

**T.C.
GİRESUN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FARKLI METALLERLE GÜÇLENDİRİLMİŞ BARİT TABANLI POLİMER
KOMPOZİTLERİN BELİRLİ GAMA ENERJİLERİNDE ZIRHLAMA
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Öğrencinin Adı SOYADI : Hatice GÜREL ÖZDEMİR

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih :

Enstitü Anabilim Dalı : Fizik

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Mustafa RECEP KAÇAL

**Ocak 2024
GİRESUN**

T.C.
GİRESUN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI METALLERLE GÜÇLENDİRİLMİŞ BARİT TABANLI POLİMER
KOMPOZİTLERİN BELİRLİ GAMA ENERJİLERİNDE ZIRHLAMA
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

DOKTORA TEZİ
Hatice GÜREL ÖZDEMİR

Enstitü Anabilim Dalı : Fizik

Bu tez 18/01/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof.Dr.
Ömer SÖĞÜT
Jüri Başkanı

Prof.Dr.
Mustafa R. KAÇAL
Üye

Prof.Dr.
Ferdî AKMAN
İkinci danışman

Prof.Dr.
Birol ERTUĞRAL
Üye

Doç.Dr.
Hasan OĞUL
Üye

Doç.Dr.
Mehmet F. TURHAN
Üye

Dr. Öğr.Üyesi
Ahmet ÇELİK
Üye

Prof.Dr.
Bahadır KOZ
Enstitü Müdürü

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Hatice GÜREL ÖZDEMİR

18/01/2024

TEŞEKKÜR

Tezimin fikir aşamasından son şeklini alana dek tüm süreçlerinde yardımlarını, bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan çok kıymetli danışman hocam Prof. Dr. Mustafa Recep KAÇAL'a sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum. Tezimin tüm süreçlerinde yardımlarını, bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, desteklerini bir an olsun esirgemeyen çok kıymetli ortak danışman hocam Prof. Dr. Ferdi AKMAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Tezim için gerekli numunelerin hazırlanmasında desteklerini esirgemeyen sayın Öğr. Gör. Hasan POLAT hocama teşekkür ederim.

Tezimin GEANT4 simülasyon kodu hesaplamalarını yapmam için bilgilerini ve yardımlarını esirgemeyen sayın Dr. Öğr. Üyesi Osman AĞAR hocama teşekkür ederim.

Motivasyon kaynaklarım, biricik evlatlarım Emine Betül ÖZDEMİR ve Enes Emir ÖZDEMİR'e tez yazım sürecinde göstermiş oldukları sabır ve anlayıştan ötürü sonsuz teşekkür ederim.

Son teşekkürümü ise bu yolda benimle birlikte yürüyen ve üzerimde büyük emekleri olan maddi, manevi her konuda beni destekleyen kıymetli aileme sunuyorum.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	I
İÇİNDEKİLER.....	II
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	V
ŞEKİLLER LİSTESİ	VII
TABLolar LİSTESİ	XV
ÖZET.....	XX
SUMMARY.....	XXI
 BÖLÜM 1.GİRİŞ.....	 1
 BÖLÜM 2.KAYNAK ARAŞTIRMASI	 7
2.1.Literatür Özeti	7
2.2.Radyasyonun Canlılar Üzerine Etkileri	29
2.3.Gama (γ) Radyasyonun Azaltılması	31
2.4.Fotonların Madde ile Etkileşimi.....	33
2.4.1.Fotoelektrik Etki	37
2.4.2.Compton Saçılması	41
2.4.3.Çift Oluşum.....	42
2.5.Radyasyondan Korunma	45
2.5.1.Zaman.....	45
2.5.2.Mesafe.....	46

2.5.3.Zırhlama.....	47
2.6.Radyasyon Zırhlama Malzemeleri	51
2.6.1.Kurşun.....	52
2.6.1.1 Levha Kurşun	52
2.6.1.2.Kurşun Kaplı Duvar Panosu	52
2.6.1.3.Kurşun Kaplı Bloklar	52
2.6.2.Beton.....	53
2.6.2.1.Yaygın Dökme Beton	53
2.6.2.2.Ağır Beton.....	54
2.6.2.3.Katı Bloklar.....	54
2.6.3.Diğer Duvar Malzemesi	54
2.6.4.Çelik ve Diğer Malzemeler	55
2.6.5.Şeffaf Malzemeler	55
2.6.5.1.Cam Plaka	55
2.6.5.2.Kurşun Cam	56
2.6.5.3.Sıvılar.....	56
2.6.6.Polimer Kompozit Malzemeler	56
2.7.Yarıiletken Dedektörler	58
2.7.1.Yarıiletkenlerin Yapısı	58
2.7.2.İntristik, Yarıiletkenler	59
2.7.3.Radyasyon Tespiti İçin Uygun Malzemeler	60
2.7.3.1.Germanyum (Ge)	61
2.7.4.pn- EKLEMİ	66
2.8.Radyasyon Zırhlama Parametrelerinin Belirlenmesi	69
BÖLÜM 3.MATERYAL VE YÖNTEM	73

3.1.Numunelerin Hazırlanması	73
3.2.Deney Geometrisi.....	78
3.3.Teorik ve Simülasyon Süreçleri	80
 BÖLÜM 4.ARAŞTIRMA BULGULARI.....	81
4.1.Radyasyon Koruma Verimi (RKV) Parametresine Ait Araştırma Bulguları.....	81
4.2.Radyasyon Geçirme Oranı (RGO) Parametresine Ait Araştırma Bulguları.....	86
4.3.Kütle Azaltma Katsayısı (μ/ρ) Parametresine Ait Araştırma Bulguları	90
4.4.Lineer Azaltma Katsayısının (μ) Parametresine Ait Araştırma Bulguları.....	101
4.5.Yarı Kalınlık Değeri (YKD) Parametresine Ait Araştırma Bulguları	111
4.6.Onda-bir Kalınlık Değeri (OKD) Parametresine Ait Araştırma Bulguları.....	121
4.7.Ortalama Serbest Yol (OSY) Parametresine Ait Araştırma Bulguları	131
4.8.Moleküler Tesir Kesiti Parametresine Ait Araştırma Bulguları	141
4.9.Atomik Tesir Kesiti Parametresine Ait Araştırma Bulguları.....	151
4.10.Elektronik Tesir Kesiti Parametresine Ait Araştırma Bulguları	161
4.11.Etkin Atom Numarası Parametresine Ait Araştırma Bulguları	169
4.12.Elektron Yoğunluğu Parametresine Ait Araştırma Bulguları	179
 BÖLÜM 5.TARTIŞMA VE SONUÇ	190
 KAYNAKLAR.....	201
ÖZGEÇMİŞ.....	208

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

$C_{16}O_7H_{14}$	: Ortaftalik doymamış polyester reçine
C_8O_6H	: Metil Etil Keton Peroksit
$CoC_{16}H_{30}O_4$	: Kobalt Oktoat
μ/ρ	: Kütle azaltma katsayısı
ρ	: Yoğunluk
μ	: Lineer azaltma katsayısı
I	: Soğurucudan geçen fotonların şiddeti
I_0	: Başlangıç fotonlarının şiddeti
τ	: Fotoelektrik tesir kesiti
σ	: Compton saçılma tesir kesiti
γ	: Gama ışını
κ	: Çift oluşum tesir kesiti
h	: Planck sabiti
ϕ	: İş fonksiyonu
ν	: Işığın frekansı
Γ	: Maruz kalma oran sabiti
N	: Atom sayısı
B	: Building faktörü
c	: Işığın boşluktaki hızı
N_A	: Avogadro sayısı
$\sigma_{t, m}$	: Moleküler tesir kesiti
$\sigma_{t, a}$	: Atomik tesir kesiti
$\sigma_{t, e}$	: Elektronik tesir kesiti
Z_{etk}	: Etkin atom numarası
N_{etk}	: Etkin elektron yoğunluğu

RKV	: Radyasyon koruma verimi
RGO	: Radyasyon geçirme oranı
YKD	: Yarı kalınlık değeri
OKD	: Onda-bir kalınlık değeri
OSY	: Ortalama serbest yol
Gy	: Gray
DNA	: Deoksiribo nükleik asit
UV	: Ultraviyole ışınları
BaSO ₄	: Barit
Sn	: Kalay
Pb	: Kurşun
Mo	: Molibden
Bi	: Bizmut
Fe	: Demir
Zn	: Çinko
GEANT4	: Geometri and Tracking Version 4
HPGe	: High Purity Germanium
MEKP	: Metil Etil Keton Peroksit

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Radyasyona maruz kaldıktan sonra bir hücrede görülebilecek olası hasar ve onarım adımlarının şeması	31
Şekil 2.2. Bir I_0 foton şiddetinin x kalınlığındaki bir soğurucuda fotoelektrik olay, Compton saçılması.....	32
Şekil 2.3. Su için foton enerjisinin bir fonksiyonu olarak lineer azaltma katsayısı grafiği.....	33
Şekil 2.4. Foton enerjisinin bir fonksiyonu olarak karbon ve kurşun için bazı tesir kesitleri	34
Şekil 2.5.Potasyum ve kurşunun kütle azaltma katsayılarının enerjiye karşı değişimi	37
Şekil 2.6.Bir atomda fotoelektrik etkinin gösterimi	39
Şekil 2.7. Auger olayının şematik gösterimi.....	40
Şekil 2.8. Bağlı bir elektronun $E_{\gamma_0}=hc/\lambda_0$ enerjisine sahip bir foton ile Compton saçılmasının gösterimi.....	41
Şekil 2.9. $\sigma_{\text{çift}}$ oluşum ve Z arasındaki ilişkisi	45
Şekil 2.10. Radyasyon türleri ve radyasyon türüne uygun zırh malzemeleri	47
Şekil 2.11. Zırhlamayı etkileyen radyasyonun (a) dar ışın geometrisi ve (b) geniş ışın geometrisinin gösterimi.....	48
Şekil 2.12.Beta ve gama radyasyonu için masaüstü L-Blok kurşun zırhı	49
Şekil 2.13. Zırhlamalı şırınga taşıyıcı	50
Şekil 2.14.Kurşun kaplı atık kutusu	50
Şekil 2.15. Polimer matris türleri	57
Şekil 2.16. Yalıtkanlar, yarıiletkenler ve iletkenler için basitleştirilmiş enerji bant yapı diyagramları	59
Şekil 2.17. Germanyumun enerjiye karşı dalga sayısını gösteren bant yapısı diyagramı	62

Şekil 2.18. Germanyum bant aralığı enerjisinin mutlak sıcaklıkla değişimi	63
Şekil 2.19. Germanyumun intristik yük konsantrasyonunun mutlak sıcaklığa bağlı değişimi	64
Şekil 2.20. İki farklı sıcaklıkta germanyumun elektron sürüklenme hızının elektrik alana bağlı gösterimi	65
Şekil 2.21. Germanyumdaki elektron mobilitelerinin mutlak sıcaklığa bağımlılığı..	66
Şekil 2.22.a. n ve p tipi kristaller ve enerji seviyelerinin gösterimi b. p-n eklemi oluşumun gösterimi.....	67
Şekil 2.23. a. Ters beslemli (geri öngerilim) p-n eklemi b. Tipik bir p-n ekleminin akım gerilim eğrisi	69
Şekil 3.1.Üçlü polimer kompozit malzemelerin üretim aşamaları.....	74
Şekil 3.2. Hazırlanan barit tabanlı üçlü polimer kompozit malzemeler.....	77
Şekil 3.3.Gama ışını koruma parametrelerini elde etmek için kullanılan deneysel düzeneğinin şematik gösterimi.....	78
Şekil 3.4. Gama ışını zırhlama parametrelerini elde etmek için kullanılan deneysel düzeneği	79
Şekil 4.1. Mo metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozit malzemelerin deneysel RKV değerinin enerjiye göre değişimi	83
Şekil 4.2. Sn metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozit malzemelerin deneysel RKV değerinin enerjiye göre değişimi	84
Şekil 4.3. Zn metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozit malzemelerin deneysel RKV değerinin enerjiye göre değişimi	84
Şekil 4.4. Bi metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozit malzemelerin deneysel RKV değerinin enerjiye göre değişimi	85
Şekil 4.5. Fe metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozit malzemelerin deneysel RKV değerinin enerjiye göre değişimi	85
Şekil 4.6. Mo metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozit malzemelerin deneysel RGO değerinin enerjiye göre değişimi	88
Şekil 4.7. Sn metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozit malzemelerin deneysel RGO değerinin enerjiye göre değişimi	88
Şekil 4.8. Zn metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozit malzemelerin deneysel RGO değerinin enerjiye göre değişimi	89

Şekil 4.9. Bi metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozit malzemelerin deneysel RGO değerinin enerjiye göre değişimi	89
Şekil 4.10. Fe metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozit malzemelerin deneysel RGO değerinin enerjiye göre değişimi	90
Şekil 4.11. Mo metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen kütle azaltma katsayısı değerlerinin enerjiye göre değişimi	96
Şekil 4.12. Sn metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen kütle azaltma katsayısı değerlerinin enerjiye göre değişimi	97
Şekil 4.13. Zn metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen kütle azaltma katsayısı değerlerinin enerjiye göre değişimi	98
Şekil 4.14. Bi metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen kütle azaltma katsayısı değerlerinin enerjiye göre değişimi	99
Şekil 4.15. Fe metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen kütle azaltma katsayısı değerlerinin enerjiye göre değişimi	100
Şekil 4.16. Mo metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen lineer azaltma katsayısı değerlerinin enerjiye göre değişimi	107
Şekil 4.17. Sn metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen lineer azaltma katsayısı değerlerinin enerjiye göre değişimi	108
Şekil 4.18. Zn metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen lineer azaltma katsayısı değerlerinin enerjiye göre değişimi	109
Şekil 4.19. Bi metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen lineer azaltma katsayısı değerlerinin enerjiye göre değişimi	110

Şekil 4.20. Fe metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen lineer azaltma katsayısı değerlerinin enerjiye göre değişimi	111
Şekil 4.21. Mo metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen YKD değerlerinin enerjiye göre değişimi.....	117
Şekil 4.22. Sn metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen YKD değerlerinin enerjiye göre değişimi.....	118
Şekil 4.23. Zn metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen YKD değerlerinin enerjiye göre değişimi.....	119
Şekil 4.24. Bi metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen YKD değerlerinin enerjiye göre değişimi.....	120
Şekil 4.25. Fe metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen YKD değerlerinin enerjiye göre değişimi.....	121
Şekil 4.26. Mo metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen OKD değerlerinin enerjiye göre değişimi.....	127
Şekil 4.27. Sn metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen OKD değerlerinin enerjiye göre değişimi.....	128
Şekil 4.28. Zn metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen OKD değerlerinin enerjiye göre değişimi.....	129
Şekil 4.29. Bi metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen OKD değerlerinin enerjiye göre değişimi.....	130

Şekil 4.30. Fe metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen OKD değerlerinin enerjiye göre değişimi.....	131
Şekil 4.31. Mo metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen OSY değerlerinin enerjiye göre değişimi.....	137
Şekil 4.32. Sn metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen OSY değerlerinin enerjiye göre değişimi.....	138
Şekil 4.33. Zn metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen OSY değerlerinin enerjiye göre değişimi.....	139
Şekil 4.34. Bi metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen OSY değerlerinin enerjiye göre değişimi.....	140
Şekil 4.35. Fe metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen OSY değerlerinin enerjiye göre değişimi.....	141
Şekil 4.36. Mo metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen moleküler tesir kesiti değerlerinin enerjiye göre değişimi	147
Şekil 4.37. Sn metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen moleküler tesir kesiti değerlerinin enerjiye göre değişimi	148
Şekil 4.38. Zn metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM ve GEANT4 ile elde edilen moleküler tesir kesiti değerlerinin enerjiye göre değişimi.....	149
Şekil 4.39. Bi metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen moleküler tesir kesiti değerlerinin enerjiye göre değişimi	150

Şekil 4.40. Fe metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen moleküler tesir kesiti değerlerinin enerjiye göre değişimi	151
Şekil 4.41. Mo metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen atomik tesir kesiti değerlerinin enerjiye göre değişimi	157
Şekil 4.42. Sn metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen atomik tesir kesiti değerlerinin enerjiye göre değişimi	158
Şekil 4.43. Zn metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen atomik tesir kesiti değerlerinin enerjiye göre değişimi	159
Şekil 4.44. Bi metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen atomik tesir kesiti değerlerinin enerjiye göre değişimi	160
Şekil 4.45. Fe metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen atomik tesir kesiti değerlerinin enerjiye göre değişimi	161
Şekil 4.46. Mo metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen elektronik tesir kesiti değerlerinin enerjiye göre değişimi	165
Şekil 4.47. Sn metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen elektronik tesir kesiti değerlerinin enerjiye göre değişimi	166
Şekil 4.48. Zn metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen elektronik tesir kesiti değerlerinin enerjiye göre değişimi	167
Şekil 4.49. Bi metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen elektronik tesir kesiti değerlerinin enerjiye göre değişimi.....	168

Şekil 4.50. Fe metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen elektronik tesir kesiti değerlerinin enerjiye göre değişimi.....	169
Şekil 4.51. Mo metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen etkin atom numarası değerlerinin enerjiye göre değişimi	175
Şekil 4.52. Sn metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen etkin atom numarası değerlerinin enerjiye göre değişimi	176
Şekil 4.53. Zn metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen etkin atom numarası değerlerinin enerjiye göre değişimi	177
Şekil 4.54. Bi metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen etkin atom numarası değerlerinin enerjiye göre değişimi	178
Şekil 4.55. Fe metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen etkin atom numarası değerlerinin enerjiye göre değişimi	179
Şekil 4.56. Mo metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen elektron yoğunluğu değerlerinin enerjiye göre değişimi.....	185
Şekil 4.57. Sn metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen elektron yoğunluğu değerlerinin enerjiye göre değişimi.....	186
Şekil 4.58. Zn metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen elektron yoğunluğu değerlerinin enerjiye göre değişimi.....	187
Şekil 4.59. Bi metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen elektron yoğunluğu değerlerinin enerjiye göre değişimi.....	188

Şekil 4.60.Fe metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen elektron yoğunluğu değerlerinin enerjiye göre değişimi..... 189



TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Farklı relaksasyon uzunluk değerleri ve izotropik kurşun noktasal kaynağı için doz yığılma faktörleri	49
Tablo 2.2. Radyasyon dedektörlerinde yaygın olarak kullanılan yarıiletken malzemelerin oda sıcaklığında bazı temel özelliklerinin karşılaştırılması	61
Tablo 2.3. Katkılama için kullanılan donör ve alıcı elementler ve bunların iyonlaşma enerjileri	64
Tablo 2.4. Germanyumdaki elektron ve boşlukların bazı elektriksel özellikleri ve değerleri.....	65
Tablo 3.1. Barit tabanlı Mo katkılı üçlü polimer kompozit malzemelerin temel bileşimi ve yoğunlukları.....	75
Tablo 3.2. Barit tabanlı Sn katkılı üçlü polimer kompozit malzemelerin temel bileşimi ve yoğunlukları.....	75
Tablo 3.3. Barit tabanlı Zn katkılı üçlü polimer kompozit malzemelerin temel bileşimi ve yoğunlukları.....	76
Tablo 3.4. Barit tabanlı Bi katkılı üçlü polimer kompozit malzemelerin temel bileşimi ve yoğunlukları.....	76
Tablo 3.5. Barit tabanlı Fe katkılı üçlü polimer kompozit malzemelerin temel bileşimi ve yoğunlukları.....	76
Tablo 4.1. Barit tabanlı molibden metali ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin deneysel radyasyon koruma verimi değerleri	82
Tablo 4.2. Barit tabanlı kalay metali ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin deneysel radyasyon koruma verimi değerleri	82
Tablo 4.3. Barit tabanlı çinko metali ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin deneysel radyasyon koruma verimi değerleri	82
Tablo 4.4. Barit tabanlı bizmut metali ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin deneysel radyasyon koruma verimi değerleri	83

Tablo 4.5. Barit tabanlı demir metali ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin deneysel radyasyon koruma verimi değerleri	83
Tablo 4.6. Barit tabanlı molibden güçlendirilmiş polimer kompozitlerin deneysel radyasyon geçirme oranı değerleri	86
Tablo 4.7. Barit tabanlı kalay ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin deneysel radyasyon geçirme oranı değerleri	86
Tablo 4.8. Barit tabanlı çinko ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin deneysel radyasyon geçirme oranı değerleri	87
Tablo 4.9. Barit tabanlı bizmut ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin deneysel radyasyon geçirme oranı değerleri	87
Tablo 4.10. Barit tabanlı demir ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin deneysel radyasyon geçirme oranı değerleri	87
Tablo 4.11. Barit tabanlı molibden ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin deneysel, kütle azaltma katsayısı (μ/ρ , cm^2/g) değerleri.....	91
Tablo 4.12. Barit tabanlı kalay ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin kütle azaltma katsayısı (μ/ρ , cm^2/g) değerleri	92
Tablo 4.13. Barit tabanlı çinko ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin kütle azaltma katsayısı (μ/ρ , cm^2/g) değerleri	93
Tablo 4.14. Barit tabanlı bizmut ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin kütle azaltma katsayısı (μ/ρ , cm^2/g) değerleri.....	94
Tablo 4.15. Barit tabanlı demir ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin kütle azaltma katsayısı (μ/ρ , cm^2/g) değerleri	95
Tablo 4.16. Barit tabanlı molibden ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin lineer azaltma katsayısı (μ , cm^{-1}) değerleri	102
Tablo 4.17. Barit tabanlı kalay ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin lineer azaltma katsayısı (μ , cm^{-1}) değerleri.....	103
Tablo 4.18. Barit tabanlı çinko ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin lineer azaltma katsayısı (μ , cm^{-1}) değerleri.....	104
Tablo 4.19. Barit tabanlı bizmut ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin lineer azaltma katsayısı (μ , cm^{-1}) değerleri	105
Tablo 4.20. Barit tabanlı demir ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin lineer azaltma katsayısı (μ , cm^{-1}) değerleri	106

Tablo 4.21. Barit tabanlı ve molibden ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin yarı kalınlık (YKD, cm) değerleri	112
Tablo 4.22. Barit tabanlı ve kalay ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin yarı kalınlık (YKD, cm) değerleri	113
Tablo 4.23. Barit tabanlı ve çinko ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin yarı kalınlık (YKD, cm) değerleri	114
Tablo 4.24. Barit tabanlı ve bizmut ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin yarı kalınlık (YKD, cm) değerleri	115
Tablo 4.25. Barit tabanlı ve demir ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin yarı kalınlık (YKD, cm) değerleri	116
Tablo 4.26. Barit tabanlı ve molibden ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin onda-bir kalınlık (OKD, cm) değerleri.....	122
Tablo 4.27. Barit tabanlı ve kalay ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin onda-bir kalınlık (OKD, cm) değerleri	123
Tablo 4.28. Barit tabanlı ve çinko ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin onda-bir kalınlık (OKD, cm) değerleri	124
Tablo 4.29. Barit tabanlı ve bizmut ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin onda-bir kalınlık (OKD, cm) değerleri	125
Tablo 4.30. Barit tabanlı ve demir ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin onda-bir kalınlık (OKD, cm) değerleri	126
Tablo 4.31. Barit tabanlı molibden ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin ortalama serbest yol (OSY) değerleri.....	132
Tablo 4.32. Barit tabanlı ve kalay ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin ortalama serbest yol (OSY) değerleri.....	133
Tablo 4.33. Barit tabanlı ve çinko ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin ortalama serbest yol (OSY) değerleri.....	134
Tablo 4.34. Barit tabanlı ve bizmut ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin ortalama serbest yol (OSY) değerleri.....	135
Tablo 4.35. Barit tabanlı ve demir ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin ortalama serbest yol (OSY) değerleri.....	136
Tablo 4.36. Barit tabanlı molibden ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin moleküler tesir kesiti değerleri $/(x10^{-20})$ (cm ² /molekül).....	142

Tablo 4.37. Barit tabanlı ve kalay ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin moleküler tesir kesiti değerleri ($\times 10^{-20}$) ($\text{cm}^2/\text{molekül}$).....	143
Tablo 4.38. Barit tabanlı çinko ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin moleküler tesir kesiti değerleri ($\times 10^{-20}$) ($\text{cm}^2/\text{molekül}$).....	144
Tablo 4.39. Barit tabanlı bizmut ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin moleküler tesir kesiti değerleri ($\times 10^{-20}$) ($\text{cm}^2/\text{molekül}$).....	145
Tablo 4.40. Barit tabanlı demir ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin moleküler tesir kesiti değerleri ($\times 10^{-20}$) ($\text{cm}^2/\text{molekül}$).....	146
Tablo 4.41. Barit tabanlı molibden ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin atomik tesir kesiti değerleri ($\times 10^{-25}$) (cm^2/atom).....	152
Tablo 4.42. Barit tabanlı kalay ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin atomik tesir kesiti değerleri ($\times 10^{-25}$) (cm^2/atom).....	153
Tablo 4.43. Barit tabanlı çinko ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin atomik tesir kesiti değerleri ($\times 10^{-25}$) (cm^2/atom).....	154
Tablo 4.44. Barit tabanlı bizmut ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin atomik tesir kesiti değerleri ($\times 10^{-25}$) (cm^2/atom).....	155
Tablo 4.45. Barit tabanlı ve demir ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin atomik tesir kesiti değerleri ($\times 10^{-25}$) (cm^2/atom).....	156
Tablo 4.46. Barit tabanlı molibden ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin elektronik tesir kesiti değerleri ($\times 10^{-25}$) ($\text{cm}^2/\text{elektron}$).....	162
Tablo 4.47. Barit tabanlı kalay ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin elektronik tesir kesiti değerleri ($\times 10^{-25}$) ($\text{cm}^2/\text{elektron}$).....	162
Tablo 4.48. Barit tabanlı çinko ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin elektronik tesir kesiti değerleri ($\times 10^{-25}$) ($\text{cm}^2/\text{elektron}$).....	163
Tablo 4.49. Barit tabanlı bizmut ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin elektronik tesir kesiti değerleri ($\times 10^{-25}$) ($\text{cm}^2/\text{elektron}$).....	163
Tablo 4.50. Barit tabanlı demir ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin elektronik tesir kesiti değerleri ($\times 10^{-25}$) ($\text{cm}^2/\text{elektron}$).....	164
Tablo 4.51. Barit tabanlı molibden ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin etkin atom numarası değerleri.....	170
Tablo 4.52. Barit tabanlı kalay ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin etkin atom numarası değerleri.....	171

Tablo 4.53. Barit tabanlı çinko ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin etkin atom numarası değerleri.....	172
Tablo 4.54. Barit tabanlı bizmut ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin etkin atom numarası değerleri.....	173
Tablo 4.55. Barit tabanlı demir ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin etkin atom numarası değerleri.....	174
Tablo 4.56. Barit tabanlı ve molibden ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin etkin elektron yoğunluğu değerleri ($\times 10^{26}$) (elektron/g)	180
Tablo 4.57. Barit tabanlı kalay ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin etkin elektron yoğunluğu değerleri ($\times 10^{26}$) (elektron/g)	181
Tablo 4.58. Barit tabanlı çinko ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin etkin elektron yoğunluğu değerleri ($\times 10^{26}$) (elektron/g)	182
Tablo 4.59. Barit tabanlı bizmut ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin etkin elektron yoğunluğu değerleri ($\times 10^{26}$) (elektron/g)	183
Tablo 4.60. Barit tabanlı demir ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin etkin elektron yoğunluğu değerleri ($\times 10^{26}$) (elektron/g)	184

FARKLI METALLERLE GÜÇLENDİRİLMİŞ BARİT TABANLI POLİMER KOMPOZİTLERİN BELİRLİ GAMA ENERJİLERİNDE ZIRHLAMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Bu çalışmada; barit tabanlı ve ağırlıkça farklı oranlarda molibden (Mo), kalay (Sn), çinko (Zn), bizmut (Bi) veya demir (Fe) metalleri ile güçlendirilmiş üçlü polimer kompozit malzemeler hazırlanmış ve hazırlanan üçlü polimer kompozit malzemelerin gama ışını zırhlama özellikleri incelenmiştir.

Üçlü polimer kompozit malzemeler hazırlanırken ilk olarak ortaftalık doymamış polyester reçine, Metil Etil Keton Peroksit ve %6'lık Kobalt Oktoat, karıştırılarak polimer reçine matrisi elde edilmiştir. Polimer matrikse Barit (BaSO_4), Mo, Sn, Zn, Bi veya Fe faz malzemeleri ağırlıkça %0 ile %50 arasında değişen ağırlık yüzdelerinde ilave edilerek üçlü polimer kompozit malzemeler hazırlanmıştır. Üretilen kompozitlerde baritin ağırlıkça yüzdesi kadar Mo, Sn, Zn, Bi veya Fe metalleri ile yer değiştirme yapılmıştır. Üçlü polimer kompozitlerin gama ışını zırhlama özelliklerini inceleyebilmek için radyasyon koruma verimi, radyasyon geçirme oranı, kütle azaltma katsayısı, lineer azaltma katsayısı, yarı kalınlık değeri, onda-bir kalınlık değeri, ortalama serbest yol, moleküler tesir kesiti, atomik tesir kesiti, elektronik tesir kesiti, etkin atom numarasını, etkin elektron yoğunluğu parametreleri deneysel, teorik ve simülasyon kodu yardımıyla belirlenmiştir. Deneysel çalışmalar, 276,4-1332,5 keV enerji aralığında 9 farklı enerjide HPGe dedektörü ile gerçekleştirilmiştir. Teorik olarak kütle azaltma katsayısı değerleri WinXCOM bilgisayar programından faydalanılarak belirlenmiştir ve diğer parametreler bu değerlerden türetilmiştir. Simülasyon paketi olarak GEANT4 simülasyon kodu kullanılmıştır. Elde edilen her bir deneysel sonuç, teorik ve GEANT4 simülasyon sonuçları ile karşılaştırılmıştır ve bunlar arasında genel olarak bir uyum olduğu gözlemlenmiştir.

Gama ışını zırhlama parametreleri değerlendirildiğinde, hazırlanan üçlü polimer kompozit malzemelerin genelinin özellikle 276,4 keV enerji değerinde iyi bir zırh malzemesi olduğu görülmüştür. Artan foton enerjisi ile gama radyasyonu zırhlama özelliklerinin azaldığı gözlemlenmektedir. Bi, Sn ve Mo katkılarında yer değiştirme miktarı arttıkça zırhlama özelliği de artarken, Zn ve Fe katkılarında yer değiştirme miktarı arttıkça zırhlama özelliği genellikle azalmaktadır. %50 bizmut içeren BaBi50 kodlu üçlü polimer kompozit malzemenin, hazırlanan numuneler arasında en iyi gama zırhlama özelliğine sahip olduğu yapılan çalışmalar sonucunda bulunmuştur.

Anahtar kelimeler: Üçlü polimer kompozit; gama ışını zırhlama, HPGe dedektör; WinXCOM, GEANT 4

INVESTIGATION OF SHIELDING PROPERTIES OF BARITE-BASED POLYMER COMPOSITES REINFORCED WITH DIFFERENT METALS AT CERTAIN GAMMA ENERGIES

SUMMARY

In the present study, ternary polymer composite materials reinforced with barite based and varying weight ratios of molybdenum, tin, zinc, bismuth and iron metals reinforced, were prepared and the gamma-ray shielding properties of prepared ternary polymer composite materials were investigated.

While preparing ternary composite materials, initially polymer resin matrix was obtained by combining orthophthalic unsaturated polyester resin, Methyl Ethyl Ketone Peroxide and 6% Cobalt Octoate. Ternary polymer composite materials were prepared by adding, BaSO₄ Mo, Sn, Zn, Bi or Fe phase materials to the polymer matrix in weight percentages varying between 0% and 50%. In the produced composites, barite was replaced with Mo, Sn, Zn, Bi or Fe metals in the weight percentage. To determine the gamma ray shielding properties of the produced ternary composites, radiation protection efficiency, radiation transmission rate, mass attenuation coefficient, linear attenuation coefficient, half value layer, tenth value layer, mean free path, molecular cross section, atomic cross section, electronic cross section, effective atomic number and effective electron density parameters were determined with experimental, theoretical and simulation code. Experimental studies have been carried out with 9 different energies by HPGe detector in the energy range of 276.4-1332.5 keV. Theoretically, mass attenuation coefficient values were determined using the WinXCOM computer program and other shielding parameters were derived from these values. GEANT4 simulation code was used as the simulation package. Each experimental consequences were compared with theoretical results and the results obtained by the GEANT4 simulation code, and a general agreement was observed between them.

When the gamma ray shielding parameters were evaluated, the general of the prepared ternary polymer composite materials was found to be a good shielding material, especially in 276,4 keV. It is observed that gamma radiation shielding properties decrease with increasing photon energy. While the shielding property increases as the amount of displacement increases in Bi, Sn and Mo admixtures, the shielding property generally decreases as the amount of displacement increases in Zn and Fe admixtures. As a result of the studies, it was found that the BaBi50 coded ternary polymer composite material containing 50 % bismuth has the best gamma ray shielding properties among the samples.

Keywords: Ternary Polymer Composite; Gama Ray Shielding, WinXCOM; GEANT4

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Evrenin hemen hemen her yerinde varlığını sürdüren radyasyon, genel olarak hava, su, uzay gibi ortamlarda dalga ve parçacık şeklinde yayılan enerji olarak ifade edebilmektedir. Atom veya molekülden elektron koparabilecek enerjiye sahip olan radyasyonlar iyonlaştırıcı radyasyon olarak tanımlanırken, elektron koparamayan, etkileştikleri maddenin atomlarını titreştirebilen ve etkileşim içine girdikleri ortamın sıcaklığını az miktarda artırabilen düşük enerjili radyasyonlar iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olarak tanımlanmaktadır. Kozmik ışınlar, gama ışınları, X-ışınları, alfa parçacığı, beta parçacığı ve nötron parçacığı iyonlaştırıcı radyasyon olarak gruplandırılırken; radyo dalgaları, mikro dalgalar, görünür ışık ve ultraviyole dalgalar (UV) iyonlaştırıcı olmayan radyasyon grubunda ele alınmaktadır.

Radyasyon kaynakları doğal ve yapay olmak üzere iki grupta sınıflandırılmaktadır. Doğal radyasyon kaynakları, güneş, yerküre, toprak, kayalar ve doğal radyoaktif elementlerden salınırken; yapay radyasyon kaynakları ise insanlar tarafından kontrollü bir şekilde reaktör, jeneratör ve siklotronda üretilen radyoizotoplardan ve X-ışını tüpünde üretilen X-ışınlarından salınmaktadır. Yapay radyasyon kaynakları pek çok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Tıpta, radyoterapi, radyografi, nükleer tıp gibi alanlarda tanı ve tedavi amaçlı; endüstride, kalite kontrol çalışmaları, yol inşaaı, petrol sahalarındaki rezervlerin tahmin edilmesi, fabrika borularındaki malzeme akışının ölçülmesi gibi alanlarda; tarımda, yiyeceklerin bozulmalarının engellenmesi, toprağın gübre ve su ihtiyacının belirlenmesi, zirai kimyasal ilaçların kontrol edilmesi ve tohum üretim kalitesinin artırılması gibi pek çok alanda; hayvancılıkta ise çiftlik hayvanlarının sağlığının korunması gibi alanlarda yapay radyasyon kaynakları kullanılmaktadır. Radyasyonun kullanım alanları bu kadar geniş olmasına rağmen zararlı etkileri de oldukça fazladır.

Radyoaktif kaynakların nükleer santraller gibi alanlarda kullanımı sonucunda radyoaktif atıklar oluşmaktadır. Radyoaktif atıklar rüzgâr ve yağmurun etkisiyle atmosfere, toprağa, bitki örtüsüne ve sulara karıştığında çevre kirliliğine sebep olmaktadır. Radyasyonun çevreye vereceği en yüksek zararlardan biri kitle imha silahı olarak kullanılmasıdır. (Kumar ve ark., 2019). Çevreye salınan radyasyon insan sağlığını olumsuz etkilemektedir. İyonlaştırıcı radyasyona uzun süre maruz kalmak canlılarda cilt yanıkları, saç dökülmesi, doğurganlığın bozulması, kanser, organ yetmezliği ve hücre hasarı gibi olumsuz sonuçlara sebep olmaktadır. Hücresel hasarın ilk aşaması, mutasyon adı verilen deoksiribonükleik asit (DNA) molekülünün sarmal yapısındaki zincirlerinin parçalanmasıdır. Radyasyona maruz kalma ne kadar artarsa mutasyonların görülme ihtimali de o kadar artar. Düşük dozda radyasyona maruz kalmada, genellikle DNA'daki tek iplikler parçalanır ve zamanla bunlar kendini onarabilmektedir. Fakat yüksek dozda radyasyona maruz kalma durumunda, DNA'da çift sarmallar parçalanır ve parçalanmış sarmalların onarılma olasılığı azalmaktadır (Syed, 2017). Anatomik ve fizyolojik farklılıkları nedeniyle radyasyona maruz kalmanın çocuklar ve yaşlılar üzerindeki etkileri farklı olabilmektedir. Çocukların vücutlarının daha küçük olması ve üstteki dokular tarafından daha az korunmaları sebebiyle iç organlara ulaşan radyasyon dozu yetişkinlerinkinden daha yüksektir.

İyonlaştırıcı radyasyonun canlılara olan zararlarının dışında uzay, savunma, tıp gibi alanlarda kullanılan elektronik cihazlara da pek çok olumsuz etkisi bulunmaktadır (Schrimpf ve ark., 2004). Örneğin elektronik cihazlarda bulunan diyotlar ve bilgisayar çipleri gama radyasyonuna maruz kaldığında elektronik cihazların kristal yapısının bozulmasına sebep olmaktadır (Duzellier, 2015). Kozmik ışınlar çok çeşitli enerjiler içerdiğinden dolayı modern elektronik cihazlar uzay ortamına karşı oldukça hassastır. Bu nedenle kozmik ışınlardan gelen radyasyona maruz kalan uydularda, geçici veri kaybının oluşması, ömürlerinin kısalması gibi pek çok olumsuz etki görülmektedir.

İyonlaştırıcı radyasyonun canlı ve cansız tüm varlıklara zarar verme potansiyelinden dolayı radyasyondan korunma ve radyasyon güvenliğinin sağlanması oldukça önemlidir. Radyasyon güvenliğinde en önemli yol gösterici ilke ALARA'dır. ALARA

(As Low As Reasonably Achievable), makul olarak maruz kalınabilecek kadar düşük anlamına gelmektedir. Bu ilke, küçük bir radyasyon dozu almanın doğrudan bir faydası yok ise bu dozu almaktan kaçınmamız gerektiğini ifade etmektedir. Bu ilke kapsamında radyasyon güvenliğinde üç temel koruyucu önlem kullanılmaktadır. Bunlar, zaman, mesafe ve zırhlama (ZMZ) olarak ifade edilmektedir. Radyasyon bulunan ortamda ne kadar az zaman geçirilirse o kadar az doza maruz kalınır. Radyasyon kaynağından ne kadar uzak durulursa, o kadar az doza maruz kalınır. Bu sebeple radyasyonun zararlı etkilerinden korunmak için gerekmedikçe radyasyon bulunan ortamda bulunulmamalı ve mümkün olduğunca uzak mesafede durulmalıdır. Zırh malzemeleri; radyasyon türüne göre farklılıklar göstermektedir ve radyasyonun şiddetini azaltarak kişilerin radyasyondan fazla etkilenmemesine yardımcı olmaktadır. Kısaca radyasyonun tehlike seviyeleri, radyasyon tipine, doz miktarına ve soğurulan enerjiye bağlı olarak değişir.

Yüksek enerjiye ve giricilik özelliğine sahip olan iyonlaştırıcı radyasyonlara maruz kalmayı minimum seviyeye indirmek için kullanılan en etkin yöntem zırhlamadır. Gama ışınları madde ile etkileştiğinde, foton enerjisine ve atom numarasına bağlı olarak fotoelektrik olay, Compton saçılması ve çift oluşum süreçleri baskın olarak gerçekleşmektedir. Bu sebeple gama ışınları ile zırh malzemesi arasındaki etkileşim olasılığı çok fazla olacağı için zırhlamada, atom numarası ve yoğunluğu yüksek olan malzemeler tercih edilmektedir.

Gama ve X-ışınlarının zararlı etkilerinden korunmak için zırh malzemesi olarak yüksek atom numarasına ve yüksek yoğunluğa sahip olan kurşun'un (Pb) kullanılması avantajlıdır. Fakat kurşunun pek çok dezavantajı da bulunmaktadır. Ağır bir metal olan kurşunun insan sağlığına zararlı etkileri bulunmaktadır. Bu etkiler kişilerde gelişim ve davranış bozukluklarından nörolojik patolojilere kadar birçok sağlık sorunlarına sebep olmaktadır. Yüksek dozda kurşun maruziyetinde kurşun zehirlenmesi meydana gelir. Kurşun zehirlenmesinin belirtileri yetişkinlerde yaklaşık birkaç haftada, çocuklarda ise yaklaşık birkaç günde ortaya çıkmaktadır. Kurşunun toksik etkileri özellikle çocuklarda daha şiddetli görülmekte ve çok ciddi sağlık sorunlarına sebep olmaktadır.

İnsan vücuduna düşük dozda alınan kurşunun bile büyümeyi baskıladığı ve sinirsel gerilimi dejenere edici bir etkiye sahip olduğu yapılan araştırmalarda ifade edilmiştir. Kurşun zehirlenmeleri, hafıza kaybı, körlük, kısırlık, felç, karaciğer yetmezliği ve ölüme sebep olabilir (Dündar ve ark., 2015). Ülkemizde kurşun zehirlenmesi, meslek hastalıkları arasında ilk sıralarda bulunmaktadır. Ayrıca belirli tehlikeli maddelerin kullanımının kısıtlanmasına ilişkin oluşturulan direktif (RoHS); kurşun, civa (Hg), kadmilyum (Cd), krom (Cr⁺⁶), polibromlu bifeniller (PBB), polibromlu difenil eter (PBDE), bis (2-etilheksil) ftalat (DEHP), bütil benzil ftalat (BBP), dibutil ftalat (DBP), diizobütil ftalat (DIBP) olmak üzere on maddenin elektrikli ve elektronik ekipmanlarda kullanımının kısıtlanması gerektiğini duyurmuştur (Directive, 2013). Bu sebeplerden dolayı kurşunun zırhlamada kullanımının azaltılması insan sağlığı için oldukça faydalı olacaktır.

İyonlaştırıcı radyasyonların zararlı etkilerinden korunmak için zırh malzemesi olarak kurşundan sonra yaygın olarak beton kullanılmaktadır. Beton birçok ağır veya hafif elementin karışımını içermektedir. Bu sebeple X-ışınları, gama ışınları gibi zararlı iyonlaştırıcı özelliğe sahip radyasyonların ve nötronların zırhlanmasında yaygın olarak kullanılır. Ayrıca betonun ucuz bir malzeme olması ve işlenmesinin kolay olması da zırhlamada kullanımı konusunda avantaj sunmaktadır. Radyoterapi merkezi, nükleer tesisler gibi radyasyon ile çalışılan yerlerde personellerin güvenlik ve kontrollerinin sağlanması için betonun kullanımı oldukça yaygındır. Alanın sınırlı olduğu durumlarda yaygın dökme betonlara kıyasla ağır betonların zırhlamada kullanımı daha avantajlıdır. Barit agregalı betonun radyasyon zırhlama özelliğinin yüksek olduğu ve küçük kalınlıkların zırhlamada yeterli olabileceği yapılan çalışmalar sonucunda bulunmuştur (Kılınçarslan ve ark., 2011).

Son yıllarda, radyasyon zırhlamada kurşuna ve betona alternatif olacak etkin ve istenilen özelliklere sahip yeni zırh malzemesi arayışlarına girmiştir. Literatür incelendiğinde kurşuna ve betona alternatif olabilecek çelik, alaşım, cam ve polimer kompozit gibi yeni zırh malzemelerin tercih edildiği görülmektedir (Harish ve ark., 2009; Akkurt ve ark., 2010; Demir ve ark., 2011; Li ve ark., 2018; Dong ve ark., 2019; Wang ve ark., 2020; Kaçal ve ark., 2020; Alshahrani ve ark., 2021; CheeBan ve ark.,

2021; Mhareb ve ark., 2021; Tansim ve ark., 2021; More ve ark., 2021; Hanfı ve ark., 2021; Kılıçoğlu ve ark., 2022) gibi birçok materyal türü tercih edilmektedir.. Etkin alternatif zırh malzemesi seçimi yapılırken malzemenin maliyeti, ağırlığı, kimyasal ve fiziksel dayanıklılığı dikkate alınmalıdır. Ayrıca etkin alternatif zırh malzeme seçimi yaparken dikkat edilmesi gereken en önemli iki kriter kullanılacak radyasyon türü ve kullanım alanıdır. Bu sebeple alternatif zırh malzemeleri arasında kıyaslama yapmak doğru değildir. Her bir zırh malzemesinin avantajlı olduğu veya dezavantajlı olduğu alanlar bulunmaktadır. Önemli olan ihtiyaca uygun alternatif zırh malzemesinin kullanımının sağlanmasıdır.

Polimerler, monomer adı verilen küçük moleküllerin birbirine bağlanmasıyla oluşan moleküllerdir. Polimerlere farklı katkı malzemeleri eklenerek polimer kompozit malzemeler üretilir. Polimer kompozit malzemelerin saf metalik zırh malzemelerin aksine maliyetlerinin uygun olması, geniş sıcaklık aralığında stabil kalmaları, dayanıklı olmaları, yüksek özdirenç ve yüksek dielektrik özelliklere sahip olmaları gibi avantajları vardır. Ayrıca polimere eklenen katkı malzemesinin seçimi sayesinde istenilen özelliklere sahip alternatif zırh malzemeleri üretilebilir.

Polimer kompozit malzemeleri üretmek için çeşitli polimer matrisler kullanılmaktadır. Yapılan çalışmada, polimer reçine matrisi elde etmek için ortaftalık doymamış polyester reçine kullanılmıştır. Termoset polimer kategorisine giren ortaftalık doymamış polyester reçineler oda sıcaklığında sıvı halde bulundukları için işlenmeleri kolaydır ve yüksek mukavemete sahiptirler. Ayrıca polyester reçineler, düşük maliyete sahip, hafif, esnek ve hızlı işlenen reçinelerdir. Polyesterler oda sıcaklıklarından 180 °C'ye kadar işlenebilirler. Uygun sıcaklık sağlanırsa hızlı kürlenme sağlarlar ve bu özelliklerinden dolayı polyester reçinelerin zırh malzemesi yapımında kullanılması oldukça avantajlıdır.

Polimer kompozit malzemeler üretilirken küçük boyutlara ve yüksek atom numarasına sahip katkı malzemeleri polyester reçinelere eklenerek hafif, esnek ve istenilen özelliklere sahip radyasyon zırh malzemelerinin üretilmesi sağlanır. Polimer kompozit malzemeler sayesinde zırhlama özelliği yüksek olan malzemeler birleştirilerek homojen bir karışım elde edilmektedir. Bu özellikleri sayesinde polimer kompozit

malzemeler, gama radyasyonu zırhlamamda kullanılabilecek etkin alternatif zırh malzemelerinden biri olmuştur.

Bu çalışmada barit tabanlı ve ağırlıkça farklı oranlarda Mo, Sn, Zn, Bi veya Fe metalleri ile güçlendirilmiş üçlü polimer kompozit malzemeler hazırlanmıştır. Hazırlanan üçlü polimer kompozit malzemelerin gama ışını zırhlama parametreleri deneysel, teorik ve GEANT4 simülasyon kodu ile belirlenmiştir. Deneysel çalışmalar, ^{133}Ba (276,4, 302,9, 356,0 ve 383,9 keV), ^{22}Na (511,0 ve 1274,5 keV), ^{137}Cs (661,7 keV) ve ^{60}Co (1173,2 ve 1332,5 keV) radyoaktif kaynakları kullanılarak 276,4-1332,5 keV enerji aralığında 9 farklı enerjide yüksek çözünürlüğe sahip olan HPGe dedektörü ile gerçekleştirilmiştir. Ayrıca elde edilen deneysel sonuçlar WinXCOM programı ve GEANT4 simülasyon kodu ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Literatür Özeti

Alfa, beta, proton, elektron ve nötron gibi parçacık tipi radyasyonlar veya X-ışınları, γ -ışınları gibi yüksek enerjili elektromanyetik radyasyonlara uzun süre maruz kalma kanser, hücre mutasyonları, organ yetmezliği gibi olumsuz sonuçlara sebep olmaktadır. Bu tür maruziyetlerden kaynaklanan tehlikelerden kaçınmak ve radyasyonu azaltmak için genel olarak kurşun gibi geleneksel ağır metaller ve onların bileşiklerinden oluşturulan zırh malzemeleri kullanılmıştır. Fakat ağır metal olan kurşun, toksisite ve ağırlık faktörü nedeniyle sağlık ve kullanım açısından tehlikelidir. Ayrıca iyonlaştırıcı radyasyonların ağır metallerle etkileşimi sonucu üretilen ikincil radyasyonlardan da korunmak gerekmektedir. Bu dezavantajlardan kurtulmak için birçok araştırmacı kurşun ve türevlerine alternatif olacak yeni zırh malzeme arayışına girilmiş ve beton, çelik, cam, alaşım, polimer kompozit gibi birçok materyal türü tercih edilmiştir. Bu bölümde araştırmacılar tarafından yapılan bazı çalışmalar sunulmuştur.

Harish ve ark. (2009) yaptıkları çalışmada gama radyasyon zırhlama uygulamaları için farklı konsantrasyonlarda kurşun monoksit katkılı doymamış polyester tabanlı polimer kompozit malzemeler hazırlamışlardır. Bu kompozitlerin fiziksel, termal, mekanik ve gama radyasyon zırhlama özelliklerini incelemişlerdir. Her bir kompozit numunenin lineer azaltma katsayıları deneysel olarak NaI (Tl) sintilasyon dedektörü kullanarak ve ^{137}Cs noktasal kaynağından yayılan 0,662 MeV enerjili gama ışınları için araştırmacılar tarafından belirlenmiştir. %30 üzerinde kurşun oksit ile katkılanmış polimer kompozit malzemelerin 0,662 MeV enerjili gama ışınları için iyi bir zırhlama özelliği sergilediğini bulmuşlardır. Lineer azaltma katsayısının en yüksek değerini ağırlıkça %50 katkı maddesi kullanılarak hazırlanan kompozit malzeme için $0,206\text{ cm}^{-1}$ olarak belirlemişlerdir. Kompozit numunelerin kütle azaltma katsayılarının

gümüş bakır gibi metallerden yeterince yüksek olduğunu gözlemlemişleridir. Bu kompozitlerin diğer geleneksel malzemelerle karşılaştırıldığında daha iyi yarı kalınlık değerine sahip olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca taramalı elektron mikroskobu kullanılarak üretilen kompozitlerin morfolojik analizi sonucunda kurşun monoksit parçacıklarının polimer matris içinde homojen olarak dağıldığını gözlemlemişlerdir.

Akkurt ve ark. (2010) yaptıkları çalışmada barit ve barit ile üretilen betonun radyasyon zırhlama özelliklerini araştırmışlardır. Deneysel lineer azaltma katsayılarını sırasıyla 662, 1173 ve 1332 keV’de ^{137}Cs ve ^{60}Co gama ışını kaynakları ile NaI (Tl) dedektörü kullanarak belirlemişlerdir. Deneysel sonuçlar, araştırmacılar tarafından XCOM bilgisayar kodu kullanılarak elde edilen teorik sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Deneysel ve teorik sonuçların uyumlu olduğunu ifade etmişlerdir. Sonuçları, ayrıca standart kurşun zırh malzemesi ile karşılaştırmışlardır. Sonuçlar incelendiğinde barit ve betonda agrega olarak kullanılan baritin bina yapımında kullanılabilecek alternatif bir zırh malzemesi olabileceği sonucuna varmışlardır. Demir ve ark. (2011) yaptıkları çalışmada barit, kolemanit ve normal agrega ile üretilen betonların radyasyon zırhlama özelliklerini belirlemek için ^{137}Cs radyoaktif noktasal kaynağından yayınlanan 0,662 MeV γ -ışını enerjisi ve NaI (Tl) sintilasyon dedektörü kullanarak deneysel ölçümlerini yapmışlardır. Sonuçlar incelendiğinde lineer azaltma katsayılarının kolemanit konsantrasyonu ile azaldığını ve barit konsantrasyonu ile arttığını tespit etmişlerdir. Bu çalışma ile γ -ışınlarını zırhlamada baritin iyi bir zırh malzemesi olabileceği sonucuna varmışlardır.

Nambiar ve ark. (2012) yaptıkları çalışmada radyasyon zırh malzemesi olarak mikro/nano malzemelerle güçlendirilmiş polimer kompozitler kullanmışlardır. Yapılan çalışma sonucunda mikro veya nano ölçekli yapılarla güçlendirilmiş polimerlerin radyasyon zırh malzemesi olarak kullanımının büyük bir potansiyele sahip olduğunu bulmuşlardır. Azman ve ark. (2012) yaptığı çalışmada PbO ve Pb_3O_4 ile katkılanmış kurşun oksit-epoksi kompozit numuneleri hazırlamışlardır. Bu numunelerin X-ışınlarına karşı lineer ve kütle azaltma katsayılarını belirlemişlerdir. Başlangıç dozunu (D_0) belirlemek için üretilen X-ışınlarını, herhangi bir numuneden geçmeden DIADOS

tanısal doz ölçere bağlı DIADOS tanı dedektörüne doğrudan maruz bırakmışlardır. Deneysel sonuçları NIST XCOM'dan değerlendirilen teorik değerlerle karşılaştırmışlardır. Bu kompozitlerin iyi X-ışını özelliği gösterdiği ve tanısal radyoloji için radyasyon zırhlamada kullanılabileceği araştırmacılar tarafından bulunmuştur.

Azman ve ark. (2013) yaptığı çalışmada tungsten oksit (WO_3)-epoksi kompozit numuneleri hazırlamışlardır ve bu numunelerin X-ışını zırhlama özelliklerini ve mekanik özelliklerini araştırmışlardır. X-ışını iletim özelliklerini, X-ışını absorpsiyon spektroskopisini (XAS) kullanarak yapmışlardır. Deneyleri, 10-40 keV enerji aralığında gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacılar, zırhlama parametresi olarak lineer azaltma katsayılarını bulmuşlardır. Sonuçlar incelendiğinde nano boyutlu WO_3 -epoksi kompozitlerin üstün X-ışını zırhlama özelliğine sahip olduğunu bulmuşlardır. Hazırlanan kompozit malzemelerin mekanik özellikleri, epoksi malzemesine WO_3 ilavesi ile başlangıçta arttığını ancak WO_3 yüklemesinde fazla artış ile eğilme mukavemetinde ve sertliğinde bozulmalar olduğunu bulmuşlardır. Akkurt ve ark. (2013) yaptığı çalışmada agrega olarak farklı oranlarda barit içeren betonun nötron ve gama ışını zırhlama özelliklerini araştırmışlardır. Nötron azaltma tesir kesitini hesaplamak için NXcom programını, gama ışını lineer azaltma katsayılarının hesaplanması için XCOM programını kullanmışlardır. Sonuçlar incelendiğinde betonda artan barit oranının gama azaltma katsayısını arttırdığı fakat nötron azaltma tesir kesitini azalttığını tespit etmişlerdir.

Wang ve ark. (2014) yaptığı çalışmada Gd_2O_3 /PEEK (poli eter eter keton) ve Gd_2O_3 /SPEEK (sulfonlu poli eter eter keton) kompozitlerini hazırlamış ve X-ışını zırhlama özelliklerini incelemişlerdir. Kompozitlerin X-ışını zırhlama özellikleri, Gd_2O_3 'ün artmasıyla arttığını bulmuşlardır. %45 S4GPEEK'in X-ışını geçirgenliğinin, ölçülen tüm enerji aralığında PEEK'lere kıyasla büyük ölçüde azaldığı araştırmacılar tarafından bulunmuştur.

Belgin ve ark. (2015) yaptıkları çalışmada izoftalik polyester (PES) tabanlı ve hematit katkılı kompozitleri, iyonlaştırıcı elektromanyetik radyasyon zırhlama uygulamaları için hazırlamış ve karakterize etmişlerdir. İyonlaştırıcı elektromanyetik radyasyon

azaltmanın deneysel ölçümleri araştırmacılar tarafından ^{241}Am , ^{109}Cd , ^{57}Co , ^{139}Ce , ^{137}Cs , ^{113}Sn , ^{88}Y ve ^{60}Co noktasal kaynakları kullanılarak HPGe dedektörlü bir gama spektrometre sistemi ile belirlenmiştir. Hazırlanan kompozitler incelendiğinde %50 hematit konsantrasyonuna sahip olan HPES50 kodlu kompozitin 662 keV enerjisindeki kütle azaltma katsayısı değerinin, kurşunun kütle azaltma katsayısı değerinin %98'ine ulaştığını bulmuşlardır. Ayrıca, incelenen kompozitlerin toksik olmayan yapıları sayesinde zırhlama uygulamalarında kurşundan daha üstün olarak kullanabileceğini bulmuşlardır. Chang ve ark. (2015) yaptıkları çalışmada tungsten/epoksi kompozitlerini, epoksi reçinesinin farklı ağırlık yüzdelerinde tungsten tozu ile karıştırılmasıyla hazırlamışlardır. Hazırlanan kompozitlerin radyasyon zırhlama özelliklerini ^{60}Co kaynağının iki farklı enerjisini kullanarak araştırmışlardır. Lineer azaltma katsayısı μ , etkin atom numarası (Z_{etk}), yarı kalınlık değerleri (YKD) gibi zırhlama parametrelerini deneysel ve teorik olarak incelemişlerdir. Sonuçlar incelendiğinde hazırlanan malzemede tungsten miktarının artmasıyla kompozitlerin zırhlama özelliklerinin arttığını bulmuşlardır. Thongpool, ve ark. (2015) yaptıkları çalışmada agrega olarak farklı oranlarda BaSO_4 içeren polivinil alkolün (PVA) gama-ışını ve X-ışını zırhlama özelliklerini araştırmışlardır. Çalışmalarında lineer azaltma katsayıları deneysel olarak ^{241}Am radyoaktif kaynağı (59,54 keV) ve NaI (Tl) dedektörü kullanılarak belirlenmişlerdir ve BaSO_4 miktarı ve numune kalınlığı arttıkça zırhlama veriminin arttığını bulmuşlardır. Özetle X-ışını enerjilerinde BaSO_4/PVA kompozitlerinin zırhlama özelliğinin iyi sonuçlar verdiğini belirlemişlerdir.

Huang ve ark. (2016) yaptıkları çalışmada gama ışını zırhlama özelliğini incelemek için etilen-propilen-dien monomer (EPDM) kauçuğunu kullanarak yeni bir kompozit malzeme hazırlamışlardır. Katkı maddesi olarak karbon siyahları (CB) ve bilye ile öğütülmüş PbWO_4 (PWO) tozunu kullanmışlardır. Deneysel kütle azaltma katsayılarını ^{155}Eu , ^{137}Cs ve ^{60}Co gama ışını kaynakları ile HPGe dedektörünü kullanarak belirlemişlerdir. Bu çalışma ile hazırlanan EPDM kauçuğun PWO yüzdesi arttıkça gama ışını zırhlama özelliğinin de etkin bir şekilde arttığını bulmuşlardır. Hazırlanan numunelerin, nükleer enerji merkezlerinde, nükleer tıp departmanlarında ve araştırma merkezlerinde γ -ışınlarını zırhlamak için kullanılabileceğini ifade etmişlerdir.

Evcin ve ark. (2017) yaptıkları çalışmada farklı oranlarda barit ve bor karbür katkılı silikon matrisli kompozit malzemeler üretmişlerdir. Bu malzemelerin gama ve nötron radyasyon zırhlama özelliklerini araştırmışlardır. Elde edilen sonuçları, geleneksel zırh malzemesi olarak kullanılan kurşun ile karşılaştırmışlardır. Numunelerin lineer azaltma katsayılarının deneysel ölçümlerini (μ), ^{137}Cs ve ^{60}Co kaynaklarını kullanarak 602 keV, 1173 keV ve 1332 keV foton enerjilerinde bir HPGe dedektörü ile gerçekleştirmişlerdir. Barit katkılı polimer kompozit malzemelerin, hazırlanan diğer polimerle karşılaştırıldığında daha iyi gama ışını zırhlama özelliği gösterdiğini bulmuşlardır. Bor karbürün ise nötron uygulamaları için umut verici bir zırh malzemesi olabileceğini ifade etmişlerdir. Mahmoud ve ark. (2017) yaptıkları çalışmada geri dönüşümlü, düşük maliyetli, yüksek yoğunluklu polietilen tabanlı kompozit malzemelerin gama-ışını zırhlama özelliklerini araştırmışlardır. Zırh malzemesi olarak farklı oranlarda kurşun oksit nano parçacıkları (PbO NP'ler) ve dökme toz içeren kurşun oksitler kullanmışlardır. Gama-ışını azaltma katsayılarının deneysel değerlerini ^{241}Am , ^{133}Ba , ^{137}Cs ve ^{60}Co radyoaktif noktasal kaynakları kullanılarak HPGe dedektörü ile ölçmüşlerdir. Lineer azaltma katsayısının teorik değerlerini ise XCOM programını kullanarak kütle azaltma katsayılarından türetmişlerdir. PbO NP katkılı kompozitlerin dökme PbO katkılı kompozitlere göre gama radyasyonu için daha iyi zırh malzemesi olduğunu bulmuşlardır. Ayrıca PbO NP'lerin özellikle yüksek konsantrasyon değerlerinde, düşük gama enerjilerini zırhlamada barit, çelik ve betona güçlü rakip olacağını ifade etmişlerdir. Li ve ark. (2017) yaptıkları çalışmada yeni bir radyasyon zırh malzemesi üretmek için erbiyum oksit (Er_2O_3) partikülleri içeren bazalt fiber (BF) takviyeli epoksi matris kompozit malzemesini üretmişlerdir. ^{241}Am , ^{133}Ba ve ^{137}Cs radyoaktif noktasal kaynaklarını ve NaI (Tl) dedektörünü kullanarak X ve gama-ışınlarının zırhlama performansını değerlendirmişlerdir. Teorik hesaplamaları ise XCOM bilgisayar yazılımını kullanarak yapmışlardır. Sonuçlar incelendiğinde BF/ Er_2O_3 kompozitinin X ve gama-ışını zırhlama performansının iyi olduğunu ifade etmişlerdir. BF/ Er_2O_3 kompozitinin kütle azaltma katsayısının, düşük enerjilerde (31 keV ile 80 keV arasında) alüminyumdan çok daha büyük olduğunu bulmuşlardır. Ambika ve ark. (2017) yaptıkları çalışmada farklı oranlarda Bi_2O_3 katkısı ve izofitalik reçine (ISO) içeren (İzoflatik- Bi_2O_3) kompozit malzemeyi kalıp döküm tekniği ile hazırlayarak bu kompozitlerin gama radyasyonu zırhlama özelliklerini incelemişlerdir.

Gama zırlama özelliklerini ^{137}Cs noktasal kaynağı ve NaI (TI) gama ışıını spektrometresi kullanarak incelemişlerdir. Zırlama parametresi olarak lineer azaltma katsayısı, kütle azaltma katsayısı, yarı kalınlık değeri, ortalama serbest yol gibi parametreleri incelemişlerdir. Zırlama parametrelerinin sonuçları incelendiğinde katkı maddesi ağırlık yüzdesinin artmasıyla zırlama verimliliğinin arttığını bulmuşlardır.

Almedia Junior ve ark. (2017) yaptığı çalışmada farklı X-ışını enerjilerinde kütle azaltma katsayılarını belirlemek için farklı kalınlıklarda barit beton levhalar (mor, beyaz ve krem) üretmişlerdir. Levhalar üzerine IPEN laboratuvarında Pantak HF320 X-ray cihazı tarafından üretilen ISO X-ışınlarını göndermişlerdir. Kütle azaltma katsayısının teorik ölçümlerini XCOM programı ile yapmışlardır. Deneysel ve teorik değerlerin uyumlu olduğunu bulmuşlardır. Artan malzeme yoğunluğu ile lineer azaltma katsayısı değerlerinin arttığını bulmuşlardır. X-ışını zırlama özelliği en iyi olan hammaddenin beyaz barit olduğunu ifade etmişlerdir.

Live ark. (2018) yaptıkları çalışmada polimer matrisine bizmut nanopartikülleri ekleyerek kompozit malzeme hazırlamışlar ve bu malzemenin radyasyon zırlama özelliklerini incelemişlerdir. Sonuçlar incelendiğinde nanopartiküller ile üretilmiş kompozitin mikro partiküller ile üretilmiş kompozitlere kıyasla X-ışını zırlamada daha iyi olduğunu bulmuşlardır. Evans ve ark. (2018) gerçekleştirdikleri çalışmada dört farklı kompozit malzemenin (alüminyum bor karbür, tungsten bor karbür, bizmutborosilikat cam ve metathene) nötron zırlama özelliğini ve ikincil radyasyon üretim özelliğini Monte Carlo simülasyon yöntemiyle incelemişlerdir. Zırlama performansı ve üretilen ikincil radyasyonla ilgili elde edilen veriler sonucunda tungsten bor karbürün nötron zırlamada en etkili zırh malzemesi olduğunu ifade etmişlerdir. Bel ve ark. (2018) yaptıkları çalışmada polimetilmetakrilat (PMMA)'a kolemanit (CMT) malzemesi eklenerek üretilen polimer kompozit malzemelerin gama ve nötron zırlama özelliklerini incelemişlerdir. Numunelerin gama radyasyon zırlama özelliğini ^{137}Cs radyoizotop kaynak ve NaI (TI) detektörünü kullanarak incelemişlerdir. Teorik sonuçları ise WinXCOM programını kullanarak bulmuşlardır. PMMA'a CMT takviyesinin radyasyon zırlama kapasitesini gama fotonları için %11, nötronlar için ise %38,56 oranında arttırdığını bulmuşlardır. Bagheri ve ark. (2018)

gerçekleştirdikleri çalışmada ağırlıkça %5 nanokil ve farklı miktarlarda kurşun monoksit partikülleri içeren UP/nanokil/PbO kompozit malzemeleri üretmişlerdir. Burada UP, bağlayıcı olarak kullanılan doymamış polyesteri ifade etmektedir. Hazırlanan nanokompozitlerin gama-ışını zırhlama özelliklerini, termal ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Gama radyasyonu zırhlama özelliklerini deneysel olarak ^{192}Ir (346 keV), ^{137}Cs (661,1 keV) ve ^{60}Co (1172,1 keV) noktasal kaynaklarını ve NaI (TI) dedektörünü kullanarak incelemişlerdir. Zırhlama parametresi olarak lineer azaltma katsayısı, kütle azaltma katsayısı ve yarı kalınlık değerlerini incelemişlerdir. PbO içeriğinin artmasıyla kompozitlerin lineer azaltma katsayısı ve kütle azaltma katsayısının arttığını bulmuşlardır. UP/nanokil/PbO kompozitlerinin düşük enerjili gama radyasyon zırhlama uygulamaları için uygun malzemeler olduğunu bulmuşlardır. Kiani ve ark. (2018) yaptıkları çalışmada, epoksi-kil-PbO (ECPNC) nanokompozitlerini kalıplama yöntemiyle hazırlamış ve radyasyon zırhlama özelliklerini incelemişlerdir. Lineer azaltma katsayısı, kütle azaltma katsayısı, yarı kalınlık değeri ve onda-bir kalınlık değeri gibi gama radyasyonu zırhlama parametrelerini incelemişlerdir. Zırhlama parametrelerini deneysel olarak ^{192}Ir , ^{137}Cs ve ^{60}Co noktasal kaynaklarından yayılan gama-ışınları ve NaI (TI) dedektörünü kullanarak belirlemişlerdir. Sonuçlar incelendiğinde PbO içeriğinin artmasıyla gama-ışını zırhlama özelliğinin arttığını bulmuşlardır. Düşük yoğunluğa rağmen, ECP30 kompozitinin zırhlama kabiliyetinin betondan daha iyi, ancak çelik veya kurşundan daha kötü olduğunu ifade etmişlerdir. İrim ve ark. (2018) yaptıkları çalışmada yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE), farklı oranlarda altıgen boron nitrür (h-BN) ve ortalama partikül boyutu 100 nm olan Gd_2O_3 malzemelerini kullanarak nanokompozit malzemeler üretmişlerdir. Üretilen nanokompozit malzemelerin nötron ve gama ışını zırhlama özelliklerini incelemişlerdir. Radyasyon zırhlama özellikleri için NaI(TI) dedektörünü ve moderatörlü He-3 tüplü (He3T) nötron detektörünü kullanmışlardır. Bu çalışmada katkı içeriği arttıkça hem nötron hem de gama radyasyonu azaltma özelliğinin arttığını bulmuşlardır. Aycik ve ark. (2018) gerçekleştirdikleri çalışmada farklı polimer matrisli kompozitlerin elektromanyetik zırhlama üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Çalışmada lineer düşük yoğunluklu polietilen (LLDPE), izofitalik polyester (IPE) ve bisfenol-A-vinilester (VE) olmak üzere üç farklı polimer matris kullanarak PbO takviyeli kompozitler üretmişlerdir. Kompozitlerin gama radyasyonu

zırhlama parametrelerini 1173 ve 1333 keV enerjilerinde HPGe dedektörü ile incelemiştir. Gama radyasyonu zırhlama özellikleri teorik olarak, WinXCOM programından faydalanılarak değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda izofitalik polyester (IPE) esaslı tüm kompozitlerin, her iki enerjide (1173 ve 1332 keV yüksek gama radyasyonu azaltma özelliğine sahip olduğunu bulmuşlardır. Akman ve ark. (2018) gerçekleştirdikleri çalışmada bazı alaşımların foton zırhlama özelliklerini incelemiştir (Ag92,5/Cu7,5, Ag72/Cu28, Pd94/Cr6 ve Pd60/Cu40). Bu alaşımların 81-1333keV enerji aralığındaki radyasyon zırhlama özelliklerini ^{22}Na , ^{54}Mn , ^{57}Co , ^{60}Co , ^{133}Ba ve ^{137}Cs gama radyasyon kaynaklarını ve HPGe dedektörünü kullanarak incelemiştir. Elde edilen deneysel sonuçları WinXCOM programı ve Monte Carlo similasyon (MCNPX) kodu ile elde edilen değerler ile kıyaslamışlardır. Kütle azaltma katsayısının teorik değerlerinin deneysel değerler ile uyumlu olduğunu bulmuşlardır. Sonuçlar incelendiğinde Ag92,5/Cu7,5 numunesinin en yüksek kütle azaltma katsayısı ve etkin atom numarası değerine sahip olduğunu bulmuşlardır.

El-Toony ve ark. (2019) gerçekleştirdikleri çalışmada radyasyon zırhlama uygulamalarında kullanmak için polivinilester (PVE) ve Pb_2O_3 nano-parçacıkları ile kompozitler üretmişlerdir. Hazırlanan malzemelerin radyasyon zırhlama özelliklerini ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Gama-ışını zırhlama özelliklerini belirlemek için NaI (Tl) dedektörünü kullanmışlardır. Gama-ışını foton kaynağı olarak ^{241}Am , ^{133}Ba , ^{137}Cs , ^{22}Na ve ^{60}Co noktasal radyoaktif kaynaklarını kullanmışlardır. Radyasyon zırhlama parametresi olarak yarı kalınlık değeri, onda-bir kalınlık değeri, ortalama serbest yol, lineer azaltma katsayısı ve kütle azaltma katsayısını hesaplamışlardır. Gama-ışını zırhlamada alternatif zırh mazlemesi olarak çelik ve metal alaşımları gibi PVPbNC kompozitlerinin de kullanılabileceğini ifade etmişlerdir. Kavanoz ve ark. (2019) yaptıkları çalışmada vanadyum cürufu, epoksi reçine ve antimon-trioksit ile kompozit malzemeler hazırlamış ve hazırlanan kompozit malzemelerin gama-ışını zırhlama özelliklerini incelemiştir. Foton zırhlama parametrelerini BXCOT programı ve Monte Carlo similasyon kodu (MCNP 6.2) ile belirlemişlerdir. İncelenen zırhlama parametreleri, kütle azalma katsayısı, yarı kalınlık değeri, onda-bir kalınlık değeri, ortalama serbest yol, etkin elektron yoğunluğu ve etkin atom numarasıdır. Epoksi reçine-vanadyum cürufu ve antimon-trioksit üçlü camsı kompozitin betondan

daha iyi radyasyon zırhlama özelliğine sahip olduğunu bulmuşlardır. Fakat, kurşun ile kıyaslandığında zırhlama özelliğinin daha zayıf olduğunu ifade etmişlerdir. Pavlenko ve ark. (2019) yaptıkları çalışmada ağırlıkça farklı oranlarda (%0-60) polyimide (PI)/Bi₂O₃ kompozit malzeme hazırlamış ve radyasyon zırhlama özelliklerini incelemişlerdir. Numunelerin deneysel radyasyon zırhlama özelliklerini incelemek için ¹⁹²Ir (400 keV) ve ¹³⁷Cs (662 keV) radyoaktif noktasal kaynaklarını kullanmışlardır. Zırhlama parametresi olarak lineer azaltma katsayısı ve kütle azaltma katsayısını incelemişlerdir. Kompozitlerin kütle azaltma katsayısının teorik olarak hesaplanması için XCOM programını kullanmışlardır. Sonuçlar incelendiğinde %60 Bi₂O₃ içeren kompozit malzemenin radyasyon zırhlama özelliğinin en iyi olduğunu bulmuşlardır. Herrman ve ark. (2019) yaptıkları çalışmada yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) bazlı termoplastik kompozit malzemeler hazırlamış ve nötron zırhlama özelliklerini incelemişlerdir. Polietilenin nötron zırhlama özelliklerinin, çok işlevli nano yapıli malzemelerin polimer matrisine eklenmesiyle arttığını bulmuşlardır. Esnek bir malzeme olan silikon, mükemmel termal ve mekanik özelliklere, kimyasal direnç, organik ve inorganik katkı maddeleriyle uyumluluğa sahiptir ve toksik olmaması ve esnekliği ile iyi bilinmektedir. Ahmed ve ark. (2019) yaptıkları çalışmada silikonun bu özelliklerinden yola çıkarak silikon-tungsten kompozit malzemeler hazırlamışlar ve bu kompozitlerin gama-ışını zırhlama özelliklerini incelemişlerdir. Kompozit malzemelerin zırhlama özelliklerini bir NaI (TI) sintilasyon detektörü ve ¹³⁷Cs noktasal gama kaynağını kullanarak incelemişlerdir. Tungsten tozunun ağırlık yüzdesindeki artışa bağlı olarak kompozitlerin yoğunluğunun ve gama-ışını zırhlama özelliğinin arttığını bulmuşlardır. Hazırlanan kompozit malzemelerin radyasyon zırhlamada kullanmak için uygun olduğunu önermişlerdir.

Akman ve ark. (2020) yaptıkları çalışmada; PbI₂ katkılı ve polyester tabanlı kompozitler için lineer azaltma katsayısı, kütle azaltma katsayısı, yarı kalınlık değeri, onda-bir kalınlık değeri, etkin atom numarası, etkin elektron yoğunluğu, radyasyon koruma verimi gibi radyasyon zırhlama özelliklerini araştırmışlardır. Kompozitler %5 ile %20 arasında %5'lik artış olacak şekilde farklı oranlarda hazırlanmıştır. Hazırlanan kompozitlerin radyasyon zırhlama özelliklerini ²²Na, ⁵⁴Mn, ⁵⁷Co, ⁶⁰Co, ¹³³Ba, ¹³⁷Cs, ¹⁵²Eu ve ²⁴¹Am radyoaktif noktasal kaynaklarını ve HPGe dedektörünü kullanarak

59,5–1408,0 keV enerji aralığında 22 farklı enerjide incelemişlerdir. Elde edilen deneysel sonuçlar XCOM bilgisayar programı ile elde edilen teorik sonuçlar ile karşılaştırılmış ve ihmal edilebilir farklılıklar olduğunu gözlemlemişlerdir. PbI_2 (%20) kompozitinin, üretilen diğer kompozitlere göre daha etkili gama radyasyon zırhlama malzemesi olduğunu bulmuşlardır. Bu sonuç sayesinde artan kurşun (II) iyodür miktarı ile zırhlama veriminin arttığını da not etmişlerdir. Tekin ve ark. (2020a) tıbbi ve endüstriyel alanlar için çevre dostu olacak alternatif radyasyon zırhlama malzemeleri üretmek amacıyla, farklı oranlarda $Na_3PO_4 \cdot 12WO_3 \cdot H_2O$ 'e sahip polimer tabanlı kompozit malzemeler üretmişlerdir. Hazırlanan kompozitlerin deneysel ölçümlerini ^{22}Na , ^{54}Mn , ^{57}Co , ^{60}Co , ^{133}Ba , ^{137}Cs , ^{152}Eu ve ^{241}Am radyoaktif noktasal kaynaklarını ve HPGe dedektörünü kullanarak 59,5–1408,0 keV enerji aralığında 22 farklı enerjide gerçekleştirmişlerdir. Üretilen yeni polimer tabanlı kompozit malzemelerin nükleer zırhlama performansını, farklı enerjilerde WinXCOM programını kullanarak teorik olarak hesaplamışlardır. Elde edilen sonuçları MCNP-X simülasyon programı kullanılarak hesaplanan sonuçlarla da karşılaştırmışlardır. Ayrıca bu çalışmada gama, nötron, proton ve alfa radyasyonu için çok çeşitli zırhlama parametrelerini incelemişlerdir. Zırhlama parametreleri olarak, kütle azaltma katsayısı, yarı kalınlık değeri, onda-bir kalınlık değeri, ortalama serbest yol, lineer azaltma katsayısı, etkin atom numarası, maruz kalma ve enerji soğurma yığılma faktörleri, doz çoğaltma faktörü ve radyasyon koruma verimliliğini belirlemişlerdir. Nötron radyasyonu için hızlı nötron uzaklaştırma tesir kesitlerini hesaplamışlardır. Proton ve alfa radyasyonu için, proton kütle durdurma gücü, proton öngörülen aralığını, alfa kütle durdurma gücünü ve alfa öngörülen aralığını belirlemişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre, NPW20 kodlu numunenin gama radyasyonu ve yüklü parçacık radyasyonu için diğer hazırlanan kompozitlere göre daha iyi zırhlama kabiliyeti olduğunu bulmuşlardır. Nötron zırhlama kabiliyeti için ise NPW05 kodlu numunenin daha uygun olduğu bulmuşlardır. Özetle yapılan çalışmada $Na_3PO_4 \cdot 12WO_3 \cdot H_2O$ katkısının nükleer radyasyon zırhlama verimliliği için olumlu etkisi olduğunu bulmuşlardır. Özkalaycı ve ark. (2020) katkısız polimer tabanlı kompozit ve kurşun (II) klorür ($PbCl_2$) içeren polimer tabanlı kompozit numunelerin radyasyon zırhlama özelliklerini araştırmışlardır. Katkı malzemesi olarak $PbCl_2$ ve bağlayıcı olarak polyester reçine kullanmışlardır. $PbCl_2$, polyester reçinesine ağırlıkça %5 ila %20 arasında eklenmiştir

ve böylece her biri farklı PbCl₂/polimer reçine oranlarına sahip numuneler hazırlanmışlardır. Hazırlanan kompozit malzemeler için radyasyon azaltma özelliklerini incelemişlerdir. Numunelerin deneysel ölçümlerini ²⁴¹Am, ¹³³Ba, ⁵⁷Co, ²²Na, ¹³⁷Cs, ¹⁵²Eu, ⁵⁴Mn ve ⁶⁰Co radyoaktif noktasal kaynakları ile 59,5–1408,0 keV enerji aralığında bir HPGe dedektörünü kullanarak hesaplamışlardır. Deneysel veriler hem FLUKA koduyla hem de WinXCOM'da teorik olarak hesaplanmış sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Deneysel kütle azaltma katsayısı değerleri ile FLUKA ve WinXCOM kullanılarak elde edilen teorik değerlerin uyumlu olduğunu bulmuşlardır. PbCl₂ (%20) polimer tabanlı kompozit kullanılarak özellikle 59,5 keV enerjide radyasyon koruma veriminin katkısız polimer tabanlı kompozite göre %244 arttığını bulmuşlardır. Maksimum ağırlık yüzdesi olan PbCl₂ numunesinin (PbCl₂ (%20)) diğer polimer kompozit numunelere kıyasla en yüksek azaltma katsayısına sahip olduğunu bulmuşlardır. Turhan ve ark. (2020) yaptığı çalışmada gama radyasyonundan korunmak için kurşun (Pb) ve türevlerine alternatif olacak ve toksik etkileri olmayan yeni bir polimer tabanlı kompozit zırh malzemesi üretmeyi amaçlamışlardır. Polimer tabanlı kompozit malzeme hazırlama sürecinde bağlayıcı olarak doymamış polyester reçine ve katkı malzemesi olarak hematit kullanmışlardır. Polimer tabanlı kompozitleri, farklı hematit oranlarında (25, 50, 75 ve %100) hazırlamışlardır. Hazırlanan numunelerin gama radyasyon azaltma özelliklerini belirlemek için radyasyon geçirme oranı, kütle azaltma katsayısı, lineer azaltma katsayısı, yarı kalınlık değeri, onda-bir kalınlık değeri, ortalama serbest yol, etkin atom numarası, etkin elektron yoğunluğu, enerji soğurma yığılma faktörü ve enerji maruz kalma yığılma faktörü gibi bazı gama radyasyonu azaltma parametrelerini incelemişlerdir. Deneysel ölçümleri ²²Na, ⁵⁴Mn, ⁵⁷Co, ⁶⁰Co, ¹³³Ba, ¹³⁷Cs, ¹⁵²Eu ve ²⁴¹Am olmak üzere sekiz farklı radyoaktif noktasal kaynak ve bir HPGe dedektörü kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Bu kaynaklardan yayılan foton enerjileri 59,5 keV ile 1408,0 keV arasında değişmektedir. Elde edilen deneysel sonuçları XCOM programı ile elde edilen teorik sonuçlarla karşılaştırmışlardır ve aralarında küçük farklılıklar gözlemlemişlerdir. Hematit (%100) polimer tabanlı kompozit numunesinin diğer hazırlanmış kompozitlerden daha iyi bir gama radyasyonu zırhlama materyali olduğunu bulmuşlardır. Kaçal ve ark. (2020) yaptıkları çalışmada Zn ile güçlendirilmiş çeşitli polyester tabanlı kompozitlerin gama-ışını zırhlama özelliklerini araştırmışlardır.

Mevcut kompozitlerin kütle azaltma katsayısının deneysel ölçümlerini ^{22}Na , ^{54}Mn , ^{57}Co , ^{60}Co , ^{133}Ba , ^{137}Cs , ^{152}Eu ve ^{241}Am radyoaktif noktasal kaynakları kullanılarak 59,5–1408,0 keV aralığındaki çeşitli foton enerjilerinde HPGe dedektörü ile yapmışlardır. Elde edilen deneysel verileri, MCNPX kodu ve XCOM programı ile karşılaştırmışlardır. İncelenen kompozitlerin azaltma katsayısı değerlerinin, deneysel ve teorik sonuçlarının uyumlu olduğunu bulmuşlardır. Kompozit malzemeye katkı malzemesi olarak Zn ilave edilmesiyle zırhlama özelliklerinin artacağını bulmuşlardır. Baykara ve ark. (2020) yaptığı çalışmada hem yüksek gama hem de nötron absorpsiyon verimini bir arada elde etmek için yüksek atom numaralı yeni nesil nanokompozitler üretmişlerdir. Bu amaçla geleneksel nötron koruyucu malzemelere alternatif olarak yüksek atom numaralı (Gd_2O_3) ve altıgen boron nitrür (h-BN) nanoparçacıkları (yaklaşık 80-100 nm) içeren poliimid (PINC'ler) nanokompozitlerini hazırlamışlardır. Her iki nanoparçacığın ve üretilen nanokompozitlerin morfolojisini, yapısını SEM, TEM, ve XRD ile karakterize etmişlerdir. Ayrıca nanokompozitlerin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. h-BN ve Gd_2O_3 içeren nanokompozitlerin yüksek enerjili nötron ve gama radyasyonu koruma performanslarını detaylı olarak incelemişlerdir. Sonuçlar incelendiğinde poliimide nanoparçacıkların varlığının, nanokompozitlerin hem radyasyon zırhlamasında hem de mekanik özelliklerinde önemli ölçüde etkilediğini bulmuşlardır. Böylece nanokompozitlerin nükleer reaktör sistemlerinde, nükleer atık bertaraf uygulamalarında, uzay ve havacılık endüstrilerinde yüksek enerjili nötron zırhlama için kullanılabileceğini bulmuşlardır. Tekin ve ark. (2020b) yaptıkları çalışmada, alternatif zırh malzemesi olarak demir (Fe) takviyeli yeni kompozit malzemeler üretmişlerdir. Zırhlama parametresi olarak lineer azaltma katsayısı ve kütle azaltma katsayısı, yarı kalınlık değeri, onda-bir kalınlık değeri, ortalama serbest yol ve etkin atom numarasını bulmuşlardır. HPGe dedektörü kullanılarak belirli Fe katkı miktarlarında (5, 10, 15 ve %20) üretilmiş Fe takviyeli polimer tabanlı kompozitlerin gama-ışını zırhlama özelliklerini deneysel olarak bulmuşlardır. Deneysel sonuçları WinXCOM programı ve MCNPX kodu kullanılarak hesaplanan değerler ile karşılaştırmışlardır. Ayrıca, maruz kalma yığılma faktörleri ve enerji soğurma yığılma faktörlerini de geometrik fit metodu kullanarak hesaplamışlardır. Gama ışını zırhlama özelliklerine ek olarak, 0,015–15 MeV enerji aralığında proton ve alfa için kütle durdurma güçleri ve öngörülen aralıkları gibi yüklü

parçacıkların temel etkileşim parametrelerini de belirlemişlerdir. Ayrıca, kompozitlerde artan Fe konsantrasyonuna karşı hızlı nötron uzaklaştırma tesir kesitinin değişimini de araştırmışlardır. Sonuç olarak en yüksek Fe ilavesine (%20) sahip kompozitin gama radyasyonu için en iyi zırhlama kapasitesi gösterdiğini bulmuşlardır. Körpınar ve ark. (2020a) yaptığı çalışmada belirli oranlarda tungsten (VI) oksit içeren polihidroksietil metakrilat tabanlı kompozitleri (PHEMA- $\text{WO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) üretmişlerdir ve radyasyon zırhlama özelliklerini incelemişlerdir. Tüm kompozitlerin gama ışını radyasyon zırhlama özelliklerini incelemek için lineer azaltma katsayılarını NaI(Tl) sintilasyon dedektörünü kullanarak ölçmüşlerdir. Ölçüm için ^{137}Cs (662 keV) ve ^{60}Co (1172 ve 1332 keV) noktasal kaynaklarını kullanmışlardır. Zırhlama parametresi olarak lineer azaltma katsayısı, yarı kalınlık değeri, onda-bir kalınlık değeri ve ortalama serbest yolu belirlemişlerdir. Tüm kompozitlerin elementel analizleri dikkate alınarak XCOM programı ile teorik kütle azaltma katsayılarını hesaplamışlardır ve deneysel sonuçlarla karşılaştırmışlardır. SEM analizi sonuçlarına göre PHEMA ve tungsten (VI) oksit partikülleri arasında homojen bir dağılım olduğunu bulmuşlardır. İncelenen kompozitler arasında en iyi zırhlama materyalinin PHEMA+%50 WO_3 olduğunu bulmuşlardır. PPHEMA- $\text{WO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ katkılı kompozitlerinin yarı kalınlık değerlerinin artan $\text{WO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ miktarı ile azaldığını bulmuşlardır. Körpınar ve ark. (2020b) yaptıkları çalışmada belirli oranlarda tungsten (VI) oksit içeren poli (hema-co-styrene WO_3) kompozitleri hazırlamış ve radyasyon zırhlama özelliklerini incelemişlerdir. Tüm kompozitlerin lineer azaltma katsayılarını NaI (Tl) sintilasyon dedektörünü kullanarak belirlemişlerdir. Ölçüm için ^{137}Cs (662 keV) ve ^{60}Co (1172 ve 1332 keV) noktasal kaynaklarını kullanmışlardır. Zırhlama parametresi olarak lineer azaltma katsayısını, yarı kalınlık değerini, onda-bir kalınlık değerini ve ortalama serbest yolu belirlemişlerdir. Teorik hesaplama için XCOM yazılımını kullanmışlardır. İncelenen kompozitler arasında en iyi zırhlama materyalinin, yüksek lineer azaltma katsayısı ve düşük yarı kalınlık değerine sahip olan PS+%50 WO_3 olduğunu bulmuşlardır. Intom ve ark. (2020) yaptıkları çalışmada kurşuna alternatif olacak esnek radyasyon zırh malzemeleri geliştirmeyi amaçlamışlardır. Doğal kauçuk (NR) tabanlı kompozitlere, çeşitli oranlarda bizmut oksit (Bi_2O_3) ekleyerek kompozit malzemeler üretmişlerdir. Hazırlanan kompozitlerin mekanik özelliklerini, gama-ışını ve X-ışını zırhlama özelliklerini incelemişlerdir.

Gama-ışını zırlama özelliklerini ^{137}Cs (662 keV) noktasal kaynağı kullanılarak Compton saçılma tekniği ile ölçmüşlerdir. X-ışını zırlama özelliklerini, yüksek frekanslı dijital radyografi X-ışını makinesi ile ölçmüşlerdir. Sonuçlar gama-ışını zırlama özellikleri için incelendiğinde doğal kauçukta Bi_2O_3 konsantrasyonlarının artmasıyla kütle azaltma katsayıları, etkin atom numarası, etkin elektron yoğunluklarının arttığını bulmuşlardır. Ayrıca foton enerjisinin 223 keV'den 662 keV'a artmasıyla bu değerlerin düştüğünü bulmuşlardır. Tüm numunelerin yarı kalınlık değerinin Bi_2O_3 konsantrasyonunun artmasıyla azaldığını bulmuşlardır. X-ışını zırlama özellikleri incelendiğinde lineer azaltma katsayısı değerinin doğal kauçuk kompozite Bi_2O_3 eklenmesi ile arttığını bulmuşlardır. Mekanik özellikleri incelendiğinde ise Bi_2O_3 ilavesi ile kompozitlerin uzama, sertlik ve özgül ağırlıkları artmakta iken çekme kuvveti ve kopma uzamasının azaldığını bulmuşlardır. Adliene ve ark. (2020) yaptıkları çalışmada radyasyona maruz kalarak çalışan sağlık personellerinin radyasyondan korunması için kurşuna alternatif olacak yeni, esnek polimer tabanlı kompozit malzemeler geliştirmişlerdir ve bu malzemelerin X-ışını zırlama özelliklerini incelemişlerdir. Zırlama parametrelerini deneysel olarak hesaplamadan önce, XCOM veri tabanı kullanarak teorik olarak hesaplamışlardır. W ve Ta içeren numunelerin X-ışını zırlama özelliklerinin deneysel hesaplamalarını, diyagnostik X-ışını makinesini kullanarak bulmuşlardır. Sonuç olarak Ta veya Ta_2O_5 'in radyolojide radyasyondan korunma ekipmanı için tıbbi radyasyon zırlama yapılarında toksik kurşunun yerini alacak umut verici malzeme olduğunu bulmuşlardır. Nuñez-Brionesa ve ark. (2020) yaptıkları çalışmada PVC/ Bi_2O_3 kompozit malzemeleri hazırlamış ve düşük enerjili X-ışını zırlama özelliklerini incelemişlerdir. Kompozitlerin zırlama özelliklerini, bir mamografi ünitesi ve bir X-ışını ekipmanı kullanarak düşük enerjilerde X-ışını iletim ölçümleri ile elde etmişlerdir. Kompozitlerin mekanik özelliklerinin radyasyona maruz kaldığındaki değişimleri incelemek için ise endüstriyel bir ışınlayıcıda ^{60}Co 'dan yayılan gama-ışınlarına maruz bırakmışlardır. Sonuçlar incelendiğinde kompozit malzemede Bi_2O_3 'ün artması ile farklı X-ışını enerjilerinde radyasyon zırlama özelliklerinin önemli ölçüde arttığını bulmuşlardır. Mekanik özellikleri incelendiğinde ise Bi_2O_3 ilavesi ile elde edilen kompozit malzemenin mukavemetinin arttığını bulmuşlardır. 61 kV'de ağırlıkça %50 Bi_2O_3 içeren kompozitin en düşük radyasyon geçirgenlik değeri

gösterdiğini bulmuşlardır. Bu kompozit malzemeler, iyi elastik özelliklere sahiptir ve esnektir. Bu özelliklerinden dolayı bu kompozitlerin tıbbi teşhis alanında radyasyondan korunma için daha donanımlı cihazların imalatının yapılmasına yardımcı olabileceğini önermişlerdir.

Akman ve ark. (2021a) gerçekleştirdikleri çalışmada FeCr katkılı kompozitlerin iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyonlar için zırhlama özelliklerini ve yığılma faktörlerini incelemişlerdir. Yapılan çalışmada kütle azaltma katsayılarının deneysel sonuçlarını HPGe dedektör ve ^{22}Na , ^{54}Mn , ^{57}Co , ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{133}Ba ve ^{241}Am radyoaktif noktasal kaynaklarını kullanarak bulmuşlardır. Elde edilen deneysel sonuçları XCOM bilgisayar programı ve Monte Carlo (MCNPX) simülasyonu ile elde edilen teorik sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Elde edilen kütle azaltma katsayıları yardımıyla etkin atom numarası, yarı kalınlık değeri ve ortalama serbest yol gibi çeşitli zırhlama parametrelerini incelemişlerdir. Ek olarak, G-P fit metodunu kullanarak yığılma faktörlerini hesaplamışlardır. Sonuç olarak FeCr (%15) kodlu kompozitin incelenen numuneler arasında en iyi zırhlama özelliklerine sahip olduğunu bulmuşlardır. Kaçal ve ark. (2021) yaptıkları çalışmada Li_2WO_4 katkılı polyester kompozitlerin gama radyasyonu zıhlama özelliklerini incelemişlerdir. Yapılan çalışmada reçine olarak doymamış polyester seçilmiştir. Katkı malzemesi olarak Li_2WO_4 , başlatıcı olarak metil etil keton peroksit (MEKP) ve reaksiyon hızlandırıcı olarak %6'lık kobalt oktoat (CO-6) seçilmiştir. Farklı oranlarda Li_2WO_4 içeren dört farklı numune hazırlanmış ve hazırlanan numunelerin deneysel ölçümleri ^{22}Na , ^{54}Mn , ^{57}Co , ^{60}Co , ^{133}Ba , ^{137}Cs , ^{152}Eu ve ^{241}Am radyoaktif noktasal izotop kaynakları ve HPGe dedektörü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçları WinXCOM bilgisayar programıyla elde edilen teorik sonuçlar ile karşılaştırmışlardır ve her iki sonucun uyumlu olduğunu rapor etmişlerdir. Sonuçlar incelendiğinde yüksek kütle azaltma katsayısı değerine sahip olan Li_2WO_4 (%20) kodlu kompozitin en iyi radyasyon zırhlama özelliğine sahip olduğunu bulmuşlardır. Polyester güçlü, dayanıklı ve şeklini koruma eğiliminde olan bir malzemedir. Bu sebeple polyester kompozitler radyasyon zırhlama malzemelerinin üretiminde tercih edilmektedir. Akman ve ark. (2021b) yaptıkları çalışmada, farklı oranlarda CdTe (%5, %10, %15 ve %20) katkılanmış polyester tabanlı kompozitlerin gama-ışını zırhlama özelliklerini teorik ve deneysel

olarak incelemişlerdir. Deneysel ölçümleri ^{22}Na , ^{54}Mn , ^{57}Co , ^{60}Co , ^{133}Ba , ^{137}Cs , ^{152}Eu ve ^{241}Am noktasal radyasyon kaynakları ve HPGe dedektörünü kullanarak yapmışlardır. Teorik sonuçları elde etmek ve deneysel sonuçlarla kıyaslamak için XCOM bilgisayar programını kullanmışlardır. Deneysel ve teorik sonuçlar arasında ihmal edilebilir farklılıklar olduğunu gözlemişlerdir. CdTe katkı maddesi ile yüksek radyasyon zırh verimini elde etmişlerdir. Ayrıca katkı maddesi miktarının artmasıyla radyasyondan korunma veriminin arttığını tespit etmişlerdir. Akman ve ark. (2021c) yaptıkları çalışmada çeşitli BiBr_3 ve PbSO_4 katkılı polyester tabanlı kompozitlerin foton ve nötron azaltma özellikleri hakkında detaylı araştırma yapmışlardır. BiBr_3 ve PbSO_4 katkılı polyester tabanlı kompozitlerin yeni radyasyon zırhlama malzemesi olarak kullanım potansiyellerini değerlendirmişlerdir. Deneysel ölçümleri ^{22}Na , ^{54}Mn , ^{57}Co , ^{60}Co , ^{133}Ba , ^{137}Cs , ^{152}Eu ve ^{241}Am noktasal radyasyon kaynakları ve HPGe dedektörünü kullanarak yapmışlardır. Elde edilen deneysel sonuçları, XCOM yazılımı kullanarak elde edilen teorik sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Deneysel olarak bulunan lineer azaltma katsayısı değerlerinin çalışılan tüm foton enerji aralığında teorik sonuçlarla uyum içinde olduğunu bulmuşlardır. Nükleer fizikte incelenen malzeme ne kadar düşük yarı kalınlık değeri ve ortalama serbest yol değerine sahip ise γ -ışını fotonlarını zırhlamak için o kadar ince bir soğurucu gerekli olduğu anlamına gelir. Yani düşük yarı kalınlık değeri ve ortalama serbest yol değerine sahip kompozit malzemelerin üstün zırhlama özellikleri olduğu söylenir. Bu çalışmada BiBr_3 (%20) ve PbSO_4 (%20)'de minimum yarı kalınlık değerlerinin 661 keV'de sırasıyla 5,94 ve 6,58 cm olduğunu bulmuşlardır. En yüksek radyasyon koruma verimlerini ise BiBr_3 (%20) ve PbSO_4 (%20) için 59,5 keV'de sırasıyla %69,80 ve %69,67 olarak bulmuşlardır. Ayrıca nötron azaltma tesir kesitlerinin BiBr_3 (%5) ve PbSO_4 (%5)'de çalışılan diğer kompozitlerden daha yüksek olduğunu bulmuşlardır. Saleh ve ark. (2021) yaptıkları çalışmada ucuz bir malzeme olan portland çimentosunu gama radyasyonu zırhlama için kullanılmışlardır. Portland çimentosu ana bileşik olarak kullanılmış ve %0, %10, %20 ve %30 oranlarında bitüm ile karıştırmışlardır. Çimento-bitüm kompozitlerinin zırhlama özelliklerini ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Hazırlanan numuneler için γ -radyasyonu zırhlama parametrelerini deneysel olarak ^{137}Cs noktasal kaynağından yayılan 0,662 MeV enerjili γ -fotonu, ^{60}Co noktasal kaynağından yayılan 1,173 MeV ve 1,332 MeV enerjili γ -fotonları ve NaI (TI)

sentilasyon dedektörünü kullanarak belirlemişlerdir. Basınç dayanımı ve geçirgenlik gibi parametreleri çimento-bitümün kompozitlerinin mekanik ve fiziksel kararlılığını ve izolasyon performansını tahmin etmek için incelenmişlerdir. Çimento-bitüm kompozitinin (%10 bitümlü), saf çimento için ölçülene kıyasla yüksek bir azaltma katsayısına sahip olduğunu bulmuşlardır. Saf çimentoya kıyasla bitüm miktarının artmasıyla basınç dayanımının kademeli olarak azalmasına rağmen, daha yüksek bitüm oranında gözeneklik ve su emme kapasitesinin kademeli olarak arttığını bulmuşlardır. Sonuç olarak, γ -radyasyonundan korunmak için portland çimentosunun özelliklerinin bitüm eklenmesiyle önemli ölçüde geliştirilebileceğini bulmuşlardır. Bu yeni kompozit malzeme, tehlikeli γ -radyasyonundan verimli bir şekilde korunmak için nükleer santrallerde, tehlikeli nükleer atıkları zırhlamada güvenle kullanılabileceğini ifade etmişlerdir. Kalkorurapeanee ve ark. (2021) yaptıkları çalışmada farklı katkı malzemeleri kullanarak giyilebilir ve esnek doğal kauçuk (NR) polimer malzemelerin mekanik ve radyasyon zırhlama özelliklerini incelemişlerdir. NR kompozitleri hazırlamak için katkı maddesi olarak baryum karbonat (BaCO_3), bizmut oksit (Bi_2O_3) ve baryum sülfat (BaSO_4) kullanmışlardır. NR kompozitlerinin radyasyon zırhlama özelliklerini deneysel olarak hesaplamak için 223–662 keV enerji aralığında NaI (TI) dedektörünü kullanmışlardır. Teorik sonuçları ise WinXCOM yazılımını kullanarak hesaplamışlardır. Gama radyasyonu zırhlama özelliklerinin sonuçları incelendiğinde, NR/ Bi_2O_3 kompozitinin en yüksek kütle azaltma katsayısına sahip olduğunu bulmuşlardır. Ticari olarak temin edilebilen diğer radyasyon zırh malzemeleri olan serpatin, hematit-serpatin ve beton ile karşılaştırıldığında NR/ Bi_2O_3 'in serpantin, hematit-serpantin ve sıradan betondan daha iyi gama radyasyon zırhlama özelliği gösterdiğini bulmuşlardır. Ayrıca, farklı zırh katkı malzemelerine sahip üretilen tüm NR kompozitlerin, ticari olanlardan daha fazla X-ışını zırhlama özelliği gösterdiğini bulmuşlardır. Bu çalışma ile NR/ Bi_2O_3 kompozitinin, yeni bir esnek radyasyon zırh malzemesi hazırlamak için en uygun seçim olduğunu bulmuşlardır. El-Sharky ve ark. (2021) yaptıkları çalışmada, kadmiyum oksit nanopartiküller (CdO-NPs) ve nano-bentonit (NBent) olmak üzere iki farklı nano katkı maddesi ile polipropilen (PP) katkılı yeni (PP/CdO-NPs-NBent) üçlü nanokompozit malzemeler hazırlamışlardır. Hazırlanan nanokompozitlerin kütle azaltma katsayısını ölçmek için farklı γ -ışını foton enerjilerine (356,01, 661,66, 1173,23 ve 1332,50 keV) sahip olan ^{60}Co , ^{133}Ba ve ^{137}Cs

noktasal kaynakları ve NaI (TI) sintilasyon dedektörünü kullanmışlardır. Teorik hesaplamalar için XCOM yazılımını kullanmışlardır. PP nanokompozitler için deneysel ve teorik değerlerin oldukça uyumlu olduğunu bulmuşlardır. Yeni nanokompozit malzemelerin radyasyon zırhlama özelliklerini bulmak için ortalama serbest yol, yarı kalınlık değeri, etkin elektron yoğunluğu ve etkin atom numarası gibi zırhlama parametrelerini hesaplamışlardır. Elde edilen sonuçlara dayanarak, nanokompozitlere CdO-NP'lerin eklenmesinin NBent ilavesi ile kütle azaltma katsayısını, etkin atom numarasını ve etkin elektron yoğunluğunu arttırdığını bulmuşlardır. Test edilen tüm nanokompozitlerin γ -ışınlarını zırhlamada iyi olduğunu bulunmuşlardır. More ve ark. (2021) yaptıkları çalışmada radyasyondan korunmak için bu zamana kadar araştırılmış polimer tabanlı kompozit malzemeleri incelemişlerdir. Radyasyon zırhlama için üretilen polimer tabanlı kompozit malzemelerde nano katkı maddelerinin etkisi ve nötronların absorpsiyonu için polimerik malzemelerin etkisini de incelemişlerdir. Ayrıca polimer tabanlı kompozit malzemelerden kaynaklanan atıkların birikmesi, doğada kirliliğe neden olacağı için polimerlerin kompozitlerin geri dönüşümünü de ele almışlardır. Sonuç olarak, bu çalışma çeşitli uygulamalarda, özellikle gama-ışınlarına karşı radyasyon zırhlamada bazı polimerlerin işlemiden sonra yeniden kullanılmasının önemini ortaya koymuştur. Belirli tipte katkı maddelerinin (metaller, metal oksitler, seramikler, vb.) eklenmesi, sentezlenen kompozitlerin sertliğini, mukavemetini ve radyasyon azaltma yeteneklerini arttırmada son derece önemli olduğu sonucuna varmışlardır. Polimer kompozit malzemelerin geleceğinin, bu yeni malzemelerin birçok alanda yaygın olarak kullanılması nedeniyle umut verici olduğunu ifade etmişlerdir. Parçalanmayan termoplastiklerin zararlı etkilerini ve toksisitesini azaltmak için geri dönüştürülebilir ve yeniden kullanılabilir polimerlerin kullanımına odaklanması gerektiğini öne sürmüşlerdir. Tasnim ve ark. (2021) yaptıkları çalışmada %80'den fazla BaSO₄ içeren yüksek yoğunluklu zırh malzemeleri geliştirmişler ve gama-ışını zırhlama parametrelerini incelemişlerdir. Zırhlama parametresi olarak lineer azaltma katsayısı, toplam atomik tesir kesiti, toplam elektronik tesir kesiti, etkin atom numarası, etkin elektron yoğunluğu ve ortalama serbest yol parametrelerini hesaplamışlardır. Deneysel ölçümleri ¹³³Ba radyoaktif kaynağından yayılan gama-ışınları ve HPGe dedektörü kullanarak gerçekleştirmişlerdir. WinXCOM yazılımını kullanarak ise zırhlama parametrelerinin

teorik sonuçlarını bulmuşlardır. Teorik ve deneysel sonuçların uyumlu olduğunu gözlemlemişlerdir. Sonuçlar incelendiğinde yüksek yoğunluklu ve nispeten daha yüksek atom numaralı elementler içeren numunenin (%84,75 BaSO₄) gama-ışını zırlama için en etkili malzeme olduğunu raporlamışlardır.

Mostafa ve ark. (2022) yaptıkları çalışmada iki nadir toprak elementi ile (disporsiyum (III) oksit (Dy⁺³) ve erbiyum (III) oksit (Er⁺³)) katkılanmış polivinil alkol (PVA) numunelerinin optik ve radyasyon zırlama özelliklerini incelemişlerdir. Hazırlanan kompozitlerin radyasyon zırlama özelliklerini ¹³³Ba, ⁶⁰Co ve ²³²Th radyoaktif noktasal kaynakları ile 81-2614 keV enerji aralığında NaI (Tl) gama sintilasyon dedektörünü kullanarak deneysel olarak elde etmişlerdir. Gama ışını zırlama parametresi olarak lineer azaltma katsayısı, kütle azaltma katsayısı, yarı kalınlık değeri, onda bir kalınlık değeri ve yığılma faktörü parametrelerini belirlemişlerdir. Teorik hesaplamalar için XCOM yazılımını kullanmışlardır. Deneysel sonuçlar ile XCOM yazılımından elde edilen sonuçların uyumlu olduğunu ifade etmişlerdir. Sonuçlar incelendiğinde PVA'nın Er⁺³ ve Dy⁺³ gibi çeşitli toprak elementleri ile katkılanmasının radyasyon zırlama özelliklerini arttırdığını bulmuşlardır. İncelenen numuneler arasında %30 Er⁺³ içeren numunenin diğer numunelere kıyasla gama ışını zırlama özelliklerinin iyi olduğunu ifade etmişlerdir. Shahzad ve ark. (2022) havacılık uygulamalarında, uzay ekipmanlarını radyasyondan korumak için geliştirilen polimerik kompozitleri ve çok katmanlı malzemeleri inceleyen bir derleme çalışması yapmışlardır. Uzay ekipmanlarının korunması için radyasyon koruma parametrelerinin yanı sıra aynı zamanda korozyon direnci, termoelektrik özellikler ve mekanik stabilite gibi parametreler de önemlidir. Yapılan derleme çalışması sonuçlarına göre, havacılık uygulamalarında kullanılan radyasyon zırl malzemelerinin karbon ve metal oksit nanopartikülleri ile katkılanması sayesinde daha iyi zırlama özelliğine, termo elektronik özelliğe, üstün korozyon direncine ve mekanik stabiliteye sahip olacağını ifade etmişlerdir. Fakat bu tür malzemelerin uzay araçlarında zırlanması sonucunda nanokompozit atık kalıntıları birikebileceğini ve geri dönüştürebilir malzemelerin kullanımı üzerine çalışmalar yapılması gerektiğini de vurgulamışlardır. Körpınar ve ark. (2022) yaptıkları çalışmada strien, akrilik asit ve çinko oksit (ZnO) katkılı bir polimer kompozit malzemeler hazırlayarak bu

malzemelerin radyasyon zırlama özelliğini incelemişlerdir. Hazırlanan polimer kompozit malzemelerin gama ışını zırlama parametrelerini belirlemek için deneysel ölçümlemleri ^{137}Cs radyoaktif noktasal kaynağından yayımlanan 662 keV enerji için NaI (Tl) sintilasyon dedektörünü kullanarak ölçmüşlerdir. Deneysel veriler, XCOM programı ile hesaplanan sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Gama ışını zırlama parametresi olarak kütle azaltma katsayısından faydalanarak lineer azaltma katsayısını hesaplamışlardır. Deneysel ve teorik olarak elde edilen lineer azaltma katsayısı değeri sonuçları birbiriyle uyumlu olduğunu not etmişlerdir. Polimer kompozitlerin zırlama parametrelerinin artan ZnO miktarı ile arttığını ifade etmişlerdir. %15 ZnO katkılı polimer kompozitin literatürde bulunan bazı diğer polimer kompozitlere kıyasla en iyi zırlama özelliğine sahip olduğunu belirtmişlerdir. Ekinci ve ark. (2022) yaptıkları çalışmada polipropileni farklı oranlarda tinkal ile karıştırarak polimer kompozit malzeme hazırlamışlardır. Hazırlanan kompozitlerin fiziksel özelliklerini ve zırlama özelliklerini incelemişlerdir. Fiziksel özelliklerini incelerken XRD ve Raman spektroskopisinden faydalanmışlardır. Lineer azaltma katsayılarını 0,015-15 MeV enerji aralığında bazı enerjilerde yüksek çözünürlüğe sahip Si(Li) dedektörü kullanarak belirlemişlerdir. Deneysel sonuçlar, araştırmacılar tarafından Phy-X/PSD bilgisayar kodu ve MCNP simülasyon kodu kullanılarak elde edilen teorik sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Deneysel ve teorik sonuçların uyumlu olduğunu ifade etmişlerdir. Zırlama parametresi olarak kütle azaltma katsayısı, lineer azaltma katsayısı, yarı kalınlık değeri, etkin atom numarası, radyasyon geçirme oranı, nötron uzaklaştırma tesir kesiti ve yığılma faktörü parametrelerini hesaplamışlardır. Hazırlanan kompozit malzemelerin yoğunluğu arttıkça zırlama özelliğinin arttığını ifade etmişlerdir. %35 oranında tinkal ile katkılanan PT4 kodlu polimer kompozitin gama ışını zırlama özelliğinin incelenen diğer kompozitlere göre daha iyi olduğunu ifade etmişlerdir.

Abualroos ve ark. (2023) yaptıkları çalışmada kurşun içermeyen polimer bazlı tuğlaların radyasyon zırlama özelliklerini incelemişlerdir. Tuğlaları üretirken %90 katkı tozu (tungsten karbür, tungsten karbür kobalt, baryum sülfat ve kalay), %10'da epoksi reçine kullanmışlardır. Hazırlanan polimer malzemelerin mikro yapısal özelliklerini ve gama radyasyonu zırlama özelliklerini incelemişlerdir. Mikroyapısal özelliklerini incelemek için aşırı yüksek çözünürlüklü alan emisyon taramalı elektron

mikroskobu (XHR-FESEM) kullanmışlardır. Her bir kompozit numunenin radyasyon koruma verimini değerlendirmek için tek foton emisyonlu bilgisayarlı tomografi (SPECT) kullanmışlardır. ^{99m}Tc (140 keV) ve ^{131}I (364 keV) radyoaktif kaynaklarından faydalanmışlardır. Taramalı elektron mikroskobu kullanılarak, kompozit malzemelerin morfolojik analizi sonucunda katkı tozlarının polimer matris içine düzgün dağıldığını ifade etmişlerdir. Ayrıca hazırlanan polimerik kompozitlerin gama radyasyonuna karşı etkili zırh malzemesi olduğunu da ifade etmişlerdir. Yüksek atom numaralı katkı malzemelerin yüksek konsantrasyonunun gama radyasyonu ve zırh malzemeleri arasında daha iyi bir etkileşim ihtimaline sahip olduğunu belirtmişlerdir. Osman ve ark. (2023) yaptıkları çalışmada farklı nano boyutlarda PbO ile birleştirilmiş polistiren malzemeler hazırlamış (PS/PbO) ve X-ışını zırhlama özelliklerini incelemişlerdir. Hazırlanan nano kompozit malzemelerin katkı maddesi dağılımını ve temel bileşimini sırasıyla taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve enerji ayrımlı X-ışını spektroskopisi (EDS) kullanarak karakterize etmişlerdir. Zırhlama parametresi olarak lineer azaltma katsayısı, toplam atomik tesir kesiti, toplam moleküler tesir kesiti, toplam elektronik tesir kesiti, etkin atom numarası ve etkin elektron yoğunluğu parametrelerini hesaplamışlardır. Deneysel ölçümlerini ikincil standart dozimetre laboratuvarında (SSDL, LAEC) yapmışlardır. Radyasyon kaynağı olarak ışın kolimatörü içeren X-ışını tüpü kullanmışlardır. Doz ölçümlerini ise katı-hal dedektör kullanarak değerlendirmişlerdir. Sonuçlar incelendiğinde hazırlanan kompozitlerin maliyetinin düşük olduğunu, malzemenin hafif olduğunu ve toksik özelliklere sahip olmadığını ifade etmişlerdir. PS/PbO nano kompozitlerin, tıbbi uygulamalarda X-ışını zırh malzemesi olarak verimli bir şekilde kullanılabileceğini ifade etmişlerdir. Oğul ve ark. (2023) yaptıkları çalışmada farklı oranlarda ve nano, mikron parçacık boyutlarında molibden ve bor katkı malzemelerini kullanarak üretilen polyester malzemelerin gama ışını ve nötron zırhlama özelliklerini incelemişlerdir. Gama ışını zırhlama parametresi olarak kütle azaltma katsayısı, yarı kalınlık değeri, etkin atom numarası, etkin elektron yoğunluğu ve radyasyon koruma verimi parametrelerini hesaplamışlardır. Hazırlanan polimer kompozit malzemelerin gama ışını zırhlama parametrelerini belirlemek için deneysel ölçümlerini ^{241}Am , ^{133}Ba , ^{22}Na , ^{137}Cs ve ^{60}Co radyoaktif noktasal kaynakları ile 59,5–1332,5 keV enerji aralığında bir HPGe dedektörünü kullanarak belirlemişlerdir. Deneysel verileri, FLUKA, GEANT4

simülasyon kodları ve WinXCOM programı ile hesaplanan sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Deneysel değerler ile FLUKA, GEANT4 simülasyon kodları ve WinXCOM kullanılarak elde edilen değerlerin uyumlu olduğunu bulmuşlardır. Ayrıca teorik ve simülasyon kodları yardımıyla hazırlanan numunelerin nötron zırhlama özelliklerini belirlemek için hızlı nötron uzaklaştırma tesir kesitlerini hesaplamışlardır. Sonuçlar incelendiğinde en iyi nötron ve gama ışını zırhlama özelliğine sahip polimer malzemenin nano parçacık boyutunda ve %50 polimer matris, %50 Mo kullanılarak üretilen (N-B0Mo50) malzeme olduğunu bulmuşlardır. Üretilen polyester malzemelerin tümünün kurşun, beton, tungsten gibi geleneksel zırh malzemelerinden daha hafif olduğunu ve hazırlanan malzemelerin toksik özelliklere sahip olmadığını ifade etmişlerdir. Bu sebeple hazırlanan numunelerin radyasyon ile çalışılan yerlerde rahat kıyafetlerin üretimi için bir alternatif zırh malzemesi olabileceğini ifade etmişlerdir. Kuttukaran ve ark., (2023) yaptıkları çalışmada değişen bizmut konsantrasyonuna sahip dimetil sülfoksitin (DMSO) kullanılarak hazırlanan polimer kompozit malzemelerin gama ışını zırhlama özelliklerini incelemişlerdir. Gama ışını zırhlama parametresi olarak lineer azaltma katsayısı, kütle azaltma katsayısı, yarı kalınlık değeri, onda bir kalınlık değeri, ortalama serbest yol, etkin atom numarası, etkin elektron yoğunluğu ve yığılma faktörü parametrelerini hesaplamışlardır. Zırhlama parametrelerini XCOM, XMUDAT ve PhyX programlarını kullanarak 0,015-15 MeV enerji aralığında hesaplamışlardır. Elde edilen sonuçları geleneksel zırh malzemeleri ile karşılaştırmışlardır. Sonuçlar incelendiğinde bizmut içeriği arttıkça hazırlanan kompozit malzemelerin zırhlama özelliğinin arttığını bulmuşlardır. Hazırlanan numuneler arasında %10 dimetil sülfoksitin ve %90 bizmut kullanılarak elde edilen polimer kompozit malzemenin en iyi zırhlama özelliğine sahip olduğunu ifade etmişlerdir. Eyssa ve ark., (2023) yaptıkları çalışmada katkı malzemesi olarak farklı konsantrasyonlarda bizmut oksit (Bi_2O_3) ve tungsten oksit (WO_3) içeren polietilen nanokompozitlerin (LDPE) fiziksel, morfolojik, mekanik, termal ve gama ışını zırhlama özelliklerini incelemişlerdir. LDPE kompozitlerinin radyasyon zırhlama özelliklerini deneysel olarak hesaplamak için ^{137}Cs (662 keV) ve ^{60}Co (1173 ve 1332 keV) radyoaktif noktasal kaynakları ve NaI (Tl) dedektörünü kullanmışlardır. Gama ışını zırhlama parametresi olarak lineer azaltma katsayısı, yarı kalınlık değeri, ortalama serbest yol ve radyasyon geçirme oranı parametrelerini belirlemişlerdir. Hazırlanan

LPDE nanokompozit malzemeler arasında %3 Bi₂O₃ içeren LPDE nanokompozitin zırhlama özelliğinin daha iyi olduğunu ifade etmişlerdir. Hazırlanan nanokompozit malzemelerin düşük enerji seviyelerinde zırhlama özelliğinin daha iyi olduğunu ifade etmişlerdir.

2.2. Radyasyonun Canlılar Üzerine Etkileri

Tüm canlı organizmalar hücrelerden, hücreler de maddenin yapıtaşı olan atomlardan oluşmaktadır. Radyasyon enerjisine bağlı olarak atomun elektronlarını uyarabilir veya direkt atomun çekirdeği ile etkileşime girebilmektedir. Bu etkileşimlerin her ikisi de atomlar arasındaki bağları koparabilir ve bu yüzden ciddi biyolojik hasarlar ortaya çıkabilmektedir.

İnsan dokuları germ hücreleri ve somatik hücreler olmak üzere iki tip hücreden oluşmaktadır. Germ hücreleri üremeden sorumludur ve diğer tüm hücreler vücuttaki fonksiyonların sürdürülmesinden sorumlu olan somatik hücrelerdir. Bir hücre, vücudun tüm metabolik aktivitelerini çekirdek sayesinde gerçekleştirir ve sitoplazma ile çevrili merkezi bir çekirdekten oluşmaktadır. Çekirdek, canlı organizmalarda yaşamı sürdürmek için gerekli olan genetik ve kalıtsal bilgileri kodlayan, çift sarmal bir yapıya sahip DNA'dan oluşmaktadır. İnsan hücrelerinde birçok gen, kromozom adı verilen ipliksi bir yapıdan oluşmaktadır. Anormal genler ve kromozomlar, kanser, iltihaplanma, fibroz (doku sertleşmesi), Down sendromu, multiple skleroz (çoklu doku sertleşmesi), bağışıklık hastalığı vb. gibi birçok hastalığın öncüsü olarak kabul edilmektedir. (Syed, 2017).

Hücresinin en önemli kısmı DNA'nın kodlandığı kromozomlardır. Hücrenin hasarın ilk aşaması, mutasyon adı verilen DNA molekülünün sarmal yapıdaki zincirlerinin parçalanmasıdır. Mutasyonlar, genetik kodların bozulmasıyla genlerde ve kromozomlarda görülmektedir. Değişen genler ve kromozomlar, mitoz hücre bölünmesi ile diğer hücrelere taşınır ve hasarlı hücrelerin proliferasyonu çeşitli hastalıklara neden olmaktadır. Radyasyona maruz kalma ne kadar artarsa mutasyonların görülme ihtimaliyeti de o kadar artmaktadır. Düşük dozda radyasyona

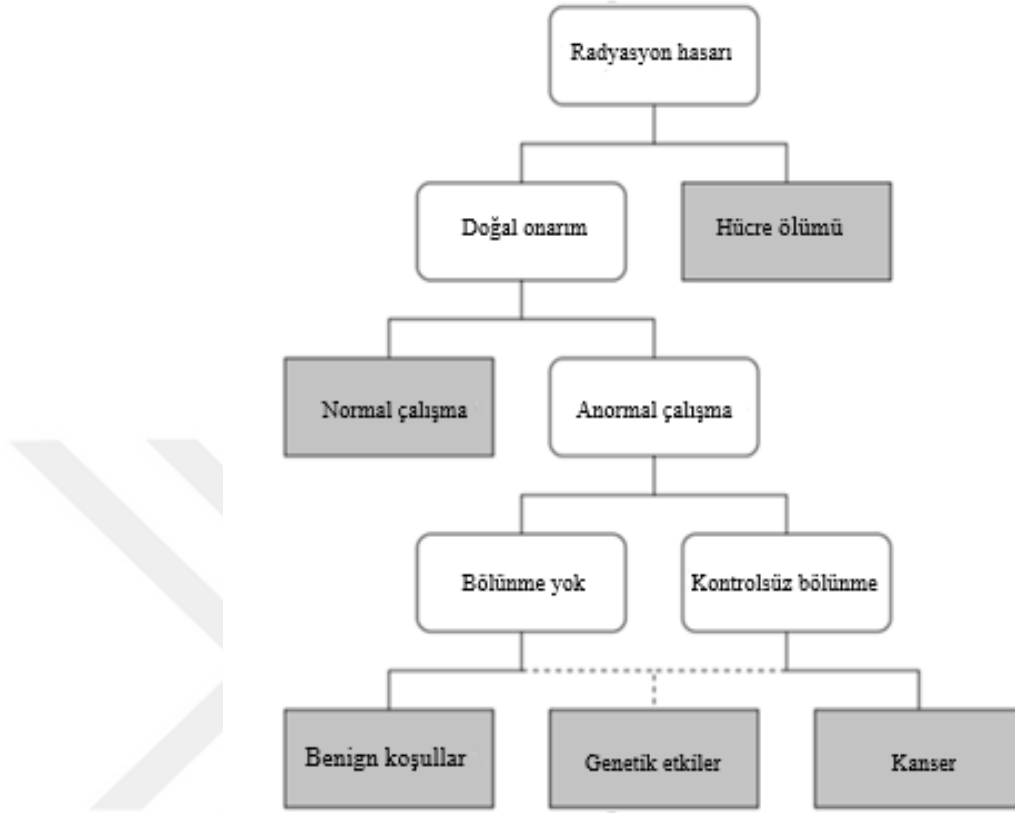
maruz kalmada, genellikle DNA'daki tek iplikler parçalanır ve zamanla bunlar kendini onarabilmektedir. Fakat yüksek dozda radyasyona maruz kalma durumunda, DNA'da çift sarmallar parçalanır ve parçalanan sarmalların onarılma olasılığı azalır. Radyasyon hasarı, radyasyonun DNA molekülü ile doğrudan etkileşimi veya radyasyonun su ve DNA molekülüne toksik olan serbest radikaller gibi diğer moleküllerle dolaylı etkileşimi yoluyla oluşabilmektedir.

Kromozomda oluşan hasar, genetik etkilere ve kanser oluşumuna yol açan hücre mutasyonlarına neden olma potansiyeline sahiptir. Bu etkiler çok yavaş gerçekleşir ve fark edilir hale gelmesi uzun yıllar alabilmektedir. Tüm iyonlaştırıcı radyasyon türleri, bu tür hasarlara neden olabilmektedir. Ancak bu etkilerin oluşma olasılığı azalan radyasyon şiddeti ile düşmektedir. Radyasyonun neden olduğu tek hasar, hücre mutasyonu değildir. Yüksek düzeyde radyasyon dozu, hücrenin ölümüne neden olabilmektedir. Bir organdaki çok sayıda hücre ölürse, organ işlevini gerçekleştiremez. Yaklaşık 500 Rem'lik tüm vücut dozunun birkaç dakika boyunca alınmasının, nüfusun %50'sinin ölümüne sebep olabileceği ifade edilmektedir (Saha, 2019). Ancak, böyle bir yüksek dozun yalnızca atomik patlamalar veya nükleer güç reaktör kazaları gibi aşırı radyasyon ortamlarında iletilmesi beklenmektedir.

Hücre radyasyona maruz kaldığında görülebilecek olası biyolojik etkiler Şekil 2.1'de sunulmuştur. Hücre hasarı ile atomlar arasındaki bağlar kopabilir ve bunun sonucunda yeni kimyasal yapılar oluşabilmektedir. Kromozomlar da dahil olmak üzere hücreler çoğunlukla doğal onarım mekanizmaları sayesinde bu tür hasarları onarmaktadır. Aslında hücre hasarı ve onarımı biyolojik organizmalarda radyasyona maruz kalma durumu olmasa bile sürekli olarak gerçekleşmektedir. Onarımın başarılı olma olasılığı, hasarın boyutuna ve yerine bağlıdır. Eğer bir organdaki çok sayıda hücre ölürse ciddi zararlara sebep olabilmektedir. (Saha, 2019).

Onarım mekanizmaları her zaman mükemmel şekilde çalışmayabilir. Bu durumdaki bir hücre anormal şekilde çalışmaya başlamıştır. Böyle bir hücre, sonunda bölünmeyi bırakabilen veya kontrolsüz bir şekilde bölünmeye başlayabilen hücredir. Sonrasında kanser veya genetik bozuklukların gelişimi ve yayılması gerçekleşmektedir. Tüm

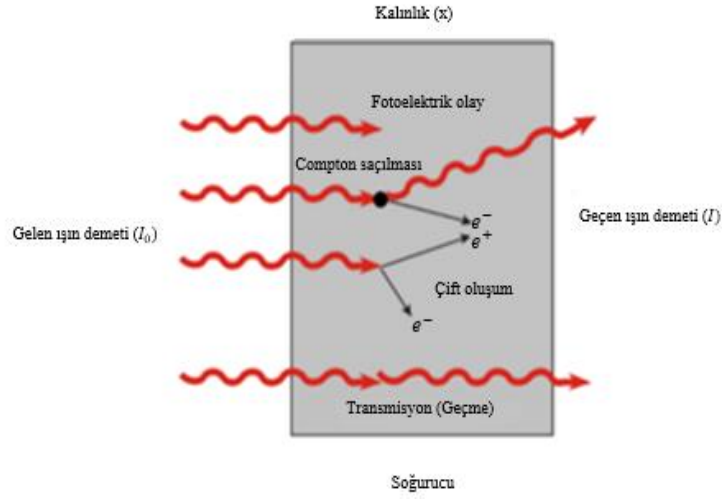
hücreler radyasyondan eşit derecede etkilenmemektedir. Örneğin, kan üreten hücreler ve üreme hücreleri radyasyondan daha fazla etkilenmektedir.



Şekil 2.1. Radyasyona maruz kaldıktan sonra bir hücrede görülebilecek olası hasar ve onarım adımlarının şeması

2.3. Gama (γ) Radyasyonun Azaltılması

Bir X-ışını veya γ -ışını foton demeti, soğurucu ortamdan geçtiğinde, artan foton enerjisine bağlı olarak fotoelektrik olay, Compton saçılması ve çift oluşum süreçlerine maruz kalır. Şekil 2.2’de bu etkileşimler görülmektedir. Bu etkileşimlerle foton soğurucu ortamdan geçtiğinde şiddetinde azalma meydana gelir. Soğurucudan geçen fotonların şiddeti I ve başlangıç fotonlarının şiddeti I_0 ile ifade edilmektedir ve ilgili bağıntı 2.1 denklemi ile verilmiştir. (Saha,2019).



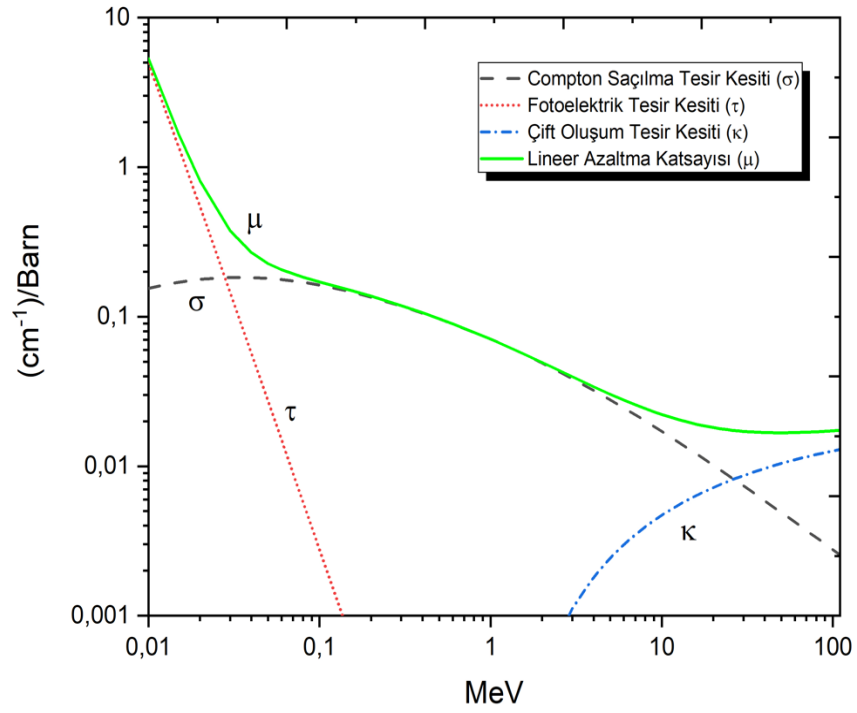
Şekil 2.2. Bir I_0 foton şiddetinin x kalınlığındaki bir soğurucuda fotoelektrik olay, Compton saçılması ve çift oluşum etkileşimleri nedeniyle azaltılmasının gösterimi (Saha, 2019)

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

burada I_0 , fotonun başlangıçtaki şiddeti, x soğurucunun cm cinsinden kalınlığı, I , fotonun bir soğurucu tabakadan geçtikten sonraki şiddeti ve μ ise cm^{-1} birimi ile ifade edilen lineer azaltma katsayısıdır. Bu lineer azaltma katsayı, fotoelektrik tesir kesiti (τ), Compton saçılma tesir kesiti (σ) ve çift oluşum tesir kesitlerinin (κ) toplamıdır ve 2.2 denklemi ile ifade edilmektedir.

$$\mu = \tau + \sigma + \kappa \quad (2.2)$$

μ , foton enerjisine, soğurucunun kimyasal içeriğine ve yoğunluğuna bağlıdır. Lineer azaltma katsayısı γ -ışınlarının enerjisi arttıkça azalırken, soğurucu içindeki elementlerin atom numarası ve yoğunluğu arttıkça artar. Foton enerjisinin bir fonksiyonu olarak suyun lineer azaltma katsayısının grafiği Şekil 2.3’de verilmiştir.

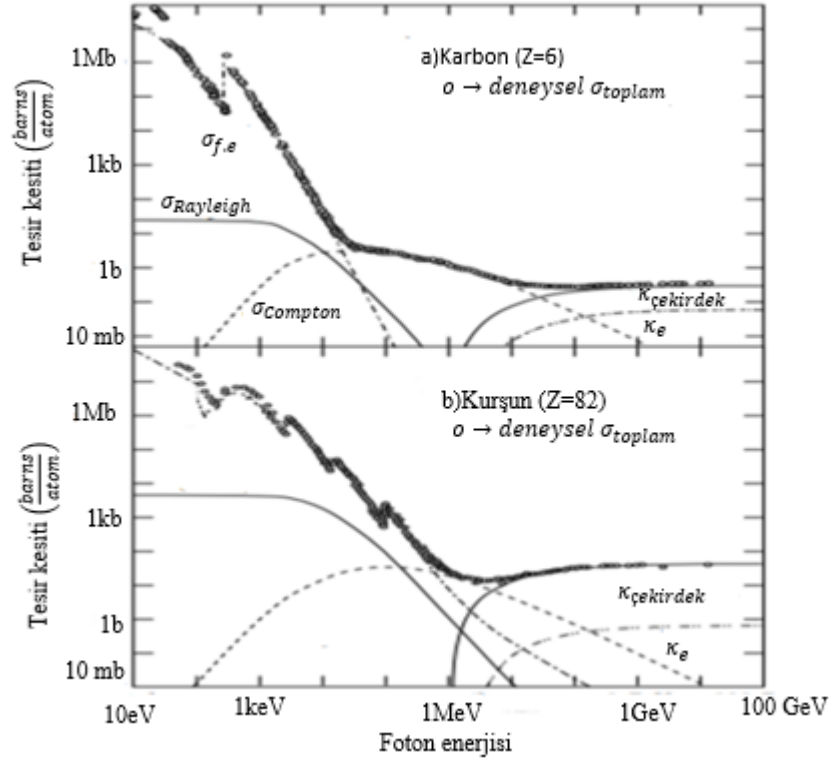


Şekil 2.3. Su için foton enerjisinin bir fonksiyonu olarak lineer azaltma katsayısı grafiği

2.4. Fotonların Madde ile Etkileşimi

Bir foton demeti, doğrusal hareket eden çok sayıda fotondan oluşur. Tüm fotonlar aynı enerjiye sahip olmayabilir. Monokromatik fotonlar bile ortalama enerji değerinde bazı değişikliklere sahiptir. Enerjilerine bağlı olarak, her bir foton madde ile etkileştiğinde fotoelektrik olay, Compton saçılması, çift oluşum gibi olaylar gerçekleşebilir. Diğer olası etkileşim türleri Rayleigh saçılması, Delbürck saçılması, üçlü oluşum v.b. etkileşimlerdir. Belirli enerjiye sahip bir foton demeti madde ile etkileştiğinde, demetteki fotonların hepsi aynı türden etkileşime maruz kalmaz. Belirli bir enerjiye sahip bir fotonun bir atomla hangi tür etkileşim yapacağını kesin olarak söylemek zordur. Çok sayıda fotonun etkileşim mekanizmaları, tesir kesiti gibi istatistiksel niceliklerin yardımıyla daha doğru bir şekilde ifade edilebilir. Bu etkileşim mekanizmaları, farklı malzemeler için farklı eşik enerji değerlerine ve yüksek tesir kesitli bölgelere sahiptir. Çoğu zaman, tesir kesitleri, bazı yarı deneysel ilişkiler yoluyla belirlenebilirken araştırmacılar tarafından yayınlanan bir tesir kesiti tablosundan da çıkarılabilir. Şekil 2.4, karbon ve kurşun için enerjinin bir fonksiyonu

olarak farklı foton tesir kesitlerini göstermektedir. Tesir kesitlerinin bir başka yararlı kullanımı ise bir malzemeden geçen bir foton ışınının azaltılmasının tahmin edilebilmesidir.



Şekil 2.4. Foton enerjisinin bir fonksiyonu olarak karbon ve kurşun için bazı tesir kesitleri (Syed, 2017)

Radyasyon ölçümlerinde, fotonların madde ile etkileşiminin incelenmesi yüklü parçacıklardan oluşan radyasyonun madde ile etkileşiminin incelenmesinden daha kolaydır. Bunun nedeni, fotonların madde ile etkileşiminde belirli bir enerji değerleri alması ve enerji paketçikleri şeklinde yayılmasıdır. Bazı durumlarda foton ile madde etkileşime girmediği için fotonun şiddetinde bir değişim olmaz. Bununla birlikte, etkileşen fotonların kaybı nedeniyle malzemeyi geçen ışının şiddeti azalır.

Bir malzemede, malzemenin birim uzunluğu başına bir foton demetinin şiddetindeki azalmanın, fotonun şiddetine bağlı olduğu bulunmuştur ve Denklem 2.1 ile ifade edilmektedir.

Denklem 2.1, radyoaktif bozunma yasasıyla benzerdir. Aslında, radyoizotopların yarı ömürleri ve ortalama ömürlerine benzer şekilde, malzemelerde fotonun azaltılması için gerekli malzeme kalınlığı olarak ortalama serbest yol (OSY) ve yarı kalınlık değeri (YKD) gibi parametreler tanımlanmıştır. Bu parametreler denklem 2.3, denklem 2.4 ile ifade edilmektedir.

$$OSY = \frac{1}{\mu} \quad (2.3)$$

$$YKD = \frac{\ln(2)}{\mu} \quad (2.4)$$

Denklem 2.1'i kullanarak ortalama serbest yol terimini türetebiliriz. Ortalama serbest yol, bir foton ışınının, başlangıçtaki şiddetinin yaklaşık %63'üne tekabül eden $1 - 1/e$ oranında azalacağı şekilde kat edeceği mesafe olarak tanımlanabilir.

Yukarıdaki denklemlerde gösterilen lineer azaltma katsayısı, belirli bir foton demetinin bir malzemedan geçerken ne kadar azalacağını belirler. Lineer azaltma katsayısı sadece foton enerjisinin değil, aynı zamanda malzemenin içeriğinin ve yoğunluğunun da bir fonksiyonudur. Bu üç parametreye bağımlılığı ifade etmek bir problem olduğu için lineer azaltma katsayısı yerine yoğunluktan bağımsız kütle azaltma katsayısı kullanılır ve kütle azaltma katsayısı denklem 2.5'de verilmiştir.

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.5)$$

Burada ρ malzemenin yoğunluğudur. Kütle azaltma katsayısı, malzemenin fiziksel durumundan bağımsız olduğu için lineer azaltma katsayısı, basitçe malzemenin yoğunluğu ile çarpılarak kolayca bulunabilir. μ ve μ_m literatürde genellikle sırasıyla cm^{-1} ve cm^2/g birimleriyle belirtilir.

Toplam azaltma katsayısı, bir malzemedeki fotonların etkileşim olasılığını ifade eder. Tesir kesiti aynı zamanda etkileşim olasılığını da belirlediği için bu iki nicelik birbirleriyle ilişkilidir. Toplam lineer azaltma katsayısı μ , toplam tesir kesit σ_t cinsinden denklem 2.6 ile ifade edilebilir;

$$\mu = \sigma_t N = \sigma_t \frac{\rho N_A}{A} \quad (2.6)$$

burada N, A atom numarasına sahip malzemedeki birim hacim başına düşen atom sayısını temsil eder ve ρ ise malzemenin yoğunluğudur. N_A , Avogadro sayısıdır. μ 'nin birimi; cm^{-1} , σ_t 'nin birimi; cm^2/atom , N; atom/cm^3 ve ρ ; g/cm^3 'tür.

Kütle azaltma katsayısı toplam tesir kesiti cinsinden denklem 2.7 ile ifade edilebilir;

$$\mu_m = \sigma_t \frac{N_A}{A} \quad (2.7)$$

Toplam azaltma katsayısı ile toplam tesir kesiti arasında doğrudan bir ilişki olduğu için eğer toplam tesir kesitini biliyorsak toplam azaltma katsayısını da belirleyebiliriz. Toplam tesir kesiti σ_t , her bir etkileşim sürecinin tek tek belirlenmesiyle bulunur ve denklem 2.8 ile ifade edilmiştir.

$$\sigma_t = \sigma_{f.e} + \sigma_c + \sigma_r + \sigma_{çift} + \sigma_{üçlü} + \dots \quad (2.8)$$

burada f.e, c, r, çift ve üçlü alt simgeleri sırasıyla fotoelektrik olayı, Compton saçılmasını, Rayleigh saçılmasını, çift oluşum ve üçlü oluşum süreçlerine ait tesir kesitleri temsil eder. Noktalar, Thomson saçılması ve foto nükleer etkileşimler gibi diğer süreçleri temsil eder. Denklem 2.6, 2.7, denklem 2.8'e göre düzenlenirse lineer azaltma katsayısı ve kütle azaltma katsayıları denklem 2.9 ve denklem 2.10 ile ifade edilebilir;

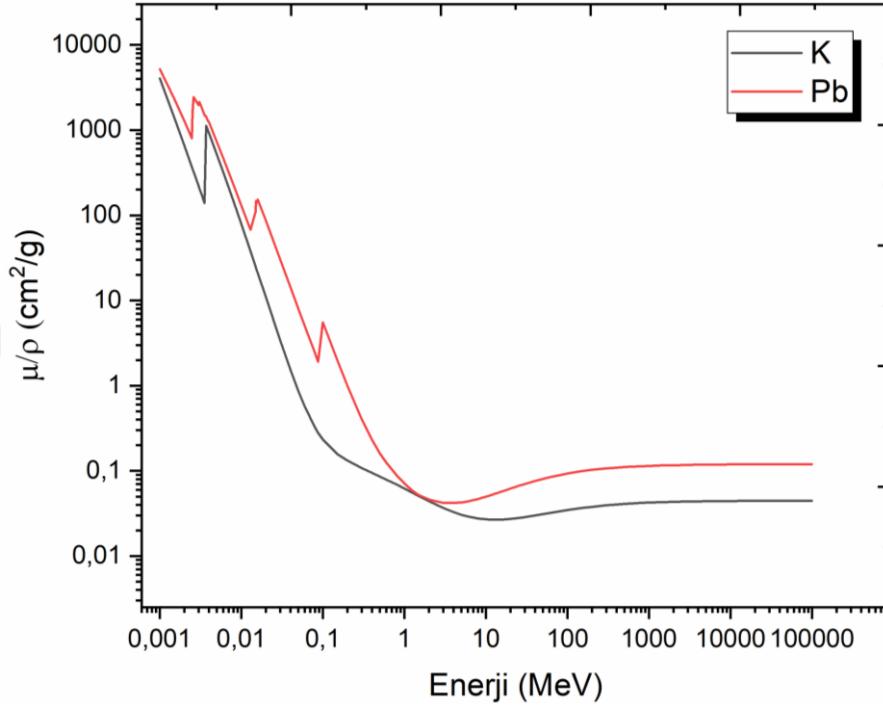
$$\mu = \frac{\rho N_A}{A} (\sigma_{f.e} + \sigma_c + \sigma_r + \sigma_{çift} + \sigma_{üçlü} + \dots) \quad (2.9)$$

$$\mu_m = \frac{N_A}{A} (\sigma_{f.e} + \sigma_c + \sigma_r + \sigma_{çift} + \sigma_{üçlü} + \dots) \quad (2.10)$$

Teorik olarak elde edilen formüllere bağlı olarak tesir kesiti hesaplamaları yapılır ve bunları doğrulamak için deneysel olarak ölçümler de yapılır.

Şekil 2.5, potasyum ve kurşunun kütle azaltma katsayılarının enerjiye karşı değişimini göstermektedir. Şekil 2.5'ten de görüldüğü gibi, azaltma katsayısı enerjideki artışla azalır. Ancak belirli enerjilerde azaltma katsayılarında ani sıçramalar vardır. Bu ani

sıçramalar, fotonun enerjisinin atomun bağlanma enerjilerinden biriyle eşleştiğinde meydana gelir. Bu enerji değerinde fotonların soğurması aniden artar ve azaltma katsayısı daha yüksek bir değere sıçrar. Azaltma katsayılarındaki bu ani değişiklikler, görüntü kontrastını arttırmak için radyasyon görüntüleme tekniklerinde kullanılır.



Şekil 2.5.Potasyum ve kurşunun kütle azaltma katsayılarının enerjiye karşı değişimi

2.4.1.Fotoelektrik Etki

Işık, dalga ve tanecik olmak üzere ikili bir doğaya sahiptir ve fotoelektrik etki ışığın tanecik doğasını desteklemektedir. Basit bir şekilde ifade etmek gerekirse ışık bir malzeme üzerine düşürüldüğünde elektronlar yayılabilmektedir ve yayılan elektrona fotoelektron denir. Bu olaya da fotoelektrik olay denir. Elektronların yayılması, ışığın şiddetine değil, frekansına bağlıdır. Eğer frekans hedef malzemeye bağlı olarak belirli bir değerden düşükse, elektron koparılmaz. Fotoelektrik etki ışığın klasik modeli ile açıklanamaz. Einstein bu etkiyi, ışığın malzemeye her biri eşit enerji taşıyan ve foton adı verilen paketler halinde aktarıldığını öne sürerek açıklamıştır ve denklem 2.11 ile ifade edilmektedir.

$$E_{\gamma} = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (2.11)$$

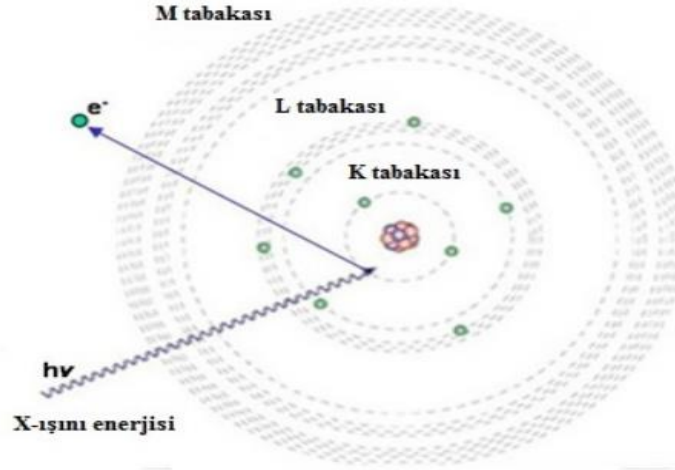
burada h Planck sabitidir, ν ışığın frekansı, λ ışığın dalga boyu ve c ise ışığın boşluktaki hızıdır. Malzemedeki elektronlar bağlı olduğundan, onları serbest bırakmak için verilen enerjinin bağlanma enerjisinden daha büyük olması gerekmektedir. Metaller için bu enerjiye iş fonksiyonu denir ve genellikle ϕ sembolü ile gösterilmektedir. Bu nedenle, bir metal yüzeyden bir elektronun yayılabilmesi için, $E_{\gamma} > \phi$ olması gerekmektedir. Foton enerjisi iş fonksiyonundan büyükse, enerjinin geri kalanı yayılan elektron tarafından taşınır, bu durum denklem 2.12 ile ifade edilmektedir.

$$E_e = E_{\gamma} - \phi \quad (2.12)$$

Çoğu metalin birkaç elektron volt düzeyinde iş fonksiyonu değeri küçük olduğu için çok düşük enerjili bir foton bile o metaldeki elektronları serbest bırakabilmektedir. Fotoelektrik olay sırasında, bir foton bir elektron tarafından tamamen soğurularak atomu kararsız hale getirmektedir. Kararlı duruma dönmek için atom, bağlı atom kabuklarından birinden bir elektron yaymaktadır. Bu sebeple gelen fotonun, atomdaki en gevşek bağlı elektronun bağlanma enerjisinden daha büyük bir enerjiye sahip olması gerekmektedir bu durum denklem 2.13 ile ifade edilmektedir.

$$E_e = E_{\gamma} - E_b \quad (2.13)$$

Burada E_b elektronun bağlanma enerjisidir. Atomik fotoelektrik etki, Şekil 2.6'da gösterilmiştir. Şekilde K-kabuğundaki bir elektronu koparabilecek bir enerjiye sahip bir foton gönderilirse K kabuğundan elektronu kopararak orada bir boşluk oluşturmakta ve böylece atom kararsız hale geçmektedir. Atom kararlı hale geçebilmek için daha yüksek bir kabukta bulunan başka bir elektron boşluğu doldurmakta ve bu iki kabuğun enerji seviyelerinin farkına eşit bir enerjiye sahip karakteristik X ışını fotonu yayınlanmaktadır.



Şekil 2.6.Bir atomda fotoelektrik etkinin gösterimi (Akman, 2013)

Gelen foton fotoelektrik olay sırasında tamamen kaybolduğu için fotoelektrik etki, tek bir fotonun tek bir elektrona dönüştürülmesi olarak düşünülebilmektedir. Fakat bu sadece süreci görselleştirmenin uygun bir yoludur ve hiçbir şekilde gerçek bir fotonun elektrona dönüşümünü temsil etmemektedir. Bu olay denklem 2.14 ile ifade edilmektedir.

$$\gamma + X \rightarrow X^+ + e^- \quad (2.14)$$

Burada X hedef atomdur, gelen gama (γ) ışını fotonu tarafından hedef atomun kabuklarının birinden elektron koparılmakta ve böylece hedef atom pozitif yüklü hale geçmektedir. Bu reaksiyon için tesir kesiti, atom numarası Z ile doğru orantıya sahiptir ve artan atom numarası ile fotoelektrik etki olasılığı artmaktadır. Ayrıca tesir kesiti gelen fotonun enerjisiyle ters orantılıdır ve denklem 2.15 bu ilişkiyi göstermektedir.

$$\sigma_{f.e} \propto \frac{Z^n}{E_\gamma^{3,5}} \quad (2.15)$$

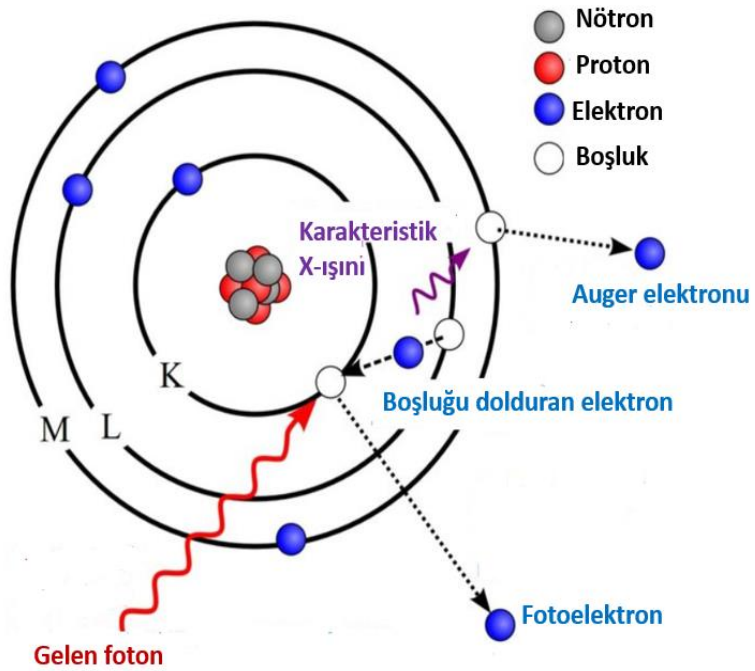
Burada n düşük enerjilerde 4, yüksek enerjilerde ise 5 ile ifade edilmektedir. Bu ilişki, fotoelektrik etki olasılığının daha yüksek enerji ile gelen fotonlarda tesir kesitinin keskin bir şekilde azalacağını göstermektedir. Fotoelektrik etki, X- ve gama ışınlarında ağırlıklı olarak K kabuğunda gerçekleşir bu nedenle genel olarak toplam fotoelektrik

tesir kesitini tahmin etmek için K-kabuk etkileşimiyle ilgili tesir kesiti kullanılmaktadır ve denklem 2.16 bu tesir kesitini ifade etmektedir.

$$\sigma_{f.e,K} = \left[\frac{32}{E^7} \right]^{\frac{1}{2}} \alpha^4 Z^5 \sigma_{Th} \frac{cm^2}{atom} \quad (2.16)$$

Burada $E = \frac{E_\gamma}{m_e c^2}$ ve $\sigma_{Th} = \frac{8}{3} \pi r_e^2 = 665 mbarn$ şeklinde ifade edilir ve σ_{Th} Thomson saçılması tesir kesitidir.

Fotoelektrik etkinin bir sonucu olarak yayılan bir X-ışını fotonu, enerjisinin o elektronun bağlanma enerjisinden büyük olma koşuluyla, başka bir yörünge elektronunu da koparabilir. Bu elektrona Auger elektronu denir. Auger olayı Şekil 2.7'de gösterilmiştir. Şekilde bir K-kabuğu elektronunun, gelen foton tarafından soğurulduğu ve atomun tekrar kararlı duruma geçmesi için doldurulması gereken bir boşluk oluşturduğu görülmektedir. M kabuğundan başka bir elektron bu boşluğu doldurur ve bu süreçte iki enerji seviyesi arasındaki farka eşit bir foton yayınlanmaktadır. Yayılan foton M kabuğundan başka bir elektron koparmakta ve bu elektron Auger elektronu olarak tanımlanmaktadır.

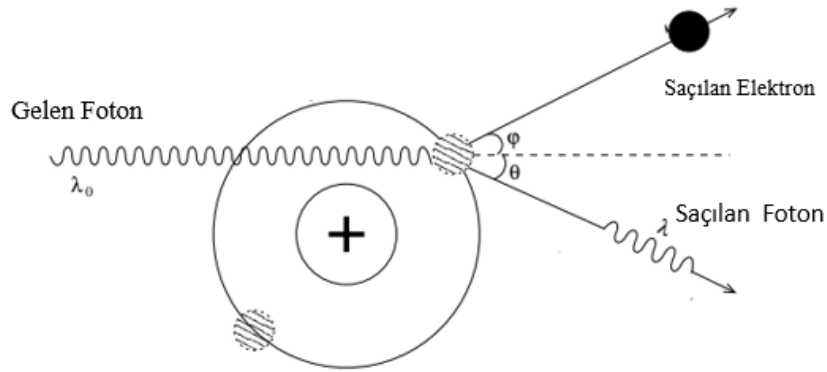


Şekil 2.7. Auger olayının şematik gösterimi

2.4.2. Compton Saçılması

Compton saçılması ilk olarak 1923 yılında Compton tarafından keşfedilmiştir ve atoma gevşek bağlı elektronların, foton ile esnek olmayan (inelastik) saçılmasını ifade etmektedir. Compton yaptığı saçılma deneyi sırasında, saçılan ışığın dalga boyunun gelen ışığın dalga boyundan farklı olduğunu keşfetmiştir ve bu olayı ışığın kuantası adı verilen dalga paketlerinden veya fotonlardan oluştuğunu düşünerek başarıyla açıklamıştır. Şekil 2.8, gevşek bağlı bir elektron için Compton saçılması olayını göstermektedir. Düşük atom numaralı elementlerin bağlanma enerjileri birkaç yüz eV mertebesinde, laboratuvarlarda kullanılan γ -ışını kaynakları yüzlerce keV mertebesinde olduğu için bağlı elektron, gelen fotonlara göre neredeyse serbest ve durgun olarak kabul edilmektedir.

Orbital elektronları için genelde gelen fotonun enerjisi hedef atomdaki en içteki elektronun bağlanma enerjisinden çok yüksekse, Compton saçılması fotoelektrik olaydan daha baskındır.



Şekil 2.8. Bağlı bir elektronun $E\gamma_0=hc/\lambda_0$ enerjisine sahip bir foton ile Compton saçılmasının gösterimi.

Enerji ve lineer momentum korunumu yasaları kullanılarak Compton olayında dalga boyları ile saçılan fotonlar arasındaki ilişki türetilir. Bu ilişki denklem 2.17 ile ifade edilmektedir.

$$\lambda = \lambda_0 + \frac{h}{m_0 c} [1 - \cos \theta] \quad (2.17)$$

Burada λ_0 ve λ sırasıyla gelen ve saçılan fotonların dalga boyları, m_0 elektronun durgun kütlesi, c ışık hızı, h Planck sabiti ve θ gelen ile saçılan fotonlar arasındaki açıyı ifade etmektedir.

Gelen ve saçılan foton enerjileri $E_\gamma = \frac{hc}{\lambda}$ bağıntısından ve Denklem 2.17'den faydalanılarak denklem 2.18 ile ifade edilmektedir.

$$E_\gamma = E_{\gamma_0} \left[1 + \frac{E_{\gamma_0}}{m_0 c^2} (1 - \cos \theta) \right] \quad (2.18)$$

Bu bağıntı, saçılan fotonun enerjisinin sadece gelen fotonun enerjisine değil aynı zamanda saçılma açısına da bağlı olduğunu göstermektedir. Başka bir deyişle, saçılma süreci hiçbir şekilde izotropik (eş yönlü) değildir.

Compton tesir kesiti etkileşime giren malzemenin atom numarası ile doğru ve gelen fotonun enerjisi ile ters orantılıdır ve denklem 2.19 ile ifade edilmektedir.

$$\sigma_c \propto \frac{Z}{E} \quad (2.19)$$

2.4.3. Çift Oluşum

Çift oluşum, bir fotonun çekirdek ile etkileşimi sonucunda bir elektron (parçacık)-pozitron (antiparçacık) çiftine dönüştürülmesiyle sonuçlanan süreci ifade etmektedir. Fotonun durgun kütlesi olmadığından, elektron ve pozitrona dönüşmektedir. Bu durum Einstein'ın kütle enerji ilişkisi $E=mc^2$ yani enerjinin kütleye dönüştüğünün bir ispatıdır. Elektron-pozitron çiftinin birleşmesi ile de kütle enerjiye dönüşebilir. Dolayısıyla çift oluşumu, elektron pozitron yok oluşunun ters süreci olarak düşünebiliriz Ancak iki olay arasında belirgin bir fark vardır: çift oluşumun gerçekleşmesi için hep bir malzeme gerekmektedir fakat elektron pozitron yok edilmesinin böyle bir gereksinimi yoktur. Yani, çift oluşumun gerçekleşmesi ve momentum korunumunu sağlamak için fotonun yakınında muhakkak başka bir

parçacık olmalıdır. Ağır bir çekirdeğin çevresindeki süreç denklem 2.20 ile ifade edilmektedir.

$$\gamma + X \rightarrow e + e^+ + X^* \quad (2.20)$$

burada X ve X*, ağır bir çekirdeğin temel ve uyarılmış durumlarını temsil eder. Enerji, ayrı kütlelere sahip iki parçacığa dönüştürüldüğünden, çift oluşumun gerçekleşmesi için yeterli enerjinin mevcut olması gerekir. Yani elektron ve pozitron eşit kütlelere sahip olduğu için fotonun enerjisi en azından iki elektronun durgun kütlelerinin enerji eşdeğerine sahip olmalıdır ve bu durum denklem 2.21 ve denklem 2.22 ile ifade edilmektedir.

$$E_\gamma \geq 2m_e c^2 \quad (2.21)$$

$$E_\gamma \geq 1,022 \text{ MeV} \quad (2.22)$$

Burada m_e , bir elektronun veya bir pozitronun kütlesidir. Bu nedenle 1,022 MeV'nin altında enerji taşıyan bir foton, bir elektron-pozitron çiftine dönüşemez.

Ağır bir çekirdeğin çevresindeki etkileşim süreci için gerçek eşik enerjisi denklem 2.23 ile ifade edilmektedir.

$$E_\gamma \geq 2m_e c^2 + \frac{2m_e^2 c^2}{m_{\text{çekirdek}}} \quad (2.23)$$

Burada $m_{\text{çekirdek}}$, çekirdeğin kütlesidir. Yukarıdaki denklemi düzenlenirse denklem 2.24 elde edilir.

$$E_\gamma \geq 2m_e c^2 \left(1 + \frac{m_e}{m_{\text{çekirdek}}} \right) \quad (2.24)$$

Bir çekirdeğin kütlesi bir elektronun kütlesinden ($m_{\text{çekirdek}} \geq m_e$) çok daha büyük olduğu için, sağ taraftaki parantez içindeki ikinci terimi ihmal edebilir ve $E_\gamma \geq 2m_e c^2$ olur.

Çift oluşum, elektronlar gibi daha hafif parçacıkların yakınında da meydana gelebilir. Bir elektronun çevresindeki süreç genellikle üçlü oluşum olarak adlandırılır ve denklem 2.25 ile ifade edilmektedir.

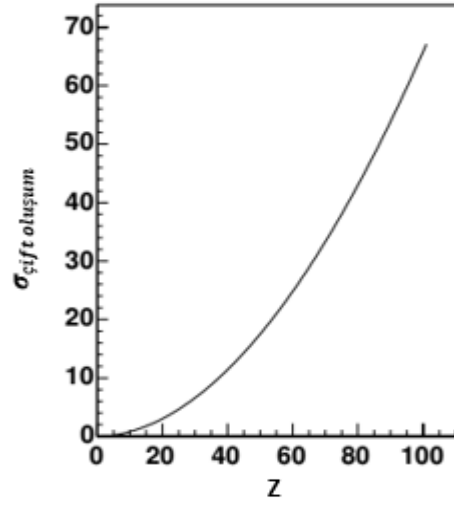
$$\gamma + e \rightarrow e + e^+ + e \quad (2.25)$$

Bu sürece üçlü oluşum denilmesinin sebebi görüntüleme dedektöründe iki elektron ve bir pozitron olmak üzere üç benzersiz parçacık izinin görülmesidir. Üçlü oluşumun enerji eşiği 2,044 MeV'dir. Bu eşikten daha yüksek enerjilere sahip γ -ışınları yayan sadece birkaç radyoaktif kaynak olduğundan, bu işlem olağan radyasyon ölçümlerinde fazla bir önem taşımaz. Çift oluşum sürecinde üretilen pozitronların ortalama ömürleri çok kısadır. Sebebi ise bu reaksiyonun her zaman bol miktarda elektrona sahip olan malzemelerde meydana gelmesidir. Böylece pozitronlar, yok olma süreci boyunca yakındaki elektronlarla hızla etkileşime girer ve fotonlar üretir.

Çift oluşum, 1,022 MeV 'den düşük foton enerjilerinde mümkün değildir. Ancak bazı γ bozunmalarında, bu eşikten daha büyük enerjili fotonlar yayınlanır. Herhangi bir malzemede çift oluşumun meydana gelme olasılığı, çift oluşum tesir kesiti yüksek enerjili fotonlar ($E \geq 20$ MeV) için yaklaşık olarak Z^2 'ye bağlıdır ve burada Z malzemenin atom numarasıdır. Çift oluşum tesir kesiti denklem 2.26 ile ifade edilebilir.

$$\sigma_{\text{çift oluşum}} \propto Z^2 E \quad (2.26)$$

Bu denklemden de anlaşılacağı gibi ağır elementler için çift oluşum tesir kesiti, hafif elementlere göre daha yüksektir. Şekil 2.9'da çift oluşumun atom numarasına bağlılığı gösterilmiştir.



Şekil 2.9. $\sigma_{\text{çift oluşum}}$ ve Z arasındaki ilişkisi (Syed, 2017)

2.5. Radyasyondan Korunma

Radyasyon, insanlarda kanser ve genetik kusurlarla sonuçlanan hücresel hasara neden olmaktadır. Bu sebeple tüm insanlar, özellikle radyasyon ile çalışanlar, radyasyona maruz kalmaktan kaçınmak için gerekli önlemleri almalıdır. Radyasyonun dış maruziyetini veya iç absorpsiyonunu en aza indirmek ve kanser olasılığını azaltmak için radyasyonla çalışanların korunma ilkelerini bilmesi gerekir. Radyasyondan korunmanın üç temel ilkesi, ZMZ kısaltmasıyla temsil edilen zaman, mesafe ve zırhlamadır.

2.5.1. Zaman

Radyoaktif kaynağın yakınında geçirilen süre, radyasyondan korunmada önemli bir faktördür. Kişi radyoaktif kaynağın yakınında ne kadar çok zaman geçirirse, radyasyona o kadar fazla maruz kalır ve radyasyon soğurması o kadar artar. Bu sebeple radyoaktif kaynakların yanında gereğinden uzun kalınmamalıdır. Radyoaktivite zamanla azaldığından zamanın bir periyodu olarak aktivite denklem 2.27 ile ifade edilir;

$$A_t = \int A_0 e^{-\lambda t} dt = A_0 \left(\frac{1 - e^{-\lambda t}}{\lambda} \right) \quad (2.27)$$

burada A_t kümülatif aktiviteyi, A_0 ilk aktiviteyi, t zamanı ve λ radyonüklidin bozunma sabitini ifade etmektedir. Bu nedenle, kaynaktan bir birim uzaklıkta oluşan maruz kalma (X), zamana bağlı olarak denklem 2.28 ile ifade edilir;

$$X = A_t \cdot \Gamma \quad (2.28)$$

burada Γ radyonüklidin maruz kalma oran sabitidir. Bir radyasyon kaynağının yakınında geçirilen sürenin artması ile A_t ve maruziyet de artar. Radyasyon bulunan ortamda amaçlanan işi tamamlamak için kaynağın maruz kalma oranı ve radyasyonlu ortamda kalma süresi dikkate alınmalıdır.

2.5.2. Mesafe

Bir radyoaktif kaynağa maruz kalma (X) kaynağa olan uzaklığın karesiyle ters orantılıdır. Eğer bir kişi radyoaktif kaynaktan iki birim uzaklıkta durursa o radyasyonun dörtte birine maruz kalacaktır. Bununla birlikte, maruz kalmadaki azalma, şiddetli kaynaklar için daha doğrusaldır. A aktivitesine sahip radyoaktif kaynağından yayılan radyasyona d mesafesinde maruz kalma denklem 2.29 ile ifade edilir;

$$X = \frac{\Gamma}{d^2} \quad (2.29)$$

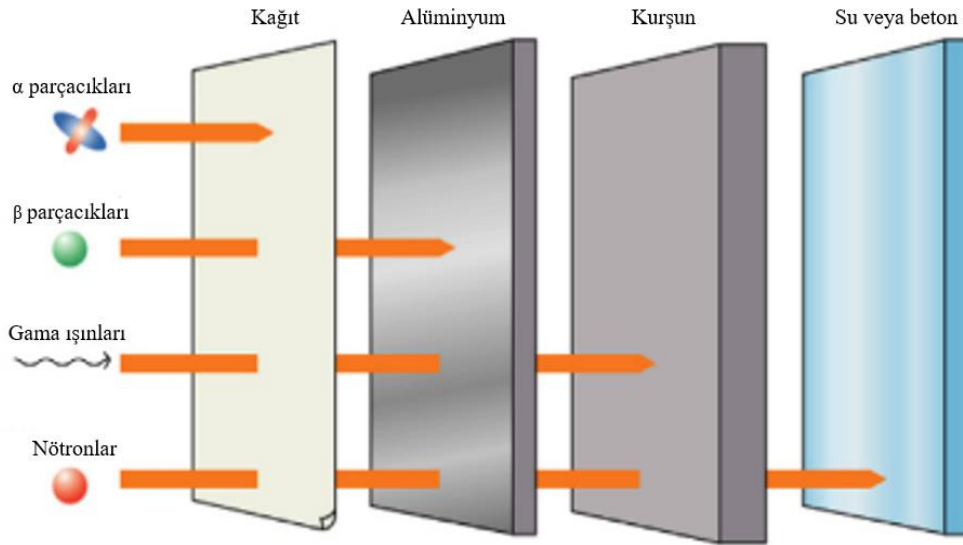
Denklem 2.27 ve 2.29 birleştirilerek bir noktasal kaynaktan gelen toplam maruz kalma (X_t) denklem 2.30 ile ifade edilir;

$$X_t = A_0 \left(\frac{1 - e^{-\lambda t}}{\lambda} \right) \frac{\Gamma}{d^2} \quad (2.30)$$

Denklem 2.30, bilinen Γ değerleri kullanılarak bir noktasal radyasyon kaynağından belirli bir mesafedeki maruz kalmayı hesaplamak için yaygın olarak kullanılır.

2.5.3. Zırhlama

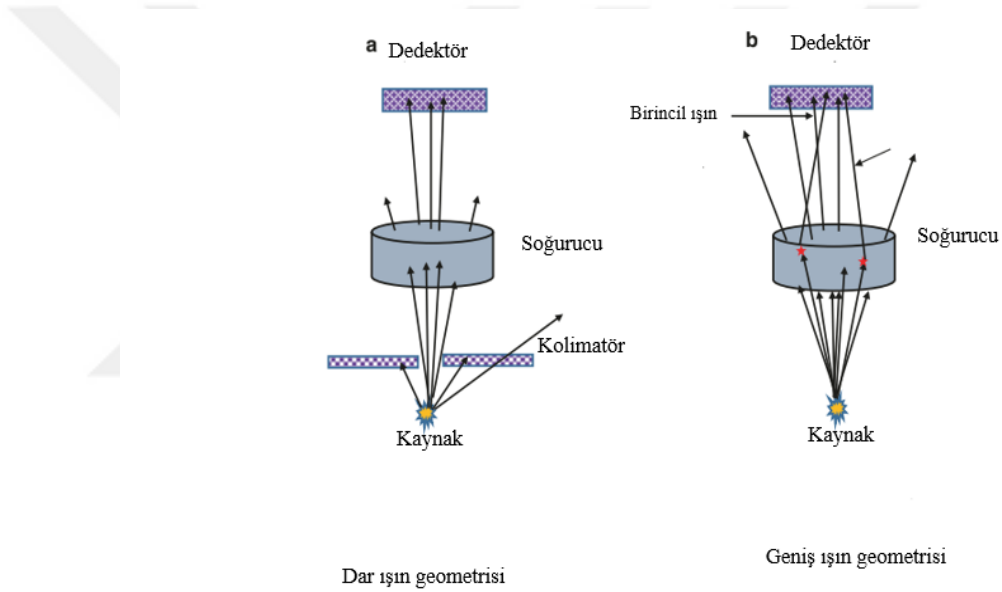
Zırhlama, radyasyondan korunmanın temel bir kriteridir. Radyasyonun zararlı etkilerinden korunmak için radyasyona maruz kalan sistem ile kaynak arasına bir zırh malzemesinin eklenmesi gerekmektedir. Zırhlama sayesinde radyasyon, zırhlama malzemesinin atomlarıyla etkileşip doğrudan veya dolaylı olarak iyonlaştırma gerçekleştirir ve bu şekilde enerjisini tamamen veya kısmen kaybederek doz seviyesinin zararsız hale gelmesi sağlanır. Radyasyon bir maddeden geçerken ortamdaki soğurma ve azaltma yoluyla enerjisini kaybeder. Bu nedenle kullanılan madde radyasyon için zırhlama görevi görür. İyonlaştırıcı özelliğe sahip olan α parçacığı, β - parçacığı küçük kalınlıktaki malzemeler tarafından durdurulabilirler X-ışını ve γ ışını radyasyonları yüksüzdür ve nüfuz edici özellikleri fazladır. Bu sebeple X-ışınları ve γ ışınlarından korunmada yüksek yoğunluklu malzemeler gerekmektedir. Kurşun, tungsten vb. gibi yüksek atom numarasına sahip malzemeleri γ radyasyonu için iyi soğuruculardır ve maliyet açısından kurşun bu amaç için yaygın olarak kullanılır. Nötronlardan korunmada ise atom numarası düşük elementler içeren malzemeler gerekmektedir (Kaçal ve ark.,2019). Radyasyondan korunmak için kullanılan zırh malzemeleri Şekil 2.10'da gösterilmiştir.



Şekil 2.10. Radyasyon türleri ve radyasyon türüne uygun zırh malzemeleri (Issard, 2015)

Soğurucudan geçen radyasyonların minimum düzeyde saçıldığı ve doğrudan detektöre ulaştığı (dar ışınlı) bir geometri dar ışın geometrisidir. Algılanan ışın üzerindeki tek etki, soğurucu tarafından birincil ışının azaltılmasıdır. Bu olay bir noktasal kaynak, ince bir soğurucu ve kolime edilmiş bir ışın için geçerlidir (Şekil 2.11.a). Ancak, gerçek durumlarda, detektörden uzaklaşan fotonlar, soğurucu (koruyucu malzeme) içinde detektöre doğru saçılabilir ve bu durumda radyasyona fazladan maruz kalınır (Şekil 2.11.b). Bu sebepten dolayı geniş ışınlı bir geometri gerekmektedir ve yığılma (building) faktörü olarak adlandırılan terim denklem 2.31 ifade edilir (Saha, 2019).

$$B = \frac{\text{Birincil ve ikincil radyasyon şiddetlerinin toplamı}}{\text{Birincil radyasyon şiddeti}} \quad (2.31)$$



Şekil 2.11. Zırhlamayı etkileyen radyasyonun (a) dar ışın geometrisi ve (b) geniş ışın geometrisinin gösterimi (Saha, 2019)

Geniş ışın geometrisi için maruz kalma denklem 2.32 ile ifade edilir;

$$X = BX_0 e^{-\mu x} \quad (2.32)$$

B ifadesi ortamın tipine, kalınlığına ve fotonun enerjisine bağlıdır. Burada μx relaksasyon uzunluğunu ifade etmektedir.

Kurşun için çeşitli enerjilerdeki noktasal kaynaklar için yığılma faktörleri ve μx ifadelerinin değerleri Tablo 2.1'de verilmiştir. Bunların dışındaki enerjiler için yığılma faktörleri tabloda verilen değerlere dayanarak tahmin edilmiştir.

Tablo 2.1. Farklı relaksasyon uzunluk değerleri ve izotropik kurşun noktasal kaynağı için doz yığılma faktörleri

MeV	1 μx	2 μx	4 μx	7 μx	10 μx	15 μx	20 μx
0,5	1,24	1,42	1,69	2,00	2,27	2,65	2,73
1	1,37	1,69	2,26	3,02	3,74	4,81	5,86
2	1,39	1,76	2,51	3,66	4,84	6,87	9,00
3	1,34	1,68	2,43	2,75	5,30	8,44	12,30

Radyoaktif kaynaklar, zırhlı bir kaptan saklanmalıdır. Şekil 2.12’de L-Blok adı verilen kurşun zırhı gösterilmektedir. Radyoaktif kaynaklar, L-Blok adı verilen kurşun zırhının arkasında tutulmalıdır. Hastaların dozajları Şekil 2.13’teki gibi kurşun zırhlamalı şırınga taşıyıcılar ile taşınır ve radyoaktif atıklar Şekil 2.14’de gösterilen kurşun kaplı sepetlerde toplanır.



Şekil 2.12. Beta ve gama radyasyonu için masaüstü L-Blok kurşun zırhı (Saha, 2019).

β -partikülleri kurşun gibi yüksek atom numaralı malzemelerde bremsstrahlung (frenleme) radyasyonları ürettiğinden, β -partikülleri yayan radyonüklidler normalde plastik gibi düşük Z’li malzemelerden oluşan kaplarda depolanır. Beton, siklotronlar ve nükleer reaktörler gibi radyoaktif çekirdekler tarafından üretilen nötronları ve γ

radasyonlarını zırlamak için yaygın olarak kullanılan düşük maliyetli bir diğcr zırlh malzemesidir.



Şekil 2.13. Zırlhmalalı şırınga taşıyıcı (Saha, 2019)



Şekil 2.14.Kurşun kaplı atık kutusu (Saha, 2019).

2.6. Radyasyon Zırhlama Malzemeleri

Çoğu materyaller, radyasyonu azaltmak için yeterli bir kalınlığa sahip olursa radyasyon zırhlamada kullanılabilir. Zırhlama için en sık kullanılan iki malzeme kurşun ve betondur, fakat belirli koşullar altında diğer zırh malzemeleri daha avantajlı olabilir. Zırhlama malzemesi seçiminde aşağıdaki faktörler göz önünde bulundurulmalıdır.

- Gerekli kalınlık ve malzeme ağırlığı
- Hem zırhlama hem de yapısal amaçlara hizmet eden malzemelerin kullanımı
- Zırh malzemesinin homojen olması
- Zırh malzemesinin kullanım ömrü
- Gerekli durumlarda optik geçirgenliği
- Kalite kontrol gereksinimleri
- Kurulum ve bakım dahil malzeme maliyeti
- Görüntüsü

Kurşun ve betonun zırh malzemesi olarak tercih edilmesinin en büyük nedeni düşük maliyetli olmalarıdır (Kelley, 1976). Örneğin, 100 kV'luk bir X-ışını tesisatı için bir beton zırh malzemesi olarak tercih edilebilir. Eğer bu X-ışını tesisatı için kurşun tercih edilseydi betondan yaklaşık 80 kat daha ince ve yaklaşık 17 kat daha ağır olması gerekirdi. Öte yandan, 1 MV röntgen kurulumu için, beton kalınlığı, eşdeğer bir kurşun zırh malzemesinden yaklaşık altı kat daha büyük, yaklaşık %25 daha hafif ve önemli ölçüde daha az maliyetli olacaktır. Bu sebeple alanın önemli olduğu durumlarda, yüksek enerjili radyasyon için bir bariyerde betonun yerine kurşun veya çelik kullanmak daha avantajlıdır. Uzun yıllardır, 300 kV veya altında çalışan makinelerden gelen X-ışınlarına karşı zırhlama için kurşunun betondan daha ekonomik olduğu görülmüştür. Ancak değişen ekonomik şartlar ve yerel fiyat değişimleri, belirli durumlar için bu kuralı geçersiz kılabilir. Ekonomik tercihin açık olmadığı durumlarda dikkatli ekonomik karşılaştırmalar yapılmalıdır.

2.6.1. Kurşun

Yüksek enerjili radyasyona karşı korunmak için en çok tercih edilen zırh malzemesidir. Kurşun, birçok şekilde üretilebilir.

2.6.1.1. Levha Kurşun

Levha kurşun, ticari olarak bir milimetreden daha az ve yaklaşık bir santimetre aralığındaki kalınlıklardadır. Esnekliği sayesinde kavisli veya düzensiz yüzeylerde kullanılabilir. Levha kurşunlar çivilenebilir, ancak çiviler arasındaki boşluk çok büyükse ortaya çıkabilecek sarkmayı önlemek için özen gösterilmelidir. Çünkü çivi delikleri önemli ölçüde radyasyon sızıntılarına neden olabilir. Böyle durumlarda delikler ek kurşun ile kapatılmalıdır. İki kurşun levhanın kenarlarının birleştiği yerde, kurşun levhaların yeterli bir şekilde üst üste binmesi veya birleşim yerlerinin üstüne de kurşun levhalar konulmalıdır.

2.6.1.2. Kurşun Kaplı Duvar Panosu

Kontra plak, preslenmiş ahşap veya diğer bitkisel lifli levhalar, bir tarafa sıkıca çimento yardımıyla yapıştırılmış veya malzemenin levhaları arasına lamine edilmiş levha kurşunu ile ticari olarak temin edilebilir. Çeşitli yüzeyleri vardır ve levhalar, derzleri kaplayan aynı malzemeden kurşun kaplı şeritlerle kolayca monte edilir. Bu tür duvar panoları, geçici röntgen kurulumları için belirgin bir avantaj sağlar, yani bunlar çıkartılabilir ve yeniden takılabilir.

2.6.1.3. Kurşun Kaplı Bloklar

Kurşun kaplı bloklar, aralarına sac kurşun sıkıştırılmış iki cüruf veya beton yarım bloktan oluşabilir. Ticari olarak standart bloklarla aynı boyuttadır. Kurşun kaplı blokların kullanımında, kurşun levhaların birleşme yerlerinde yeterli örtüşme olacaktır. Beton veya cüruf blok bileşeni tarafından sağlanan zırhlama, kurşununkileri tamamlar ve zırhlama tasarımında dikkate alınabilir. Kurşun, laboratuvar ortamında veya radyasyonla çalışılan yerlerde zırhlama malzemesi olarak dikdörtgen kurşun

tuğlalar şeklinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Kurşun tuğlalardan oluşan yapılar ve radyoaktif numunelerin depolanması ve taşınması için kalın kaplar gibi laboratuvar ekipmanı için çeşitli kurşun koruma cihazları mevcuttur. Kişisel korumada kurşun önlükler, tiroid kalkanları ve kurşun eldivenlerde kullanılır. Ticari olarak temin edilebilen diğer bazı koruyucu malzemeler için, daha kolay kalıplanabilen ve şekillendirilebilen plastik veya epoksi bileşimlere yüksek oranda kurşun dahil edilebilir. Kurşunun gama ve X- ışını radyasyonu için yüksek azaltma katsayısına ek olarak, nükleer uygulamalar için önemli avantajları, imalat kolaylığı, yüksek korozyon direnci, iyi termal iletkenlik gibi özellikleri de vardır. Ancak kurşun her ne kadar yüksek yoğunluğa ve avantajlara sahip olsa da toksik etkileri ve ağırlığı nedeniyle, tıbbi ve endüstriyel radyasyon alanlarında kurşun tabanlı malzemelerin kullanımını azaltmak planlanmaktadır. Ayrıca, Tehlikeli Maddelerin Kısıtlanması (RoHS) Direktifine göre, elektronik bileşenler, katot ışın tüpleri, kurşun-asit piller, elektrik ve elektronik sektöründe lehim olarak kullanılan kurşun 10 kısıtlı malzeme listesinde yer almaktadır. RoHS Direktifi tarafından malzemedeki maksimum Pb seviyesinin <1000 ppm olması gerektiği duyurulmuştur (Akman, 2019).

2.6.2. Beton

Beton, çakıl kum gibi agrega maddelerinin çimento, alçı veya kireç gibi bağlayıcı malzemeler ve su ile birleştirilmesi sonucu üretilen ve çevreden gelen kimyasal etkilere maruz kaldığında aşınma ve oksitlenme özelliğine sahip olan bir yapı malzemesidir. Yüksek enerjili radyasyondan korunmak için beton kullanılabilir fakat korozyon direnci zayıf olması sebebiyle zırhlamada kullanılması dezavantaj oluşturmaktadır. Ayrıca alanın önemli olduğu durumlarda, yüksek enerjili radyasyon için betonun yerine kurşun veya çelik kullanmak daha avantajlıdır (Kelley, 1976).

2.6.2.1. Yaygın Dökme Beton

Betonun başlıca avantajı, özellikle modern binaların zemin ve tavanlarında yaygın olarak kullanılan standart bir yapı malzemesi olmasıdır. Bir beton bariyerin radyasyon azaltması, kalınlığına, yoğunluğuna ve bileşimine bağlıdır. Bir beton bariyeri, zırhlama

amacıyla kullanılabilmesi için yoğunluğunun en az 2,35 g/cm³ olması gerekir. Diğer beton yoğunluklarında, alan yoğunluğunun aynı kalması için kalınlıklarda düzeltme yapılmalıdır. Beton yoğunluğundaki farklılıklar, bileşenlerin konsantrasyonlarındaki farklılıklardan, betonun dökümünde kullanılan sıkıştırma, köpükleme tekniklerinden veya karışımda kullanılan farklı oranlardan kaynaklanmaktadır.

2.6.2.2. Ağır Beton

Alanın sınırlı olduğu durumlarda, avantaj sağlamak için yüksek yoğunluklu beton kullanılabilir. Ağır beton, barit, manyetit, ilmenit, çelik, ferrofosfor veya kurşun gibi yükleme malzemelerinin karışım içerisine katılmasıyla üretilir. Yaygın dökme betonun zırhlama özelliği, bu tür malzemelerin eklenmesiyle büyük ölçüde artırılabilir. Fakat ağır beton kullanmanın maliyeti, yaygın betondan oldukça yüksektir. Diğer dezavantajı ise ağır betonun dökümü esnasında yükleme malzemesinin homojen dağılımını sağlamak için daha dikkatli karıştırmak gerekmektedir. Dökme bariyerin her bir parçasının eşit yoğunluğa sahip olduğundan emin olmak için kalite kontrol gereklidir. Ayrıca, daha fazla ağırlığı tutabilmek için ekstra ağır ekipman ve formlar gereklidir.

2.6.2.3. Katı Bloklar

Hem yaygın dökme betonlar hem de ağır betonlar için katı bloklar standart ölçülerde mevcuttur. Katı bloklar döşenmeden önce yoğunluk kolayca kontrol edilebildiği için kalite kontrolü basitleştirilmiştir. Blok yapıların koruyucu bariyerlerinde bloğun yoğunluğundan az olmayacak şekilde ve boşluksuz harç kullanılmalıdır. Çok tabakalı yapılar için, bağlantılar aşamalı olmalıdır.

2.6.3. Diğer Duvar Malzemesi

Mineral esaslı yapı malzemelerinin (katı cüruf blokları, tuğlalar, alçı, granit, mermer) çoğu betona benzer bir bileşime sahiptir ancak yoğunlukları farklılık gösterebilir. Bu nedenle, birim alan başına aynı gerekli ağırlığı elde etmek için beton kalınlık değerleri yoğunluk farkına göre ayarlanmalıdır. Boşlukların önemli olmadığı yerlerde, zırhlama

için cüruf, alçı veya benzeri malzemelerin içi boş blokları da kullanılabilir. Bloğun beton denkliği, bloğun en ince katı parçasının yoğunluğunun ve kalınlığının temelinde tahmin edilebilir. Gerçek eşdeğerlik, özel geometriye bağlı olarak biraz daha büyük olacaktır. Baryum içeren sıva, normal sıvadan daha yüksek radyasyon azaltması sağlar ve düşük voltajlı X-ışını tesisatlarında kullanılabilir. Dezavantajları, homojen yoğunluğu sağlamak için büyük özen gösterilmesi, yaygın sıvaya göre zamanla çatlakların oluşması ve kurulum maliyetinin daha yüksek olmasıdır (Kelley, 1976).

2.6.4. Çelik ve Diğer Malzemeler

Zırhlama için çeliğin kullanılması, alanın sınırlı olduğu veya yapısal mukavemetin büyük önem taşıdığı durumlarda genellikle avantajlıdır. Kalın çelik levhalar bazen yüksek voltaj tesislerinde kullanılır. Geleneksel çelik bölmeler ve kapılar, bazı durumlarda, zırhlama gereksinimlerinin minimum olduğu düşük voltajlı kurulumlar için ikincil koruyucu bariyerler olarak hizmet edebilir.

Toprak veya kum katkıları bazen zırhlama amacıyla kullanılabilir. Bununla birlikte zırhlama malzemenin yerinde kalmasını sağlamak için hazırlıklar yapılmalıdır. Büyük kalınlıklar gerekmesinden dolayı genellikle ahşap ürünlerin zırhlama amacıyla kullanılması pratik değildir (Kelley, 1976).

2.6.5. Şeffaf Malzemeler

2.6.5.1. Cam Plaka

Zırhlama için sıradan plaka camın kullanılması, genellikle yalnızca koruma gereksinimlerinin minimum olduğu durumlarda avantajlıdır (yoğunluk 2,5-2,7 g/cm³ ve kırılma indisi 1,5-1,6 aralığında). Bileşimi betonunkiyle karşılaştırılabilir olduğu için zırhlama gereksinimlerinin belirlenmesi için yoğunluk düzeltmesi ile beton için belirlenen kalınlıklar kullanılabilir. Yüksek voltajlı kurulumlarda birden fazla kalınlıkta cam levha kullanılabilir. Böyle durumlarda, ara yüzeylerden yansımayı azaltmak ve ışık iletimini arttırmak için cam plakalar arasındaki boşluğa gliserin veya mineral yağ gibi uygun bir kırılma indeksine sahip optik olarak berrak bir sıvı kullanılmalıdır. Işık yansımasındaki kayıplar, bu tür optik akışkanların kullanılması-

la azaltılabilir.

2.6.5.2. Kurşun Cam

Yüksek kurşun içeriğine sahip cam, zırhlama amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Yaklaşık 3,3 ila 6,2 g/cm³ arasında değişen yoğunluklarda ve çeşitli kalınlıklarda bulunabilir. Derin sarı rengi ve nispeten düşük ışık geçirgenliği nedeniyle, daha yüksek yoğunluklu cam (n= 1,97), birkaç yapraktan daha fazlasının gerekli olduğu durumlarda gözlem pencereleri için yaygın olarak kullanılmaz. Kararmayan kurşun cam (yoğunluk 3,3 g/cm³ ve n= 1,59) açık sarı bir renge sahiptir ve örneğin, 14 inç kalınlığında bir levha ve 100 kV X-ışınları için yaklaşık 2 mm'lik bir kurşuna eşdeğerdir. Yüksek yoğunluklu kurşun cam, radyasyona maruz kaldığında karardığından dolayı, bazen bu etkiyi azaltmak için açıkta kalan tarafı kahverengileşmeyen kurşun cam tabakasıyla kaplanır.

2.6.5.3. Sıvılar

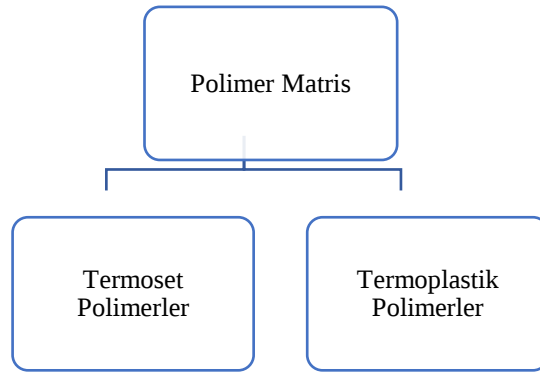
Kalın kurşun cam, su ve optik dereceli çinko bromür çözeltisi gibi diğer çözeltiler bulunmadan önce, gözlem pencerelerinde yaygın olarak bir cam ve çelik kap kullanılıyordu. Ancak bu pencereler, herhangi bir sıvı kaybı için periyodik kontroller gerektirir. Ayrıca, sıvılar uzun süre bekleyince bulanıklaşır ve değiştirilmesi gerekir (Kelley, 1976).

2.6.6. Polimer Kompozit Malzemeler

Polimerler, monomer adı verilen küçük moleküllerin birbirine bağlanması sonucu oluşan moleküllerdir. Bu malzemeler genellikle zincir benzeri yapı oluştururlar. Polimerler düşük atom numarasına ve düşük yoğunluğa sahip oldukları için hafif malzemelerdir. Ayrıca polimerik malzemelerin maliyetinin uygun olması, geniş sıcaklık aralığında stabil kalmaları ve dayanıklı olmaları, yüksek özdirenç ve yüksek dielektrik özelliklere sahip olmaları gibi avantajları vardır. Bu özellikleri sayesinde polimerler, radyasyon zırhlamada kullanılan en iyi malzemelerden biri olmuştur (Özkalaycı, ve ark., 2022).

Polimerlere farklı katkı malzemeleri eklenerek polimer kompozit malzemeler üretilir. Polimer kompozit malzemeler saf metalik zırh malzemelerin aksine daha hafif, daha dayanıklı ve uygun maliyetlidir. Ayrıca polimere eklenen katkı malzemesinin seçimi sayesinde istenilen özelliklere sahip alternatif zırh malzemeleri üretilebilir.

Polimer kompozit malzemeleri üretmek için çeşitli polimer matrisler bulunmaktadır. Bu polimer matrisler, Şekil 2.15'te görüldüğü gibi termoset ve termoplastik polimerler olmak üzere iki gruba ayrılır. Termoplastik polimerler, oda sıcaklığında katı halde bulunurlar ve ısı ile yeniden şekillendirilebilirler. Termoplastik polimerlerin mukavemetleri düşüktür. Sınırlı mekanik özelliklerine sahip olmaları, termosetlere kıyasla yüksek hammadde maliyetinin bulunması ve oda sıcaklığında düşük şekillendirme özelliğine sahip olmalarından dolayı polimer kompozit malzeme üretiminde çok fazla kullanılmazlar. Termoset polimerler ise oda sıcaklığında sıvı halde bulunurlar. Oda sıcaklığında sıvı reçine formunda bulunduğundan termoset malzemelerin işlenmesi kolaydır. Termoset polimerler kürleştikten sonra üç boyutlu çapraz bağlı zincirler oluştururlar. Bu çapraz bağlanmanın etkisinden dolayı yüksek mukavemete sahiptirler. Termosetlerde bağlayıcı matris olarak kullanılan malzemelere polyeester, vinilester, epoksi örnek olarak verilebilir (Rangappa, ve ark., 2020).



Şekil 2.15. Polimer matris türleri

Gama fotonlarını zırhlamada kullanılan malzemelerin yüksek atom numarasına ve yüksek yoğunluğa sahip olmaları gerekmektedir. Çünkü malzemenin yoğunluğu ne kadar yüksek olursa gama ışınları ile zırh malzemesi arasındaki etkileşim olasılığı okadar yüksek olacaktır (Chang ve ark., 2015; More ve ark., 2022). Bu sebepten dolayı

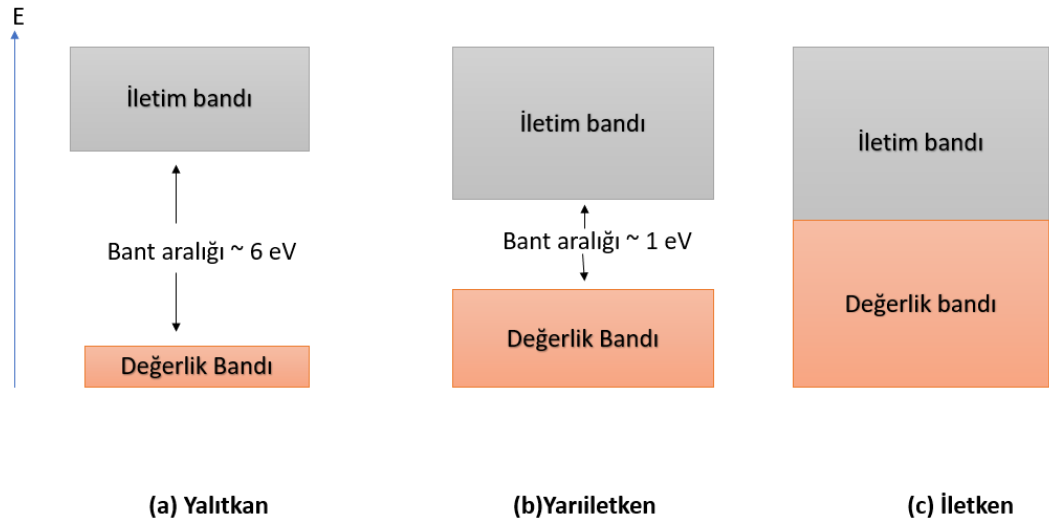
polimer kompozitler, yüksek atom numaralı katkı malzemeleri ile karıştırılarak gama ışınlarını zırhlamada üstün özelliklere sahip zırh malzemeleri üretilebilir (Özkalaycı ve ark., 2022)

2.7. Yarıiletken Dedektörler

2.7.1. Yarıiletkenlerin Yapısı

Yarıiletkenler, atomların kovalent bağlarla bir arada tutulmasıyla oluşan kristal katılardır. Elektriksel iletkenlik özellikleri sebebiyle iletkenler ile yalıtkanlar arasında yer aldıkları için yarıiletken olarak adlandırılırlar. Germanyum (Ge) ve silikon (Si) yaygın olarak bilinen yarıiletken malzemelerdir.

Kuantum fiziğinden bilindiği üzere bir atomdaki elektronlar sadece ayrık enerji seviyelerinde bulunabilir. Yarıiletken atomlar arasındaki kovalent bağ, izin verilen ayrık enerji seviyelerini oluşturur. Bununla birlikte bu enerji seviyeleri değerlik bandı (valans bandı) ve iletim bandı olmak üzere iki tiptedir. İletim bandı, yüksek enerji seviyelerini temsil etmektedir. Değerlik bandı ise iletim bandına kıyasla daha düşük enerji seviyesini temsil eder. Bu iki bant yasak enerji aralığı adı verilen ve enerji seviyesi diyagramında hiçbir enerji içermeyen bir bölge ile ayrılmaktadır. İdeal yarıiletkenlerde elektronlar yasak enerji aralığında bulunmaz. Değerlik bandındaki elektronlar atomlara sıkı bağlıdır ve iletim bandına geçebilmek için en az bant aralığına eşit bir enerjiye ihtiyaç duyarlar. İletim bandındaki elektronlar ise çok gevşek bağlıdır ve hareket etmekte serbesttirler. Bu elektronlar elektriksel iletim sürecinde yer alır. Yalıtkan, iletken ve yarıiletkenler arasındaki ayırt edici özellik, bant aralığıdır. Şekil 2.16'da yalıtkan, iletken ve yarıiletken enerji seviyesi diyagramları görülmektedir. Şekil 2.16'dan görüldüğü üzere yalıtkanlar için bant aralığı çok fazla iken, iletkenler için bant aralığı yoktur. Yarıiletkenler ise küçük bir bant aralığına sahiptir. Yarıiletkenler için küçük bir termal uyarım ile değerlik bandındaki elektronlar iletim bandına kolaylıkla geçebilir.



Şekil 2.16. Yalıtkanlar, yarıiletkenler ve iletkenler için basitleştirilmiş enerji bant yapı diyagramları

Değerlik bandından iletkenlik bandına sıçrayan bir elektron geride net bir pozitif yük bırakır. Boşluk veya hole adı verilen bu etkin pozitif yük, gerçek bir parçacık gibi davranır ve elektriksel iletim sürecinde yer alır. Boşluk hareketinden kastedilen bir elektronun hareketi ile net bir pozitif yükün bir bölgeden diğerine kaymasıdır.

2.7.2. İntristik, Yarıiletkenler

Şekil 2.16.(b)'de gösterilen enerji bant yapısı, ideal bir yarıiletkeni temsil eder. Safsızlıkların olmadığı veya iletim özelliklerini önemli ölçüde etkilemediği bir kristalin ideal veya intristik olduğu söylenir. Böyle bir malzemedeki elektronlar ve boşluklar birbiriyle denge halindedir. Bu denge durumu iletimin değerlik bantlarının yoğunluğuna ve sıcaklığına bağlı olmasından kaynaklanmaktadır. İletim bandı yoğunluğunun (N_c) ve değerlik bandı yoğunluğunun (N_v) mutlak sıcaklıkla değişimi denklem 2.33, denklem 2.34 ile ifade edilebilir;

$$N_c \propto T^{\frac{3}{2}} \quad (2.33)$$

$$N_v \propto T^{\frac{3}{2}} \quad (2.34)$$

İntristik yük konsantrasyonu çok daha güçlü bir sıcaklık bağımlılığına sahiptir. Bu durum yarıiletken dedektörler için önemli bir çalışma problemi olmaktadır. İntristik yük konsantrasyonu denklem 2.35 ile ifade edilebilir;

$$n_i = [n_c n_v]^{1/2} \exp \left[-\frac{E_g}{2k_B T} \right] \quad (2.35)$$

burada n_c , n_v , k_B ve E_g sırasıyla iletim bandındaki yük konsantrasyonunu, değerlik bandındaki yük konsantrasyonunu, Boltzmann sabitini ve yasak enerji aralığını temsil eder. Bu ifade, yalnızca iletim ve değerlik bandlarının yoğunluğu ile ifade edilen intristik yük konsantrasyonunun asimptotik olarak bir doyma değerine ulaştığını ifade eder.

Yukarıda belirtildiği gibi intristik bir malzeme ideal bir yarıiletken olarak ifade edilebilir ve doğada böyle bir yarıiletken bulunamaz. Çünkü gerçekte, kristal kusurları ve safsızlıklar nedeniyle yasak enerji aralığı içinde malzemenin elektriksel iletim özelliklerini önemli ölçüde değiştiren başka enerji durumları da bulunmaktadır. Bu kristal kusurları, geçişler için gerekli olan enerji eşiğini düşürür ve sonuç olarak boşluk ve elektron yoğunlukları, eşit sayıda serbest elektron ve boşluk çiftine sahip bir ideal yarıiletkenden farklı olur. Bu nedenle, doğal olarak bulunan bir yarıiletken, intristik özelliklere sahip değildir. Ancak safsızlık ekleme işlemi yoluyla üretilen bir yarıiletken, daha sonra intristik bir türe dönüştürülebilir.

Bir yarıiletkene safsızlık eklendiğinde, elektriksel iletim özellikleri değişir. Malzeme daha sonra ekstristik bir yarıiletken olarak adlandırılır. Safsızlık ekleme veya katkılama işlemi, yarıiletkenlerin performansını önemli ölçüde arttırdığı için oldukça yararlı bir işlemdir.

2.7.3. Radyasyon Tespiti İçin Uygun Malzemeler

Radyasyon dedektörlerinde tüm yarıiletkenler kullanılmaz. Dedektörlerde kullanılacak olan yarıiletken seçimi, öz direnç, yüklerin hareketliliği, sürüklenme hızı,

saflık, çalışma sıcaklığı ve maliyet gibi birçok faktöre bağlıdır. Silikon, parçacık dedektörlerinde geleneksel olarak yaygın olarak kullanılan malzemedir. Yaygın olarak kullanılan diğer malzemeler, germanyum (Ge), galyum arsenit (GaAs) ve kadmiyum-çinko-tellürdür (CdZnTe). Yaygın olarak kullanılan yarıiletken cihazların temel özelliklerinin genel karşılaştırılması Tablo 2.2’de verilmektedir. Tabloda belirtilen yarıiletken cihazların dışında yenileri de sürekli olarak tasarlanıp geliştirilmektedir. Yarıiletken malzemelerin en önemli özelliklerinden birisi intristik taşıyıcı konsantrasyonlarıdır. İntristik taşıyıcı konsantrasyonu, oda sıcaklığında sinyal-gürültü oranını tahmin etmek için kullanılmaktadır. Bu değer ne kadar düşük ise yarıiletken dedektör oda sıcaklığında çalışmaya o kadar uygun olur. Bu durum işletme ve maliyet açısından büyük avantaj sunmaktadır. Tablo 2.2’den GaAs ve CdZnTe’nin Si ve Ge’den birkaç kat daha düşük intristik taşıyıcı konsantrasyona sahip olduğu açıkça görülmektedir. Bu özelliğinden dolayı son yıllarda GaAs ve CdZnTe tabanlı dedektörler popülerlik kazanmıştır.

Tablo 2.2. Radyasyon dedektörlerinde yaygın olarak kullanılan yarıiletken malzemelerin oda sıcaklığında bazı temel özelliklerinin karşılaştırılması (Ahmed, 2007)

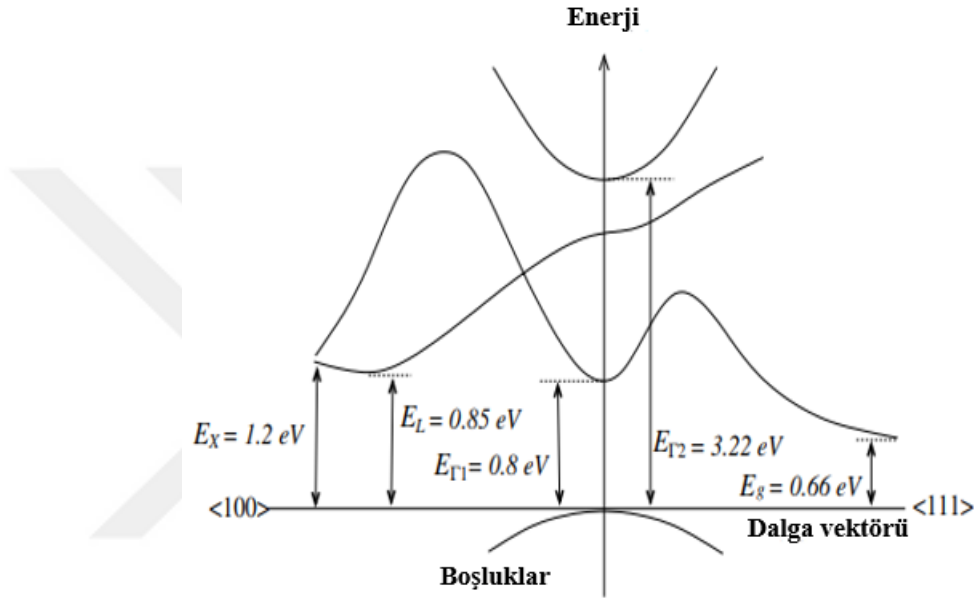
Özellik	Si	Ge	GaAs	CdZnTe
Yoğunluk (g/cm ³)	2,329	5,323	5,32	5,78
Dielektrik sabiti	11,7	16	12,8	10,9
Enerji aralığı (eV)	1,12	0,661	1,424	1,56
İntristik taşıyıcı konsantrasyon (cm ⁻³)	1×10 ¹⁰	2×10 ¹³	2,1×10 ⁶	2×10 ⁵
W-değeri (eV)	3,62	2,95	4,2	4,64
Özdirenç (Ω cm)	3,2×10 ⁵	46	3,3×10 ⁸	3×10 ¹⁰

2.7.3.1. Germanyum (Ge)

Gama ışını spektroskopisinde germanyum dedektörlerinin kullanımı oldukça yaygındır. Germanyum dedektörlerinin yüksek çözünürlüğe ve geniş dinamik aralıklara sahip olması, onları spektroskopide kullanıma uygun hale getirmektedir. Ancak parçacık izleme gibi diğer uygulamalarda silikon bazlı dedektörler tercih edilmektedir.

Germanyumun kristal yapısı silikon ile aynıdır fakat atomik yoğunluğu silikondan biraz daha düşüktür. Germanyumun en ayırt edici özelliği, 0,661 eV olan düşük bant

aralığı enerjisidir. Bu değer silikonun düşük bant aralığı enerjisinin yaklaşık yarısı kadardır (Si için E_g değeri 1,12 eV 'dur). Germanyumun enerji bant yapısı Şekil 2.17'de gösterilmektedir. Şekil 2.17'de E'nin alt simgeleri farklı enerji düzeylerini temsil etmektedir. Parantez içinde verilen ($\langle 100 \rangle, \langle 101 \rangle$) sayıları ise Miller indeksleridir. Miller indeksi, bir kristal örgü içindeki atomik düzlemin yönelimini temsil etmektedir.

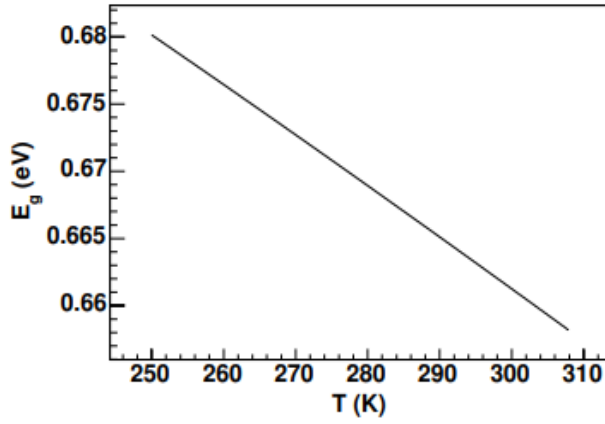


Şekil 2.17. Germanyumun enerjiye karşı dalga sayısını gösteren bant yapısı diyagramı (Ahmed, 2007)

Düşük bant aralığı enerjisi sebebiyle, germanyumun intristik yük taşıyıcı konsantrasyonu silikondan yaklaşık üç kat daha yüksektir. Radyasyon tespiti söz konusu olduğunda bu istenilen bir durum değildir. Çünkü bu durumda daha fazla intristik gürültü ve daha fazla soğutmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Germanyumun öz direnci silikonunkinden yaklaşık dört kat daha düşüktür. Germanyumun enerji aralığının sıcaklığa bağımlılığı ise denklem 2.36 ile ifade edilmektedir.

$$E_g = 0,742 - 4,8 \times 10^{-4} \frac{T^2}{T + 235} \quad (2.36)$$

Burada T mutlak sıcaklıktır ve E_g değeri eV cinsindendir. Şekil 2.18'de germanyum için bant aralığının sıcaklık düştükçe arttığı görülmektedir.



Şekil 2.18. Germanyum bant aralığı enerjisinin mutlak sıcaklıkla değişimi (Ahmed, 2007)

Germanyum için iletim bandı yoğunluğu (N_c) ve değerlik bandı yoğunluğu (N_v) değerlerinin sıcaklığa bağlılığı denklem 2.37, denklem 2.38 ile ifade edilir.

$$N_c = 1,98 \times 10^{15} T^{3/2} \quad (2.37)$$

$$N_v = 9,6 \times 10^{14} T^{3/2} \quad (2.38)$$

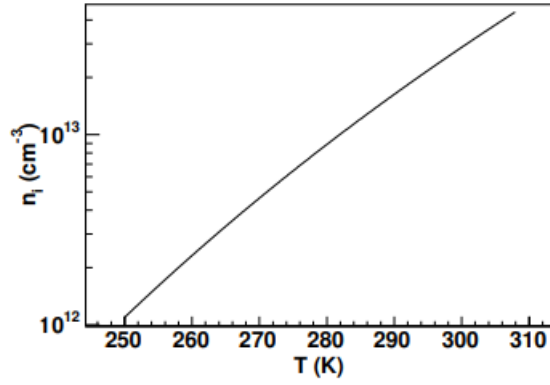
Burada T mutlak sıcaklıktır. İntristik taşıyıcı konsantrasyonu ise denklem 2.39 ile ifade edilir.

$$n_i = \sqrt{N_c N_v} e^{-E_g/2k_B T} \quad (2.39)$$

Denklem 2.37 ve 2.38’de verilen değerler denklem 2.39’da yerine yazılırsa intristik taşıyıcı konsantrasyonu denklem 2.40 ile ifade edilir.

$$n_i = 1,38 \times 10^{15} T^{3/2} e^{-E_g/2k_B T} \quad (2.40)$$

Bu sonuç, germanyumun daha düşük bant aralığına sahip olduğunu ifade etmektedir. Germanyum, silikonla kıyaslandığında germanyumun değerlik bandındaki daha fazla elektron termal etki yoluyla iletim bandına geçebilir. Germanyumun intristik yük konsantrasyonunun mutlak sıcaklığa bağlı değişimi Şekil 2.19’da verilmiştir.



Şekil 2.19. Germanyumun intristik yük konsantrasyonunun mutlak sıcaklığa bağlı değişimi (Ahmed,2007)

Germanyum, düşük bant aralığı enerjisine sahip olduğundan düşük özdirence sahiptir. Dedektörün aktif alanında kullanılabilmesi için saf olarak elde edilen germanyumun katkılanması gerekmektedir. Bu amaçla kullanılan katkı malzemelerinden en uygun olanları Tablo 2.3’de verilmiştir.

Tablo 2.3. Katkılama için kullanılan donör ve alıcı elementler ve bunların iyonlaşma enerjileri (Ahmed, 2007)

Katkı Malzemesi	Sembol	Tip	İyonlaşma Enerjisi (eV)
Arsenik	As	Donör	0,014
Fosfor	P	Donör	0,013
Antimon	Sb	Donör	0,010
Bizmut	Bi	Donör	0,013
Lityum	Li	Donör	0,093
Alüminyum	Al	Akseptör	0,011
Bor	B	Akseptör	0,011
Galyum	Ga	Akseptör	0,011
İndiyum	In	Akseptör	0,012
Talyum	Tl	Akseptör	0,013

Germanyumun bazı önemli elektriksel özellikleri ise Tablo 2.4’de verilmektedir. Bu değerler silikonun değerleri ile karşılaştırıldığında germanyum bazlı dedektörde genel yük toplama verimliliğinin silikondan daha yüksek olduğu görülmektedir. Yük toplama verimliliğini belirleyen diğer önemli faktörler ise intristik yük taşıyıcı yoğunluğu, kristal kusurları, safsızlıklar, kullanılabilirlik ve maliyettir.

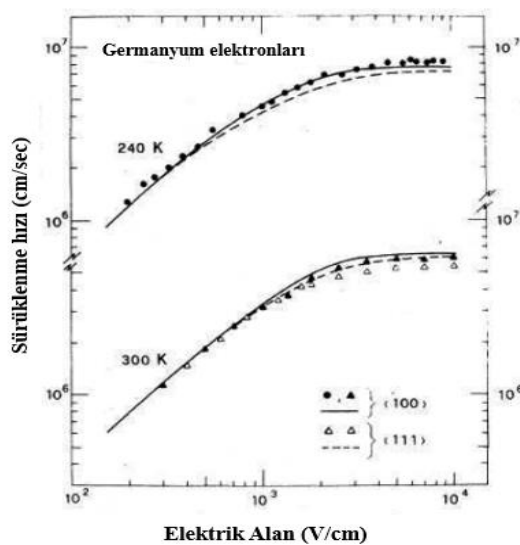
Tablo 2.4. Germanyumdaki elektron ve boşlukların bazı elektriksel özellikleri ve değerleri (Ahmed, 2007)

Özellik	Sembol	Değer
Elektron Mobilitesi	μ_e	$\leq 3900 \text{ cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$
Boşluk Mobilitesi	μ_b	$\leq 1900 \text{ cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$
Elektron Termal Hızı	v_e	$3,1 \times 10^5 \text{ m s}^{-1}$
Boşluk Termal Hızı	N_b	$1,9 \times 10^5 \text{ m s}^{-1}$
Elektron Difüzyon Katsayısı	D_e	$\leq 100 \text{ cm}^2 \text{s}^{-1}$
Boşluk Difüzyon Katsayısı	D_b	$\leq 50 \text{ cm}^2 \text{s}^{-1}$

Germanyumun elektriksel özelliklerinin sıcaklık ve elektriksel alana bağımlılığını inceleyebilmek için Şekil 2.20’de iki farklı sıcaklıkta sürüklenme hızının elektrik alan yoğunluğuna bağımlılığı gösterilmiştir. Şekil 2.20’de kesikli olmayan ve kesikli çizgiler teorik tahminleri ve noktalar ise deneysel verileri temsil etmektedir. Şekil 2.20’den sürüklenme hızının, orta düzeydeki elektrik alanlarda elektrik alan şiddetiyle orantılı olduğu ve yaklaşık 1000 V/cm değerinden sonra orantılılığın yavaşça bozulduğu görülmektedir. Bu ilişki denklem 2.41 ile ifade edilmektedir.

$$v_d = \mu_e E \quad (2.41)$$

Burada v_d , E ve μ_e sırasıyla elektronların sürüklenme hızını, uygulanan elektrik alanı ve germanyumdaki elektronların mobilitelerini ifade etmektedir.



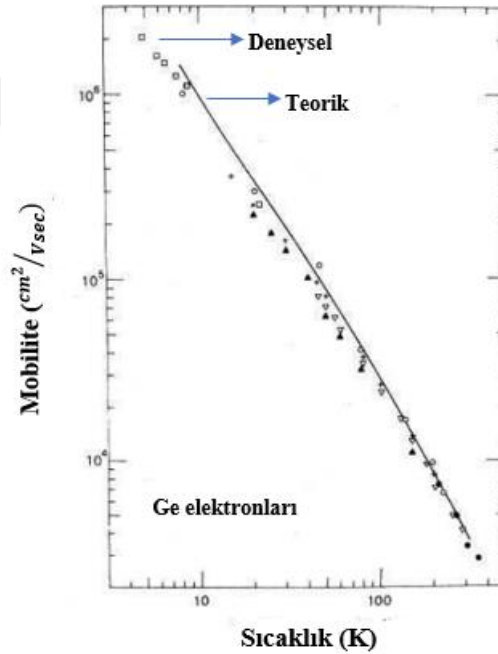
Şekil 2.20. İki farklı sıcaklıkta germanyumun elektron sürüklenme hızının elektrik alana bağlı gösterimi (Ahmed, 2007)

Germanyumdaki elektronların mobilitesi ile sıcaklık arasındaki ilişki denklem 2.42 ile ifade edilmektedir.

$$\mu_e \propto T^{-1,66} \quad (2.42)$$

Şekil 2.21, germanyumdaki elektronların mutlak sıcaklığının bir fonksiyonu olarak mobilitelerini göstermektedir. Çıkış sinyali sadece elektronlara değil, aynı zamanda boşlukların nasıl davrandığına da bağlıdır. Çünkü boşlukların hareketi elektronların mobiliteleri ile ilişkilidir ve sürüklenme hızı da uygulanan elektrik alan ile orantılıdır. Elektronların mobilitesi sıcaklık artışıyla azalmasına rağmen, elektron hareketliliğinde olduğu gibi logaritmik ölçekte doğrusal değildir. Germanyumdaki boşluk hareketliliğinin sıcaklığa bağlılığı denklem 2.43 ile ifade edilmektedir.

$$\mu_h \propto T^{-2,33} \quad (2.43)$$

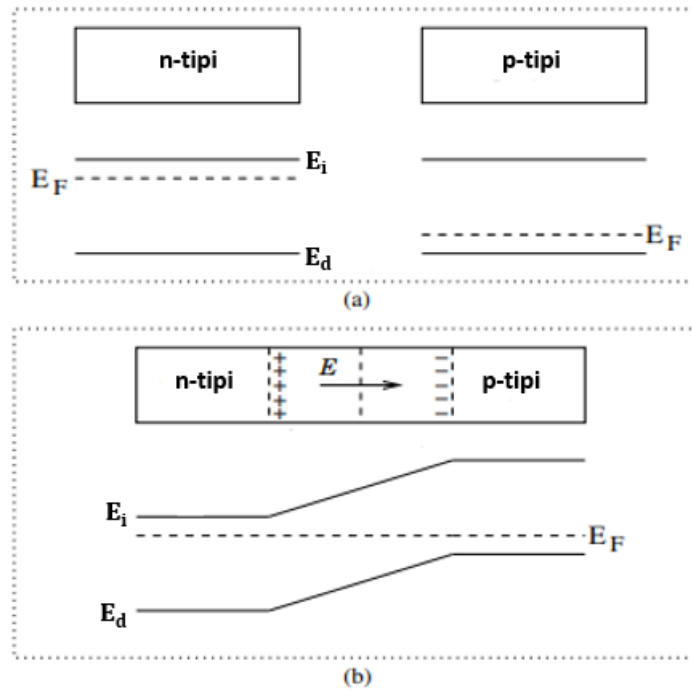


Şekil 2.21. Germanyumdaki elektron mobilitelerinin mutlak sıcaklığa bağlılığı (Ahmed, 2007)

2.7.4.pn- EKLEMİ

n tipi ve p tipi yarıiletkenler, p-n eklemi oluşturmak için birleştirilebilir. p-n eklemi gösterimi Şekil 2.22’de verilmiştir. Bu eklemler, yarıiletken elektronikler oluşmak için

kullanıldığı gibi aynı zamanda radyasyon dedektörü teknolojisi için de kullanılmaktadır. p ve n tipi yarıiletkenler bir araya getirildiğinde, eklem boyunca yük konsantrasyonlarındaki dengesizliği telafi etmek için bir yük akışı başlar. Bu yükler zıt yönlerde akar ve ölçülebilen bir elektrik akımı oluştururlar. n-tipi yarıiletkenlerde çoğunluk yük taşıyıcısı olan elektronlar, p tipi malzemeye doğru akar. Benzer şekilde boşluklar da n-tipi malzemeye doğru hareket eder. Bu işlem, Şekil 2.22 (b)'de görüldüğü gibi, iki malzemenin Fermi enerji seviyeleri birbiriyle eşleşene kadar devam eder. Elektronlar ve boşluklar zıt yönlerde hareket ederek birbirini nötralize ederken, elektrik yükü olmayan bir bölge oluştururlar. Bu bölge, deplasyon bölgesi olarak ifade edilmektedir. Bu bölge, gelen radyasyonun elektron-boşluk çifti oluşturduğu bölge olduğu için yarıiletken radyasyon dedektörlerinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu bölgede yükler zıt yönde akar ve ölçülebilen bir elektrik akımı oluşturur. Ancak, bu p-n eklemdeki deplasyon bölgesi çok ince olduğu için ve potansiyel fark çok küçük olduğu için radyasyon tespitinde etkili bir şekilde kullanılamaz. Eğer bu deplasyon bölgesi genişletilirse ve radyasyonun yarattığı yüklerin akmasına izin verecek kadar yüksek bir elektrik alan oluşturulursa radyasyon tespitinde etkili bir şekilde kullanılabilir.



Şekil 2.22.a. n ve p tipi kristaller ve enerji seviyelerinin gösterimi b. p-n eklemi oluşumunun gösterimi (Ahmed, 2007)

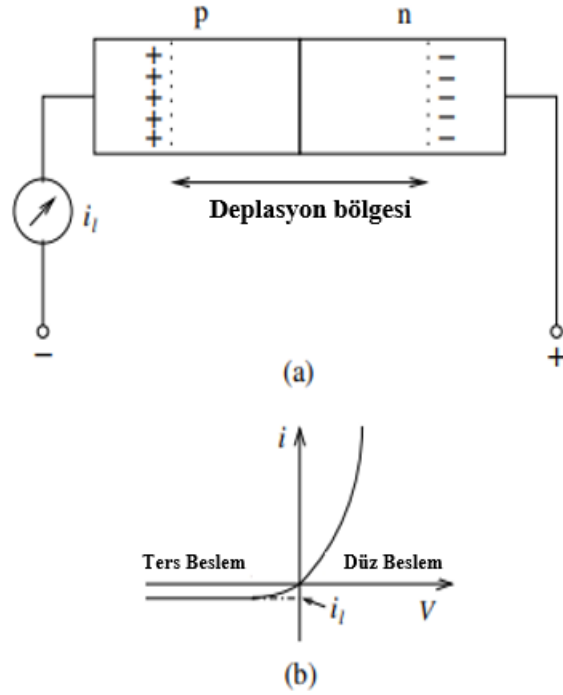
n-tipi bir malzeme p-tipi bir malzeme ile bir araya geldiğinde deplasyon bölgesinde bir elektostatik potansiyel üretilir. Deplasyon bölgesinin genişliği denklem 2.44 ve denklem 2.45 ile ölçülmektedir.

$$W = \chi_{pd} + \chi_{nd} \quad (2.44)$$

$$W = \left[\frac{2 \epsilon V_0}{q} \left(\frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D} \right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.45)$$

burada χ_{pd} ve χ_{nd} sırasıyla p ve n taraflarındaki deplasyon bölgelerinin genişliğini ifade etmektedir. N_A ve N_D alıcı ve verici katkılama yoğunluklarını ifade etmektedir. q , elektronun birim yükünü ifade etmektedir. ϵ ve V_0 ise sırasıyla ortamın geçirgenliğini ve potansiyel farkı ifade etmektedir.

Bir yarıiletken malzeme ne kadar iyi olursa olsun her zaman bant aralığının içindeki enerji seviyelerinde ortaya çıkan kristal kusurları ve safsızlıklar bulunmaktadır. Enerji seviyeleri, değerlik bandından iletim bandına geçmek için elektronlar tarafından kullanılabilir. Böylece bir elektron-boşuk çifti oluşur. Kullanılan yarıiletken malzemenin herhangi bir kristal kusuru ve safsızlığı olmasa bile bazı elektronlar termal yollarla iletim bandına atlamak için yeterli enerji seviyeyi elde edebilir. Bu sebeplerden dolayı deplasyon bölgesinin tamamen yüksüz olarak nitelendirilmesi doğru bir ifade değildir. Ancak bu olayın oluşması minimum seviyededir ve oluşan akım da oldukça düşüktür. Eğer p-n eklemine ters gerilim uygulanırsa ve deplasyon bölgesinde serbest yük yoksa devre boyunca herhangi bir akımın olmayacağı düşünülür. Ancak yukarıda belirtilen durumlardan dolayı her zaman çok küçük bir akım gözlenir. Bu akıma genellikle karanlık akım veya ters akım denilmektedir. Ters akımın oluşma şeması Şekil 2.23'de gösterilmiştir.



Şekil 2.23. a. Ters beslemli (geri öngerilim) p-n eklemi b. Tipik bir p-n ekleminin akım gerilim eğrisi (Ahmed, 2007)

Eğer p-n eklemine ileri öngerilim uygulanırsa artan voltaj ile hızla artan bir akım oluşur. p-n ekleminin düz beslem yapacak şekilde kullanımından faydalanılarak anahtarlar ve güneş pilleri gibi elektronik cihazlar tasarlanır.

2.8. Radyasyon Zırlama Parametrelerinin Belirlenmesi

Zırlama malzemesinin gelen radyasyonun ne kadarını soğurduğunu belirlememize yardımcı olan radyasyon koruma verimi (RKV) eşitlik 2.46 yardımıyla hesaplanabilir.

$$RKV(\%) = \left(1 - \frac{I}{I_0}\right) \times 100 \quad (2.46)$$

Burada I_0 ve I değerleri sırasıyla zırh malzemesine gelen ve zırh malzemesinden geçen radyasyon şiddetlerini ifade etmektedir.

Zırh malzemesinin gelen radyasyonun ne kadarını geçirdiğini belirlememize yardımcı olan radyasyon geçirme oranı (RGO) ise eşitlik 2.47 yardımıyla hesaplanabilir.

$$RGO (\%) = \frac{I}{I_0} \times 100 \quad (2.47)$$

Eşitlik 2.46 ve eşitlik 2.47'den de açıkça görüldüğü üzere I ve I_0 değerleri bilindiği sürece RKV ve RGO değerleri kolaylıkla hesaplanabilir.

Kütle azaltma katsayısının (μ/ρ , cm^2/g) deneysel değerleri, lineer azaltma katsayısının (μ) yoğunluğa (ρ) bölünmesiyle bulunur (Ozdogan ve ark., 2022) ve ayrıca eşitlik 2.48 yardımıyla da hesaplanabilir.

$$\frac{\mu}{\rho} = \frac{1}{\rho x} \ln \left(\frac{I_0}{I} \right) \quad (2.48)$$

Burada ρx zırh malzemesinin birim alandaki kütlesidir. Polimer kompozit malzemeler gibi birden fazla element içeren malzemelerin teorik kütle azaltma katsayısı değerleri karışım kuralı kullanılarak eşitlik 2.49 yardımıyla hesaplanabilir (Akman ve ark., 2022).

$$\left(\frac{\mu}{\rho} \right)_i = \sum_i W_i \left(\frac{\mu}{\rho} \right)_i \quad (2.49)$$

burada W_i malzeme içindeki i . elementin ağırlık kesrini, $(\mu/\rho)_i$ ise i . elementin kütle azaltma sayısını ifade etmektedir.

X ışınları ve gama ışınları zırh malzemesi ile etkileşime girdiği zaman şiddetleri üstel olarak azalmaktadır. Beer Lambert yasası yardımıyla elde edilen ve radyasyon şiddetindeki bu azalmayı ifade eden lineer azaltma katsayısı (μ , cm^{-1}) değeri eşitlik 2.50 yardımıyla hesaplanabilir (Oğul ve ark., 2023).

$$\mu = \frac{1}{x} \ln \left(\frac{I_0}{I} \right) \quad (2.50)$$

Başlangıç radyasyon şiddetinin %50'sini geçiren malzeme kalınlığını belirlemek için kullanılan yarı kalınlık değeri (YKD, cm) eşitlik 2.51 yardımıyla hesaplanabilir.

$$YKD = \frac{\ln(2)}{\mu} \quad (2.51)$$

Başlangıç radyasyon şiddetinin %10'unu geçiren malzeme kalınlığını belirlemek için kullanılan onda-bir kalınlık değeri (OKD, cm) eşitlik 2.52 yardımıyla hesaplanabilir.

$$OKD = \frac{\ln(10)}{\mu} \quad (2.52)$$

Bir fotonun malzeme üzerinde kat ettiği ortalama mesafe ortalama serbest yol (OSY, cm) olarak tanımlanır veya başka bir şekilde ifade etmek gerekirse başlangıç radyasyon şiddetinin yaklaşık %63'ünü soğuran soğurucu kalınlığı olarak da ifade edilebilir. OSY, eşitlik 2.53 yardımıyla hesaplanabilir.

$$OSY = \frac{1}{\mu} \quad (2.53)$$

Zırh malzemesini oluşturan moleküllerin gelen foton ile etkileşme ihtimalini belirlememize yardımcı olan moleküler tesir kesiti ($\sigma_{t,m}$, cm²/molekül) eşitlik 2.54 yardımıyla hesaplanabilir.

$$\sigma_{t,m} = \frac{1}{N_A} \left(\frac{\mu}{\rho} \right)_{malzeme} \sum_i n_i A_i \quad (2.54)$$

Burada N_A , Avogadro sayısını, n_i , üçlü-polimer kompozit malzeme içerisindeki i. elementin atom sayısını, A_i ise üçlü-polimer kompozit malzeme içerisindeki i. elementin atom ağırlığını ifade etmektedir.

Zırh malzemesini oluşturan atomların gelen foton ile etkileşme ihtimalini belirlememizi sağlayan atomik tesir kesiti ($\sigma_{t,a}$, cm²/atom), moleküler tesir kesitinin malzemede bulunan toplam atom sayısına bölünmesiyle elde edilir. eşitlik 2.55 yardımıyla hesaplanabilir.

$$\sigma_{t,a} = \frac{\sigma_{t,m}}{\sum_i n_i} \quad (2.55)$$

Zırh malzemesini oluşturan elektronların gelen foton ile etkileşme ihtimalini belirlememize yardımcı olan elektronik tesir kesitinin teorik değerleri ($\sigma_{t,e}$, cm²/elektron) eşitlik 2.56 yardımıyla hesaplanabilir.

$$\sigma_{t,e} = \frac{1}{N_A} \sum_i \frac{f_i A_i}{Z_i} \left(\frac{\mu}{\rho} \right)_i \quad (2.56)$$

Burada $f_i = n_i / \sum n_i$ i. elementin malzeme içindeki bolluğunu ifade etmektedir ve $\sum f_i = 1$ 'dir. Z_i ise i. elementin atom numarasını ifade etmektedir (Akman ve ark., 2022).

Malzemeyi oluşturan atomların gelen foton ile etkileşme ihtimalinin, malzemeyi oluşturan elektronların gelen foton ile etkileşme ihtimaline oranı, etkin atom numarasını ($Z_{etk.}$) ifade etmektedir ve eşitlik 2.57 yardımıyla hesaplanabilir (Turhan ve ark., 2023).

$$Z_{etk.} = \frac{\sigma_{t,a}}{\sigma_{t,e}} \quad (2.57)$$

Birim kütle başına düşen elektron sayısını ifade eden etkin elektron yoğunluğu ($N_{etk.}$, elektron/g) eşitlik 2.58 yardımıyla hesaplanabilir.

$$N_{etk.} = \frac{Z_{etk.}}{A_{top.}} (N_A \cdot n_{top.}) \quad (2.58)$$

Burada A_{top} kompozit malzeme içerisindeki elementlerin toplam atom ağırlığını, n_{top} ise kompozit malzeme içerisindeki elementlerin toplam atom sayısını ifade etmektedir.

BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM

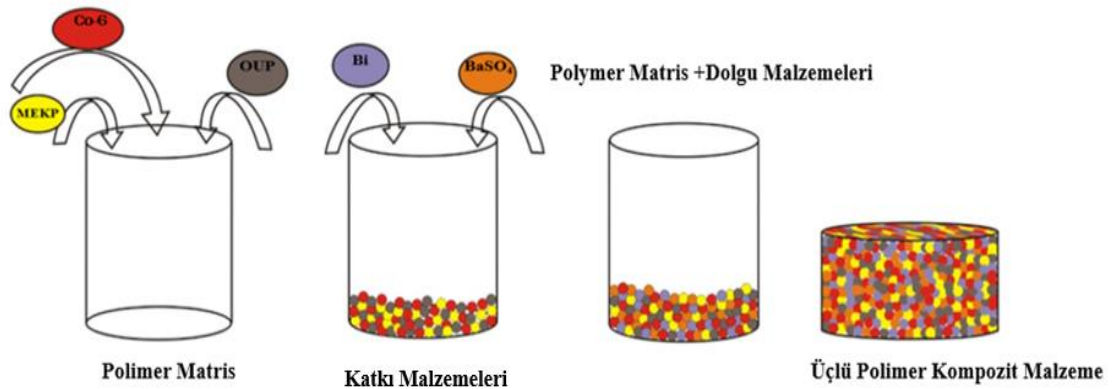
3.1. Numunelerin Hazırlanması

Polimer kompozit malzeme üretimi yapılırken bağlayıcı matris olarak termoset ve termoplastik olmak üzere iki farklı reçine türü kullanılabilir. Termoplastik reçineler, oda sıcaklığında katı halde bulunurlar. Poliamid (PA), Polipropilen (PP), Polieter eter keton (PEEK), Polieter sülfon (PES), Polikarbonat (PC) termoplastik reçinelere örnek olarak verilebilir. Yüksek maliyet, üretim zorluğu, oda sıcaklığında şekil verme zorluğu gibi dezavantajlarından dolayı bağlayıcı matris olarak kullanımları sınırlıdır. Termoset reçineler, oda sıcaklığında sıvı halde bulunurlar. Çapraz bağlı yapılarından dolayı yüksek mukavemete ve üstün mekanik özelliklere sahiptirler. İşlenmeleri termoplastiklere göre daha kolaydır. Polyester, Vinilester, Epoksi termoset reçinelere örnek olarak verilebilir. Polyesterler, maliyet açısından en ekonomik olan termoset reçinedir. Polyesterler içerdiği asit türüne ve asit gruplarının benzen halkası etrafındaki konumuna bağlı olarak ortoftalik ve izoftalik olmak üzere iki gruba ayrılır. İzoftalik polyester reçineler, daha iyi kimyasal dirence ve mekanik özelliklere sahiptir. Fakat, yüksek moleküler ağırlığa sahip oldukları için viskosite ayarı yaparken daha fazla stilen tineri gerekmektedir. Stilen tineri de zehirli gaz salınımına sebep olur. Ortoftalik doymamış polyester reçineler (OUP) ise ekonomik ve standart reçinelerdir. Bu nedenle yapılan tez çalışmasında polimer kompozit malzeme üretimi yaparken bağlayıcı materyal olarak ortoftalik polyester reçine tercih edilmiştir.

Barit tabanlı üçlü polimer kompozit malzemeleri üretirken ilk aşama Üçlü polimer kompozit malzemeler hazırlanırken ilk olarak ortaftalik doymamış polyester reçine (OUP, $C_{16}O_7H_{14}$, $d=1,12g/cm^3$), Metil Etil Keton Peroksit (MEKP, $C_8O_6H_{18}$, $d=1,17g/cm^3$) ve %6'lık Kobalt Oktoat (Co-6, $CoC_{16}H_{30}O_4$ $d= 0,885g/cm^3$) karıştırılarak polimer reçine matrisi elde edilmiştir. Metil Etil Keton Peroksit, polimer kompozit

malzemenin sertleşmesini sağlayan bir kimyasaldır. Reaksiyon başlatıcı olarak kullanılmaktadır. MEKP, doymamış polyester reçinenin ağırlıkça %1' oranında kullanılmıştır. Kobalt Oktoat, polimer kompozit malzeme hazırlanırken malzemenin daha hızlı reaksiyona girmesini sağlamaktadır ve hızlandırıcı olarak kullanılmaktadır. Co-6, doymamış polyester reçinenin ağırlıkça % 2'si oranında kullanılmıştır. Kobalt Oktoat malzemesinde ağırlıkça %6 oranında Co atomu bulunmaktadır. Co %6'dan fazla ilave edilirse sertleşme süresi, yani hazırlanan kompozit malzemenin bağlarını tamamlama süreci daha da artar.

Elde edilen polimer reçine matrisi 2 dak karıştırıldıktan sonra polimer matrikse Barit , Molibden, Kalay, Çinko, Bizmut veya Demir faz malzemeleri ağırlıkça %0 ile %50 arasında değişen ağırlık yüzdelerinde ilave edilmiştir. Polimer matrikse katkı malzemeleri ilave edildikten sonra homojenliği sağlamak için karışım 5 dakika mikser ile karıştırılmıştır. Elde edilen homojen karışım katılaşması için 2 cm çapında ve 1 cm kalınlığında silindirik şekilli kalıplara dökülmüştür. Belirli bir süre hava ortamında reaksiyonunun tamamlanması için beklenmiştir. Sertleşen numuneler kalıplardan daha önce kalıba sürülen vaks yardımıyla çıkartılmıştır. Böylece numune hazırlama aşaması tamamlanmıştır. Örnek olması açısından hazırlanan barit tabanlı ve bizmut katkılı üçlü polimer kompozit malzemelerin üretim süreci Şekil 3.1'de verilmiştir. Barit tabanlı Fe, Zn, Sn veya Mo katkılı polimer kompozit malzemeler de aynı şekilde hazırlanmıştır.



Şekil 3.1.Üçlü polimer kompozit malzemelerin üretim aşamaları

Daha önce yapılan çalışmalarda baritin gama ışınlarını zırhlamada alternatif zırh malzemesi olarak kullanılabileceği bulunmuştur (Akkurt ve ark., 2010, Evcin ve ark., 2017). Gama ışınlarını zırhlamada yüksek yoğunluğa sahip olan malzemeler gerektiğinden yapılan çalışmada düşük yoğunluklu barit katkı malzemeleri yüksek yoğunluklu Mo, Sn, Zn, Bi veya Fe katkı malzemeleri ile yer değiştirilerek gama ışını zırhlama özelliğinde artışa yol açması beklenmiştir. Bu yer değiştirme %10'luk artış olacak şekilde %0-50 arasında değişmektedir. Hazırlanan her bir üçlü kompozit malzemeye ait kimyasal içerik ve yoğunluk değerleri Tablo 3.1-3.5'te verilmiştir. Ayrıca hazırlanan üçlü polimer kompozit malzemeler Şekil 3.2'de gösterilmektedir.

Tablo 3.1.Barit tabanlı Mo katkılı üçlü polimer kompozit malzemelerin temel bileşimi ve yoğunlukları

Numune Kodu	Bileşimi (% Ağırlık)							ρ (g/cm ³)
	H	C	O	S	Co	Mo	Ba	
BaMo0	0,9057	12,1631	29,0045	10,9647	0,0024	-	46,9595	2,781
BaMo10	0,9057	12,1631	26,8161	9,8683	0,0024	7,9808	42,2635	2,861
BaMo20	0,9057	12,1631	24,6276	8,7718	0,0024	15,9617	37,5676	2,945
BaMo30	0,9057	12,1631	22,4392	7,6753	0,0024	23,9425	32,8716	3,034
BaMo40	0,9057	12,1631	20,2508	6,5788	0,0024	31,9234	28,1757	3,129
BaMo50	0,9057	12,1631	18,0624	5,4824	0,0024	39,9042	23,4797	3,230

Tablo 3.2. Barit tabanlı Sn katkılı üçlü polimer kompozit malzemelerin temel bileşimi ve yoğunlukları

Numune Kodu	Bileşimi (% Ağırlık)							ρ (g/cm ³)
	H	C	O	S	Co	Sn	Ba	
BaSn0	0,9057	12,1631	29,0045	10,9647	0,0024	-	46,9595	2,781
BaSn10	0,9057	12,1631	26,8161	9,8683	0,0024	7,9808	42,2635	2,835
BaSn20	0,9057	12,1631	24,6276	8,7718	0,0024	15,9617	37,5676	2,892
BaSn30	0,9057	12,1631	22,4392	7,6753	0,0024	23,9425	32,8716	2,951
BaSn40	0,9057	12,1631	20,2508	6,5788	0,0024	31,9234	28,1757	3,012
BaSn50	0,9057	12,1631	18,0624	5,4824	0,0024	39,9042	23,4797	3,075

Tablo 3.3.Barit tabanlı Zn katkılı üçlü polimer kompozit malzemelerin temel bileşimi ve yoğunlukları

Numune Kodu	Bileşimi (% Ağırlık)							ρ (g/cm ³)
	H	C	O	S	Co	Zn	Ba	
BaZn0	0,9057	12,1631	29,0045	10,9647	0,0024	-	46,9595	2,781
BaZn10	0,9057	12,1631	26,8161	9,8683	0,0024	7,9808	42,2635	2,833
BaZn20	0,9057	12,1631	24,6276	8,7718	0,0024	15,9617	37,5676	2,887
BaZn30	0,9057	12,1631	22,4392	7,6753	0,0024	23,9425	32,8716	2,943
BaZn40	0,9057	12,1631	20,2508	6,5788	0,0024	31,9234	28,1757	3,001
BaZn50	0,9057	12,1631	18,0624	5,4824	0,0024	39,9042	23,4797	3,062

Tablo 3.4.Barit tabanlı Bi katkılı üçlü polimer kompozit malzemelerin temel bileşimi ve yoğunlukları

Numune Kodu	Bileşimi (% Ağırlık)							ρ (g/cm ³)
	H	C	O	S	Co	Bi	Ba	
BaBi0	0,9057	12,1631	29,0045	10,9647	0,0024	-	46,9595	2,781
BaBi10	0,9057	12,1631	26,8161	9,8683	0,0024	7,9808	42,2635	2,858
BaBi20	0,9057	12,1631	24,6276	8,7718	0,0024	15,9617	37,5676	2,939
BaBi30	0,9057	12,1631	22,4392	7,6753	0,0024	23,9425	32,8716	3,025
BaBi40	0,9057	12,1631	20,2508	6,5788	0,0024	31,9234	28,1757	3,116
BaBi50	0,9057	12,1631	18,0624	5,4824	0,0024	39,9042	23,4797	3,213

Tablo 3.5. Barit tabanlı Fe katkılı üçlü polimer kompozit malzemelerin temel bileşimi ve yoğunlukları

Numune Kodu	Bileşimi (% Ağırlık)							ρ (g/cm ³)
	H	C	O	S	Co	Fe	Ba	
BaFe0	0,9057	12,1631	29,0045	10,9647	0,0024	-	46,9595	2,781
BaFe10	0,9057	12,1631	26,8161	9,8683	0,0024	7,9808	42,2635	2,841
BaFe20	0,9057	12,1631	24,6276	8,7718	0,0024	15,9617	37,5676	2,904
BaFe30	0,9057	12,1631	22,4392	7,6753	0,0024	23,9425	32,8716	2,969
BaFe40	0,9057	12,1631	20,2508	6,5788	0,0024	31,9234	28,1757	3,037
BaFe50	0,9057	12,1631	18,0624	5,4824	0,0024	39,9042	23,4797	3,109



Şekil 3.2. Hazırlanan barit tabanlı üçlü polimer kompozit malzemeler

Hazırlanan barit tabanlı üçlü polimer kompozit malzemelerin deneysel yoğunlukları Arşimet yöntemi kullanılarak denklem 3.1 ile belirlenmiştir.

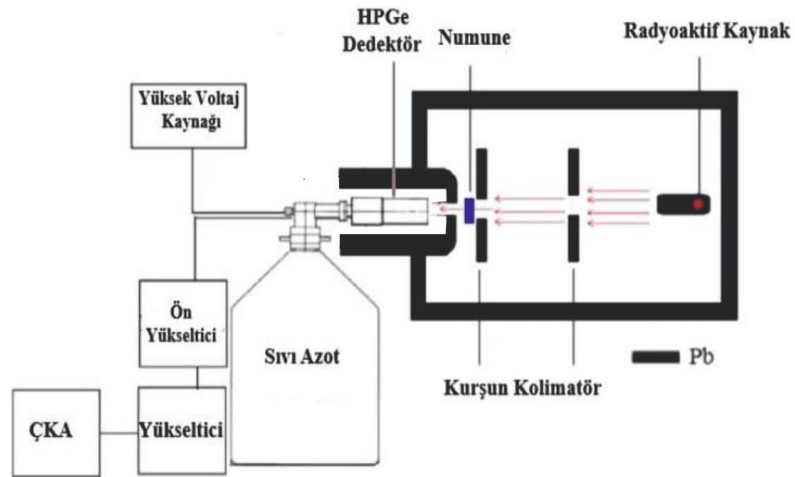
$$\rho_{deneysel} = \frac{A}{A - B} \rho_{su} \quad (3.1)$$

Burada A, numunenin havadaki ağırlığını B ise numunenin sudaki ağırlığını ifade etmektedir. Numunelerin hazırlanma süreci tamamlandıktan sonra deney düzeneği hazırlanarak deneysel zırhlama parametrelerinin ölçüm aşamasına geçilmiştir. Sonrasında deneysel sonuçlar, WinXCOM yazılımı ve GEANT4 Monte Carlo simülasyon kodu ile elde edilen teorik sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

3.2. Deney Geometrisi

Üçlü polimer kompozit malzemelerin gama ışını zırlama deneyleri, HPGe dedektörü ve ^{133}Ba , ^{22}Na , ^{137}Cs , ^{60}Co radyoaktif kaynakları ile 276,4-1332,5 keV enerji aralığında 9 farklı enerjide dar ışın geometrisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.3'den de görüldüğü üzere deney düzeneği, yüksek çözünürlüklü bir HPGe dedektörü, sıvı azot, radyoizotop kaynağı, ön yükseltici, yükseltici, 2600V yüksek voltaj kaynağı, çok kanallı analizör (ÇKA), numune ve kolimatörlerden oluşmaktadır.

Dedektörün kristal yarıçapı 70 mm ve kristal genişliği 25 mm'dir. Ölçümler sırasında termal ve elektronik gürültüyü azaltmak ve dedektörün performansını en üst düzeye çıkarmak için 35 litrelik bir dewar yardımıyla sıvı azot sıcaklığında (-196°C) tutulmuştur. Radyoizotop kaynaklar 2 mm çapında deliğe sahip kurşun kolimatör içine yerleştirilerek dar ışın geometrisi elde edilmiştir. X-ışınları ve gama ışınları madde ile etkileştiğinde bazıları soğurulur, bazıları etkileşim olmadan geçer, bazıları ise birincil ışınlardan farklı olarak saçılmaktadır. Dar ışın geometrisi sayesinde soğurucudan geçen radyasyonlar minimum düzeyde saçılarak doğrudan dedektöre ulaşmaktadır. Böylece karmaşık bir enerji spektrumu oluşmaz ve elde edilen spektrumun altında kalan alanın belirlenmesi kolay olacaktır.



Şekil 3.3. Gama ışını koruma parametrelerini elde etmek için kullanılan deneysel düzeneğin şematik gösterimi (Kiliçoğlu ve ark., 2022)

Barit katkılı üçlü polimer kompozit malzemelerinin radyasyon zırhlama parametrelerini belirlemek için yapılan deneysel çalışmalar, Giresun Üniversitesi Uygulama ve Araştırma Laboratuvarında bulunan GEM-SP7025P4-B model HPGe dedektörü ile araştırmacı tarafından gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan deney düzeneği Şekil 3.4'teki gibidir.



Şekil 3.4. Gama ışını zırhlama parametrelerini elde etmek için kullanılan deneysel düzeneği

Elde edilen foton pikleri, Çok Kanallı Analiz Yazılımı (Maestro) ile analiz edilmiştir. Maestro ile analiz edilen foton sayılarını doğrulamak için, her foton pikinin altında kalan net alan, Microcal Origin 7.5 programı (Demo versiyonu) ile küçük karelere uydurma yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. İstatistiksel doğruluğu sağlamak için, her foto-pik alanının 10000 sayım olması sağlanmıştır. Gama spektrometresinde her bir üçlü polimer kompozit malzeme için 1200 s sayım yapılmıştır. Her bir kompozit malzeme için ölçümler 3 kez yapıp elde edilen sonuçların ortalaması alınmıştır. μ/ρ deneysel sonuçlarındaki belirsizlik Denklem 3.2 ile hesaplanmıştır (Sayyed ve ark.,2019)

$$\Delta\mu_m = \frac{1}{\rho x} \sqrt{\left(\frac{\Delta I}{I}\right)^2 + \left(\frac{\Delta I_0}{I_0}\right)^2 + \ln\left(\frac{\Delta I}{I}\right)^2 \left(\frac{\Delta \rho x}{\rho x}\right)^2} \quad (3.2)$$

Burada ΔI_0 ve ΔI sırasıyla I_0 ve I 'daki belirsizlikleri, $\Delta \rho x$ ise birim alan başına kütledeki belirsizliği ifade etmektedir.

3.3. Teorik ve Simülasyon Süreçleri

Üçlü yapıdaki polimer kompozit malzemelerin kütle azaltma katsayılarının teorik değerlerini elde etmek için WinXCOM yazılımı ve simülasyon değerlerini elde etmek için ise GEANT4 simülasyon kodu kullanılmıştır. WinXCOM yazılımı sayesinde elementlerin, bileşiklerin veya karışımların kütle azaltma katsayısı 1 keV ile 100 GeV enerji aralığında hesaplanabilmektedir (Gerward ve ark., 2014). Kütle azaltma katsayısından faydalanarak da diğer zırhlama parametreleri kolaylıkla hesaplanabilmektedir.

Deneysel sonuçları desteklemek için çalışmanın amacına uygun olarak farklı simülasyon kodları kullanılabilmektedir. Simülasyon programları, deneysel aparat eksikliği, bütçe eksikliği ya da doğrudan deneysel gözlemlerin tehlikeli olduğu durumlarda fotonların malzemelerle etkileşimlerini değerlendirmesinde avantaj sunmaktadır. GEANT4 simülasyonu açık kaynak bir koddur ve ücretsiz olarak kullanılabilmektedir bu sebeple bu çalışmada GEANT4 simülasyon kodu tercih edilmiştir. GEANT4 simülasyon programı, madde-parçacık etkileşimini geniş enerji aralığında tanımlayabilen C++ programı tabanlı bir kod sistemidir. GEANT-4 simülasyon programı sayesinde araştırmacılar istenilen özelliklerde parçacık dedektörlerini simüle edebilmektedir (Agostinelli ve ark., 2003; Özdoğan ve ark. 2022). Bu kodun zırhlama sonuçlarının yaygın olarak kullanılan MCPN6 ve FLUKA kodları ile yüksek oranda uyumlu olması daha önce başka çalışmalar tarafından konu edilmiş ve yüksek oranda uyum belirlenmiştir. (Oğul ve ark., 2024, Frosio ve ark., 2021). GEANT4 simülasyon programı ile zırhlama parametreleri hesaplanırken malzemenin yoğunluğu, elementel yüzde ağırlığı ve kalınlığı dikkate alınmaktadır (Akman ve ark., 2022). Bu tez çalışmasında GEANT4 simülasyon kodu ile zırhlama parametrelerinin hesaplaması yapılırken öncelikle gerekli komutlar sisteme tanımlanmıştır. Daha sonra hazırlanan üçlü polimer kompozit malzemelerin yüzde elementel ağırlığı, numune kalınlığı, yoğunluğu ve enerji aralığı sisteme tanımlanmış ve üçlü polimer kompozit malzemeler 10.000.000 gama ışını ile bombardıman edilmiştir.

BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Ağırlıkça farklı oranlarda Mo, Sn, Zn, Bi veya Fe metalleri ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozit malzemeler hazırlanmış ve bu üçlü polimer kompozit malzemelerin belirli gama enerjilerinde zırhlama özellikleri incelenmiştir. Barit tabanlı ve üçlü yapı polimer kompozit malzemeleri hazırlarken ilk aşama olarak ortoftalik doymamış polyester reçine, metil etil keton peroksit ve kobalt oktoat birleştirilerek polimer matriks elde edilmiştir. Sonrasında bu polimer matrikse katkı malzemesi olarak hacimce %50 oranında barit eklenerek Mo, Sn, Zn, Bi veya Fe içermeyen ilk numune üretilmiştir. Daha sonra ağırlıkça %10, %20, %30, %40, %50 oranlarında barit ile Mo, Sn, Zn, Bi veya Fe yer değiştirilerek üçlü kompozitler üretilmiştir. Hazırlanan üçlü kompozit malzemelerin radyasyon zırhlama özelliklerini incelemek için, radyasyon koruma verimleri, radyasyon geçirme oranları, kütle azaltma katsayıları, lineer azaltma katsayıları, yarı kalınlık değerleri, onda-bir kalınlık değerleri, ortalama serbest yol değerleri, atomik, moleküler, elektronik tesir kesitleri, etkin atom numaraları ve etkin elektron yoğunlukları incelenmiştir. Üçlü yapıdaki polimer kompozit malzemelerin deneysel sonuçları 276,4-1332,5 keV enerji aralığında ^{133}Ba (276,4, 302,9, 356,0, 383,9 keV), ^{22}Na (511,0, 1274,5 keV), ^{137}Cs (661,7 keV) ve ^{60}Co (1173,2, 1332,5 keV) radyoaktif kaynaklarından yayımlanan dokuz farklı enerjide dar ışın geometrisi yardımıyla HPGe dedektörü kullanılarak elde edilmiştir. Deneysel sonuçlar, WinXCOM programı ve GEANT4 simülasyon kodu yardımıyla elde edilen teorik sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Deneysel ve teorik değerler Tablo 4.1-Tablo 4.60'da verilmiştir. Teorik ve deneysel sonuçlar kullanılarak çizilen grafikler ise Şekil 4.1-Şekil 4.60'da verilmiştir.

4.1. Radyasyon Koruma Verimi (RKV) Parametresine Ait Araştırma Bulguları

Radyasyon koruma verimi (RKV), radyasyon şiddetindeki azalmayı yüzdesel olarak gösteren bir parametredir. Hazırlanan üçlü yapıdaki polimer kompozit malzemelerin

radasyon koruma verimleri radyasyon kaynağından gelen I_0 ve geçen I şiddetleri yardımıyla denklem 2.46 ile deneysel olarak belirlenmiştir. Farklı metallerle güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozit malzemelerin radyasyon koruma verimi değerleri Tablo 4.1-4.5'te ve her bir malzeme için elde edilen sonuçlara bağlı olarak çizilen grafikler Şekil 4.1-4.5'te verilmiştir.

Tablo 4.1. Barit tabanlı molibden metali ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin deneysel radyasyon koruma verimi değerleri

Enerji (keV)	BaMo0	BaMo10	BaMo20	BaMo30	BaMo40	BaMo50
276,4	39,40±1,97	39,98±2,24	38,83±2,33	42,18±2,36	47,14±2,25	43,40±2,55
302,9	37,08±1,09	37,19±1,07	37,38±0,96	39,77±1,07	41,43±1,12	40,07±1,07
356,0	31,45±0,35	32,90±0,38	32,89±0,37	34,55±0,41	36,29±0,39	35,11±0,41
383,9	29,42±1,58	31,37±1,69	29,96±1,59	33,42±2,01	34,94±1,77	35,79±2,49
511,0	25,76±0,45	26,10±0,42	26,93±0,46	28,82±0,49	31,31±0,53	30,45±0,51
661,7	20,97±0,19	21,93±0,20	21,94±0,19	24,19±0,21	25,66±0,25	24,96±0,22
1173,2	16,11±0,19	17,07±0,20	16,21±0,20	18,09±0,22	20,33±0,24	19,84±0,24
1274,5	15,59±0,25	15,86±0,25	15,67±0,25	17,31±0,27	18,69±0,30	19,05±0,30
1332,5	14,88±0,15	15,56±0,16	15,14±0,16	16,86±0,18	18,04±0,19	18,83±0,20

Tablo 4.2. Barit tabanlı kalay metali ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin deneysel radyasyon koruma verimi değerleri

Enerji (keV)	BaSn0	BaSn10	BaSn20	BaSn30	BaSn40	BaSn50
276,4	39,11±1,58	39,97±1,76	39,27±2,07	44,93±1,96	43,69±2,26	43,66±1,84
302,9	38,07±0,74	36,70±0,79	36,68±0,86	42,38±0,95	39,32±1,04	41,91±0,97
356,0	32,33±0,33	34,08±0,36	31,85±0,34	35,24±0,41	34,09±0,40	37,09±0,39
383,9	31,66±1,43	30,15±1,55	31,75±1,56	33,35±1,50	32,70±1,69	36,09±1,67
511,0	26,56±0,43	25,16±0,41	24,67±0,42	26,59±0,45	28,31±0,45	27,52±0,48
661,7	22,82±0,20	22,29±0,20	22,65±0,20	24,59±0,21	24,17±0,22	25,07±0,23
1173,2	16,55±0,19	17,56±0,20	15,92±0,19	17,16±0,20	17,19±0,20	17,43±0,20
1274,5	15,61±0,24	15,35±0,24	15,08±0,23	16,87±0,26	16,91±0,26	17,09±0,27
1332,5	15,05±0,14	15,44±0,15	15,00±0,14	16,91±0,17	16,06±0,16	16,69±0,16

Tablo 4.3. Barit tabanlı çinko metali ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin deneysel radyasyon koruma verimi değerleri

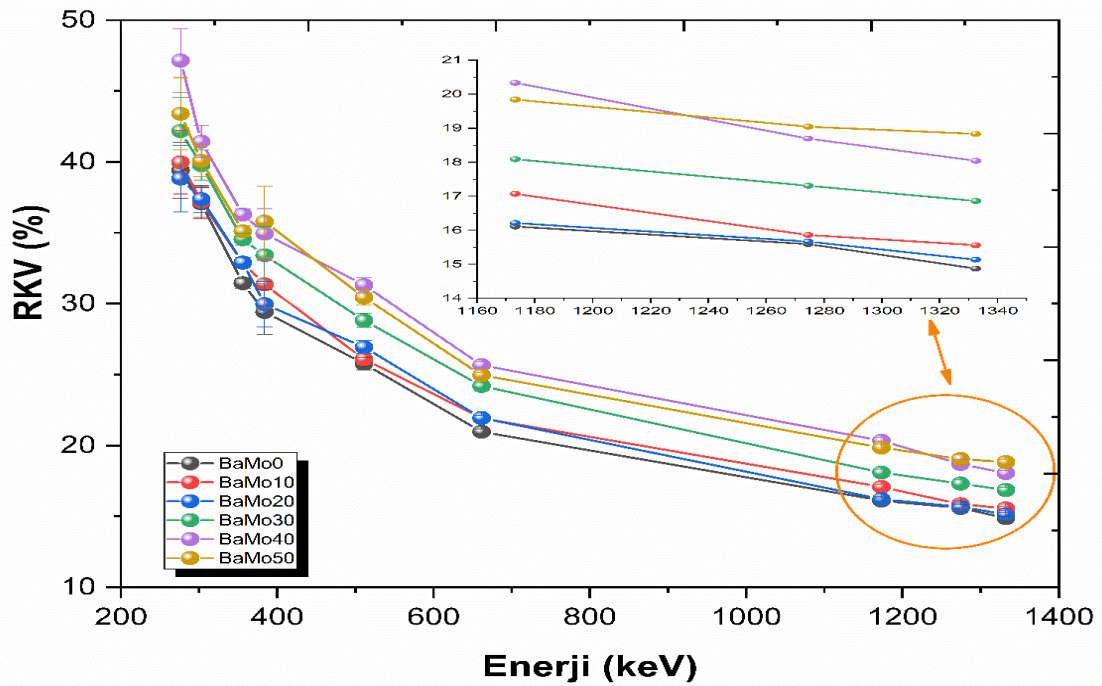
Enerji (keV)	BaZn0	BaZn10	BaZn20	BaZn30	BaZn40	BaZn50
276,4	42,43±1,84	38,31±1,80	35,05±1,99	36,92±1,95	38,42±1,89	37,75±1,78
302,9	37,13±1,00	35,75±0,93	31,70±0,93	34,74±0,90	35,09±0,98	35,14±1,01
356,0	31,84±0,36	31,79±0,37	28,05±0,34	30,90±0,36	32,23±0,35	31,22±0,38
383,9	29,45±1,52	29,98±1,53	26,69±1,66	28,57±1,72	30,19±1,52	29,85±1,74
511,0	25,63±0,42	26,54±0,43	24,28±0,40	25,69±0,44	25,65±0,42	27,58±0,45
661,7	21,47±0,19	21,68±0,19	19,20±0,16	20,84±0,21	22,35±0,20	23,78±0,20
1173,2	16,02±0,19	16,19±0,19	14,45±0,17	16,45±0,20	17,05±0,20	17,08±0,21
1274,5	15,44±0,25	15,57±0,25	13,78±0,22	15,81±0,25	16,24±0,26	16,75±0,26
1332,5	14,97±0,16	15,33±0,16	13,51±0,14	14,93±0,15	16,01±0,16	16,49±0,17

Tablo 4.4. Barit tabanlı bizmut metali ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin deneysel radyasyon koruma verimi değerleri

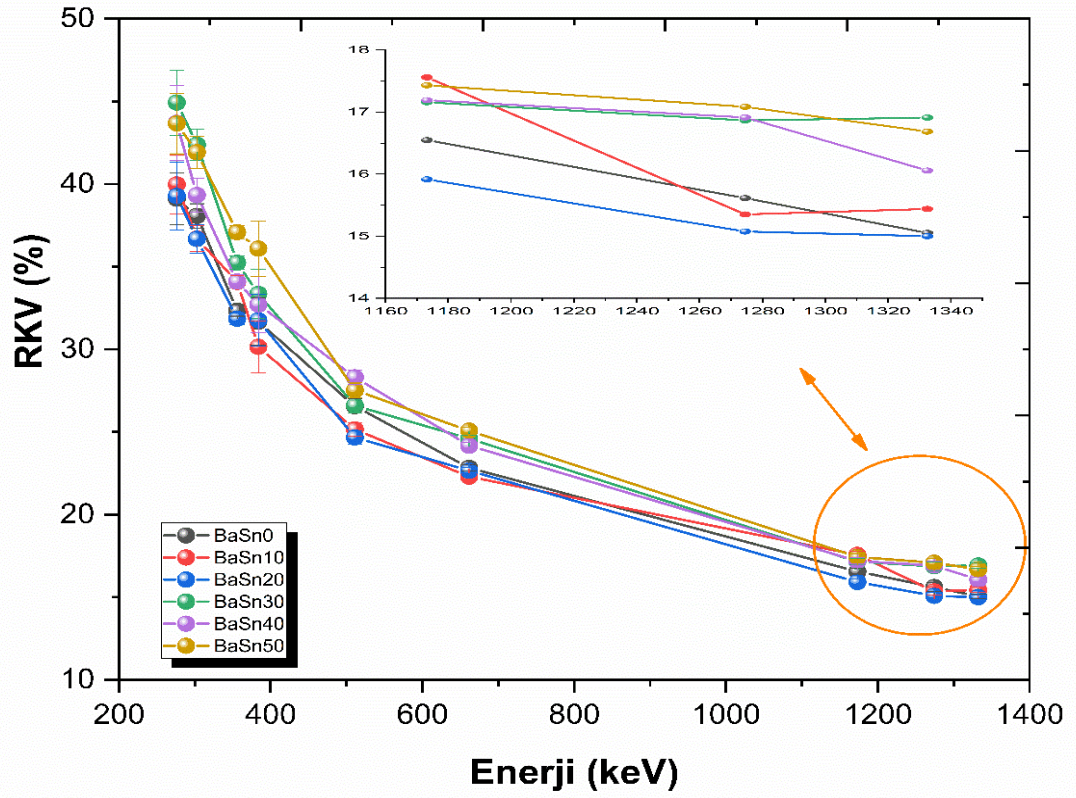
Enerji (keV)	BaBi0	BaBi10	BaBi20	BaBi30	BaBi40	BaBi50
276,4	38,14±1,68	42,67±2,22	48,23±2,51	53,90±2,60	59,29±4,34	67,29±4,01
302,9	35,32±0,96	38,79±0,76	43,97±1,22	47,65±1,45	53,70±1,61	59,26±1,95
356,0	31,93±0,32	33,53±0,35	38,60±0,44	41,07±0,44	45,27±0,57	48,95±0,59
383,9	32,14±1,62	33,60±1,49	37,18±1,53	40,14±2,13	43,39±2,29	45,49±2,57
511,0	24,40±0,41	26,14±0,42	28,88±0,46	29,30±0,50	32,37±0,59	35,48±0,61
661,7	20,86±0,20	21,11±0,19	23,23±0,21	24,07±0,23	25,71±0,23	29,72±0,29
1173,2	15,63±0,18	15,54±0,18	16,99±0,19	17,05±0,20	18,01±0,21	18,33±0,21
1274,5	15,43±0,24	15,13±0,23	15,91±0,24	17,02±0,26	18,80±0,30	17,46±0,27
1332,5	14,60±0,14	14,54±0,14	15,19±0,14	15,84±0,15	17,14±0,17	18,23±0,18

Tablo 4.5. Barit tabanlı demir metali ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin deneysel radyasyon koruma verimi değerleri

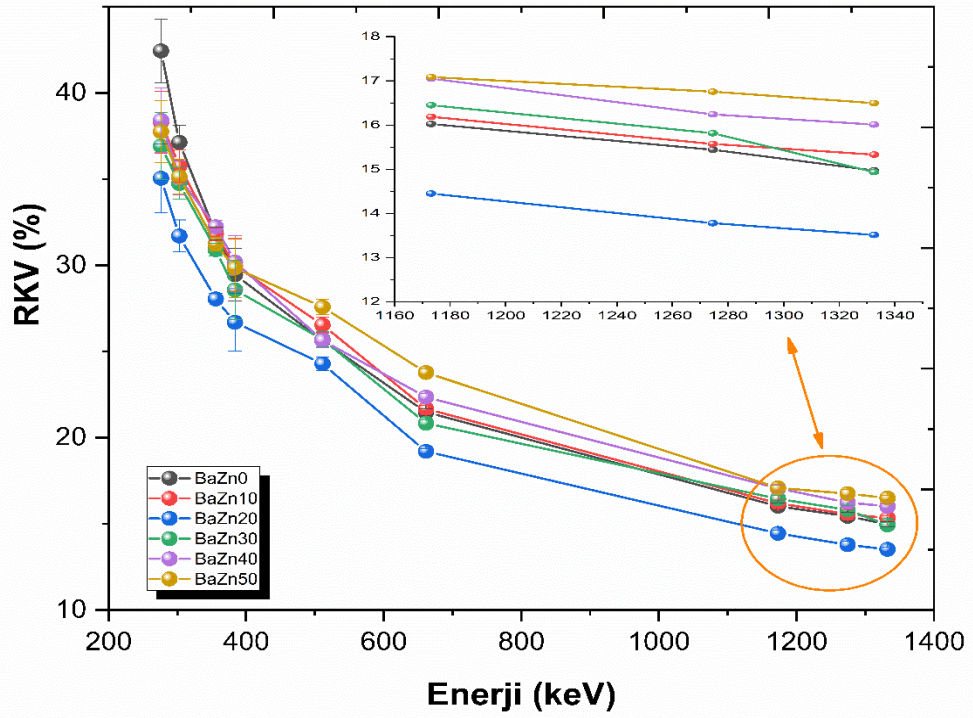
Enerji (keV)	BaFe0	BaFe10	BaFe20	BaFe30	BaFe40	BaFe50
276,4	35,43±1,69	38,21±2,18	36,76±2,25	40,25±1,91	39,19±1,98	39,93±2,27
302,9	33,00±0,84	33,90±0,87	34,46±0,82	37,61±1,08	38,01±0,92	37,21±1,01
356,0	28,58±0,32	29,76±0,32	32,24±0,35	33,17±0,37	32,86±0,35	33,71±0,36
383,9	26,97±1,34	28,57±1,84	28,46±1,41	33,31±1,68	33,27±2,06	31,00±1,31
511,0	23,41±0,40	25,75±0,42	26,05±0,43	27,25±0,46	28,04±0,49	28,69±0,48
661,7	19,14±0,17	21,01±0,19	21,33±0,18	22,65±0,20	23,94±0,22	23,48±0,21
1173,2	15,75±0,19	15,17±0,18	16,70±0,20	17,06±0,20	18,17±0,23	19,48±0,24
1274,5	13,57±0,21	15,29±0,24	15,27±0,24	17,34±0,27	18,45±0,30	17,44±0,27
1332,5	14,07±0,14	14,20±0,15	15,61±0,16	16,27±0,17	17,09±0,18	18,23±0,19



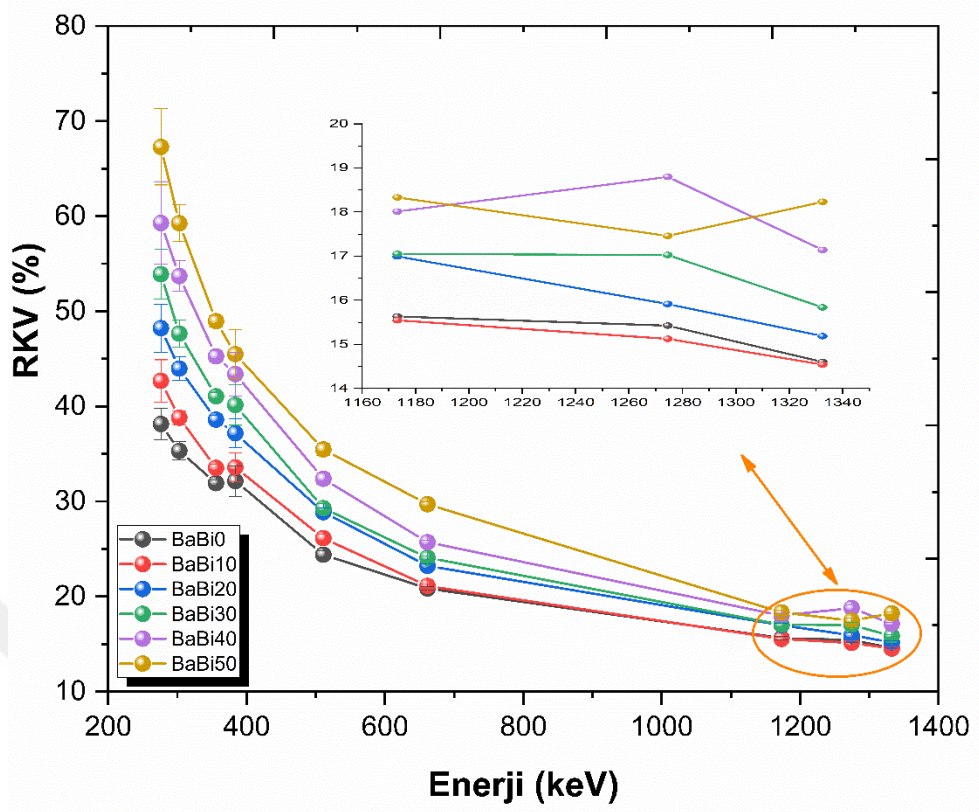
Şekil 4.1. Mo metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozit malzemelerin deneysel RKC değerinin enerjiye göre değişimi



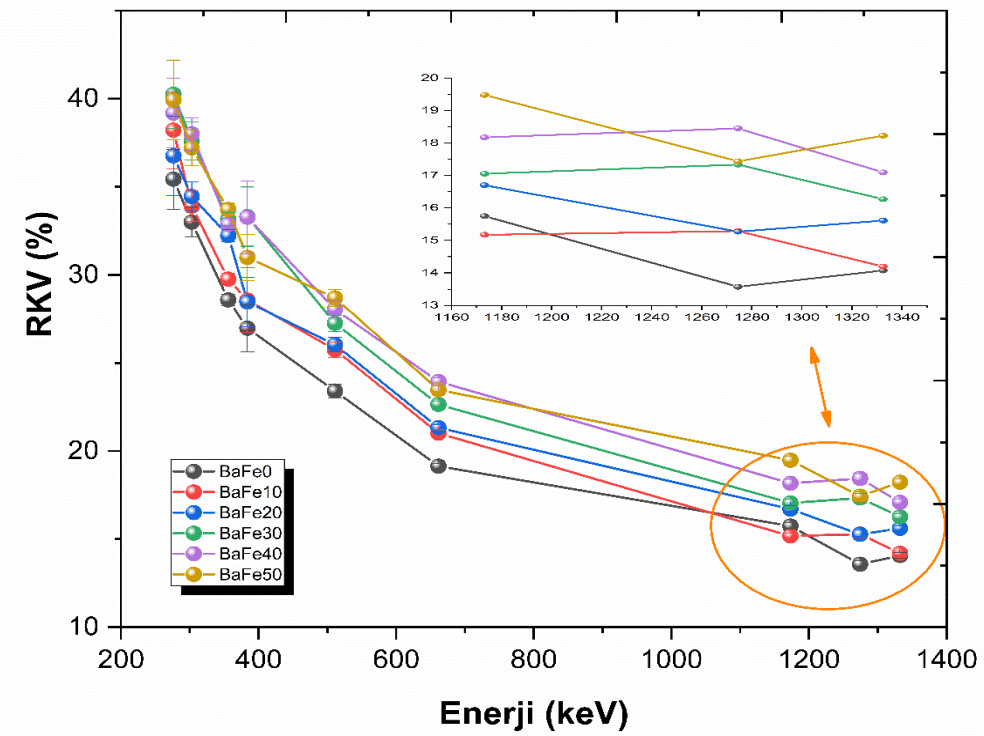
Şekil 4.2. Sn metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozit malzemelerin deneysel RKV değerinin enerjiye göre değişimi



Şekil 4.3. Zn metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozit malzemelerin deneysel RKV değerinin enerjiye göre değişimi



Şekil 4.4. Bi metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozit malzemelerin deneysel RKV değerinin enerjiye göre değişimi



Şekil 4.5. Fe metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozit malzemelerin deneysel RKV değerinin enerjiye göre değişimi

4.2. Radyasyon Geçirme Oranı (RGO) Parametresine Ait Araştırma Bulguları

Radyasyon geçirme oranı (RGO), malzemeden geçen radyasyon şiddetindeki miktarı yüzdesel olarak gösteren bir parametredir. Hazırlanan üçlü yapıdaki polimer kompozit malzemelerin radyasyon geçirme oranları radyasyon kaynağından gelen I_0 ve geçen I şiddetleri yardımıyla denklem 2.47 ile deneysel olarak belirlenmiştir. Farklı metallerle güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozit malzemelerin radyasyon geçirme oranı değerleri Tablo 4.6-4.10'da ve her bir malzeme için elde edilen sonuçlara bağlı olarak çizilen grafikler Şekil 4.6-4.10'da verilmiştir.

Tablo 4.6. Barit tabanlı molibden güçlendirilmiş polimer kompozitlerin deneysel radyasyon geçirme oranı değerleri

Enerji (keV)	BaMo0	BaMo10	BaMo20	BaMo30	BaMo40	BaMo50
276,4	60,60±3,03	60,02±3,37	61,17±3,67	57,82±3,23	52,86±2,52	56,60±3,32
302,9	62,92±1,85	62,81±1,81	62,62±1,60	60,23±1,63	58,57±1,59	59,93±1,61
356,0	68,55±0,77	67,10±0,78	67,11±0,75	65,45±0,77	63,71±0,68	64,89±0,75
383,9	70,58±3,80	68,63±3,71	70,04±3,71	66,58±4,00	65,06±3,30	64,21±4,48
511,0	74,24±1,28	73,90±1,18	73,07±1,24	71,18±1,21	68,69±1,17	69,55±1,18
661,7	79,03±0,71	78,07±0,71	78,06±0,67	75,81±0,67	74,34±0,72	75,04±0,66
1173,2	83,89±1,01	82,93±0,98	83,79±1,02	81,91±1,00	79,67±0,95	80,16±0,96
1274,5	84,41±1,33	84,14±1,33	84,33±1,37	82,69±1,31	81,31±1,31	80,95±1,29
1332,5	85,12±0,88	84,44±0,86	84,86±0,88	83,14±0,86	81,96±0,86	81,17±0,85

Tablo 4.7. Barit tabanlı kalay ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin deneysel radyasyon geçirme oranı değerleri

Enerji (keV)	BaSn0	BaSn10	BaSn20	BaSn30	BaSn40	BaSn50
276,4	60,89±2,45	60,03±2,65	60,73±3,20	55,07±2,40	56,31±2,91	56,34±2,37
302,9	61,93±1,21	63,30±1,37	63,32±1,49	57,62±1,29	60,68±1,61	58,09±1,35
356,0	67,67±0,69	65,92±0,70	68,15±0,73	64,76±0,75	65,91±0,77	62,91±0,66
383,9	68,34±3,08	69,85±3,60	68,25±3,35	66,65±3,00	67,30±3,48	63,91±2,95
511,0	73,44±1,18	74,84±1,21	75,33±1,28	73,41±1,25	71,69±1,14	72,48±1,26
661,7	77,18±0,67	77,71±0,68	77,35±0,68	75,41±0,66	75,83±0,70	74,93±0,69
1173,2	83,45±0,98	82,44±0,95	84,08±0,99	82,84±0,95	82,81±0,94	82,57±0,96
1274,5	84,39±1,32	84,65±1,32	84,92±1,31	83,13±1,26	83,09±1,28	82,91±1,29
1332,5	84,95±0,81	84,56±0,80	85,00±0,81	83,09±0,81	83,94±0,82	83,31±0,82

Tablo 4.8. Barit tabanlı çinko ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin deneysel radyasyon geçirme oranı değerleri

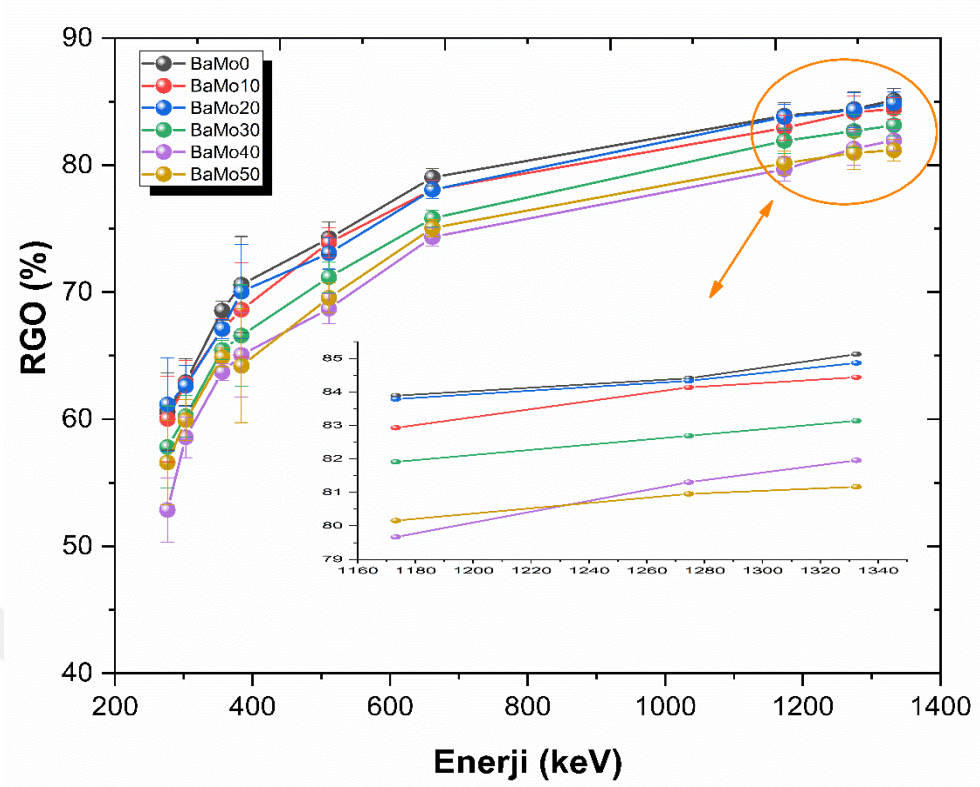
Enerji (keV)	BaZn0	BaZn10	BaZn20	BaZn30	BaZn40	BaZn50
276,4	57,57±2,50	61,69±2,90	64,95±3,70	63,08±3,33	61,58±3,02	62,25±2,94
302,9	62,87±1,69	64,25±1,66	68,30±2,00	65,26±1,70	64,91±1,82	64,86±1,87
356,0	68,16±0,76	68,21±0,78	71,95±0,86	69,10±0,81	67,77±0,74	68,78±0,85
383,9	70,55±3,63	70,02±3,58	73,31±4,57	71,43±4,29	69,81±3,51	70,15±4,09
511,0	74,37±1,23	73,46±1,19	75,72±1,24	74,31±1,28	74,35±1,22	72,42±1,19
661,7	78,53±0,70	78,32±0,70	80,80±0,68	79,16±0,80	77,65±0,68	76,22±0,65
1173,2	83,98±1,00	83,81±1,00	85,55±1,01	83,55±1,02	82,95±0,99	82,92±1,01
1274,5	84,56±1,36	84,43±1,35	86,22±1,38	84,19±1,31	83,76±1,33	83,25±1,31
1332,5	85,03±0,89	84,67±0,86	86,49±0,89	85,07±0,87	83,99±0,86	83,51±0,88

Tablo 4.9. Barit tabanlı bizmut ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin deneysel radyasyon geçirme oranı değerleri

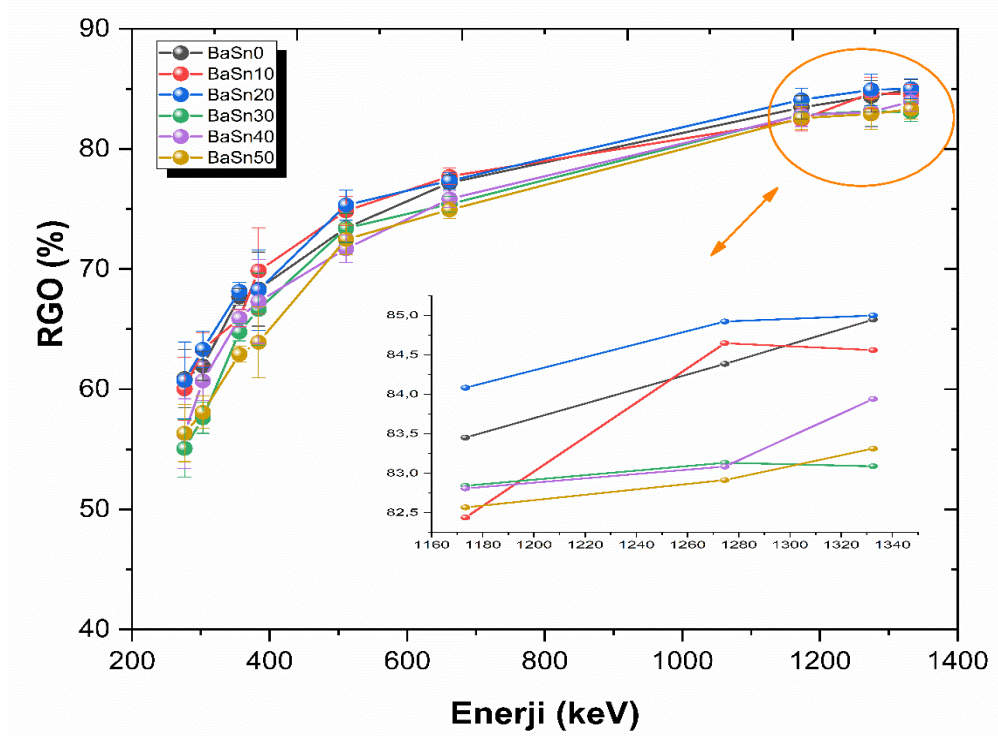
Enerji (keV)	BaBi0	BaBi10	BaBi20	BaBi30	BaBi40	BaBi50
276,4	61,86±2,72	57,33±2,99	51,77±2,70	46,10±2,22	40,71±2,98	32,71±1,95
302,9	64,68±1,76	61,21±1,20	56,03±1,55	52,35±1,59	46,30±1,39	40,74±1,34
356,0	68,07±0,69	66,47±0,70	61,40±0,70	58,93±0,62	54,73±0,68	51,05±0,61
383,9	67,86±3,42	66,40±2,95	62,82±2,58	59,86±3,17	56,61±2,98	54,51±3,08
511,0	75,60±1,26	73,86±1,20	71,12±1,14	70,70±1,21	67,63±1,24	64,52±1,11
661,7	79,14±0,74	78,89±0,72	76,77±0,69	75,93±0,72	74,29±0,66	70,28±0,69
1173,2	84,37±0,97	84,46±0,96	83,01±0,95	82,95±0,96	81,99±0,95	81,67±0,94
1274,5	84,57±1,33	84,87±1,29	84,09±1,28	82,98±1,28	81,20±1,28	82,54±1,26
1332,5	85,40±0,82	85,46±0,81	84,81±0,80	84,16±0,82	82,86±0,81	81,77±0,80

Tablo 4.10. Barit tabanlı demir ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin deneysel radyasyon geçirme oranı değerleri

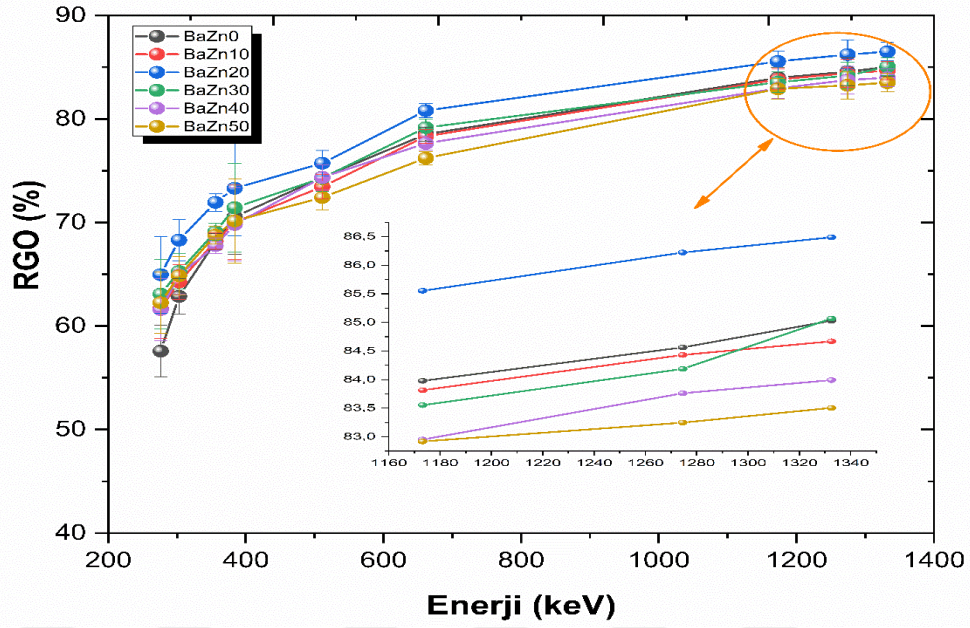
Enerji (keV)	BaFe0	BaFe10	BaFe20	BaFe30	BaFe40	BaFe50
276,4	64,57±3,09	61,79±3,53	63,24±3,86	59,75±2,84	60,81±3,07	60,07±3,41
302,9	67,00±1,71	66,10±1,70	65,54±1,56	62,39±1,79	61,99±1,51	62,79±1,70
356,0	71,42±0,80	70,24±0,76	67,76±0,75	66,83±0,74	67,14±0,71	66,29±0,71
383,9	73,03±3,63	71,43±4,60	71,54±3,53	66,69±3,36	66,73±4,14	69,00±2,92
511,0	76,59±1,30	74,25±1,22	73,95±1,21	72,75±1,24	71,96±1,26	71,31±1,19
661,7	80,86±0,73	78,99±0,70	78,67±0,68	77,35±0,67	76,06±0,69	76,52±0,67
1173,2	84,25±1,01	84,83±1,02	83,30±0,99	82,94±0,98	81,83±1,03	80,52±0,97
1274,5	86,43±1,33	84,71±1,35	84,73±1,32	82,66±1,29	81,55±1,31	82,56±1,29
1332,5	85,93±0,88	85,80±0,90	84,39±0,89	83,73±0,89	82,91±0,86	81,77±0,86



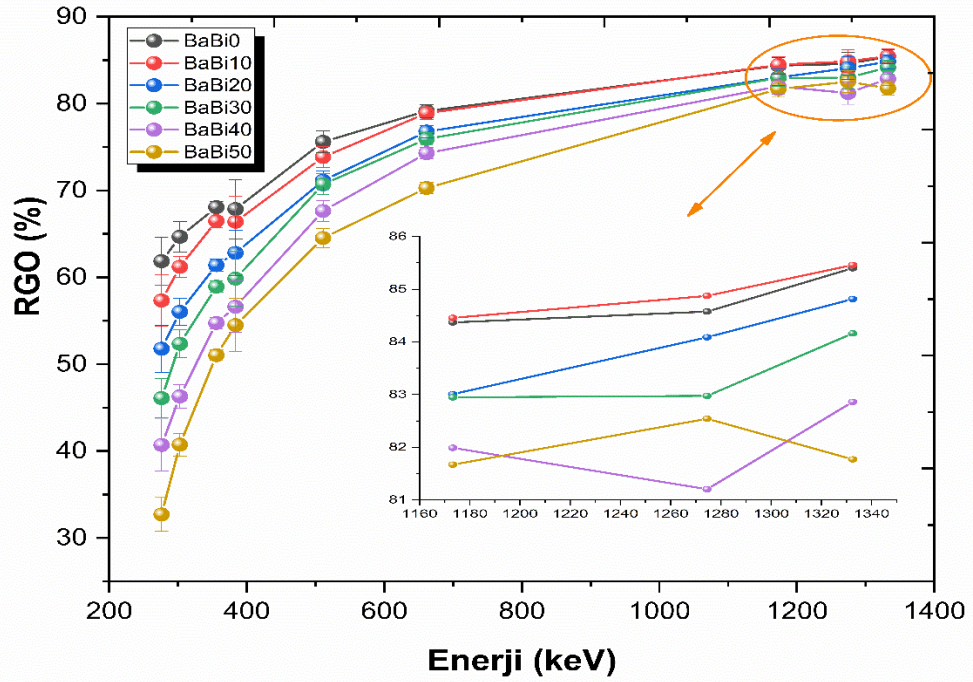
Şekil 4.6. Mo metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozit malzemelerin deneysel RGO değerinin enerjiye göre değişimi



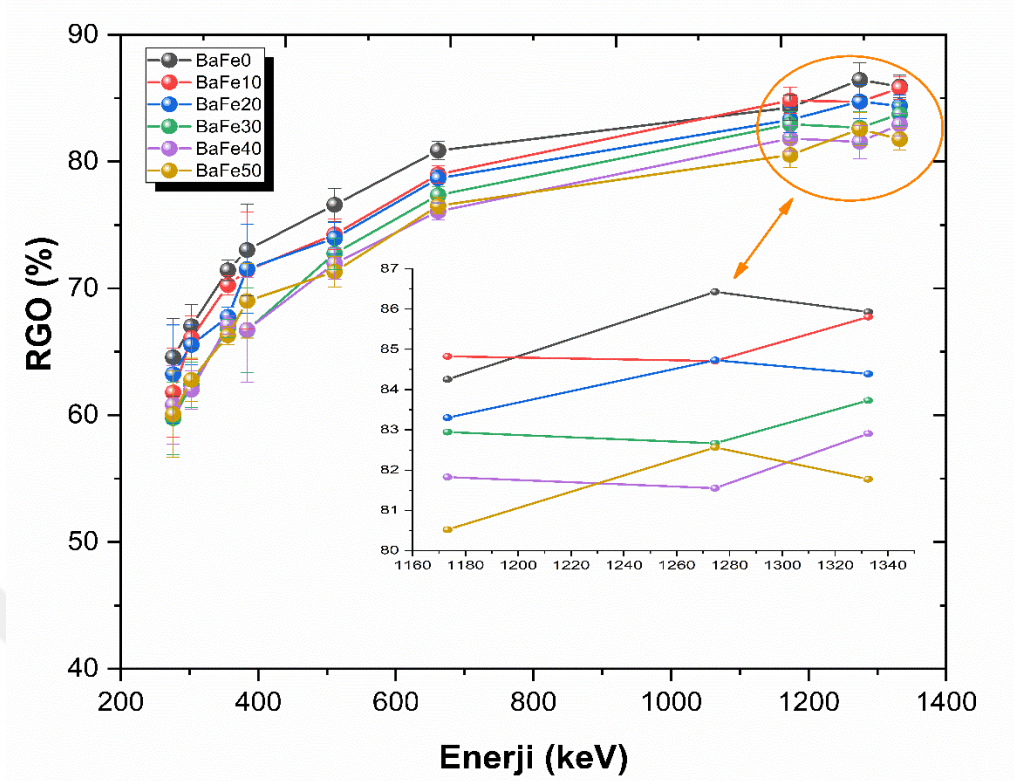
Şekil 4.7. Sn metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozit malzemelerin deneysel RGO değerinin enerjiye göre değişimi



Şekil 4.8. Zn metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozit malzemelerin deneysel RGO değerinin enerjiye göre değişimi



Şekil 4.9. Bi metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozit malzemelerin deneysel RGO değerinin enerjiye göre değişimi



Şekil 4.10. Fe metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozit malzemelerin deneysel RGO değerinin enerjiye göre değişimi

4.3. Kütle Azaltma Katsayısı (μ/ρ) Parametresine Ait Araştırma Bulguları

Kütle azaltma katsayısı, birim alan başına düşen kütlenin gelen foton ile etkileşme ölçüsünün bir ihtimaliyetidir. Kütle azaltma katsayısı (μ/ρ) (cm^2/g), malzemenin faz halinden (katı-sıvı-gaz) bağımsızdır. Radyasyon zırhlama parametrelerinin hesaplanmasında kullanılan öncü parametredir. Kütle azaltma katsayısı, malzemenin karakteristik bir özelliğidir ve gelen foton enerjisinin ve malzeme içerisindeki elementlerin atom numarasının bir fonksiyonudur. Hazırlanan üçlü polimer kompozit malzemelerin deneysel kütle azaltma katsayıları denklem 2.48 yardımıyla elde edilmiştir. Teorik hesaplamaları ise karışım kuralı ile yani denklem 2.49 ile hesaplanmıştır.

Bileşik, çözelti ve karışımlar için kütle azaltma katsayısı belirlenirken karışım kuralından faydalanılmaktadır. Karışım kuralında her bir elementin ağırlık kesrine göre kütle azaltma katsayısı hesaplanır böylece her bir elementin kütle azaltma katsayısının toplam kütle azaltma katsayısına katkısı bulunmaktadır. Hazırlanan üçlü

polimer kompozit malzemelerin kütle azaltma katsayıları GEANT4 simülasyon kodu ve teorik olarak WinXCOM programı ile hesaplanmıştır. Üçlü polimer kompozitlere ait deneysel ve teorik kütle azaltma katsayısı değerleri Tablo 4.11-4.15'te ve grafikleri ise Şekil 4.11-4.15'te verilmiştir.

Tablo 4.11. Barit tabanlı molibden ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin deneysel, kütle azaltma katsayısı (μ/ρ , cm^2/g) değerleri

Enerji (keV)	BaMo0			BaMo10		
	Deneysel	WinX.	GEANT4	Deneysel	WinX.	GEANT4
276,4	0,1570±0,0084	0,1614	0,1523	0,1510±0,0090	0,1596	0,1505
302,9	0,1452±0,0052	0,1451	0,1376	0,1376±0,0048	0,1437	0,1361
356,0	0,1184±0,0027	0,1231	0,1178	0,1180±0,0027	0,1222	0,1168
383,9	0,1092±0,0063	0,1151	0,1107	0,1113±0,0064	0,1142	0,1099
511,0	0,0934±0,0025	0,0923	0,0900	0,0894±0,0023	0,0919	0,0896
661,7	0,0738±0,0016	0,0781	0,0771	0,0732±0,0016	0,0779	0,0768
1173,2	0,0551±0,0013	0,0564	0,0562	0,0554±0,0013	0,0562	0,0561
1274,5	0,0531±0,0014	0,0539	0,0538	0,0511±0,0013	0,0538	0,0537
1332,5	0,0505±0,0011	0,0526	0,0525	0,0500±0,0011	0,0525	0,0524
Enerji (keV)	BaMo20			BaMo30		
	Deneysel	WinX.	GEANT4	Deneysel	WinX.	GEANT4
276,4	0,1503±0,0095	0,1579	0,1487	0,1488±0,0088	0,1562	0,1469
302,9	0,1431±0,0046	0,1424	0,1347	0,1377±0,0046	0,1410	0,1332
356,0	0,1220±0,0028	0,1212	0,1158	0,1151±0,0027	0,1203	0,1148
383,9	0,1089±0,0062	0,1134	0,1090	0,1105±0,0070	0,1126	0,1082
511,0	0,0960±0,0025	0,0914	0,0891	0,0923±0,0024	0,0910	0,0886
661,7	0,0757±0,0016	0,0776	0,0765	0,0752±0,0016	0,0773	0,0762
1173,2	0,0541±0,0013	0,0561	0,0560	0,0542±0,0013	0,0560	0,0558
1274,5	0,0521±0,0013	0,0537	0,0536	0,0516±0,0013	0,0535	0,0534
1332,5	0,0502±0,0011	0,0524	0,0523	0,0502±0,0011	0,0523	0,0522
Enerji (keV)	BaMo40			BaMo50		
	Deneysel	WinX.	GEANT4	Deneysel	WinX.	GEANT4
276,4	0,1597±0,0083	0,1545	0,1451	0,1466±0,0091	0,1528	0,1432
302,9	0,1340±0,0045	0,1396	0,1317	0,1319±0,0044	0,1382	0,1303
356,0	0,1129±0,0026	0,1193	0,1137	0,1114±0,0026	0,1184	0,1127
383,9	0,1077±0,0059	0,1118	0,1073	0,1141±0,0083	0,1110	0,1064
511,0	0,0941±0,0025	0,0905	0,0882	0,0935±0,0024	0,0900	0,0877
661,7	0,0743±0,0017	0,0770	0,0759	0,0740±0,0016	0,0767	0,0756
1173,2	0,0569±0,0013	0,0558	0,0557	0,0570±0,0013	0,0557	0,0556
1274,5	0,0518±0,0013	0,0534	0,0533	0,0544±0,0014	0,0533	0,0532
1332,5	0,0498±0,0011	0,0522	0,0521	0,0537±0,0012	0,0521	0,0520

Tablo 4.12. Barit tabanlı kalay ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin kütle azaltma katsayısı (μ/ρ , cm^2/g) değerleri

Enerji (keV)	BaSn0			BaSn10		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	0,1524±0,0069	0,1614	0,1523	0,1558±0,0075	0,1623	0,1529
302,9	0,1472±0,0041	0,1451	0,1376	0,1396±0,0041	0,1457	0,1379
356,0	0,1200±0,0027	0,1231	0,1178	0,1272±0,0029	0,1234	0,1179
383,9	0,1170±0,0058	0,1151	0,1107	0,1095±0,0061	0,1152	0,1107
511,0	0,0948±0,0024	0,0923	0,0900	0,0884±0,0023	0,0922	0,0899
661,7	0,0796±0,0017	0,0781	0,0771	0,0770±0,0017	0,0780	0,0769
1173,2	0,0556±0,0013	0,0564	0,0562	0,0589±0,0014	0,0562	0,0560
1274,5	0,0522±0,0013	0,0539	0,0538	0,0509±0,0013	0,0537	0,0536
1332,5	0,0501±0,0011	0,0526	0,0525	0,0512±0,0011	0,0525	0,0524
Enerji (keV)	BaSn20			BaSn30		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	0,1540±0,0087	0,1632	0,1534	0,1670±0,0080	0,1641	0,1540
302,9	0,1411±0,0044	0,1464	0,1383	0,1544±0,0046	0,1470	0,1386
356,0	0,1184±0,0027	0,1237	0,1179	0,1217±0,0028	0,1240	0,1180
383,9	0,1180±0,0063	0,1154	0,1107	0,1136±0,0056	0,1156	0,1107
511,0	0,0875±0,0023	0,0922	0,0897	0,0865±0,0023	0,0921	0,0895
661,7	0,0793±0,0017	0,0778	0,0767	0,0790±0,0017	0,0777	0,0765
1173,2	0,0535±0,0012	0,0560	0,0558	0,0527±0,0012	0,0558	0,0556
1274,5	0,0505±0,0013	0,0535	0,0534	0,0517±0,0013	0,0534	0,0532
1332,5	0,0502±0,0011	0,0523	0,0522	0,0519±0,0012	0,0521	0,0520
Enerji (keV)	BaSn40			BaSn50		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	0,1635±0,0091	0,1650	0,1545	0,1558±0,0073	0,1660	0,1551
302,9	0,1422±0,0047	0,1477	0,1389	0,1475±0,0045	0,1480	0,1392
356,0	0,1187±0,0027	0,1243	0,1181	0,1258±0,0028	0,1250	0,1181
383,9	0,1128±0,0063	0,1158	0,1107	0,1215±0,0061	0,1160	0,1107
511,0	0,0947±0,0024	0,0921	0,0894	0,0874±0,0023	0,0920	0,0892
661,7	0,0788±0,0017	0,0775	0,0763	0,0784±0,0017	0,0774	0,0761
1173,2	0,0537±0,0012	0,0556	0,0554	0,0520±0,0012	0,0554	0,0552
1274,5	0,0528±0,0013	0,0532	0,0530	0,0509±0,0013	0,0530	0,0528
1332,5	0,0498±0,0011	0,0519	0,0518	0,0496±0,0011	0,0518	0,0516

Tablo 4.13. Barit tabanlı çinko ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin kütle azaltma katsayısı (μ/ρ , cm^2/g) değerleri

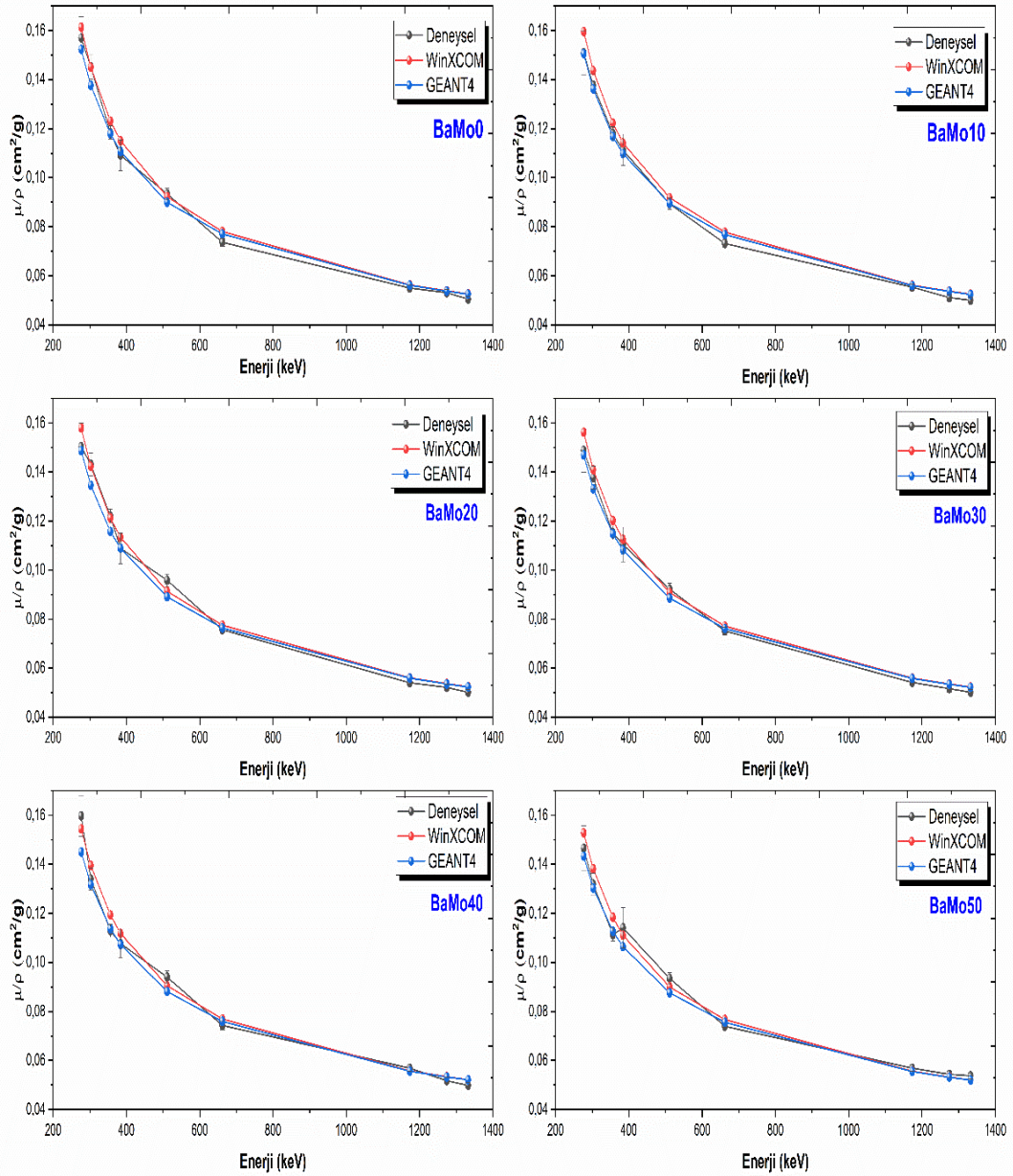
Enerji (keV)	BaZn0			BaZn10		
	Deneysel	WinX.	GEANT4	Deneysel	WinX.	GEANT4
276,4	0,1713±0,0082	0,1614	0,1523	0,1482±0,0076	0,1572	0,1485
302,9	0,1440±0,0048	0,1451	0,1376	0,1358±0,0044	0,1419	0,1346
356,0	0,1190±0,0027	0,1231	0,1178	0,1174±0,0027	0,1211	0,1159
383,9	0,1083±0,0060	0,1151	0,1107	0,1094±0,0060	0,1134	0,1092
511,0	0,0919±0,0024	0,0923	0,0900	0,0947±0,0024	0,0916	0,0894
661,7	0,0750±0,0016	0,0781	0,0771	0,0750±0,0016	0,0778	0,0768
1173,2	0,0542±0,0013	0,0564	0,0562	0,0542±0,0013	0,0563	0,0562
1274,5	0,0520±0,0013	0,0539	0,0538	0,0519±0,0013	0,0539	0,0538
1332,5	0,0503±0,0011	0,0526	0,0525	0,0511±0,0011	0,0526	0,0525
Enerji (keV)	BaZn20			BaZn30		
	Deneysel	WinX.	GEANT4	Deneysel	WinX.	GEANT4
276,4	0,1491±0,0090	0,1531	0,1446	0,1425±0,0080	0,1489	0,1407
302,9	0,1317±0,0047	0,1387	0,1316	0,1320±0,0043	0,1355	0,1287
356,0	0,1137±0,0027	0,1190	0,1141	0,1143±0,0026	0,1170	0,1122
383,9	0,1073±0,0070	0,1117	0,1077	0,1041±0,0066	0,1101	0,1062
511,0	0,0961±0,0025	0,0908	0,0888	0,0918±0,0024	0,0901	0,0881
661,7	0,0736±0,0016	0,0775	0,0765	0,0723±0,0016	0,0771	0,0762
1173,2	0,0539±0,0013	0,0563	0,0562	0,0556±0,0013	0,0563	0,0562
1274,5	0,0512±0,0013	0,0539	0,0538	0,0532±0,0013	0,0538	0,0538
1332,5	0,0502±0,0011	0,0526	0,0526	0,0500±0,0011	0,0526	0,0526
Enerji (keV)	BaZn40			BaZn50		
	Deneysel	WinX.	GEANT4	Deneysel	WinX.	GEANT4
276,4	0,1389±0,0074	0,1447	0,1369	0,1342±0,0069	0,1406	0,1330
302,9	0,1238±0,0043	0,1322	0,1257	0,1225±0,0043	0,1290	0,1227
356,0	0,1115±0,0025	0,1149	0,1103	0,1059±0,0025	0,1129	0,1084
383,9	0,1029±0,0056	0,1084	0,1047	0,1003±0,0062	0,1067	0,1032
511,0	0,0849±0,0022	0,0893	0,0875	0,0913±0,0024	0,0886	0,0868
661,7	0,0725±0,0016	0,0768	0,0760	0,0768±0,0017	0,0764	0,0757
1173,2	0,0535±0,0012	0,0562	0,0562	0,0530±0,0012	0,0562	0,0562
1274,5	0,0508±0,0013	0,0538	0,0538	0,0519±0,0013	0,0538	0,0538
1332,5	0,0500±0,0011	0,0526	0,0526	0,0510±0,0012	0,0526	0,0526

Tablo 4.14. Barit tabanlı bizmut ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin kütle azaltma katsayısı (μ/ρ , cm^2/g) değerleri

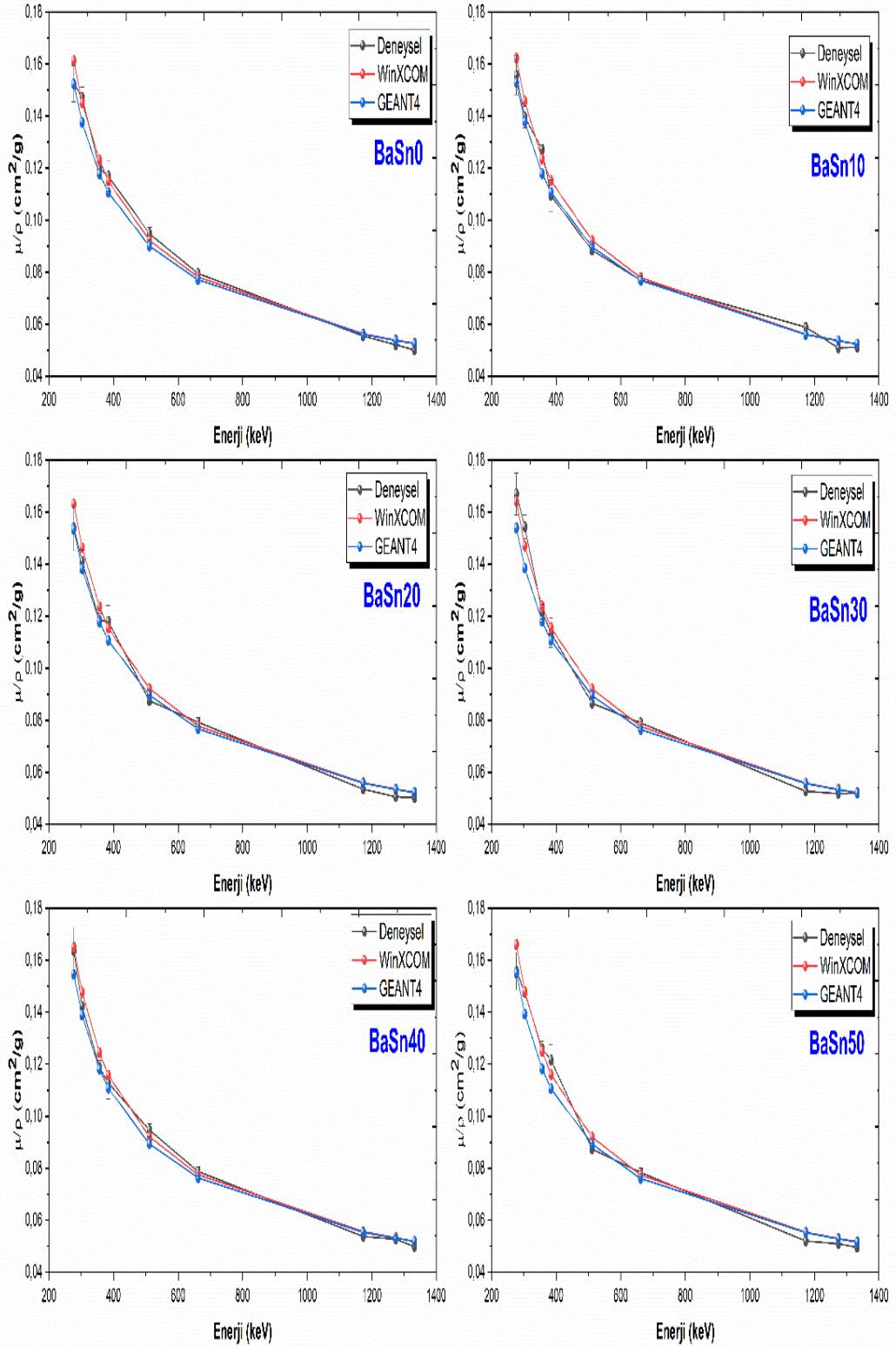
Enerji (keV)	BaBi0			BaBi10		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	0,1512±0,0073	0,1614	0,1523	0,1790±0,0100	0,1871	0,1760
302,9	0,1372±0,0046	0,1451	0,1376	0,1579±0,0044	0,1654	0,1561
356,0	0,1211±0,0027	0,1231	0,1178	0,1314±0,0030	0,1366	0,1299
383,9	0,1221±0,0066	0,1151	0,1107	0,1317±0,0064	0,1261	0,1208
511,0	0,0880±0,0023	0,0923	0,0900	0,0975±0,0025	0,0977	0,0948
661,7	0,0736±0,0016	0,0781	0,0771	0,0763±0,0017	0,0809	0,0795
1173,2	0,0535±0,0012	0,0564	0,0562	0,0543±0,0012	0,0570	0,0567
1274,5	0,0527±0,0013	0,0539	0,0538	0,0528±0,0013	0,0544	0,0542
1332,5	0,0497±0,0011	0,0526	0,0525	0,0505±0,0011	0,0531	0,0529
Enerji (keV)	BaBi20			BaBi30		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	0,2023±0,0113	0,2128	0,1996	0,2358±0,0123	0,2385	0,2232
302,9	0,1780±0,0061	0,1857	0,1747	0,1971±0,0072	0,2060	0,1932
356,0	0,1499±0,0034	0,1500	0,1420	0,1610±0,0036	0,1635	0,1542
383,9	0,1429±0,0065	0,1372	0,1308	0,1563±0,0089	0,1483	0,1408
511,0	0,1047±0,0027	0,1031	0,0995	0,1056±0,0028	0,1084	0,1043
661,7	0,0812±0,0018	0,0837	0,0820	0,0839±0,0019	0,0865	0,0844
1173,2	0,0572±0,0013	0,0576	0,0572	0,0569±0,0013	0,0582	0,0577
1274,5	0,0533±0,0013	0,0549	0,0546	0,0568±0,0014	0,0553	0,0549
1332,5	0,0506±0,0011	0,0535	0,0532	0,0525±0,0012	0,0539	0,0536
Enerji (keV)	BaBi40			BaBi50		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	0,2539±0,0193	0,2642	0,2468	0,3071±0,0193	0,2899	0,2705
302,9	0,2176±0,0078	0,2264	0,2118	0,2468±0,0095	0,2467	0,2303
356,0	0,1703±0,0040	0,1769	0,1663	0,1848±0,0043	0,1903	0,1784
383,9	0,1608±0,0091	0,1594	0,1508	0,1667±0,0100	0,1705	0,1608
511,0	0,1105±0,0030	0,1138	0,1090	0,1204±0,0032	0,1192	0,1138
661,7	0,0840±0,0018	0,0893	0,0868	0,0969±0,0022	0,0921	0,0892
1173,2	0,0561±0,0013	0,0588	0,0582	0,0556±0,0013	0,0594	0,0586
1274,5	0,0588±0,0015	0,0558	0,0553	0,0527±0,0013	0,0563	0,0557
1332,5	0,0531±0,0012	0,0544	0,0539	0,0553±0,0012	0,0548	0,0543

Tablo 4.15. Barit tabanlı demir ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin kütle azaltma katsayısı (μ/ρ , cm^2/g) değerleri

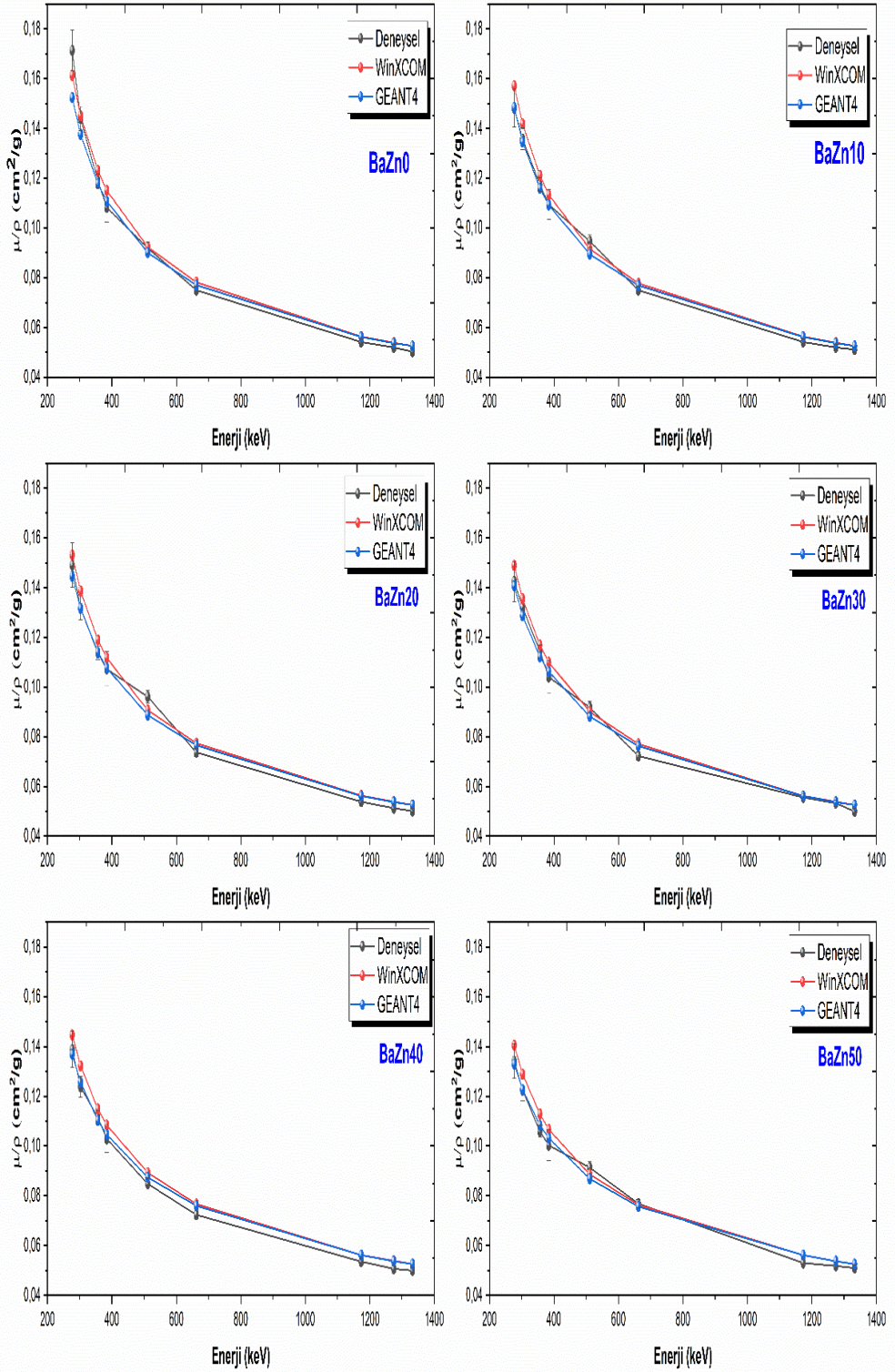
Enerji (keV)	BaFe0			BaFe10		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	0,1516±0,0079	0,1614	0,1523	0,1559±0,0094	0,1568	0,1481
302,9	0,1387±0,0045	0,1451	0,1376	0,1341±0,0044	0,1416	0,1344
356,0	0,1166±0,0027	0,1231	0,1178	0,1144±0,0026	0,1209	0,1158
383,9	0,1089±0,0058	0,1151	0,1107	0,1090±0,0073	0,1133	0,1092
511,0	0,0924±0,0024	0,0923	0,0900	0,0964±0,0025	0,0915	0,0894
661,7	0,0736±0,0016	0,0781	0,0771	0,0764±0,0017	0,0778	0,0769
1173,2	0,0594±0,0014	0,0564	0,0562	0,0533±0,0012	0,0564	0,0563
1274,5	0,0505±0,0013	0,0539	0,0538	0,0537±0,0014	0,0539	0,0538
1332,5	0,0526±0,0012	0,0526	0,0525	0,0496±0,0011	0,0527	0,0526
Enerji (keV)	BaFe20			BaFe30		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	0,1431±0,0092	0,1522	0,1439	0,1468±0,0076	0,1476	0,1397
302,9	0,1319±0,0041	0,1380	0,1312	0,1345±0,0047	0,1345	0,1280
356,0	0,1216±0,0028	0,1187	0,1138	0,1149±0,0026	0,1164	0,1118
383,9	0,1046±0,0056	0,1115	0,1076	0,1154±0,0063	0,1097	0,1060
511,0	0,0942±0,0024	0,0908	0,0888	0,0907±0,0024	0,0900	0,0881
661,7	0,0749±0,0016	0,0775	0,0766	0,0732±0,0016	0,0772	0,0764
1173,2	0,0571±0,0013	0,0564	0,0563	0,0533±0,0012	0,0564	0,0563
1274,5	0,0518±0,0013	0,0539	0,0539	0,0543±0,0014	0,0540	0,0539
1332,5	0,0530±0,0012	0,0527	0,0526	0,0506±0,0011	0,0527	0,0527
Enerji (keV)	BaFe40			BaFe50		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	0,1355±0,0074	0,1430	0,1355	0,1364±0,0082	0,1383	0,1313
302,9	0,1303±0,0041	0,1309	0,1247	0,1245±0,0042	0,1274	0,1215
356,0	0,1086±0,0025	0,1142	0,1099	0,1100±0,0025	0,1120	0,1079
383,9	0,1102±0,0072	0,1079	0,1044	0,0993±0,0047	0,1061	0,1028
511,0	0,0897±0,0024	0,0893	0,0875	0,0905±0,0024	0,0885	0,0869
661,7	0,0746±0,0016	0,0769	0,0761	0,0716±0,0016	0,0765	0,0759
1173,2	0,0547±0,0013	0,0564	0,0564	0,0580±0,0014	0,0564	0,0564
1274,5	0,0556±0,0014	0,0540	0,0540	0,0513±0,0013	0,0540	0,0540
1332,5	0,0511±0,0012	0,0528	0,0527	0,0539±0,0012	0,0528	0,0528



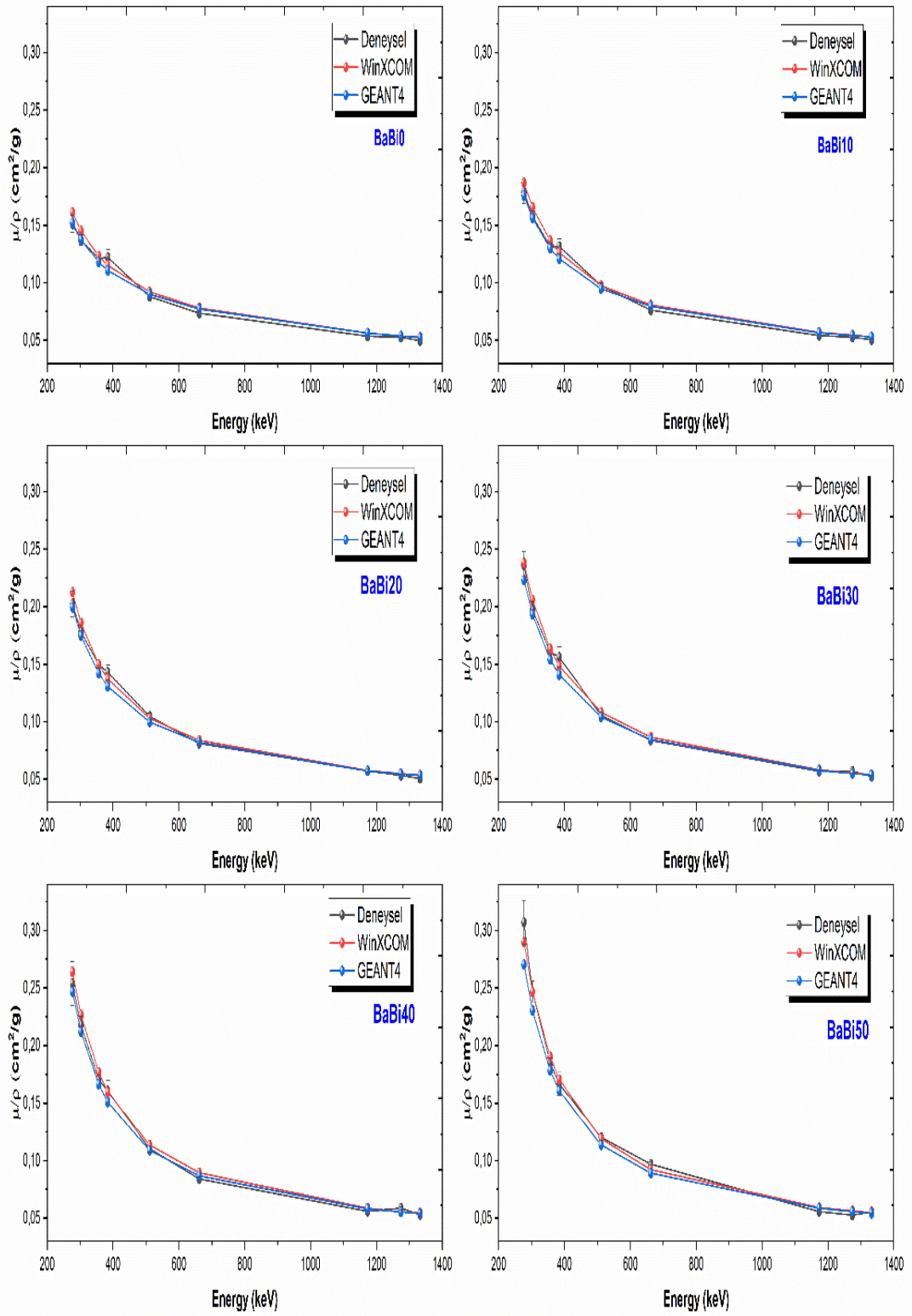
Şekil 4.11. Mo metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen kütle azaltma katsayısı değerlerinin enerjiye göre değişimi



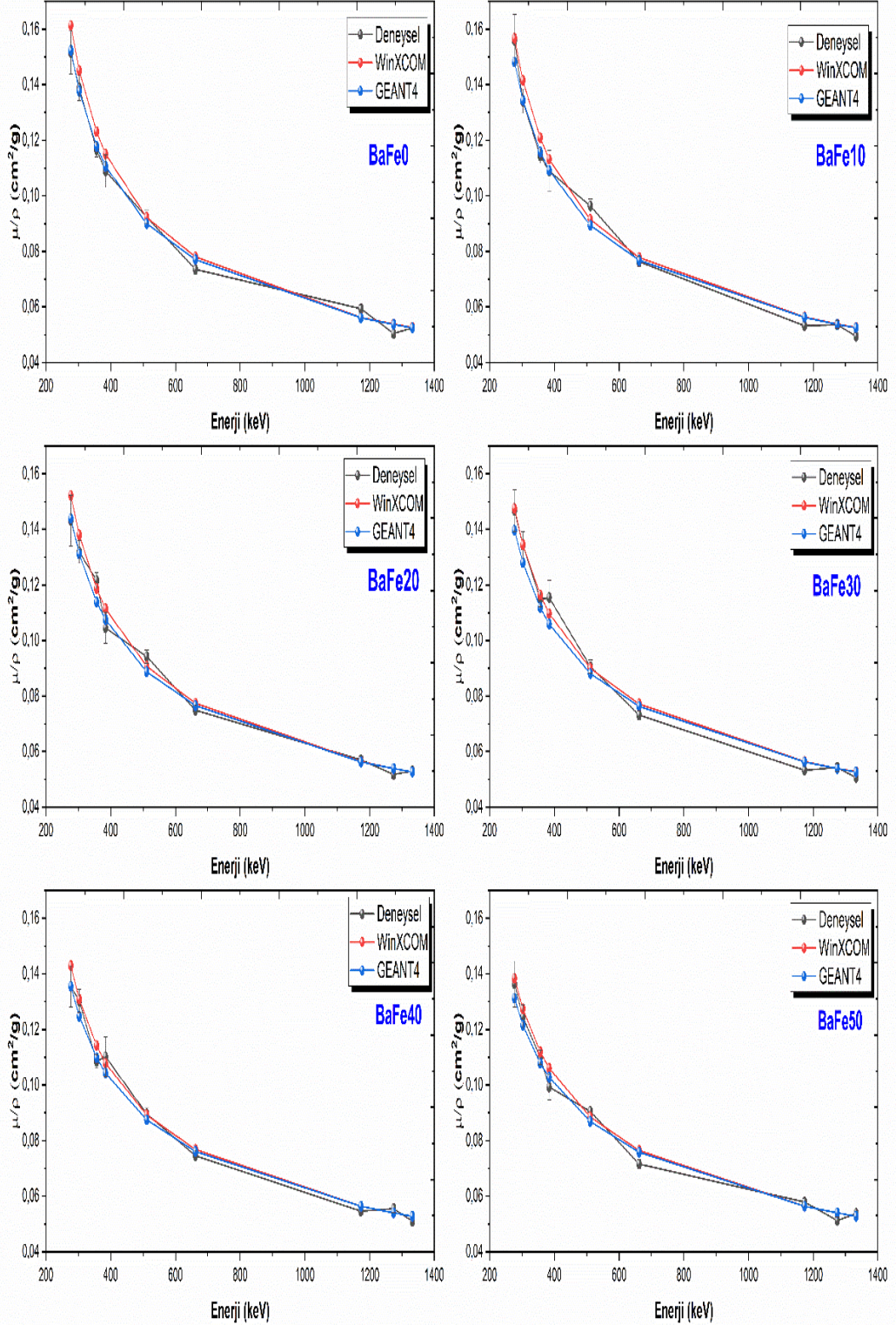
Şekil 4.12. Sn metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 simülasyonu ile elde edilen kütle azaltma katsayısı değerlerinin enerjiye göre değişimi



Şekil 4.13. Zn metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 simülasyonu ile elde edilen kütle azaltma katsayısı değerlerinin enerjiye göre değişimi



Şekil 4.14. Bi metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 simülasyonu ile elde edilen kütle azaltma katsayısı değerlerinin enerjiye göre değişimi



Şekil 4.15. Fe metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 simülasyonu ile elde edilen kütle azaltma katsayısı değerlerinin enerjiye göre değişimi

4.4. Lineer Azaltma Katsayısının (μ) Parametresine Ait Araştırma Bulguları

Lineer azaltma katsayısı, malzemenin birim kalınlık başına gelen foton ile etkileşme ihtimaliyetinin bir ölçüsüdür. Lineer azaltma katsayısı foton enerjisinin yanında malzemenin kimyasal içeriğine ve yoğunluğuna da yani maddenin faz haline bağlıdır. Bu parametre denklem 2.50 yardımıyla hesaplanabilir. Ayrıca, kütle azaltma katsayısının malzemenin yoğunluğu ile çarpımından da belirlenebilmektedir. Hazırlanan üçlü polimer kompozit malzemelerin deneysel lineer azaltma katsayısı değerleri, WinXCOM programı yardımıyla belirlenen teorik değerleri ve GEANT4 simülasyonu kodu yardımıyla belirlenen değerler aşağıda sunulan tablo ve şekillerde karşılaştırılmıştır. Hazırlanan üçlü polimer kompozit malzemelerin lineer azaltma katsayısı değerleri Tablo 4.16-4.20’de verilmiştir ve bu parametrenin foton enerjisi ile değişim grafikleri Şekil 4.16-4.20’de verilmiştir.

Tablo 4.16. Barit tabanlı molibden ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin lineer azaltma katsayısı (μ , cm^{-1}) değerleri

Enerji (keV)	BaMo0			BaMo10		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	0,4367 $\pm$ 0,0235	0,4488	0,4237	0,4318 $\pm$ 0,0257	0,4567	0,4306
302,9	0,4038 $\pm$ 0,0144	0,4036	0,3827	0,3935 $\pm$ 0,0138	0,4112	0,3894
356,0	0,3292 $\pm$ 0,0075	0,3425	0,3276	0,3376 $\pm$ 0,0078	0,3496	0,3341
383,9	0,3037 $\pm$ 0,0174	0,3200	0,3080	0,3185 $\pm$ 0,0183	0,3268	0,3143
511,0	0,2597 $\pm$ 0,0069	0,2567	0,2504	0,2558 $\pm$ 0,0066	0,2628	0,2562
661,7	0,2051 $\pm$ 0,0045	0,2173	0,2144	0,2094 $\pm$ 0,0046	0,2227	0,2197
1173,2	0,1531 $\pm$ 0,0036	0,1567	0,1564	0,1584 $\pm$ 0,0037	0,1608	0,1605
1274,5	0,1478 $\pm$ 0,0038	0,1499	0,1496	0,1461 $\pm$ 0,0037	0,1538	0,1535
1332,5	0,1404 $\pm$ 0,0032	0,1464	0,1461	0,1431 $\pm$ 0,0032	0,1503	0,1500
Enerji (keV)	BaMo20			BaMo30		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	0,4426 $\pm$ 0,0280	0,4651	0,4379	0,4515 $\pm$ 0,0268	0,4740	0,4456
302,9	0,4214 $\pm$ 0,0137	0,4192	0,3966	0,4177 $\pm$ 0,0140	0,4277	0,4041
356,0	0,3592 $\pm$ 0,0082	0,3570	0,3409	0,3493 $\pm$ 0,0081	0,3650	0,3482
383,9	0,3207 $\pm$ 0,0182	0,3341	0,3210	0,3352 $\pm$ 0,0212	0,3417	0,3281
511,0	0,2826 $\pm$ 0,0074	0,2692	0,2624	0,2802 $\pm$ 0,0074	0,2759	0,2689
661,7	0,2230 $\pm$ 0,0049	0,2284	0,2253	0,2282 $\pm$ 0,0050	0,2345	0,2312
1173,2	0,1593 $\pm$ 0,0037	0,1652	0,1648	0,1644 $\pm$ 0,0039	0,1698	0,1694
1274,5	0,1535 $\pm$ 0,0040	0,1580	0,1577	0,1566 $\pm$ 0,0040	0,1624	0,1621
1332,5	0,1478 $\pm$ 0,0033	0,1543	0,1541	0,1522 $\pm$ 0,0034	0,1587	0,1584
Enerji (keV)	BaMo40			BaMo50		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	0,4997 $\pm$ 0,0258	0,4834	0,4539	0,4735 $\pm$ 0,0294	0,4935	0,4626
302,9	0,4192 $\pm$ 0,0141	0,4368	0,4122	0,4259 $\pm$ 0,0142	0,4464	0,4207
356,0	0,3533 $\pm$ 0,0080	0,3734	0,3558	0,3598 $\pm$ 0,0083	0,3824	0,3641
383,9	0,3370 $\pm$ 0,0184	0,3499	0,3357	0,3685 $\pm$ 0,0267	0,3586	0,3437
511,0	0,2944 $\pm$ 0,0077	0,2832	0,2758	0,3020 $\pm$ 0,0079	0,2908	0,2832
661,7	0,2324 $\pm$ 0,0052	0,2409	0,2375	0,2389 $\pm$ 0,0052	0,2478	0,2443
1173,2	0,1782 $\pm$ 0,0041	0,1747	0,1743	0,1840 $\pm$ 0,0043	0,1799	0,1795
1274,5	0,1622 $\pm$ 0,0042	0,1671	0,1668	0,1758 $\pm$ 0,0045	0,1721	0,1718
1332,5	0,1560 $\pm$ 0,0035	0,1633	0,1630	0,1736 $\pm$ 0,0039	0,1682	0,1679

Tablo 4.17. Barit tabanlı kalay ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin lineer azaltma katsayısı (μ, cm^{-1}) değerleri

Enerji (keV)	BaSn0			BaSn10		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	0,4239±0,0191	0,4488	0,4237	0,4416±0,0214	0,4601	0,4335
302,9	0,4094±0,0114	0,4036	0,3827	0,3957±0,0117	0,4133	0,3911
356,0	0,3336±0,0075	0,3425	0,3276	0,3607±0,0082	0,3500	0,3342
383,9	0,3253±0,0160	0,3200	0,3080	0,3106±0,0172	0,3267	0,3140
511,0	0,2638±0,0068	0,2567	0,2504	0,2508±0,0065	0,2616	0,2548
661,7	0,2213±0,0048	0,2173	0,2144	0,2182±0,0048	0,2211	0,2180
1173,2	0,1546±0,0036	0,1567	0,1564	0,1671±0,0039	0,1593	0,1589
1274,5	0,1451±0,0037	0,1499	0,1496	0,1442±0,0037	0,1523	0,1520
1332,5	0,1394±0,0031	0,1464	0,1461	0,1451±0,0032	0,1488	0,1485
Enerji (keV)	BaSn20			BaSn30		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	0,4454±0,0251	0,4720	0,4437	0,4928±0,0237	0,4843	0,4544
302,9	0,4081±0,0126	0,4233	0,3998	0,4554±0,0137	0,4338	0,4089
356,0	0,3424±0,0078	0,3578	0,3410	0,3590±0,0083	0,3659	0,3481
383,9	0,3412±0,0181	0,3338	0,3202	0,3352±0,0165	0,3411	0,3266
511,0	0,2530±0,0066	0,2666	0,2594	0,2554±0,0067	0,2718	0,2642
661,7	0,2294±0,0050	0,2251	0,2217	0,2332±0,0051	0,2292	0,2256
1173,2	0,1548±0,0036	0,1619	0,1615	0,1555±0,0036	0,1647	0,1642
1274,5	0,1460±0,0037	0,1548	0,1545	0,1526±0,0038	0,1574	0,1570
1332,5	0,1452±0,0032	0,1512	0,1509	0,1531±0,0034	0,1538	0,1534
Enerji (keV)	BaSn40			BaSn50		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	0,4925±0,0273	0,4971	0,4654	0,4791±0,0223	0,5105	0,4769
302,9	0,4283±0,0142	0,4447	0,4183	0,4536±0,0139	0,4552	0,4281
356,0	0,3575±0,0083	0,3744	0,3555	0,3870±0,0087	0,3844	0,3632
383,9	0,3396±0,0188	0,3487	0,3334	0,3738±0,0188	0,3568	0,3404
511,0	0,2853±0,0073	0,2772	0,2692	0,2687±0,0071	0,2829	0,2744
661,7	0,2372±0,0052	0,2335	0,2297	0,2410±0,0053	0,2380	0,2339
1173,2	0,1617±0,0037	0,1675	0,1670	0,1599±0,0037	0,1704	0,1699
1274,5	0,1589±0,0040	0,1602	0,1597	0,1564±0,0040	0,1630	0,1625
1332,5	0,1501±0,0033	0,1564	0,1560	0,1524±0,0034	0,1593	0,1588

Tablo 4.18. Barit tabanlı çinko ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin lineer azaltma katsayısı (μ , cm^{-1}) değerleri

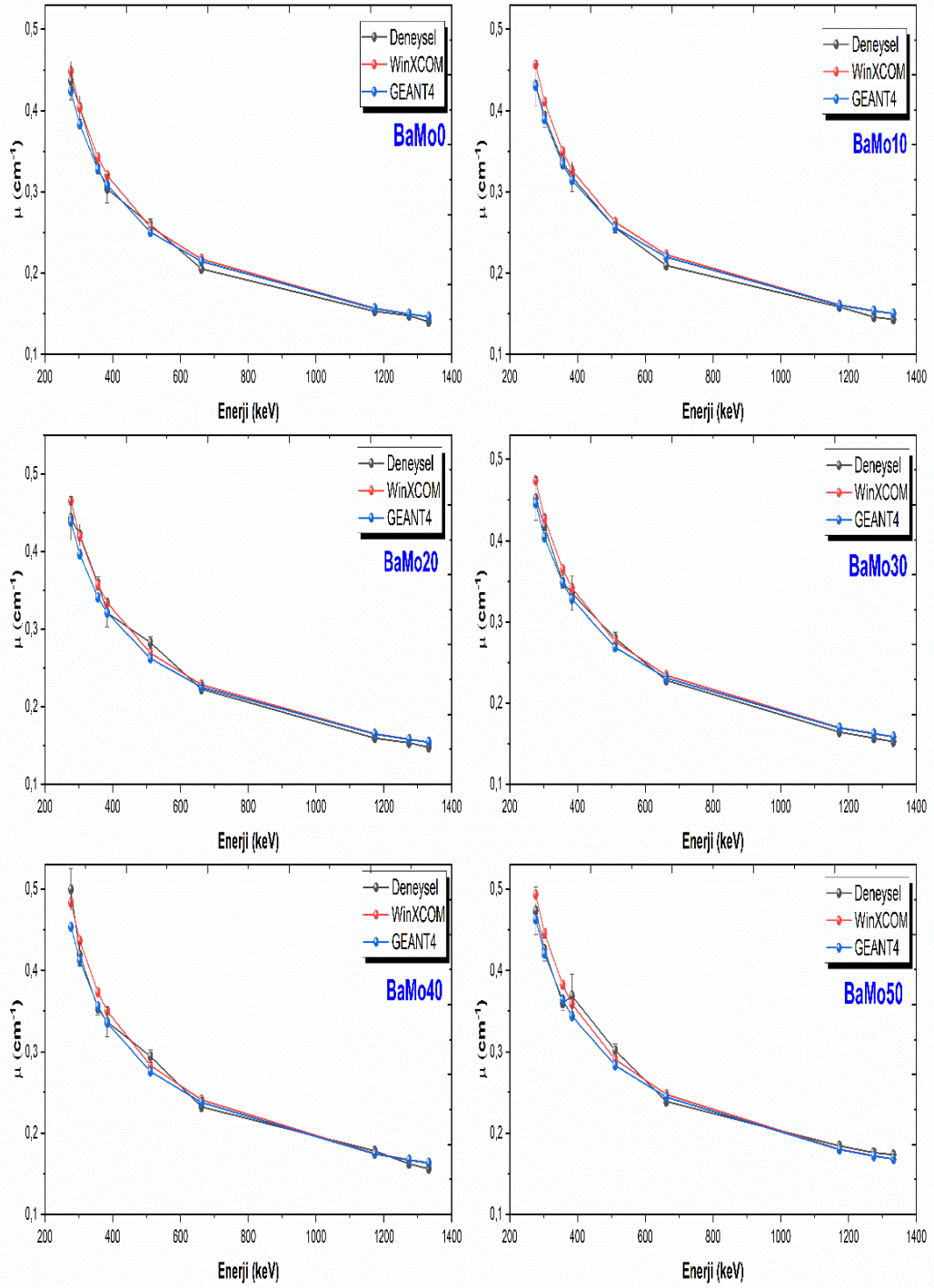
Enerji (keV)	BaZn0			BaZn10		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	0,4765±0,0228	0,4488	0,4237	0,4200±0,0215	0,4454	0,4206
302,9	0,4005±0,0134	0,4036	0,3827	0,3847±0,0126	0,4020	0,3814
356,0	0,3308±0,0076	0,3425	0,3276	0,3327±0,0077	0,3431	0,3284
383,9	0,3011±0,0166	0,3200	0,3080	0,3099±0,0170	0,3213	0,3094
511,0	0,2555±0,0066	0,2567	0,2504	0,2682±0,0069	0,2594	0,2533
661,7	0,2086±0,0046	0,2173	0,2144	0,2125±0,0047	0,2204	0,2176
1173,2	0,1507±0,0035	0,1567	0,1564	0,1535±0,0036	0,1596	0,1593
1274,5	0,1447±0,0037	0,1499	0,1496	0,1472±0,0038	0,1526	0,1524
1332,5	0,1399±0,0032	0,1464	0,1461	0,1447±0,0032	0,1491	0,1489
Enerji (keV)	BaZn20			BaZn30		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	0,4305±0,0260	0,4419	0,4174	0,4193±0,0237	0,4382	0,4141
302,9	0,3803±0,0135	0,4004	0,3800	0,3884±0,0127	0,3986	0,3786
356,0	0,3284±0,0077	0,3437	0,3293	0,3364±0,0078	0,3443	0,3301
383,9	0,3097±0,0203	0,3226	0,3110	0,3063±0,0194	0,3239	0,3125
511,0	0,2774±0,0072	0,2622	0,2562	0,2703±0,0071	0,2651	0,2593
661,7	0,2126±0,0046	0,2236	0,2209	0,2127±0,0048	0,2270	0,2244
1173,2	0,1557±0,0036	0,1625	0,1623	0,1636±0,0038	0,1656	0,1654
1274,5	0,1479±0,0038	0,1555	0,1553	0,1567±0,0040	0,1585	0,1583
1332,5	0,1448±0,0033	0,1519	0,1517	0,1472±0,0033	0,1548	0,1547
Enerji (keV)	BaZn40			BaZn50		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	0,4168±0,0221	0,4344	0,4107	0,4108±0,0211	0,4305	0,4071
302,9	0,3715±0,0128	0,3969	0,3772	0,3751±0,0132	0,3950	0,3756
356,0	0,3345±0,0076	0,3449	0,3310	0,3243±0,0076	0,3456	0,3320
383,9	0,3090±0,0167	0,3253	0,3141	0,3072±0,0189	0,3268	0,3158
511,0	0,2548±0,0066	0,2681	0,2625	0,2796±0,0072	0,2713	0,2659
661,7	0,2174±0,0048	0,2304	0,2280	0,2353±0,0051	0,2340	0,2317
1173,2	0,1607±0,0037	0,1688	0,1686	0,1623±0,0038	0,1721	0,1720
1274,5	0,1524±0,0039	0,1615	0,1615	0,1589±0,0040	0,1647	0,1647
1332,5	0,1500±0,0034	0,1578	0,1578	0,1562±0,0035	0,1610	0,1610

Tablo 4.19. Barit tabanlı bizmut ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin lineer azaltma katsayısı (μ , cm^{-1}) değerleri

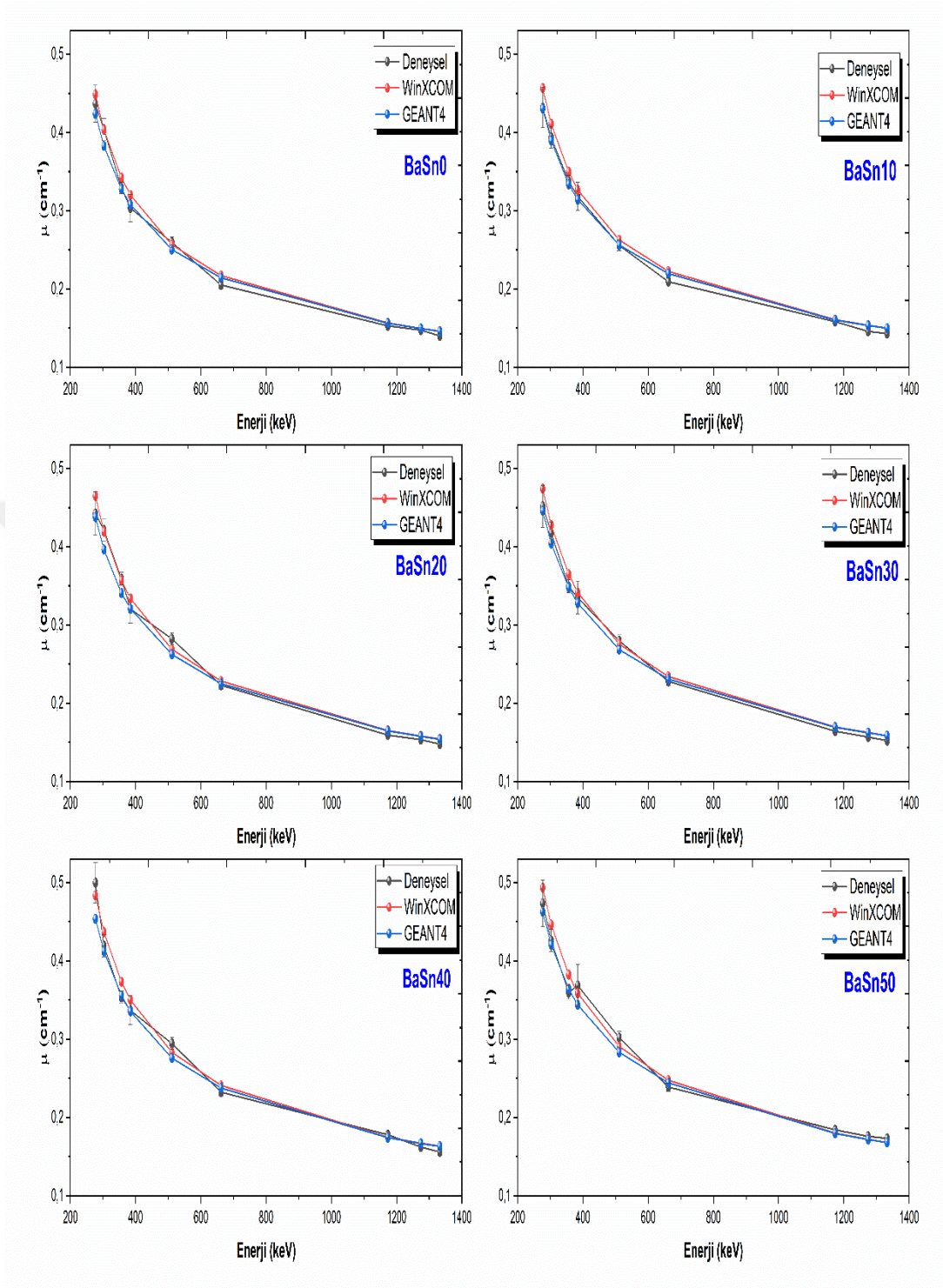
Enerji (keV)	BaBi0			BaBi10		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	0,4205±0,0203	0,4488	0,4237	0,5115±0,0286	0,5346	0,5029
302,9	0,3815±0,0129	0,4036	0,3827	0,4513±0,0126	0,4728	0,4463
356,0	0,3367±0,0075	0,3425	0,3276	0,3755±0,0085	0,3904	0,3713
383,9	0,3395±0,0184	0,3200	0,3080	0,3764±0,0184	0,3605	0,3451
511,0	0,2449±0,0064	0,2567	0,2504	0,2786±0,0072	0,2792	0,2709
661,7	0,2048±0,0045	0,2173	0,2144	0,2179±0,0048	0,2313	0,2273
1173,2	0,1488±0,0034	0,1567	0,1564	0,1553±0,0036	0,1628	0,1621
1274,5	0,1467±0,0037	0,1499	0,1496	0,1508±0,0038	0,1554	0,1548
1332,5	0,1382±0,0031	0,1464	0,1461	0,1445±0,0032	0,1517	0,1511
Enerji (keV)	BaBi20			BaBi30		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	0,5947±0,0332	0,6254	0,5866	0,7135±0,0372	0,7214	0,6753
302,9	0,5233±0,0179	0,5459	0,5134	0,5962±0,0217	0,6233	0,5845
356,0	0,4406±0,0101	0,4409	0,4175	0,4872±0,0110	0,4945	0,4663
383,9	0,4200±0,0192	0,4034	0,3843	0,4728±0,0268	0,4487	0,4258
511,0	0,3079±0,0079	0,3029	0,2926	0,3194±0,0084	0,3281	0,3155
661,7	0,2388±0,0052	0,2461	0,2409	0,2537±0,0056	0,2618	0,2553
1173,2	0,1683±0,0039	0,1692	0,1681	0,1722±0,0040	0,1759	0,1745
1274,5	0,1566±0,0039	0,1612	0,1603	0,1719±0,0043	0,1674	0,1662
1332,5	0,1488±0,0033	0,1573	0,1564	0,1589±0,0035	0,1632	0,1621
Enerji (keV)	BaBi40			BaBi50		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	0,7913±0,0601	0,8233	0,7692	0,9867±0,0620	0,9314	0,8691
302,9	0,6781±0,0244	0,7054	0,6599	0,7929±0,0305	0,7926	0,7400
356,0	0,5307±0,0125	0,5513	0,5182	0,5938±0,0138	0,6116	0,5732
383,9	0,5010±0,0282	0,4968	0,4699	0,5358±0,0321	0,5478	0,5166
511,0	0,3444±0,0094	0,3547	0,3398	0,3869±0,0102	0,3830	0,3656
661,7	0,2617±0,0057	0,2784	0,2705	0,3114±0,0069	0,2961	0,2867
1173,2	0,1749±0,0040	0,1831	0,1812	0,1788±0,0041	0,1907	0,1884
1274,5	0,1833±0,0047	0,1739	0,1724	0,1694±0,0043	0,1809	0,1790
1332,5	0,1656±0,0037	0,1695	0,1680	0,1777±0,0040	0,1761	0,1743

Tablo 4.20. Barit tabanlı demir ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin lineer azaltma katsayısı (μ , cm^{-1}) değerleri

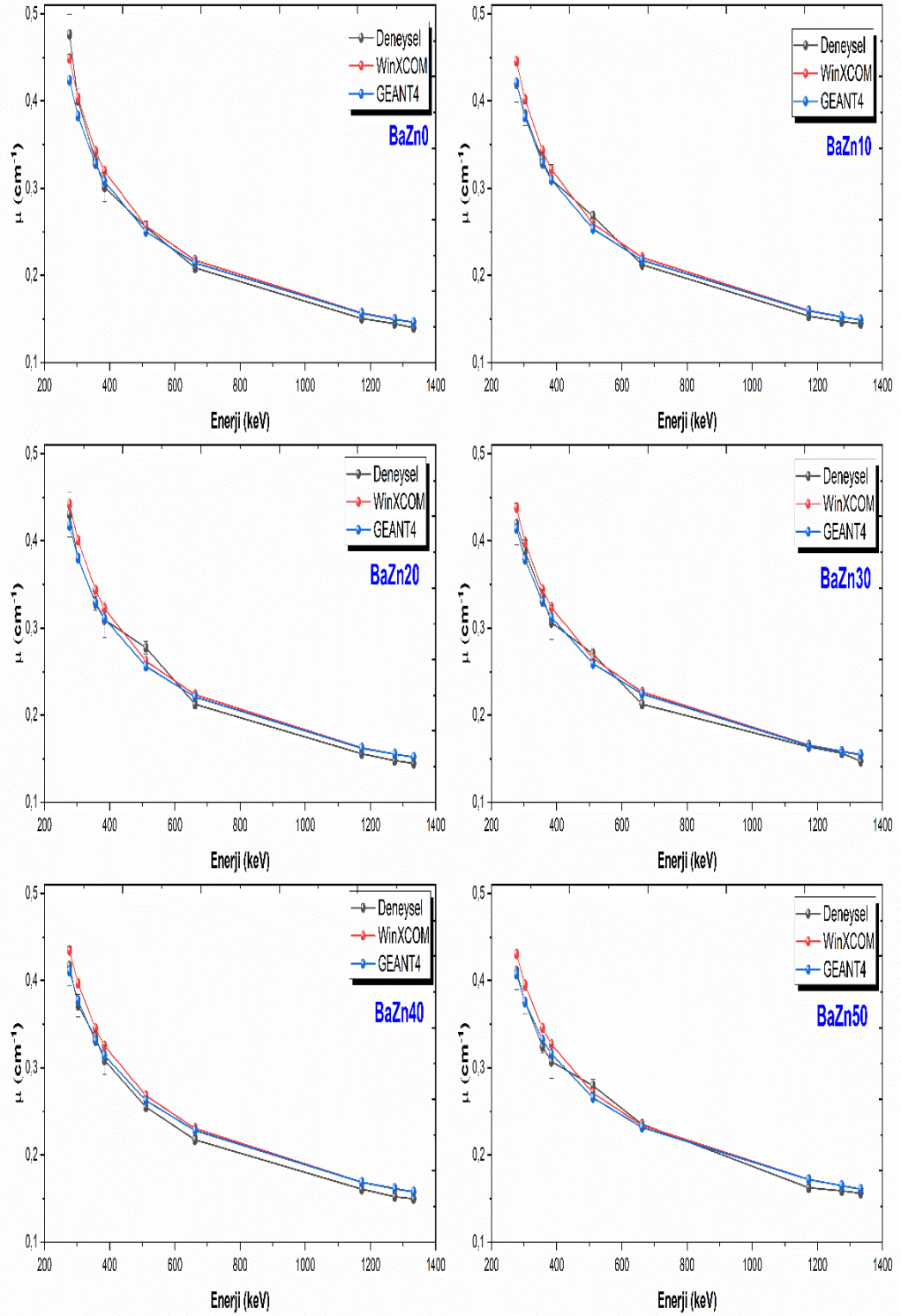
Enerji (keV)	BaFe0			BaFe10		
	Deneysel	WinX.	GEANT4	Deneysel	WinX.	GEANT4
276,4	0,4216±0,0218	0,4488	0,4237	0,4430±0,0268	0,4454	0,4208
302,9	0,3859±0,0125	0,4036	0,3827	0,3809±0,0124	0,4022	0,3818
356,0	0,3244±0,0074	0,3425	0,3276	0,3250±0,0074	0,3435	0,3290
383,9	0,3029±0,0162	0,3200	0,3080	0,3096±0,0209	0,3218	0,3101
511,0	0,2570±0,0067	0,2567	0,2504	0,2739±0,0071	0,2601	0,2540
661,7	0,2047±0,0045	0,2173	0,2144	0,2170±0,0047	0,2211	0,2183
1173,2	0,1651±0,0039	0,1567	0,1564	0,1514±0,0035	0,1602	0,1598
1274,5	0,1406±0,0036	0,1499	0,1496	0,1526±0,0039	0,1532	0,1530
1332,5	0,1462±0,0033	0,1464	0,1461	0,1409±0,0032	0,1496	0,1494
Enerji (keV)	BaFe20			BaFe30		
	Deneysel	WinX.	GEANT4	Deneysel	WinX.	GEANT4
276,4	0,4156±0,0267	0,4418	0,4179	0,4358±0,0225	0,4381	0,4148
302,9	0,3831±0,0119	0,4007	0,3809	0,3992±0,0140	0,3992	0,3799
356,0	0,3530±0,0081	0,3446	0,3305	0,3410±0,0078	0,3457	0,3321
383,9	0,3037±0,0162	0,3236	0,3123	0,3428±0,0186	0,3256	0,3146
511,0	0,2736±0,0071	0,2636	0,2578	0,2692±0,0071	0,2673	0,2617
661,7	0,2176±0,0047	0,2250	0,2224	0,2173±0,0047	0,2291	0,2267
1173,2	0,1657±0,0039	0,1637	0,1635	0,1582±0,0037	0,1675	0,1673
1274,5	0,1503±0,0038	0,1566	0,1565	0,1611±0,0041	0,1602	0,1601
1332,5	0,1539±0,0035	0,1530	0,1529	0,1502±0,0034	0,1566	0,1565
Enerji (keV)	BaFe40			BaFe50		
	Deneysel	WinX.	GEANT4	Deneysel	WinX.	GEANT4
276,4	0,4116±0,0224	0,4342	0,4115	0,4240±0,0255	0,4301	0,4081
302,9	0,3957±0,0125	0,3976	0,3788	0,3872±0,0130	0,3960	0,3778
356,0	0,3298±0,0075	0,3469	0,3337	0,3420±0,0078	0,3481	0,3353
383,9	0,3348±0,0218	0,3276	0,3170	0,3087±0,0145	0,3298	0,3195
511,0	0,2724±0,0072	0,2711	0,2658	0,2814±0,0073	0,2751	0,2701
661,7	0,2265±0,0050	0,2334	0,2312	0,2226±0,0049	0,2379	0,2359
1173,2	0,1660±0,0039	0,1714	0,1713	0,1803±0,0042	0,1754	0,1754
1274,5	0,1688±0,0043	0,1640	0,1640	0,1594±0,0040	0,1680	0,1680
1332,5	0,1552±0,0035	0,1603	0,1602	0,1674±0,0038	0,1641	0,1642



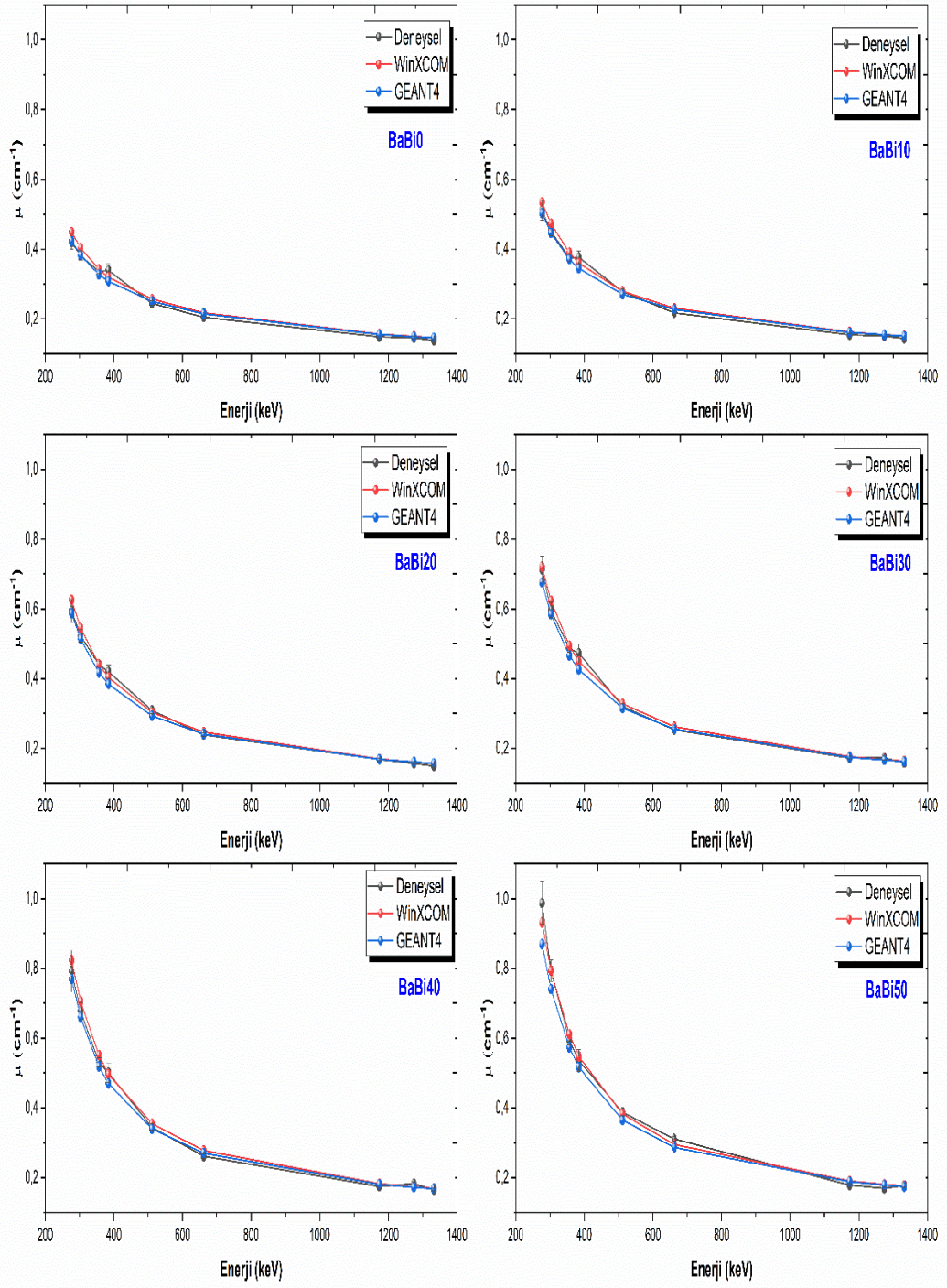
Şekil 4.16. Mo metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 simülasyonu ile elde edilen lineer azaltma katsayısı değerlerinin enerjiye göre değişimi



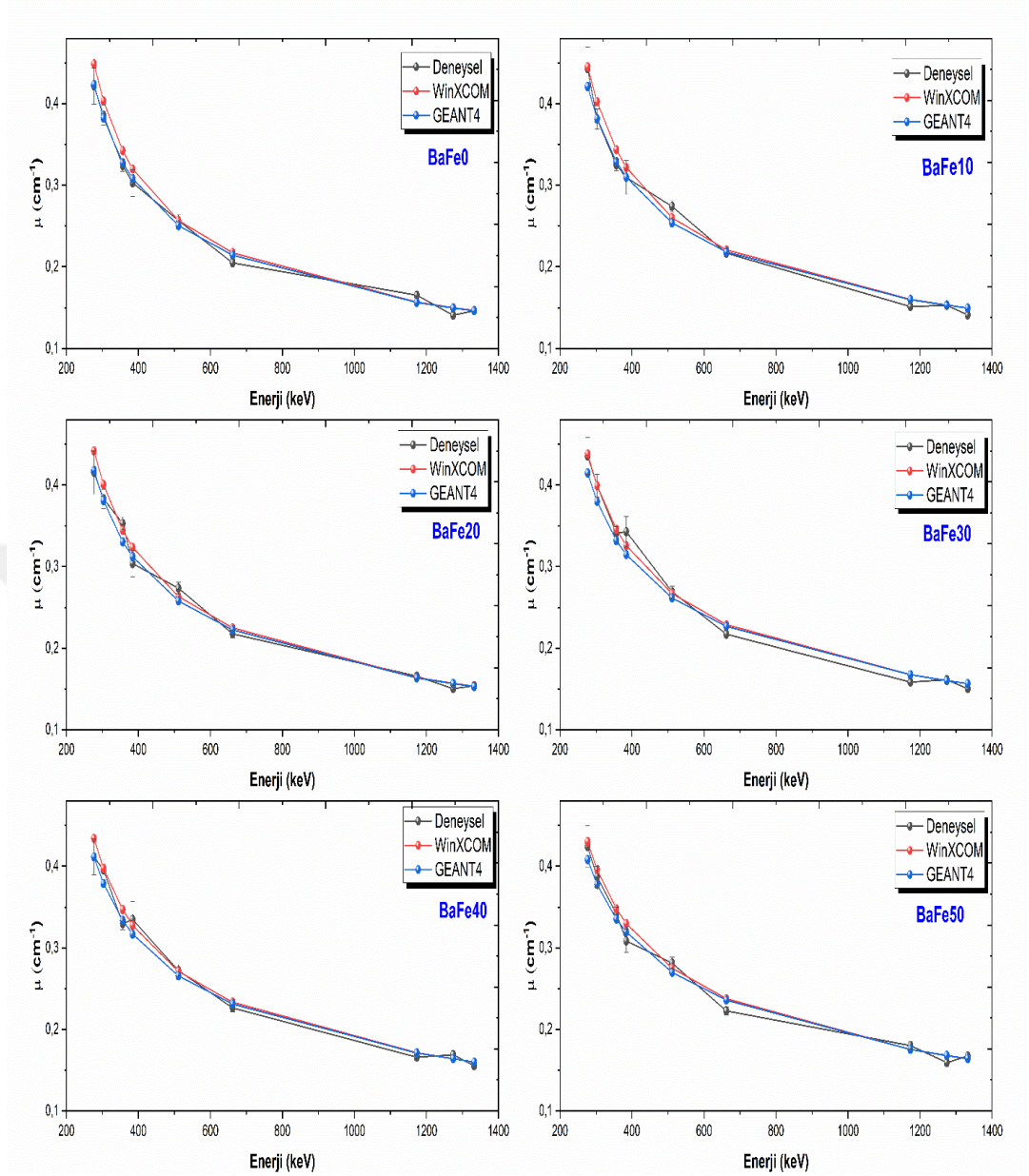
Şekil 4.17. Sn metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 simülasyonu ile elde edilen lineer azaltma katsayısı değerlerinin enerjiye göre değişimi



Şekil 4.18. Zn metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 simülasyonu ile elde edilen lineer azaltma katsayısı değerlerinin enerjiye göre değişimi



Şekil 4.19. Bi metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen lineer azaltma katsayısı değerlerinin enerjiye göre değişimi



Şekil 4.20. Fe metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 simülasyonu ile elde edilen lineer azaltma katsayısı değerlerinin enerjiye göre değişimi

4.5. Yarı Kalınlık Değeri (YKD) Parametresine Ait Araştırma Bulguları

Yarı kalınlık değeri (YKD, cm) başlangıç radyasyon şiddetini yarı değerine düşürmek için gerekli olan malzeme kalınlığını belirlememizi sağlamaktadır. Farklı oranlarda hazırlanan üçlü polimer kompozitlerin yarı kalınlık değerleri denklem 2.51 yardımıyla hesaplanmıştır. Bu üçlü kompozitlerin deneysel, WinXCOM programı ve GEANT4 simülasyon yardımıyla hesaplanan yarı kalınlık değerlerinin sonuçlar Tablo 4.21-

4.25'te verilmiştir. Yarı kalınlık değerlerinin foton enerjisine göre değişim grafikleri Şekil 4.21-4.25'te verilmiştir.

Tablo 4.21. Barit tabanlı ve molibden ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin yarı kalınlık (YKD, cm) değerleri

Enerji (keV)	BaMo0			BaMo10		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	1,5873±0,0854	1,5445	1,6360	1,6051±0,0956	1,5177	1,6098
302,9	1,7164±0,0611	1,7175	1,8113	1,7614±0,0618	1,6858	1,7800
356,0	2,1055±0,0483	2,0238	2,1157	2,0533±0,0475	1,9829	2,0749
383,9	2,2824±0,1310	2,1662	2,2506	2,1762±0,1254	2,1208	2,2054
511,0	2,6691±0,0706	2,7000	2,7679	2,7092±0,0694	2,6379	2,7052
661,7	3,3787±0,0741	3,1892	3,2327	3,3101±0,0727	3,1119	3,1549
1173,2	4,5260±0,1055	4,4222	4,4327	4,3770±0,1018	4,3093	4,3196
1274,5	4,6901±0,1194	4,6246	4,6337	4,7430±0,1208	4,5062	4,5147
1332,5	4,9369±0,1111	4,7348	4,7436	4,8425±0,1087	4,6132	4,6215
Enerji (keV)	BaMo20			BaMo30		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	1,5660±0,0992	1,4904	1,5829	1,5353±0,0912	1,4624	1,5554
302,9	1,6447±0,0534	1,6535	1,7478	1,6594±0,0557	1,6206	1,7151
356,0	1,9298±0,0442	1,9414	2,0332	1,9843±0,0460	1,8992	1,9909
383,9	2,1614±0,1223	2,0749	2,1593	2,0679±0,1310	2,0283	2,1124
511,0	2,4530±0,0644	2,5752	2,6418	2,4741±0,0649	2,5119	2,5778
661,7	3,1084±0,0677	3,0341	3,0766	3,0374±0,0663	2,9558	2,9976
1173,2	4,3514±0,1019	4,1960	4,2058	4,2161±0,0989	4,0821	4,0916
1274,5	4,5166±0,1163	4,3872	4,3952	4,4255±0,1130	4,2678	4,2753
1332,5	4,6901±0,1056	4,4912	4,4990	4,5549±0,1026	4,3686	4,3758
Enerji (keV)	BaMo40			BaMo50		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	1,3871±0,0717	1,4339	1,5272	1,4637±0,0907	1,4047	1,4982
302,9	1,6534±0,0557	1,5870	1,6817	1,6274±0,0544	1,5528	1,6475
356,0	1,9617±0,0445	1,8564	1,9479	1,9266±0,0445	1,8128	1,9039
383,9	2,0571±0,1122	1,9810	2,0650	1,8808±0,1364	1,9330	2,0166
511,0	2,3548±0,0619	2,4479	2,5130	2,2950±0,0601	2,3833	2,4476
661,7	2,9819±0,0662	2,8768	2,9179	2,9018±0,0634	2,7973	2,8377
1173,2	3,8908±0,0905	3,9676	3,9767	3,7674±0,0878	3,8526	3,8615
1274,5	4,2731±0,1098	4,1478	4,1548	3,9436±0,1007	4,0272	4,0338
1332,5	4,4444±0,1003	4,2455	4,2522	3,9930±0,0902	4,1219	4,1280

Tablo 4.22. Barit tabanlı ve kalay ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin yarı kalınlık (YKD, cm) değerleri

Enerji (keV)	BaSn0			BaSn10		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	1,6350±0,0735	1,5445	1,6360	1,5695±0,0759	1,5064	1,5989
302,9	1,6932±0,0473	1,7175	1,8113	1,7515±0,0516	1,6773	1,7724
356,0	2,0775±0,0466	2,0238	2,1157	1,9219±0,0436	1,9804	2,0742
383,9	2,1310±0,1051	2,1662	2,2506	2,2320±0,1234	2,1214	2,2077
511,0	2,6276±0,0674	2,7000	2,7679	2,7639±0,0711	2,6501	2,7199
661,7	3,1318±0,0683	3,1892	3,2328	3,1762±0,0694	3,1343	3,1794
1173,2	4,4846±0,1040	4,4222	4,4328	4,1473±0,0957	4,3518	4,3632
1274,5	4,7785±0,1214	4,6246	4,6337	4,8052±0,1219	4,5512	4,5608
1332,5	4,9728±0,1101	4,7348	4,7437	4,7755±0,1058	4,6596	4,6690
Enerji (keV)	BaSn20			BaSn30		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	1,5562±0,0877	1,4686	1,5621	1,4066±0,0675	1,4313	1,5256
302,9	1,6984±0,0524	1,6374	1,7337	1,5220±0,0457	1,5979	1,6953
356,0	2,0242±0,0460	1,9372	2,0327	1,9309±0,0446	1,8942	1,9910
383,9	2,0315±0,1077	2,0767	2,1650	2,0678±0,1020	2,0322	2,1221
511,0	2,7393±0,0719	2,6002	2,6718	2,7143±0,0714	2,5502	2,6235
661,7	3,0213±0,0660	3,0792	3,1259	2,9728±0,0649	3,0239	3,0719
1173,2	4,4767±0,1038	4,2810	4,2931	4,4572±0,1029	4,2097	4,2225
1274,5	4,7488±0,1200	4,4773	4,4876	4,5422±0,1141	4,4029	4,4138
1332,5	4,7749±0,1057	4,5839	4,5938	4,5289±0,1008	4,5077	4,5181
Enerji (keV)	BaSn40			BaSn50		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	1,4075±0,0780	1,3944	1,4893	1,4467±0,0673	1,3577	1,4533
302,9	1,6182±0,0538	1,5587	1,6571	1,5282±0,0469	1,5228	1,6190
356,0	1,9390±0,0449	1,8514	1,9496	1,7912±0,0404	1,8030	1,9082
383,9	2,0412±0,1133	1,9879	2,0792	1,8544±0,0934	1,9429	2,0365
511,0	2,4295±0,0622	2,5002	2,5750	2,5794±0,0683	2,4498	2,5263
661,7	2,9221±0,0643	2,9684	3,0178	2,8762±0,0633	2,9119	2,9633
1173,2	4,2853±0,0987	4,1379	4,1514	4,3341±0,1004	4,0682	4,0799
1274,5	4,3627±0,1100	4,3281	4,3394	4,4307±0,1123	4,2525	4,2646
1332,5	4,6183±0,1027	4,4311	4,4419	4,5475±0,1013	4,3510	4,3652

Tablo 4.23. Barit tabanlı ve çinko ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin yarı kalınlık (YKD, cm) değerleri

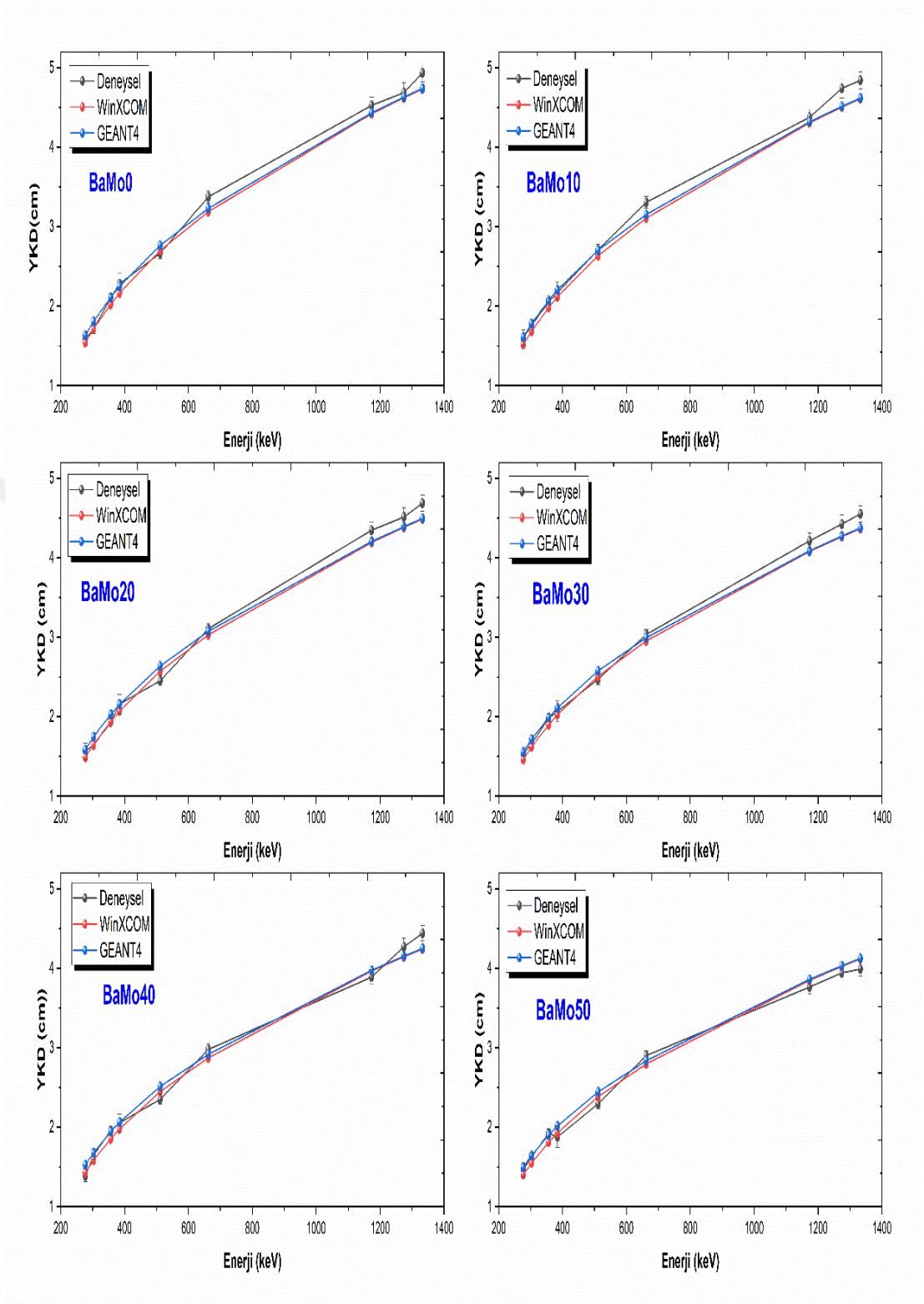
Enerji (keV)	BaZn0			BaZn10		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	1,4547±0,0695	1,5445	1,6360	1,6505±0,0844	1,5563	1,6479
302,9	1,7308±0,0579	1,7175	1,8113	1,8017±0,0589	1,7243	1,8174
356,0	2,0952±0,0480	2,0238	2,1157	2,0836±0,0480	2,0204	2,1106
383,9	2,3021±0,1272	2,1662	2,2506	2,2367±0,1227	2,1576	2,2401
511,0	2,7126±0,0705	2,7000	2,7679	2,5843±0,0665	2,6719	2,7367
661,7	3,3228±0,0728	3,1892	3,2327	3,2626±0,0715	3,1445	3,1852
1173,2	4,6000±0,1072	4,4222	4,4327	4,5149±0,1052	4,3435	4,3522
1274,5	4,7903±0,1231	4,6246	4,6337	4,7103±0,1207	4,5413	4,5485
1332,5	4,9529±0,1117	4,7348	4,7436	4,7905±0,1075	4,6490	4,6561
Enerji (keV)	BaZn20			BaZn30		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	1,6103±0,0971	1,5687	1,6605	1,6530±0,0933	1,5818	1,6737
302,9	1,8227±0,0647	1,7313	1,8239	1,7847±0,0586	1,7388	1,8306
356,0	2,1109±0,0492	2,0169	2,1052	2,0604±0,0478	2,0132	2,0997
383,9	2,2379±0,1465	2,1489	2,2291	2,2633±0,1434	2,1399	2,2180
511,0	2,4985±0,0645	2,6435	2,7050	2,5643±0,0677	2,6145	2,6729
661,7	3,2600±0,0707	3,0994	3,1373	3,2592±0,0730	3,0540	3,0891
1173,2	4,4531±0,1034	4,2647	4,2716	4,2379±0,0994	4,1859	4,1910
1274,5	4,6871±0,1199	4,4579	4,4634	4,4240±0,1121	4,3745	4,3783
1332,5	4,7870±0,1077	4,5633	4,5686	4,7086±0,1058	4,4775	4,4810
Enerji (keV)	BaZn40			BaZn50		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	1,6632±0,0882	1,5956	1,6877	1,6875±0,0865	1,6103	1,7026
302,9	1,8659±0,0643	1,7466	1,8378	1,8478±0,0649	1,7547	1,8452
356,0	2,0722±0,0473	2,0095	2,0939	2,1374±0,0502	2,0055	2,0879
383,9	2,2435±0,1214	2,1306	2,2066	2,2563±0,1391	2,1210	2,1946
511,0	2,7204±0,0704	2,5851	2,6403	2,4789±0,0642	2,5551	2,6073
661,7	3,1877±0,0697	3,0081	3,0404	2,9459±0,0641	2,9619	2,9915
1173,2	4,3134±0,1003	4,1069	4,1104	4,2701±0,1001	4,0279	4,0298
1274,5	4,5496±0,1163	4,2911	4,2931	4,3625±0,1109	4,2076	4,2080
1332,5	4,6213±0,1038	4,3916	4,3936	4,4376±0,1004	4,3057	4,3062

Tablo 4.24. Barit tabanlı ve bizmut ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin yarı kalınlık (YKD, cm) değerleri

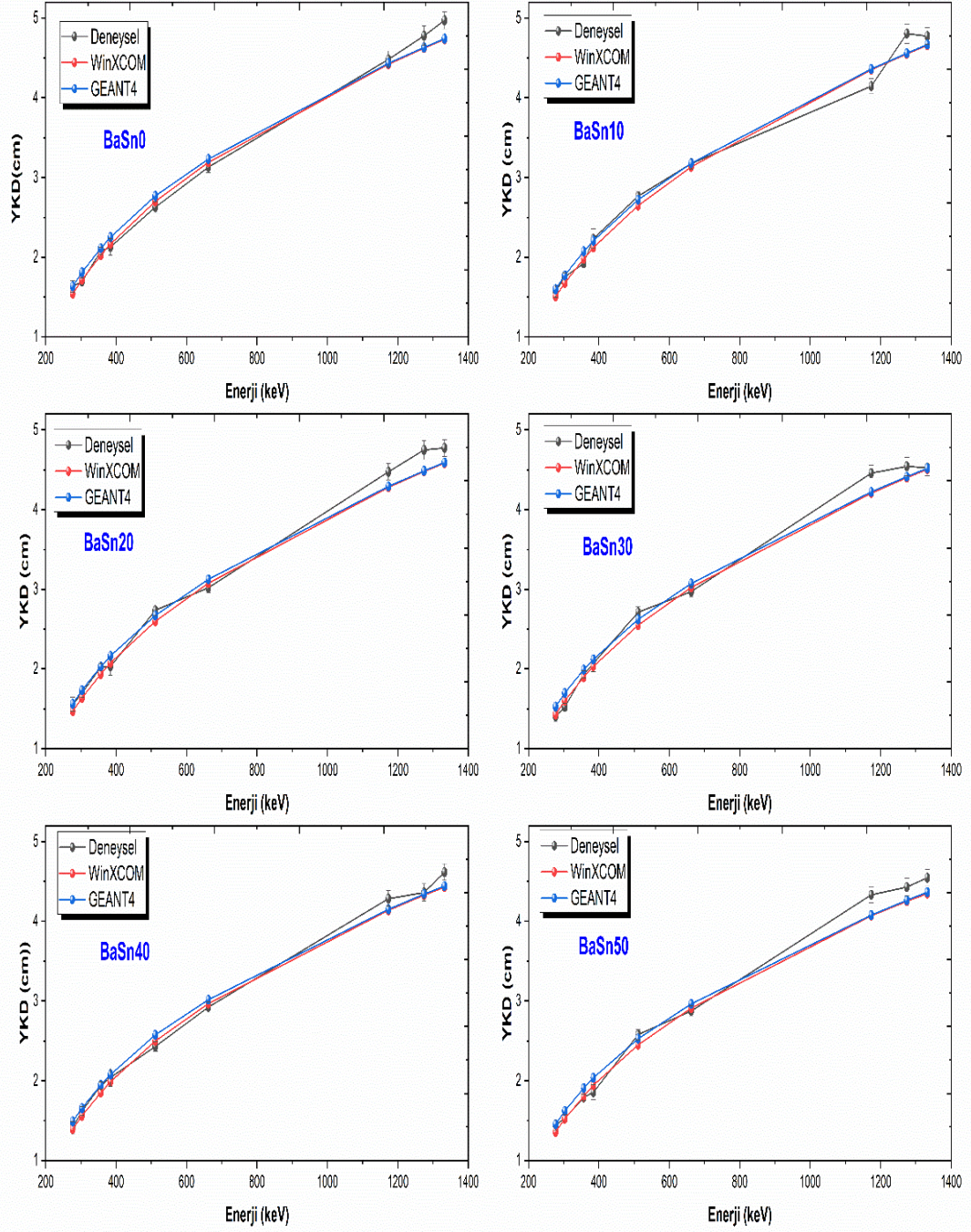
Enerji (keV)	BaBi0			BaBi10		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	1,6484±0,0796	1,5445	1,6360	1,3551±0,0756	1,2965	1,3783
302,9	1,8171±0,0614	1,7175	1,8113	1,5360±0,0429	1,4661	1,5533
356,0	2,0588±0,0462	2,0238	2,1157	1,8461±0,0418	1,7757	1,8667
383,9	2,0417±0,1107	2,1662	2,2506	1,8417±0,0898	1,9226	2,0085
511,0	2,8307±0,0736	2,7000	2,7679	2,4880±0,0641	2,4827	2,5586
661,7	3,3842±0,0748	3,1892	3,2327	3,1806±0,0699	2,9961	3,0497
1173,2	4,6582±0,1073	4,4222	4,4327	4,4628±0,1025	4,2580	4,2768
1274,5	4,7259±0,1202	4,6246	4,6337	4,5975±0,1156	4,4604	4,4771
1332,5	5,0160±0,1112	4,7348	4,7436	4,7985±0,1062	4,5697	4,5861
Enerji (keV)	BaBi20			BaBi30		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	1,1655±0,0651	1,1084	1,1815	0,9715±0,0507	0,9608	1,0265
302,9	1,3245±0,0453	1,2697	1,3500	1,1625±0,0423	1,1120	1,1858
356,0	1,5732±0,0362	1,5720	1,6604	1,4228±0,0322	1,4017	1,4864
383,9	1,6505±0,0755	1,7184	1,8036	1,4661±0,0831	1,5448	1,6277
511,0	2,2514±0,0577	2,2881	2,3693	2,1702±0,0571	2,1129	2,1972
661,7	2,9027±0,0636	2,8160	2,8776	2,7317±0,0604	2,6475	2,7154
1173,2	4,1196±0,0950	4,0972	4,1234	4,0244±0,0930	3,9397	3,9726
1274,5	4,4266±0,1111	4,2991	4,3228	4,0312±0,1017	4,1406	4,1706
1332,5	4,6579±0,1030	4,4073	4,4306	4,3630±0,0970	4,2476	4,2771
Enerji (keV)	BaBi40			BaBi50		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	0,8760±0,0665	0,8420	0,9011	0,7025±0,0441	0,7442	0,7976
302,9	1,0222±0,0368	0,9826	1,0503	0,8741±0,0336	0,8745	0,9367
356,0	1,3062±0,0308	1,2574	1,3377	1,1674±0,0272	1,1334	1,2092
383,9	1,3836±0,0780	1,3953	1,4752	1,2938±0,0775	1,2652	1,3417
511,0	2,0124±0,0546	1,9542	2,0402	1,7915±0,0473	1,8098	1,8961
661,7	2,6485±0,0580	2,4895	2,5622	2,2262±0,0495	2,3412	2,4174
1173,2	3,9640±0,0915	3,7854	3,8243	3,8768±0,0895	3,6342	3,6785
1274,5	3,7809±0,0964	3,9848	4,0205	4,0914±0,1028	3,8317	3,8725
1332,5	4,1869±0,0932	4,0904	4,1255	3,9003±0,0868	3,9357	3,9759

Tablo 4.25. Barit tabanlı ve demir ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin yarı kalınlık (YKD, cm) değerleri

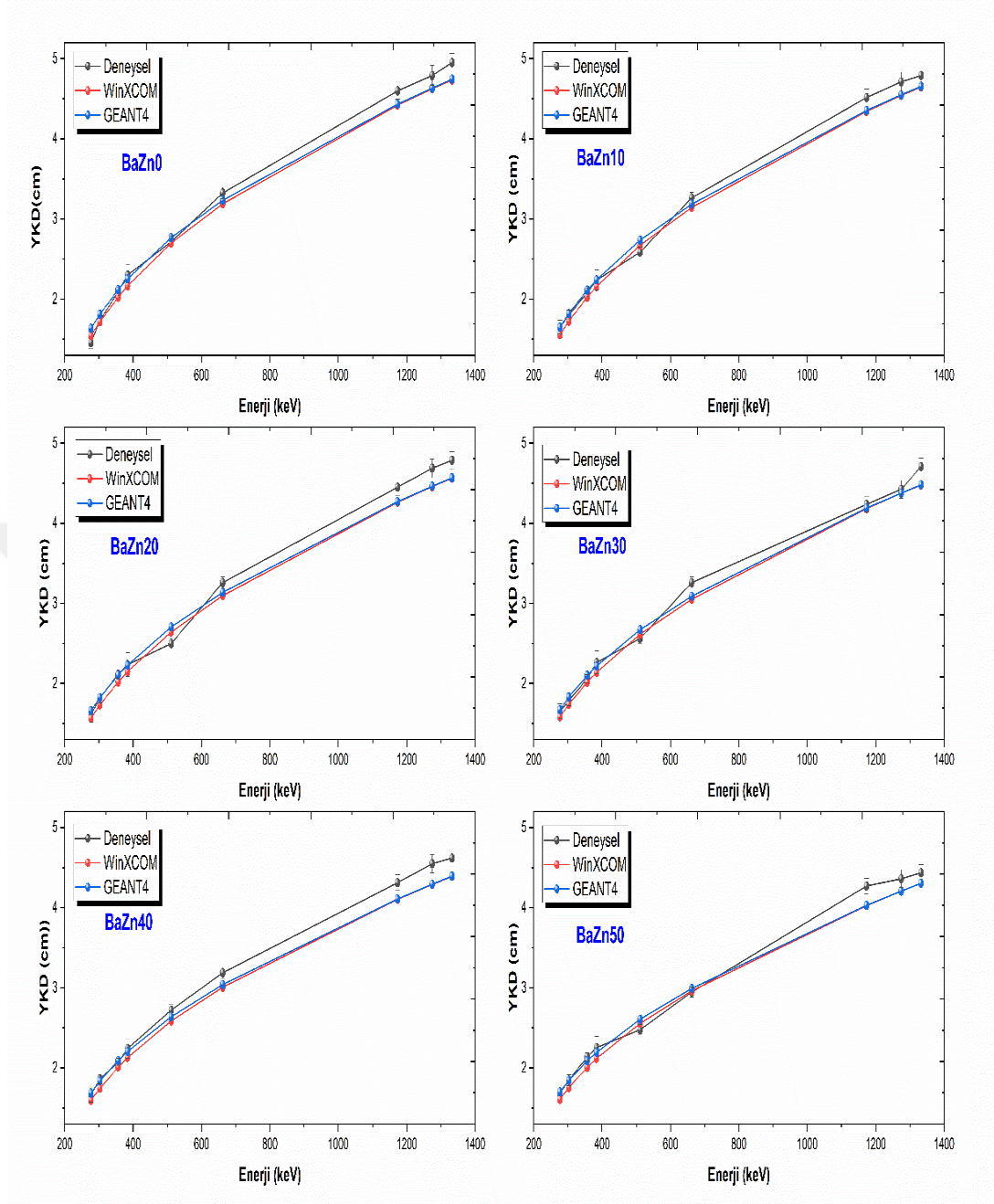
Enerji (keV)	BaFe0			BaFe10		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	1,6441±0,0852	1,5445	1,6360	1,5648±0,0946	1,5563	1,6470
302,9	1,7963±0,0582	1,7175	1,8113	1,8196±0,0593	1,7234	1,8154
356,0	2,1368±0,0490	2,0238	2,1157	2,1331±0,0485	2,0178	2,1067
383,9	2,2881±0,1227	2,1662	2,2506	2,2392±0,1510	2,1541	2,2352
511,0	2,6973±0,0708	2,7000	2,7679	2,5302±0,0654	2,6651	2,7287
661,7	3,3855±0,0742	3,1892	3,2327	3,1939±0,0698	3,1349	3,1746
1173,2	4,1974±0,0979	4,4222	4,4327	4,5780±0,1067	4,3279	4,3363
1274,5	4,9314±0,1246	4,6246	4,6337	4,5412±0,1160	4,5249	4,5318
1332,5	4,7422±0,1066	4,7348	4,7436	4,9207±0,1112	4,6322	4,6390
Enerji (keV)	BaFe20			BaFe30		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	1,6678±0,1072	1,5689	1,6587	1,5905±0,0821	1,5822	1,6711
302,9	1,8092±0,0562	1,7297	1,8199	1,7364±0,0607	1,7362	1,8246
356,0	1,9639±0,0448	2,0115	2,0973	2,0326±0,0464	2,0049	2,0875
383,9	2,2822±0,1216	2,1417	2,2194	2,0223±0,1095	2,1288	2,2033
511,0	2,5332±0,0655	2,6296	2,6889	2,5749±0,0676	2,5936	2,6486
661,7	3,1860±0,0695	3,0801	3,1162	3,1900±0,0695	3,0249	3,0573
1173,2	4,1827±0,0973	4,2336	4,2398	4,3809±0,1018	4,1393	4,1436
1274,5	4,6129±0,1169	4,4253	4,4301	4,3029±0,1093	4,3257	4,3286
1332,5	4,5025±0,1018	4,5298	4,5346	4,6135±0,1045	4,4275	4,4303
Enerji (keV)	BaFe40			BaFe50		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	1,6839±0,0915	1,5964	1,6843	1,6347±0,0984	1,6115	1,6983
302,9	1,7517±0,0552	1,7431	1,8296	1,7904±0,0603	1,7505	1,8348
356,0	2,1020±0,0476	1,9982	2,0774	2,0268±0,0460	1,9911	2,0670
383,9	2,0704±0,1349	2,1156	2,1865	2,2456±0,1052	2,1019	2,1692
511,0	2,5449±0,0676	2,5569	2,6077	2,4634±0,0641	2,5196	2,5662
661,7	3,0603±0,0672	2,9693	2,9981	3,1136±0,0680	2,9131	2,9384
1173,2	4,1757±0,0986	4,0452	4,0475	3,8451±0,0899	3,9510	3,9515
1274,5	4,1064±0,1053	4,2263	4,2273	4,3484±0,1105	4,1270	4,1261
1332,5	4,4676±0,1008	4,3253	4,3263	4,1402±0,0935	4,2233	4,2225



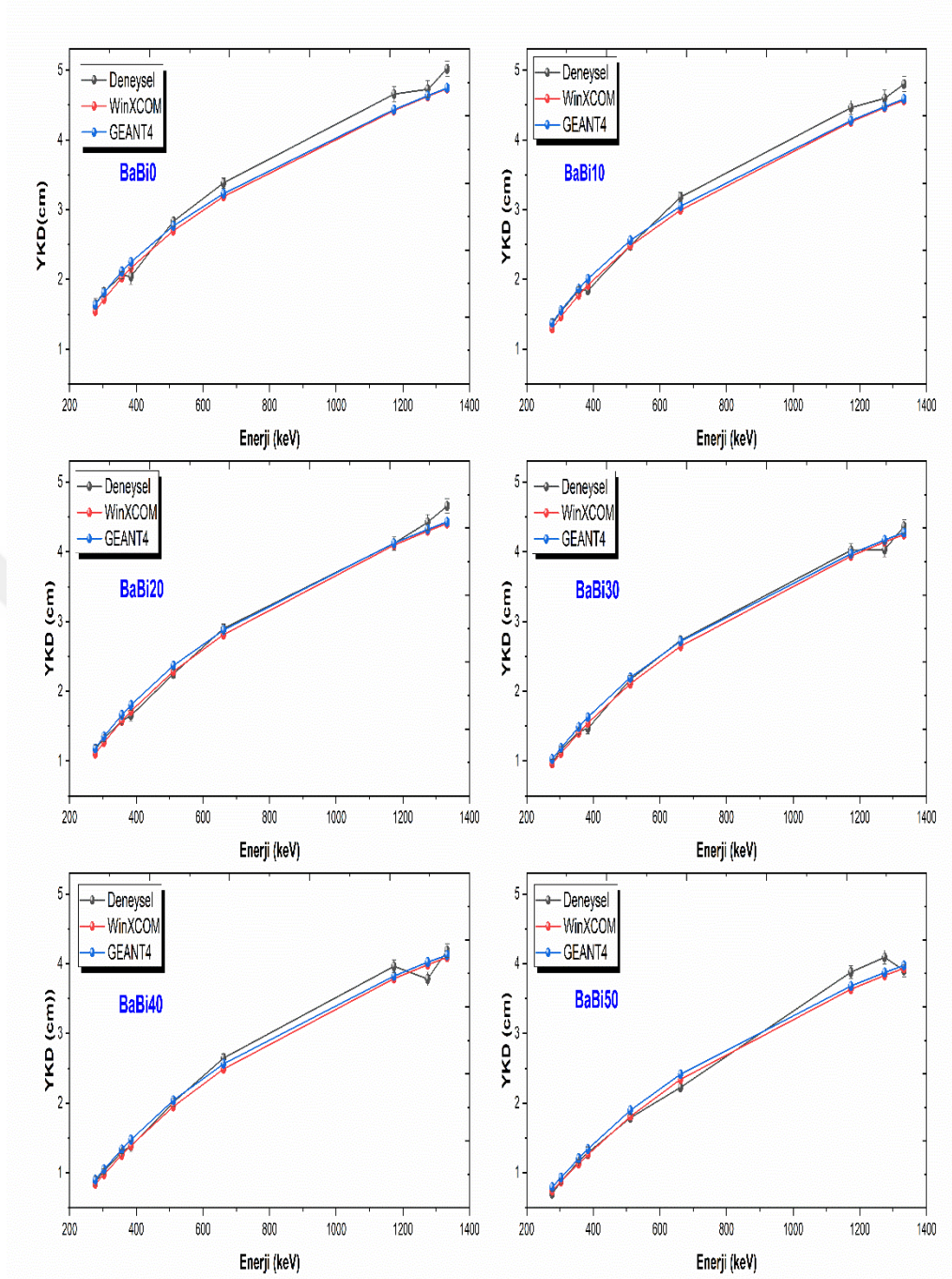
Şekil 4.21. Mo metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen YKD değerlerinin enerjiye göre değişimi



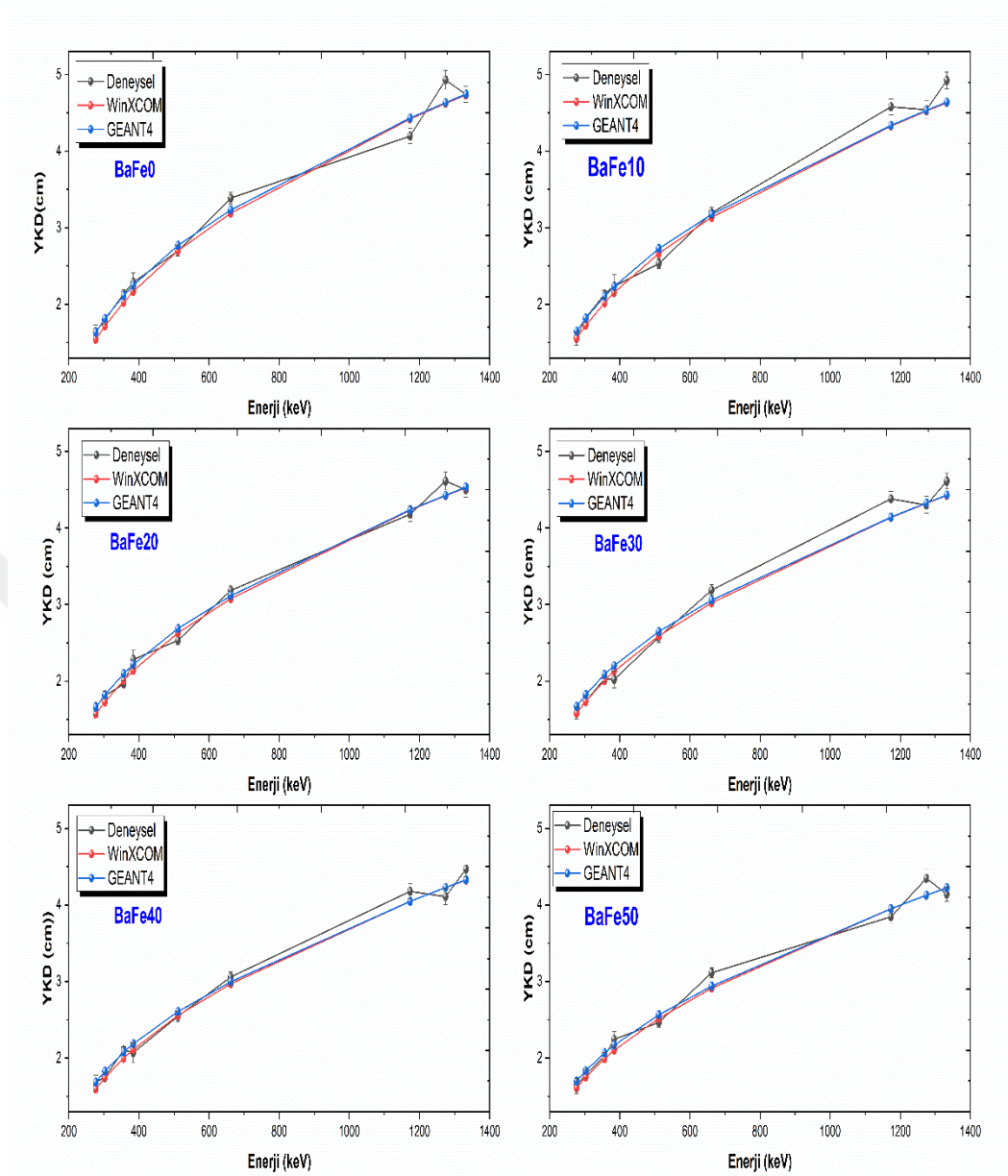
Şekil 4.22. Sn metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 simülasyonu ile elde edilen YKD değerlerinin enerjiye göre değişimi



Şekil 4.23. Zn metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen YKD değerlerinin enerjiye göre değişimi



Şekil 4.24. Bi metalı ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen YKD değerlerinin enerjiye göre değişimi



Şekil 4.25. Fe metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 simülasyonu ile elde edilen YKD değerlerinin enerjiye göre değişimi

4.6. Onda-bir Kalınlık Değeri (OKD) Parametresine Ait Araştırma Bulguları

Onda-bir kalınlık değeri (OKD, cm) başlangıç radyasyon şiddetini %90 azaltan malzeme kalınlığını belirlememizi sağlayan parametredir. Onda-bir kalınlık değeri, denklem 2.52 yardımıyla bulunmuştur. İncelenen üçlü kompozit numunelerin deneysel, WinXCOM programı ve GEANT4 simülasyonu yardımıyla elde edilen

onda-bir kalınlık değeri sonuçları Tablo 4.26-4.30’da listelenmiştir. Onda-bir kalınlık değerlerinin foton enerjisine göre değişimi ise Şekil 4.26-4.30’da verilmiştir.

Tablo 4.26. Barit tabanlı ve molibden ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin onda-bir kalınlık (OKD, cm) değerleri

Enerji (keV)	BaMo0			BaMo10		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	5,2730±0,2838	5,1308	5,4347	5,3321±0,3176	5,0418	5,3476
302,9	5,7017±0,2031	5,7053	6,0169	5,8512±0,2052	5,6001	5,9129
356,0	6,9945±0,1603	6,7230	7,0282	6,8208±0,1579	6,5872	6,8926
383,9	7,5820±0,4352	7,1958	7,4763	7,2292±0,4164	7,0453	7,3261
511,0	8,8665±0,2344	8,9691	9,1947	8,9999±0,2306	8,7629	8,9863
661,7	11,2239±0,2461	10,5942	10,7389	10,9958±0,2414	10,3376	10,4805
1173,2	15,0351±0,3506	14,6902	14,7252	14,5400±0,3380	14,3153	14,3493
1274,5	15,5801±0,3967	15,3624	15,3927	15,7558±0,4014	14,9691	14,9976
1332,5	16,4002±0,3692	15,7285	15,7580	16,0864±0,3612	15,3249	15,3523
Enerji (keV)	BaMo20			BaMo30		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	5,2021±0,3294	4,9510	5,2584	5,1001±0,3029	4,8581	5,1669
302,9	5,4635±0,1773	5,4929	5,8062	5,5125±0,1852	5,3836	5,6976
356,0	6,4107±0,1467	6,4492	6,7541	6,5916±0,1528	6,3091	6,6137
383,9	7,1801±0,4064	6,8926	7,1729	6,8695±0,4351	6,7378	7,0173
511,0	8,1487±0,2139	8,5546	8,7759	8,2189±0,2157	8,3443	8,5632
661,7	10,3259±0,2248	10,0792	10,2201	10,0901±0,2204	9,8189	9,9577
1173,2	14,4552±0,3384	13,9387	13,9714	14,0055±0,3286	13,5603	13,5919
1274,5	15,0038±0,3862	14,5741	14,6006	14,7011±0,3754	14,1772	14,2021
1332,5	15,5803±0,3507	14,9195	14,9453	15,1310±0,3410	14,5123	14,5361
Enerji (keV)	BaMo40			BaMo50		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	4,6078±0,2382	4,7632	5,0732	4,8625±0,3014	4,6662	4,9770
302,9	5,4923±0,1852	5,2721	5,5865	5,4061±0,1809	5,1583	5,4730
356,0	6,5168±0,1478	6,1667	6,4707	6,4000±0,1479	6,0221	6,3246
383,9	6,8334±0,3728	6,5807	6,8598	6,2480±0,4531	6,4213	6,6990
511,0	7,8223±0,2057	8,1319	8,3481	7,6239±0,1997	7,9173	8,1307
661,7	9,9058±0,2201	9,5566	9,6932	9,6397±0,2107	9,2924	9,4267
1173,2	12,9248±0,3007	13,1801	13,2105	12,5151±0,2916	12,7982	12,8275
1274,5	14,1949±0,3649	13,7785	13,8019	13,1004±0,3347	13,3781	13,3998
1332,5	14,7640±0,3333	14,1034	14,1256	13,2643±0,2998	13,6926	13,7130

Tablo 4.27. Barit tabanlı ve kalay ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin onda-bir kalınlık (OKD, cm) değerleri

Enerji (keV)	BaSn0			BaSn10		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	5,4315±0,2443	5,1308	5,4347	5,2138±0,2523	5,0040	5,3115
302,9	5,6248±0,1570	5,7053	6,0169	5,8185±0,1715	5,5717	5,8876
356,0	6,9014±0,1548	6,7230	7,0282	6,3844±0,1447	6,5788	6,8902
383,9	7,0792±0,3493	7,1958	7,4763	7,4145±0,4100	7,0471	7,3339
511,0	8,7288±0,2240	8,9691	9,1948	9,1814±0,2362	8,8035	9,0354
661,7	10,4037±0,2270	10,5942	10,7390	10,5512±0,2305	10,4119	10,5619
1173,2	14,8976±0,3455	14,6902	14,7255	13,7771±0,3179	14,4565	14,4942
1274,5	15,8739±0,4033	15,3624	15,3930	15,9627±0,4048	15,1187	15,1508
1332,5	16,5194±0,3659	15,7285	15,7583	15,8637±0,3514	15,4788	15,5102
Enerji (keV)	BaSn20			BaSn30		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	5,1697±0,2914	4,8787	5,1892	4,6726±0,2243	4,7547	5,0678
302,9	5,6421±0,1741	5,4393	5,7594	5,0559±0,1519	5,3080	5,6317
356,0	6,7243±0,1527	6,4352	6,7523	6,4144±0,1483	6,2924	6,6140
383,9	6,7485±0,3579	6,8988	7,1921	6,8690±0,3387	6,7510	7,0496
511,0	9,0997±0,2387	8,6377	8,8755	9,0168±0,2372	8,4717	8,7151
661,7	10,0366±0,2194	10,2289	10,3839	9,8756±0,2155	10,0451	10,2048
1173,2	14,8714±0,3447	14,2212	14,2613	14,8065±0,3417	13,9843	14,0269
1274,5	15,7750±0,3987	14,8733	14,9074	15,0890±0,3791	14,6262	14,6624
1332,5	15,8619±0,3511	15,2274	15,2603	15,0446±0,3349	14,9744	15,0089
Enerji (keV)	BaSn40			BaSn50		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	4,6756±0,2590	4,6322	4,9472	4,8059±0,2237	4,5102	4,8278
302,9	5,3756±0,1787	5,1779	5,5047	5,0765±0,1557	5,0588	5,3782
356,0	6,4412±0,1492	6,1502	6,4764	5,9502±0,1343	5,9896	6,3390
383,9	6,7806±0,3763	6,6036	6,9071	6,1601±0,3101	6,4543	6,7651
511,0	8,0707±0,2065	8,3054	8,5540	8,5687±0,2269	8,1380	8,3923
661,7	9,7072±0,2136	9,8607	10,0248	9,5545±0,2103	9,6731	9,8439
1173,2	14,2356±0,3277	13,7459	13,7907	14,3975±0,3334	13,5144	13,5531
1274,5	14,4924±0,3656	14,3776	14,4153	14,7184±0,3729	14,1264	14,1667
1332,5	15,3418±0,3412	14,7196	14,7558	15,1065±0,3364	14,4536	14,5009

Tablo 4.28. Barit tabanlı ve çinko ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin onda-bir kalınlık (OKD, cm) değerleri

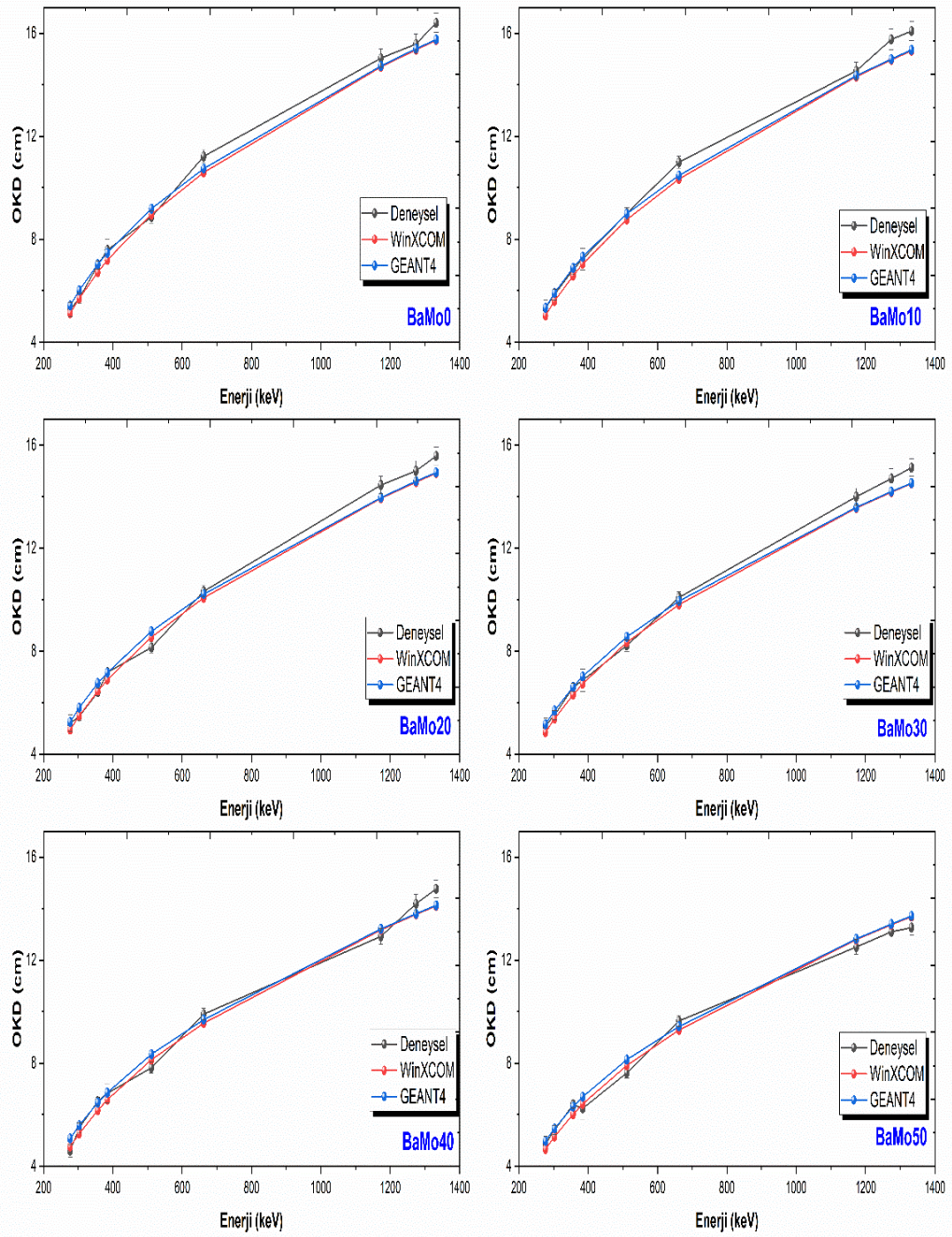
Enerji (keV)	BaZn0			BaZn10		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	4,8323±0,2309	5,1308	276,4	4,8323±0,2309	5,1308	276,4
302,9	5,7495±0,1924	5,7053	302,9	5,7495±0,1924	5,7053	302,9
356,0	6,9601±0,1596	6,7230	356,0	6,9601±0,1596	6,7230	356,0
383,9	7,6476±0,4226	7,1958	383,9	7,6476±0,4226	7,1958	383,9
511,0	9,0110±0,2340	8,9691	511,0	9,0110±0,2340	8,9691	511,0
661,7	11,0382±0,2418	10,5942	661,7	11,0382±0,2418	10,5942	661,7
1173,2	15,2810±0,3561	14,6902	1173,2	15,2810±0,3561	14,6902	1173,2
1274,5	15,9129±0,4088	15,3624	1274,5	15,9129±0,4088	15,3624	1274,5
1332,5	16,4531±0,3711	15,7285	1332,5	16,4531±0,3711	15,7285	1332,5
Enerji (keV)	BaZn20			BaZn30		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	5,3492±0,3227	5,2110	5,5162	5,4910±0,3099	5,2545	5,5600
302,9	6,0548±0,2150	5,7514	6,0588	5,9285±0,1945	5,7761	6,0812
356,0	7,0122±0,1636	6,6999	6,9933	6,8444±0,1586	6,6878	6,9752
383,9	7,4341±0,4866	7,1385	7,4049	7,5186±0,4762	7,1085	7,3680
511,0	8,2997±0,2142	8,7814	8,9859	8,5183±0,2250	8,6852	8,8793
661,7	10,8296±0,2347	10,2961	10,4218	10,8270±0,2427	10,1451	10,2616
1173,2	14,7930±0,3436	14,1671	14,1901	14,0780±0,3301	13,9051	13,9223
1274,5	15,5702±0,3983	14,8089	14,8271	14,6962±0,3724	14,5319	14,5442
1332,5	15,9020±0,3577	15,1588	15,1764	15,6418±0,3515	14,8738	14,8857
Enerji (keV)	BaZn40			BaZn50		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	5,5251±0,2930	5,3005	5,6064	5,6057±0,2873	5,3492	5,6559
302,9	6,1983±0,2136	5,8019	6,1052	6,1383±0,2154	5,8291	6,1298
356,0	6,8836±0,1570	6,6753	6,9559	7,1003±0,1667	6,6623	6,9359
383,9	7,4529±0,4033	7,0776	7,3300	7,4952±0,4622	7,0457	7,2902
511,0	9,0369±0,2339	8,5874	8,7710	8,2347±0,2133	8,4880	8,6612
661,7	10,5893±0,2314	9,9928	10,1001	9,7862±0,2128	9,8391	9,9374
1173,2	14,3287±0,3333	13,6429	13,6545	14,1851±0,3326	13,3803	13,3866
1274,5	15,1136±0,3865	14,2547	14,2614	14,4919±0,3685	13,9773	13,9788
1332,5	15,3518±0,3449	14,5887	14,5951	14,7412±0,3336	14,3034	14,3048

Tablo 4.29. Barit tabanlı ve bizmut ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin onda-bir kalınlık (OKD, cm) değerleri

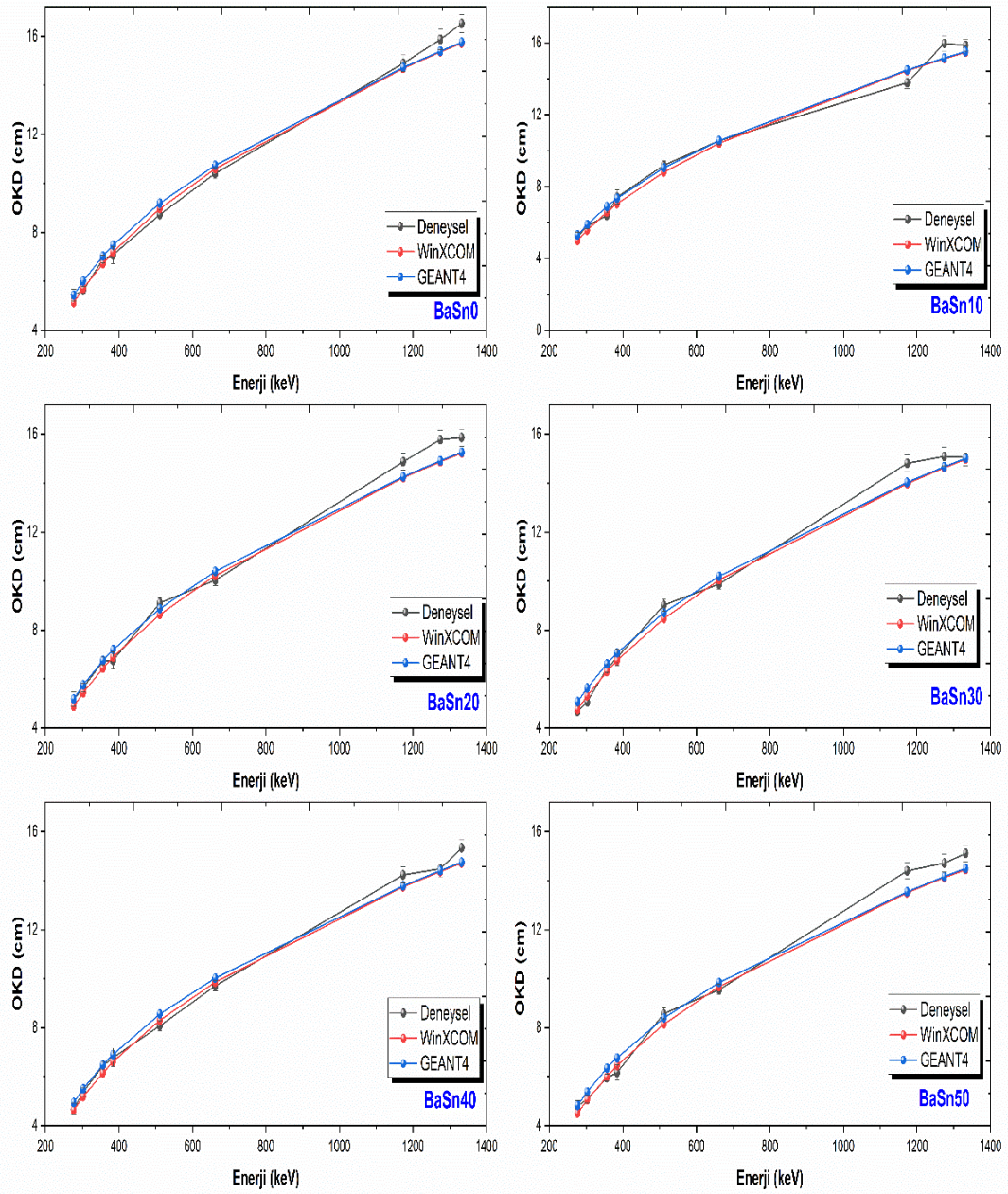
Enerji (keV)	BaBi0			BaBi10		
	Deneysel	WinX.	GEANT4	Deneysel	WinX.	GEANT4
276,4	5,4758±0,2644	5,1308	276,4	5,4758±0,2644	5,1308	276,4
302,9	6,0363±0,2038	5,7053	302,9	6,0363±0,2038	5,7053	302,9
356,0	6,8392±0,1533	6,7230	356,0	6,8392±0,1533	6,7230	356,0
383,9	6,7823±0,3677	7,1958	383,9	6,7823±0,3677	7,1958	383,9
511,0	9,4032±0,2445	8,9691	511,0	9,4032±0,2445	8,9691	511,0
661,7	11,2421±0,2484	10,5942	661,7	11,2421±0,2484	10,5942	661,7
1173,2	15,4742±0,3566	14,6902	1173,2	15,4742±0,3566	14,6902	1173,2
1274,5	15,6992±0,3992	15,3624	1274,5	15,6992±0,3992	15,3624	1274,5
1332,5	16,6627±0,3694	15,7285	1332,5	16,6627±0,3694	15,7285	1332,5
Enerji (keV)	BaBi20			BaBi30		
	Deneysel	WinX.	GEANT4	Deneysel	WinX.	GEANT4
276,4	3,8716±0,2162	3,6819	3,9250	3,2273±0,1683	3,1917	3,4099
302,9	4,3999±0,1505	4,2178	4,4847	3,8618±0,1405	3,6940	3,9392
356,0	5,2260±0,1201	5,2219	5,5157	4,7264±0,1070	4,6565	4,9376
383,9	5,4829±0,2508	5,7085	5,9915	4,8704±0,2760	5,1317	5,4072
511,0	7,4788±0,1918	7,6010	7,8705	7,2094±0,1898	7,0188	7,2988
661,7	9,6424±0,2113	9,3544	9,5592	9,0744±0,2006	8,7947	9,0203
1173,2	13,6849±0,3155	13,6104	13,6976	13,3688±0,3088	13,0873	13,1968
1274,5	14,7050±0,3691	14,2813	14,3599	13,3914±0,3379	13,7547	13,8545
1332,5	15,4732±0,3421	14,6409	14,7182	14,4936±0,3224	14,1102	14,2083
Enerji (keV)	BaBi40			BaBi50		
	Deneysel	WinX.	GEANT4	Deneysel	WinX.	GEANT4
276,4	2,9100±0,2210	2,7969	2,9934	2,3336±0,1466	2,4721	2,6495
302,9	3,3956±0,1222	3,2641	3,4891	2,9038±0,1117	2,9051	3,1115
356,0	4,3390±0,1023	4,1769	4,4437	3,8779±0,0903	3,7651	4,0170
383,9	4,5962±0,2590	4,6350	4,9006	4,2978±0,2574	4,2030	4,4570
511,0	6,6849±0,1815	6,4915	6,7773	5,9511±0,1573	6,0119	6,2986
661,7	8,7982±0,1927	8,2700	8,5115	7,3953±0,1646	7,7772	8,0304
1173,2	13,1680±0,3041	12,5748	12,7041	12,8785±0,2972	12,0726	12,2197
1274,5	12,5600±0,3201	13,2373	13,3558	13,5914±0,3415	12,7287	12,8642
1332,5	13,9085±0,3096	13,5880	13,7046	12,9565±0,2885	13,0740	13,2075

Tablo 4.30. Barit tabanlı ve demir ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin onda-bir kalınlık (OKD, cm) değerleri

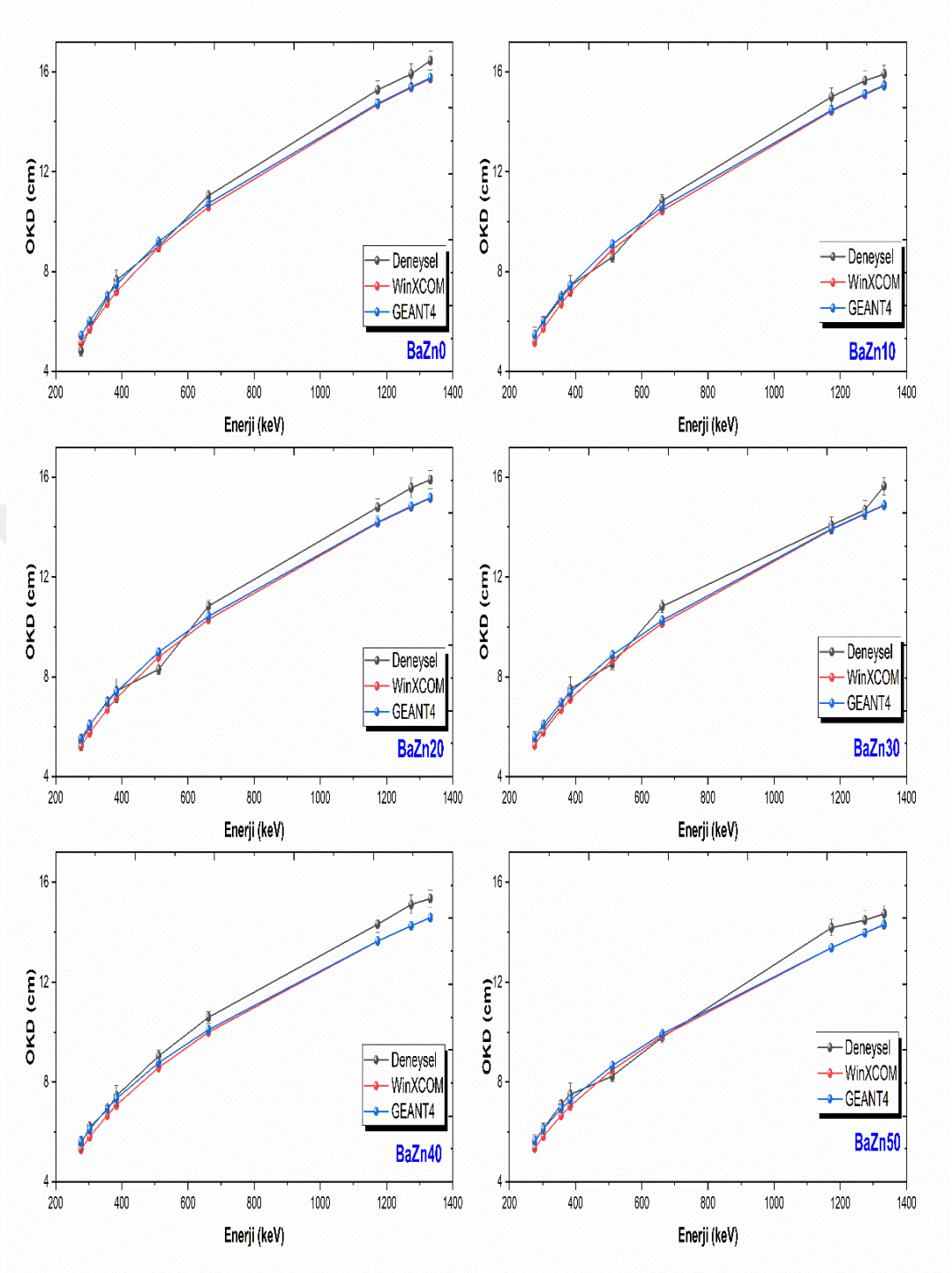
Enerji (keV)	BaFe0			BaFe10		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	5,4616±0,2830	5,1308	276,4	5,4616±0,2830	5,1308	276,4
302,9	5,9672±0,1934	5,7053	302,9	5,9672±0,1934	5,7053	302,9
356,0	7,0982±0,1627	6,7230	356,0	7,0982±0,1627	6,7230	356,0
383,9	7,6009±0,4077	7,1958	383,9	7,6009±0,4077	7,1958	383,9
511,0	8,9604±0,2353	8,9691	511,0	8,9604±0,2353	8,9691	511,0
661,7	11,2464±0,2466	10,5942	661,7	11,2464±0,2466	10,5942	661,7
1173,2	13,9436±0,3252	14,6902	1173,2	13,9436±0,3252	14,6902	1173,2
1274,5	16,3817±0,4139	15,3624	1274,5	16,3817±0,4139	15,3624	1274,5
1332,5	15,7534±0,3540	15,7285	1332,5	15,7534±0,3540	15,7285	1332,5
Enerji (keV)	BaFe20			BaFe30		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	5,5403±0,3563	5,2117	5,5101	5,2835±0,2726	5,2560	5,5511
302,9	6,0101±0,1867	5,7458	6,0457	5,7683±0,2017	5,7676	6,0613
356,0	6,5238±0,1489	6,6820	6,9672	6,7522±0,1543	6,6603	6,9344
383,9	7,5813±0,4040	7,1145	7,3727	6,7178±0,3638	7,0718	7,3193
511,0	8,4149±0,2175	8,7355	8,9325	8,5536±0,2247	8,6157	8,7986
661,7	10,5836±0,2307	10,2320	10,3516	10,5971±0,2310	10,0486	10,1561
1173,2	13,8947±0,3232	14,0637	14,0844	14,5529±0,3383	13,7506	13,7648
1274,5	15,3236±0,3883	14,7004	14,7164	14,2938±0,3630	14,3698	14,3793
1332,5	14,9570±0,3382	15,0477	15,0636	15,3256±0,3473	14,7079	14,7171
Enerji (keV)	BaFe40			BaFe50		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	5,5938±0,3038	5,3031	5,5952	5,4305±0,3268	5,3534	5,6416
302,9	5,8189±0,1833	5,7906	6,0778	5,9475±0,2003	5,8149	6,0952
356,0	6,9826±0,1582	6,6378	6,9011	6,7328±0,1529	6,6143	6,8666
383,9	6,8778±0,4482	7,0278	7,2635	7,4597±0,3495	6,9822	7,2060
511,0	8,4540±0,2246	8,4939	8,6627	8,1833±0,2130	8,3700	8,5248
661,7	10,1660±0,2233	9,8637	9,9594	10,3431±0,2261	9,6772	9,7613
1173,2	13,8713±0,3275	13,4377	13,4454	12,7730±0,2985	13,1250	13,1266
1274,5	13,6410±0,3499	14,0396	14,0428	14,4450±0,3670	13,7097	13,7067
1332,5	14,8409±0,3347	14,3684	14,3716	13,7534±0,3105	14,0294	14,0268



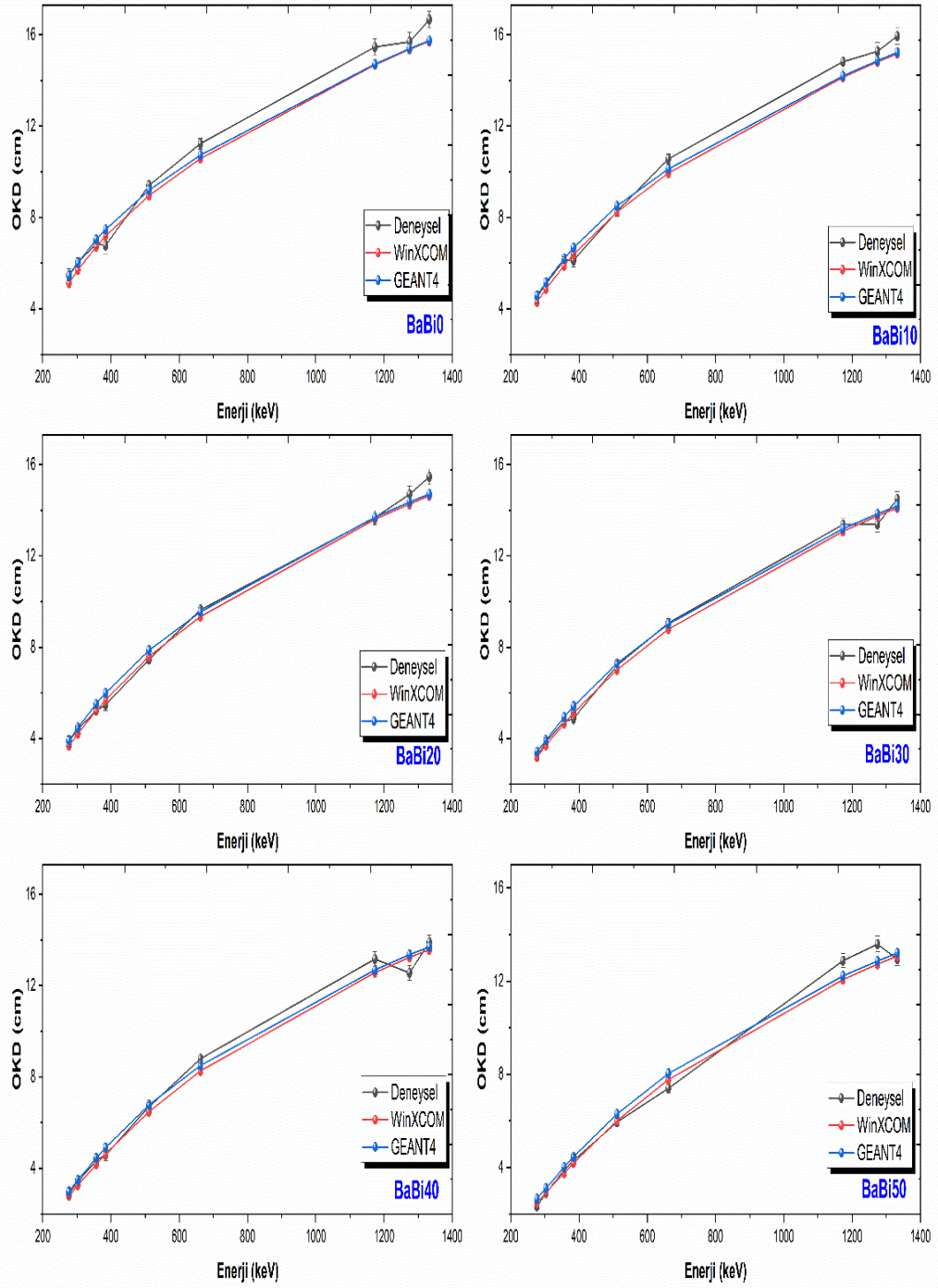
Şekil 4.26. Mo metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen OKD değerlerinin enerjiye göre değişimi



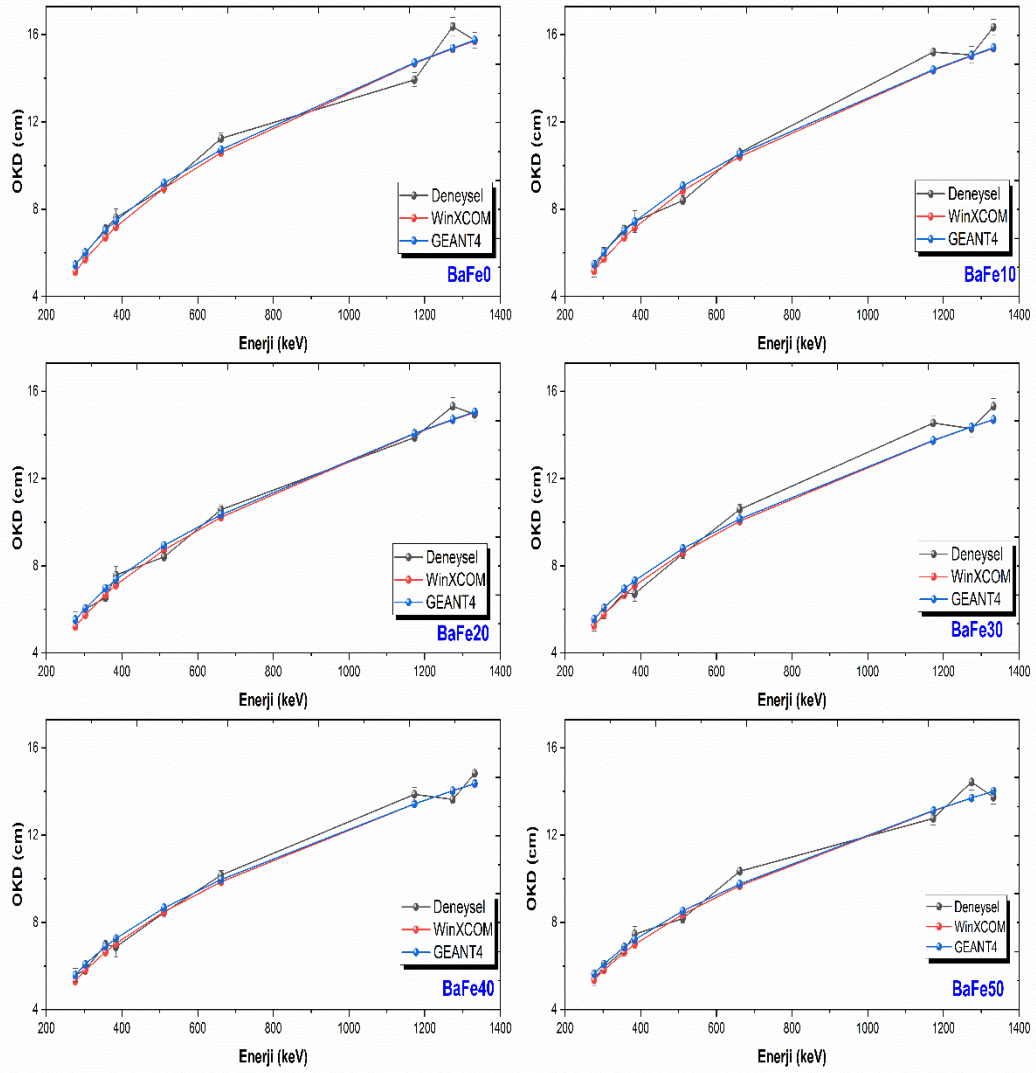
Şekil 4.27. Sn metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen OKD değerlerinin enerjiye göre değişimi



Şekil 4.28. Zn metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 simülasyonu ile elde edilen OKD değerlerinin enerjiye göre değişimi



Şekil 4.29. Bi metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen OKD değerlerinin enerjiye göre değişimi



Şekil 4.30. Fe metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 simülasyonu ile elde edilen OKD değerlerinin enerjiye göre değişimi

4.7. Ortalama Serbest Yol (OSY) Parametresine Ait Araştırma Bulguları

Ortalama serbest yol değeri (OSY, cm) bir fotonun malzeme üzerinde kat ettiği ortalama mesafe olarak tanımlanır ve lineer azaltma katsayısının tersi ile ifade edilmektedir. Başlangıçtaki radyasyon şiddetinin %36,8'inin geçebildiği numune kalınlığı olarak da ifade edilebilmektedir. Ortalama serbest yol değerleri denklem 2.53 yardımıyla hesaplanmıştır. İncelenen üçlü kompozit numunelerin deneysel, WinXCOM programı ve GEANT4 simülasyonu yardımıyla elde edilen ortalama ser-

best yol sonuçları Tablo 4.31-4.35'te verilmiştir. Bu sonuçların foton enerjisine göre değişimi ise Şekil 4.31-4.35'te verilmiştir.

Tablo 4.31. Barit tabanlı molibden ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin ortalama serbest yol (OSY) değerleri

Enerji (keV)	BaMo0			BaMo10		
	Deneyisel	WinX.	GEANT4	Deneyisel	WinX.	GEANT4
276,4	2,2900±0,1232	2,2283	2,3603	2,3157±0,1379	2,1896	2,3224
302,9	2,4762±0,0882	2,4778	2,6131	2,5411±0,0891	2,4321	2,5679
356,0	3,0377±0,0696	2,9197	3,0523	2,9622±0,0686	2,8608	2,9934
383,9	3,2928±0,1890	3,1251	3,2469	3,1396±0,1809	3,0597	3,1817
511,0	3,8507±0,1018	3,8952	3,9932	3,9086±0,1002	3,8057	3,9027
661,7	4,8745±0,1069	4,6010	4,6638	4,7754±0,1048	4,4896	4,5516
1173,2	6,5296±0,1523	6,3799	6,3951	6,3146±0,1468	6,2171	6,2318
1274,5	6,7664±0,1723	6,6718	6,6850	6,8427±0,1743	6,5010	6,5134
1332,5	7,1225±0,1603	6,8308	6,8436	6,9862±0,1569	6,6555	6,6674
Enerji (keV)	BaMo20			BaMo30		
	Deneyisel	WinX.	GEANT4	Deneyisel	WinX.	GEANT4
276,4	2,2593±0,1431	2,1502	2,2837	2,2150±0,1316	2,1099	2,2440
302,9	2,3728±0,0770	2,3855	2,5216	2,3941±0,0804	2,3381	2,4744
356,0	2,7841±0,0637	2,8009	2,9333	2,8627±0,0664	2,7400	2,8723
383,9	3,1183±0,1765	2,9934	3,1152	2,9834±0,1890	2,9262	3,0476
511,0	3,5389±0,0929	3,7152	3,8113	3,5694±0,0937	3,6239	3,7189
661,7	4,4845±0,0976	4,3774	4,4385	4,3821±0,0957	4,2643	4,3246
1173,2	6,2778±0,1470	6,0535	6,0677	6,0825±0,1427	5,8892	5,9029
1274,5	6,5161±0,1677	6,3294	6,3410	6,3846±0,1630	6,1571	6,1679
1332,5	6,7664±0,1523	6,4795	6,4906	6,5713±0,1481	6,3026	6,3130
Enerji (keV)	BaMo40			BaMo50		
	Deneyisel	WinX.	GEANT4	Deneyisel	WinX.	GEANT4
276,4	2,0011±0,1035	2,0686	2,2033	2,1117±0,1309	2,0265	2,1615
302,9	2,3853±0,0804	2,2896	2,4262	2,3478±0,0785	2,2402	2,3769
356,0	2,8302±0,0642	2,6782	2,8102	2,7795±0,0642	2,6154	2,7468
383,9	2,9677±0,1619	2,8580	2,9792	2,7135±0,1968	2,7888	2,9094
511,0	3,3972±0,0893	3,5316	3,6255	3,3110±0,0867	3,4384	3,5311
661,7	4,3020±0,0956	4,1504	4,2097	4,1865±0,0915	4,0356	4,0940
1173,2	5,6132±0,1306	5,7241	5,7372	5,4352±0,1266	5,5582	5,5709
1274,5	6,1648±0,1585	5,9839	5,9941	5,6894±0,1453	5,8100	5,8195
1332,5	6,4119±0,1447	6,1250	6,1347	5,7606±0,1302	5,9466	5,9555

Tablo 4.32. Barit tabanlı ve kalay ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin ortalama serbest yol (OSY) değerleri

Enerji (keV)	BaSn0			BaSn10		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	2,35890±0,1061	2,2283	2,3603	2,26430±0,1096	2,1732	2,3068
302,9	2,44280±0,0682	2,4778	2,6131	2,52690±0,0745	2,4198	2,5570
356,0	2,99720±0,0672	2,9197	3,0523	2,77270±0,0629	2,8571	2,9924
383,9	3,07450±0,1517	3,1251	3,2469	3,22010±0,1781	3,0605	3,1851
511,0	3,79090±0,0973	3,8952	3,9932	3,98740±0,1026	3,8233	3,9240
661,7	4,51830±0,0986	4,6010	4,6639	4,58230±0,1001	4,5218	4,5870
1173,2	6,46990±0,1500	6,3799	6,3952	5,98330±0,1381	6,2784	6,2947
1274,5	6,89400±0,1752	6,6718	6,6851	6,93250±0,1758	6,5660	6,5799
1332,5	7,17430±0,1589	6,8308	6,8438	6,88950±0,1526	6,7224	6,7360
Enerji (keV)	BaSn20			BaSn30		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	2,24520±0,1265	2,1188	2,2537	2,02930±0,0974	2,0650	2,2009
302,9	2,45030±0,0756	2,3623	2,5013	2,19570±0,0660	2,3053	2,4458
356,0	2,92030±0,0663	2,7948	2,9325	2,78580±0,0644	2,7327	2,8724
383,9	2,93080±0,1554	2,9961	3,1235	2,98320±0,1471	2,9319	3,0616
511,0	3,95190±0,1037	3,7513	3,8546	3,91590±0,1030	3,6792	3,7849
661,7	4,35880±0,0953	4,4423	4,5097	4,28890±0,0936	4,3625	4,4319
1173,2	6,45860±0,1497	6,1762	6,1936	6,43040±0,1484	6,0733	6,0918
1274,5	6,85100±0,1732	6,4594	6,4742	6,55310±0,1646	6,3521	6,3678
1332,5	6,88870±0,1525	6,6132	6,6275	6,53380±0,1455	6,5033	6,5183
Enerji (keV)	BaSn40			BaSn50		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	2,03060±0,1125	2,0117	2,1486	2,08720±0,0972	1,9588	2,0967
302,9	2,33460±0,0776	2,2487	2,3906	2,20470±0,0676	2,1970	2,3357
356,0	2,79740±0,0648	2,6710	2,8127	2,58410±0,0583	2,6012	2,7530
383,9	2,94480±0,1634	2,8679	2,9997	2,67530±0,1347	2,8031	2,9381
511,0	3,50510±0,0897	3,6070	3,7149	3,72130±0,0985	3,5343	3,6447
661,7	4,21580±0,0928	4,2824	4,3537	4,14950±0,0913	4,2010	4,2752
1173,2	6,18240±0,1423	5,9698	5,9892	6,25270±0,1448	5,8692	5,8860
1274,5	6,29400±0,1588	6,2441	6,2605	6,39210±0,1620	6,1350	6,1525
1332,5	6,66280±0,1482	6,3927	6,4084	6,56070±0,1461	6,2771	6,2977

Tablo 4.33. Barit tabanlı ve çinko ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin ortalama serbest yol (OSY) değerleri

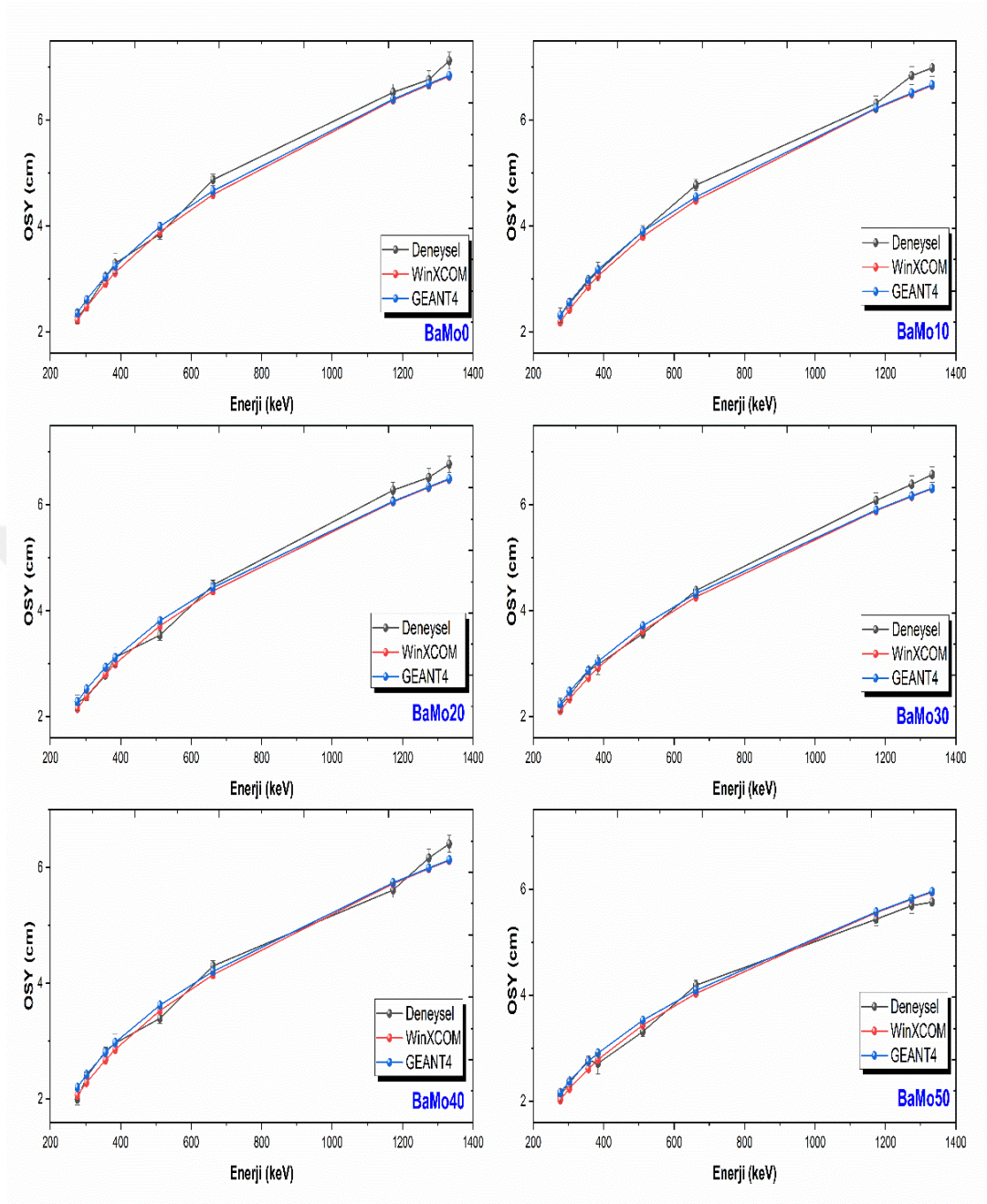
Enerji (keV)	BaZn0			BaZn10		
	Deneysel	WinX.	GEANT4	Deneysel	WinX.	GEANT4
276,4	2,0987±0,1003	2,2283	2,3603	2,3811±0,1218	2,2452	2,3774
302,9	2,4970±0,0835	2,4778	2,6131	2,5994±0,0850	2,4876	2,6220
356,0	3,0227±0,0693	2,9197	3,0523	3,0059±0,0693	2,9148	3,0450
383,9	3,3213±0,1835	3,1251	3,2469	3,2269±0,1771	3,1128	3,2318
511,0	3,9134±0,1016	3,8952	3,9932	3,7284±0,0960	3,8548	3,9482
661,7	4,7938±0,1050	4,6010	4,6638	4,7069±0,1031	4,5366	4,5952
1173,2	6,6365±0,1547	6,3799	6,3951	6,5136±0,1518	6,2663	6,2789
1274,5	6,9109±0,1775	6,6718	6,6850	6,7955±0,1742	6,5517	6,5621
1332,5	7,1455±0,1611	6,8308	6,8436	6,9113±0,1552	6,7071	6,7173
Enerji (keV)	BaZn20			BaZn30		
	Deneysel	WinX.	GEANT4	Deneysel	WinX.	GEANT4
276,4	2,3231±0,1401	2,2631	2,3956	2,3847±0,1346	2,2820	2,4147
302,9	2,6296±0,0934	2,4978	2,6313	2,5747±0,0845	2,5085	2,6410
356,0	3,0454±0,0710	2,9097	3,0371	2,9725±0,0689	2,9045	3,0293
383,9	3,2286±0,2113	3,1002	3,2159	3,2653±0,2068	3,0872	3,1999
511,0	3,6045±0,0930	3,8137	3,9025	3,6995±0,0977	3,7719	3,8562
661,7	4,7032±0,1019	4,4716	4,5261	4,7021±0,1054	4,4060	4,4566
1173,2	6,4245±0,1492	6,1527	6,1627	6,1140±0,1434	6,0389	6,0464
1274,5	6,7620±0,1730	6,4314	6,4393	6,3825±0,1617	6,3111	6,3165
1332,5	6,9061±0,1554	6,5834	6,5910	6,7931±0,1527	6,4596	6,4648
Enerji (keV)	BaZn40			BaZn50		
	Deneysel	WinX.	GEANT4	Deneysel	WinX.	GEANT4
276,4	2,3995±0,1272	2,3020	2,4348	2,4345±0,1248	2,3231	2,4563
302,9	2,6919±0,0928	2,5198	2,6514	2,6658±0,0936	2,5315	2,6621
356,0	2,9895±0,0682	2,8990	3,0209	3,0836±0,0724	2,8934	3,0122
383,9	3,2368±0,1752	3,0738	3,1834	3,2551±0,2007	3,0599	3,1661
511,0	3,9247±0,1016	3,7295	3,8092	3,5763±0,0927	3,6863	3,7615
661,7	4,5989±0,1005	4,3398	4,3864	4,2501±0,0924	4,2731	4,3158
1173,2	6,2229±0,1447	5,9250	5,9301	6,1605±0,1444	5,8110	5,8137
1274,5	6,5637±0,1678	6,1908	6,1936	6,2938±0,1601	6,0703	6,0709
1332,5	6,6672±0,1498	6,3358	6,3386	6,4020±0,1449	6,2119	6,2125

Tablo 4.34. Barit tabanlı ve bizmut ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin ortalama serbest yol (OSY) değerleri

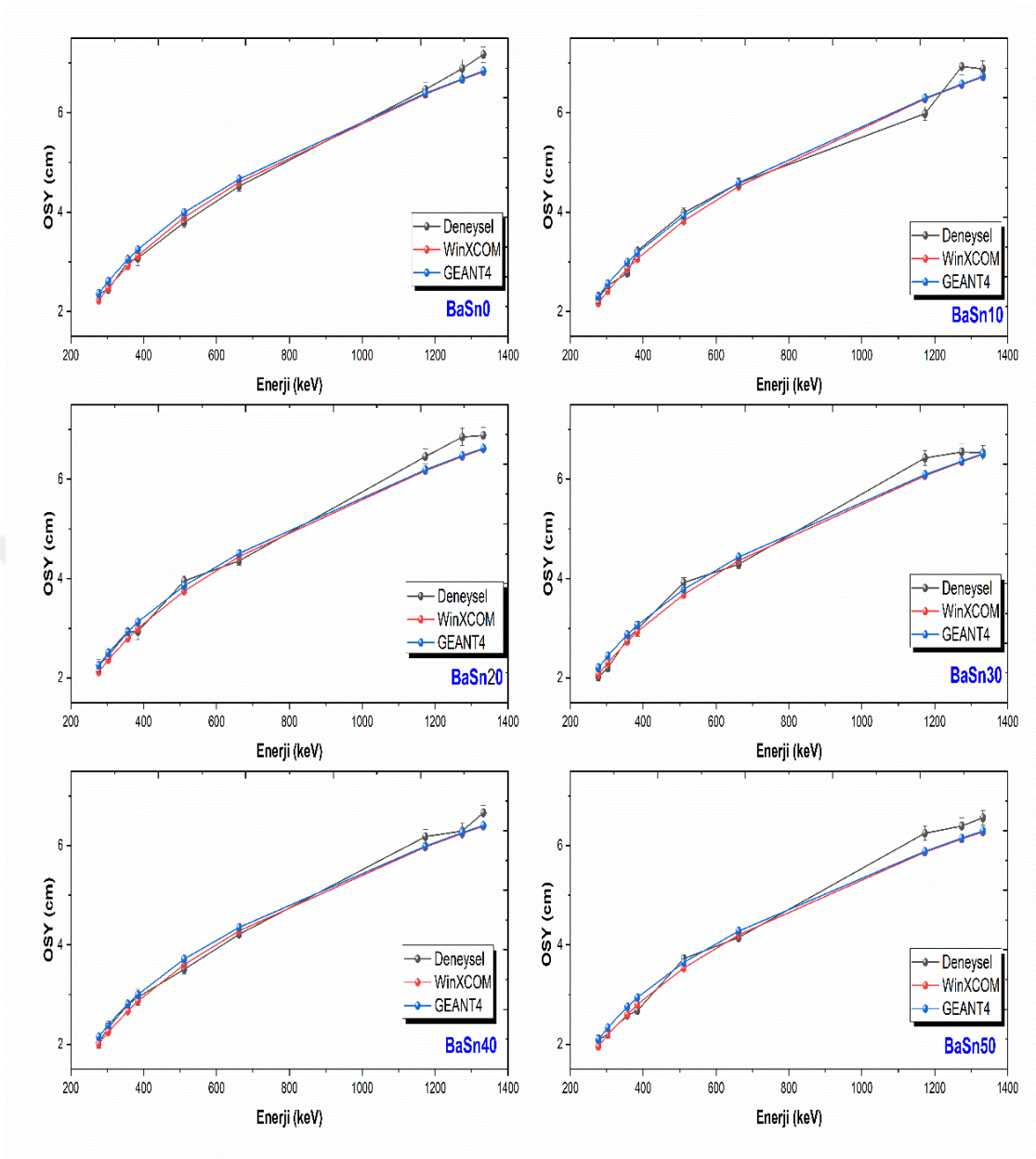
Enerji (keV)	BaBi0			BaBi10		
	Deneysel	WinX.	GEANT4	Deneysel	WinX.	GEANT4
276,4	2,3781±0,1148	2,2283	276,4	2,3781±0,1148	2,2283	276,4
302,9	2,6215±0,0885	2,4778	302,9	2,6215±0,0885	2,4778	302,9
356,0	2,9702±0,0666	2,9197	356,0	2,9702±0,0666	2,9197	356,0
383,9	2,9455±0,1597	3,1251	383,9	2,9455±0,1597	3,1251	383,9
511,0	4,0838±0,1062	3,8952	511,0	4,0838±0,1062	3,8952	511,0
661,7	4,8824±0,1079	4,6010	661,7	4,8824±0,1079	4,6010	661,7
1173,2	6,7204±0,1549	6,3799	1173,2	6,7204±0,1549	6,3799	1173,2
1274,5	6,8181±0,1734	6,6718	1274,5	6,8181±0,1734	6,6718	1274,5
1332,5	7,2365±0,1604	6,8308	1332,5	7,2365±0,1604	6,8308	1332,5
Enerji (keV)	BaBi20			BaBi30		
	Deneysel	WinX.	GEANT4	Deneysel	WinX.	GEANT4
276,4	1,6814±0,0939	1,5990	1,7046	1,4016±0,0731	1,3862	1,4809
302,9	1,9109±0,0653	1,8318	1,9477	1,6772±0,0610	1,6043	1,7108
356,0	2,2696±0,0522	2,2679	2,3954	2,0527±0,0465	2,0223	2,1444
383,9	2,3812±0,1089	2,4792	2,6021	2,1152±0,1199	2,2287	2,3483
511,0	3,2480±0,0833	3,3011	3,4181	3,1310±0,0824	3,0482	3,1698
661,7	4,1876±0,0918	4,0626	4,1515	3,9410±0,0871	3,8195	3,9175
1173,2	5,9433±0,1370	5,9109	5,9488	5,8060±0,1341	5,6837	5,7313
1274,5	6,3863±0,1603	6,2023	6,2364	5,8158±0,1467	5,9736	6,0169
1332,5	6,7199±0,1486	6,3584	6,3920	6,2945±0,1400	6,1280	6,1706
Enerji (keV)	BaBi40			BaBi50		
	Deneysel	WinX.	GEANT4	Deneysel	WinX.	GEANT4
276,4	1,2638±0,0960	1,2147	1,3000	1,0135±0,0637	1,0736	1,1507
302,9	1,4747±0,0531	1,4176	1,5153	1,2611±0,0485	1,2617	1,3513
356,0	1,8844±0,0444	1,8140	1,9299	1,6842±0,0392	1,6351	1,7446
383,9	1,9961±0,1125	2,0130	2,1283	1,8665±0,1118	1,8253	1,9356
511,0	2,9032±0,0788	2,8192	2,9433	2,5845±0,0683	2,6109	2,7354
661,7	3,8210±0,0837	3,5916	3,6965	3,2117±0,0715	3,3776	3,4875
1173,2	5,7188±0,1321	5,4611	5,5173	5,5931±0,1291	5,2431	5,3070
1274,5	5,4547±0,1390	5,7489	5,8004	5,9027±0,1483	5,5280	5,5869
1332,5	6,0404±0,1344	5,9012	5,9518	5,6269±0,1253	5,6780	5,7360

Tablo 4.35. Barit tabanlı ve demir ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin ortalama serbest yol (OSY) değerleri

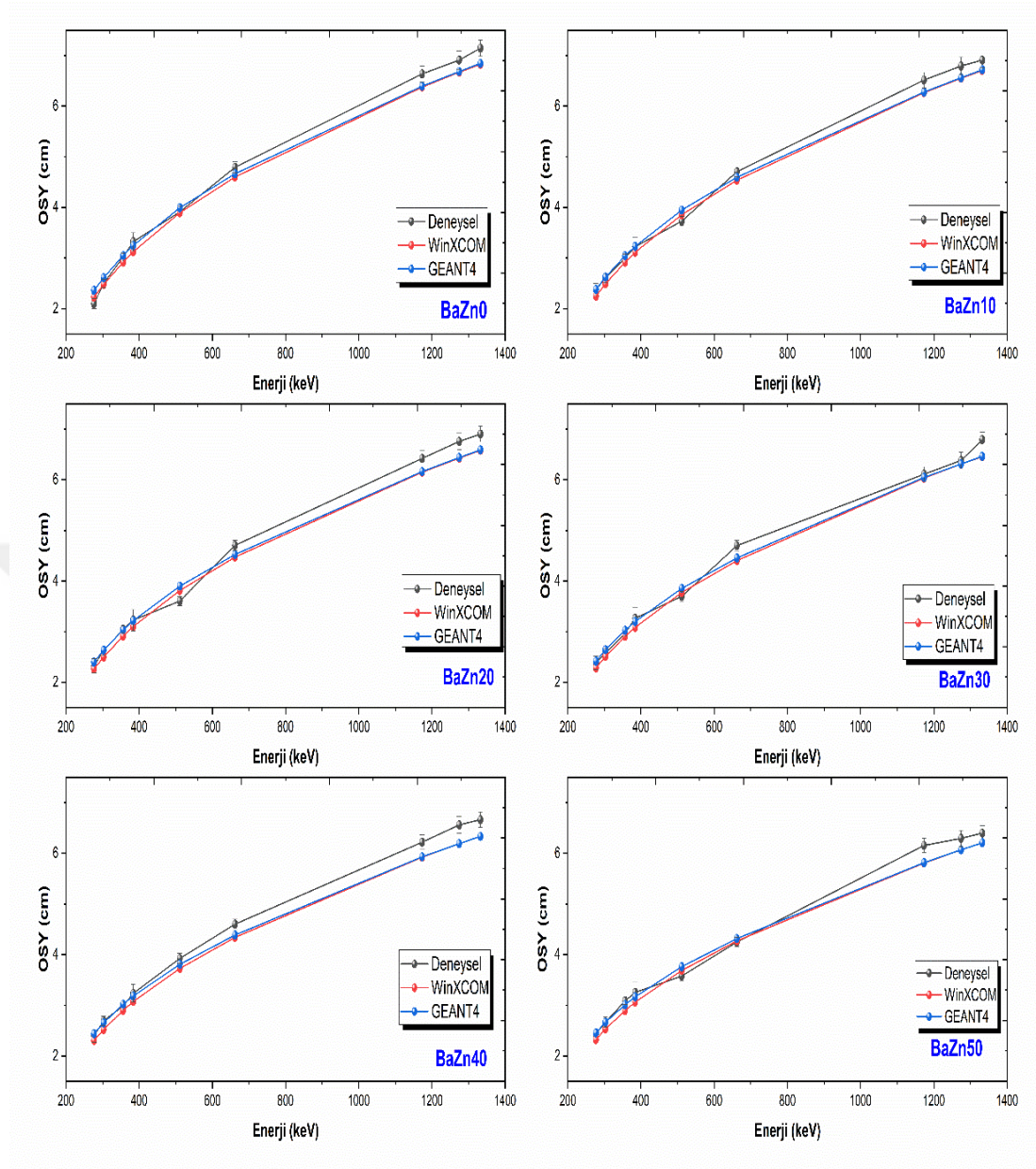
Enerji (keV)	BaFe0			BaFe10		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	2,3719±0,1229	2,2283	2,3603	2,2575±0,1365	2,2453	2,3762
302,9	2,5915±0,0840	2,4778	2,6131	2,6251±0,0855	2,4864	2,6191
356,0	3,0827±0,0707	2,9197	3,0523	3,0774±0,0700	2,9110	3,0393
383,9	3,3010±0,1771	3,1251	3,2469	3,2305±0,2179	3,1077	3,2247
511,0	3,8914±0,1022	3,8952	3,9932	3,6504±0,0944	3,8449	3,9367
661,7	4,8842±0,1071	4,6010	4,6638	4,6078±0,1007	4,5227	4,5800
1173,2	6,0556±0,1412	6,3799	6,3951	6,6046±0,1540	6,2438	6,2559
1274,5	7,1145±0,1798	6,6718	6,6850	6,5515±0,1673	6,5280	6,5380
1332,5	6,8416±0,1538	6,8308	6,8436	7,0990±0,1604	6,6829	6,6927
Enerji (keV)	BaFe20			BaFe30		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	2,4061±0,1547	2,2634	2,3930	2,2946±0,1184	2,2827	2,4108
302,9	2,6101±0,0811	2,4954	2,6256	2,5051±0,0876	2,5048	2,6324
356,0	2,8333±0,0647	2,9019	3,0258	2,9324±0,0670	2,8925	3,0116
383,9	3,2925±0,1755	3,0898	3,2019	2,9175±0,1580	3,0713	3,1787
511,0	3,6546±0,0945	3,7938	3,8793	3,7148±0,0976	3,7418	3,8212
661,7	4,5964±0,1002	4,4437	4,4957	4,6023±0,1003	4,3641	4,4107
1173,2	6,0344±0,1404	6,1078	6,1168	6,3203±0,1469	5,9718	5,9780
1274,5	6,6550±0,1686	6,3843	6,3913	6,2077±0,1577	6,2407	6,2449
1332,5	6,4958±0,1469	6,5351	6,5420	6,6558±0,1508	6,3875	6,3916
Enerji (keV)	BaFe40			BaFe50		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	2,4294±0,1319	2,3031	2,4300	2,3584±0,1419	2,3249	2,4501
302,9	2,5271±0,0796	2,5148	2,6396	2,5830±0,0870	2,5254	2,6471
356,0	3,0325±0,0687	2,8827	2,9971	2,9240±0,0664	2,8726	2,9821
383,9	2,9870±0,1947	3,0521	3,1545	3,2397±0,1518	3,0323	3,1295
511,0	3,6715±0,0976	3,6888	3,7622	3,5540±0,0925	3,6350	3,7023
661,7	4,4151±0,0970	4,2837	4,3253	4,4920±0,0982	4,2028	4,2393
1173,2	6,0242±0,1422	5,8359	5,8392	5,5473±0,1297	5,7001	5,7008
1274,5	5,9242±0,1520	6,0973	6,0987	6,2734±0,1594	5,9540	5,9528
1332,5	6,4453±0,1454	6,2401	6,2415	5,9730±0,1349	6,0929	6,0918



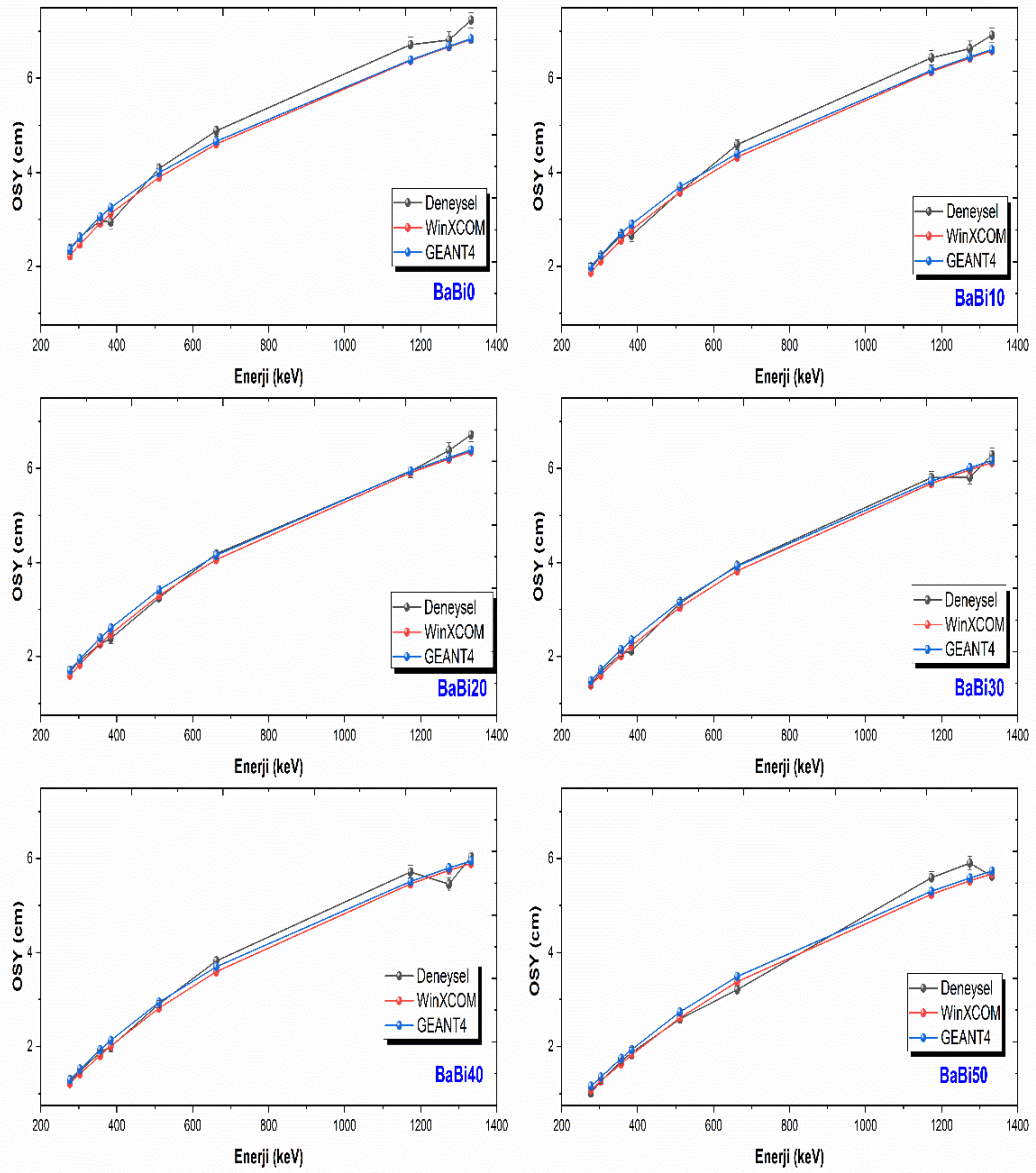
Şekil 4.31. Mo metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen OSY değerlerinin enerjiye göre değişimi



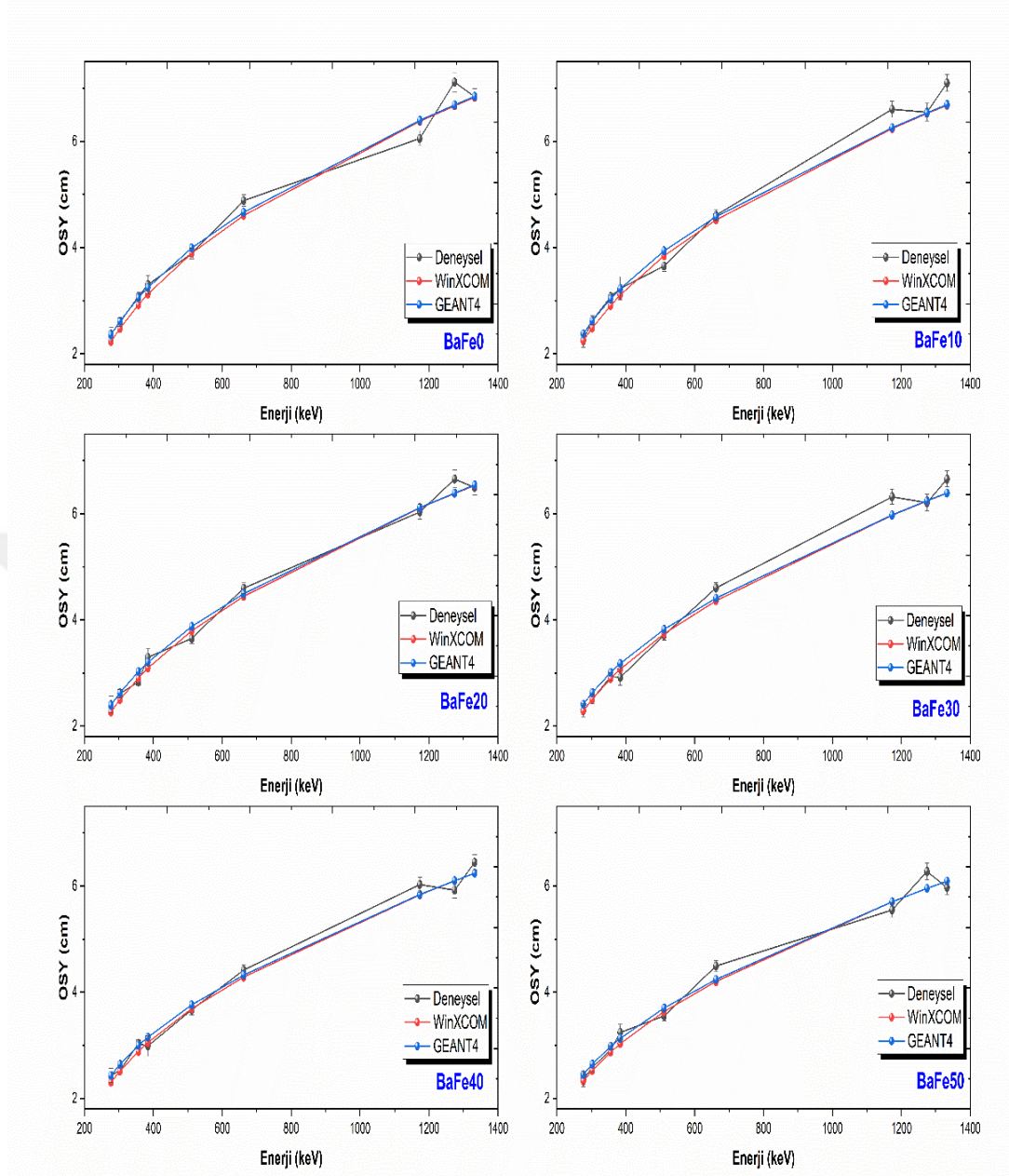
Şekil 4.32. Sn metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen OSY değerlerinin enerjiye göre değişimi



Şekil 4.33. Zn metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen OSY değerlerinin enerjiye göre değişimi



Şekil 4.34. Bi metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen OSY değerlerinin enerjiye göre değişimi



Şekil 4.35. Fe metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen OSY değerlerinin enerjiye göre değişimi

4.8. Moleküler Tesir Kesiti Parametresine Ait Araştırma Bulguları

Moleküllerin gelen foton ile etkileşme ihtimalini belirten parametredir ve denklem 2.54 yardımıyla hesaplanmıştır. İncelenen üçlü kompozit malzemelerin deneysel, WinXCOM programı ve GEANT4 simülasyonu yardımı ile elde edilen moleküler tesir

kesiti sonuçları Tablo 4.36-4.40'ta verilmiştir. Moleküler tesir kesiti değerlerinin foton enerjisine göre değişimi ise Şekil 4.36-4.40'da verilmiştir.

Tablo 4.36. Barit tabanlı molibden ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin moleküler tesir kesiti değerleri $/(x10^{-20})$ ($cm^2/molekül$)

Enerji (keV)	BaMo0			BaMo10		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	63,985±3,443	65,759	62,081	61,707±3,675	65,259	61,528
302,9	59,175±2,108	59,136	56,074	56,233±1,972	58,753	55,645
356,0	48,237±1,106	50,185	48,005	48,239±1,116	49,950	47,736
383,9	44,499±2,554	46,887	45,128	45,514±2,622	46,702	44,911
511,0	38,053±1,006	37,617	36,694	36,559±0,937	37,548	36,614
661,7	30,060±0,659	31,847	31,418	29,923±0,657	31,828	31,394
1173,2	22,440±0,523	22,967	22,913	22,629±0,526	22,984	22,930
1274,5	21,655±0,551	21,962	21,919	20,883±0,532	21,980	21,939
1332,5	20,573±0,463	21,451	21,411	20,454±0,459	21,470	21,432
Enerji (keV)	BaMo20			BaMo30		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	61,442±3,891	64,559	60,785	60,827±3,613	63,856	60,040
302,9	58,503±1,899	58,190	55,050	56,276±1,890	57,624	54,448
356,0	49,859±1,141	49,561	47,324	47,063±1,091	49,171	46,906
383,9	44,516±2,520	46,373	44,561	45,159±2,860	46,042	44,208
511,0	39,225±1,030	37,363	36,421	37,745±0,991	37,178	36,228
661,7	30,954±0,674	31,712	31,275	30,745±0,671	31,594	31,154
1173,2	22,112±0,518	22,931	22,877	22,150±0,520	22,877	22,824
1274,5	21,303±0,548	21,931	21,892	21,102±0,539	21,882	21,843
1332,5	20,515±0,462	21,424	21,387	20,502±0,462	21,377	21,341
Enerji (keV)	BaMo40			BaMo50		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	65,282±3,375	63,152	59,294	59,929±3,715	62,450	58,549
302,9	54,768±1,846	57,057	53,845	53,902±1,803	56,491	53,243
356,0	46,159±1,047	48,779	46,487	45,531±1,052	48,389	46,074
383,9	44,020±2,402	45,710	43,851	46,639±3,382	45,380	43,499
511,0	38,455±1,011	36,991	36,033	38,222±1,001	36,806	35,839
661,7	30,367±0,675	31,476	31,033	30,229±0,661	31,359	30,912
1173,2	23,274±0,541	22,823	22,770	23,284±0,543	22,769	22,717
1274,5	21,191±0,545	21,832	21,795	22,244±0,568	21,782	21,747
1332,5	20,374±0,460	21,329	21,295	21,969±0,496	21,282	21,250

Tablo 4.37. Barit tabanlı ve kalay ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin moleküler tesir kesiti değerleri ($\times 10^{-20}$) ($\text{cm}^2/\text{molekül}$)

Enerji (keV)	BaSn0			BaSn10		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	62,310 $\pm$ 2,802	65,962	62,272	63,668 $\pm$ 3,081	66,337	62,496
302,9	60,168 $\pm$ 1,680	59,319	56,247	57,050 $\pm$ 1,682	59,577	56,381
356,0	49,039 $\pm$ 1,100	50,340	48,153	51,993 $\pm$ 1,179	50,458	48,177
383,9	47,807 $\pm$ 2,359	47,032	45,267	44,770 $\pm$ 2,476	47,105	45,262
511,0	38,772 $\pm$ 0,995	37,733	36,807	36,154 $\pm$ 0,930	37,707	36,739
661,7	32,530 $\pm$ 0,710	31,945	31,514	31,461 $\pm$ 0,687	31,882	31,429
1173,2	22,717 $\pm$ 0,527	23,038	22,983	24,094 $\pm$ 0,556	22,962	22,902
1274,5	21,320 $\pm$ 0,542	22,030	21,986	20,795 $\pm$ 0,527	21,956	21,910
1332,5	20,487 $\pm$ 0,454	21,517	21,476	20,925 $\pm$ 0,463	21,445	21,402
Enerji (keV)	BaSn20			BaSn30		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	62,961 $\pm$ 3,548	66,716	62,724	67,379 $\pm$ 3,235	66,215	62,125
302,9	57,689 $\pm$ 1,780	59,840	56,514	62,271 $\pm$ 1,871	59,313	55,904
356,0	48,405 $\pm$ 1,099	50,579	48,204	49,082 $\pm$ 1,135	50,034	47,601
383,9	48,231 $\pm$ 2,558	47,180	45,256	45,834 $\pm$ 2,260	46,636	44,660
511,0	35,769 $\pm$ 0,938	37,682	36,673	34,917 $\pm$ 0,919	37,163	36,125
661,7	32,430 $\pm$ 0,709	31,820	31,346	31,880 $\pm$ 0,696	31,342	30,852
1173,2	21,887 $\pm$ 0,507	22,888	22,823	21,263 $\pm$ 0,491	22,513	22,445
1274,5	20,633 $\pm$ 0,522	21,884	21,834	20,865 $\pm$ 0,524	21,525	21,472
1332,5	20,520 $\pm$ 0,454	21,375	21,329	20,927 $\pm$ 0,466	21,025	20,977
Enerji (keV)	BaSn40			BaSn50		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	66,837 $\pm$ 3,703	67,464	63,168	63,677 $\pm$ 2,964	67,851	63,388
302,9	58,134 $\pm$ 1,933	60,354	56,771	60,282 $\pm$ 1,849	60,494	56,901
356,0	48,517 $\pm$ 1,124	50,813	48,253	51,431 $\pm$ 1,161	51,093	48,277
383,9	46,089 $\pm$ 2,558	47,324	45,245	49,678 $\pm$ 2,501	47,414	45,236
511,0	38,721 $\pm$ 0,991	37,627	36,534	35,714 $\pm$ 0,946	37,604	36,465
661,7	32,193 $\pm$ 0,709	31,692	31,173	32,029 $\pm$ 0,705	31,637	31,088
1173,2	21,953 $\pm$ 0,505	22,735	22,661	21,255 $\pm$ 0,492	22,644	22,580
1274,5	21,563 $\pm$ 0,544	21,736	21,679	20,792 $\pm$ 0,527	21,663	21,602
1332,5	20,370 $\pm$ 0,453	21,231	21,179	20,258 $\pm$ 0,451	21,173	21,104

Tablo 4.38. Barit tabanlı çinko ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin moleküler tesir kesiti değerleri ($\times 10^{-20}$) ($\text{cm}^2/\text{molekül}$)

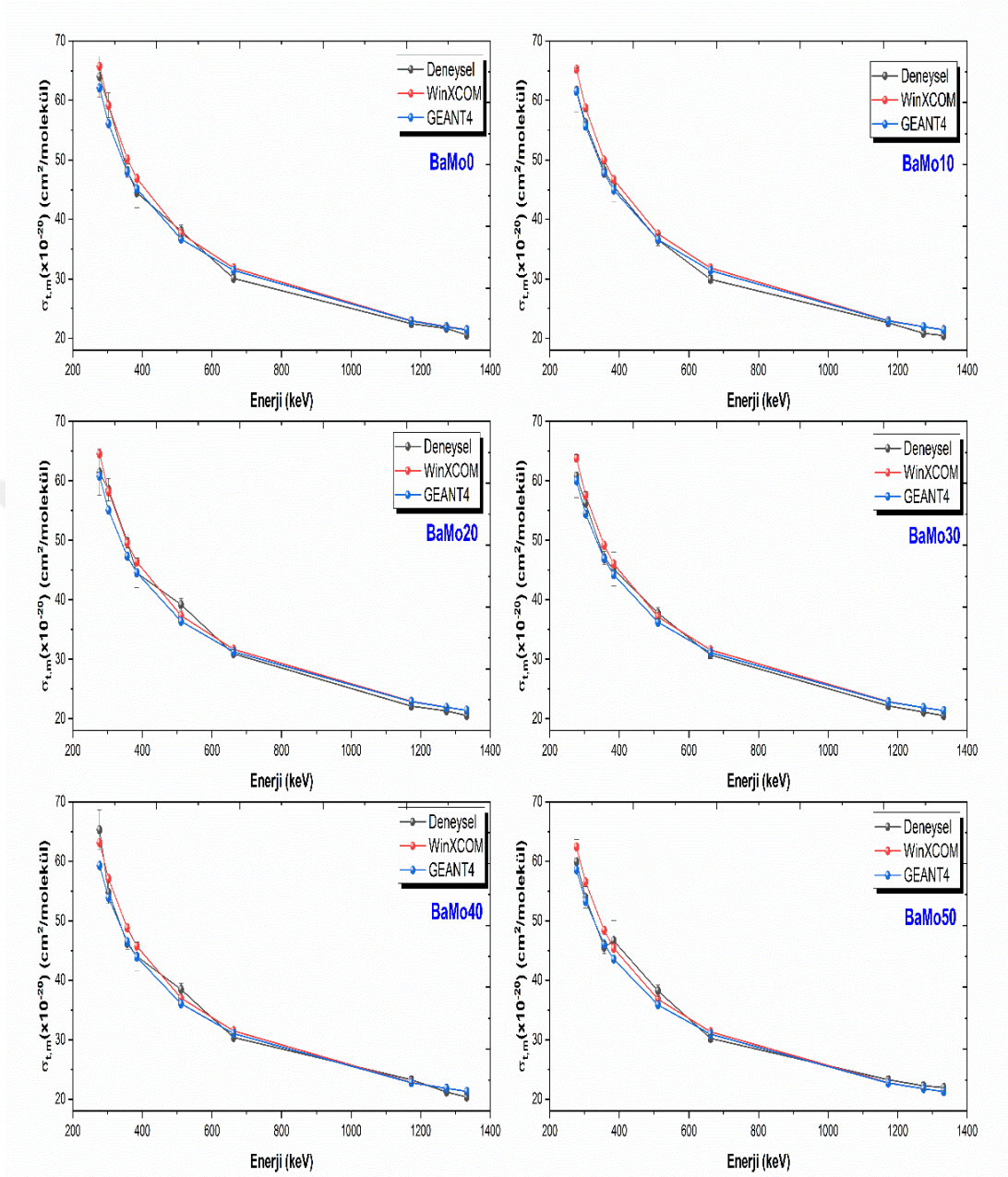
Enerji (keV)	BaZn0			BaZn10		
	Deneyssel	WinX.	GEANT 4	Deneyssel	WinX.	GEANT 4
276,4	70,035 $\pm$ 3,346	65,962	62,272	60,593 $\pm$ 3,100	64,261	60,688
302,9	58,863 $\pm$ 1,970	59,319	56,247	55,506 $\pm$ 1,815	58,001	55,027
356,0	48,625 $\pm$ 1,115	50,340	48,153	47,999 $\pm$ 1,107	49,499	47,383
383,9	44,254 $\pm$ 2,445	47,032	45,267	44,712 $\pm$ 2,454	46,350	44,645
511,0	37,558 $\pm$ 0,975	37,733	36,807	38,698 $\pm$ 0,996	37,429	36,544
661,7	30,660 $\pm$ 0,672	31,945	31,515	30,653 $\pm$ 0,672	31,804	31,398
1173,2	22,147 $\pm$ 0,516	23,038	22,983	22,151 $\pm$ 0,516	23,025	22,979
1274,5	21,268 $\pm$ 0,546	22,030	21,987	21,232 $\pm$ 0,544	22,022	21,987
1332,5	20,570 $\pm$ 0,464	21,517	21,477	20,876 $\pm$ 0,469	21,512	21,479
Enerji (keV)	BaZn20			BaZn30		
	Deneyssel	WinX.	GEANT 4	Deneyssel	WinX.	GEANT 4
276,4	60,950 $\pm$ 3,677	62,565	59,104	58,245 $\pm$ 3,287	60,867	57,522
302,9	53,846 $\pm$ 1,912	56,687	53,811	53,947 $\pm$ 1,770	55,371	52,592
356,0	46,495 $\pm$ 1,085	48,662	46,621	46,728 $\pm$ 1,083	47,822	45,852
383,9	43,856 $\pm$ 2,870	45,672	44,029	42,538 $\pm$ 2,694	44,992	43,407
511,0	39,282 $\pm$ 1,014	37,127	36,282	37,545 $\pm$ 0,992	36,824	36,019
661,7	30,105 $\pm$ 0,653	31,665	31,283	29,540 $\pm$ 0,662	31,525	31,167
1173,2	22,039 $\pm$ 0,512	23,013	22,976	22,718 $\pm$ 0,533	23,001	22,972
1274,5	20,939 $\pm$ 0,536	22,016	21,989	21,762 $\pm$ 0,551	22,008	21,990
1332,5	20,502 $\pm$ 0,461	21,508	21,483	20,447 $\pm$ 0,460	21,503	21,485
Enerji (keV)	BaZn40			BaZn50		
	Deneyssel	WinX.	GEANT 4	Deneyssel	WinX.	GEANT 4
276,4	56,762 $\pm$ 3,010	59,167	55,939	54,837 $\pm$ 2,811	57,467	54,351
302,9	50,597 $\pm$ 1,744	54,053	51,369	50,080 $\pm$ 1,758	52,736	50,149
356,0	45,560 $\pm$ 1,039	46,981	45,086	43,294 $\pm$ 1,016	46,141	44,320
383,9	42,079 $\pm$ 2,277	44,311	42,785	41,013 $\pm$ 2,529	43,629	42,166
511,0	34,704 $\pm$ 0,898	36,520	35,756	37,330 $\pm$ 0,967	36,216	35,492
661,7	29,616 $\pm$ 0,647	31,384	31,051	31,412 $\pm$ 0,683	31,243	30,934
1173,2	21,887 $\pm$ 0,509	22,987	22,968	21,671 $\pm$ 0,508	22,974	22,963
1274,5	20,750 $\pm$ 0,531	22,001	21,990	21,212 $\pm$ 0,539	21,993	21,990
1332,5	20,429 $\pm$ 0,459	21,497	21,488	20,853 $\pm$ 0,472	21,492	21,489

Tablo 4.39. Barit tabanlı bizmut ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin moleküler tesir kesiti değerleri ($\times 10^{-20}$) ($\text{cm}^2/\text{molekül}$)

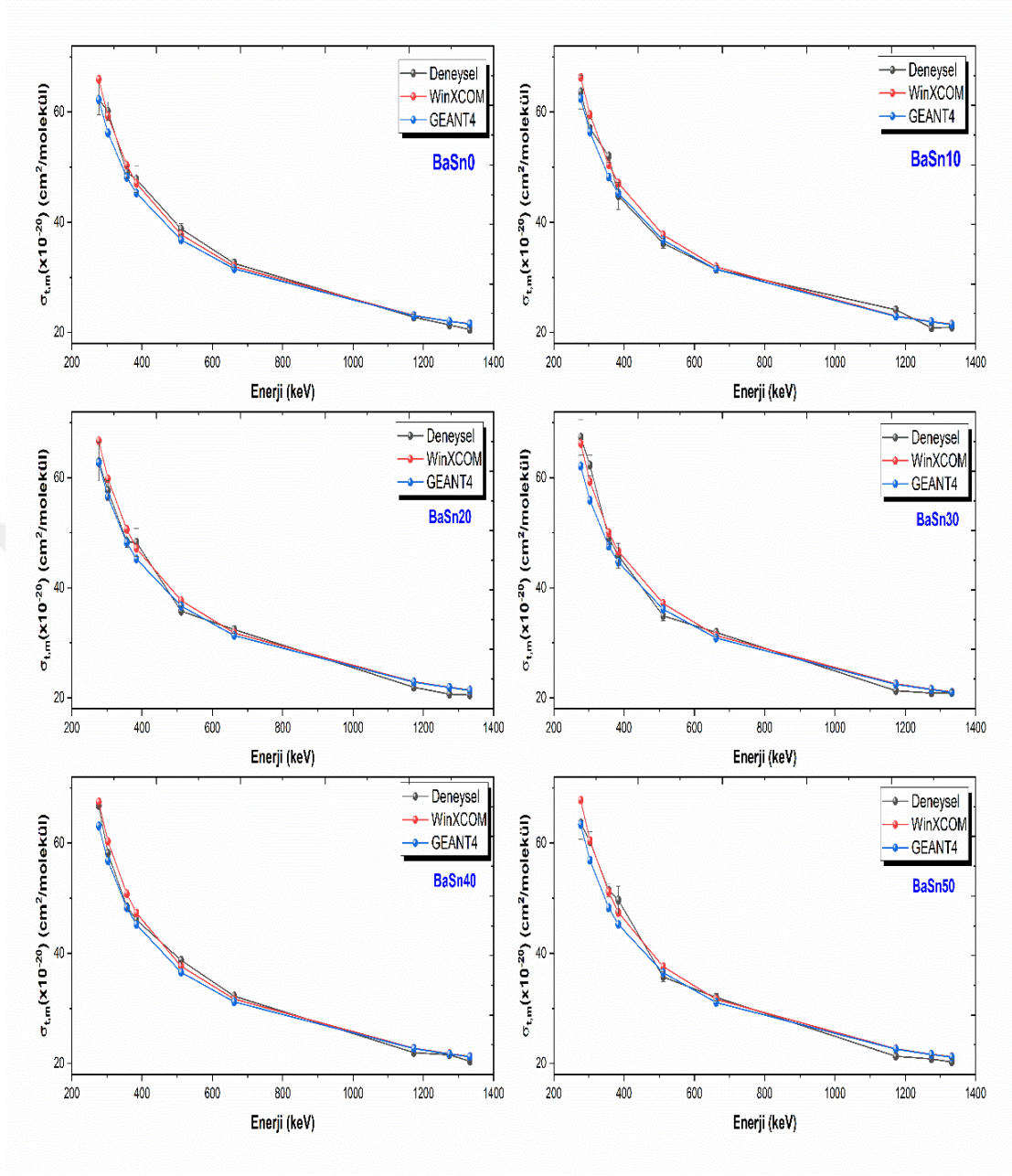
Enerji (keV)	BaBi0			BaBi10		
	Deneyisel	WinX.	GEANT4	Deneyisel	WinX.	GEANT4
276,4	61,805 $\pm$ 2,985	65,962	62,272	73,159 $\pm$ 4,084	76,465	71,925
302,9	56,067 $\pm$ 1,893	59,319	56,247	64,541 $\pm$ 1,805	67,619	63,824
356,0	49,485 $\pm$ 1,109	50,340	48,153	53,701 $\pm$ 1,215	55,830	53,106
383,9	49,899 $\pm$ 2,705	47,032	45,267	53,828 $\pm$ 2,625	51,563	49,358
511,0	35,991 $\pm$ 0,936	37,733	36,807	39,845 $\pm$ 1,026	39,930	38,746
661,7	30,104 $\pm$ 0,665	31,945	31,515	31,169 $\pm$ 0,685	33,088	32,506
1173,2	21,871 $\pm$ 0,504	23,038	22,983	22,214 $\pm$ 0,510	23,282	23,180
1274,5	21,557 $\pm$ 0,548	22,030	21,987	21,563 $\pm$ 0,542	22,226	22,143
1332,5	20,311 $\pm$ 0,450	21,517	21,477	20,660 $\pm$ 0,457	21,694	21,616
Enerji (keV)	BaBi20			BaBi30		
	Deneyisel	WinX.	GEANT4	Deneyisel	WinX.	GEANT4
276,4	82,713 $\pm$ 4,618	86,974	81,588	96,403 $\pm$ 5,027	97,477	91,240
302,9	72,781 $\pm$ 2,489	75,924	71,405	80,562 $\pm$ 2,931	84,224	78,981
356,0	61,277 $\pm$ 1,408	61,325	58,058	65,826 $\pm$ 1,490	66,815	63,011
383,9	58,405 $\pm$ 2,672	56,097	53,447	63,879 $\pm$ 3,620	60,628	57,538
511,0	42,818 $\pm$ 1,098	42,130	40,688	43,155 $\pm$ 1,136	44,327	42,626
661,7	33,211 $\pm$ 0,728	34,233	33,500	34,286 $\pm$ 0,758	35,376	34,491
1173,2	23,400 $\pm$ 0,540	23,528	23,379	23,272 $\pm$ 0,538	23,773	23,575
1274,5	21,777 $\pm$ 0,547	22,423	22,300	23,233 $\pm$ 0,586	22,619	22,456
1332,5	20,696 $\pm$ 0,458	21,872	21,758	21,466 $\pm$ 0,477	22,049	21,897
Enerji (keV)	BaBi40			BaBi50		
	Deneyisel	WinX.	GEANT4	Deneyisel	WinX.	GEANT4
276,4	103,785 $\pm$ 7,881	107,980	100,893	125,517 $\pm$ 7,886	118,481	110,548
302,9	88,941 $\pm$ 3,201	92,524	86,558	100,866 $\pm$ 3,879	100,822	94,133
356,0	69,603 $\pm$ 1,641	72,305	67,964	75,530 $\pm$ 1,760	77,794	72,916
383,9	65,709 $\pm$ 3,703	65,158	61,628	68,151 $\pm$ 4,081	69,688	65,718
511,0	45,178 $\pm$ 1,227	46,524	44,562	49,218 $\pm$ 1,301	48,720	46,503
661,7	34,326 $\pm$ 0,752	36,519	35,483	39,606 $\pm$ 0,881	37,662	36,474
1173,2	22,935 $\pm$ 0,530	24,017	23,773	22,743 $\pm$ 0,525	24,262	23,969
1274,5	24,045 $\pm$ 0,613	22,815	22,613	21,550 $\pm$ 0,541	23,011	22,769
1332,5	21,714 $\pm$ 0,483	22,226	22,037	22,606 $\pm$ 0,503	22,403	22,177

Tablo 4.40. Barit tabanlı demir ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin moleküler tesir kesiti değerleri
($\times 10^{-20}$) ($\text{cm}^2/\text{molekül}$)

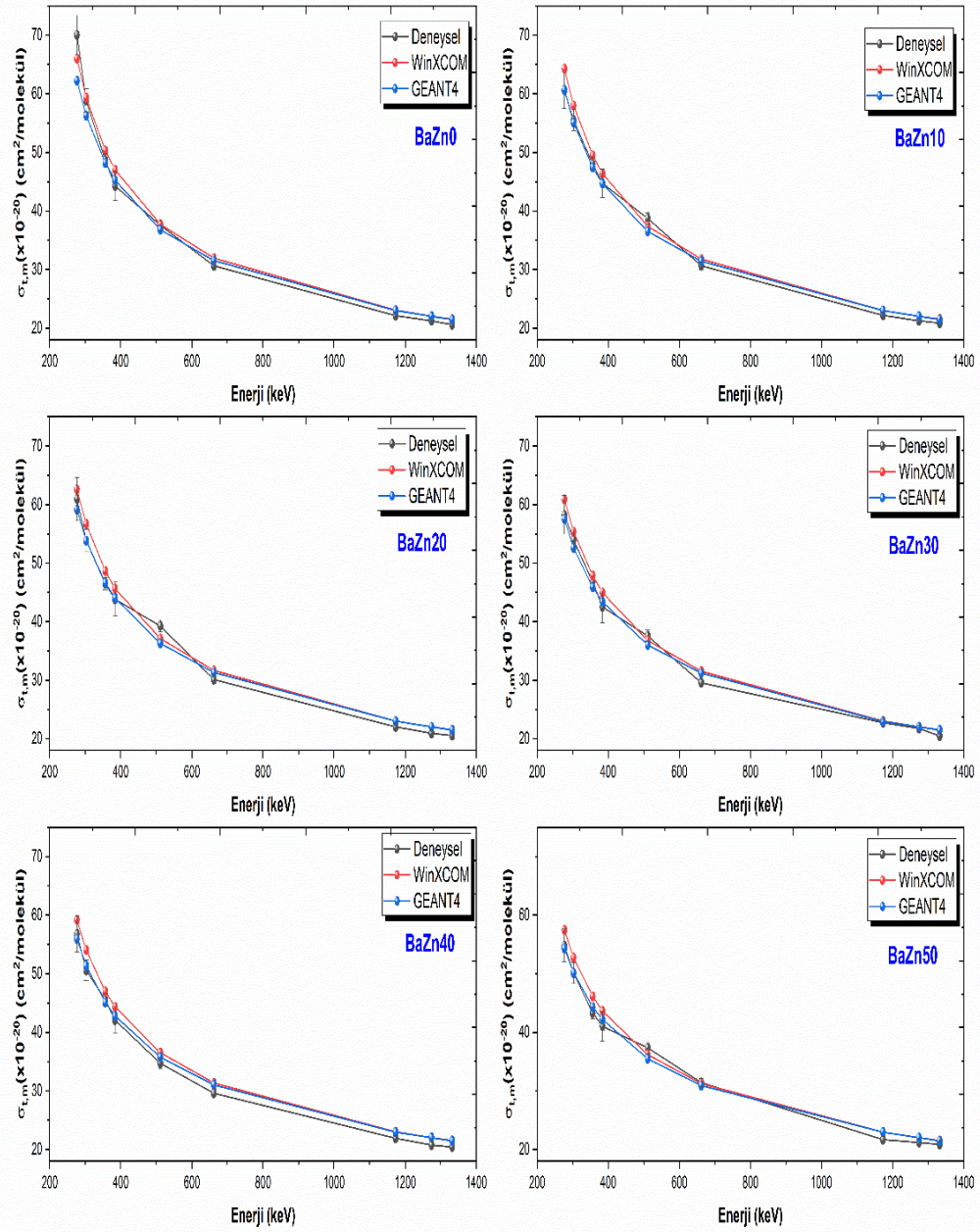
Enerji (keV)	BaFe0			BaFe10		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	61,966 $\pm$ 3,210	65,962	62,272	63,734 $\pm$ 3,853	64,078	60,550
302,9	56,716 $\pm$ 1,838	59,319	56,247	54,809 $\pm$ 1,786	57,867	54,934
356,0	47,679 $\pm$ 1,093	50,340	48,153	46,753 $\pm$ 1,063	49,425	47,339
383,9	44,525 $\pm$ 2,388	47,032	45,267	44,537 $\pm$ 3,003	46,297	44,617
511,0	37,770 $\pm$ 0,992	37,733	36,807	39,415 $\pm$ 1,019	37,420	36,548
661,7	30,093 $\pm$ 0,660	31,945	31,515	31,224 $\pm$ 0,682	31,812	31,414
1173,2	24,272 $\pm$ 0,566	23,038	22,983	21,784 $\pm$ 0,508	23,043	22,999
1274,5	20,659 $\pm$ 0,522	22,030	21,987	21,961 $\pm$ 0,561	22,040	22,006
1332,5	21,483 $\pm$ 0,483	21,517	21,477	20,267 $\pm$ 0,458	21,529	21,498
Enerji (keV)	BaFe20			BaFe30		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	58,510 $\pm$ 3,762	62,198	58,831	60,001 $\pm$ 3,096	60,315	57,109
302,9	53,936 $\pm$ 1,676	56,417	53,619	54,959 $\pm$ 1,922	56,965	52,301
356,0	49,689 $\pm$ 1,134	48,513	46,527	46,950 $\pm$ 1,073	47,598	45,716
383,9	42,758 $\pm$ 2,279	45,563	43,968	47,191 $\pm$ 2,555	44,828	43,313
511,0	38,522 $\pm$ 0,996	37,109	36,290	37,063 $\pm$ 0,973	36,795	36,031
661,7	30,629 $\pm$ 0,668	31,681	31,315	29,916 $\pm$ 0,652	31,548	31,215
1173,2	23,330 $\pm$ 0,543	23,050	23,016	21,784 $\pm$ 0,506	23,055	23,031
1274,5	21,154 $\pm$ 0,536	22,051	22,027	22,179 $\pm$ 0,563	22,061	22,047
1332,5	21,673 $\pm$ 0,490	21,542	21,519	20,685 $\pm$ 0,469	21,554	21,541
Enerji (keV)	BaFe40			BaFe50		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	55,396 $\pm$ 3,009	58,433	55,383	55,746 $\pm$ 3,355	56,548	53,660
302,9	53,253 $\pm$ 1,677	53,514	50,985	50,900 $\pm$ 1,714	52,060	49,666
356,0	44,379 $\pm$ 1,005	46,684	44,902	44,963 $\pm$ 1,021	45,768	44,087
383,9	45,055 $\pm$ 2,936	44,093	42,662	40,582 $\pm$ 1,902	43,357	42,010
511,0	36,655 $\pm$ 0,974	36,482	35,771	36,993 $\pm$ 0,963	36,168	35,511
661,7	30,481 $\pm$ 0,670	31,416	31,114	29,268 $\pm$ 0,640	31,282	31,013
1173,2	22,339 $\pm$ 0,527	23,060	23,047	23,700 $\pm$ 0,554	23,065	23,062
1274,5	22,716 $\pm$ 0,583	22,072	22,066	20,957 $\pm$ 0,532	22,081	22,086
1332,5	20,880 $\pm$ 0,471	21,566	21,562	22,011 $\pm$ 0,497	21,578	21,582



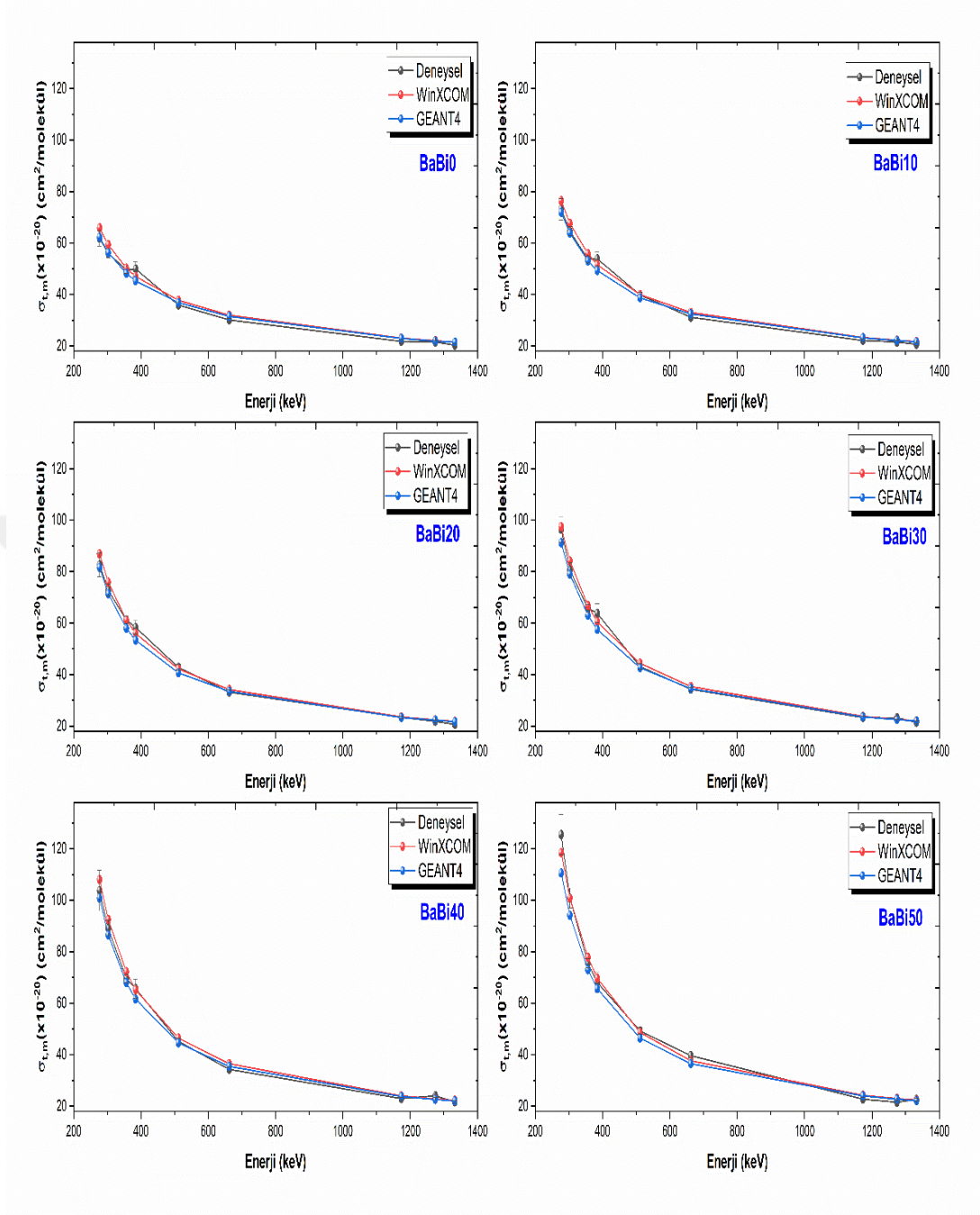
Şekil 4.36. Mo metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 simülasyonu ile elde edilen moleküler tesir kesiti değerlerinin enerjiye göre değişimi



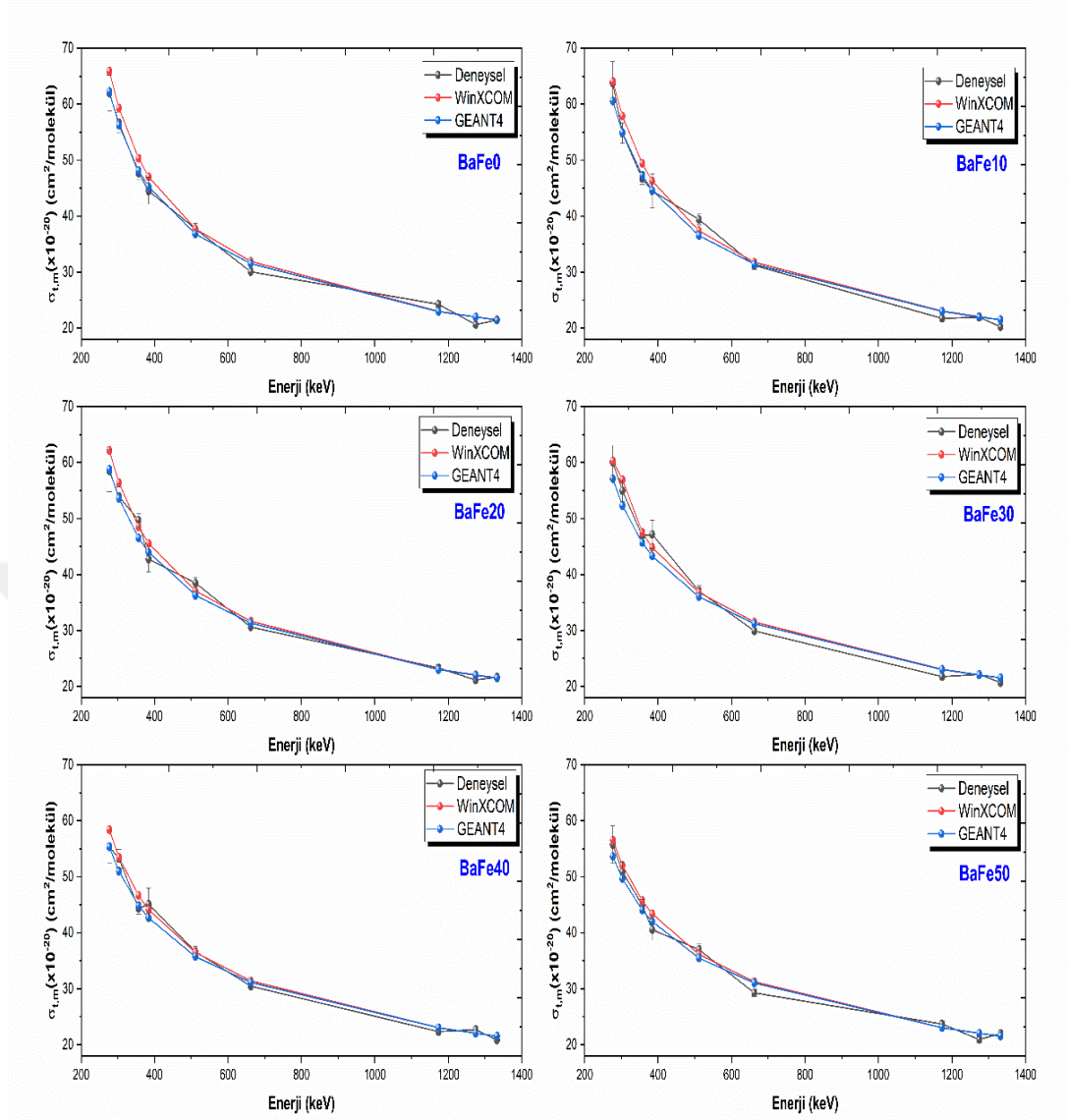
Şekil 4.37. Sn metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen moleküler tesir kesiti değerlerinin enerjiye göre değişimi



Şekil 4.38. Zn metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 simülasyonu ile elde edilen moleküler tesir kesiti değerlerinin enerjiye göre değişimi



Şekil 4.39. Bi metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 simülasyonu ile elde edilen moleküler tesir kesiti değerlerinin enerjiye göre değişimi



Şekil 4.40. Fe metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 simülasyonu ile elde edilen moleküler tesir kesiti değerlerinin enerjiye göre değişimi

4.9. Atomik Tesir Kesiti Parametresine Ait Araştırma Bulguları

Malzemeyi oluşturan atomların gelen foton ile etkileşme ihtimalini belirten parametredir ve denklem 2.55 yardımıyla hesaplanmıştır. İncelenen üçlü kompozit numunelerin deneysel, WinXCOM programı ve GEANT4 simülasyonu yardımı ile elde edilen atomik tesir kesiti sonuçları Tablo 4.41-4.45'te verilmiştir. Atomik tesir kesiti değerlerinin foton enerjisine göre değişimi ise Şekil 4.41-4.45'te verilmiştir.

Tablo 4.41. Barit tabanlı molibden ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin atomik tesir kesiti değerleri ($\times 10^{-25}$) (cm^2/atom)

Enerji (keV)	BaMo0			BaMo10		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	59,306 $\pm$ 3,192	60,950	57,541	58,481 $\pm$ 3,483	61,848	58,312
302,9	54,848 $\pm$ 1,954	54,812	51,974	53,293 $\pm$ 1,869	55,682	52,737
356,0	44,710 $\pm$ 1,025	46,516	44,495	45,717 $\pm$ 1,058	47,339	45,241
383,9	41,246 $\pm$ 2,368	43,459	41,828	43,135 $\pm$ 2,485	44,261	42,564
511,0	35,270 $\pm$ 0,933	34,867	34,011	34,648 $\pm$ 0,888	35,585	34,700
661,7	27,862 $\pm$ 0,611	29,518	29,120	28,359 $\pm$ 0,622	30,164	29,753
1173,2	20,800 $\pm$ 0,485	21,288	21,237	21,446 $\pm$ 0,499	21,783	21,731
1274,5	20,072 $\pm$ 0,511	20,356	20,316	19,791 $\pm$ 0,504	20,831	20,792
1332,5	19,068 $\pm$ 0,429	19,883	19,845	19,385 $\pm$ 0,435	20,348	20,311
Enerji (keV)	BaMo20			BaMo30		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	59,937 $\pm$ 3,795	62,977	59,295	61,127 $\pm$ 3,631	64,172	60,337
302,9	57,069 $\pm$ 1,852	56,764	53,701	56,554 $\pm$ 1,900	57,909	54,717
356,0	48,637 $\pm$ 1,113	48,346	46,164	47,296 $\pm$ 1,096	49,414	47,138
383,9	43,425 $\pm$ 2,458	45,236	43,469	45,383 $\pm$ 2,874	46,270	44,427
511,0	38,264 $\pm$ 1,005	36,448	35,529	37,932 $\pm$ 0,995	37,362	36,407
661,7	30,196 $\pm$ 0,657	30,935	30,508	30,897 $\pm$ 0,675	31,751	31,308
1173,2	21,570 $\pm$ 0,505	22,369	22,317	22,260 $\pm$ 0,522	22,990	22,937
1274,5	20,781 $\pm$ 0,535	21,394	21,355	21,206 $\pm$ 0,542	21,990	21,951
1332,5	20,012 $\pm$ 0,450	20,899	20,863	20,604 $\pm$ 0,464	21,482	21,447
Enerji (keV)	BaMo40			BaMo50		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	67,647 $\pm$ 3,498	65,440	61,441	64,095 $\pm$ 3,973	66,791	62,619
302,9	56,753 $\pm$ 1,913	59,124	55,795	57,649 $\pm$ 1,929	60,418	56,945
356,0	47,831 $\pm$ 1,085	50,546	48,171	48,696 $\pm$ 1,125	51,753	49,277
383,9	45,615 $\pm$ 2,489	47,366	45,439	49,881 $\pm$ 3,617	48,535	46,523
511,0	39,848 $\pm$ 1,048	38,331	37,338	40,879 $\pm$ 1,071	39,364	38,331
661,7	31,467 $\pm$ 0,699	32,616	32,157	32,331 $\pm$ 0,707	33,539	33,061
1173,2	24,117 $\pm$ 0,561	23,650	23,595	24,903 $\pm$ 0,580	24,352	24,296
1274,5	21,959 $\pm$ 0,564	22,622	22,584	23,790 $\pm$ 0,608	23,296	23,258
1332,5	21,112 $\pm$ 0,477	22,101	22,067	23,496 $\pm$ 0,531	22,761	22,727

Tablo 4.42. Barit tabanlı kalay ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin atomik tesir kesiti değerleri ($\times 10^{-25}$) (cm^2/atom)

Enerji (keV)	BaSn0			BaSn10		
	Deneyisel	WinX.	GEANT4	Deneyisel	WinX.	GEANT4
276,4	57,418 $\pm$ 2,582	60,783	57,384	60,565 $\pm$ 2,931	63,104	59,451
302,9	55,445 $\pm$ 1,548	54,662	51,831	54,271 $\pm$ 1,600	56,674	53,634
356,0	45,189 $\pm$ 1,014	46,388	44,373	49,460 $\pm$ 1,121	47,999	45,830
383,9	44,054 $\pm$ 2,174	43,340	41,714	42,589 $\pm$ 2,355	44,809	43,057
511,0	35,728 $\pm$ 0,917	34,771	33,918	34,393 $\pm$ 0,885	35,869	34,949
661,7	29,976 $\pm$ 0,654	29,437	29,040	29,928 $\pm$ 0,654	30,328	29,898
1173,2	20,934 $\pm$ 0,485	21,229	21,179	22,920 $\pm$ 0,529	21,843	21,786
1274,5	19,646 $\pm$ 0,499	20,301	20,260	19,782 $\pm$ 0,502	20,886	20,842
1332,5	18,879 $\pm$ 0,418	19,828	19,791	19,906 $\pm$ 0,441	20,400	20,359
Enerji (keV)	BaSn20			BaSn30		
	Deneyisel	WinX.	GEANT4	Deneyisel	WinX.	GEANT4
276,4	61,892 $\pm$ 3,488	65,584	61,659	68,712 $\pm$ 3,299	67,526	63,354
302,9	56,710 $\pm$ 1,750	58,824	55,555	63,504 $\pm$ 1,909	60,487	57,010
356,0	47,583 $\pm$ 1,080	49,720	47,385	50,054 $\pm$ 1,157	51,025	48,543
383,9	47,412 $\pm$ 2,515	46,380	44,488	46,742 $\pm$ 2,305	47,559	45,544
511,0	35,162 $\pm$ 0,923	37,043	36,050	35,608 $\pm$ 0,937	37,899	36,841
661,7	31,880 $\pm$ 0,697	31,280	30,813	32,511 $\pm$ 0,709	31,962	31,462
1173,2	21,515 $\pm$ 0,499	22,499	22,436	21,684 $\pm$ 0,500	22,959	22,889
1274,5	20,283 $\pm$ 0,513	21,513	21,463	21,278 $\pm$ 0,535	21,951	21,897
1332,5	20,172 $\pm$ 0,447	21,012	20,967	21,341 $\pm$ 0,475	21,441	21,392
Enerji (keV)	BaSn40			BaSn50		
	Deneyisel	WinX.	GEANT4	Deneyisel	WinX.	GEANT4
276,4	70,405 $\pm$ 3,901	71,065	66,540	69,565 $\pm$ 3,239	74,125	69,249
302,9	61,237 $\pm$ 2,036	63,576	59,801	65,857 $\pm$ 2,020	66,087	62,162
356,0	51,107 $\pm$ 1,184	53,525	50,828	56,187 $\pm$ 1,268	55,817	52,741
383,9	48,549 $\pm$ 2,694	49,850	47,659	54,272 $\pm$ 2,732	51,798	49,418
511,0	40,788 $\pm$ 1,044	39,635	38,484	39,017 $\pm$ 1,033	41,081	39,836
661,7	33,912 $\pm$ 0,746	33,384	32,837	34,991 $\pm$ 0,770	34,562	33,962
1173,2	23,124 $\pm$ 0,532	23,948	23,870	23,221 $\pm$ 0,538	24,738	24,668
1274,5	22,714 $\pm$ 0,573	22,896	22,836	22,714 $\pm$ 0,575	23,666	23,599
1332,5	21,457 $\pm$ 0,477	22,364	22,309	22,131 $\pm$ 0,493	23,131	23,055

Tablo 4.43. Barit tabanlı çinko ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin atomik tesir kesiti değerleri ($\times 10^{-25}$) (cm^2/atom)

Enerji (keV)	BaZn0			BaZn10		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	64,537 $\pm$ 3,083	60,783	57,384	56,911 $\pm$ 2,911	60,356	57,000
302,9	54,242 $\pm$ 1,815	54,662	51,831	52,133 $\pm$ 1,705	54,476	51,683
356,0	44,808 $\pm$ 1,027	46,388	44,373	45,082 $\pm$ 1,040	46,491	44,503
383,9	40,780 $\pm$ 2,253	43,340	41,714	41,994 $\pm$ 2,304	43,533	41,931
511,0	34,609 $\pm$ 0,899	34,771	33,918	36,346 $\pm$ 0,936	35,154	34,323
661,7	28,253 $\pm$ 0,619	29,437	29,041	28,790 $\pm$ 0,631	29,871	29,490
1173,2	20,409 $\pm$ 0,476	21,229	21,179	20,804 $\pm$ 0,485	21,625	21,582
1274,5	19,598 $\pm$ 0,504	20,301	20,261	19,941 $\pm$ 0,511	20,684	20,651
1332,5	18,955 $\pm$ 0,427	19,828	19,791	19,607 $\pm$ 0,440	20,204	20,174

Enerji (keV)	BaZn20			BaZn30		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	58,367 $\pm$ 3,521	59,914	56,600	56,892 $\pm$ 3,211	59,453	56,186
302,9	51,564 $\pm$ 1,831	54,285	51,531	52,694 $\pm$ 1,729	54,085	51,371
356,0	44,524 $\pm$ 1,039	46,600	44,645	45,643 $\pm$ 1,058	46,711	44,787
383,9	41,997 $\pm$ 2,749	43,737	42,163	41,550 $\pm$ 2,632	43,947	42,399
511,0	37,618 $\pm$ 0,971	35,554	34,745	36,673 $\pm$ 0,969	35,969	35,183
661,7	28,830 $\pm$ 0,625	30,323	29,958	28,853 $\pm$ 0,647	30,793	30,443
1173,2	21,105 $\pm$ 0,490	22,038	22,002	22,190 $\pm$ 0,520	22,466	22,438
1274,5	20,052 $\pm$ 0,513	21,083	21,057	21,257 $\pm$ 0,539	21,497	21,479
1332,5	19,634 $\pm$ 0,442	20,596	20,572	19,972 $\pm$ 0,449	21,003	20,986

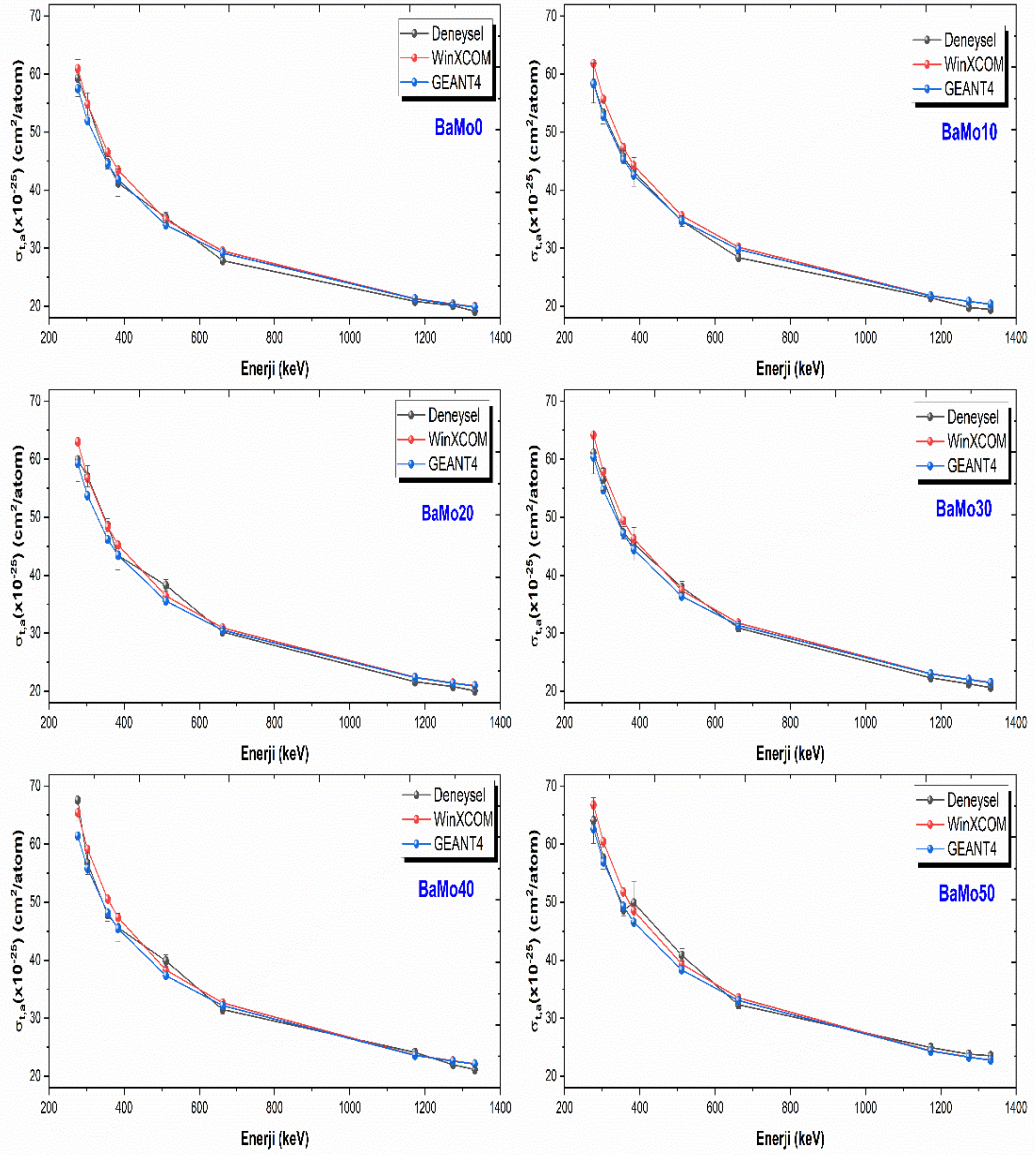
Enerji (keV)	BaZn40			BaZn50		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	56,575 $\pm$ 3,000	58,972	55,754	55,795 $\pm$ 2,860	58,471	55,300
302,9	50,430 $\pm$ 1,738	53,875	51,199	50,954 $\pm$ 1,788	53,657	51,025
356,0	45,409 $\pm$ 1,036	46,826	44,937	44,051 $\pm$ 1,034	46,947	45,094
383,9	41,941 $\pm$ 2,270	44,165	42,644	41,730 $\pm$ 2,573	44,392	42,903
511,0	34,589 $\pm$ 0,895	36,400	35,638	37,982 $\pm$ 0,984	36,849	36,112
661,7	29,518 $\pm$ 0,645	31,280	30,948	31,960 $\pm$ 0,695	31,789	31,474
1173,2	21,815 $\pm$ 0,507	22,912	22,892	22,049 $\pm$ 0,517	23,376	23,364
1274,5	20,682 $\pm$ 0,529	21,928	21,918	21,582 $\pm$ 0,549	22,377	22,375
1332,5	20,361 $\pm$ 0,457	21,426	21,417	21,217 $\pm$ 0,480	21,867	21,865

Tablo 4.44. Barit tabanlı bizmut ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin atomik tesir kesiti değerleri ($\times 10^{-25}$) (cm^2/atom)

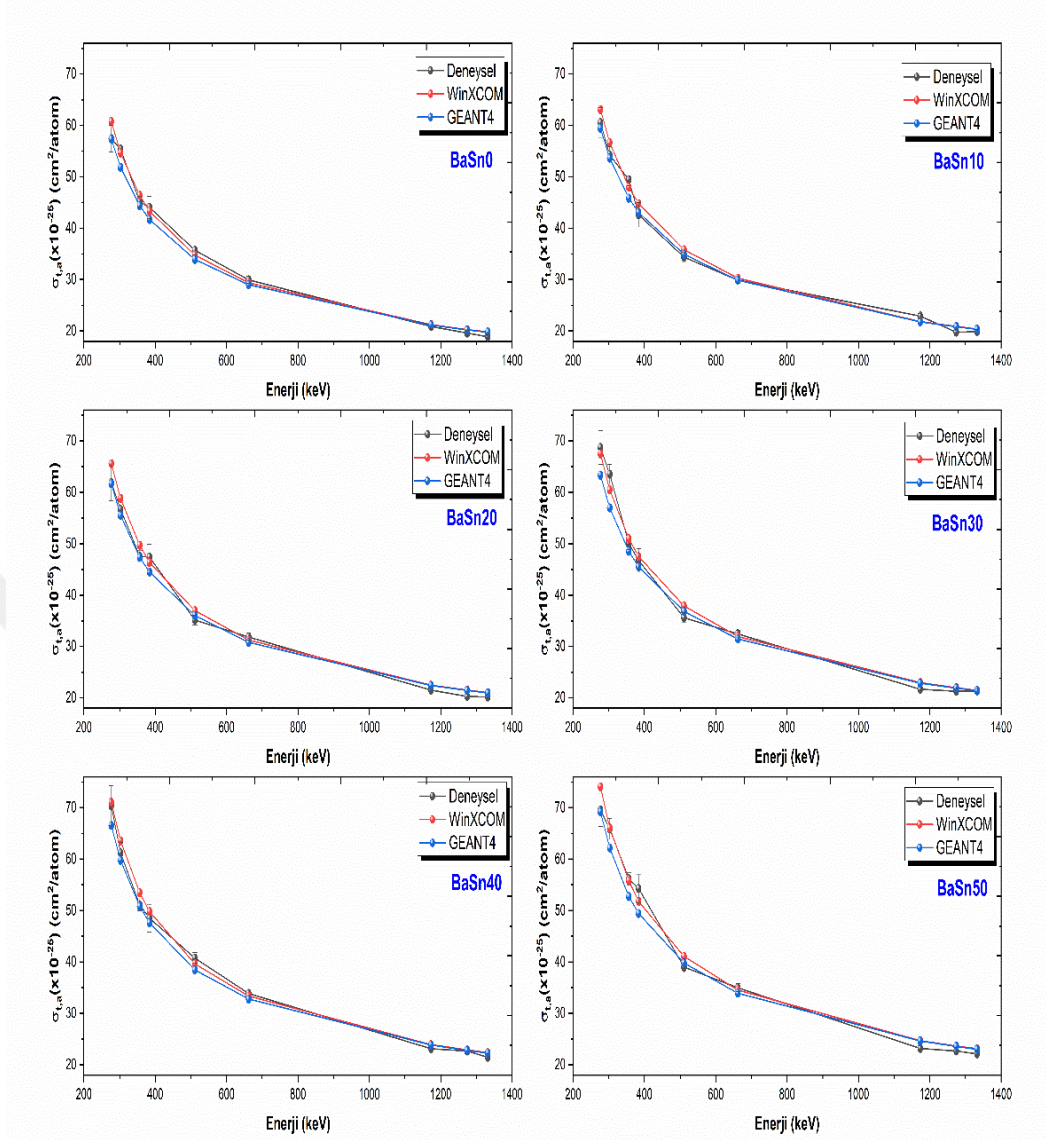
Enerji (keV)	BaBi0			BaBi10		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	56,953 $\pm$ 2,750	60,783	57,384	70,071 $\pm$ 3,912	73,237	68,889
302,9	51,665 $\pm$ 1,745	54,662	51,831	61,817 $\pm$ 1,728	64,765	61,130
356,0	45,600 $\pm$ 1,022	46,388	44,373	51,434 $\pm$ 1,163	53,474	50,864
383,9	45,982 $\pm$ 2,493	43,340	41,714	51,556 $\pm$ 2,515	49,386	47,274
511,0	33,166 $\pm$ 0,862	34,771	33,918	38,163 $\pm$ 0,983	38,245	37,110
661,7	27,741 $\pm$ 0,613	29,437	29,041	29,853 $\pm$ 0,656	31,691	31,134
1173,2	20,154 $\pm$ 0,464	21,229	21,179	21,276 $\pm$ 0,489	22,300	22,202
1274,5	19,865 $\pm$ 0,505	20,301	20,261	20,653 $\pm$ 0,519	21,288	21,208
1332,5	18,716 $\pm$ 0,415	19,828	19,791	19,788 $\pm$ 0,438	20,778	20,704
Enerji (keV)	BaBi20			BaBi30		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	82,468 $\pm$ 4,605	86,716	81,346	100,226 $\pm$ 5,227	101,343	94,859
302,9	72,565 $\pm$ 2,481	75,699	71,194	83,758 $\pm$ 3,047	87,564	82,114
356,0	61,095 $\pm$ 1,404	61,143	57,887	68,436 $\pm$ 1,549	69,465	65,510
383,9	58,232 $\pm$ 2,664	55,931	53,289	66,413 $\pm$ 3,764	63,032	59,820
511,0	42,692 $\pm$ 1,095	42,005	40,567	44,867 $\pm$ 1,181	46,085	44,317
661,7	33,112 $\pm$ 0,726	34,132	33,401	35,645 $\pm$ 0,788	36,779	35,859
1173,2	23,331 $\pm$ 0,538	23,459	23,309	24,195 $\pm$ 0,559	24,716	24,511
1274,5	21,713 $\pm$ 0,545	22,357	22,234	24,154 $\pm$ 0,609	23,516	23,347
1332,5	20,635 $\pm$ 0,456	21,808	21,693	22,317 $\pm$ 0,496	22,924	22,766
Enerji (keV)	BaBi40			BaBi50		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	112,719 $\pm$ 8,559	117,275	109,578	142,694 $\pm$ 8,965	134,696	125,678
302,9	96,597 $\pm$ 3,476	100,488	94,009	114,670 $\pm$ 4,409	114,621	107,016
356,0	75,595 $\pm$ 1,782	78,529	73,814	85,866 $\pm$ 2,001	88,441	82,894
383,9	71,365 $\pm$ 4,022	70,767	66,933	77,478 $\pm$ 4,640	79,225	74,711
511,0	49,067 $\pm$ 1,332	50,529	48,398	55,953 $\pm$ 1,479	55,388	52,867
661,7	37,281 $\pm$ 0,817	39,663	38,537	45,026 $\pm$ 1,002	42,816	41,466
1173,2	24,910 $\pm$ 0,575	26,085	25,819	25,856 $\pm$ 0,597	27,582	27,250
1274,5	26,115 $\pm$ 0,666	24,779	24,559	24,500 $\pm$ 0,616	26,160	25,885
1332,5	23,583 $\pm$ 0,525	24,140	23,934	25,700 $\pm$ 0,572	25,469	25,212

Tablo 4.45. Barit tabanlı ve demir ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin atomik tesir kesiti değerleri ($\times 10^{-25}$) (cm^2/atom)

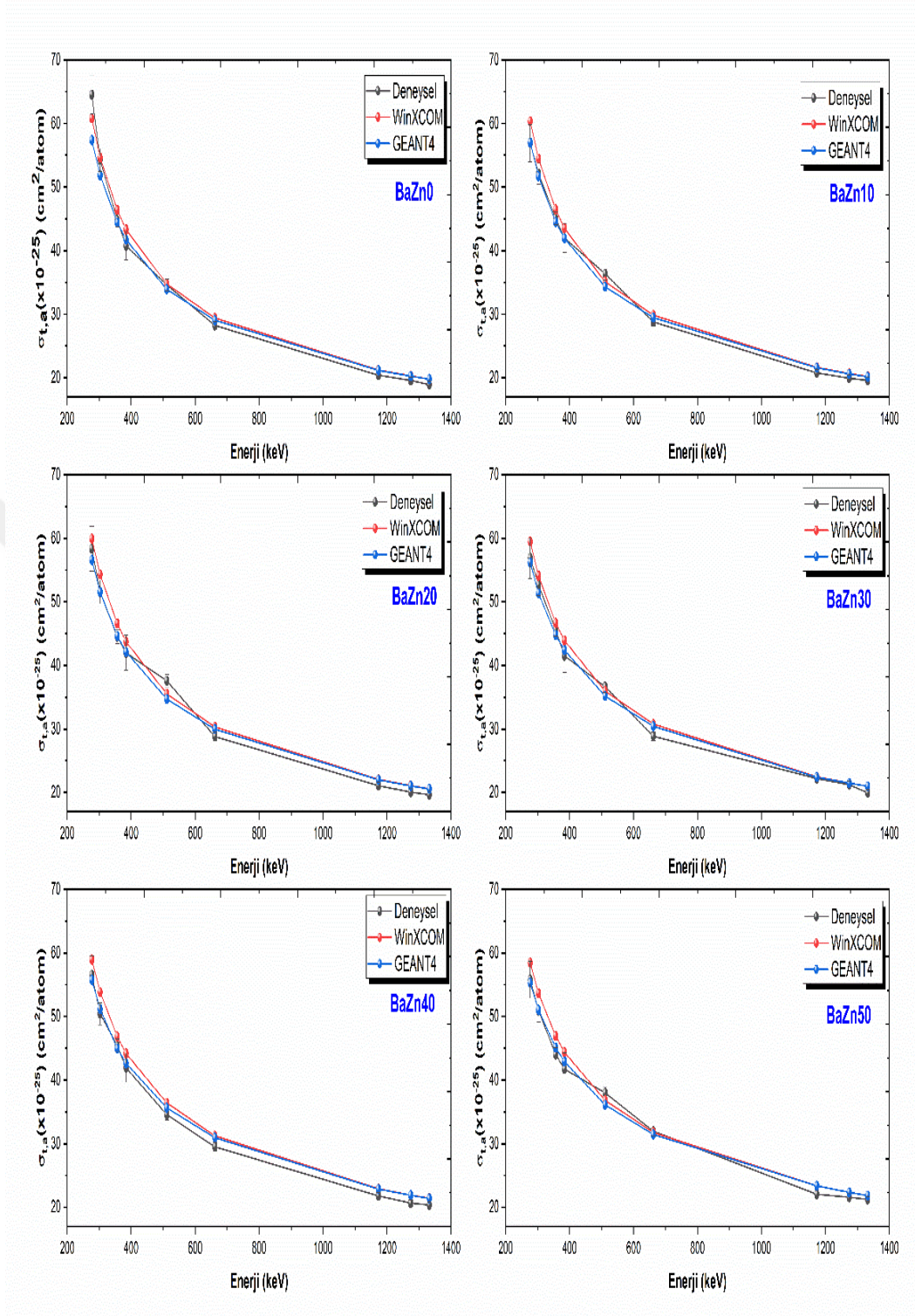
Enerji (keV)	BaFe0			BaFe10		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	57,101 $\pm$ 2,958	60,783	57,384	59,573 $\pm$ 3,602	59,895	56,597
302,9	52,263 $\pm$ 1,694	54,662	51,831	51,230 $\pm$ 1,669	54,089	51,347
356,0	43,936 $\pm$ 1,007	46,388	44,373	43,701 $\pm$ 0,994	46,198	44,248
383,9	41,030 $\pm$ 2,201	43,340	41,714	41,630 $\pm$ 2,807	43,274	41,704
511,0	34,805 $\pm$ 0,914	34,771	33,918	36,841 $\pm$ 0,953	34,977	34,162
661,7	27,730 $\pm$ 0,608	29,437	29,041	29,186 $\pm$ 0,638	29,735	29,363
1173,2	22,366 $\pm$ 0,522	21,229	21,179	20,362 $\pm$ 0,475	21,539	21,497
1274,5	19,037 $\pm$ 0,481	20,301	20,261	20,527 $\pm$ 0,524	20,601	20,569
1332,5	19,797 $\pm$ 0,445	19,828	19,791	18,944 $\pm$ 0,428	20,124	20,094
Enerji (keV)	BaFe20			BaFe30		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	55,485 $\pm$ 3,568	58,983	55,789	57,739 $\pm$ 2,979	58,041	54,955
302,9	51,148 $\pm$ 1,589	53,500	50,847	52,887 $\pm$ 1,850	52,893	50,330
356,0	47,120 $\pm$ 1,076	46,005	44,121	45,180 $\pm$ 1,032	45,804	43,993
383,9	40,547 $\pm$ 2,161	43,208	41,695	45,412 $\pm$ 2,459	43,138	41,680
511,0	36,530 $\pm$ 0,944	35,190	34,414	35,665 $\pm$ 0,937	35,408	34,672
661,7	29,045 $\pm$ 0,633	30,043	29,696	28,788 $\pm$ 0,628	30,359	30,038
1173,2	22,124 $\pm$ 0,515	21,858	21,826	20,962 $\pm$ 0,487	22,186	22,163
1274,5	20,061 $\pm$ 0,508	20,911	20,888	21,342 $\pm$ 0,542	21,230	21,216
1332,5	20,552 $\pm$ 0,465	20,428	20,407	19,906 $\pm$ 0,451	20,742	20,729
Enerji (keV)	BaFe40			BaFe50		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	54,106 $\pm$ 2,939	57,072	54,093	55,276 $\pm$ 3,327	56,072	53,207
302,9	52,013 $\pm$ 1,638	52,267	49,797	50,471 $\pm$ 1,700	51,622	49,248
356,0	43,345 $\pm$ 0,982	45,596	43,856	44,584 $\pm$ 1,013	45,382	43,715
383,9	44,005 $\pm$ 2,868	43,066	41,668	40,240 $\pm$ 1,885	42,991	41,656
511,0	35,801 $\pm$ 0,951	35,632	34,938	36,681 $\pm$ 0,955	35,863	35,212
661,7	29,771 $\pm$ 0,654	30,684	30,389	29,022 $\pm$ 0,634	31,019	30,751
1173,2	21,819 $\pm$ 0,515	22,523	22,510	23,501 $\pm$ 0,549	22,870	22,868
1274,5	22,187 $\pm$ 0,569	21,557	21,552	20,780 $\pm$ 0,528	21,895	21,900
1332,5	20,393 $\pm$ 0,460	21,064	21,059	21,826 $\pm$ 0,493	21,396	21,400



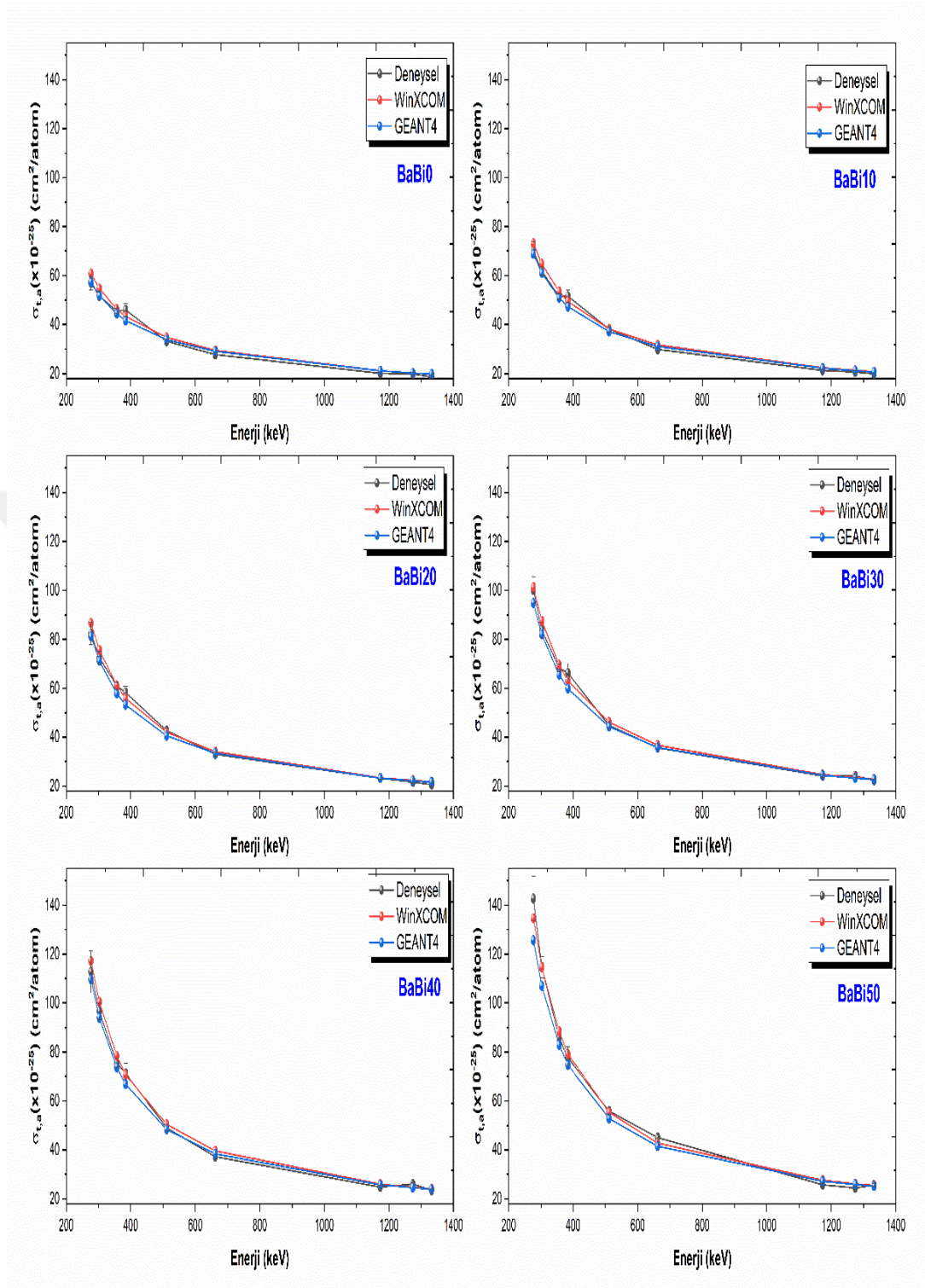
Şekil 4.41. Mo metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen atomik tesir kesiti değerlerinin enerjiye göre değişimi



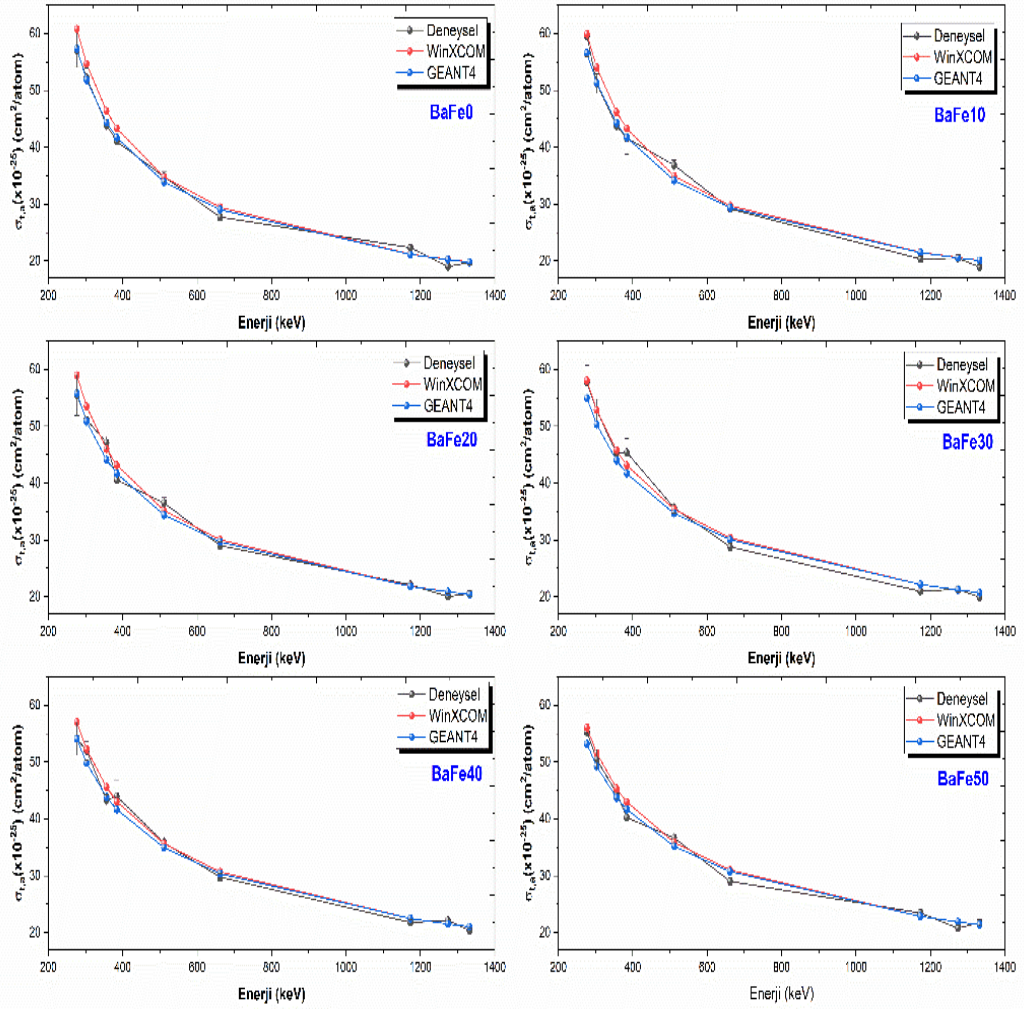
Şekil 4.42. Sn metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen atomik tesir kesiti değerlerinin enerjiye göre değişimi



Şekil 4.43. Zn metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen atomik tesir kesiti değerlerinin enerjiye göre değişimi



Şekil 4.44. Bi metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen atomik tesir kesiti değerlerinin enerjiye göre değişimi



Şekil 4.45. Fe metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 simülasyonu ile elde edilen atomik tesir kesiti değerlerinin enerjiye göre değişimi

4.10. Elektronik Tesir Kesiti Parametresine Ait Araştırma Bulguları

Malzemeyi oluşturan elektronların gelen foton ile etkileşme ihtimalini belirten parametredir ve denklem 2.56 yardımıyla hesaplanmıştır. H, O, C gibi hafif elementlerin kütle azaltma katsayısı deneysel olarak belirlenmesi zordur. Bu sebeple üretilen üçlü kompozitler içerisinde H, O, C gibi elementleri olduğu için elektronik tesir kesiti teorik ve simülasyon kodu ile hesaplanmıştır. İncelenen üçlü kompozit numunelerin WinXCOM programı ve GEANT4 simülasyonu yardımı ile elde edilen elektronik tesir kesiti sonuçları Tablo 4.46-4.50’de verilmiştir. Elektronik tesir kesiti değerlerinin foton enerjisine göre değişimi ise Şekil 4.46-4.50’de verilmiştir.

Tablo 4.46. Barit tabanlı molibden ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin elektronik tesir kesiti değerleri ($\times 10^{-25}$) ($\text{cm}^2/\text{elektron}$)

Enerji (keV)	BaMo0		BaMo10		BaMo20	
	WinX.	GEANT4	WinX.	GEANT4	WinX.	GEANT4
276,4	4,066	3,973	4,073	3,977	4,084	3,984
302,9	3,856	3,781	3,862	3,784	3,870	3,789
356,0	3,535	3,485	3,539	3,487	3,544	3,490
383,9	3,401	3,364	3,404	3,365	3,408	3,368
511,0	2,957	2,946	2,959	2,946	2,961	2,947
661,7	2,613	2,615	2,614	2,615	2,615	2,616
1173,2	1,968	1,973	1,969	1,973	1,969	1,974
1274,5	1,885	1,890	1,886	1,890	1,886	1,890
1332,5	1,842	1,847	1,843	1,847	1,843	1,847
Enerji (keV)	BaMo30		BaMo40		BaMo50	
	WinX.	GEANT4	WinX.	GEANT4	WinX.	GEANT4
276,4	4,095	3,991	4,107	3,998	4,120	4,006
302,9	3,879	3,794	3,888	3,799	3,898	3,805
356,0	3,550	3,493	3,556	3,496	3,562	3,499
383,9	3,413	3,370	3,418	3,372	3,423	3,375
511,0	2,963	2,948	2,965	2,949	2,968	2,950
661,7	2,616	2,617	2,617	2,617	2,619	2,618
1173,2	1,969	1,974	1,970	1,974	1,970	1,974
1274,5	1,886	1,891	1,887	1,891	1,887	1,891
1332,5	1,843	1,847	1,844	1,847	1,844	1,848

Tablo 4.47. Barit tabanlı kalay ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin elektronik tesir kesiti değerleri ($\times 10^{-25}$) ($\text{cm}^2/\text{elektron}$)

Enerji (keV)	BaSn0		BaSn10		BaSn20	
	WinX.	GEANT4	WinX.	GEANT4	WinX.	GEANT4
276,4	4,063	3,971	4,091	3,994	4,121	4,019
302,9	3,854	3,779	3,876	3,797	3,899	3,816
356,0	3,534	3,484	3,548	3,496	3,563	3,508
383,9	3,400	3,363	3,412	3,372	3,424	3,382
511,0	2,957	2,945	2,962	2,949	2,969	2,954
661,7	2,613	2,615	2,616	2,617	2,619	2,620
1173,2	1,968	1,973	1,969	1,974	1,970	1,975
1274,5	1,885	1,890	1,886	1,891	1,887	1,891
1332,5	1,842	1,846	1,843	1,847	1,844	1,848
Enerji (keV)	BaSn30		BaSn40		BaSn50	
	WinX.	GEANT4	WinX.	GEANT4	WinX.	GEANT4
276,4	4,144	4,038	4,187	4,073	4,223	4,104
302,9	3,917	3,831	3,951	3,858	3,979	3,881
356,0	3,575	3,517	3,597	3,534	3,615	3,549
383,9	3,434	3,390	3,452	3,404	3,467	3,416
511,0	2,973	2,958	2,982	2,964	2,990	2,970
661,7	2,622	2,622	2,627	2,625	2,631	2,629
1173,2	1,971	1,975	1,973	1,977	1,974	1,978
1274,5	1,888	1,892	1,889	1,893	1,890	1,894
1332,5	1,845	1,848	1,846	1,849	1,847	1,850

Tablo 4.48. Barit tabanlı çinko ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin elektronik tesir kesiti değerleri ($\times 10^{-25}$) ($\text{cm}^2/\text{elektron}$)

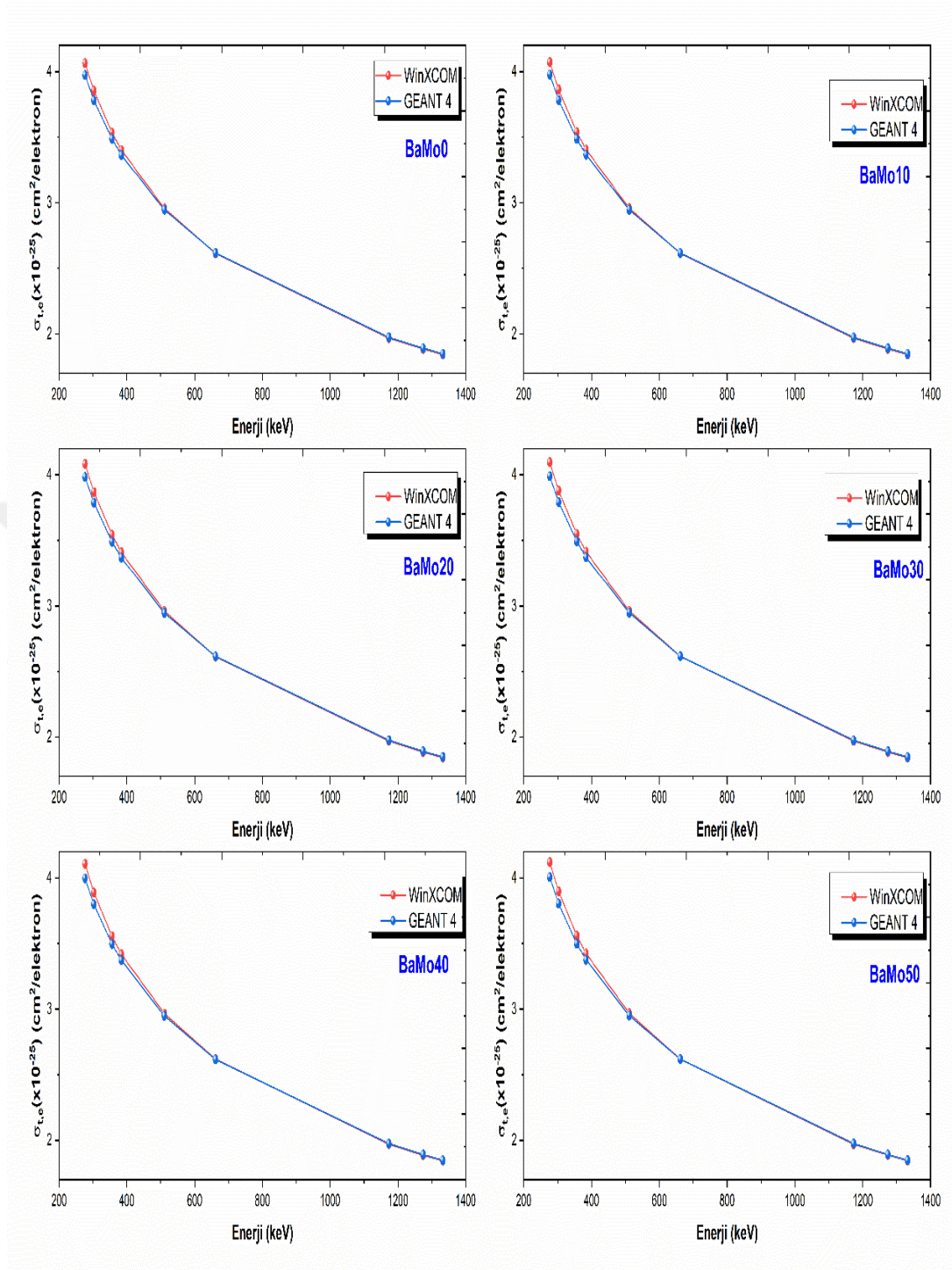
Enerji (keV)	BaZn0		BaZn10		BaZn20	
	WinX.	GEANT4	WinX.	GEANT4	WinX.	GEANT4
276,4	4,063	3,971	4,050	3,956	4,036	3,940
302,9	3,854	3,779	3,844	3,767	3,833	3,755
356,0	3,534	3,484	3,527	3,476	3,519	3,468
383,9	3,400	3,363	3,394	3,357	3,388	3,350
511,0	2,957	2,945	2,954	2,942	2,951	2,939
661,7	2,613	2,615	2,611	2,613	2,609	2,611
1173,2	1,968	1,973	1,968	1,973	1,967	1,972
1274,5	1,885	1,890	1,885	1,890	1,885	1,889
1332,5	1,842	1,846	1,842	1,846	1,842	1,846
Enerji (keV)	BaZn30		BaZn40		BaZn50	
	WinX.	GEANT4	WinX.	GEANT4	WinX.	GEANT4
276,4	4,021	3,924	4,006	3,907	4,006	3,889
302,9	3,821	3,742	3,809	3,728	3,809	3,714
356,0	3,512	3,459	3,504	3,451	3,504	3,441
383,9	3,382	3,343	3,375	3,335	3,375	3,327
511,0	2,948	2,935	2,945	2,931	2,945	2,928
661,7	2,608	2,610	2,606	2,608	2,606	2,605
1173,2	1,967	1,972	1,966	1,971	1,966	1,971
1274,5	1,884	1,889	1,884	1,888	1,884	1,888
1332,5	1,841	1,845	1,841	1,845	1,841	1,845

Tablo 4.49. Barit tabanlı bizmut ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin elektronik tesir kesiti değerleri ($\times 10^{-25}$) ($\text{cm}^2/\text{elektron}$)

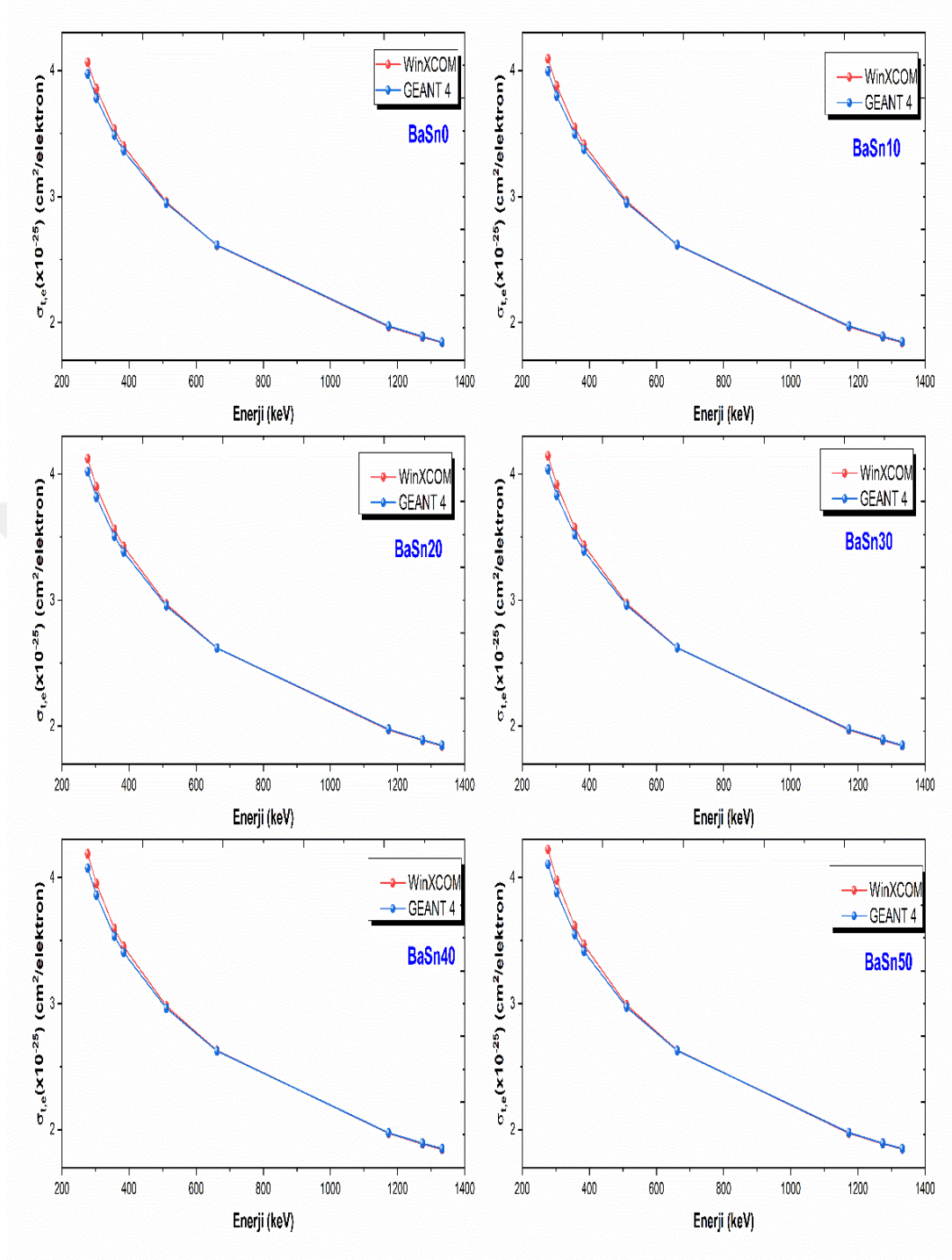
Enerji (keV)	BaBi0		BaBi10		BaBi20	
	WinX.	GEANT4	WinX.	GEANT4	WinX.	GEANT4
276,4	4,063	3,971	4,190	4,088	4,327	4,215
302,9	3,854	3,779	3,955	3,872	4,064	3,972
356,0	3,534	3,484	3,601	3,546	3,675	3,613
383,9	3,400	3,363	3,456	3,415	3,518	3,470
511,0	2,957	2,945	2,986	2,971	3,017	2,999
661,7	2,613	2,615	2,629	2,629	2,646	2,645
1173,2	1,968	1,973	1,973	1,978	1,979	1,983
1274,5	1,885	1,890	1,890	1,894	1,894	1,898
1332,5	1,842	1,846	1,846	1,850	1,851	1,854
Enerji (keV)	BaBi30		BaBi40		BaBi50	
	WinX.	GEANT4	WinX.	GEANT4	WinX.	GEANT4
276,4	4,476	4,353	4,639	4,503	4,816	4,667
302,9	4,183	4,081	4,312	4,200	4,453	4,330
356,0	3,754	3,685	3,841	3,764	3,936	3,851
383,9	3,584	3,530	3,656	3,596	3,735	3,667
511,0	3,051	3,029	3,087	3,063	3,128	3,099
661,7	2,665	2,662	2,686	2,681	2,709	2,701
1173,2	1,985	1,988	1,991	1,993	1,998	2,000
1274,5	1,900	1,903	1,905	1,908	1,911	1,913
1332,5	1,856	1,858	1,861	1,863	1,867	1,868

Tablo 4.50. Barit tabanlı demir ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin elektronik tesir kesiti değerleri ($\times 10^{-25}$) ($\text{cm}^2/\text{elektron}$)

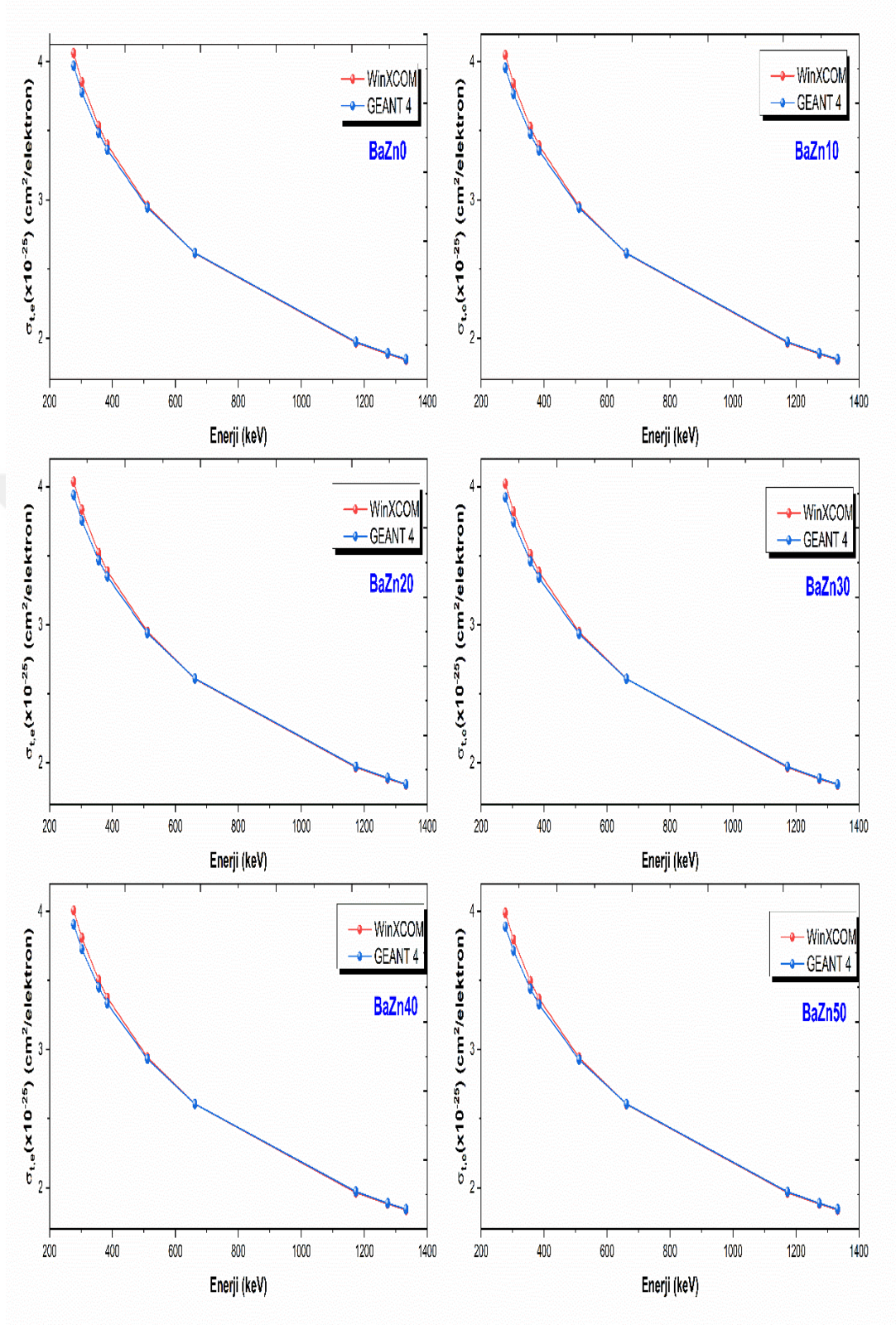
Enerji (keV)	BaFe0		BaFe10		BaFe20	
	WinX.	GEANT4	WinX.	GEANT4	WinX.	GEANT4
276,4	4,063	3,971	4,043	3,950	4,021	3,928
302,9	3,854	3,779	3,838	3,762	3,821	3,745
356,0	3,534	3,484	3,523	3,473	3,512	3,462
383,9	3,400	3,363	3,391	3,354	3,382	3,345
511,0	2,957	2,945	2,952	2,941	2,948	2,936
661,7	2,613	2,615	2,610	2,613	2,608	2,610
1173,2	1,968	1,973	1,968	1,973	1,967	1,972
1274,5	1,885	1,890	1,885	1,890	1,884	1,889
1332,5	1,842	1,846	1,842	1,846	1,841	1,845
Enerji (keV)	BaFe30		BaFe40		BaFe50	
	WinX.	GEANT4	WinX.	GEANT4	WinX.	GEANT4
276,4	4,000	3,905	3,977	3,882	3,954	3,858
302,9	3,804	3,727	3,787	3,709	3,768	3,690
356,0	3,501	3,450	3,489	3,438	3,477	3,426
383,9	3,373	3,335	3,363	3,325	3,354	3,315
511,0	2,943	2,932	2,939	2,927	2,934	2,922
661,7	2,605	2,608	2,603	2,605	2,600	2,602
1173,2	1,966	1,971	1,965	1,970	1,965	1,970
1274,5	1,883	1,888	1,883	1,888	1,882	1,887
1332,5	1,841	1,845	1,840	1,844	1,839	1,844



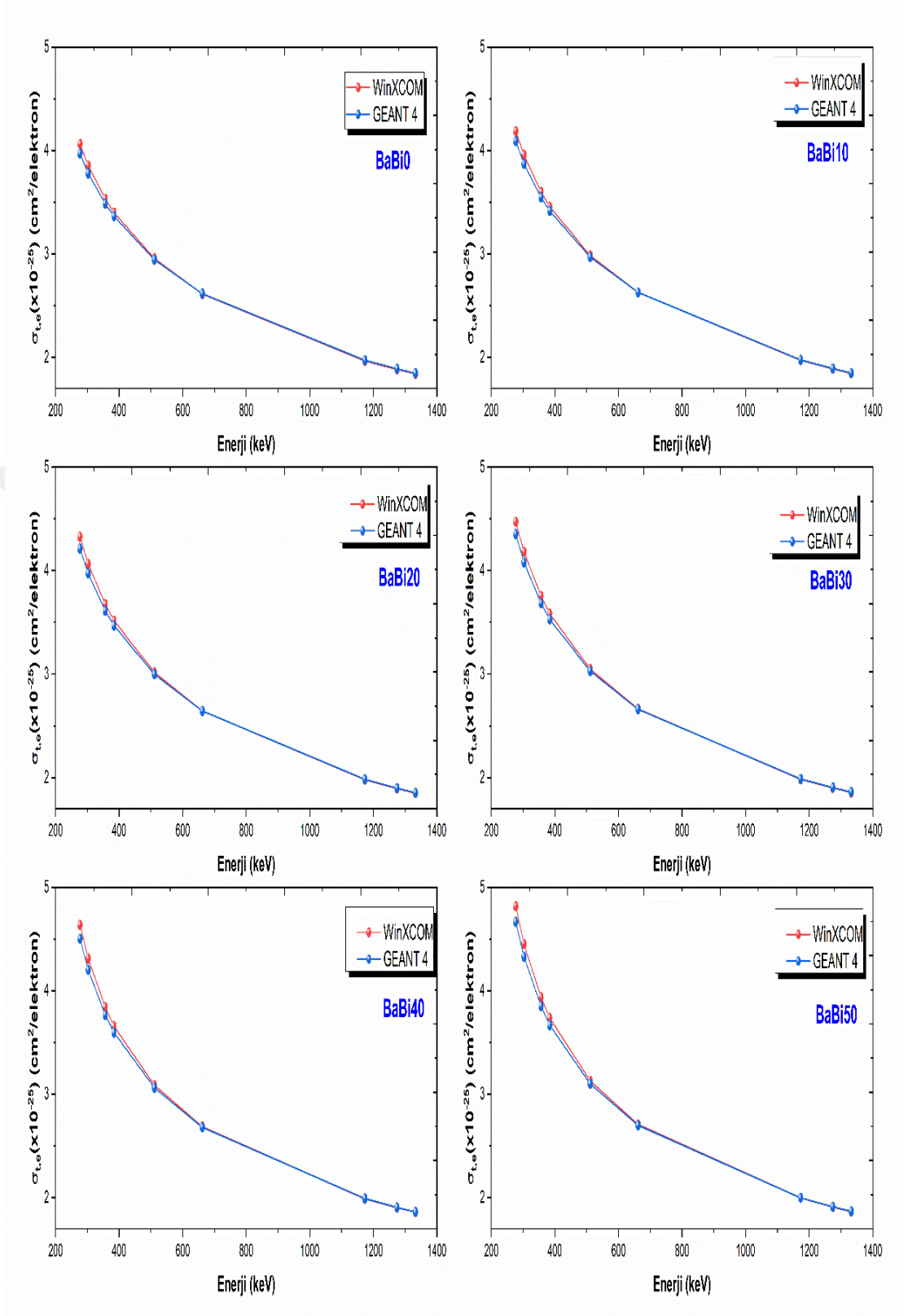
Şekil 4.46. Mo metalı ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen elektronik tesir kesiti değerlerinin enerjiye göre değişimi



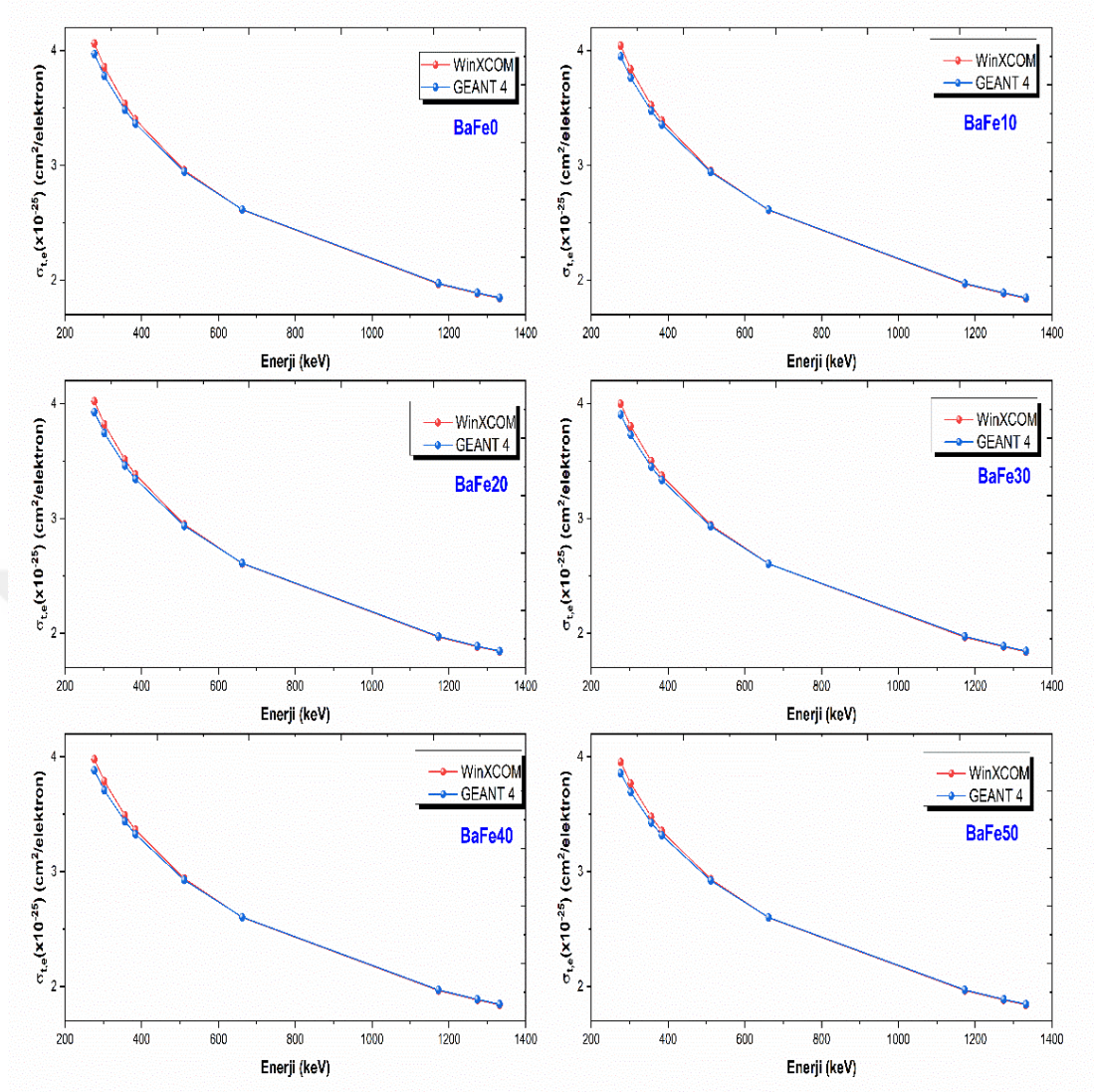
Şekil 4.47. Sn metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen elektronik tesir kesiti değerlerinin enerjiye göre değişimi



Şekil 4.48. Zn metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen elektronik tesir kesiti değerlerinin enerjiye göre değişimi



Şekil 4.49. Bi metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 simülasyonu ile elde edilen elektronik tesir kesiti değerlerinin enerjiye göre değişimi



Şekil 4.50. Fe metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 simülasyonu ile elde edilen elektronik tesir kesiti değerlerinin enerjiye göre değişimi

4.11. Etkin Atom Numarası Parametresine Ait Araştırma Bulguları

Etkin atom numarası ($Z_{\text{etk.}}$), malzemeyi oluşturan atomların gelen gama ışını fotonları ile etkileşme ihtimalinin, malzemeyi oluşturan elektronların gelen gama ışını fotonları ile etkileşme ihtimaline oranı olarak ifade edilir, yani atomik tesir kesitinin elektronik tesir kesitine oranıdır. Etkin atom numarası değerleri denklem 2.57 kullanılarak elde edilmiştir. Birden fazla elementten oluşan malzemelerde atom numarası yerine etkin atom numarası kullanılır ve bu parametre foton enerjisi ile değişim gösterir. İncelenen üçlü kompozit numunelerin deneysel, WinXCOM programı ve GEANT4 simülasyonu

yardımı ile elde edilen etkin atom numarası sonuçları Tablo 4.51-4.55'te verilmiştir. Etkin atom numarası değerlerinin foton enerjisine göre değişimi ise Şekil 4.51-4.55'te verilmiştir.

Tablo 4.51. Barit tabanlı molibden ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin etkin atom numarası değerleri

Enerji (keV)	BaMo0			BaMo10		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	14,5873±0,7850	14,9917	14,483	14,3573±0,8551	15,1839	14,661
302,9	14,2239±0,5067	14,2148	13,747	13,7997±0,4840	14,4182	13,938
356,0	12,6488±0,2899	13,1596	12,767	12,9198±0,2990	13,3780	12,974
383,9	12,1278±0,6961	12,7786	12,433	12,6717±0,7299	13,0024	12,647
511,0	11,9270±0,3153	11,7906	11,547	11,7108±0,3001	12,0275	11,779
661,7	10,6635±0,2338	11,2973	11,135	10,8502±0,2382	11,5410	11,376
1173,2	10,5669±0,2464	10,8150	10,762	10,8941±0,2533	11,0651	11,012
1274,5	10,6459±0,2710	10,7968	10,749	10,4959±0,2674	11,0475	10,999
1332,5	10,3493±0,2330	10,7912	10,747	10,5197±0,2362	11,0424	10,999
Enerji (keV)	BaMo20			BaMo30		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	14,6760±0,9293	15,4205	14,884	14,9263±0,8866	15,6698	15,118
302,9	14,7456±0,4785	14,6667	14,174	14,5796±0,4898	14,9289	14,423
356,0	13,7241±0,3140	13,6421	13,228	13,3244±0,3089	13,9210	13,496
383,9	12,7405±0,7211	13,2718	12,908	13,2966±0,8421	13,5566	13,183
511,0	12,9235±0,3393	12,3102	12,056	12,8017±0,3360	12,6094	12,350
661,7	11,5479±0,2514	11,8304	11,662	11,8106±0,2580	12,1368	11,966
1173,2	10,9549±0,2564	11,3608	11,307	11,3030±0,2652	11,6741	11,620
1274,5	11,0189±0,2837	11,3438	11,296	11,2423±0,2871	11,6577	11,610
1332,5	10,8583±0,2444	11,3392	11,296	11,1771±0,2519	11,6536	11,611
Enerji (keV)	BaMo40			BaMo50		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	16,4701±0,8515	15,9327	15,366	15,5568±0,9643	16,2112	15,630
302,9	14,5958±0,4921	15,2056	14,686	14,7887±0,4947	15,4991	14,965
356,0	13,4522±0,3051	14,2158	13,779	13,6709±0,3159	14,5290	14,081
383,9	13,3453±0,7281	13,8578	13,474	14,5710±1,0566	14,1778	13,785
511,0	13,4378±0,3533	12,9263	12,661	13,7738±0,3607	13,2634	12,992
661,7	12,0224±0,2671	12,4616	12,287	12,3459±0,2698	12,8073	12,630
1173,2	12,2435±0,2848	12,0064	11,952	12,6398±0,2945	12,3602	12,306
1274,5	11,6390±0,2992	11,9907	11,943	12,6069±0,3221	12,3453	12,298
1332,5	11,4507±0,2585	11,9871	11,944	12,7407±0,2879	12,3423	12,300

Tablo 4.52. Barit tabanlı kalay ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin etkin atom numarası değerleri

Enerji (keV)	BaSn0			BaSn10		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	14,1313±0,6355	14,9594	14,451	14,8042±0,7164	15,4249	14,885
302,9	14,3858±0,4016	14,1827	13,715	14,0020±0,4127	14,6222	14,126
356,0	12,7887±0,2869	13,1281	12,735	13,9413±0,3160	13,5295	13,111
383,9	12,9574±0,6393	12,7474	12,402	12,4835±0,6903	13,1344	12,767
511,0	12,0840±0,3101	11,7602	11,517	11,6096±0,2987	12,1080	11,849
661,7	11,4739±0,2504	11,2676	11,105	11,4416±0,2499	11,5946	11,423
1173,2	10,6357±0,2466	10,7858	10,733	11,6392±0,2686	11,0922	11,036
1274,5	10,4207±0,2648	10,7676	10,719	10,4879±0,2660	11,0734	11,023
1332,5	10,2468±0,2270	10,7621	10,718	10,7993±0,2392	11,0678	11,022
Enerji (keV)	BaSn20			BaSn30		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	15,0191±0,8465	15,9151	15,343	16,5811±0,7961	16,2947	15,690
302,9	14,5440±0,4487	15,0861	14,559	16,2111±0,4872	15,4410	14,883
356,0	13,3550±0,3032	13,9548	13,509	14,0020±0,3236	14,2736	13,803
383,9	13,8465±0,7344	13,5449	13,153	13,6120±0,6713	13,8499	13,436
511,0	11,8447±0,3108	12,4782	12,203	11,9756±0,3150	12,7462	12,456
661,7	12,1721±0,2661	11,9432	11,762	12,4009±0,2706	12,1916	12,000
1173,2	10,9201±0,2531	11,4193	11,361	11,0014±0,2539	11,6482	11,587
1274,5	10,7482±0,2717	11,3999	11,347	11,2715±0,2832	11,6281	11,573
1332,5	10,9386±0,2421	11,3943	11,347	11,5684±0,2575	11,6226	11,573
Enerji (keV)	BaSn40			BaSn50		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	16,8164±0,9317	16,9740	16,336	16,4719±0,7668	17,552	16,875
302,9	15,5004±0,5154	16,0924	15,502	16,5499±0,5077	16,608	16,017
356,0	14,2098±0,3292	14,8820	14,382	15,5415±0,3507	15,439	14,861
383,9	14,0647±0,7806	14,4415	14,002	15,6529±0,7880	14,939	14,467
511,0	13,6771±0,3500	13,2907	12,982	13,0500±0,3456	13,741	13,412
661,7	12,9114±0,2842	12,7103	12,507	13,3013±0,2927	13,138	12,921
1173,2	11,7233±0,2699	12,1409	12,076	11,7648±0,2724	12,533	12,474
1274,5	12,0240±0,3033	12,1200	12,063	12,0169±0,3045	12,521	12,460
1332,5	11,6232±0,2585	12,1145	12,062	11,9813±0,2668	12,522	12,460

Tablo 4.53.Barit tabanlı çinko ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin etkin atom numarası değerleri

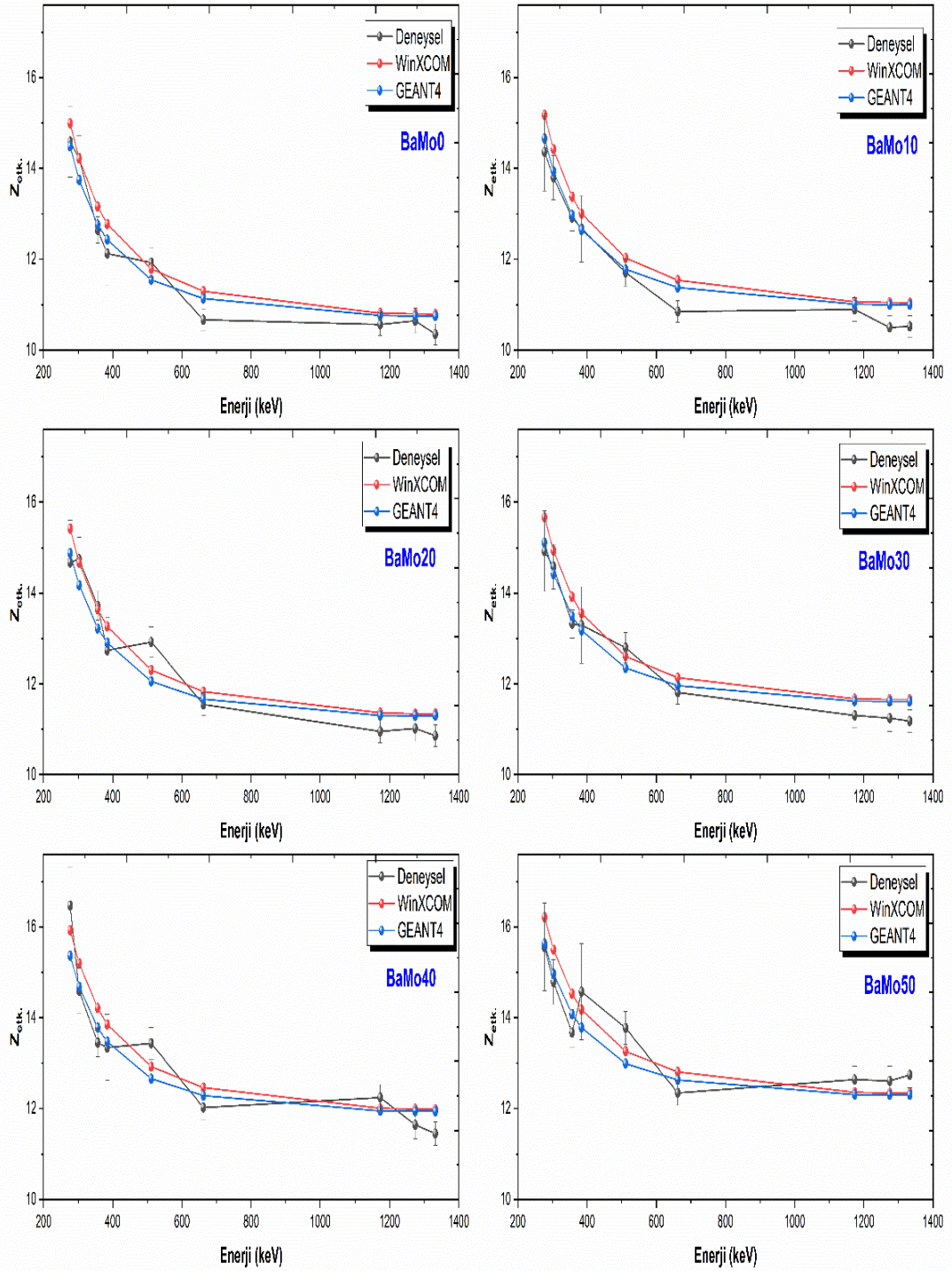
Enerji (keV)	BaZn0			BaZn10		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	15,883±0,759	14,959	14,451	14,053±0,719	14,904	14,409
302,9	14,074±0,471	14,183	13,715	13,564±0,444	14,173	13,719
356,0	12,681±0,291	13,128	12,735	12,784±0,295	13,183	12,802
383,9	11,994±0,663	12,747	12,402	12,373±0,679	12,826	12,492
511,0	11,706±0,304	11,760	11,517	12,305±0,317	11,901	11,667
661,7	10,814±0,237	11,268	11,106	11,026±0,242	11,440	11,285
1173,2	10,369±0,242	10,786	10,733	10,572±0,246	10,990	10,940
1274,5	10,395±0,267	10,768	10,719	10,579±0,271	10,973	10,928
1332,5	10,288±0,232	10,762	10,718	10,644±0,239	10,968	10,927
Enerji (keV)	BaZn20			BaZn30		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	14,462±0,872	14,846	14,365	14,148±0,798	14,785	14,319
302,9	13,454±0,478	14,164	13,724	13,790±0,453	14,154	13,729
356,0	12,652±0,295	13,241	12,873	12,997±0,301	13,301	12,946
383,9	12,395±0,811	12,909	12,587	12,286±0,778	12,995	12,684
511,0	12,748±0,329	12,049	11,824	12,441±0,329	12,202	11,987
661,7	11,048±0,239	11,621	11,472	11,064±0,248	11,808	11,666
1173,2	10,728±0,249	11,202	11,155	11,282±0,265	11,423	11,380
1274,5	10,640±0,272	11,187	11,145	11,282±0,286	11,410	11,371
1332,5	10,661±0,240	11,183	11,145	10,847±0,244	11,407	11,372
Enerji (keV)	BaZn40			BaZn50		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	14,122±0,7489	14,721	14,271	13,983±0,717	14,654	14,219
302,9	13,239±0,4563	14,144	13,732	13,421±0,471	14,132	13,737
356,0	12,960±0,2957	13,364	13,023	12,601±0,296	13,430	13,104
383,9	12,425±0,6724	13,084	12,786	12,388±0,764	13,178	12,894
511,0	11,747±0,3041	12,362	12,157	12,914±0,335	12,528	12,335
661,7	11,327±0,2475	12,003	11,869	12,272±0,267	12,207	12,080
1173,2	11,095±0,2581	11,652	11,613	11,217±0,263	11,892	11,856
1274,5	10,980±0,2808	11,641	11,606	11,461±0,291	11,883	11,851
1332,5	11,060±0,2485	11,639	11,607	11,528±0,261	11,881	11,853

Tablo 4.54. Barit tabanlı bizmut ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin etkin atom numarası değerleri

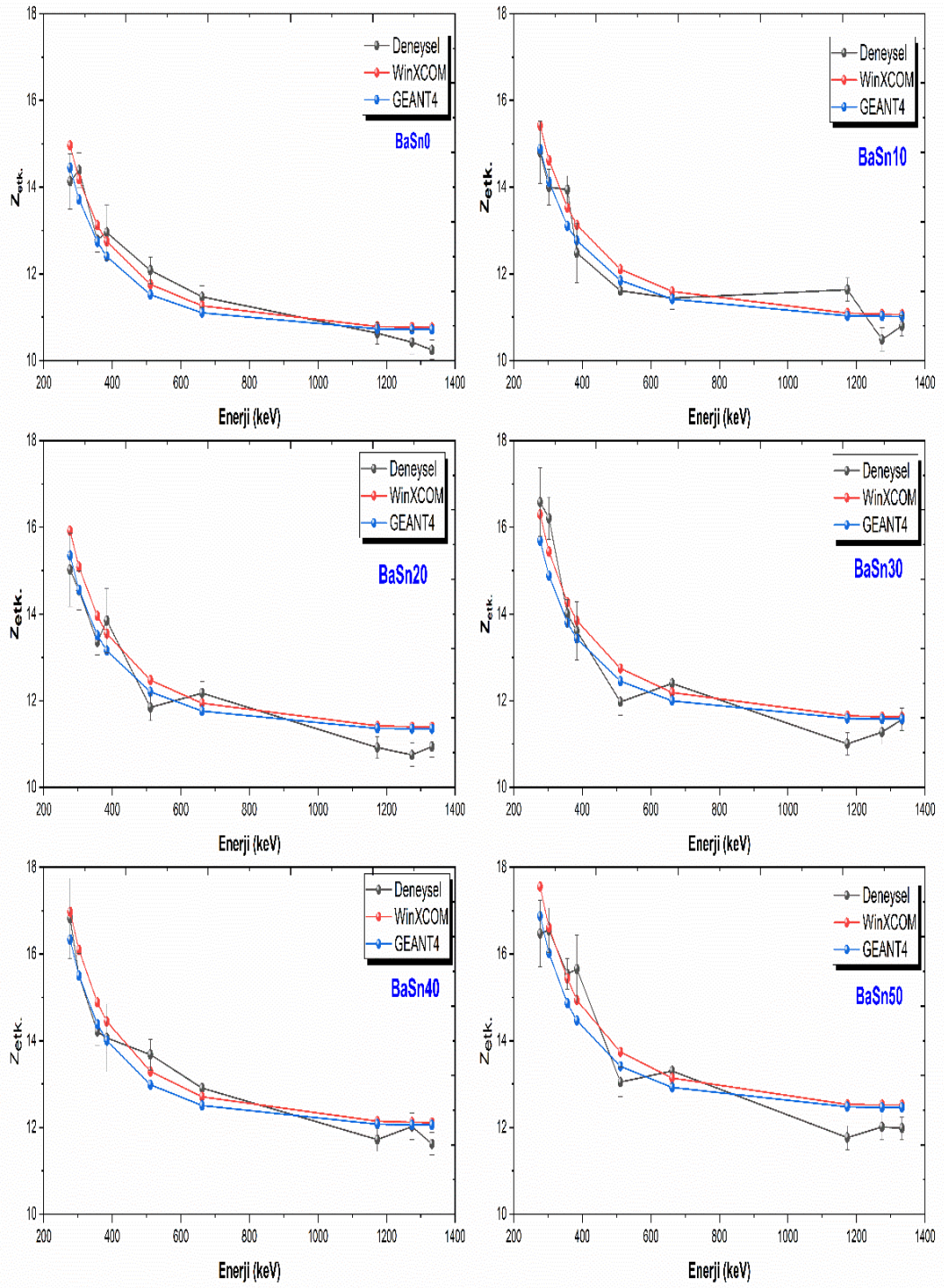
Enerji (keV)	BaBi0			BaBi10		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	14,017±0,677	14,959	14,451	16,723±0,934	17,479	16,850
302,9	13,405±0,453	14,183	13,715	15,630±0,437	16,375	15,788
356,0	12,905±0,289	13,128	12,735	14,282±0,323	14,848	14,344
383,9	13,525±0,733	12,747	12,402	14,916±0,728	14,288	13,845
511,0	11,217±0,292	11,760	11,517	12,783±0,329	12,810	12,491
661,7	10,618±0,235	11,268	11,106	11,356±0,249	12,056	11,841
1173,2	10,239±0,236	10,786	10,733	10,782±0,248	11,301	11,226
1274,5	10,537±0,268	10,768	10,719	10,929±0,275	11,265	11,198
1332,5	10,159±0,225	10,762	10,718	10,716±0,237	11,253	11,191
Enerji (keV)	BaBi20			BaBi30		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	19,057±1,064	20,039	19,298	22,390±1,168	22,639	21,792
302,9	17,854±0,611	18,625	17,923	20,024±0,728	20,934	20,120
356,0	16,626±0,382	16,639	16,023	18,228±0,413	18,502	17,776
383,9	16,555±0,757	15,900	15,357	18,531±1,050	17,587	16,946
511,0	14,152±0,363	13,924	13,527	14,707±0,387	15,107	14,629
661,7	12,513±0,274	12,898	12,628	13,374±0,296	13,799	13,471
1173,2	11,791±0,272	11,855	11,757	12,191±0,282	12,453	12,331
1274,5	11,461±0,288	11,802	11,714	12,716±0,321	12,380	12,270
1332,5	11,148±0,246	11,782	11,700	12,0264±0,267	12,353	12,251
Enerji (keV)	BaBi40			BaBi50		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	24,300±1,845	25,282	24,335	29,628±1,861	27,967	26,929
302,9	22,402±0,806	23,304	22,384	25,750±0,990	25,738	24,717
356,0	19,680±0,464	20,443	19,609	21,815±0,508	22,469	21,527
383,9	19,519±1,100	19,355	18,615	20,742±1,242	21,210	20,373
511,0	15,892±0,432	16,366	15,803	17,889±0,473	17,708	17,061
661,7	13,880±0,304	14,766	14,377	16,623±0,370	15,807	15,354
1173,2	12,511±0,289	13,101	12,952	12,940±0,299	13,804	13,627
1274,5	13,708±0,349	13,007	12,874	12,819±0,322	13,688	13,530
1332,5	12,673±0,282	12,972	12,847	13,768±0,307	13,644	13,496

Tablo 4.55. Barit tabanlı demir ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin etkin atom numarası değerleri

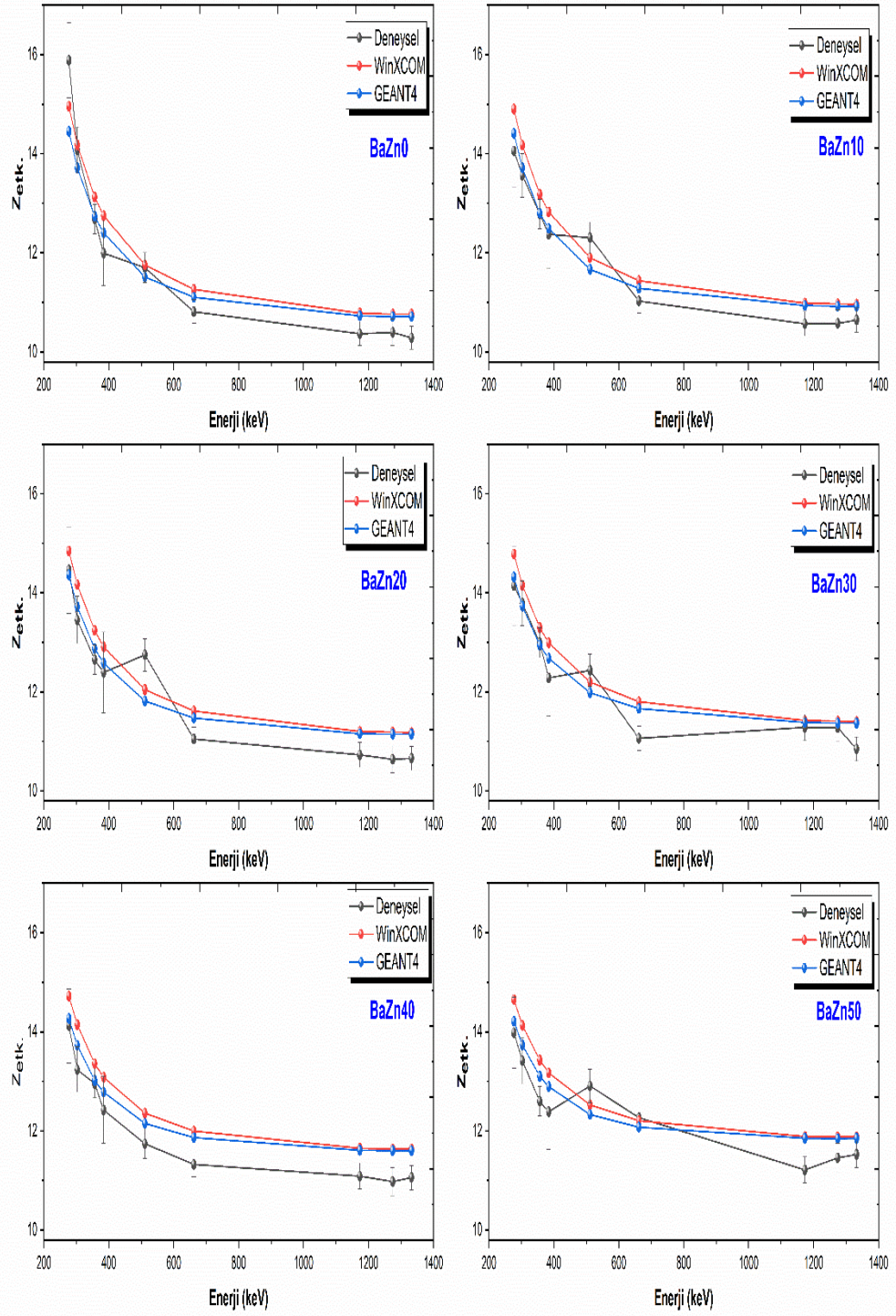
Enerji (keV)	BaFe0			BaFe10		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	14,053±0,728	14,959	14,451	14,736±0,891	14,816	14,329
302,9	13,560±0,439	14,183	13,715	13,348±0,435	14,093	13,648
356,0	12,434±0,285	13,128	12,735	12,405±0,282	13,114	12,740
383,9	12,068±0,647	12,747	12,402	12,276±0,828	12,761	12,433
511,0	11,772±0,309	11,760	11,517	12,479±0,323	11,847	11,617
661,7	10,614±0,233	11,268	11,106	11,181±0,244	11,392	11,239
1173,2	11,363±0,265	10,786	10,733	10,349±0,241	10,947	10,898
1274,5	10,098±0,255	10,768	10,719	10,891±0,278	10,931	10,886
1332,5	10,745±0,241	10,762	10,718	10,285±0,232	10,926	10,885
Enerji (keV)	BaFe20			BaFe30		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	13,797±0,887	14,667	14,204	14,436±0,745	14,5115	14,072
302,9	13,385±0,416	14,000	13,577	13,902±0,486	13,9037	13,503
356,0	13,417±0,306	13,099	12,745	12,906±0,295	13,0839	12,750
383,9	11,988±0,639	12,775	12,465	13,464±0,729	12,7895	12,497
511,0	12,392±0,320	11,937	11,720	12,117±0,318	12,0297	11,827
661,7	11,138±0,243	11,520	11,377	11,049±0,241	11,6524	11,519
1173,2	11,248±0,262	11,113	11,068	10,662±0,248	11,2841	11,243
1274,5	10,647±0,270	11,099	11,058	11,332±0,288	11,2716	11,235
1332,5	11,162±0,252	11,095	11,058	10,814±0,245	11,2684	11,235
Enerji (keV)	BaFe40			BaFe50		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	13,604±0,739	14,350	13,934	13,980±0,841	14,181	13,791
302,9	13,736±0,433	13,803	13,425	13,393±0,451	13,699	13,345
356,0	12,423±0,281	13,068	12,755	12,822±0,291	13,051	12,760
383,9	13,084±0,853	12,804	12,531	11,999±0,562	12,820	12,566
511,0	12,183±0,324	12,125	11,937	12,503±0,325	12,224	12,051
661,7	11,438±0,251	11,789	11,666	11,161±0,244	11,929	11,817
1173,2	11,102±0,262	11,460	11,424	11,963±0,280	11,642	11,609
1274,5	11,784±0,302	11,450	11,417	11,041±0,280	11,633	11,605
1332,5	11,083±0,250	11,447	11,418	11,865±0,268	11,632	11,606



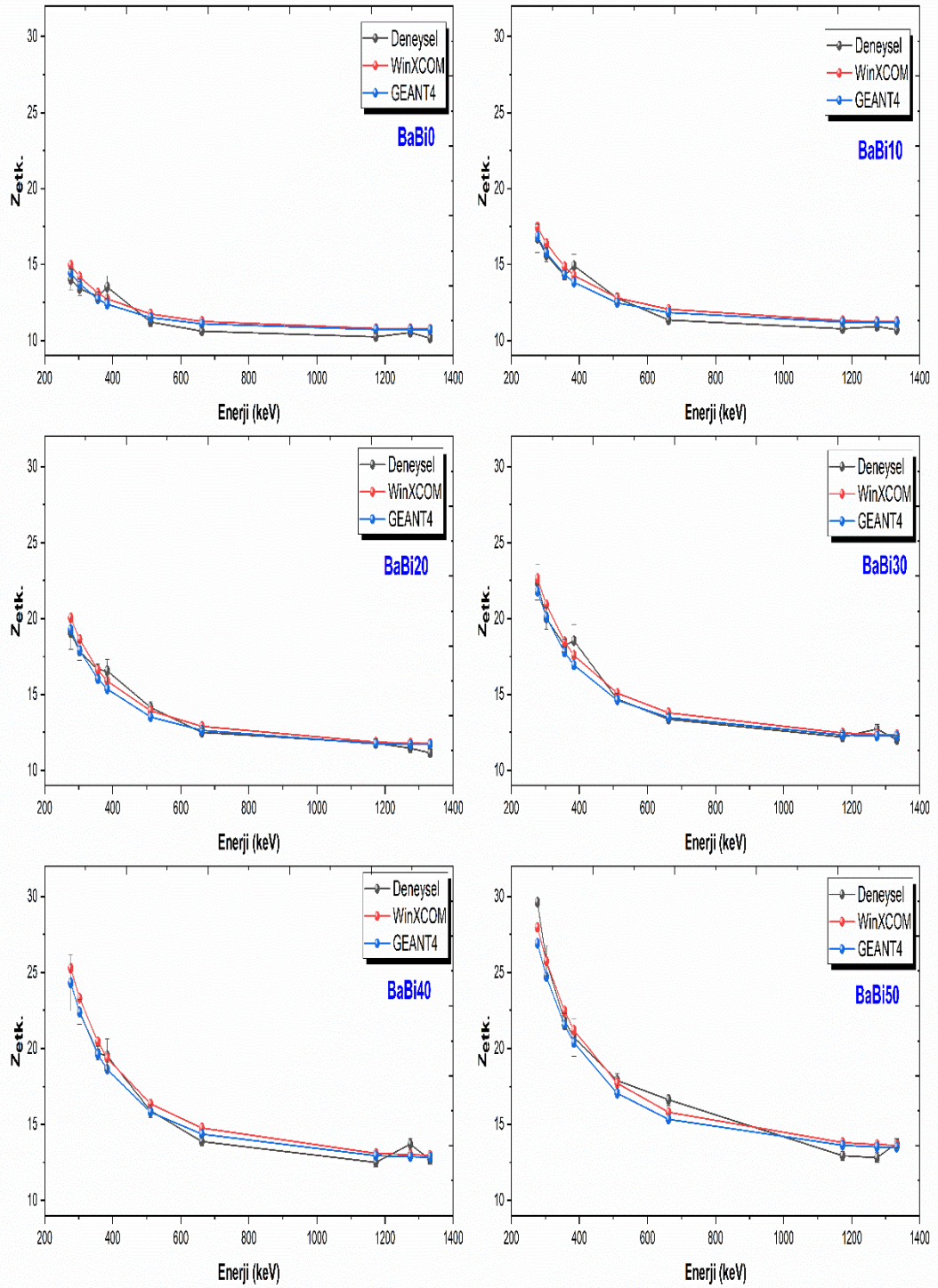
Şekil 4.51. Mo metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 simülasyonu ile elde edilen etkin atom numarası değerlerinin enerjiye göre değişimi



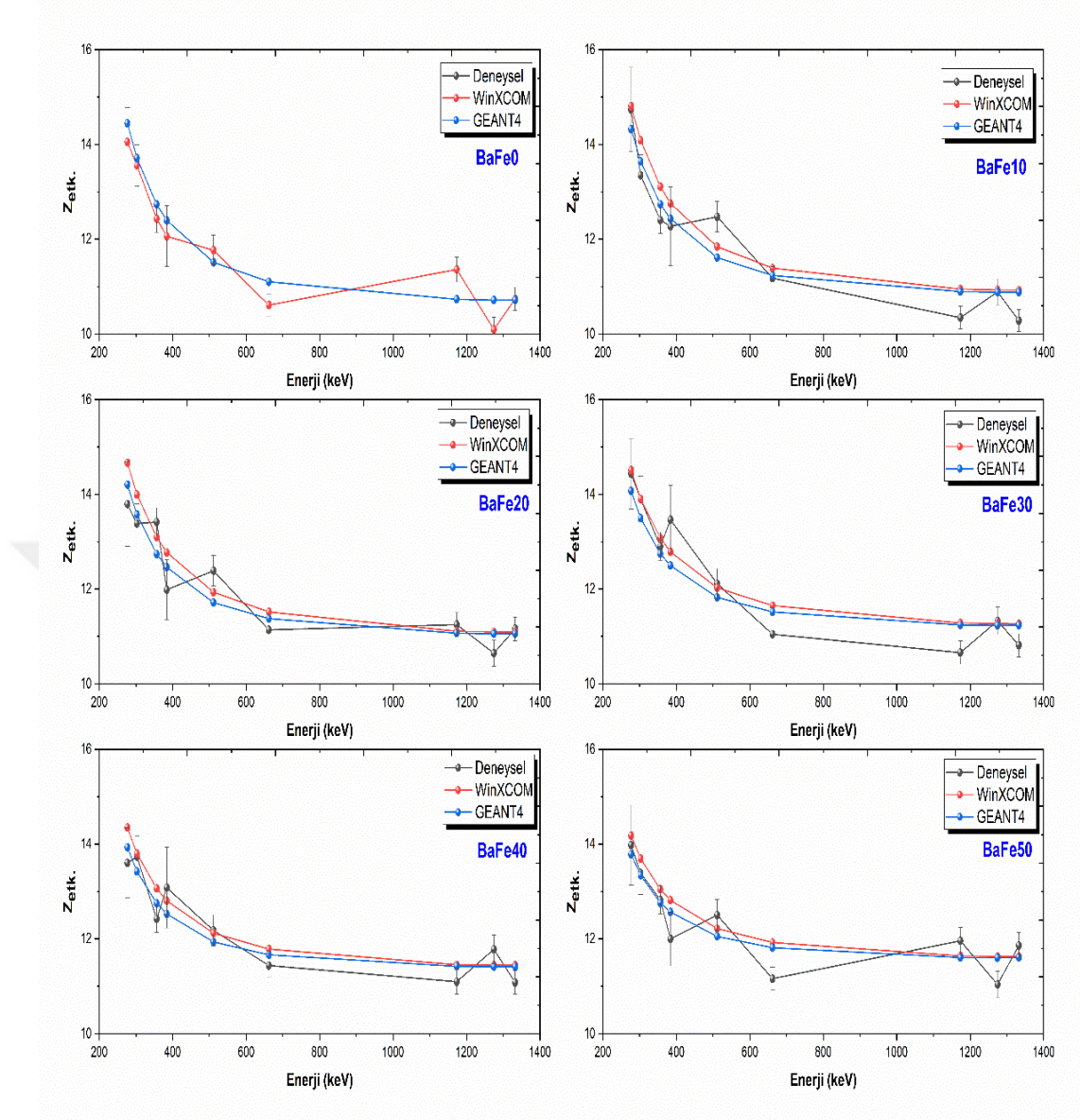
Şekil 4.52. Sn metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 simülasyonu ile elde edilen etkin atom numarası değerlerinin enerjiye göre değişimi



Şekil 4.53. Zn metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 simülasyonu ile elde edilen etkin atom numarası değerlerinin enerjiye göre değişimi



Şekil 4.54. Bi metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen etkin atom numarası değerlerinin enerjiye göre değişimi



Şekil 4.55. Fe metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 simülasyonu ile elde edilen etkin atom numarası değerlerinin enerjiye göre değişimi

4.12. Elektron Yoğunluğu Parametresine Ait Araştırma Bulguları

Elektron yoğunluğu ($N_{\text{etk.}}$, elektron/g), birim kütle başına elektron sayısını belirmemizi sağlayan parametredir. Denklem 2.58'den de açıkça görüldüğü üzere etkin atom numarası ile doğru orantılı bir parametredir. İncelenen üçlü kompozit numunelerin deneysel, WinXCOM programı ve GEANT4 simülasyonu yardımı ile elde edilen etkin atom numarası sonuçları Tablo 4.56-4.60'ta verilmiştir. Elektron yoğunluğu değerlerinin foton enerjisine göre değişimi ise Şekil 4.56-4.60'ta verilmiştir.

Tablo 4.56. Barit tabanlı ve molibden ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin etkin elektron yoğunluğu değerleri ($\times 10^{26}$) (elektron/g)

Enerji (keV)	BaMo0			BaMo10		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	36,829 $\pm$ 1,982	37,850	36,565	25,823 $\pm$ 1,538	27,310	26,317
302,9	35,912 $\pm$ 1,279	35,889	34,708	24,821 $\pm$ 0,871	25,933	25,012
356,0	31,935 $\pm$ 0,732	33,224	32,232	23,238 $\pm$ 0,538	24,062	23,276
383,9	30,619 $\pm$ 1,758	32,263	31,391	22,792 $\pm$ 1,313	23,387	22,687
511,0	30,112 $\pm$ 0,796	29,768	29,153	21,063 $\pm$ 0,540	21,633	21,124
661,7	26,922 $\pm$ 0,590	28,523	28,113	19,516 $\pm$ 0,428	20,758	20,401
1173,2	26,679 $\pm$ 0,622	27,305	27,171	19,594 $\pm$ 0,456	19,902	19,746
1274,5	26,878 $\pm$ 0,684	27,259	27,137	18,878 $\pm$ 0,481	19,870	19,725
1332,5	26,129 $\pm$ 0,588	27,245	27,134	18,921 $\pm$ 0,425	19,861	19,724
Enerji (keV)	BaMo20			BaMo30		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	25,646 $\pm$ 1,624	26,946	25,999	25,318 $\pm$ 1,504	26,580	25,681
302,9	25,767 $\pm$ 0,836	25,629	24,744	24,731 $\pm$ 0,831	25,323	24,474
356,0	23,982 $\pm$ 0,549	23,839	23,074	22,601 $\pm$ 0,524	23,613	22,871
383,9	22,263 $\pm$ 1,260	23,192	22,509	22,554 $\pm$ 1,428	22,995	22,332
511,0	22,583 $\pm$ 0,593	21,511	21,013	21,715 $\pm$ 0,570	21,388	20,901
661,7	20,179 $\pm$ 0,439	20,673	20,323	20,034 $\pm$ 0,438	20,587	20,244
1173,2	19,143 $\pm$ 0,448	19,852	19,701	19,173 $\pm$ 0,450	19,802	19,655
1274,5	19,255 $\pm$ 0,496	19,823	19,682	19,070 $\pm$ 0,487	19,774	19,639
1332,5	18,974 $\pm$ 0,427	19,815	19,682	18,959 $\pm$ 0,427	19,767	19,641
Enerji (keV)	BaMo40			BaMo50		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	27,094 $\pm$ 1,401	26,210	25,363	24,795 $\pm$ 1,537	25,838	25,044
302,9	24,010 $\pm$ 0,809	25,014	24,204	23,570 $\pm$ 0,789	24,703	23,934
356,0	22,129 $\pm$ 0,502	23,385	22,668	21,789 $\pm$ 0,503	23,157	22,467
383,9	21,953 $\pm$ 1,198	22,796	22,152	23,224 $\pm$ 1,684	22,597	21,974
511,0	22,106 $\pm$ 0,581	21,264	20,790	21,953 $\pm$ 0,575	21,139	20,678
661,7	19,777 $\pm$ 0,439	20,500	20,167	19,677 $\pm$ 0,430	20,413	20,088
1173,2	20,141 $\pm$ 0,469	19,751	19,610	20,146 $\pm$ 0,469	19,700	19,564
1274,5	19,146 $\pm$ 0,492	19,725	19,596	20,093 $\pm$ 0,513	19,676	19,553
1332,5	18,837 $\pm$ 0,425	19,719	19,599	20,306 $\pm$ 0,459	19,671	19,558

Tablo 4.57. Barit tabanlı kalay ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin etkin elektron yoğunluğu değerleri ($\times 10^{26}$) (elektron/g)

Enerji (keV)	BaSn0			BaSn10		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	35,886 $\pm$ 1,614	37,989	36,565	24,922 $\pm$ 1,206	25,967	25,113
302,9	36,532 $\pm$ 1,020	36,017	34,708	23,571 $\pm$ 0,695	24,615	23,809
356,0	32,477 $\pm$ 0,729	33,338	32,232	23,469 $\pm$ 0,532	22,776	22,069
383,9	32,905 $\pm$ 1,624	32,372	31,391	21,015 $\pm$ 1,162	22,111	21,480
511,0	30,687 $\pm$ 0,788	29,865	29,152	19,544 $\pm$ 0,503	20,383	19,913
661,7	29,138 $\pm$ 0,636	28,614	28,113	19,261 $\pm$ 0,421	19,519	19,187
1173,2	27,009 $\pm$ 0,626	27,390	27,171	19,594 $\pm$ 0,452	18,673	18,529
1274,5	26,463 $\pm$ 0,672	27,344	27,137	17,656 $\pm$ 0,448	18,641	18,506
1332,5	26,022 $\pm$ 0,576	27,330	27,133	18,180 $\pm$ 0,403	18,632	18,504
Enerji (keV)	BaSn20			BaSn30		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	24,467 $\pm$ 1,379	25,927	25,203	26,038 $\pm$ 1,250	25,588	25,294
302,9	23,693 $\pm$ 0,731	24,576	23,864	25,457 $\pm$ 0,765	24,247	23,919
356,0	21,756 $\pm$ 0,494	22,733	22,080	21,988 $\pm$ 0,508	22,414	22,093
383,9	22,557 $\pm$ 1,196	22,065	21,476	21,375 $\pm$ 1,054	21,749	21,474
511,0	19,296 $\pm$ 0,506	20,328	19,876	18,806 $\pm$ 0,495	20,016	19,839
661,7	19,829 $\pm$ 0,433	19,456	19,135	19,473 $\pm$ 0,425	19,145	19,083
1173,2	17,789 $\pm$ 0,412	18,603	18,464	17,276 $\pm$ 0,399	18,291	18,399
1274,5	17,510 $\pm$ 0,443	18,571	18,441	17,700 $\pm$ 0,445	18,260	18,376
1332,5	17,820 $\pm$ 0,394	18,562	18,440	18,166 $\pm$ 0,404	18,251	18,376
Enerji (keV)	BaSn40			BaSn50		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	25,565 $\pm$ 1,416	25,805	25,384	24,146 $\pm$ 1,124	25,728	25,473
302,9	23,565 $\pm$ 0,783	24,465	23,974	24,260 $\pm$ 0,744	24,345	24,030
356,0	21,603 $\pm$ 0,500	22,625	22,104	22,782 $\pm$ 0,514	22,632	22,115
383,9	21,382 $\pm$ 1,187	21,955	21,472	22,945 $\pm$ 1,155	21,899	21,468
511,0	20,793 $\pm$ 0,532	20,205	19,803	19,130 $\pm$ 0,507	20,142	19,766
661,7	19,629 $\pm$ 0,432	19,323	19,031	19,498 $\pm$ 0,429	19,259	18,979
1173,2	17,822 $\pm$ 0,410	18,457	18,334	17,246 $\pm$ 0,399	18,372	18,269
1274,5	18,280 $\pm$ 0,461	18,426	18,312	17,615 $\pm$ 0,446	18,353	18,247
1332,5	17,670 $\pm$ 0,393	18,417	18,312	17,563 $\pm$ 0,391	18,356	18,247

Tablo 4.58. Barit tabanlı çinko ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin etkin elektron yoğunluğu değerleri ($\times 10^{26}$) (elektron/g)

Enerji (keV)	BaZn0			BaZn10		
	Deneyisel	WinX.	GEANT4	Deneyisel	WinX.	GEANT4
276,4	40,335 $\pm$ 1,927	37,989	36,565	27,919 $\pm$ 1,428	29,609	28,416
302,9	35,740 $\pm$ 1,196	36,017	34,708	26,948 $\pm$ 0,881	28,159	27,076
356,0	32,203 $\pm$ 0,738	33,338	32,232	25,398 $\pm$ 0,586	26,191	25,291
383,9	30,459 $\pm$ 1,683	32,372	31,391	24,581 $\pm$ 1,349	25,482	24,687
511,0	29,726 $\pm$ 0,772	29,865	29,153	24,446 $\pm$ 0,629	23,645	23,080
661,7	27,463 $\pm$ 0,602	28,614	28,113	21,906 $\pm$ 0,480	22,729	22,335
1173,2	26,331 $\pm$ 0,614	27,390	27,171	21,005 $\pm$ 0,490	21,833	21,662
1274,5	26,398 $\pm$ 0,678	27,344	27,137	21,018 $\pm$ 0,539	21,801	21,640
1332,5	26,126 $\pm$ 0,589	27,330	27,134	21,147 $\pm$ 0,475	21,791	21,639
Enerji (keV)	BaZn20			BaZn30		
	Deneyisel	WinX.	GEANT4	Deneyisel	WinX.	GEANT4
276,4	28,181 $\pm$ 1,700	28,928	27,674	27,028 $\pm$ 1,525	28,245	26,933
302,9	26,217 $\pm$ 0,931	27,600	26,477	26,344 $\pm$ 0,864	27,040	25,878
356,0	24,652 $\pm$ 0,575	25,801	24,883	24,829 $\pm$ 0,576	25,411	24,473
383,9	24,153 $\pm$ 1,581	25,153	24,346	23,470 $\pm$ 1,487	24,824	24,003
511,0	24,840 $\pm$ 0,641	23,478	22,914	23,767 $\pm$ 0,628	23,310	22,748
661,7	21,528 $\pm$ 0,467	22,643	22,253	21,137 $\pm$ 0,474	22,557	22,170
1173,2	20,904 $\pm$ 0,486	21,828	21,659	21,553 $\pm$ 0,505	21,821	21,655
1274,5	20,733 $\pm$ 0,530	21,799	21,641	21,553 $\pm$ 0,546	21,797	21,642
1332,5	20,773 $\pm$ 0,467	21,791	21,642	20,721 $\pm$ 0,466	21,791	21,645
Enerji (keV)	BaZn40			BaZn50		
	Deneyisel	WinX.	GEANT4	Deneyisel	WinX.	GEANT4
276,4	26,440 $\pm$ 1,402	27,560	26,192	25,644 $\pm$ 1,3145	26,874	25,450
302,9	24,786 $\pm$ 0,854	26,479	25,276	24,613 $\pm$ 0,8638	25,918	24,677
356,0	24,263 $\pm$ 0,554	25,020	24,065	23,110 $\pm$ 0,5425	24,630	23,657
383,9	23,262 $\pm$ 1,259	24,496	23,659	22,718 $\pm$ 1,4010	24,167	23,318
511,0	21,992 $\pm$ 0,569	23,143	22,582	23,683 $\pm$ 0,6136	22,976	22,416
661,7	21,206 $\pm$ 0,463	22,472	22,088	22,507 $\pm$ 0,4894	22,386	22,005
1173,2	20,771 $\pm$ 0,483	21,815	21,652	20,571 $\pm$ 0,4823	21,808	21,648
1274,5	20,556 $\pm$ 0,526	21,794	21,643	21,018 $\pm$ 0,5345	21,792	21,644
1332,5	20,707 $\pm$ 0,465	21,790	21,648	21,142 $\pm$ 0,4784	21,789	21,650

Tablo 4.59. Barit tabanlı bizmut ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin etkin elektron yoğunluğu değerleri ($\times 10^{26}$) (elektron/g)

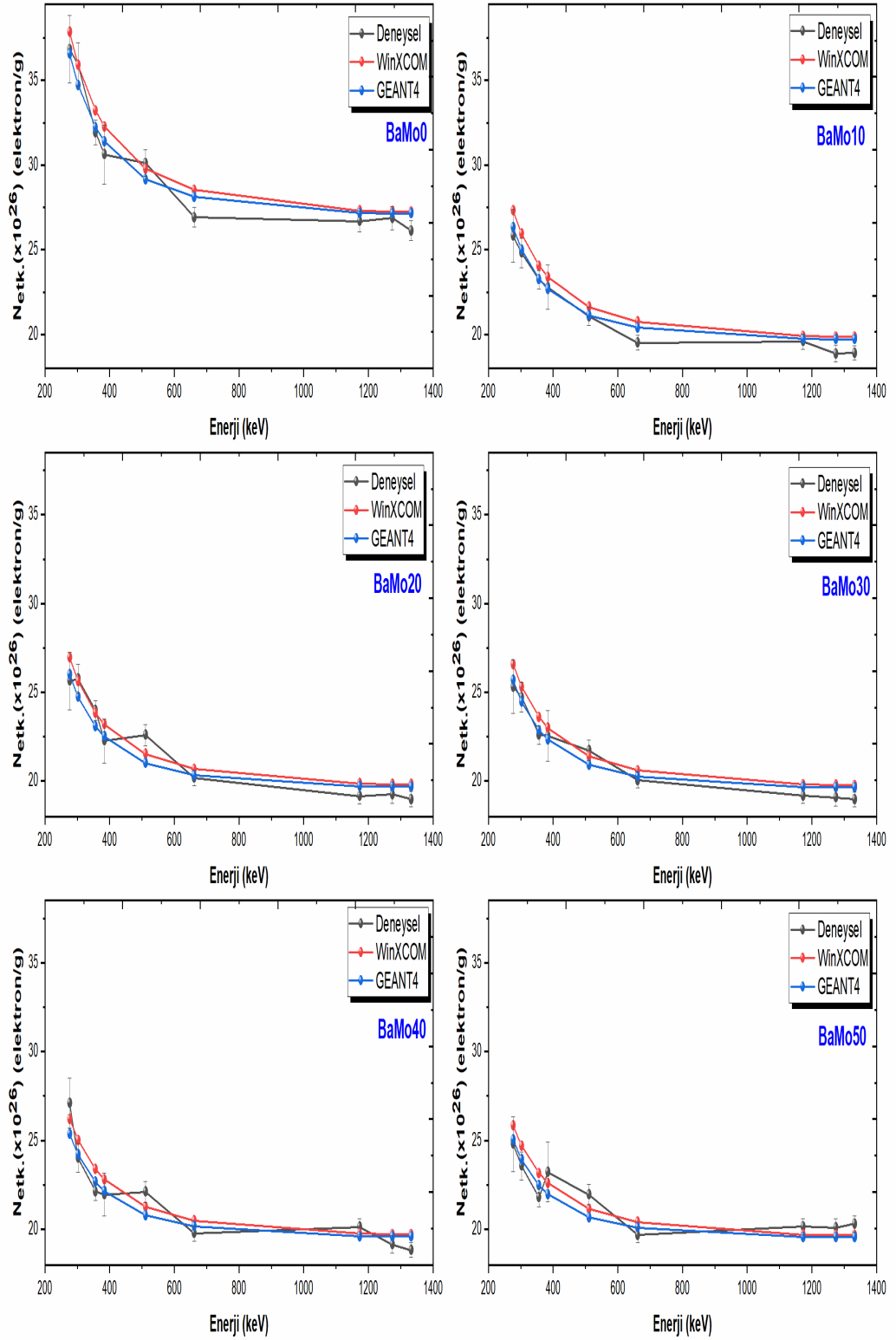
Enerji (keV)	BaBi0			BaBi10		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	35,595 $\pm$ 1,719	37,989	36,565	22,548 $\pm$ 1,259	23,567	23,308
302,9	34,042 $\pm$ 1,150	36,017	34,708	21,074 $\pm$ 0,589	22,079	21,735
356,0	32,772 $\pm$ 0,735	33,338	32,232	19,257 $\pm$ 0,436	20,020	19,618
383,9	34,345 $\pm$ 1,862	32,372	31,391	20,112 $\pm$ 0,981	19,265	18,889
511,0	28,486 $\pm$ 0,741	29,865	29,153	17,235 $\pm$ 0,444	17,272	16,936
661,7	26,965 $\pm$ 0,596	28,614	28,113	15,312 $\pm$ 0,336	16,255	16,003
1173,2	26,003 $\pm$ 0,599	27,390	27,171	14,537 $\pm$ 0,334	15,237	15,123
1274,5	26,758 $\pm$ 0,680	27,344	27,137	14,736 $\pm$ 0,371	15,189	15,083
1332,5	25,798 $\pm$ 0,572	27,330	27,134	14,449 $\pm$ 0,320	15,173	15,072
Enerji (keV)	BaBi20			BaBi30		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	24,684 $\pm$ 1,378	25,955	26,438	27,811 $\pm$ 1,450	28,121	29,566
302,9	23,125 $\pm$ 0,791	24,124	24,315	24,872 $\pm$ 0,905	26,003	26,896
356,0	21,534 $\pm$ 0,495	21,551	21,446	22,642 $\pm$ 0,512	22,982	23,276
383,9	21,442 $\pm$ 0,981	20,595	20,454	23,018 $\pm$ 1,304	21,846	22,020
511,0	18,330 $\pm$ 0,470	18,035	17,784	18,269 $\pm$ 0,481	18,765	18,631
661,7	16,207 $\pm$ 0,355	16,706	16,492	16,612 $\pm$ 0,367	17,140	16,980
1173,2	15,272 $\pm$ 0,352	15,356	15,252	15,143 $\pm$ 0,350	15,469	15,381
1274,5	14,845 $\pm$ 0,373	15,286	15,189	15,795 $\pm$ 0,399	15,378	15,296
1332,5	14,440 $\pm$ 0,319	15,261	15,169	14,938 $\pm$ 0,332	15,344	15,267
Enerji (keV)	BaBi40			BaBi50		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	28,893 $\pm$ 2,194	30,061	32,695	33,656 $\pm$ 2,114	31,769	35,825
302,9	26,637 $\pm$ 0,959	27,710	29,477	29,250 $\pm$ 1,125	29,237	32,058
356,0	23,400 $\pm$ 0,552	24,308	25,106	24,780 $\pm$ 0,577	25,523	26,937
383,9	23,209 $\pm$ 1,308	23,014	23,585	23,562 $\pm$ 1,411	24,093	25,151
511,0	18,897 $\pm$ 0,513	19,459	19,478	20,321 $\pm$ 0,537	20,115	20,327
661,7	16,504 $\pm$ 0,361	17,558	17,469	18,883 $\pm$ 0,420	17,956	17,957
1173,2	14,876 $\pm$ 0,344	15,577	15,510	14,699 $\pm$ 0,339	15,681	15,639
1274,5	16,300 $\pm$ 0,415	15,466	15,403	14,562 $\pm$ 0,366	15,549	15,510
1332,5	15,069 $\pm$ 0,335	15,424	15,365	15,640 $\pm$ 0,348	15,499	15,463

Tablo 4.60. Barit tabanlı demir ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin etkin elektron yoğunluğu değerleri ($\times 10^{26}$) (elektron/g)

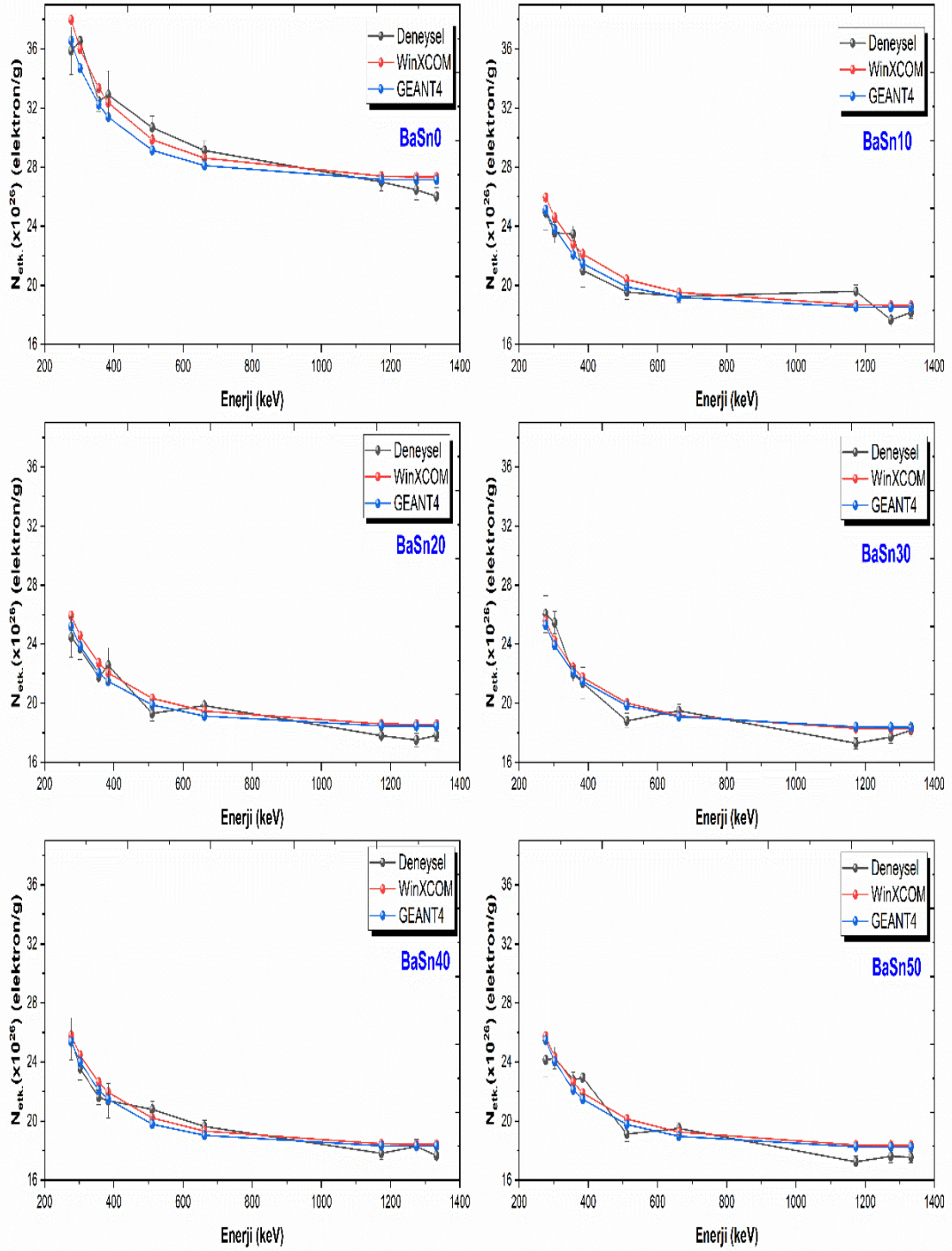
Enerji (keV)	BaFe0			BaFe10		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	35,688 $\pm$ 1,849	37,989	36,565	30,3148 $\pm$ 1,833	30,479	29,215
302,9	34,436 $\pm$ 1,116	36,017	34,708	27,4596 $\pm$ 0,895	28,992	27,854
356,0	31,576 $\pm$ 0,724	33,338	32,232	25,5188 $\pm$ 0,580	26,977	26,038
383,9	30,646 $\pm$ 1,644	32,372	31,391	25,2536 $\pm$ 1,703	26,251	25,424
511,0	29,894 $\pm$ 0,785	29,865	29,153	25,6704 $\pm$ 0,664	24,371	23,786
661,7	26,954 $\pm$ 0,591	28,614	28,113	23,0017 $\pm$ 0,503	23,435	23,027
1173,2	28,857 $\pm$ 0,673	27,390	27,171	21,2893 $\pm$ 0,496	22,520	22,342
1274,5	25,643 $\pm$ 0,648	27,344	27,137	22,4051 $\pm$ 0,572	22,486	22,319
1332,5	27,287 $\pm$ 0,613	27,330	27,134	21,1584 $\pm$ 0,478	22,476	22,318

Enerji (keV)	BaFe20			BaFe30		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	27,976 $\pm$ 1,799	29,740	28,385	28,846 $\pm$ 1,488	28,997	27,554
302,9	27,140 $\pm$ 0,843	28,388	27,186	27,779 $\pm$ 0,971	27,782	26,519
356,0	27,205 $\pm$ 0,621	26,561	25,590	25,788 $\pm$ 0,589	26,144	25,145
383,9	24,309 $\pm$ 1,295	25,904	25,053	26,903 $\pm$ 1,457	25,556	24,680
511,0	25,127 $\pm$ 0,649	24,205	23,618	24,212 $\pm$ 0,636	24,038	23,449
661,7	22,584 $\pm$ 0,492	23,360	22,954	22,079 $\pm$ 0,481	23,284	22,881
1173,2	22,808 $\pm$ 0,531	22,534	22,357	21,305 $\pm$ 0,495	22,548	22,373
1274,5	21,589 $\pm$ 0,547	22,505	22,339	22,643 $\pm$ 0,575	22,523	22,360
1332,5	22,633 $\pm$ 0,512	22,497	22,340	21,609 $\pm$ 0,490	22,516	22,362

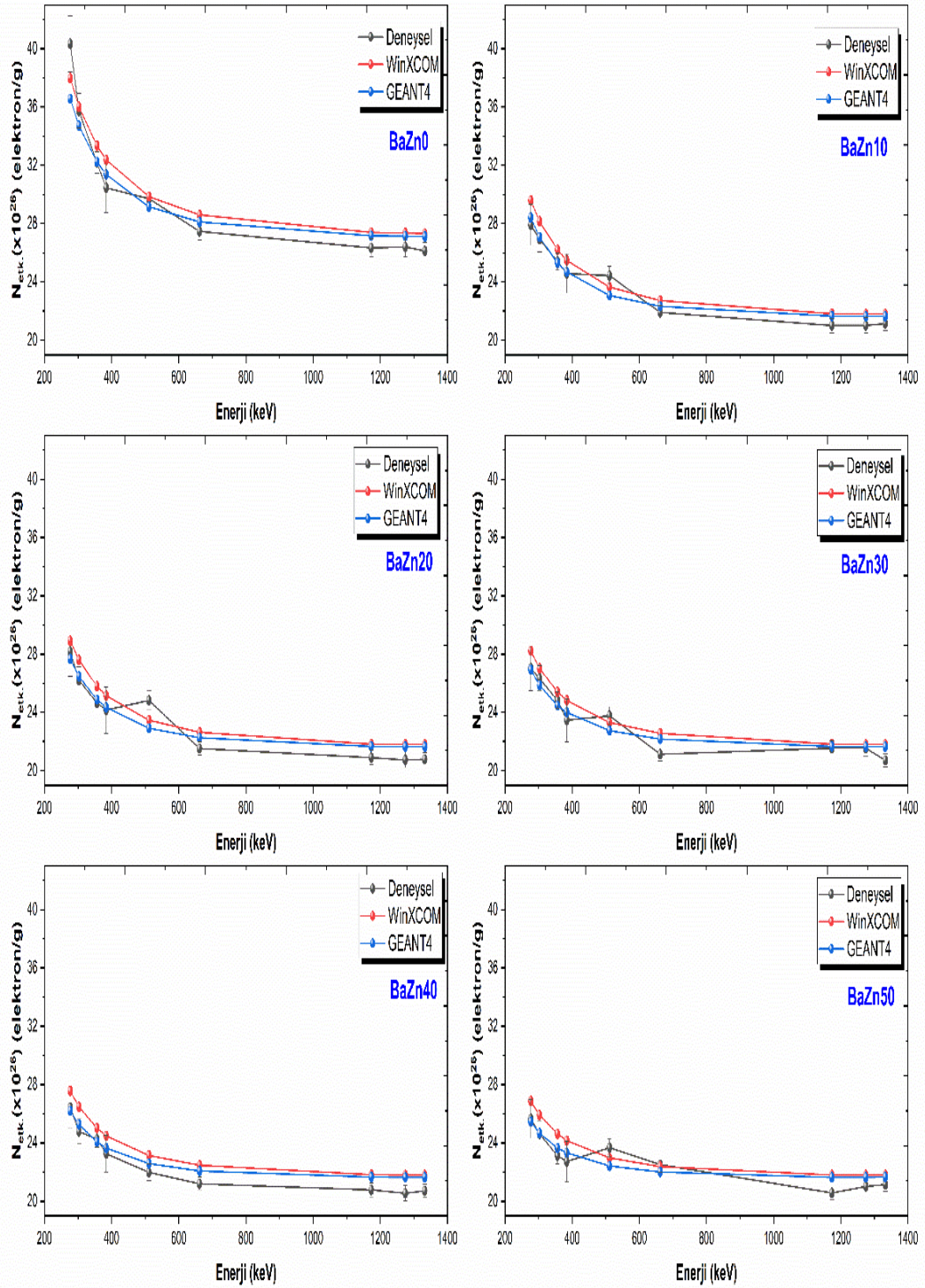
Enerji (keV)	BaFe40			BaFe50		
	Deneyssel	WinX.	GEANT4	Deneyssel	WinX.	GEANT4
276,4	26,782 $\pm$ 1,455	28,250	26,722	27,109 $\pm$ 1,632	27,500	25,892
302,9	27,042 $\pm$ 0,852	27,175	25,852	25,972 $\pm$ 0,875	26,564	25,184
356,0	24,457 $\pm$ 0,554	25,727	24,698	24,864 $\pm$ 0,565	25,309	24,250
383,9	25,758 $\pm$ 1,679	25,208	24,310	23,269 $\pm$ 1,090	24,860	23,940
511,0	23,984 $\pm$ 0,637	23,871	23,281	24,246 $\pm$ 0,631	23,705	23,112
661,7	22,518 $\pm$ 0,495	23,209	22,807	21,644 $\pm$ 0,473	23,133	22,734
1173,2	21,857 $\pm$ 0,516	22,562	22,389	23,198 $\pm$ 0,542	22,576	22,404
1274,5	23,200 $\pm$ 0,595	22,541	22,380	21,411 $\pm$ 0,544	22,559	22,401
1332,5	21,819 $\pm$ 0,492	22,536	22,384	23,009 $\pm$ 0,520	22,556	22,406



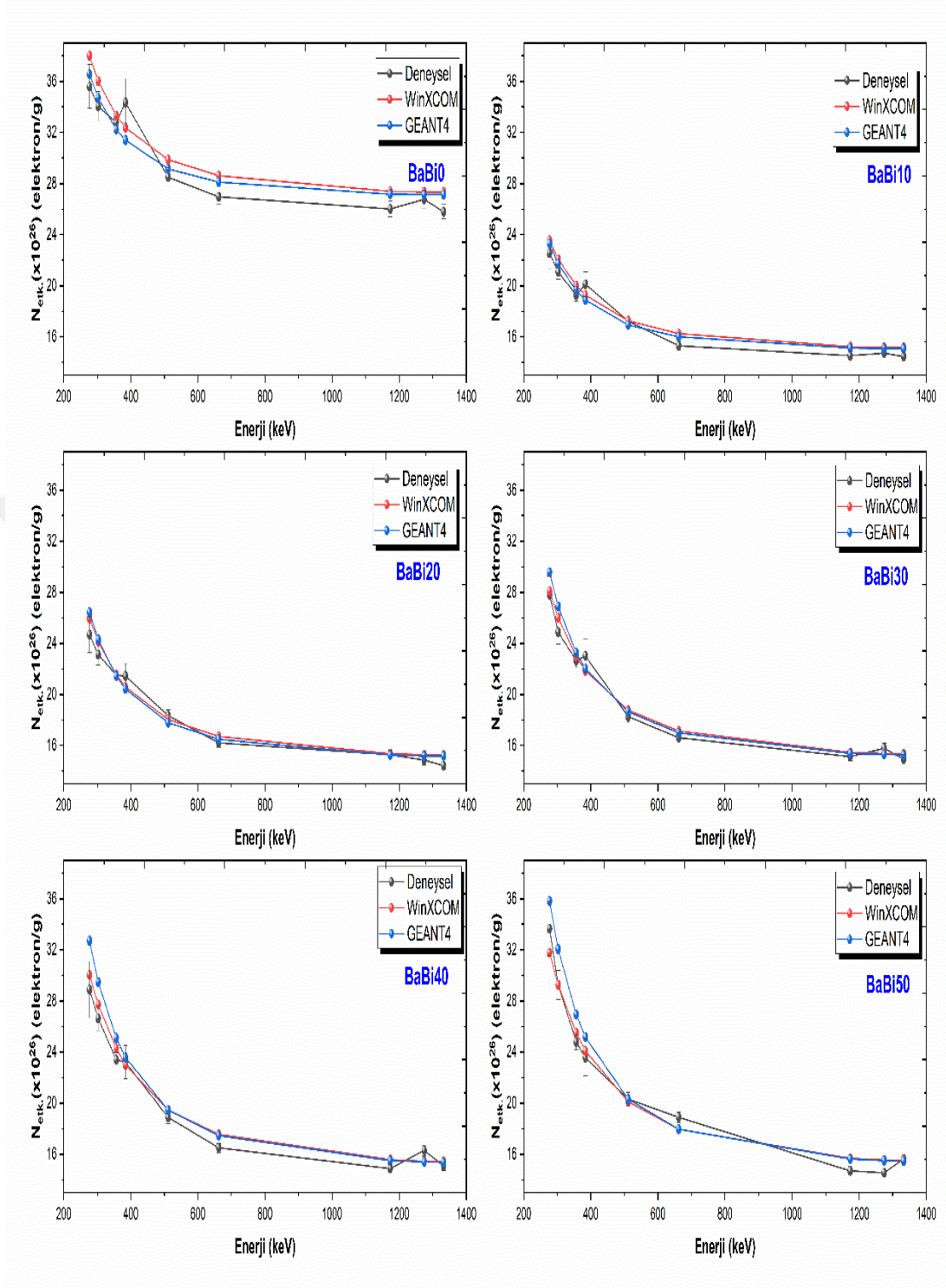
Şekil 4.56. Mo metalı ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 simülasyonu ile elde edilen elektron yoğunluğu değerlerinin enerjiye göre değişimi



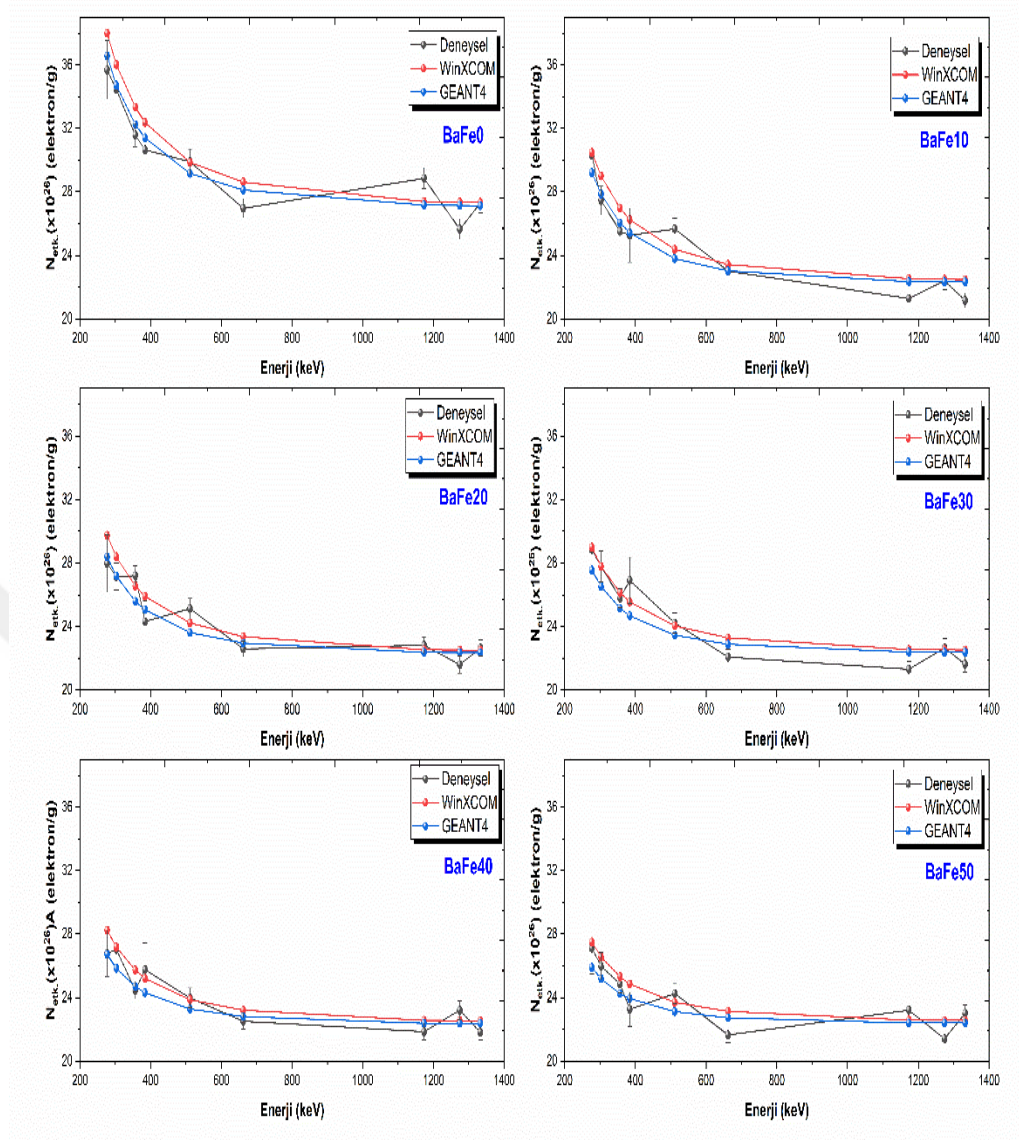
Şekil 4.57. Sn metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen elektron yoğunluğu değerlerinin enerjiye göre değişimi



Şekil 4.58. Zn metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen elektron yoğunluğu değerlerinin enerjiye göre değişimi



Şekil 4.59. Bi metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 sümülasyonu ile elde edilen elektron yoğunluğu değerlerinin enerjiye göre değişimi



Şekil 4.60. Fe metali ile güçlendirilmiş barit tabanlı polimer kompozitlerin deneysel, WinXCOM bilgisayar programı ve GEANT4 simülasyonu ile elde edilen elektron yoğunluğu değerlerinin enerjiye göre değİ

BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Yapılan çalışmada barit tabanlı ve ağırlıkça farklı oranlarda (%0-50) Mo, Sn, Zn, Bi veya Fe metalleri ile güçlendirilmiş üçlü polimer kompozit malzemeler hazırlanmış ve bu üçlü polimer kompozit malzemelerin gama ışını zırhlama özellikleri incelenmiştir. Radyasyon zırhlama özelliklerini inceleyebilmek için radyasyon koruma verimi (RKV, %), radyasyon geçirime oranı (RGO, %), kütle azaltma katsayısı (μ/ρ , cm^2/g), lineer azaltma katsayısı (μ , cm^{-1}), yarı kalınlık değeri (YKD, cm), onda-bir kalınlık değeri (OKD, cm), ortalama serbest yol (OSY, cm), moleküler tesir kesiti ($\sigma_{t,m}$, $\text{cm}^2/\text{molekül}$), atomik tesir kesiti ($\sigma_{t,a}$, cm^2/atom), elektronik tesir kesiti ($\sigma_{t,e}$, $\text{cm}^2/\text{elektron}$), etkin atom numarası ($Z_{\text{etk.}}$) ve etkin elektron yoğunluğu ($N_{\text{etk.}}$, elektron/g) parametreleri deneysel, teorik ve GEANT4 simülasyon kodu yardımıyla belirlenmiştir. Deneysel çalışmalar, ^{133}Ba (276,4, 302,9, 356,0 ve 383,9 keV), ^{22}Na (511,0 ve 1274,5 keV), ^{137}Cs (661,7 keV) ve ^{60}Co (1173,2 ve 1332,5 keV) radyoaktif kaynakları kullanılarak 276,4-1332,5 keV enerji aralığında 9 farklı enerjide HPGe dedektörü ile gerçekleştirilmiştir. HPGe dedektörünün deney geometrisi Şekil 3.3'te gösterilmiştir. Ayrıca elde edilen deneysel sonuçlar WinXCOM programı ve GEANT4 simülasyon kodu yardımıyla elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar Tablo 4.1-4.60 ve Şekil 4.1-4.60'ta sunulmuştur.

Barit tabanlı Mo, Sn, Zn, Bi veya Fe metalleri ile güçlendirilmiş üçlü polimer kompozit malzemelerin zırhlama özelliklerini belirlemek için incelenen ilk parametre radyasyon koruma verimi (RKV, %)’dir. Gelen ve zırh malzemesinden geçen radyasyon şiddeti bildiğinde hesaplanabilen RKV, zırh malzemesinin radyasyonun ne kadarını soğurduğunu belirlememizi sağlar. Bu çalışmada radyasyon koruma verimi deneysel olarak incelenmiştir. Hazırlanan üçlü polimer kompozit malzemelerin deneysel RKV sonuçları Tablo 4.1-4.5 ve Şekil 4.1-4.5'te sunulmuştur. Sunulan tablo ve şekiller incelendiğinde 276,4-1332,5 keV enerji aralığında artan katkı miktarı ile

radasyonkoruma veriminin genel olarak arttığı gözlemlenmiştir. Fakat barit tabanlı ve çinko ile güçlendirilmiş malzemenin radyasyon koruma veriminin incelenen enerji aralıklarınınher birinde artan katkı miktarı ile yaklaşık olarak azaldığı görülmüştür. 276,4 keV enerji değerinde, BaMo50 kodlu numunenin radyasyon koruma verimi değeri BaMo0 kodlu numuneden %10,2, BaSn50 kodlu numunenin radyasyon koruma verimi değeri BaSn0 kodlu numuneden %11,6, BaBi50 kodlu numunenin radyasyon koruma verimi değeri BaBi0 kodlu numuneden %76,0, BaFe50 kodlu numunenin radyasyon koruma verimi değeri BaFe0 kodlu numuneden %12,7 daha yüksektir. 276,4 keV enerji değerinde BaZn50 kodlu numunenin radyasyon koruma verimi değeri BaZn0 kodlu numuneden %11,0 daha düşüktür. Hazırlanan tüm kompozit malzemeler kapsamlı bir şekilde incelendiğinde ağırlıkça %50 oranında Bi ile katkılanan BaBi50 kodlu numunenin 276,4 keV enerji aralığında en yüksek RKV değerine sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca barit tabanlı ve Bi, Mo, Sn ve Fe metali ile katkılanarak hazırlanan üçlü polimer kompozit zırh malzemesinin RKV sonuçları, artan katkı miktarı ile radyasyon koruma özelliğinin arttığı ve artan enerji değeri ile radyasyon koruma özelliğinin azaldığı ilgili tablo ve şekilden görülmektedir.

Barit tabanlı Mo, Sn, Zn, Bi veya Fe metalleri ile güçlendirilmiş üçlü polimer kompozit malzemelerin zırhlama özelliklerini belirlemek için incelenen ikinci parametre radyasyon geçirme oranı (RGO, %)’dır. RGO, zırh malzemesinin radyasyonun ne kadarını geçirdiğini belirlememizi sağlar. Bu çalışmada radyasyon geçirme oranı, radyasyon koruma veriminde olduğu gibi deneysel olarak incelenmiştir. Hazırlanan üçlü polimer kompozitlerin deneysel RGO sonuçları Tablo 4.6-4.10 ve Şekil 4.6-4.10’da sunulmuştur. Denklem 2.46 ve denklem 2.47 incelendiğinde RGO’nun 100-RKV şeklinde ifade edilebileceği görülmektedir. Buradan RGO sonuçlarının RKV ile ters orantıda değişmesi gerektiği açıkça görülmektedir. Sunulan tablolar ve şekiller incelendiğinde 276,4-1332,5 keV enerji aralığında artan katkı miktarı ile radyasyon geçirme oranının genel olarak azaldığı gözlemlenmiştir. Fakat barit ve çinko ile katkılanan üçlü polimer kompozit malzemenin radyasyon geçirme oranının incelenen enerji aralıklarının her birinde artan katkı miktarı ile yaklaşık olarak arttığı görülmüştür. Ağırlıkça %50 oranında Bi ile katkılanan BaBi50 kodlu numunenin 276,4

keV enerji değerinde en dūřuk RGO değerine sahip olduğu gōrőlmektedir. Ayrıca barit tabanlı ve bizmut metali ile katkılanarak hazırlanan őrőlő polimer kompozit zırh malzemesinin RGO sonuğları artan katkı miktarı ile radyasyon geğirme oranının azaldığı ve artan enerji değeri ile radyasyon geğirme özelliğinin arttığı ilgili tablo ve şekilden gōrőlmektedir. RGO ve RKV sonuğları BaBi50 kodlu őrőlő polimer kompozit malzemenin diğer numunelere kıyasla daha iyi radyasyon zırhlama malzemesi olduğunu gōstermektedir.

Barit tabanlı Mo, Sn, Zn, Bi veya Fe metalleri ile gőęlendirilmiř őrőlő polimer kompozit malzemelerin zırhlama özelliklerini belirlemek için incelenen őrőncő parametre kőtle azaltma katsayısıdır. Kőtle azaltma katsayısı, birim alandaki kőtle miktarının gelen foton ile etkileşme ihtimalini ifade etmektedir. Kőtle azaltma katsayısı (μ/ρ , cm²/g) maddenin yoğunluğundan bağımsız olduğu için ęok kullanışlı bir parametredir. Bu parametre belirlendikten sonra diğer zırhlama parametreleri bu parametre yardımıyla tőretilir. Kőtle azaltma katsayısı sonuçları deneysel olarak Denklem 2.48 ve teorik olarak Denklem 2.49 yardımıyla belirlenmiştir. Deneysel, WinXCOM yazılımı ve GEANT4 simőlasyon programı ile elde edilen kőtle azaltma katsayısı sonuçları Tablo 4.11-4.15 ve şekil 4.11-4.15'te sunulmuştur. Tablo 4.11-4.15 ve şekil 4.11-4.15'ten deneysel, WinXCOM yazılımı ve GEANT4 simőlasyon programı ile elde edilen kőtle azaltma katsayısı sonuçlarının uyumlu olduğu gōrőlmektedir.

Molibden ile gőęlendirilmiř őrőlő kompozitlerin deneysel ve teorik kőtle azaltma katsayıları arasındaki yőzde farklılıklar %0,06 ila %5,61 aralığında değişmektedir. Kalay ile gőęlendirilmiř őrőlő kompozitlerin deneysel ve teorik kőtle azaltma katsayıları arasındaki yőzde farklılıklar %0,35 ila %6,15 aralığında değişmektedir. ęinko ile gőęlendirilmiř őrőlő kompozitlerin deneysel ve teorik kőtle azaltma katsayıları arasındaki yőzde farklılıklar %0,47 ila %6,39 aralığında değişmektedir. Bizmut ile gőęlendirilmiř őrőlő kompozitlerin deneysel ve teorik kőtle azaltma katsayıları arasındaki yőzde farklılıklar %0,04 ila %6,30 aralığında değişmektedir. Demir ile gőęlendirilmiř őrőlő kompozitlerin deneysel ve teorik kőtle azaltma katsayıları arasındaki yőzde farklılıklar %0,01 ila %6,44 aralığında değişmektedir.

Molibden ile güçlendirilmiş üçlü kompozitlerin deneysel ve GEANT4 kütle azaltma katsayıları arasındaki yüzde farklılıklar %0,10 ila %10,10 aralığında değişmektedir. Kalay ile güçlendirilmiş üçlü kompozitlerin deneysel ve GEANT4 kütle azaltma katsayıları arasındaki yüzde farklılıklar %0,06 ila %11,39 aralığında değişmektedir. Çinko ile güçlendirilmiş üçlü kompozitlerin deneysel ve GEANT4 kütle azaltma katsayıları arasındaki yüzde farklılıklar %0,07 ila %12,47 aralığında değişmektedir. Bizmut ile güçlendirilmiş üçlü kompozitlerin deneysel ve GEANT4 kütle azaltma katsayıları arasındaki yüzde farklılıklar %0,09 ila %13,54 aralığında değişmektedir. Demir ile güçlendirilmiş üçlü kompozitlerin deneysel ve GEANT4 kütle azaltma katsayıları arasındaki yüzde farklılıklar %0,03 ila %8,95 aralığında değişmektedir.

Molibden ile güçlendirilmiş üçlü kompozitlerin GEANT4 ve teorik kütle azaltma katsayıları arasındaki yüzde farklılıklar %0,16 ila %6,25 aralığında değişmektedir. Kalay ile güçlendirilmiş üçlü kompozitlerin GEANT4 ve teorik kütle azaltma katsayıları arasındaki yüzde farklılıklar %0,19 ila %6,58 aralığında değişmektedir. Çinko ile güçlendirilmiş üçlü kompozitlerin GEANT4 ve teorik kütle azaltma katsayıları arasındaki yüzde farklılıklar %0,01 ila %5,59 aralığında değişmektedir. Bizmut ile güçlendirilmiş üçlü kompozitlerin GEANT4 ve teorik kütle azaltma katsayıları arasındaki yüzde farklılıklar %0,19 ila %6,70 aralığında değişmektedir. Demir ile güçlendirilmiş üçlü kompozitlerin GEANT4 ve teorik kütle azaltma katsayıları arasındaki yüzde farklılıklar %0,01 ila %5,59 aralığında değişmektedir. Ayrıca, molibden ile güçlendirilmiş üçlü kompozitlerin kütle azaltma katsayılarının deneysel belirsizlikleri %2,18 ila %6,33 aralığında değişmektedir. Kalay ile güçlendirilmiş üçlü kompozitlerin kütle azaltma katsayılarının deneysel belirsizlikleri %2,18 ila %5,64 aralığında değişmektedir. Çinko ile güçlendirilmiş üçlü kompozitlerin kütle azaltma katsayılarının deneysel belirsizlikleri %2,17 ila %6,17 aralığında değişmektedir. Bizmut ile güçlendirilmiş üçlü kompozitlerin kütle azaltma katsayılarının deneysel belirsizlikleri %2,19 ila %7,59 aralığında değişmektedir. Demir ile güçlendirilmiş üçlü kompozitlerin kütle azaltma katsayılarının deneysel belirsizlikleri %2,18 ila %6,52 aralığında değişmektedir. Bu belirsizlikler, birim alanda kütledeki belirsizliğe ($\leq\%2$), gelen foton şiddetindeki belirsizliğe ($\leq\%2$) ve soğurucudan geçen foton şiddetindeki belirsizliğe ($\leq\%3$) atfedilebilir.

Bizmut ($Z=83$) ve kalay ($Z=50$) ile katkılanan üçlü polimer kompozit malzemeler için katkı miktarı arttıkça kütle azaltma katsayısının genel olarak arttığı ve artan enerji ile de kütle azaltma katsayısının azaldığı görülmektedir. Molibden ($Z=42$), Çinko ($Z=30$) ve Demir ($Z=26$) ile katkılanan üçlü polimer kompozit malzemeler için ise katkı miktarı ve enerjinin artmasıyla kütle azaltma katsayısının azaldığı görülmüştür. İncelenen tüm polimer kompozit malzemelerin artan enerji değeri ile kütle azaltma katsayısının azaldığı ilgili şekiller ve tablolardan açıkça görülmektedir. Bunun nedeni ise farklı foton enerjilerinde farklı foton etkileşim tesir kesitlerinin baskın olmasıdır. Düşük enerji bölgelerinde, yaklaşık olarak Z^{4-5} (Z , atom numarası) ve $E^{-3,5}$ 'e (E , gama foton enerjisi) bağlı olan fotoelektrik tesir kesiti baskındır. Bu sebeple düşük enerjilerde kütle azaltma katsayısı değerinde keskin azalmalar görülmektedir. Orta enerji bölgelerinde, yaklaşık olarak Z ve E^{-1} 'e bağlı olan Compton tesir kesiti baskındır. Yüksek enerji bölgelerinde ise Z^2 ve E 'ye bağlı çift oluşum tesir kesiti baskındır. Bu sebeple orta ve yüksek enerji bölgelerinde kütle azaltma katsayısı değerindeki azalmalar daha azdır. 276,4 keV'de BaSn50 kodlu kompozitin μ/ρ değeri, BaSn0 kodlu kompozitten yaklaşık %2,9 fazla iken aynı enerji değerinde BaBi50 kodlu kompozitin BaBi0 kodlu kompozitten yaklaşık %80,0 daha fazla olduğu görülmektedir. Hazırlanan tüm numunelerin kütle azaltma katsayıları incelendiğinde BaBi50 kodlu numunenin 276,4 keV'de en yüksek kütle azaltma katsayısı değerine sahip olduğu görülmüştür.

Kütle azaltma katsayısı kullanılarak belirlenebilen ilk zırhlama parametresi lineer azaltma katsayısıdır. Lineer azaltma katsayısı, birim kalınlıkta gelen fotonların madde ile etkileşme ihtimalini ifade etmektedir. Lineer azaltma katsayısı denklem 2.50'den faydalanılarak bulunmuştur. Lineer azaltma katsayısı, yoğunluğa bağlı bir parametredir bu sebeple incelenen diğer parametrelere kıyasla daha kullanışlıdır. Lineer azaltma katsayısı değerleri kütle azaltma katsayısının yoğunluk ile çarpımından elde edilmiştir. DeneySEL, WinXCOM yazılımı ve GEANT4 simülasyon programı yardımıyla elde edilen lineer azaltma katsayısı sonuçları Tablo 4.16-4.20 ve Şekil 4.16-4.20'de sunulmuştur. Tablo 4.16-4.20 ve Şekil 4.16-4.20'den deneySEL, WinXCOM yazılımı ve GEANT4 simülasyon programı ile elde edilen lineer azaltma katsayısı sonuçlarının uyumlu olduğu görülmektedir. Lineer azaltma katsayısının kütle azaltma

katsayısı ile benzer eğimler gösterdiği sunulan şekillerden açıkça görülmektedir. Benzer eğimler göstermesini, kütle azaltma katsayısında da belirtildiği gibi farklı foton enerjilerinde farklı foton etkileşim tesir kesitlerinin baskın olması ile açıklayabiliriz. Molibden ($\rho=10,22 \text{ g/cm}^3$), kalay ($\rho=7,32 \text{ g/cm}^3$) ve bizmut ($\rho=9,75 \text{ g/cm}^3$) ile katkılanan üçlü polimer kompozit malzemeler için katkı miktarı arttıkça lineer azaltma katsayısı değerlerinin arttığı, artan enerji ile de lineer azaltma katsayısı değerlerinin azaldığı görülmektedir. Katkı miktarı arttıkça lineer azaltma katsayısı değerlerinin artmasının sebebi ise baritin yoğunluğuna ($\rho=4,45 \text{ g/cm}^3$) kıyasla bu katkı malzemelerinin yoğunluğunun ve atom numaralarının daha yüksek olmasıdır. Fakat çinko ($\rho=7,13 \text{ g/cm}^3$) ve demir ($\rho=7,87 \text{ g/cm}^3$) için katkı miktarı ve enerjinin artmasıyla lineer azaltma katsayısının azaldığı görülmüştür. Bunun sebebi ise çinko ve demir elementinin yoğunluklarının baritten yüksek olmasına rağmen atom numaralarının düşük olmasıdır. 276,4 keV’da BaZn0 kodlu kompozitin μ değeri, BaZn50 kodlu kompozitten yaklaşık %4,3 fazla iken aynı enerji değerinde BaFe0 kodlu kompozitin BaFe50 kodlu kompozitten yaklaşık %4,3 daha fazla olduğu görülmektedir. Bu verilerden özellikle düşük enerji seviyelerinde Mo, Sn veya Bi ile katkılanmış üçlü kompozitlerin artan katkı miktarı ile gama ışını zırhlama özelliklerinin arttığı sonucunu çıkarabiliriz. BaBi50 kodlu polimer kompozit malzemenin incelenen diğer üçlü polimer kompozit malzemelere kıyasla daha iyi bir radyasyon zırh malzemesi olduğu bu parametre sonuçlarında da açıkça görülmektedir.

Lineer azaltma katsayısından faydalanılarak yarı kalınlık değeri (YKD), onda-bir kalınlık değeri (OKD) ve ortalama serbest yol (OSY) parametreleri belirlenmiştir. YKD, OKD ve OSY zırhlama parametrelerinin sonuçları denklem 2.51-2.53’den faydalanılarak bulunmuştur. Bu parametreler ile lineer azaltma katsayısı arasında ters bir orantı bulunmaktadır. Yani bu parametrelerin değerleri ne kadar küçük ise zırhlama özelliği de o kadar iyi olacaktır. Deneysel, WinXCOM yazılımı ve GEANT4 simülasyon programı ile elde edilen YKD sonuçları Tablo 4.21-4.25 ve Şekil 4.21-4.25’de, OKD sonuçları Tablo 4.26-4.30 ve Şekil 4.26-4.30’da ve OSY sonuçları ise Tablo 4.31-4.35 ve Şekil 4.31-4.35’de sunulmuştur. Sunulan tablolar ve şekillerden deneysel, WinXCOM yazılımı ve GEANT4 simülasyon programı yardımıyla elde edilen YKD, OKD ve OSY sonuçlarının uyumlu olduğu görülmektedir. Molibden,

kalay ve bizmut ile katkılanan üçlü polimer kompozit malzemeler için katkı miktarı arttıkça YKD, OKD ve OSY zırhlama parametre değerlerinin azaldığı ve artan enerji ile de YKD, OKD ve OSY zırhlama parametre değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Çinko ve demir katkılı kompozit malzemeler için ise katkı miktarı ve enerjinin artmasıyla YKD, OKD ve OSY zırhlama parametre değerlerinin arttığı görülmektedir. Bu üç parametre arasında en çok kullanılan gama ışını zırhlama parametresi YKD'dir. Bu sebeple barit tabanlı Mo, Sn, Zn, Bi veya Fe metalleri ile güçlendirilmiş üçlü polimer kompozit malzemelerin YKD değerlerini kapsamlı bir şekilde incelememiz bize sonuçları değerlendirebilmemiz için faydalı bilgiler sunacaktır. 276,4 keV'de BaMo0 kodlu kompozitin YKD değeri, BaMo50 kodlu kompozitin YKD değerinden yaklaşık %10 fazla, BaSn0 kodlu kompozitin YKD değeri, BaSn50 kodlu kompozitin YKD değerinden yaklaşık %13,8 daha fazla, BaZn0 kodlu kompozitin YKD değeri, BaZn50 kodlu kompozitin YKD değerinden yaklaşık %4,26 daha az, BaBi0 kodlu kompozitin YKD değeri, BaBi50 kodlu kompozitin YKD değerinden yaklaşık %107 daha fazla olduğu ve BaFe0 kodlu kompozitin YKD değeri, BaFe50 kodlu kompozitin YKD değerinden yaklaşık %4,34 daha az olduğu görülmektedir. 1332,5 keV enerji değerinde ise bu değerler sırasıyla Mo, Sn ve Bi ile güçlendirilmiş polimer kompozit malzemeler için %14,9, %8,8 ve %20 daha fazla olduğu bulunmuştur. Bu sonuçlardan barit tabanlı Mo, Sn ve Bi katkılı üçlü polimer kompozit malzemelerin düşük enerji seviyelerinde daha iyi zırhlama özelliğine sahip olduğu görülmektedir. Başka bir deyişle düşük YKD, OKD ve OSY değerlerine sahip numunelerin gelen gama ışınları ile daha fazla etkileşime girdiğini ve bunun sonucunda da daha iyi bir gama radyasyonu zırhlama özelliğine sahip olduğunu ifade edebiliriz. Hazırlanan tüm numunelerin YKD, OKD, OSY değerleri incelendiğinde BaBi50 kodlu numunenin 276,4 keV 'de en düşük YKD, OKD, OSY değerine sahip olduğu görülmüştür. Bu sebeple BaBi50 kodlu üçlü polimer kompozit malzemenin diğer üçlü polimer kompozit malzemelere kıyasla daha iyi bir zırh malzemesi olduğu bir kez daha görülmektedir.

Barit tabanlı Mo, Sn, Zn, Bi veya Fe metalleri ile güçlendirilmiş üçlü polimer kompozit malzemelerin zırhlama özelliklerini belirlemek için incelenen diğer üç parametre ise zırh malzemesini oluşturan moleküllerin gelen foton ile etkileşme ihtimalini

belirlememize yardımcı olan moleküler tesir kesiti ($\sigma_{t,m}$, $\text{cm}^2/\text{molekül}$), zırh malzemesini oluşturan atomların gelen foton ile etkileşme ihtimalini belirlememize yardımcı olan atomik tesir kesiti ($\sigma_{t,a}$, cm^2/atom) ve zırh malzemesini oluşturan elektronların gelen foton ile etkileşme ihtimalini belirlememize yardımcı olan elektronik tesir kesiti ($\sigma_{t,e}$, $\text{cm}^2/\text{elektron}$)'dir. $\sigma_{t,m}$, $\sigma_{t,a}$, ve $\sigma_{t,e}$ zırhlama parametrelerinin sonuçları Denklem 2.54-2.56'dan faydalanılarak bulunmuştur. Gelen gama ışını fotonu ile incelenen üçlü polimer kompozit zırh malzemesinde bulunan moleküllerin, atomların ve elektronların etkileşme olasılığı ne kadar büyük olursa malzemenin radyasyon zırhlama özelliği de o kadar iyi olmaktadır. Deneysel, WinXCOM yazılımı ve GEANT4 simülasyon programı ile elde edilen moleküler tesir kesiti sonuçları Tablo 4.36-4.40 ve Şekil 4.36-4.40'ta, atomik tesir kesiti sonuçları Tablo 4.41-4.45 ve Şekil 4.41-4.45'de sunulmuştur. WinXCOM yazılımı ve GEANT4 simülasyon programı yardımıyla elde edilen elektronik tesir kesiti sonuçları ise Tablo 4.46-4.50 ve Şekil 4.46-4.50'de sunulmuştur. Sunulan tablolar ve şekillerden deneysel, WinXCOM yazılımı veya GEANT4 simülasyon programı yardımıyla elde edilen moleküler tesir kesiti, atomik tesir kesiti ve elektronik tesir kesiti sonuçlarının uyumlu olduğu görülmektedir. Kalay ve bizmut ile katkılanan üçlü polimer kompozit malzemeler için katkı miktarı arttıkça moleküler tesir kesiti değerinin arttığı ve molibden, çinko ve demir ile katkılanan üçlü polimer kompozit malzemeler için ise katkı miktarı arttıkça moleküler tesir kesiti değerinin azaldığı görülmektedir. Ayrıca molibden, kalay ve bizmut ile katkılanan üçlü polimer kompozit malzemeler için katkı miktarı arttıkça atomik ve elektronik tesir kesiti değerinin arttığı ve çinko ve demir ile katkılanan üçlü polimer kompozit malzemeler için ise katkı miktarı arttıkça atomik ve elektronik tesir kesiti değerinin azaldığı görülmektedir. Hazırlanan tüm üçlü polimer kompozit malzemelerin artan enerji ile moleküler, atomik ve elektronik tesir kesiti değerlerinin azaldığı gözlenmiştir. BaBi50 kodlu üçlü polimer kompozit malzeme 276,4 keV enerji değerinde en yüksek moleküler, atomik ve elektronik tesir kesiti değerlerine sahiptir. Bu parametrelerden de BaBi50 kompozitin diğer üçlü polimer kompozit malzemelere kıyasla daha iyi bir zırh malzemesi olduğunu görülmektedir.

Barit tabanlı Mo, Sn, Zn, Bi veya Fe metalleri ile güçlendirilmiş üçlü polimer kompozit malzemelerin zırhlama özelliklerini belirlemek için incelenen son iki parametre ise

etkin atom numarası ve etkin elektron yoğunluğudur. Etkin atom numarası ve etkin elektron yoğunluğu değerleri denklem 2.57-denklemler 2.58 kullanılarak elde edilmiştir. Denklemlerden de görüldüğü üzere bu parametreler birbiri ile doğru orantılıdır. Deneysel, WinXCOM yazılımı ve GEANT4 simülasyon programı yardımıyla elde edilen etkin atom numarası sonuçları Tablo 4.51-55 ve Şekil 4.51-4.55'te ve etkin elektron yoğunluğu sonuçları ise Tablo 4.56-4.60 ve Şekil 4.56-4.60'da sunulmuştur. Sunulan tablolar ve şekillerden deneysel, WinXCOM yazılımı ve GEANT4 simülasyon programı yardımıyla elde edilen etkin atom numarası ve etkin elektron yoğunluğu sonuçlarının yaklaşık olarak uyumlu olduğu ve iki parametrenin de birbiri ile benzer eğimler gösterdiği görülmektedir. İncelenen üçlü polimer kompozit malzemeler için bu iki parametre değerinin yüksek olması gama ışını zırhlama özelliğinin iyi olduğu anlamına gelmektedir. Molibden, kalay veya bizmut ile katkılanan üçlü polimer kompozit malzemeler için katkı miktarı arttıkça etkin atom numarası değerinin tüm enerji değerlerinde arttığı görülmektedir. Ancak, çinko veya demir ile katkılanan üçlü polimer kompozit malzemeler için katkı miktarı arttıkça etkin atom numarasının genellikle azaldığı gözlemlenmiştir. Artan katkılama oranı ile üçlü polimer kompozit malzemelerin etkin atom numarası değerleri farklı enerjilerde incelenirse; 276,4 keV enerji değerinde, BaMo50 kodlu numunenin etkin atom numarası değeri BaMo0 kodlu numuneden yaklaşık %8,1, BaSn50 kodlu numunenin etkin atom numarası değeri BaSn0 kodlu numuneden yaklaşık %17,3, BaBi50 kodlu numunenin etkin atom numarası değeri BaBi0 kodlu numuneden yaklaşık %87,0 daha yüksektir. 276,4 keV enerji aralığında BaZn50 kodlu numunenin etkin atom numarası değeri BaZn0 kodlu numuneden yaklaşık %2, BaFe50 kodlu numunenin etkin atom numarası değeri BaFe0 kodlu numuneden yaklaşık %5,5 daha düşüktür. 1332,5 keV enerji değerinde ise BaMo50 kodlu numunenin etkin atom numarası değeri BaMo0 kodlu numuneden yaklaşık %14,4, BaSn50 kodlu numunenin etkin atom numarası değeri BaSn0 kodlu numuneden yaklaşık %16,4, BaBi50 kodlu numunenin etkin atom numarası değeri BaBi0 kodlu numuneden yaklaşık %27 daha yüksektir. Bizmut ile katkılanan üçlü polimer kompozit malzemeler için katkı miktarı arttıkça etkin elektron yoğunluğu değerinin arttığı ve molibden, kalay, çinko veya demir ile katkılanan üçlü polimer kompozit malzemeler için ise katkı miktarı arttıkça etkin elektron yoğunluğu değerinin azaldığı görülmektedir. Etkin elektron yoğunluğu sonuçlarının etkin atom

numarası ile benzer çıkmamasının sebebi etkin elektron yoğunluğunun üçlü polimer kompozit malzemelerin içindeki elementlerin atom ağırlıkları toplamı ile ters orantılı ve toplam atom sayısı ile doğru orantılı olmasıdır. Hazırlanan tüm üçlü polimer kompozit malzemelerin artan enerji ile etkin atom numarası ve etkin elektron yoğunluğu zırhlama parametre değerlerinin azaldığı görülmektedir. Bu sonuçlardan yola çıkarak bizmut ile katkılanan polimer kompozit malzemenin diğer üçlü polimer kompozit malzemelere kıyasla özellikle düşük enerji seviyelerinde en iyi radyasyon zırhlama özelliğine sahip olduğu görülmektedir. Bizmut ile katkılı polimer kompozit malzemenin etkin atom numarası ve etkin elektron yoğunluğu değerlerini $BaBi50 > BaBi40 > BaBi30 > BaBi20 > BaBi10 > BaBi0$ şeklinde büyükten küçüğe doğru sıralayabiliriz. Bu parametrelerden de BaBi50 kompozitin diğerlerine göre daha iyi bir gama radyasyonu zırh malzemesi olduğu gözlemlenmiştir.

Özetle, bu tez çalışmasında bağlayıcı olarak polimer matriksin kullanıldığı barit tabanlı molibden, kalay, çinko, bizmut veya demir ile güçlendirilmiş üçlü polimer kompozit malzemeler barit ile molibden, kalay, çinko, bizmut veya demirin yer değiştirmesiyle üretilmiştir. Bu yer değiştirme, %10'luk adımlarla %0-50 arasında değişmektedir. Bu üçlü polimer kompozit malzemelerin gama ışını zırhlama özelliklerini belirlemek için 276,4 ile 1332,5 keV enerji aralığında RKV, RGO, μ/ρ , μ , YKD, OKD, OSY, $\sigma_{t,m}$, $\sigma_{t,a}$, $\sigma_{t,e}$, $Z_{etk.}$ ve $N_{etk.}$ zırhlama parametreleri belirlenmiştir. Gama ışını zırhlama parametreleri deneysel, WinXCOM yazılımı ve GEANT4 simülasyon programı olmak üzere üç farklı yöntem ile belirlenmiştir. Tüm parametreler için deneysel, WinXCOM yazılımı ve GEANT4 simülasyon programı yardımıyla elde edilen sonuçlarının genel olarak uyumlu olduğu görülmüştür. Üçlü polimer kompozit malzemeler için genelde katkı miktarı arttıkça RKV, μ/ρ , μ , $\sigma_{t,m}$, $\sigma_{t,a}$, $\sigma_{t,e}$, $Z_{etk.}$ ve $N_{etk.}$ zırhlama parametre değerlerinin arttığı ve artan gama radyasyonu enerjisi ile bu parametrelerin azaldığı görülmüştür. RGO, YKD, OKD, OSY zırhlama parametrelerinin değerlerinde ise tam tersi bir sonuç görülmüştür. Bu parametre değerleri, artan katkı miktarı ile azalmakta ve artan foton enerjisi ile de artmaktadır. Tüm gama ışını zırhlama parametreleri değerlendirildiğinde, hazırlanan üçlü polimer kompozit malzemelerin genelinde özellikle düşük enerji değerlerinde iyi bir zırh malzemesi olduğu görülmüştür. %50 bizmut içeren BaBi50 kodlu üçlü polimer

kompozit malzemenin, hazırlanan numuneler arasında en iyi radyasyon zırlama özelliğine sahip olduğu görülmüştür. İncelenen üçlü polimer kompozit malzemeler, araştırma laboratuvarları, nükleer santraller, tıp gibi gama radyasyonundan korunmanın önemli olduğu birçok alanda alternatif zırh malzemesi olarak kullanılabilir.



KAYNAKLAR

- Abualroos, N. J, Yaacob, K. A, Zainon, R. 2023. Radiation attenuation effectiveness of polymer-based radiation shielding materials for gamma radiation. *Radiation Physics and Chemistry*, 212: 111070.
- Adlienè, D., Gilya, L., Griškoni, E. 2020. Development and characterization of new tungsten and tantalum containing composites for radiation shielding in medicine. *Nuclear Inst. And Methods in Physics Research B*, 467:21-26.
- Ahmed, B., Shah, G.B, Malik, A.H, Aurangzeb, M.R. 2019. Gamma-ray shielding characteristics of flexible silicone tungsten composites. *Applied Radiation and Isotopes*, 155 :108901.
- Ahmed, S. N. 2007. *Physics and engineering of radiation detection*, Academic Press Inc. Published, 249-290.
- Akkurt, I., Akyildirim, H., Mavi, B., Kilincarslan, S., Basyigit, C. 2010. Gamma-ray shielding concrete including barite at different energies. *Progress in Nuclear Energy*, 52(7):620-623.
- Akkurt, I., El-Khayatt A. M. 2013. The effect of barite proportion on neutron and gamma-ray shielding. *Annals of Nuclear Energy*, 51:5-9.
- Akman, F. 2013. Edxrf spektrometre ile bazı elementlerin k tabakası ve LIII alttabakası soğurma sıçrama faktörlerinin doğrudan uyarma ve geçiş geometrileriyle ve bazı Ce, Sm ve Gd bileşiklerinin soğurma parametrelerinin belirlenmesi. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik, Doktora Tezi.
- Akman, F., Sayyed, M. I, Kaçal, M. R, Tekin, H. O. 2018. Investigation of photon shielding performances of some selected alloys by experimental data, theoretical and MCNPX code in the energy range of 81 keV-1333 keV. *Journal of Alloys and Compounds*, 772 :516-52
- Akman, F., Sayyed, M.I, Kaçal, M.R, Tekin, H.O. 2019. Investigation of photon shielding performances of some selected alloys by experimental data, theoretical and MCNPX code in the energy range of 81 keV–1333 keV. *Journal of Alloys and Compounds*, 772:516–524.
- Akman, F., Oğul, H., Kaçal, M. R, Polat, H., Dilsiz, K., Turhan, M. F. 2020. Impact of lead (II) iodide on radiations Shielding properties of polyester composites. *Applied Physics A*, 126 (4):301
- Akman, F., Özkan, I., Kaçal, M. R, Polat, H., Issa Shams A.M, Tekin, H. O, Ağar, O. 2021a. Shielding features, to non-ionizing and ionizing photons, of FeCr-based composites. *Applied Radiation and Isotopes*, 167:109470.

- Akman, F., Oğul, H., Kaçal, M. R., Polat, H., Dilsiz, K., Ağar, O. 2021b. Gamma attenuation characteristics of CdTe-Doped polyester composites. *Progress in Nuclear Energy*, 131:103608.
- Akman, F., Kaçal, M. R., Polat, H., Aktaş, G., Gültekin, A., Ağar, O. 2021c. A comparative study on the nuclear shielding properties of BiBr₃ and PbSO₄ incorporated composites. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*. 152 :109978.
- Almedia Junior, T.A, Nogueria, M.S, Vivolo, V., Potiens, M.P.A, Campos, L.L. 2017. Mass attenuation coefficients of X-rays in different barite concrete used in radiation protection as shielding against ionizing radiation. *Radiation Physics and Chemistry*, 140 :349-354.
- Alshahrani B., Olarinoye I.O, Mutuwong C., Sriwunkum C., Yakout H.A, Tekin H.O, Al-Buriahi M.S. 2021. Amorphous alloys with high Fe content for radiation shielding applications. *Radiation Physics and Chemistry*, 183: 109386.
- Ambika, M.R, Nagaiah, N., Harish, V., Lokanath, M.A, Sridhar, M.A, Renukappa, N.M, Suman, S.K. 2017. Preparation and characterisation of Isophthalic- Bi₂O₃ polymer composite gamma radiation shields. *Radiation Physics and Chemistry*, 130:351-358.
- Aycik, G.A, Belgin, E. E. 2018. Effect of polymer matrix type on electromagnetic radiation shielding performances of PbO reinforced/polyethylene, isophthalic polyester and bisphenol A vinylester based composites. *International Journal of Chemistry and Chemical Engineering Systems*, 3:1-4.
- Azman, N.Z. N, Siddiqui, S. A, Hart, R., Low, I.M. 2012. Microstructural desing of lead oxide-epoxy composite for radiation shielding purposes. *Journal of Applied Polymer Science*, 128:3213-3219.
- Azman, N.Z, Siddiqui, S.A, Low, I.M. 2013. Characterisation of micro-sized and nano-sized tungsten oxide-epoxy composites for radiation shielding of diagnostic X-rays, *Materials Science and Engineering C*, 33(8):4952-4957.
- Bagheri, K., Razavi, S. M, Ahmadi, S. J, Kosari, M., Abolghasemi, H. 2018. Thermal resistance, tensile properties, and gama radiation shielding performance of unsaturated polyester/nanoclay/PbO composites. *Radiation Physics and Chemistry*, 146 :5-10.
- Baykara, O., İrim, Ş. G, Wis, A. A, Keskin, M. A, Özkoç, G., Avcı, A., Doğru, M. 2020. Polyimide nanocomposites in ternary structure: ‘A novel simultaneous neutro and gamma-ray shielding material. *Polymers for Advanced Technologies*, 31(11): 2466-2479.
- Bel, T., Arslan, C., Baydogan, N. 2018. Radiation Shielding of poly (metyl methacrylate) /colemanite for the use in mixed irradiation fields of neutrons and gamma rays. *Materials Chemistry and Physics*, 221:58-67.
- Belgin, E. E, Aycik, G. A, Kalemtaş, A., Pelit, A., Dilek, D. A, Kavak, M. T. 2015. Preparation and characterization of a novel ionizing electromagnetic radiation shielding material: hematite filled polyester based composites. *Radiation Physics and Chemistry*, 115: 43-48.

- CheeBan C., Khalaf M.A, Ramli M, Ahmed N.M, Ahmad M.S, Ahmed Ali A.M, Dawood E.T, Ameri F.2021. Modern heavyweight concrete shielding: Principles, industrial applications and future challenges; review. *Journal of Building Engineering*, 39: 102290.
- Chang, L., Zhang, Y., Liu, Y., Frang, J., Luan, W., Yang, X., Zhang, W. 2015.Preparation and characterization of tungsten/epoxy composite for γ -rays radiation shielding. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 356-357:88-93.
- Demir, F., Budak, G., Sahin, R., Karabulut, A., Oltulu, M., Un, A. 2011. Determination of radiation attenuation coefficients of heavyweight and normal weight concretes containing colemanite and barite for 0.663MeV γ -rays . *Annals of Nuclear Energy*, 38(6):1274-1278.
- Directive, E. U. 2013. Restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment (RoHS). *Off. J. Eur. Communities*, 46:19-23.
- Dong M. G, Agar O., Tekin H. O, Kilicoglu O., Kaky K. M, Sayyed M.I. 2019. A comparative study on gamma photon shielding features of various germanate glass Systems. *Composites Part B: Engineering*, 165: 636-647.
- Duzellier, S. 2005. Radiation effects on electronic devices in space. *Aerospace science and technology*, 9(1): 93-99.
- Dündar, Y., Aslan, R. 2005. Yaşamı kuşatan ağır metal kurşunun etkileri. *Kocatepe Tıp Dergisi*, 6(2): 1-5.
- Ekinci, N., Mahmoud, K. A, Sarıtaş, S., Aygün, B., Hessien, M. M, Bilici, I., Rammah, Y. S. 2022. Development of Tincal based polypropylene polymeric materials for radiation shielding applications: Experimental, theoretical, and Monte Carlo investigations. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 146: 106696.
- El-Sharky, R. M, Allam, E.A, El-Taher, A., Shaaban, E. R, Mahmoud, M. E. 2021.Synergistic effect of nanocadmium oxide doping concentrations on assembly, characterization, and enhanced gamma-rays shielding properties of polypropylene ternary nano composites. *International Journal of Energy Research*, 45(6):8942-8959.
- El-Toony, M. M, Eid, Gh., Algarni, H. M, Alhawimal, T. F, Abelhady, E. E. 2019. Synthesis and characterisation of smart poly vinyl ester/Pb₂O₃ nanocomposite for gamma-radiation shielding. *Radiation Physics and Chemistry*, 168:108536.
- Evans, B. R, Lian, J., Ji, W. 2018. Evaluation of shielding performance for newly developed composite materials newly. *Annals of Nuclear Energy*, 116:1-9.
- Evcin, O., Evcin, A., Bezir, N. C, Akkurt, I., Günoğlu, K., Ersoy, B. 2017.Production of Barite and Boroncarbide Doped Radiation Shielding Polymer Composite Panel. *Actaphysicapolonica A*. 132:3.
- Eyssa, H. M, Sadek, R. F, Mohamed, W. S, Ramadan, W. 2023. Structure-property behavior of polyethylene nanocomposites containing Bi₂O₃ and WO₃ as an eco-friendly additive for radiation shielding. *Ceramics International*, 49(11): 18442-18454.

- Frosio, T., Bertreix, P., Menaa, N., Thomas, S. 2021. Calculation and benchmark of fluence-to-local skin equivalent dose coefficients for neutrons with FLUKA, MCNP, and GEANT4 Monte-Carlo codes. *Journal of Radiological Protection*, 41(3): 564.
- Hanfi, M.Y, Sayyed, M. I, Lacomme, E. L, Akkurt I, Mahmoud, K, A. 2021. The influence of MgO on the radiation protection and mechanical properties of tellurite glasses. *Nuclear Engineering and Technology*, 53 (6): 2000-2010.
- Harish, V., Nagaiah, N., Niranjana Prabhu, T., Varughese, K. T. 2009. Preparation and characterization of lead monoxide filled unsaturated polyester based polymer composite for gamma radiation shielding applications. *Journal of Applied Polymer Science*, 112(3):1503-1508.
- Herrman, K., Baxter, L.N, Mishra, K., Benton, E., Singh, R.P, Vaidyanathan, R.K. 2019. Mechanical characterization of polyethylene-based thermoplastic composite materials for radiation shielding. *Composites Communications*, 13:37-41.
- Huang, W., Yang, W., Ma, Q., Wu, J., Fan, J., Zhang, K. 2016. Preparation and characterization of γ -ray radiation Shielding $\text{PbWO}_4/\text{EPDM}$ composite. *Journal of Radionalyical and Nuclear Chemistry*, 309(3):1097-1103.
- Intom, S., Kalkornsurapranee, E., Johns, J., Kaewjaeng, S., Kothan, S., Hongtong, W., Kaewkhao, J. 2020. Mechanical and radiation shielding properties of flexible material based on natural rubber/ Bi_2O_3 composites. *Radiation Physics and Chemistry*, 172:108772.
- Issard, H. 2015. Radiation protection by shielding in packages for radioactive materials. Woodhead Publishing, 123–140.
- İrim, Ş. G, Wis, A. A, Keskin, M. A, Baykara, O., Ozkoç, G., Avcı, A., Karakoç, M. 2018. Physical, mechanical and neutron shielding of h-BN/ Gd_2O_3 /HDPE ternary nanocomposites. *Radiation Physics and Chemistry*, 144:434-443.
- Kaçal, M. R., Akman, F., Sayyed, M. I. 2019. Evaluation of gamma-ray and neutron attenuation properties of some polymers. *Nuclear Engineering and Technology*, 51(3): 818-824.
- Kaçal, M. R, Polat, H., Oltulu, M., Akman, F., Ağar, O., Tekin, H. O. 2020. Gamma shielding and compressive strength analyses of polyester composites reinforced with zinc: an experiment, theoretical and simulation based study, *Applied Physics A*, 126: 205.
- Kaçal, M. R, Dilsiz, K., Akman, F., Polat, H. 2021. Analysis of radiation attenuation properties for Polyester/ Li_2WO_4 composites. *Radiation Physics and Chemistry*, 179:109257.
- Kalkornsurapeanee, E., Kothan, S., Intom, S., Johns, J., Kaewjaeng, S., Kedkaew, C., Chaiphaksa, W., Sarein, T., Kaewkhao, J. 2021. Wearable and flexible radiation shielding natural rubber composites: Effect of different radiation shielding fillers. *Radiation Physics and Chemistry*, 197:109261.
- Kavanoz, H., Akçalı, Ö., Toker, O., Bilmez, B., Çağlar, M., İçelli, O. 2019. A novel comprehensive utilization of vanadium slag/epoxy resin/antimony trioxide

- ternary composite as gamma ray shielding material by MCNP 6.2 and BXCOR. Radiation Physics and Chemistry, 165 :108446.
- Kelley, J.P.1976. Structural Shielding Design and Evaluation For Medical Use of X rays and Gamma Rays of Energies Up to 10 MeV, First Reprinting. National council on radiation protection and measurements published, 8-12.
- Kılınçarslan, Ş., Başıyigit, C., Molla, T.,Sancar, S. 2011. Radyoaktif Işınlardan Korunaklı Ekolojik Yapılar. Politeknik Dergisi, 14(2), 93-99.
- Kiani, M. A., Ahmadi, S. J., Outokesh, M., Adeli, R., Kiani, H. 2018.Study on physico-mechanical and gamma-ray shielding characteristics of new ternary nanocomposites. Applied Radiation and Isotopes, 143:141-148.
- Kilicoglu, O., More, C. V., Akman, F., Dilsiz, K., Oğul, H., Kaçal, M. R., ... & Agar, O. 2022. Micro Pb filled polymer composites: Theoretical, experimental and simulation results for γ -ray shielding performance. Radiation Physics and Chemistry, 194: 110039.
- Körpınar, B., Canbaz Öztürk, B., Çam, N. F, Akat, H. 2020a. Radiation shielding properties of Poly (hydroxyethyl methacrylate)/Tungsten (VI) oxide composite. Materials Chemistry and Physics, 239:121986.
- Körpınar, B, Canbaz Öztürk, B, Çam, N. F, Akat, H. 2020b. Investigations on thermal and radiation shielding properties of the poly (hydroxyethyl methacrylate-co-styrene) tungsten (VI) oxide composites. Progress in Nuclear Energy, 126 :10342.
- Körpınar, B., Saltan, F. 2022. Preparation of poly (styrene-co-acrylic acid)-zinc oxide composites: Experimental and theoretical investigation of gamma radiation shielding properties. Applied Radiation and Isotopes, 181: 110114.
- Kumar, V., Chaudhary, B., Sharma, V., Verma, K. 2019. Radiation effects in polymeric materials. Springer International Publishing, 35-69.
- Kuttukaran, S. S, Ambika, M. R, Malathi, C, Nagaiah, N. 2023. DMSO-Bismuth polymer composite as gamma radiation shield–A computational study. Materials Today: Proceedings, 89(1):75-83.
- Li, R., Gu, Y., Zhang, G., Yang, Z., Li, M., Zhang, Z. 2017. Radiation Shielding property of structural polymer composite: Continuous basalt fiber reinforced epoxy matrix composite containing erbium oxide. Composites Science and Technology, 143:67-74.
- Li, Q., Wei, Q., Zheng, W., Zheng, Y., Okosi, N., Wang, Z., Su, M. 2018. Enhanced radiation Shielding with conformal light-weight nanoparticle-polymer composite. ACS Applied Materials& Interfaces, 10:35510-35515.
- Mahmoud, M. E, El-Khatib, A. M, Badawi, M. S, Rashed, A. R, El-Sharkawy, R. M, Thabet, A. A. 2017. Recycled high-density polyethylene plastics added with lead oxide nanoparticles as sustainable radiation shielding materials. Journal of Cleaner Production. 176 : 276-287.
- Mhareb M.H.A, Zeama M., Elsafi M., Alajerami Y. S, Sayyed M. I, Saleh G., Hamad R. M., Hamad M. K.H. 2021. Radiation shielding features for various tellurium-

- based alloys: a comparative study. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 32: 26798-26811.
- More, C. V, Alsayed, Z., Badawi, M. S, Thabet, A. A, Pawar, P. P. 2021. Polymeric composite materials for radiation shielding: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 19(3):2057-2090.
- Mostafa, M. Y, Zakaly, H. M, Issa, S. A, Saudi, H. A, Henaish, A. M. A. 2022. Tailoring variations in the linear optical and radiation shielding parameters of PVA polymeric composite films doped with rare-earth elements. *Applied Physics A*, 128(3): 199.
- Nambiar, S., Yeow, J. T. W. 2012. Polymer-composite materials for radiation protection. *ACS Applied Materials Interfaces*, 4(11):5717-5726.
- Nuñez-Brionesa, A. G, Benavidesa, R., Mendoza-Mendozaa, M. E, Martínez-Pardo, M. E, Carrasco-Abregob, C., Kotzianc, F.R, Saucedo-Zendejod, L. A, García-Cerda, L. A. 2020. Preparation of PVC/Bi₂O₃ composites and their evaluation as low energy X-Ray radiation shielding. *Radiation Physics and Chemistry*, 179:109198.
- Oğul, H., Agar, O., Bulut, F., Kaçal, M. R., Dilsiz, K., Polat, H., Akman, F. 2023. A comparative neutron and gamma-ray radiation shielding investigation of molybdenum and boron filled polymer composites. *Applied Radiation and Isotopes*, 194:110731.
- Ogul, H., Gultekin, B., Bulut, F., Us, H. 2024. A comparative study of 3D printing and sol-gel polymer production techniques: A case study on usage of ABS polymer for radiation shielding. *Nuclear Engineering and Technology*, 1738-5733
- Osman, A. F., El Balaa, H., El Samad, O., Awad, R., Badawi, M. S. 2023. Assessment of X-ray shielding properties of polystyrene incorporated with different nano-sizes of PbO. *Radiation and Environmental Biophysics*, 62(2): 235-251.
- Özkalaycı, F., Kaçal, M. R, Ağar, O. Polat, H., Sharma, A., Akman, F. 2020. Lead (II) chloride effects on nuclear shielding capabilities of polymer composites. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 145:109543
- Özkalaycı F., Kaçal M.R., Polat H., Agar O., Almousa N., Akman F. 2022. Lead-free Sb-based polymer composite for γ -ray shielding purposes, *Radiochim Acta*, 110(5): 393-402.
- Pavlenko, V. I, Cherkashina, N. I, Yastrebinsky, R., N. 2019. Synthesis and radiation shielding properties of polyimide/Bi₂O₃ composites. *Heliyon*, 5(5): 01703.
- Rangappa, S.M., Parameswaranpillai, J., Siengchin, S., Kroll, L. 2020. Lightweight Polymer Composite Structures, CRS Press Taylor and Francis Group, ():29-192.
- Saha, G. B. 2019. *Radiation Safety in Nuclear Medicine*, Springer, 14-158.
- Saleh, H. M., Bondouk, I. I, Salama, E., Esawi, H.A. 2021. Consistency and shielding efficiency of cement-bitumen composite for use as gamma-radiation Shielding material. *Progress in Nuclear Energy*, 137 :103764.
- Schrimpf, R. D., Fleetwood, D. M. 2004. Radiation effects and soft errors in integrated circuits and electronic devices. *World Scientific*, 34: 27-161

- Shahzad, K., Kausar, A., Manzoor, S., Rakha, S. A., Uzair, A., Sajid, M., Ahmad, I. 2022. Views on Radiation Shielding Efficiency of Polymeric Composites/Nanocomposites and Multi-Layered Materials: Current State and Advancements. *Radiation*, 3(1): 1-20.
- Syed N. A. 2017. *Physics and Engineering of Radiation Detection*, Queen's University, Academic Press Inc. Published by Elsevier, 82-657.
- Tasnim, A., Sahadath, M.H, IslamKhan, M. N. 2021. Development of high-density radiation shielding materials containing BaSO₄ and investigation of the gamma-ray attenuation properties. *Radiation Physic and Chemistry*, 189 :109772.
- Tekin, H.O., Kaçal, M. R., Issa Shams, A. M., Polat, H., Süsoy, G., Akman, F., Kılıçoğlu, Ö., Gillette, V. H. 2020a. Sodium dodecatungstophosphate hydrate-filled polymer composites for nuclear radiation shielding. *Materials Chemistry and Physics*, 256 :123667.
- Tekin, H. O., Akman, F., Issa, Shams A. M., Kaçal, M. R., Kilicoglu, O., Polat, H. 2020b. Two -step investigation on fabrication and characterization of iron-reinforced novel composite materials for nuclear-radiation shielding applications. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 146:109604.
- Thongpool, V., Phunpueok, A., Barnthip, N., Jaiyen, S. 2015. BaSO₄/Polyvinil Alcohol Composites for Radiation Shielding. *Applied Mechanics and Materials*, 804:3-6.
- Turhan, M. F., Akman F., Kaçal, M.R., Durak R. 2019. Calculation of Absorption Parameters for Some Selected Minerals in the Energy Range of 1 keV to 100 GeV. *International Journal of Scientific Engineering Research*, 10 (9): 56-61.
- Turhan, M. F., Akman, F., Polat, H., Kaçal, M. R, Demirkol, İ. 2020. Gamma-ray attenuation behaviors of hematite doped polymer composites. *Progress in Nuclear Energy*. 129 :103504.
- Wang, H., Zhang, H., Su, Y., Liu, T., Yu, H., Yang, Y., Li, X., Guo, B. 2014. Preparation and radiation shielding properties of Gd₂O₃/PEEK composites. *Polymer Composites*, 36(4):651-659.
- Wang, X., Dong, S., Ashour, A., Zhang, W., Han, B. 2020. Effect and mechanisms of nanomaterials on interface between aggregates and cement mortars. *Construction and Building Material*, 240: 117942.

ÖZGEÇMİŞ

Hatice GÜREL ÖZDEMİR, ilk ve orta eğitimini Hacı Mustafa Tarman İlköğretim Okulunda tamamladı. Lise eğitimini Yahya Kemal Beyatlı Lisesinde tamamladı. 2006 yılında Yahya Kemal Beyatlı Lisesi'nden mezun oldu. 2007 yılında başladığı Giresun Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünü 2011 yılında bitirdi. 2012 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Eğitim Fakültesi'nde Fizik Öğretmeni olarak Pedagojik Eğitimini tamamladı. 2012 yılında başlamış olduğu yüksek lisans eğitimini Giresun Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Atom ve Molekül Fiziği Anabilim dalında 2014 yılında tamamladı. 2019-2020 eğitim öğretim yılında İstanbul Arel Üniversitesi, Tıbbi Hizmetler ve Teknikleri Bölümü, Optisyenlik programında Öğretim görevlisi olarak görev yapmıştır. 2021-2022 eğitim öğretim yılından itibaren de İstinye Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu Optisyenlik programında Öğretim görevlisi olarak görevine devam etmektedir.