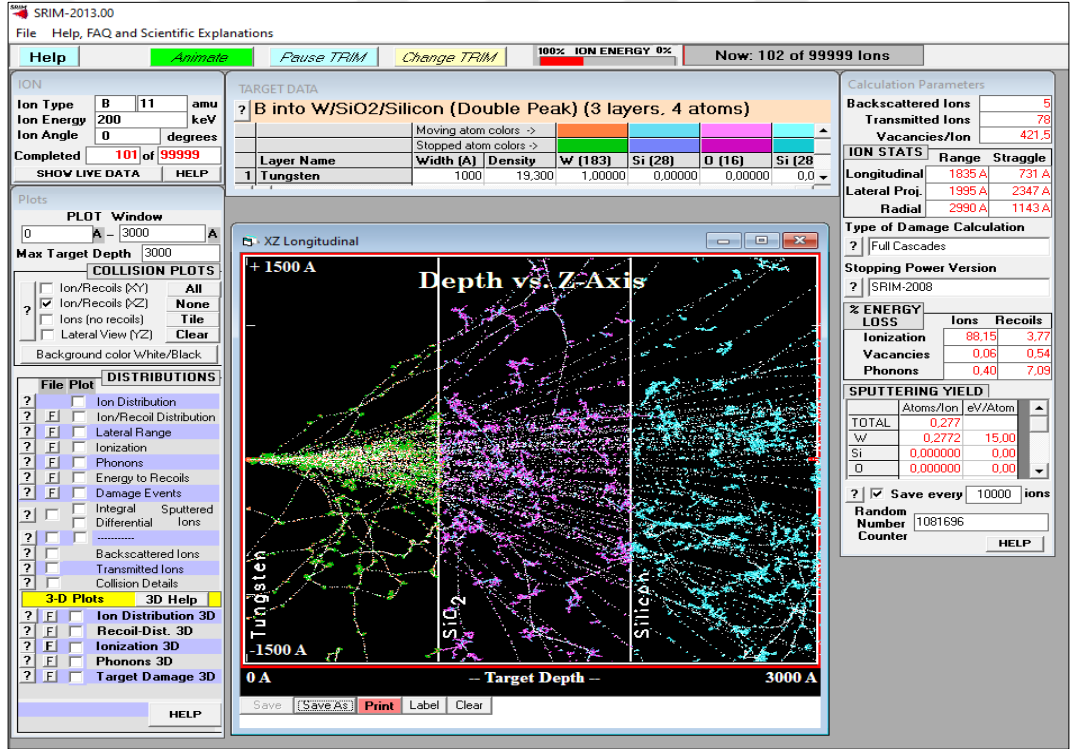


Şekil 7.30 : WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerin Xe iyon ışınlamalarına ilişkin karşılaştırmalı Raman spektroskopisi analizleri.

Raman spektroskopik methodu bozulmuş veya amorflaşmış karbon fazlarını belirleyebilmek adına çok hassas bir tekniktir. 4 farklı dozda $\phi_1 = 5 \times 10^{12}$ iyon/cm², $\phi_2 = 10^{13}$ iyon/cm², $\phi_3 = 5 \times 10^{13}$ iyon/cm², $\phi_4 = 3,38 \times 10^{14}$ iyon/cm² olmak üzere Xe²⁶⁺ iyonları ile ışınlanmış WC-6ağ%Co numuneleri Raman spektrumunda 1576 cm⁻¹-1621 cm⁻¹ aralığında G-band olarak bilinen amorf sp² karbon bağlarını temsil eden özellikler göstermişlerdir (Dresselhaus, 2005; Liu, 2004). Ksenon ışınlanmış numunelerin Raman spektrumunda 2350 cm⁻¹'de ortaya çıkan ufak şiddette ama dikkate değer pikleri ise yapılan araştırmalar neticesinde N₂ ait olduğu düşünülmektedir (Sandfort, 2018).

7.4 Hızlı Ksenon Ağır İyonların SRIM Simülasyonu Kullanılarak Malzeme Hasar Değerlendirilmesi

SRIM/TRIM programı, katı malzemelerde iyonların durdurma gücünü ve menzilini hesaplamak için en yaygın şekilde kullanılan bir simülasyon programıdır. SRIM, İngilizce “Stopping and Range of Ions in Matter” kısaltmalarından meydana gelmektedir. SRIM programı, iyonların katılar içerisindeki üç boyutlu dağılımı ve penetrasyon derinliği gibi bir çok önemli parametre hakkında bilgi sunmaktadır. SRIM simülasyonları, Monte Carlo simülasyon yöntemine dayanmaktadır (Url-5). SRIM programından elde edilen sonuçlar birçok parçacık yörüngesinin ortalama sonucudur. 1983 yılından başlayarak, birçok SRIM programı küçük ya da büyük düzeltmelerle piyasaya sürülmüştür. Şekil 7.31’de SRIM programının ara yüzü gösterilmektedir.



Şekil 7.31 : SRIM programının ara yüzü.

SRIM-2011, SRIM ve TRIM (Transport of Ions in Matter) programlarının önceki sürümlerinin birleşimi olan modifiye edilmiş bir yazılımdır. SRIM-2011’in gelişmiş versiyonu, farklı hedeflerde farklı iyonlar için durdurma gücü ve iyonların menzil hesaplamalarında daha iyi doğrulukta sonuçlar sağlamaktadır. SRIM kodu, enerjisi 2 GeV/amu’dan az olan ağır iyonların malzeme içerisinde taşınmasını simüle etmektedir. SRIM’de ele alınan iyon, proton veya daha büyük olan herhangi bir ağır

yüklü parçacık olabilir. SRIM kodu oldukça karmaşık olabilen hedefleri ele aldığı için çok kapsamlı bir iyon taşıma modülü olarak ifade edilmektedir.

SRIM simülasyonunda hedef malzeme sekiz farklı katmana kadar oluşturulabilir ve SRIM programı iyonların malzeme içindeki nihai dağılımını hedefin farklı katmanlarında tahmin edebilmektedir.

167 MeV enerjili ksenon iyonları ile farklı dozlarda ışınlanmış;

- W-% ağ. 6 VC- % ağ. 1 C
- 321 paslanmaz çelik Alümina Bor Karbür kaplama
- WC-% ağ. 6 Co

DeneySEL malzemelerin ışınlama dozuna bağlı olarak, ksenon iyonlarının malzeme içersindeki aldığı yol ve bu bana bağlı olarak malzeme atomlarının yer değiştirme sayısı (dpa) SRIM-2011 simülasyon programı kullanılarak hesaplanmıştır. Bu bağlamda alt bölümlerde ilgili grafikler sunulmaktadır.

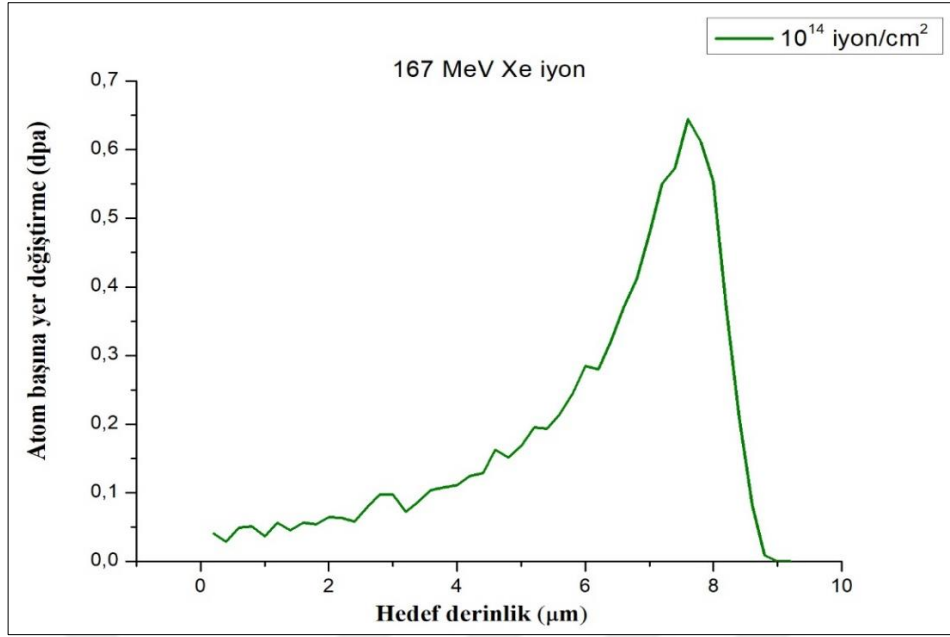
7.4.1 Volfram kompozit malzemelerde Ksenon iyon ışınlamalarına ilişkin SRIM programı sonuçları

Bölüm 4.1.1'de tanıtilan W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C malzemeler 167 MeV enerjili, 3 farklı dozda, $\phi_1 = 10^{14}$ iyon/cm², $\phi_2 = 3 \times 10^{14}$ iyon/cm², $\phi_3 = 5 \times 10^{14}$ iyon/cm² akısında, oda sıcaklığında olmak üzere ksenon (Xe²⁶⁺) iyonları ışınlanmıştır. Bu bağlamda ksenon iyonlarının malzemede aldığı yol ve oluşturmuş olduğu yer değiştiren atom sayısı (dpa) sunulmaktadır.

7.4.1.1 Volfram kompozit malzemelerde 10¹⁴ Ksenon iyon ışınlamalarına ilişkin SRIM programı sonuçları

W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C malzemelerin 10¹⁴ iyon/cm² akısında Xe²⁶⁺ iyonları ile ışınlaması neticesinde, ksenon iyonlarının malzemede aldığı yol ve oluşturmuş olduğu yer değiştiren atom sayısı şekil 7.32'de sunulmaktadır.

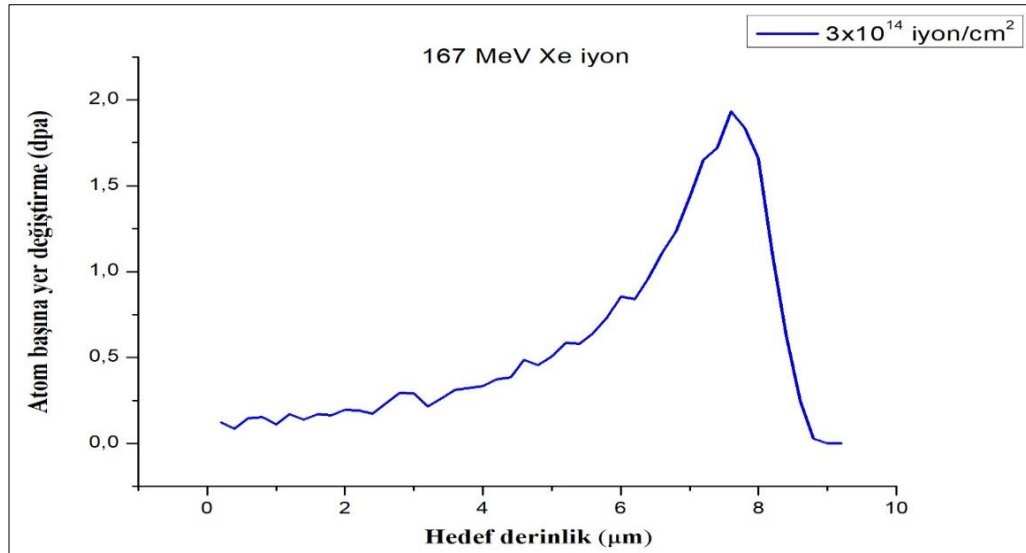
Bu bağlamda, elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir ve karşılaştırmalı analizler gerçekleştirilmiştir. W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C malzemelerinde 10¹⁴ iyon/cm² akısında Xe²⁶⁺ iyonları yaklaşık olarak 9 mikron derinliğine ulaşmıştır.



Şekil 7.32 : 167 MeV enerjili Xe^{26+} iyonlarının 10^{14} iyon/cm² dozunda W-% ağ. 6 VC- % ağ. 1 C malzemelerde oluşturduğu atom başına yer değiştirme sayısı ve menzili.

7.4.1.2 Volfram kompozit malzemelerde 3×10^{14} Ksenon iyon ışınlamalarına ilişkin SRIM programı sonuçları

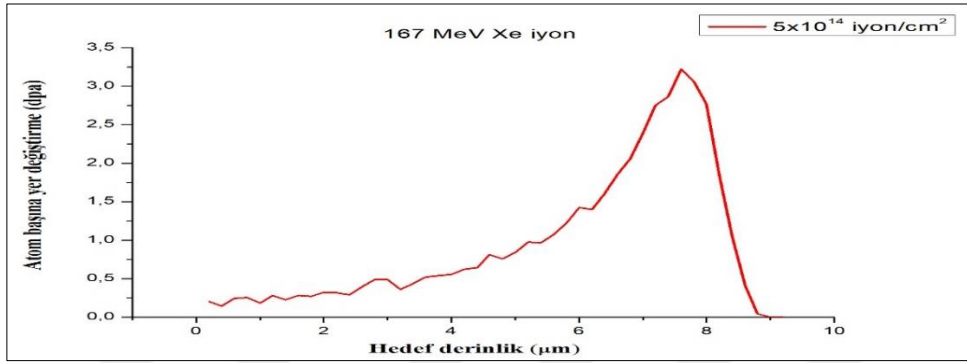
W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C malzemelerin 3×10^{14} iyon/cm² akısında Xe^{26+} iyonları ile ışınlanması neticesinde, ksenon iyonlarının malzemede aldığı yol ve oluşturmuş olduğu yer değiştiren atom sayısı şekil 7.33’de sunulmaktadır.



Şekil 7.33 : 167 MeV enerjili Xe^{26+} iyonlarının 3×10^{14} iyon/cm² dozunda W-% ağ. 6 VC- % ağ. 1 C malzemelerde oluşturduğu atom başına yer değiştirme sayısı ve menzili.

7.4.1.3 Volfram kompozit malzemelerde 5×10^{14} Ksenon iyon ışınlamalarına ilişkin SRIM programı sonuçları

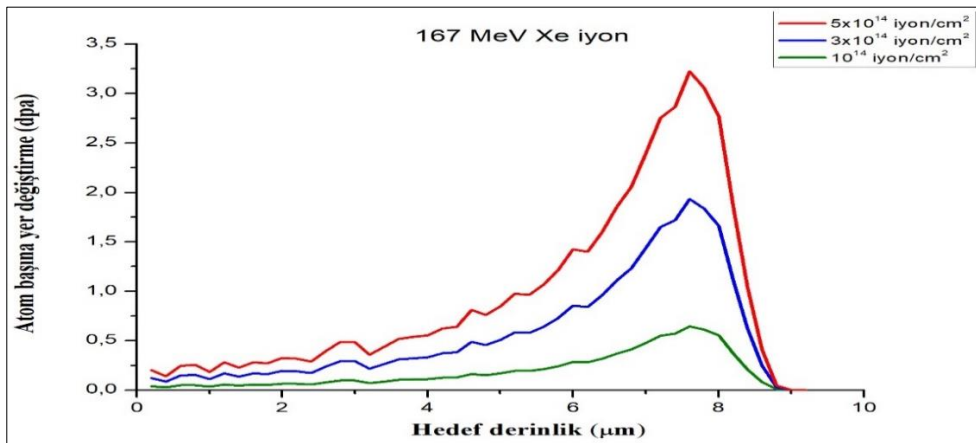
W- % ağırlık 6 VC- % ağırlık 1 C malzemelerin 5×10^{14} iyon/cm² akısında Xe²⁶⁺ iyonları ile ışınlanması neticesinde, ksenon iyonlarının malzemede aldığı yol ve oluşturmuş olduğu yer değiştiren atom sayısı şekil 7.34’de sunulmaktadır.



Şekil 7.34 : 167 MeV enerjili Xe iyonlarının 5×10^{14} iyon/cm² dozunda W-% ağırlık 6 VC- % ağırlık 1 C malzemelerde oluşturduğu atom başına yer değiştirme sayısı ve menzili.

7.4.1.4 Volfram kompozit malzemelerde 167 MeV enerjili Ksenon iyon ışınlanmalarına ilişkin SRIM programı sonuçlarının değerlendirilmesi

W- % ağırlık 6 VC- % ağırlık 1 C malzemelerin 167 MeV enerjili, 3 farklı dozda ($\phi_1 = 10^{14}$ iyon/cm², $\phi_2 = 3 \times 10^{14}$ iyon/cm², $\phi_3 = 5 \times 10^{14}$ iyon/cm²) oda sıcaklığında olmak üzere ksenon (Xe) iyonları ışınlanmıştır. Bu bağlamda ksenon iyonlarının malzemede aldığı yol ve oluşturmuş olduğu yer değiştiren atom sayısı (dpa) karşılaştırılmalı olarak şekil 7.35’de sunulmaktadır.



Şekil 7.35 : 167 MeV enerjili Xe iyonlarının W-% ağırlık 6 VC- % ağırlık 1 C malzemelerde oluşturduğu atom başına yer değiştirme sayısı ve menzillerinin karşılaştırılması.

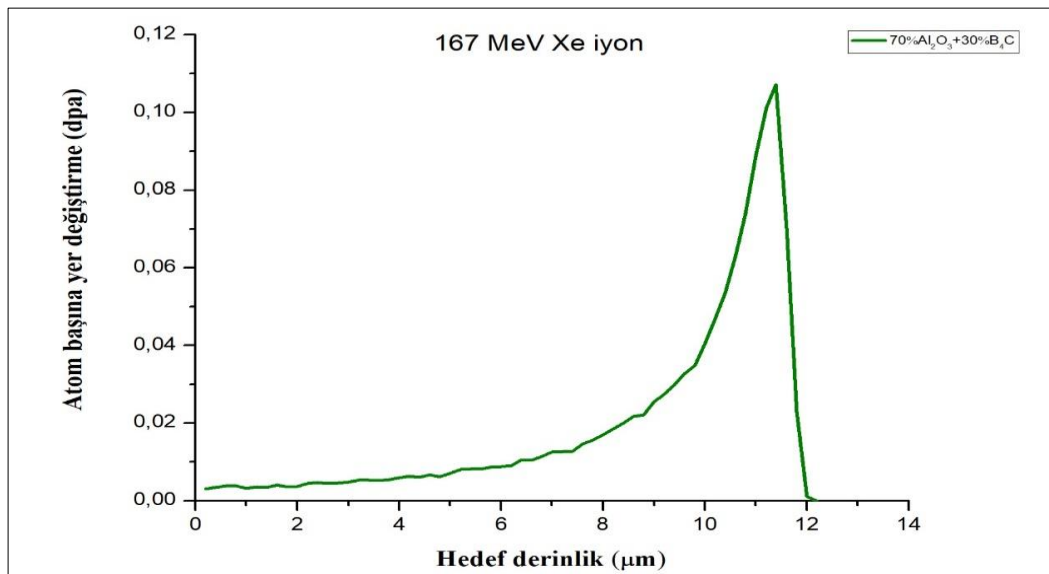
167 MeV enerjili ksenon iyonlarının W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C Volfram kompozit malzemelerde aldığı yol yaklaşık olarak 9 mikron olarak hesaplanmıştır. Şekil 7.35'den de görüleceği üzere artan ışınlama dozu ile beraber atom başına yer değiştirme sayısı (dpa) paralel olarak artmaktadır ve bu değer 5×10^{14} Xe iyon/cm² dozunda maksimum olan 3,22 dpa değerine ulaşmıştır.

7.4.2 321 paslanmaz elik alümina bor karbür kaplama malzemelerde Ksenon iyon ışınlamalarına ilişkin SRIM programı sonuçları

Bölüm 4.1.2'de tanıtılan üç farklı 321 paslanmaz elik üzerine alümina bor karbür kaplama kompozit malzemelerle (Al₂O₃- % ağ. 10 B₄C kaplamaları, Al₂O₃- % ağ. 20 B₄C kaplamaları ve Al₂O₃- % ağ. 30 B₄C kaplamaları) Xe²⁶⁺ iyon çalışmaları gerçeklenmiştir. Kompozit malzemeler 167 MeV enerjili, $\phi_1 = 10^{14}$ iyon/cm² akısında ve oda sıcaklığında olmak üzere ksenon iyonları ile ışınlanmıştır. Bu bağlamda ksenon iyonlarının malzemede aldığı yol ve oluşturmuş olduğu yer değiştiren atom sayısı (dpa) sunulmaktadır.

7.4.2.1 321 paslanmaz elik zerine Al₂O₃- % ağ. 10 B₄C kaplama malzemelerde Ksenon iyon ışınlamalarına ilişkin SRIM programı sonuçları

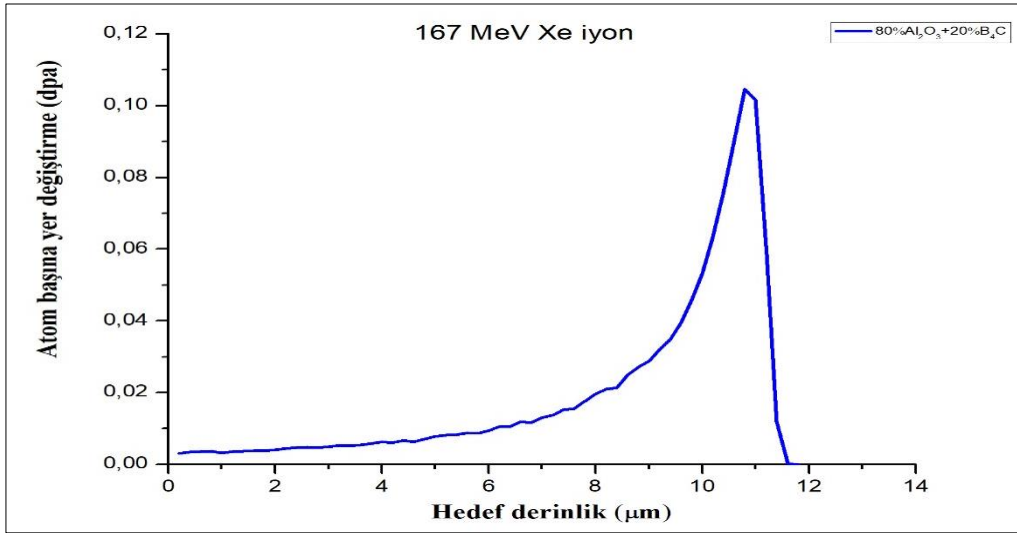
321 paslanmaz elik zerine Al₂O₃- % ağ. 10 B₄C malzemelerin 10^{14} iyon/cm² akısında Xe²⁶⁺ iyonları ile ışınlanması neticesinde, ksenon iyonlarının malzemede aldığı yol ve oluşturmuş olduğu yer değiştiren atom sayısı Şekil 7.36'de sunulmaktadır.



Şekil 7.36 : 167 MeV enerjili Xe²⁶⁺ iyonlarının Al₂O₃- % ağ. 10 B₄C kaplama malzemelerde oluşturduğu atom başına yer değiştirme sayısı ve menzili.

7.4.2.2 321 paslanmaz çelik üzerine Al₂O₃- % ağı. 20 B₄C kaplama malzemelerde Ksenon iyon ışınlamalarına ilişkin SRIM programı sonuçları

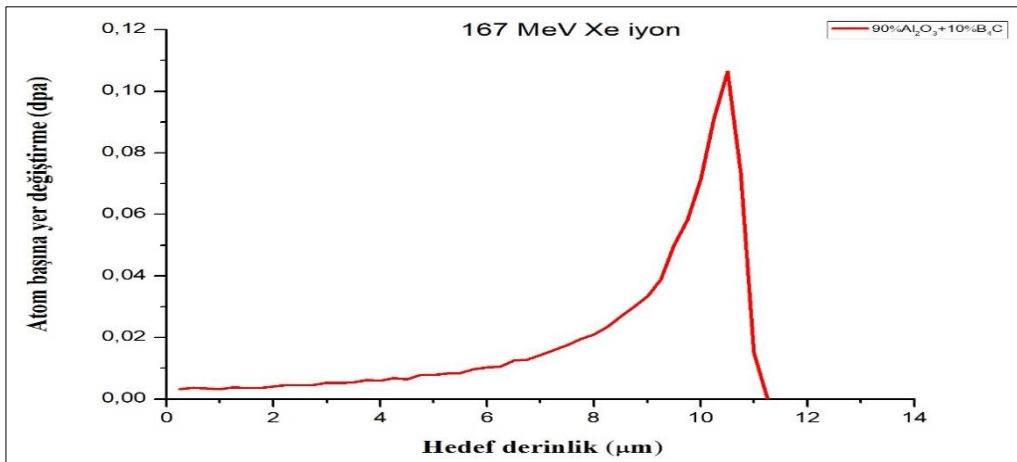
321 paslanmaz çelik üzerine Al₂O₃- % ağı. 20 B₄C malzemelerin 10¹⁴ iyon/cm² akısında Xe²⁶⁺ iyonları ile ışınlanması neticesinde, ksenon iyonlarının malzemede aldığı yol ve oluşturmuş olduğu yer değiştiren atom sayısı şekil 7.37’de sunulmaktadır.



Şekil 7.37 : 167 MeV enerjili Xe²⁶⁺ iyonlarının Al₂O₃- % ağı. 20 B₄C kaplama malzemelerde oluşturduğu atom başına yer değiştirme sayısı ve menzili.

7.4.2.3 321 paslanmaz çelik üzerine Al₂O₃- % ağı. 30 B₄C kaplama malzemelerde Ksenon iyon ışınlamalarına ilişkin SRIM programı sonuçları

321 paslanmaz çelik üzerine Al₂O₃- % ağı. 30 B₄C malzemelerin 10¹⁴ iyon/cm² akısında Xe²⁶⁺ iyonları ile ışınlanması neticesinde, ksenon iyonlarının malzemede aldığı yol ve oluşturmuş olduğu yer değiştiren atom sayısı şekil 7.38’da sunulmaktadır.

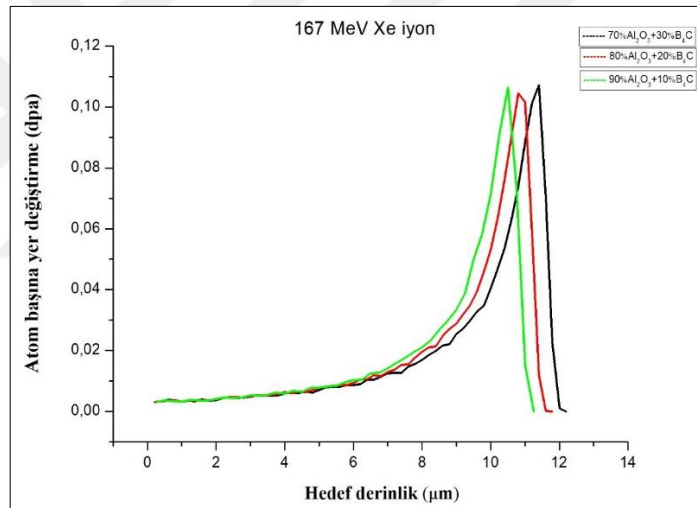


Şekil 7.38 : 167 MeV enerjili Xe²⁶⁺ iyonlarının Al₂O₃- % ağı. 30 B₄C kaplama malzemelerde oluşturduğu atom başına yer değiştirme sayısı ve menzili.

7.4.2.4 321 paslanmaz çelik alümina bor karbür kaplama malzemelerde Ksenon iyon ışınlamalarına ilişkin SRIM programı sonuçlarının değerlendirilmesi

321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama kompozit malzemeler (Al_2O_3 - % ağı. 10 B_4C kaplamaları, Al_2O_3 - % ağı. 20 B_4C kaplamaları ve Al_2O_3 - % ağı. 30 B_4C kaplamaları) 167 MeV enerjili, $\phi_1 = 10^{14}$ iyon/ cm^2 akısında ve oda sıcaklığında olmak üzere ksenon iyonları ile ışınlanması neticesinde malzeme içerisinde aldığı yol ve dpa sonuçları karşılaştırmalı olarak şekil 7.39'da sunulmaktadır.

Bu bağlamda yapılan incelemelerde Al_2O_3 - % ağı. 30 B_4C kaplama malzemelerinde 167 MeV enerjili Ksenon iyonlarının menzili en yüksek değer olan 12,22 mikron iken Al_2O_3 - % ağı. 10 B_4C kaplama malzemelerinde en düşük değer olan 11,23 mikron olarak hesaplanmıştır. Malzemelerin atom başına yer değiştirme (dpa) değerleri ise 0,1 dpa olarak görülmektedir.



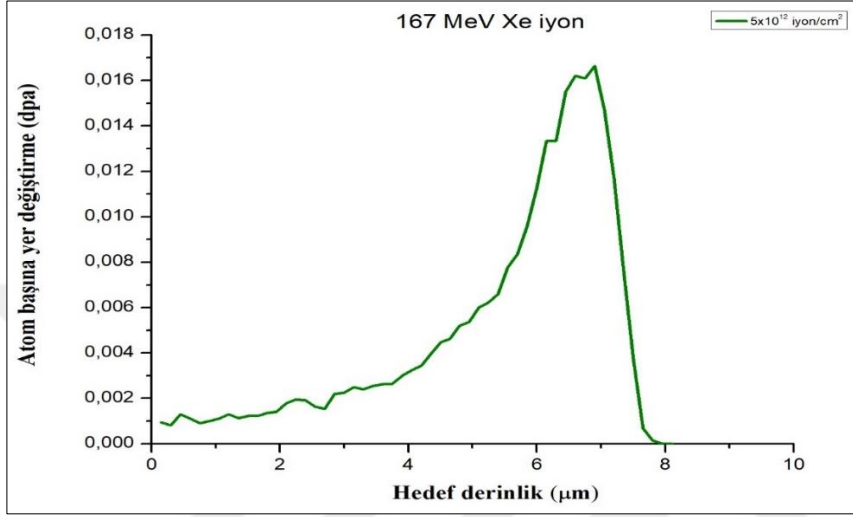
Şekil 7.39 : 167 MeV enerjili Xe^{26+} iyonlarının Alümina bor karbür kaplama malzemelerinde oluşturduğu atom başına yer değiştirme sayısı ve menzillerinin karşılaştırılması.

7.4.3 WC – % ağı. 6 Co kompozit malzemelerde Ksenon iyon ışınlamalarına ilişkin SRIM programı sonuçları

Bölüm 4.1.1'de volfram matrisli kompozit malzemeler başlığı adı altında tanıtılan WC- % ağı. 6 Co kompozit malzemeler, 167 MeV enerjili, 4 farklı dozda, $\phi_1 = 5 \times 10^{12}$ iyon/ cm^2 , $\phi_2 = 10^{13}$ iyon/ cm^2 , $\phi_3 = 5 \times 10^{13}$ iyon/ cm^2 , $\phi_4 = 3,38 \times 10^{14}$ iyon/ cm^2 akısında oda sıcaklığında olmak üzere ışınlanmıştır. Bu bağlamda ksenon iyonlarının malzemede aldığı yol ve oluşturmuş olduğu yer değiştiren atom sayısı (dpa) sunulmaktadır.

7.4.3.1 WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerde 5×10^{12} Ksenon iyon ışınlamalarına ilişkin SRIM programı sonuçları

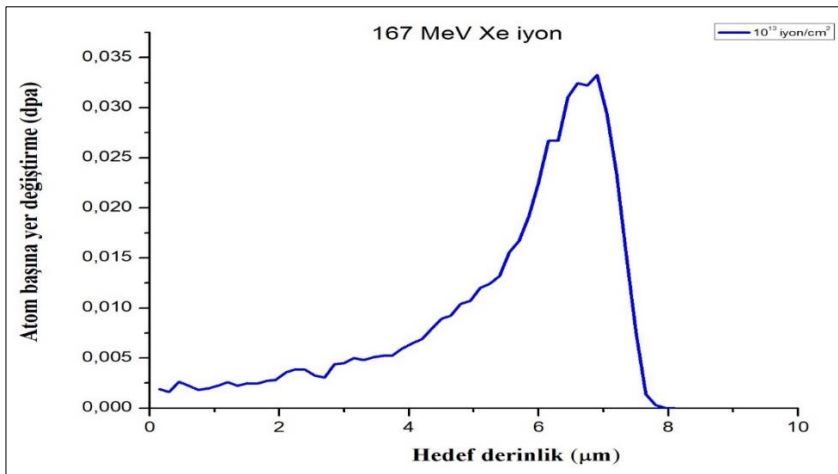
WC-% ağ. 6 Co malzemelerin 5×10^{12} iyon/cm² akısında Xe²⁶⁺ iyonları ile ışınlanması neticesinde, ksenon iyonlarının malzemede aldığı yol ve oluşturmuş olduğu yer değiştiren atom sayısı şekil 7.40'da sunulmaktadır.



Şekil 7.40 : 167 MeV enerjili Xe²⁶⁺ iyonlarının 5×10^{12} iyon/cm² dozunda WC-% ağ. 6 Co malzemelerde oluşturduğu atom başına yer değiştirme sayısı ve menzili.

7.4.3.2 WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerde 10^{13} Ksenon iyon ışınlamalarına ilişkin SRIM programı sonuçları

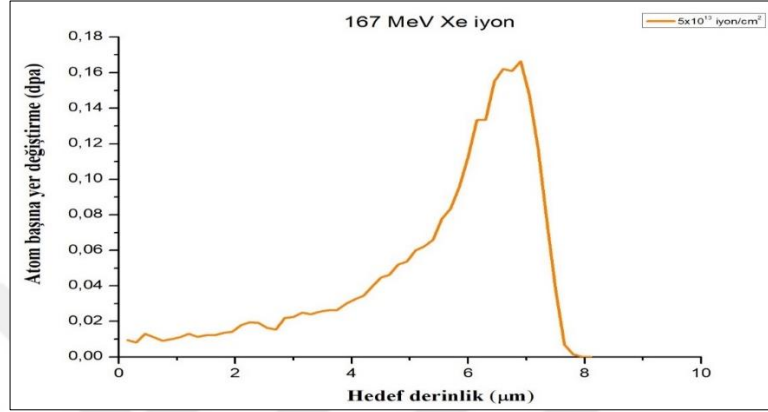
WC-% ağ. 6 Co malzemelerin 10^{13} iyon/cm² akısında Xe²⁶⁺ iyonları ile ışınlanması neticesinde, ksenon iyonlarının malzemede aldığı yol ve oluşturmuş olduğu yer değiştiren atom sayısı şekil 7.41'de sunulmaktadır.



Şekil 7.41 : 167 MeV enerjili Xe²⁶⁺ iyonlarının 10^{13} iyon/cm² dozunda WC-% ağ. 6 Co malzemelerde oluşturduğu atom başına yer değiştirme sayısı ve menzili.

7.4.3.3 WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerde 5×10^{13} Ksenon iyon ışınlamalarına ilişkin SRIM programı sonuçları

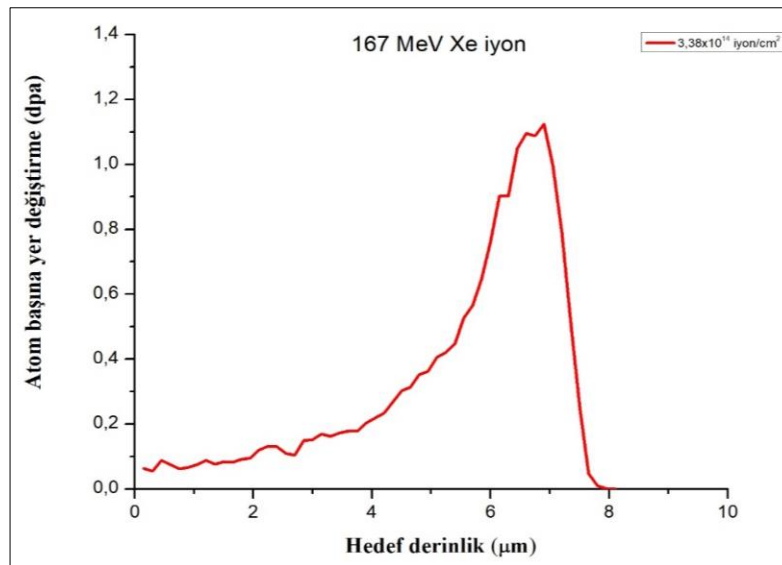
WC-% ağ. 6 Co malzemelerin 5×10^{13} iyon/cm² akısında Xe²⁶⁺ iyonları ile ışınlanması neticesinde, ksenon iyonlarının malzemede aldığı yol ve oluşturmuş olduğu yer değiştiren atom sayısı şekil 7.42’de sunulmaktadır.



Şekil 7.42 : 167 MeV enerjili Xe²⁶⁺ iyonlarının 5×10^{13} iyon/cm² dozunda WC-% ağ. 6 Co malzemelerde oluşturduğu atom başına yer değiştirme sayısı ve menzili.

7.4.3.4 WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerde $3,38 \times 10^{14}$ Ksenon iyon ışınlamalarına ilişkin SRIM programı sonuçları

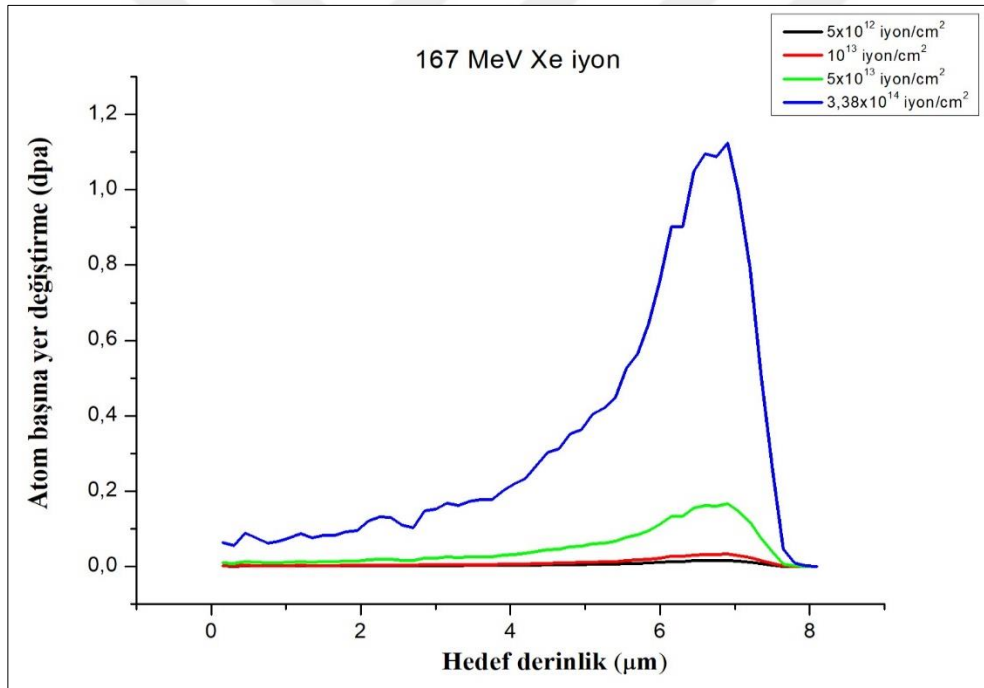
WC-% ağ. 6 Co malzemelerin $3,38 \times 10^{14}$ iyon/cm² akısında Xe²⁶⁺ iyonları ile ışınlanması neticesinde, ksenon iyonlarının malzemede aldığı yol ve oluşturmuş olduğu yer değiştiren atom sayısı şekil 7.43’de sunulmaktadır.



Şekil 7.43 : 167 MeV enerjili Xe²⁶⁺ iyonlarının $3,38 \times 10^{14}$ iyon/cm² dozunda WC-% ağ. 6 Co malzemelerde oluşturduğu atom başına yer değiştirme sayısı ve menzili.

7.4.3.5 WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerde Ksenon iyon ışınlamalarına ilişkin SRIM programı sonuçlarının değerlendirilmesi

WC-% ağ. 6 Co malzemelerin 167 MeV enerjili ksenon iyonları ile 4 farklı dozda, $\phi_1 = 5 \times 10^{12}$ iyon/cm², $\phi_2 = 10^{13}$ iyon/cm², $\phi_3 = 5 \times 10^{13}$ iyon/cm², $\phi_4 = 3,38 \times 10^{14}$ iyon/cm² oda sıcaklığında ışınlanması neticesinde malzeme içerisinde aldığı yol ve dpa sonuçları karşılaştırmalı olarak şekil 7.44'de sunulmaktadır. 167 MeV enerjili ksenon iyonlarının malzeme içerisinde aldığı yol 4 farklı dozda aynı değer olan 8,1 mikron değerinde olduğu görülmüştür. Malzemelerin 5×10^{12} iyon/cm² ve 10^{13} iyon/cm² doz değerlerinde sırasıyla atom başına yer değiştirme 0,016 ve 0,033 dpa olduğu görülmektedir. Öte yandan, artan ışınlama dozuyla beraber bu değer 5×10^{13} iyon/cm² ve $3,38 \times 10^{14}$ iyon/cm² için kayda değer bir artış gösterirken sırasıyla 0,16 ve maksimum değer olan 1,12 dpa değerine ulaşmaktadır.



Şekil 7.44 : 167 MeV enerjili Xe iyonlarının WC-% ağ. 6 Co malzemelerde oluşturduğu atom başına yer değiştirme sayısı ve menzillerinin karşılaştırılması.

8. SONUÇLAR

Hibrit kompozit malzemeler üzerine çalışılmış olan bu Doktora Tez çalışmasında, farklı kompozit malzemelerin girici radyasyonlardan önemlileri olan gama ve nötron radyasyonu karşısındaki davranışları incelenmeye çalışılmıştır. Bu bağlamda, deneysel çalışmalarla ulaşılan sonuçlar XCOM Bilgisayar programı yardımı ile teorik manada hesaplamalar yapılarak deneysel sonuçların irdelemesi gerçekleştirilmiştir. Fazla olarak, çalışılan malzemelerin ileri nükleer teknoloji uygulamalarında kullanılması halinde malzemelerde oluşabilecek hasarlara ilişkin olarak malzemelerin Rusya/Dubna Joint Institute For Nuclear Research Flerov Nükleer Reaksiyonlar Laboratuvarlarında 167 MeV enerjili farklı dozlarda olmak üzere Xe^{26+} iyon ışınlanmaları gerçekleştirilmiş ve nükleer teknikler kullanılarak durumlarının değerlendirilmesi yapılmış ve SRIM/TRIM Bilgisayar programı ile de simüle edilmiştir.

Çalışılan hibrit kompozit malzemeler, bu doktora tezine özgün olup, (Bölüm 4.1’de tanımlandığı üzere) Volfram matrisli hibrit kompozitlerle (W- % ağırlıkta 6 VC- % ağırlıkta 1 C, W- % ağırlıkta 6 VC- % ağırlıkta 2 TiC- % ağırlıkta 1 C, W- % ağırlıkta 6 B₄C- % ağırlıkta 2 TiC- % ağırlıkta 1 C ve WC- % ağırlıkta 6 Co), paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama ve yine paslanmaz çelik üzerine volfram esaslı kaplama malzemelerdir.

Burada, söz konusu bu özgün malzemeler oluşturulurken birkaç önemli husus göz önünde bulundurulmuştur. Bunlardan biri; volframın ağır bir element olması ve girici elektromanyetik radyasyonu durdurma kabiliyetinin yüksek olmasının düşünülmesidir. Bir diğeri; borun nötronları durdurma kabiliyetinin yüksek olduğunun bilinmesidir. Ayrıca, karbon da uygun element olarak incelenmiştir.

Farklı bir husus da söz konusu bu elementlerin hibrit malzeme temel malzemesi olarak kullanımı yerine kaplama elemanı halinde olması durumunda ulaşılabilecek sonuçların irdelenmesidir. Bu bağlamda, nükleer teknolojide sıkça kullanılan bir malzeme olan paslanmaz çelik temel malzeme olarak alınarak üzerine çalışılan elementleri içeren kaplamaların yapılması halindeki durum incelenmeye çalışılmıştır.

Hibrit kompozit malzemelerde imalat tekniği açısından ve çalışmanın amacına uygun olacağı dşnlerek vanadyum, titanyum, kobalt ve karbür yapısı içinde karbon da kullanılmıştır. Bunlardan ayrı farklı bir husus ise; hem volframin ve hem de borun ülkemizin önemli maden zenginliklerinden olması ve ulaşılan sonuçların uygun ve yeterli olması halinde ülke ekonomisine kazandırabileceği katma değer olasılığıdır.

Öte yandan, çalışılan malzemelerin radyasyon zırh malzemesi olarak kullanılma potansiyeli de mevcut görülmüştür. Bu bağlamda, Avrupa Birliği (AB)'nin direktiflerinde bulunan ve kimi zararlı maddelerin teknolojiye kullanımını kısıtlayan RoHS uygulamaları içinde, nükleer teknolojiye sıkça radyasyon zırh malzemesi olarak kullanılan kurşun da bulunmakta ve kurşun kullanımının kısıtlanmasına çalışılmaktadır. Dolayısıyla, bu doktora tez çalışmasında, özgün olarak oluşturulan hibrit kompozit malzemelerin gama radyasyonunun zırhlamasında kurşuna bir alternatif olabilecek element volfram olduğundan çalışılan hibrit kompozit malzemelerin bu bakımdan da uygun olabileceği dşnlmştr. Ayrıca, nükleer reaktör teknolojisini için nötronlar da başat radyasyon tipi olup nötron zırhlamasının da dşnlmesi gerekmektedir. Burada da borun nötron yutucusu olarak yadsınamaz özellikleri bulunmaktadır. Ayrıca, (karbür yapısı içinde yer alan) karbonun nötronun moderasyonunda önemli olduğu da göz önüne alınmıştır. Bütün bu hususlar dşnlerek bu doktora tez çalışmasında Volfram ve borlu hibrit kompozitlerle çalışılması benimsenmiş olup bu doktora tezinin malzemeye ilişkin özgünlüğünü oluşturmaktadır.

Çalışılan malzemelerin “hibrit” olarak nitelenmesinin sebebi; (Bölüm 2.4 içinde açıklandığı üzere) birbirinden farklı şekillerde madde ile etkileşen, ileri nesil nükleer reaktörlerde ve ileri nükleer uygulamalarda farklı amaçlara hizmet edebilme potansiyeline sahip, ayrıca radyasyon zırh malzemesi olabilme kabiliyeti de bulunan melez malzemelerin oluşturulmuş olmasıdır. Bir başka deyişle, geliştirilen kompozit malzemelerde birbirinden farklı elementlerin kullanılmasıyla girici radyasyonlara karşı farklı amaçlarla istenen şartlarda kullanılabilir uygun melez malzemelerin yapılandırılmış olması nedeniyle hibrit tabiri kullanılmasının yerinde olacağı dşnlmştr.

Söz konusu hibrit kompozit malzemelerin radyasyon karşısındaki davranışlarının incelenmesine ilişkin olarak öncelikle girici iyonizan elektromanyetik radyasyonlardan önemli biri olan gama ışınlarının çalışılan malzemelerce

zayıflatılması araştırılmıştır. Yine girici iyonizan radyasyonlardan önemli biri olan ve madde ile etkileşimi girici elektromanyetik radyasyondan farklı olan nötronlarla da çalışılması benimsenmiştir. Bu bağlamda, bu doktora tez çalışmasında, (deney düzeneği Bölüm 4.2.1 ve Bölüm 4.2.2. içinde tanıtıldığı üzere) transmisyon tekniği kullanılarak hibrit kompozit malzemelerin gama ve nötron radyasyonu karşısındaki davranışları araştırılmıştır.

Aynı kompozit malzemenin, üretiminde farklı mekanik alaşımlandırma parametresi kullanılması ile oluşabilecek farklılıkların hibrit kompozit malzemenin radyasyon karşısındaki davranışına etkisi de incelenmiştir. Bu bağlamda, W-VC-C ve W-VC-TiC-C kompozit malzemelerin sırasıyla 6 saat, 12 saat ve 24 saat mekanik alaşımlandırılmış kompozit malzemelerle deneyler yapılmış ve irdelenmiştir. Bu konu da, bu doktora tezinin özgünlüğü kapsamındadır.

Gama radyasyonu ile ilgili çalışmaların yapılabilmesi için nükleer uygulamalarda tercih edilerek kullanılan iki önemli gama radyoizotop kaynağı ile çalışılması benimsenmiştir. Söz konusu gama radyoizotop kaynaklar; Cs-137 ve Co-60 gama radyoizotop kaynaklarıdır. İlk çalışılan Cs-137 gama radyoizotop kaynağının tercih edilmesinin sebebi monokromatik enerjili bir radyoizotop kaynak olması ve sahip olduğu enerji piki (662 keV) ile hem fotoelektrik ve hem de Compton saçılması etkisinin gözlenebilir olmasıdır. İkinci çalışılan Co-60 gama radyoizotop kaynağı ise enerji piklerinin 1,17 MeV'in üzerinde olması (1,17 MeV ve 1,33 MeV) ve böylece fotoelektrik ve Compton saçılması etkilerinin yanısıra çift oluşumu etkisinin de incelenmesinin mümkün olmasıdır. Bu bağlamda, radyasyon davranışı incelemesine ilişkin deneylerde, kullanılması çoğu kez tercih edilen gama radyoizotop kaynaklarıyla çalışılmıştır.

Nötron kaynağı olarak kullanılan Pu-Be nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağı ile de hibrit kompozit malzemelere ilişkin nötron deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Yapılan deneysel çalışmalardan hareketle hibrit kompozit malzemelere ilişkin lineer zayıflatma katsayısı, yarı-değer kalınlığı (YDK) ve onda-bir değer kalınlık (ODK) değerleri, ortalama serbest yol ve efektif atomik numaraları (Bölüm 2.6 içinde anlatıldığı üzere) hesaplanmıştır.

Deneysel çalışmalar; öncelikle volfram matrisli malzemeler için yapılmıştır. Cs-137 gama radyoizotop kaynağı kullanılarak yapılan; 6 saat, 12 saat ve 24 saat mekanik

alaşımlandırılmayla üretilmiş W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemelere ilişkin deney sonuçları bağıl sayım sonuçlarıyla birlikte sırasıyla Çizelge 5.1- Çizelge 5.3’de verilmiş olup ilgili grafikler yine sırasıyla Şekil-5.1 - Şekil 5.3’de görülmektedir.

Benzer şekilde, Cs-137 gama radyoizotop kaynağı kullanılarak yapılan; 6 saat, 12 saat ve 24 saat mekanik alaşımlandırılmayla üretilmiş W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelere ilişkin deney sonuçları bağıl sayım sonuçlarıyla birlikte sırasıyla Çizelge 5.4 - Çizelge 5.6’da verilmiş olup ilgili grafikler yine sırasıyla Şekil-5.4 - Şekil 5.6’da görülmektedir.

Cs-137 gama radyoizotop kaynağı ile kullanılarak ulaşılan deneylerden (Çizelge 5.1 - Çizelge 5.6’dan) hareketle 6 saat, 12 saat ve 24 saat mekanik alaşımlandırılmayla üretilmiş W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C ve W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelere ilişkin deneylerin zayıflatma eğrilerine ilişkin karşılaştırılmalı sonuçlar sırasıyla şekil 5.7 – şekil 5.9’da verilmiştir. Şekil 5.10’da ise W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin 6 saat, 12 saat ve 24 saat mekanik alaşımlandırılmayla üretilmiş olanlarının Cs-137 gama radyoizotop kaynağı karşısındaki davranışları karşılaştırmalı zayıflatma eğrileri olarak gösterilmiştir.

Benzer şekilde W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelerin malzemelerin 6 saat, 12 saat ve 24 saat mekanik alaşımlandırılmayla üretilmiş olanlarının Cs-137 gama radyoizotop kaynağı karşısındaki davranışları karşılaştırmalı zayıflatma eğrileri olarak şekil 5.11’de görülmektedir.

Söz konusu bu iki hibrit kompozit malzeme için zayıflatma eğrilerinin birbirine hayli yakın olduğu tespit edilmiş olup, söz konusu kompozit malzemelerin Cs-137 radyoizotop kaynağı karşısındaki davranışlarının benzer olduğu gözlenmiştir. Bu durumda, birbirlerinin yerine ikame edilebilecekleri anlaşılmış olmaktadır. Bu durumda, imalat kolaylığı ve ekonomi açısından 6 saat mekanik alaşımlandırılmayla üretilmiş olanların tercih edilebileceği kanaati oluşmuştur.

Çalışılan Volfram matrisli malzemelerden W- % ağ. 6 B₄C- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C ile Cs-137 gama radyoizotop kaynağı kullanılarak ulaşılan deney sonuçları çizelge 5.7’de ve bu sonuçlardan hareketle çizilen grafik şekil 5.12’de verilmektedir. Yine çalışılan Volfram matrisli malzemelerden WC- % ağ. 6 Co ile Cs-137 gama radyoizotop kaynağı ile kullanılarak ulaşılan deney sonuçları çizelge 5.8’de ve bu sonuçlardan hareketle çizilen grafik şekil 5.13’de görülmektedir.

Cs-137 gama radyoizotop kaynağı kullanılarak dört volfram matrisli malzeme (W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C, W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C, W- % ağ. 6 B₄C- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C ve WC- % ağ. 6 Co) için yapılan deneylerle ulaşılan sonuçlar karşılaştırmalı olarak şekil 5.14'te yer almaktadır. Bu grafikte, W- % ağ. 6 B₄C- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzeme dışındakilerin Cs-137 için birbirine yakın olduğu gözlenmektedir. W- % ağ. 6 B₄C- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemenin farklı olması bünyesindeki bordan kaynaklandığı söylenebilir.

Volfram matrisli malzemeler için Co-60 gama radyoizotop kaynağı kullanılarak yapılan; 6 saat, 12 saat ve 24 saat mekanik alaşımlandırılmayla üretilmiş W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C kompozit malzemelere ilişkin deney sonuçları bağıl sayım sonuçlarıyla birlikte sırasıyla çizelge 5.9- çizelge 5.11'de verilmiş olup ilgili grafikler yine sırasıyla şekil-5.15 - şekil 5.17'de görülmektedir.

Benzer şekilde, Co-60 gama radyoizotop kaynağı kullanılarak yapılan; 6 saat, 12 saat ve 24 saat mekanik alaşımlandırılmayla üretilmiş W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemelere ilişkin deney sonuçları bağıl sayım sonuçlarıyla birlikte sırasıyla çizelge 5.12 - çizelge 5.14'de verilmiş olup ilgili grafikler yine sırasıyla şekil 5.18 - şekil 5.20'de görülmektedir. Burada da aradaki farkların yine fazla olmadığı ve Co-60 radyoizotop kaynağı için birbirinin yerine ikame edilebilecekleri kanaati oluşmuştur. Bu nedenle de, bundan sonra 6 saat mekanik alaşımlandırmayla üretilmiş olan söz konusu malzemelerle çalışmalara devam edilmiştir.

Çalışılan volfram matrisli malzemelerden W- % ağ. 6 B₄C- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C ile Co-60 gama radyoizotop kaynağı kullanılarak ulaşılan deney sonuçları çizelge 5.15'de ve bu sonuçlardan hareketle çizilen grafik şekil 5.26'da verilmektedir. Yine çalışılan volfram matrisli malzemelerden WC- % ağ. 6 Co ile Co-60 gama radyoizotop kaynağı kullanılarak ulaşılan deney sonuçları çizelge 5.16'da ve bu sonuçlardan hareketle çizilen grafik şekil 5.27'de görülmektedir.

Co-60 gama radyoizotop kaynağı kullanılarak dört volfram matrisli malzeme (W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C, W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C, W- % ağ. 6 B₄C- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C ve WC- % ağ. 6 Co) için yapılan deneylerle ulaşılan sonuçlar karşılaştırmalı olarak şekil 5.28'de yer almaktadır. Bu grafikte, W- % ağ. 6 B₄C- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzeme dışındakilerin (Cs-137 gama radyoizotop kaynakla yapılan deney sonuçlarına göre biraz daha fark edilir olmakla beraber) Co-

60 gama radyoizotop kaynağı için yine de nispeten birbirine yakın olduğu gözlenmektedir. W- % ağ. 6 B₄C- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemenin farklı olması yine bünyesindeki bor'dan kaynaklandığı söylenebilir.

Pu-Be nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağı kullanılarak dört volfram matrisli malzeme (W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C, W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C, W- % ağ. 6 B₄C- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C ve WC- % ağ. 6 Co) için yapılan deneylere ilişkin deney sonuçları sırasıyla çizelge 5.17 – çizelge 5.20'de, bu çizelgelerden hareketle çizilen grafikler ise yine sırasıyla şekil 5.29 – şekil 5.32'de görülmektedir.

Pu-Be nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağı kullanılarak dört Volfram matrisli malzeme (W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C, W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C, W- % ağ. 6 B₄C- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C ve WC- % ağ. 6 Co) için yapılan deneylerle ulaşılan sonuçlar karşılaştırmalı olarak (çizelge 5.17 – çizelge 5.20'deki deney sonuçlarından hareketle) şekil 5.33'de yer almaktadır. Bu grafikten görüldüğü üzere, W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C ve W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C kompozit malzemeler için sonuçlar birbirine hayli yakındır. Buna karşın W- % ağ. 6 B₄C- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C ve WC- % ağ. 6 Co kompozit malzemeler için sonuçlar nötron zayıflatması bağlamında etkin olduğu gözlenmiştir. Burada, söz konusu bu kompozit malzemelerde yer alan bor ve karbon elementlerinin etkisi kendini göstermiştir.

Volfram matrisli hibrit kompozit malzemeler ile yapılan çalışmalardan ayrı olarak paslanmaz çelik üzerine kaplama elemanlı numunelerle de gama kaynakları ve nötron kaynağı ile deneyler yine transmisyon tekniği uygulamasıyla gerçekleştirilmiştir.

İlk olarak Cs-137 gama kaynağı karşısında 321 paslanmaz çelik ile paslanmaz çelik üzerine Al₂O₃- % ağ. 10 B₄C, Al₂O₃- % ağ. 20 B₄C ve Al₂O₃- % ağ. 30 B₄C kaplama malzemelerle deneysel çalışmalar yapılmıştır. Yapılan deneylerle ulaşılan sonuçlar sırasıyla çizelge 5.21 – çizelge 5.24'te ve ilgili grafikler yine sırasıyla şekil 5.34 - şekil 5.37'de verilmektedir. Karşılaştırmalı grafikler ise şekil 5.38'de görülmektedir. Bu grafikten, paslanmaz çeliğin, kaplamalara göre daha iyi sonuç verdiği görülmektedir.

Co-60 gama kaynağı karşısında 321 paslanmaz çelik ile paslanmaz çelik üzerine Al₂O₃- % ağ. 10 B₄C, Al₂O₃- % ağ. 20 B₄C ve Al₂O₃- % ağ. 30 B₄C kaplama malzemelerle de deneysel çalışmalar yapılmıştır. Yapılan deneylerle ulaşılan sonuçlar sırasıyla çizelge 5.25 – çizelge 5.28'de ve ilgili grafikler yine sırasıyla şekil 5.39 - şekil 5.42'de verilmektedir. Karşılaştırmalı grafikler ise şekil 5.43'de görülmektedir. Bu

grafikten de paslanmaz çeliğin, kaplamalara göre daha iyi sonuç verdiği görülmektedir.

Gama kaynaklarından ayrı olarak Pu-Be nötron howitzer kaynağı karşısında 321 paslanmaz çelik ile paslanmaz çelik üzerine Al₂O₃- % ağı. 10 B₄C, Al₂O₃- % ağı. 20 B₄C ve Al₂O₃- % ağı. 30 B₄C kaplama malzemelerle de deneysel çalışmalar yapılmıştır. Yapılan deneylerle ulaşılan sonuçlar sırasıyla çizelge 5.29 – çizelge 5.32’de ve ilgili grafikler yine sırasıyla şekil 5.44 - şekil 5.47’de verilmektedir. Karşılaştırmalı grafikler ise şekil 5.48’de görülmektedir. Bu grafikten de, kaplamaların yine paslanmaz çeliğe göre daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Dolayısıyla, (yapılan kaplamaların kalınlıkları yüksek olmasa da) farklılıklar gözlenmiş olması amaca yönelik uygun kalınlıklı kaplamalı malzemelerin kullanılabilmesi kanaati edinilmiştir.

Çalışılan hibrit kompozit malzemeler için (Cs-137, Co-60 gama radyoizotop kaynaklarıyla Pu-Be nötron kaynağına kullanılarak) yapılan deneylerden ulaşılmış sonuçlardan hareketle söz konusu hibrit kompozit malzemelerin ve de kaplamalı malzemelerin lineer zayıflatma katsayıları hesaplanmış ve elde edilen değerler çizelge 5.42’de verilmiştir.

Volfram matrisli kompozit malzemelerin Cs-137, Co-60 gama radyoizotop kaynaklarına ve Pu-Be- nötron kaynağına ilişkin hesaplanan ortalama serbest yol değerleri sırasıyla çizelge 5.43 - çizelge 5.45’de ve sırasıyla karşılaştırmalı grafikleri Şekil 5.61 – Şekil 5.63’de görülmektedir.

Gama radyoizotop kaynaklar için en düşük ortalama serbest yol değerinin WC-% ağı. 6 Co kompozit malzemeye ait olduğu, buna karşın en yüksek ortalama serbest yol değerinin ise W- % ağı. 6 B₄C- % ağı. 2 TiC- % ağı. 1 C hibrit kompozit malzemeye ilişkin olduğu görülmektedir. Bu durum beklenti doğrultusunda olup, büyük atom numaralı hibrit kompozit malzemelerin Cs-137 ve Co-60 gama radyoizotop kaynaklarına daha uygun olduğu anlaşılmaktadır.

Pu-Be nötron kaynakları için ise en düşük ortalama serbest yol değerinin WC- 6ağı% Co, en yüksek ortalama serbest yol değerinin ise W- % ağı. 6 VC- % ağı. 1 C hibrit kompozit malzemeye ait olduğu gözlenmiştir. Nötronlarla ve gama ışınlarının madde ile etkileşimleri farklı olduğundan gama radyoizotop kaynaklarla ulaşılan sonuçlardan farklı sonuçlara ulaşılmıştır. Bu da beklenti doğrultusundadır.

Alümina bor karbür (Al_2O_3 - % ağı. 10 B_4C , Al_2O_3 - % ağı. 20 B_4C ve Al_2O_3 - % ağı. 30 B_4C) ile kaplanmış 321 paslanmaz çelik malzemelerin Cs-137, Co-60 ve Pu-Be nötron kaynağı kullanılarak yapılan deneylerden hareketle ortalama serbest yol değerleri hesaplanmış olup ilgili ortalama serbest yol değerleri sırasıyla çizelge 5.46 – çizelge 5.51’de, ilgili grafikler ise şekil 5.64 – şekil 5.66’da görülmektedir. Söz konusu bu grafikler incelendiğinde paslanmaz çelik üzerine kullanılan kaplamanın düşük enerjili gamalar için olumlu bir zayıflatma etkisi olmamakta, yüksek enerjili gamalar için ise yaklaşık olarak paslanmaz çelik ile benzer şekilde bir etkisi olduğu, buna karşın nötron kaynağı karşısında ise kullanılan kaplamaların pozitif etkisi görülmektedir. Bu durumda yüksek enerjili gamaların söz konusu olduğu nötronla çalışma ortamları için kaplamalar uygundur denebilir. Nötronlara karşı en düşük ortalama serbest yol ise Al_2O_3 - % ağı. 30 B_4C için elde edilmiştir. Bu sonuç beklenti doğrultusundadır. Zira, nötronlara karşı etkin bir element olan bor oranı, alümina bor karbür kaplama elemanları içinde en yüksek olanı olmaktadır.

Benzer şekilde, Wolfram temelli malzemelerle kaplanmış 321 paslanmaz çelik malzemelerin (321 SS-W, 321 ss W-Cu, 321 SS W- B_4C) Cs-137, Co-60 ve Pu-Be nötron kaynağı kullanılarak yapılan deneylerden hareketle ortalama serbest yol değerleri hesaplanmış olup ilgili ortalama serbest yol değerleri sırasıyla çizelge 5.49 – çizelge 5.51’de, ilgili grafikler ise şekil 5.67 – şekil 5.69’da görülmektedir. Söz konusu bu grafikler incelendiğinde paslanmaz çelik üzerine kullanılan kaplamanın gama radyoizotop kaynaklar için en düşük ortalama serbest yol 321 SS W- B_4C için olduğu gözlenmiştir. Buna karşın nötron kaynağı karşısında ise kullanımları için de söz konusu bu malzemenin uygun olabileceği anlaşılmaktadır.

Bunlardan ayrı olarak, çalışılan hibrit kompozit malzemeler için çalışılan radyasyon tiplerine ilişkin efektif atomik numaralarının tayini de yapılmıştır (Çizelge 5.52 - 5.53).

Wolfram matrisli kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotopu karşısında (radyasyona karşı davranış bağlamında) W- % ağı. 6 B_4C - % ağı. 2 TiC- % ağı. 1 C dışındaki malzemelerin (tulyum-Tm) 69 numaralı ve (iterbiyum-Yb) 70 numaralı elementlere yakınsadığı, buna karşın W- 6ağı% B_4C - 2ağı% TiC- 1ağı% C için ise (neodimyum-Nd) 60 numaralı elemente yakınsadığı görülmektedir.

Wolfram matrisli kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotopu karşısında (radyasyona karşı davranış bağlamında) W- % ağı. 6 B_4C - % ağı. 2 TiC- % ağı. 1 C

dışındaki malzemelerin (erbiyum-Er) 68 numaralı ve (tulyum-Tm) 69 numaralı elemente yakınsadığı, buna karşın W- % ağı. 6 B₄C- % ağı. 2 TiC- % ağı. 1 C için ise (Seryum-Ce) 58 numaralı elemente yakınsadığı görülmektedir.

Efektif atom numarası ile yapılan çalışmalar sonucunda; Volfram matrisli kompozit malzemelerin Cs-137 ve Co-60 gama radyoizotopları karşısında davranışları bağlamında kompozit yerine kullanılabilir elementlerin özel ve az bulunur, nadir elementler olduğu anlaşılmış olmaktadır. Bu durum teknolojik bağlamda uygun malzemelerin oluşturulmuş olduğu da söylenebilir.

Alümina bor karbür kaplamalı elemanlar için Cs-137 ve Co-60 gama radyoizotopu karşısında (radyasyona karşı davranış bağlamında) efektif atom numarası hesaplamaları yapıldığında (potasyum-K) 19 ve (kalsiyum-Ca) 20 numaralı elementlere yakınsadığı görülmektedir. Bu iki element de metal üzerine kaplamaya uygun olmadığından teknolojik bağlamda uygun malzemelerin oluşturulmuş olduğu söylenebilir.

Volfram temelli kaplama malzemeleri için Cs-137 ve Co-60 gama radyoizotopları karşısında (radyasyona karşı davranış bağlamında) efektif atom numarası hesaplamaları yapıldığında (27 ile 30 numaralı metal) elementlere yakınsadığı görülmektedir. Dolayısıyla, çalışılan Volfram temelli kaplama malzemelerin söz konusu metallere alternatif olduğu söylenebilir.

Deneysel çalışmalarla gama radyoizotop kaynaklar karşısındaki davranışları incelenen hibrit kompozit malzemelere ilişkin olarak teorik bağlamda irdeleme yapmak üzere XCOM bilgisayar programı ile çalışılmıştır. Böylelikle, deneysel çalışmalarla hesaplanan kütle zayıflatma katsayıları ile XCOM Bilgisayar programı yardımı ile bulunan kütle zayıflatma katsayılarının birbirine hayli uyumlu olduğu görülmüştür.

Volfram matrisli hibrit kompozit malzemeler için deneysel ve teorik hesaplamalar arasındaki farkların Cs-137 gama radyoizotopu için ortalama % 5 dolayında, Co-60 gama radyoizotopu için ortalama % 6,8 civarında olduğu gözlenmiştir. Ayrıca, her iki gama radyoizotopu için de aradaki fark her zaman % 10'un altında kalmış olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 6.5).

Teorik ve deneysel olarak hesaplanan kütle zayıflatma katsayıları arasındaki farkların imalattan kaynaklandığı söylenebilir. XCOM bilgisayar programı, malzemelerin saf olduğu ve mükemmel olarak nitelenebilecek şekilde imal edildiği hal için hesaplama

yapılmış olmaktadır. Bu bağlamda, çalışılan malzemeler için teorik ve deneysel kütle zayıflatma katsayıları için görülen uyumluluk (olabilmiş imalat hataları ve malzeme safsızlığı da göz önüne alındığında) deneylerin güvenilirliğinin bir kanıtıdır denebilir.

321 paslanmaz çelik ve 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür (Al_2O_3 %10 B_4C , Al_2O_3 %20 B_4C , Al_2O_3 %30 B_4C) kaplamalı malzemelere ilişkin olarak Cs-137 ve Co-60 gama radyoizotop kaynakları için XCOM bilgisayar programı kullanılarak teorik olarak hesaplanan kütle zayıflatma katsayıları ile deneysel çalışmalardan hareketle hesaplanan kütle zayıflatma katsayıları arasındaki farklar; Cs-137 gama radyoizotopu için % 1,5 dolayında ve Co-60 gama radyoizotopu için % 1,3 dolayında olduğu görülmüştür. Bu değerler kabul edilebilir değerler olarak nitelenmiştir.

321 paslanmaz çelik ve 321 paslanmaz çelik üzerine Volfram temelli kaplamalı malzemelere ilişkin olarak Cs-137 ve Co-60 gama radyoizotop kaynakları için XCOM bilgisayar programı kullanılarak teorik olarak hesaplanan kütle zayıflatma katsayıları ile deneysel çalışmalardan hareketle hesaplanan kütle zayıflatma katsayıları arasındaki farklar; Cs-137 gama radyoizotopu için % 3,75 dolayında ve Co-60 gama radyoizotopu için % 1,6 dolayında olduğu görülmüştür. Bu değerler de fark için kabul edilebilir değerler olarak nitelenmiştir.

Yapılan gama deneyleri sonucunda çalışılan özel hibrit kompozit malzemeler arasında uygun sonuçlara ulaşılanları ile malzeme hasarı incelemesi bağlamında çalışma yapılması benimsenmiştir. Bu bağlamda, gama deneyleri ile yapılan deneylerle uygun özel hibrit malzeme olarak belirlenen Volfram matrisli W- 6ağ% VC- 1ağ% C kompozit malzemeler 167 MeV enerjili Xe^{26+} , 3 farklı dozda (10^{14} iyon/cm², 3×10^{14} iyon/cm², 5×10^{14} iyon/cm² akısında) oda sıcaklığında olmak üzere ksenon iyonları ile ışınlanmıştır.

W- 6ağ% VC- 1ağ% C malzemelerin ksenon ışınlanması sonucu elde edilen XRD sonuçları sırasıyla şekil 7.2 –şekil 7.4’de sunulmaktadır. X-ışını kırınım analizine göre, üç farklı dozda Xe^{26+} iyon ışınlanmış W-6ağ%VC-1ağ%C kompozit malzemelerin diffraksiyon piklerinin artan ışınlama dozu ile beraber şiddetlerinin azaldığı ve maksimum şiddetli pik değerinde küçük açılı bölgelere kaymaların olduğu tespit edilmiştir (Şekil 7.6). Xe^{26+} iyonlarının malzemenin ara yer atomları arasında oluşturduğu Xe^{26+} implantasyonu ve kusurların göç etmesi bu sonuçlara sebebiyet verdiği düşünülmektedir.

İlaveten, diffraksiyon piklerinin Xe^{26+} iyon ışınlamasıyla beraber azalması kristal yapının bir miktar etkilendiğini göstermektedir. Ksenon iyon ışınlamaları sonucunda elde edilen XRD sonuçlarından görüldüğü üzere, başlangıçta XRD analizinde düşük şiddetli olan VC ve W_2C fazlarının artan ışınlama dozuyla beraber kristalliğini kaybettiği sonucuna ulaşılmaktadır (Şekil 7.5).

İlaveten, artan ışınlama dozuna bağlı olarak kafes parametrelerinin bir miktar azaldığı görülmektedir (Şekil 7.7). Buna sebep olarak, Xe^{26+} iyonlarının atomlar arasındaki bağları bir miktar kopardığı ve bu sebepten artan ışınlama dozu ile beraber kafes parametrelerinde bir azalma meydana geldiği düşünülmektedir.

W- 6ağ% VC- 1ağ% C malzemelerin şekil 7.8 – şekil 7.11’de ksenon ışınlama ve ışınlama sonrası Raman spektroskopik sonuçları sunulmaktadır. Söz konusu bu sonuçlardan hareketle, başlangıçtaki bazı kristal fazların artan ksenon iyon ışınlamasıyla beraber amorfleştiği sonucuna ulaşabilmektedir. İlaveten, 167 MeV enerjili Xe^{26+} iyon ışınlaması sonucunda 5×10^{14} iyon/cm² dozunda W- 6ağ% VC- 1ağ% C malzemelerin yüzeyinde ince bir oksidasyon tabakasının oluştuğu neticesine de varılmıştır.

321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama kompozit malzemeleri (Al_2O_3 - 10ağ% B_4C kaplamaları, Al_2O_3 - 20ağ% B_4C kaplamaları ve Al_2O_3 - 30ağ% B_4C kaplamaları) 167 MeV enerjili Xe^{26+} iyonları ile 10^{14} iyon/cm² akısında ışınlanmıştır.

Malzemelerin kristal yapılarının belirlenmesi için XRD analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda, ksenon ışınlama öncesi ve sonrası alınan XRD spektrumlarında α - Al_2O_3 ve düşük şiddette B_4C fazlarına rast gelinmiştir. İlaveten, Xe^{26+} iyon ışınlaması sonrası alınan XRD sonuçlarında tüm fazların şiddetinde bir azalma meydana gelmiştir. Tüm kaplama malzemelerde bulunan B_4C fazının ve bor oksit piklerinin 10^{14} iyon/cm² akısında 167 MeV enerjili ksenon iyonları ile gerçekleştirilen ışınlamalar neticesinde amorf hale geldiği söylenebilir (şekil 7.12, şekil 7.13 ve şekil 7.14).

Alümina bor karbür kaplama kompozit malzemelerinin (Al_2O_3 - % ağ. 10 B_4C , Al_2O_3 - % ağ. 20 B_4C ve Al_2O_3 - % ağ. 30 B_4C kaplamaları) mikroyapılarının daha iyi anlaşılması adına Raman spektroskopik analizleri gerçekleştirilmiştir. 167 MeV enerjili Xe^{26+} iyonları ile yapılan ışınlamalar sonucunda, ksenon iyonlarının yaratmış

olduğu kusurlar Raman spektroskopik analizleriyle ortaya konmuştur. Bu bağlamda, dejenere olmuş karbon fazlarına ulaşılmıştır (Şekil 7.15 – Şekil 7.17).

Raman tepe noktalarının şiddeti 167 MeV enerjili Xe²⁶⁺ iyon ışınlamasıyla beraber azaldığı görülmüştür. Ksenon ışınlamasından dolayı oluşan kusurların neden olduğu optik soğurma artışının buna sebebiyet verdiği düşünülmektedir. İlaveten, 167 MeV enerjili, 10¹⁴ iyon/cm² akısında Xe²⁶⁺ iyonları ile ışınlanmış numunelerin Raman piklerinin gözlenebiliyor olması kristal yapının mevcut deney şartlarında tamamiyle bozulmadığını göstermektedir.

Ayrıca, yapılan gama deneyleri ve nötron deneyleri sonucunda çalışılan özel hibrit kompozit malzemeler arasında en uygun sonuçlara ulaşılanı olan volfram matrisli WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemeler ile malzeme hasarı incelemesi bağlamında çalışma yapılması da benimsenmiştir. Volfram matrisli WC- % ağ. 6 Co kompozit malzemeler, 167 MeV enerjili, 4 farklı dozda, 5x10¹² iyon/cm², 10¹³ iyon/cm², 5x10¹³ iyon/cm², 3,38x10¹⁴ iyon/cm²akısında, oda sıcaklığında olmak üzere ksenon (Xe²⁶⁺) iyonları ışınlanmıştır. WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerin 167 MeV enerjili Xe²⁶⁺ iyonları ile farklı dozlarda ışınlanması neticesinde yapılan karşılaştırmalı XRD analizlerinde malzemelerin diffraksiyon piklerinin şiddetinin artan ışınlama dozu ile beraber bir değişime uğramadığı görülmüştür (Şekil 7.23). Bu bağlamda, WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerin maksimum ksenon ışınlama dozunda (3,38x10¹⁴ iyon/cm²) 167 MeV enerjili Xe²⁶⁺ iyonlar karşısında kristal yapısını çok büyük ölçüde muhafaza ettiği söylenebilir.

WC-% ağ. 6 Co kompozit malzemelerin yapılan Raman spektroskopik analizleri sonucunda Xe²⁶⁺ iyonları ile ışınlanmış numunelerin G-band olarak bilinen amorf sp² karbon bağlarına sahip olduğu sonucuna varılmıştır (Şekil 7.25 – Şekil 7.29). Ksenon ışınlamaları sonrası her bir farklı doz değerinde Raman spektroskopik analizlerinde N₂'ye ait olduğu düşünülen fazlar ortaya çıkmıştır. Işınlama sonrası malzemenin yüzeyinde oluşan kusurların hava ile temas etmesinden dolayı spektrumda N₂ ait pikler ortaya çıktığı düşünülmektedir (Şekil 7.30).

SRIM (Stopping and Range of Ions in Matter), iyon implantasyonu araştırma ve teknolojik çalışmalarında ve iyonların madde ile etkileşimlerini hesaplayan bir bilgisayar programıdır. Bu bağlamda, W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C, WC-% ağ. 6 Co ve 321 paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür (Al₂O₃- % ağ. 10 B₄C, Al₂O₃- % ağ.

20 B₄C ve Al₂O₃- % ağ. 30 B₄C) malzemelerin 167 MeV enerjili Xe²⁶⁺ iyonlarıyla farklı doz değerlerinde olmak üzere ışınlamaları sonucunda malzemelerde aldığı yol boyunca oluşturmuş olduğu derinlik profilleri ve buna bağlı olarak radyasyon hasarı (displacement per atom (dpa)) değerleri hesaplanmıştır.

W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C malzemelerin 167 MeV enerjili, 3 farklı dozda (10¹⁴ iyon/cm², 3x10¹⁴ iyon/cm², 5x10¹⁴ iyon/cm²) Xe²⁶⁺ ışınlaması neticesinde Şekil 7.32 – Şekil 7.35’de ksenon iyonların malzemede ulaştığı derinlik ve akabinde oluşturduğu dpa değerleri sunulmuştur.

167 MeV enerjili ksenon iyonları W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C malzemelerde yaklaşık olarak 9 mikron derinliğe ulaşmıştır. Öte yandan, maksimum ışınlama dozunda (5x10¹⁴ iyon/cm²) radyasyon hasarı 3,22 dpa olarak hesaplanmıştır. Bu değer, en küçük olan 10¹⁴ iyon/cm² ışınlama dozunda ise 0.7 dpa olmaktadır. Bu bağlamda, bir karşılaştırma yapıldığında 5x10¹⁴ iyon/cm² doz değerinde W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C volfram kompozit malzemelerin radyasyon hasarı diğer ışınlama doz değerlerine göre (10¹⁴ iyon/cm² ve 3x10¹⁴ iyon/cm²) önemli ölçüde artmaktadır.

321 paslanmaz elik üzerine alümina bor karbür kaplama kompozit malzemelerle (Al₂O₃- % ağ. 10 B₄C, Al₂O₃- % ağ. 20 B₄C ve Al₂O₃- % ağ. 30 B₄C kaplamaları) Xe²⁶⁺ iyon ışınlamaları neticesinde ksenon iyonlarının malzemelerde ulaştığı derinliği ve radyasyon hasarı Şekil 7.36 – Şekil 7.39’da sunulmuştur.

Bu bağlamda, yapılan incelemelerde Al₂O₃- % ağ. 30 B₄C kaplama malzemelerinde 167 MeV enerjili Ksenon iyonlarının ulaştığı derinlik en yüksek değer olan 12,22 mikron iken Al₂O₃- % ağ. 10 B₄C kaplama malzemelerinde en düşük değer olan 11,23 mikron olarak hesaplanmıştır.

Malzemelerin radyasyon hasar değerleri ise yaklaşık olarak 0,1 dpa olarak hesaplanmıştır. Bu bakımdan bir değerlendirme yapıldığında, 321 paslanmaz elik üzerine alümina bor karbür kaplama kompozit malzemelerin (Al₂O₃- % ağ. 10 B₄C, Al₂O₃- % ağ. 20 B₄C ve Al₂O₃- % ağ. 30 B₄C kaplamaları) 167 MeV enerjili ksenon iyon ışınlamaları karşısında 10¹⁴ iyon/cm² doz değerinde birbirine çok yakın sonuçlar gösterdiği söylenebilir.

WC- % ağ. 6 Co kompozit malzemelerin 167 MeV enerjili, 4 farklı dozda (5x10¹² iyon/cm², 10¹³ iyon/cm², 5x10¹³ iyon/cm², 3,38x10¹⁴ iyon/cm²) Xe²⁶⁺ iyon ışınlamaları

neticesinde ksenon iyonlarının malzemelerde ulaştığı derinliği ve radyasyon hasarı değerleri şekil 7.40 – şekil 7.44’de sunulmuştur.

167 MeV enerjili ksenon iyonlarının WC- % ağ. 6 Co malzemelerinde aldığı yol 4 farklı doz değeri için aynı değer olan 8,1 mikron değerinde olduğu görülmüştür. Malzemelerin 5×10^{12} iyon/cm² ve 10^{13} iyon/cm² doz değerlerinde sırasıyla radyasyon hasarı 0,016 ve 0,033 dpa olarak hesaplanmıştır. Ek olarak, artan ışınlama dozuyla beraber bu değer 5×10^{13} iyon/cm² ve $3,38 \times 10^{14}$ iyon/cm² için kayda değer bir artış gösterirken sırasıyla 0,16 ve maksimum değer olan 1,12 dpa değerine ulaşmaktadır.

Bu verilerden hareketle, WC-% ağ. 6 Co malzemelerin 5×10^{12} iyon/cm² ve 10^{13} iyon/cm² doz değerlerinde 167 MeV enerjili ksenon iyonları için radyasyon hasarı oldukça düşük bir değere sahip olması söz konusu iken, 5×10^{13} iyon/cm² dozundan itibaren ciddi bir artış gösterdiği söylenebilir.

Yapılan araştırmalarla, çalışılan özel hibrit kompozit malzemelerin nükleer teknolojide ve diğer ileri teknoloji alanlarında da kullanılabileceği anlaşılmıştır. Bundan sonra ileri çalışmalar da yapılabilir. Şöyle ki; farklı kompozit malzemelerle ilgili çalışmalar yapıp, bu doktora tezi ile geliştirilmiş özel hibrit kompozit malzemelerle ulaşılan sonuçlarla mukayeseli değerlendirmeleri yapılabilir. Ayrıca, çalışılan kaplamalı malzemelerin kaplama kalınlıklarının yeni teknolojiler denenerek artırılmasıyla deneysel çalışmalar gerçekleştirilip irdelenmesi yapılabilir.

Öz olarak, ifade edilmek istenirse, hibrit kompozit malzemelerle çalışılmış olan bu doktora tezinde, özgünlükle volfram matrisli hibrit kompozitlerle (W- % ağ. 6 VC- % ağ. 1 C, W- % ağ. 6 VC- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C, W- % ağ. 6 B₄C- % ağ. 2 TiC- % ağ. 1 C ve WC- % ağ. 6 Co) ve paslanmaz çelik üzerine alümina bor karbür kaplama ve yine paslanmaz çelik üzerine volfram esaslı kaplama malzemelerle gama ve nötron radyasyon kaynakları karşısındaki davranışları deneysel olarak incelenmiş, lineer ve kütle zayıflatma katsayıları, yarı değer kalınlıkları (YDK), onda bir değer kalınlıkları (ODK), ortalama serbest yol değerleri tayin edilmiş ve mukayeseli olarak değerlendirilmiştir. Çalışılan malzemelere ilişkin olarak XCOM bilgisayar programı kullanılarak teorik bağlamda kütle zayıflatma katsayıları hesaplanmış ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılarak uyumluluğu belirlenmiştir. Ayrıca hibrit kompozit malzemeler için efektif atom numaraları da tayin edilmiştir. Çalışılan malzemeler içindeki en uygun malzeme belirlemesi de yapılmıştır. Bunlardan ayrı olarak, ileri

nesil nükleer reaktörlerde ve ileri nükleer uygulamalarda söz konusu malzemelerin kullanılabilceğinden hareketle ne çıkan malzemeler 167 MeV enerjili ksenon (Xe^{26+}) iyonları ışınlanarak oluşabilecek malzeme hasarı değerlendirmeleri yapılmıştır. Bu bağlamda, farklı doz değerlerinde olmak üzere ksenon ışınlamaları öncesi ve sonrasında olmak üzere malzemelerin mikroyapısal durumları XRD ve Raman spektroskopik analizleri ile gerçekleştirilmiştir. Ek olarak, 167 MeV enerjili Xe^{26+} iyonlarının malzemelerde oluşturduğu radyasyon hasarı ve malzemeler üzerinde ulaştığı derinlik profilleri SRIM simülasyonu kullanılarak tayin edilmiştir. Böylelikle, çeşitli yönlerden özgün ve nükleer teknolojiye kullanılabilceği gibi bu konu dışında da uygulamada (nano teknoloji ve uzay teknolojisi vb. gibi diğer ileri teknolojilerde) kullanılabilme olasılığı olan hibrit kompozit malzemelerle özel bir araştırma konusu üzerinde çalışılmış olmaktadır.



KAYNAKLAR

- Ackermann, M., Ajello, M., Allafort, A., Baldini, L.** (2013). Detection of the characteristic Pion-decay signature in supernova remnants. *Science, American Association for the Advancement of Science*, 339 (6424), 807-811. doi: 10.1126/science.1231160.
- Akkaş, A.** (2015). *Alüminyum-Bor-Karbür kompozit malzemelerin radyasyon karşısında davranışının belirlenmesi, Xcom bilgisayar programı ile incelenmesi ve yeni bir hibrit kompozit radyasyon zırh malzemesi önerisi* (Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- Armstrong, E., Osiak, M., Geaney, H., Glynn, C., O'Dwyer, C.** (2014). 2D and 3D vanadium oxide inverse opals and hollow sphere arrays. *CrystEngComm*, 16 (47), 10804-10815. doi: 10.1039/C4CE01797H.
- Arrazola, J.P., Garay, A., Iriarte, L.M., Armendia, M., Marya, S., Maitre, F.L.** (2009). Machinability of titanium alloys (Ti6Al4V and Ti555.3). *Journal of Materials Processing Technology*, 209, 2223-2230. doi: 10.1016/j.jmatprotec.2008.06.020.
- Bailet, J., Gavarini, S., Garnier, V., Leconte, Y.** (2018). Surface damage on polycrystalline SiC by xenon irradiation at high fluence. *Journal of Nuclear Materials*, 503, 140-150. doi:10.1016/j.nucmat.2018.01.026.
- Baldissarelli, V.Z., Benetoli, L.O.B., Cassini, F.A., Souza, I.G., Debacher, N.A.** (2014). Plasma assisted production of carbon black and carbon nanotubes from methane by thermal plasma reform. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 25, 126-132. Doi: 10.5935/0103-5053.20130278.
- Banerjee, D., Huston, W.R., Zheng, Q., Kilmann, B.J.** (2011). US Patent. 20110195834A1.
- Baserga, A., Russo, V., Di Fonzo, F., Bailini, A., Cattaneo, D., Casari, C.S., Li Bassi, A., Bottani, C.E.** (2007). Nanostructured Wolfram oxide with controlled properties: Synthesis and raman characterization. *Thin Solid Films*, 515, 16, 6465-6469. doi: 10.1016/j.tsf.2006.11.067.
- Bengtsson, S., Tyler, G.** (1976). *Vanadium in the environment*. London, University of London Monitoring and Assessment Research Centre, (MARC Report No. 2).
- Bhuyan, M., Mohanty, S.R., Rao, C.V.S., Rayjada, P.A., Raole, P.M.** (2013). Plasma focus assisted damage studies on Wolfram. *Applied Surface Science*, 264, 674-680. doi: 10.1016/j.apsusc.2012.10.093.
- Bilge, A.N., Tuğrul, A.B.** (1990). "Endüstriyel Radyografinin Esasları" İTÜ Rektörlük Ofset Atölyesi, İstanbul.

- Boltushkin, V.V.** (1986). JINR Reports. JINR reports, 9-86-305, Dubna, Russia.
- Büyük, B.** (2013). *Volfram, titanyum, bor içeren bazı malzemelerin gama ve nötron radyasyonu karşısındaki davranışının incelenmesi, xcom bilgisayar programı ile irdelenmesi ve yeni bir radyasyon zırh malzeme önerisi* (Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, 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.
- Clinard, F.W.** (1984). Ceramics for fusion devices. *Journal of Materials for Energy Systems*, 6, 100-106.
- Das A., Ferbel T.** (2003). *Introduction to Nuclear and Particle Physics*. World Scientific Publishing, 2nd Ed, ISBN 981-238-744-7, Singapur.
- Dash, T., Nayak, B.** (2013). Preparation of WC-W₂C composites by arc plasma melting and their characterisations. *Ceramics International*, 39 (3) 3279-3292. doi: 10.1016/j.ceramint.2012.10.016.
- Demir, E., Gledenov, Y.M., Tuğrul, A.B., Mirzayev, M.N., Islamov, A.Kh., Turchenko, V.A., Yılmaz, O., Büyük, B., Sansarbayar, E., Öveçoğlu, M.L.** (2019). Structural and morphological studies under small-angle neutron scattering of volfram alloys. *Moscow University Physics Bulletin*, 74 (5), 518-522.
- Demir, E., Karabaş, M., Sultan, S., Tuğrul, A.B., Öveçoğlu, M.L., Büyük, B.** (2017). Comparison of Radiation Properties of Volfram and Additive Metal Coatings on 321 Stainless Steel Substrate. *Acta Physica Polonica A*, 131 (1), 71- 73, doi: 10.12693/APhysPolA.131.71.
- Demir, E., Mirzayev, M.N., Tuğrul, A.B., Gledenov, Y.M., Turchenko, V.A., Yılmaz, O., Büyük, B., Öveçoğlu, M.L.** (2019). Investigations on surface morphologies, microstructure and themal properties of Volfram-based composites. *Modern Physics Letter B*, 33 (19).
- Demir, E., Tuğrul, A.B., Büyük, B.** (2019). Determination of gamma ray attenuation of WC-6wt%Co materials against Co-60 gamma radioisotope source. *Advanced Physical Research*, 1, 32-36.
- Demir, E., Tuğrul, A.B., Büyük, B., Yılmaz, O., Öveçoğlu, M.L.** (2018). Comparison of W-VC-C Composites Against Co-60, Se-75 and Sb-125 for Gamma Radioisotope Sources. *American Institute of Physics*. doi: 10.1063/1.5026012.
- Demir, E., Tuğrul, A.B., Sultan, S., Öveçoğlu, M.L., Büyük, B., Yılmaz, O.,** (2017). Assessment on Gamma Attenuation Behavior of W-VC-C and W-VC-TiC-C Composites for Co-60 Radioisotope. *Acta Physica Polonica A*, 132 (3-II), 830-832., doi:10.12693/APhysPolA.132.830.
- Dorman, I.V., Dorman, L.I.** (2014). How cosmic rays were discovered and why they received this misnomer. *Advances in Space Research*, 53 (10), 1388-1404. doi: 10.1016/j.asr.2013.04.022.
- Dresselhaus, M.S., Dresselhaus, G., Saito, R., Joria, A.** (2005). Raman spectroscopy of carbon nanotubes. *Physics Reports*, 409, 47-99.

- Dryzek, J., Horodek, P., Skuratov, V.A.** (2017). Defect Range and Evolution in Swift Xe-Ion irradiated pure silver studied by positron annihilation technique. *Acta Physica Polonica A*, 132, 1585-1589. doi: 10.12693/AphysPolA.132.1585.
- Ferrari, A.C.** (2007). Raman spectroscopy of graphene and graphite: Disorder, electron-phonon coupling, doping, and nonadiabatic effects. *Solid State Communications*, 143, 47-57. doi: 10.1016/j.ssc.2007.03.052.
- Frey, G.L., Rothschild, A., Sloan, J., Rosentsveig, R., Popovitz-Biro, R., Tenne, R.** (2001). Investigations of nonstoichiometric Wolfram oxide nanoparticles. *Journal of Solid State chemistry*, 162 (2), 300-314. doi: 10.1006/jssc.2001.9319.
- Gauster, W.B., Spears, W.R.** (1994). Atomic and Plasma-Material Interaction Data for Fusion (Supplement to the journal nuclear fusion). Vol. 5, IAEA Publishing, Austria, Vienna.
- Geogy, G., Shaikh, H.** (2002). *Introduction to austenitic stainless steels. Corrosion of Austenitic Stainless Steels*. Woodhead publishing. Hardcover ISBN: 9781855736139.
- Ghoranneviss, M., Salar Elahi, A.** (2015). Microstructure study of alloy to enhance safety and reduce adverse environmental effects of future fusion power plants. *Fusion Engineering and Design* 94, 1-6. doi: 10.1016/j.fusengdes.2015.02.059.
- Gikal, B.N.** (2003). Update of IC-100 cyclic implanter. JINR Reports, 39-2003-121, Dubna, Russia.
- Gordus, A.A.** (1967). Quantitative Non-destructive Neutron Activation Analysis of Silver in Coins. *Archaeometry*, 10 (1), 78-86.
- Gospodinov, D., Ferdinandov, N., Dmitrov, S.** (2016). Classification, properties and application of titanium and its alloys. *Proceedings of University of Ruse*, vol 55, book 2.
- Gosset, D., Miro, S., Doriot, S., Moncoffre, N.** (2016). Amorphisation of boron carbide under slow heavy ion irradiation. *Journal of Nuclear Materials*, 476, 198-204.
- Grob, R., Bunke, D., Otto Gensch, C., Zangl, S., Manhart, A.,** (2008). Study on hazardous substances in electrical and electronic equipment, not regulated by the Rohs directive (Rapor No: 070307/2007/476836/MAR/G4). Oko-Institut e.V. Raporu.
- Heiserman, D.L.** (1992). *Exploring Chemical Elements and their Compounds*. CRC Handbook of Chemistry and Physics, 77th Edition.
- Herrera, V., Fernandez, L.M., Aragon, B., Zamora, I.** (2000). Characterization of vanadium carbides coatings produced by thermochemical difusive treatment in molten salts: Composition and residual stresses. *Revista Latinoamericana de Metalurgia Materials*, 20, 2, 42-46.
- Holbert, K.E.** (2006). Radiation effects and damage ders notları. Arizona State University.

- Humphry-Baker, S.A., Lee, W.E.** (2016). Wolfram carbide is more oxidation resistant than wolfram when processed to full density. *Scripta Materialia*, 116, 67-70.
- Knief, R.A.** (1981). *Nuclear Energy Technology*, McGraw-Hill, 1981, p. 72.
- Knoll G.F.**, (2002). *Radiation Detection and Measurement*, University of Michigan, John Wiley&Sons,Inc.
- Kovalev, D., Konovalihin, S.V.** (2017). Boron carbide. *Concise Encyclopedia of Self-Propagating High-Temperature Synthesis*, 2017, 42-44. doi: 10.1016/B978-0-12-804173-4.00018-1.
- L'Annunziata, M.** (2012). Handbook of Radioactivity Analysis, 3rd Edition, eBook ISBN:9780123848741.
- Lassner, E., Schubert, W.D.** (1999). *Wolfram: Properties, Chemistry, Technology of the Elements Alloys and Chemical Compounds*. Plenum Publishers, ISBN 0-306-45053-4, New York.
- Latsyh, V., Krallics Gy., Alexandrov, I., Fodor, A.**, (2005). Application of bulk nanostructured materials in medicine. *Current Applied Physics*, 6, 262-266. doi: 10.1016/j.cap.2005.07.053.
- Lazzari, R., Vast, V., Besson, J.M., Baroni, Corso, D.** (1999). Atomic structure and vibrational properties of icosahedral B₄C boron carbide. *Physical Review Letters*, 83, 3230-3233. doi: 10.1103/PhysRevLett.83.3230.
- Li, B., Liu, H., Kang, L., Zhang, T., Xu, L., Xiong, A.** (2019). Irradiation damage in xenon-irradiated Al₂O₃ before and after annealing. *Journal of the European Ceramic Society*, 39, 4307-4312.
- Lide, D.R.** (2005). *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. Internet version 2005.
- Liu, Y., Pan, C., Wang, J.** (2004). Raman spectra of carbon nanotubes and nanofibers prepared by ethanol flames. *Journal of Materials Science*, 39, 1091-1094.
- Loağher, J.E.** (1986). Molecular orbital studies of refractory metal carbides. Science of hard materials. *Proceedings of the international conference. International conference on the science of the hard materials*; Rhodes (Greece); 23-28 Sep 1984.
- Luo, Y.** (2010). *Biotribology*, ISTE-Wiley, London, p. 157.
- Maier, H., Luthin, J., Baden, M., Linke, J., Koch, F., Bolt, H.** (2001). Properties of Wolfram coatings deposited onto fine grain graphite by different methods. *Surface and Coatings Technology*, 142, 733-737. doi: 10.1016/S0257-8972(01)01177-X
- Marmy, P., Luppò, M.** (2003). Effect of hydrogen on the fracture toughness of the Titanium alloys Ti6Al4V and Ti5Al2.5Sn before and after neutron irradiation. *Plasma Devices and Operations*, 11 (2), 71-79.
- Massalski, T.B.** (1990). Binary alloy phase diagrams. 2d. Ed., ASM International, Metals Park, OH.

- Mirzayev, M.N., Mammadov, Kh.F., Skuratov, V.A., Demir, E., Jabarov, S.H., Ismayilova, N.A., Biira, S., Abdurakhimov, B., Popov, E.** (2019). Oxidation kinetics and thermophysical properties of gamma irradiated silicon hexaboride. *Journal of Alloys and Compounds*, 801 (15), 151-157.
- Mirzayev, M.N., Skuratov, V.A., Demir, E., Tiep, N.V., Asgerov, E., Jabarov, S.H., Mammadov, Kh.F., Mehdiyeva, R.N., Tuğrul, A.B., Garibov, R.G.** (2018). Study of Atom Dynamics of the SS Grade 321 B₄C Al₂O₃ Compounds Under Heavy Ion Irradiation. *Journal of Radiation Researches*, 5 (2), 173-178.
- Moffatt, W.G.** (1984). *The handbook of binary phase diagrams*. Genum publishing corp., Schenectady, NY.
- Mortensen, A., Christensenand, D.A., Nielseo, O.F., Pedersen, E.** (1991). Raman spectra of amorphous Al₂O₃ and Al₂O₃/MoO₃ obtained by visible and infrared excitation. *Journal of Raman Spectroscopy*, 22, 4749.
- Mullendore, A.W., Whitley, J.B., Mattox, D.M.** (1981). Thermal fatigue testing of coatings for fusion reactor applications. *Thin Solid Films*, 83, 79-85.
- Muroga, T., Chen. J.M., Chernov V.M., Kurtz R.J., Le Felm., M.** (2014). Present status of vanadium alloys for fusion applications. *Journal of Nuclear Materials*, 455, 263-268. doi: 10.1016/j.jnucmat.2014.06.025.
- Nahak, S., Dewangan, S., Chattopadhyaya S.** (2015). Wear characterization into WC-Co by FE-SEM. *Procedia Earth and Planetary Science*, 11, 284-293.
- National Research Council**, (1974). *Vanadium. Committee on biological effects of atmospheric pollutants*. Washington, DC, National Academy of Sciences.
- Neu, R., Bobkov. V., Dux. R., Fuchs. J.C., Gruber O., Herrmann. A., Kallenbach. A., Maier. H., Mayer. M., Pütterich. T., Rohde. V.** (2009). Ten years of W programme in ASDEX Upgrade—challenges and conclusions. *Physica Scripta*, 138. doi: 10.1088/0031-8949/2009/t138/014038.
- Nishimura, T., Yoshino, H., Takoa, K., Masumoto, Y.** (1981). The effect of hot isostatic pressing on the properties of binderless cemented carbide. *Nippon. Wolfram Rev.*, 14, 20-24.
- Noda, N., Phillips, V., Neu. R.** (1997). A review of recent experiments on W and high Z materials as plasma faacing components in magnetic fusion devices. *Journal of Nuclear Materials*, 241, 227-243. doi: 10.1016/S0022-3115(97)80042-6.
- Nuclear -Chicago Corp.** (1960). *Analytical Chemistry*, 32 (10), pp 107A.
- Nuclear Energy Agency** (2000). *Nuclear Energy in a Sustainable Development Perspective*.
- Palacios, T., Monge, M.A., Pastor, J.Y.** (2015). Wolfram-vanadium-ytria alloys for fusion power reactors (I). *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 54, 433-438. doi:10.1016/j.jrmhm.2015.07.032.

- Pan, C.H., Wu, Y.C., Feng, K.M., Liu, S.L.** (2008). DEMO development strategy based on China FPP program. *Fusion Engineering and Design*, 83, 877-882. doi: 10.1016/j.fusengdes.2008.05.035.
- Pickering, F.B.** (1976). Physical metallurgical development of stainless steels. *International Metals Reviews*, 227,268.
- Pierson, H. O.** (1996). *Handbook of Refractory Carbides and Nitrides*. Noyes Publications, NJ, ABD.
- Pintsuk, G.** (2012). Wolfram as a plasma-facing material. *Comprehensive Nuclear Materials*, 4, 551-581. doi: 10.1016/B978-0-08-056033-5.00118-X.
- Powder Diffraction Files:** Card No. 04-0806, database edition, The International Centre for Diffraction Data (ICDD).
- Powsner, R.A., Powsner, E.R.** (2006). *Essential Nuclear Medicine Physics*. Blackwell Publishing, 2nd Ed, ISBN 1-4051-0484-8, Massachusetts.
- Reddy, K.M., Liu, P., Hirata, A., Fujita, T., Chen, M.W.** (2013). Atomic structure of amorphous shear bands in boron carbide. *Nature Communications* 4, article number: 2483.
- Regragui, M., Addou, M., Outzourhit, A., Bernede, J.C., El Idrissi, E., Benseddik, E., Kachouane, A.** (2000). Preparation and characterization of pyrolytic spray deposited electrochromic Wolfram trioxide films. *Thin Solid Films*, 358, 40-45.
- Reyes, J., Delgado-Macuil, R.J., Dorantes-Garcia, V., Perez-Benitez, A., Balderas-Lopez, J.A., Ariza-Ortega, J.A.** (2010). Physical properties characterization of WO₃ films grown by hot-filament metal oxide deposition. *Materials Science and Engineering B*, 174, 182-186. doi: 10.1016/j.mseb.2010.03.061
- Riberio, M.V., Moreira M.R.V., Ferreira J.R.** (2003). Optimization of titanium alloy (6Al-4V) machining. *Journal of Materials Processing Technology*, 143-144, 458-463. doi: 10.1016/S0924-0136(03)00457-6.
- Rinard, P.** (1970). Neutron Interactions with Matter Los Alamos Technical Report.
- Rivlin, V. G., Raynor, G.V.** (1980). Phase equilibria in iron-ternary alloys. I. Critical evaluation of constitution of chromium-iron-nickel system. *International Metalurgical Reviews*, 25, 21-38.
- Roth, J., Tsitron, E., Loarer, T., Philipps, V., Brezinstek, S., Loarte, A., Counsell, G.F., Doerner, R., Schmid, K., Ogorodnikova, O.V.** (2008). Tritium inventory in ITER plasma-facing materials and tritium removal procedures. *Plasma Physics and Controlled Fusion*, 50, 20. doi: 10.1088/0741-3335/50/10/103001.
- Rytz, A.** (1973). *Atomic Data and Nuclear Data Tables* 12, 479.
- Sandfort, V., Goldschmidt, J., Wollenstein, J., Palzer, S.** (2018). Cavity-Enhanced Raman Spectroscopy for food chain management. *Sensors*, 18 (3), 709. doi: 10.3390/s18030709.
- Sarin, K., Mari, D., Llanes, L., Nebel, C.E.** (2014). *Comprehensive hard materials, Elsevier*, vol 1: Hardmaterials.

- Sharma, S.K.**, (2008). Atomic and Nuclear Physics. ISBN 978-81-317-1924-4.
- Shvets, P., Dikaya, O., Maksimova, K., Goikhman, A.** (2019). A review of Raman spectroscopy of vanadium oxide. *Journal of Raman Spectroscopy*, 50, 1226-1244. doi:10.1002/jrs.5616.
- Singh, P.V., N. M. Badiger, N.M., Kucuk, N.** (2014). Determination of effective atomic numbers using different methods for some low-Z materials. *Journal of Nuclear Chemistry*, article ID 725629, doi: 10.1155/2014/725629.
- Smid, I., Akiba, M., Viedier, G., Plöchl, L.** (1998). Development of Wolfram armor and bonding to copper for plasma-interactive components. *Journal of Nuclear Materials*, 258, 160-172. doi: 10.1016/S0022-3115(98)00358-4.
- Smith, D.L., Billone, M.C., Natesan, K.** (2000). Vanadium-base alloys for fusion first-wall/blanket applications. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 18, 213-224. doi: 10.1016/S0263-4368(00)00037-8.
- Şahin, Y.** (2006). *Kompozit malzemeler giriş*. Seçkin yayıncılık, ISBN 975 02 0328 3, Ankara.
- Thevenot, F.** (1990). Boron Carbide – A Comprehensive Review. *Journal of European Ceramic Society*, 6, 205-225. doi: 10.1016/0955-2219(90)90048-K.
- Trukhanov, A.V., Kozlovskiy, A.L., Ryskulov, A.E., Uglov, V.V.** (2019). Control of structural parameters and thermal conductivity of BeO ceramics using heavy ion irradiation and post-radiation annealing. *Ceramics International*, 45 (12), 15412-15416. Doi: 10.1016/j.ceramint.2019.05.039.
- Tugrul, A.B., Cimen, S.** (2015). Assessment of Sustainable Energy Development. *Energy Systems and Management Springer*, 10, 109-114, Heidelberg, (ISBN 978-3-319-16023-8).
- Tuğrul, A.B.** (2014). “Energy Policy and Interactions with Politics and Economics”, *International Conference on Energy Environmental Engineering-ICEEE 2014, 21-22 Kasım 2014, Paris-France, proc.* pp. 801-804.
- Tuğrul, A.B., Demir, E., Yılmaz, O., Sultan, S., Öveçoğlu, M.L., Büyük, B.** (2016). An investigation on the mass attenuation coefficients of W VC C and W VC TiC C composites for gamma radioisotopes. *Acta Physica Polonica A*, 129 (4), 727-727, doi: 10.12693/AphysPolA.129.724.
- Urbonaite, S., Halldahl, L., Svensson, G.** (2008). Raman spectroscopy studies of carbide derived carbons. *Carbon*, 46, 1942-1947. doi: 10.1016/j.carbon.2008.08.004.
- Url-1** <www.polimaster.com>, erişim tarihi 17.06.2016.
- Url-2** <https://radwag.com/pliki/foldery/folder_ps2.pdf>, erişim tarihi 02.10.2018.
- Url-3** <<http://www.originlab.com>>, erişim tarihi 07.02.2017.
- Url-4** <<http://physics.nist.gov/cgi-bin/Xcom/xcom2>>, erişim tarihi 15.02.2018.

Url-5 <www.srim.org>., erişim tarihi 14.10.2019.

- Wang, Z., Zhao, K., Chen, W., Chen, X., Zhang, L.** (2013). Phase transformation research of fusion reactor first wall material Volfram. *Applied Thermal Engineering*, 59, 498-503. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2013.06.017.
- Water, M.D.** (1977). *Toxicology of vanadium*. In: Goyer, R.A. & Mehlman, M.A., ed. Advances in modern toxicology. Vol. 2. Toxicology of trace elements. New York, Wiley, 1977, pp. 147-189.
- Werheit, H., Au, T., Schmechel, R., Shalamberidze, S.O., Kalandadze, G.I., Eristavi, A.M.** (2000). IR-Active phonons and structure elements of isotope-enriched boron carbide. *Journal of Solid State Chemistry*, 154, 79-86. doi: 10.1006/jssc.2000.8815.
- Wijs, G.A., Groot, R.A.** (2001). Amorphous WO₃: a first-principles approach. *Electrochimica Acta* 46, 1989-1993.
- Wong, C.P.C., Malang, S., Nishio, S., Raffray, R., Sagara, A.** (2002). Advanced high performance solid wall blanket concepts. *Fusion Engineering and Design*, 61-62, 283-293. doi: 10.1016/S0920-3796(02)00295-8.
- Xiaoyang, R., Miao, H., Peng, Z.** (2013). Special issue on hard ceramics and super hard materials. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 39, 61-77.
- Yamamoto, S., Shikama, T., Belyakov, V., Farnum, E., Hodgson, E.** (2000). Impact of irradiation effects on design solutions for ITER diagnostics. *Journal of Nuclear Materials*, 283-287, 60-69.
- Yang, B.Q., Wang, X.P., Zhang, H.X., Wang, Z.B., Feng, P.X.** (2008). Effect of substrate temperature variation on nanostructured WC films prepared using HFCVD technique. *Materials Letters*, 62 (10-11), 1547-1550. doi: 10.1016/j.matlet.2007.09.020.
- Yiğit, Z.** (1996). *Endüstriyel Atık Malzemesi Olan Kağıt ile Bor Elementi Kullanılarak Nötron Zırhlamasında Etkili bir Zırh Geliştirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İTÜ.
- Yoshida, N.** (1999). Review of recent works in development and evaluation of high-Z plasma facing materials. *Journal of Nuclear Materials*, 266-269, 197-206. doi: 10.1016/S0022-3115(98)00817-4.
- Zirour, H., Izerrouken, M., Sari, A.** (2016). Radiation damage induced in Al₂O₃ single crystal sequentially irradiated with reactor neutrons and 90 MeV Xe ions. *Nuclear Instruments Methods B*, 377, 105-111.

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Ertuğrul DEMİR
Doğum Tarihi ve Yeri : 07.02.1986 Keşan/Edirne
E-posta : ertudemir@itu.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2011, Gazi Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Fizik Öğretmenliği
- **Yükseklisans** : 2014, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Nükleer Araştırmalar Anabilim Dalı, Radyasyon Bilim ve Teknoloji YL. Programı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2013-2020 yılları arasında İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü Nükleer Araştırmalar Anabilim Dalı'nda Araştırma Görevlisi olarak çalıştı.
- 2017-2018 yılları arasında Joint Institute For Nuclear Research (JINR), Frank Laboratory of Neutron Physics bölümünde, Dubna/Rusya, ziyaretçi araştırmacı olarak çalıştı.
- 2016 yılında Belarussian State University, Fizik bölümünde ziyaretçi araştırmacı olarak çalıştı.
- 2014 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi'nde Enerji Enstitüsünde yüksek lisansını yaptı.

YAYIN LİSTESİ:

- M.N. Mirzayev, Kh.F. Mammadov, V.A. Skuratov, **E. Demir**, S.H. Jabarov, N.A. Ismayilova, S. Biira, B. Abdurakhimov, E. Popov (2019). Oxidation kinetics and thermophysical properties of gamma irradiated silicon hexaboride. *Journal of Alloys and Compounds*, Vol 801, 15, pp 151-157. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925838819322169?via%3Dihub>

- **Ertuğrul Demir**, Matlab N. Mirzayev, A. Beril Tuğrul, Yury M. Gledenov, Vitali A. Turchenko, Ozan Yılmaz, Bülent Büyük, M. Lütfi Öveçoğlu (2019). Investigations on surface morphologies, microstructure and thermal properties of Wolfram-based composites. *Modern Physics Letter B*, Vol.33, No.19. <https://www.worldscientific.com/doi/10.1142/S0217984919502166>
- Matlab Mirzayev, **Ertuğrul Demir**, Khagani Mammadov, Ravan Mehdiyeva, Sakin Jabarov, A. Beril Tuğrul, Sapina Biiara, Nguyen Tiep, Thasible Thabethe (2019). Thermodynamics kinetics of boron carbide under gamma irradiation dose. *International Journal of Modern Physics B*. <https://www.worldscientific.com/doi/pdf/10.1142/S0217979219500735>
- **Ertuğrul Demir**, Yury M. Gledenov, A. Beril Tuğrul, Matlab N. Mirzayev, Ahmed Kh. Islamov, Vitaly A. Turchenko, Ozan Yılmaz, Bülent Büyük, Enkhbold Sansarbayar, M. Lütfi Öveçoğlu (2019). Structural and morphological studies under small-angle neutron scattering of Wolfram alloys. *Moscow University Physics Bulletin*, in press.
- **Demir, E.**, Tuğrul, A.B., Büyük, B. (2019). Determination of gamma ray attenuation of WC-6wt%Co materials against Co-60 gamma radioisotope source. *Advanced Physical Research*, vol.1, pp 32-36.
- Mirzayev Matlab, Skuratov BA, **Demir Ertuğrul**, Tiep NV, Asgerov Elmar, Jabarov SH, Mammadov Kh F, Mehdiyeva RN, Tuğrul A. Beril, Garibov Rg (2018). Study of Atom Dynamics of the (SS Grade 321) B₄C Al₂O₃ Compounds Under Heavy Ion Irradiation. *Journal of Radiation Researches*, 5(2), 173-178. Paper
- **Demir Ertuğrul**, Tuğrul A. Beril, Büyük Bülent, Yılmaz Ozan, Övecoglu M. Lutfi (2018). Comparison of W-VC-C Composites Against Co-60, Se-75 and Sb-125 for Gamma Radioisotope Sources. *American Institute of Physics*. Doi: 10.1063/1.5026012 <https://aip.scitation.org/doi/10.1063/1.5026012>
- **Demir Ertuğrul**, Tugrul Asiye Beril, Sönmez Sultan, Öveçoğlu Lütfi, Büyük Bülent, Yılmaz Ozan (2017). Assessment on Gamma Attenuation Behavior of W-VC-C and W-VC-TiC-C Composites for Co-60 Radioisotope. *Acta Physica Polonica A*, 132(3-II), 830-832., Doi:10.12693/APhysPolA.132.830 <http://przyrbwn.icm.edu.pl/APP/PDF/132/app132z3-IIp007.pdf>
- **Demir Ertuğrul**, Karabas Muhammet, Sönmez Sultan, Tugrul Asiye Beril, Öveçoğlu Mustafa Lütfi, Buyuk Bülent (2017). Comparison of Radiation Properties of Wolfram and Additive Metal Coatings on 321 Stainless Steel Substrate. *Acta Physica Polonica A*, 131(1), 71- 73., Doi: 10.12693/APhysPolA.131.71 <http://przyrbwn.icm.edu.pl/APP/PDF/131/a131z1p21.pdf>
- Zaim Nimet, Tugrul Asiye Beril, Atlas Hakan, Buyuk Bulent, **Demir Ertuğrul**, Baydoğan Nilgün, Altınsoy Nesrin (2016). Investigation of Natural Radioactivity of Surface Soil Samples in the Vicinity of Edirne Turkey. *Acta Physica Polonica A*, 130(1), 64-67., Doi:10.12693/APhysPolA.130.64 <http://przyrbwn.icm.edu.pl/APP/PDF/130/a130z1p016.pdf>
- Yıldırım Selahattin, Tugrul Asiye Beril, Buyuk Bulent, **Demir Ertuğrul** (2016). Gamma Attenuation Properties of Some Aluminum Alloys. *Acta Physica Polonica A*, 129(4), 813-815., Doi:10.12693/APhysPolA.129.813 <http://przyrbwn.icm.edu.pl/APP/PDF/129/a129z4p103.pdf>

- Tugrul Asiye Beril, **Demir Ertuğrul**, Yılmaz Ozan, Sönmez Sultan, Öveçoğlu Mustafa Lütfi ,Buyuk Bulent (2016). An Investigation on the Mass Attenuation Coefficients of W VC C and W VC TiC C Composites for Gamma Radioisotopes. Acta Physica Polonica A, 129(4), 724-727., Doi: 10.12693/APhysPolA.129.724 <http://przyrbwn.icm.edu.pl/APP/PDF/129/a129z4p081.pdf>
- Tugrul Asiye Beril, Erentürk Sema, Hacıyakupoglu Sevilay, Yavuz Nilgün, Altınsoy Nesrin, Baydoğan Nilgün, Baytaş Ayşe Filiz, Büyük Bülent, **Demir Ertuğrul**, Sonay Gedik (2015). Kinetic and Thermodynamic Behavior of Selenium on Modified Bentonite and Activated Carbon using Radiotracer Technique. Acta Physica Polonica A, 128(2B), 180-182., Doi: 10.12693/APhysPolA.128.B-180 <http://przyrbwn.icm.edu.pl/APP/PDF/128/a128z2bp049.pdf>
- Tugrul Asiye Beril, Hacıyakupoglu Sevilay, Erentürk Sema, Yavuz Nilgün, Baytaş Ayşe Filiz, Baydoğan Nilgün, Altınsoy Nesrin, Bülent Buyuk, Oruçoglu Esra, **Demir Ertuğrul**, Zeynep Camtakan, Muhittin Okka (2015). Investigation for Remediation of Selenium Aqueous Environment with Using Organic Pillared Bentonite by Radiotracer Technique. Acta Physica Polonica A, 127(4), 1186-1188., Doi: 10.12693/APhysPolA.127.1186 <http://przyrbwn.icm.edu.pl/APP/PDF/127/a127z4p090.pdf>
- **Demir Ertuğrul**, Tugrul Asiye Beril, Baydoğan Nilgün, Baytaş Ayşe Filiz, Altınsoy Nesrin, Hacıyakupoglu Sevilay, Büyük Bülent (2014). Evaluation of Rubidium and Potassium Diffusion in Soil by Radiotracer Technique. Defect and Diffusion Forum, 353, 199-204, Doi:10.4028/www.scientific.net/DDF.353.199 <https://www.scientific.net/DDF.353.199.pdf>
- Baytaş Ayşe Filiz, Tugrul Asiye Beril, Gökbülak Ferhat, Baydoğan Nilgün, Altınsoy Nesrin, Hacıyakupoglu Sevilay, Yavuz Nilgün, Erentürk Sema, Büyük Bulent, **Demir Ertuğrul**, Zeynep Camtakan (2013). Investigation of Salt Diffusion in Soil by Using Radiotracing Technique. Defect and Diffusion Forum, 274-278., Doi: 10.4028/www.scientific.net/DDF.334-335.274 <http://www.scientific.net/DDF.334-335.274>

ULUSLARASI BİLDİRİLER

- **Demir Ertuğrul**, Gledenov Yury M., Tuğrul A. Beril, Nabiyev Asif, Yılmaz Ozan, Öveçoğlu M. Lütfi (2018). *Structural and Morphological Studies of Volfram Alloys with X-Ray diffraction, Raman Spectroscopy and Scanning Electron Microscopy*. School on Condensed State Physics, St. Petersburg, Russia, 12-17 March 2018.
- Mirzayev Matlab, Skuratov Ba, **Demir Ertuğrul**, Tjep NV, Asgerov Elmar, Jabarov SH, Mammadov Kh. F., Mehdiyeva RN., Tuğrul A. Beril, Garibov Rg (2018). *Study of Atom Dynamics of the (SS Grade 321) B4CA12O3 compounds under heavy ion irradiation*. Radiation Processes and Their Applications, Baku, Azerbaijan, 13-15 November 2018 (Abs.Book p. 173-178).

- **Demir Ertuğrul**, Gledenov Yury M. Nabiyev Asif, Islamov Ahmed, Turchenko Vitaly, Pawlukoje Andrzej, Yılmaz Ozan, Tuğrul A. Beril, Bülent Büyük, Öveçoğlu M. Lütfi (2018). *Investigations on Microstructure, Electrical, and Thermal Properties of Wolfram Based Composites*. 18th International Balkan Workshop on Applied Physics, Constanta, Romania, 7-10 July 2018.
- Büyük Bülent, Tuğrul A. Beril, **Demir Ertuğrul**, Aktop Sercan, Addemir Okan (2017). *Boron carbide particle size effects on thermal neutron attenuation behavior of boron carbide-titanium diboride composites*. International Conference on Nano meeting, Minsk, Belarus, 29 May, 02 June 2017.
- **Demir Ertuğrul**, Tuğrul A. Beril, Büyük Bülent (2017). Determination of Gamma Ray Attenuation of WC- 6wt Co material against Co-60 gamma radiotracer applications for gamma radioisotope source. 4th International Conference on Computational and Experimental Science and Engineering, Kemer/Antalya, Turkey, 4-10 October 2017
- Asiye Beril, Buyuk Bulent, **Demir Ertuğrul** (2017). *Determination of Gamma Ray Attenuation of WC-6wt% Co Material Against Co-60 Gamma Radiotracer Applications for Gamma Radioisotope Source*. 4th International Conference on Computational and Experimental Science and Engineering-ICCESEN-2017.
- **Demir Ertuğrul**, Tuğrul Asiye Beril, Buyuk Bulent, Yılmaz Ozan, Ovecoglu Lütfi (2017). *Comparison of W-VC-C Composites Against Co-60, Se-75 and Sb-125 for Gamma Radioisotope Sources*. Turkish Physical Society 33rd International Physics Congress, İzmir, Turkey, 6-10 September 2017, (Book of Abstract, p:665)
- Uglov V. Vladimir, Remnev G.E., Safranov I.V., Dorozhin N.N., Kvasov N.T., **Demir Ertuğrul** (2016). Transport process and radiation shielding modeling in TiN a Si₃N₄ nanocomposite. NuMat 2016: The nuclear Materials Conference, Montpellier, France, 7-10 November 2016.
- **Demir Ertuğrul**, Tuğrul Asiye Beril, Sönmez Sultan, Öveçoğlu M. Lütfi, Büyük Bülent, Yılmaz Ozan (2016). *Assessment on Gamma Attenuation Behavior of W VC C and W VC TiC C Composites for Co 60 Radioisotope*. 3rd International Conference on Computational and Experimental Science and Engineering (ICCESEN 2016), Kemer/Antalya, Turkey, 19-24 October, 2016.
- **Demir Ertuğrul**, Karabas Muhammet, Sönmez Sultan, Tuğrul Asiye Beril, Öveçoğlu Mustafa Lütfi, Buyuk Bulent (2016). *Comparison of Radiation Properties of Wolfram and Additive Metal Coatings on 321 Stainless Steel Substrate*. 6th International Advances in Applied Physics and Materials Science Congress & Exhibition, Maslak/Istanbul, Turkey, 1-3 June 2016 (Abs. Book p.76).
- Tuğrul Asiye Beril, Altınsoy Nesrin, **Demir Ertuğrul**, Erentürk Sema, Yavuz Nilgün, Hacıyakupoğlu Sevilay, Büyük Bülent, Baydoğan Nilgün, Baytaş Ayşe Filiz (2016). *Evaluation for Elimination of Methylene orange from Aqueous Media by Using Membrane*. 6th International Advances in Applied Physics and Materials Science Congress Exhibition, Maslak/Istanbul, Turkey, 1-3 June 2016 (Abs. Book p. 196).

- **Demir Ertuğrul**, Tuğrul Asiye Beril, Sönmez Sultan, Öveçoğlu Mustafa Lütfi, Büyük Bülent, Yılmaz Ozan (2015). *Gamma Attenuation Behavior of W VC C and W VC TiC C Composites for Co 60 Radioisotope*. 1st International Conference on Advanced and Functional Material Technologies, AFMAT 2015, Antalya, Turkey, 26-28 October 2015 (Abs. Book p.20)
- Yılmaz Gülten, Tuğrul Asiye Beril, Demir Mustafa, D. Yasar, Demir Bayram, **Demir Ertuğrul** (2015). *Dose Evaluation for Patients and Personnel of Positron Emission Tomography PET*. 1st International Advanced and Functional Materials Technologies AFMAT 2015, Antalya, Turkey, 26-28 October 2015 (Abs.Book p.60).
- Zaim Nimet, Tuğrul Asiye Beril, Atlas H, Büyük Bülent, **Demir Ertuğrul**, Baydoğan Nilgün, Altınsoy Nesrin (2015). *Investigation of Natural Radioactivity for Surface Soil Samples in the Vicinity of Edirne Turkey*. 2nd International Conference on Computational and Experimental Science and Engineering (ICCESEN 2015) Antalya, Turkey, 14-19 October 2015 (Abs.Book p.70).
- Tuğrul Asiye Beril, Altınsoy Nesrin, **Demir Ertuğrul**, Erentürk Sema, Yavuz Nilgün, Hacıyakupoğlu Sevilay, Büyük Bülent, Baydoğan Nilgün, Baytaş Ayşe Filiz, Er Zühal (2015). *Investigation for Removal of Methylene Blue in Aqueous Environment by Using Different Membranes*. Fifth International Conference on Environmental Management, Engineering, Planning and Economics (CEMEPE 2015) & SECOTOX Conference, pp.344-349.
- Tuğrul Asiye Beril, **Demir Ertuğrul**, Yılmaz Ozan, Öveçoğlu Mustafa Lütfi, Sönmez Sultan, Büyük Bülent (2015). *An Investigation on the Mass Attenuation Coefficients of Wolfram Vanadium Titanium composites for gamma radioisotopes*. 5th International Advances in Applied Physics and Materials Science Congress & Exhibition (APMAS 2015), Fethiye/Muğla, Turkey, 16-19 April 2015 (Abs.Book p.466).
- Yıldırım Selahattin, Tuğrul Asiye Beril, Büyük Bülent, **Demir Ertuğrul** (2015). *Gama Attenuation Properties of Some Aluminum Alloys*. 5th International Advances in Applied Physics and Materials Science Congress, Fethiye/Muğla, Turkey, 16-19 April 2015 (Abs.Book p.564).
- Tuğrul Asiye Beril, Erentürk Sema, Hacıyakupoğlu Sevilay, Yavuz Nilgün, Altınsoy Nesrin, Baydoğan Nilgün, Baytaş Ayşe Filiz, Büyük Bülent, **Demir Ertuğrul**, Sonay Gedik (2014). *Kinetic and Thermodynamic Behavior of Selenium on Modified Bentonite and Activated Carbon Using Radiotracer Technique*. International Conference on Computational and Experimental Science and Engineering.

KİTAP/KİTAP BÖLÜMÜ

- Zaim Nimet, Tuğrul A. Beril, Atlas Hakan, Büyük Bülent, **Demir Ertuğrul**, Baydoğan Nilgün, Altınsoy Nesrin. *Assesment of Radioactivity Levels in Edirne Region of Turkey* (2018). Lambert Academic Publishing, issue:1, ISBN: 978-613-6-87158-5.

- A. B. Tuğrul, N. Karatepe, S. Hacıyakupoğlu, S. Erentürk, N. Altınsoy, N. Baydoğan, F. Baytaş, B. Büyük, **E. Demir** (2015). *Assessment of Adsorption Parameters Effectiveness for Radio-Selenium and Radio-Iodine Adsorption on Activated Carbon* Energy Systems and Management, SPRINGER Proceedings in Energy 2015, pp 97-108.
- S. Hacıyakupoğlu, A. B. Tuğrul, A. F. Baytaş, F. Gokbulak, N. Altınsoy, N. Baydoğan, N. Karatepe, S. Erentürk, B. Büyük, **E. Demir** (2014). *Behaviour of KNO₃ Fertilizer in Soil by the View of Land Conservation* in M. Zlatic and S. Kostadinov (Eds), *Challenges: Sustainable Land Management – Climate Change*, Advances in GeoEcology 43, ISBN 978-3-923381-61-6. Catena Verlag GmbH, Reiskirchen, Germany, 2014.
- A. B. Tuğrul, S. Hacıyakupoğlu, S. Akyıl Erentürk, N. Karatepe, A. F. Baytaş, N. Altınsoy, N. Baydoğan, B. Büyük, **E. Demir** (2013). *Investigation of Selenium Elimination From Aqueous Media by Using Activated Carbon*, I. Dincer C. O. Colpan, F. Kadioglu (Eds), *Causes, Impacts, and Solutions to Global Warming*, ISBN 978-1-4614-7588-0, SPRINGER, 2013.

DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Ertuğrul Demir**, Matlab N. Mirzayev, A. Beril Tuğrul, Yury M. Gledenov, Vitali A. Turchenko, Ozan Yılmaz, Bülent Büyük, M. Lütfi Öveçoğlu (2019). *Investigations on surface morphologies, microstructure and thermal properties of Wolfram-based composites. Modern Physics Letter B, Vol.33, No.19*
- **Ertuğrul Demir**, Yury M. Gledenov, A. Beril Tuğrul, Matlab N. Mirzayev, Ahmed Kh. Islamov, Vitaly A. Turchenko, Ozan Yılmaz, Bülent Büyük, Enkhbold Sansarbayar, M. Lütfi Öveçoğlu (2019). *Structural and morphological studies under small-angle neutron scattering of Wolfram alloys. Moscow University Physics Bulletin, in press*
- **Demir, E.**, Tuğrul, A.B., Büyük, B. (2019). *Determination of gamma ray attenuation of WC-6wt%Co materials against Co-60 gamma radioisotope source. Advanced Physical Research, vol.1, pp 32-36.*
- Mirzayev Matlab, Skuratov BA, **Demir Ertuğrul**, Tjep NV, Asgerov Elmar, Jabarov SH, Mammadov Kh F, Mehdiyeva RN, Tuğrul A. Beril, Garibov Rg (2018). *Study of Atom Dynamics of the (SS Grade 321) B₄C Al₂O₃ Compounds Under Heavy Ion Irradiation. Journal of Radiation Researches, 5(2), 173-178.*
- **Demir Ertuğrul**, Tuğrul A. Beril, Büyük Bülent, Yılmaz Ozan, Övecoglu M. Lütfi (2018). *Comparison of W-VC-C Composites Against Co-60, Se-75 and Sb-125 for Gamma Radioisotope Sources. American Institute of Physics. Doi: 10.1063/1.5026012*
- **Demir Ertuğrul**, Tuğrul Asiye Beril, Sönmez Sultan, Öveçoğlu Lütfi, Büyük Bülent, Yılmaz Ozan (2017). *Assessment on Gamma Attenuation Behavior of W-VC-C and W-VC-TiC-C Composites for Co-60 Radioisotope. Acta Physica Polonica A, 132 (3-II), 830-832., Doi:10.12693/APhysPolA.132.830*

- **Demir Ertuğrul**, Karabas Muhammet, Sönmez Sultan, Tugrul Asiye Beril, Öveçoglu Mustafa Lütfi, Büyük Bülent (2017). Comparison of Radiation Properties of Volfram and Additive Metal Coatings on 321 Stainless Steel Substrate. *Acta Physica Polonica A*, 131 (1), 71- 73., Doi: 10.12693/APhysPolA.131.71



