



GİRESUN
ÜNİVERSİTESİ



FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KARBOKSİLİK ASİT KOORDİNASYONLU BAZI
METAL KOMPLEKSLERİNİN SOĞURMA
PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ**

**FİZİK
ANA BİLİM DALI
Yüksek Lisans Tezi**

**Ebru ÇETİN
20142101002
Temmuz 2019**

GİRESUN

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

**KARBOKSİLİK ASİT KOORDİNASYONLU BAZI
METAL KOMPLEKSLERİNİN SOĞURMA
PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ebru ÇETİN

Enstitü Anabilim Dalı : Fizik

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Mustafa Recep KAÇAL

Temmuz 2019

T.C.
GİRESUN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KARBOKSİLİK ASİT KOORDİNASYONLU BAZI
METAL KOMPLEKSLERİNİN SOĞURMA
PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ebru ÇETİN

Enstitü Anabilim Dalı : Fizik

Bu tez 01/07/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

**Prof. Dr.
Biol ERTUĞRAL
Jüri Başkanı**

**Prof. Dr.
Gökhan APAYDIN
Üye**

**Doç. Dr.
Mustafa R. KAÇAL
Üye**

**Doç. 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.

Ebru ÇETİN

01/07/2019

TEŞEKKÜR

Tez çalıőmamda benimle birlikte bitirme aőamasına kadar uęraőan, sonuçlarımı almamda bana yardımda bulunan danıőmanım Doç. Dr. Mustafa Recep KAÇAL' a sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Numunelerin hazırlanmasında büyük emek sahibi olan değerli arkadaőım Tuğba SARI' ya, ölçüm ve hesaplamalar sırasındaki katkılarından dolayı Doç. Dr. Ferdi AKMAN' a teşekkür ederim.

Bilgilerini benimle paylaőan Doç. Dr. Saim TOPÇU' ya teşekkür ederim.

Yine tüm bu süre zarfında her zaman desteklerini benden esirgemeyen aileme de teőekkürlerimi borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	I
İÇİNDEKİLER	II
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	IV
ŞEKİLLER LİSTESİ	VI
TABLolar LİSTESİ	VII
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
BÖLÜM 1. GİRİŞ	1
BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	5
2.1. X Işınlarının tanımı ve özellikleri	5
2.2. X ışınlarının madde ile etkileşimi	5
2.3. Fotoelektrik olay	6
2.4. Compton Olayı	7
2.5. Çift Oluşum	9
2.6. Soğurucu ile foton etkileşiminin genel özellikleri	9
2.7. Soğurma katsayıları	11
2.8. X-ışını soğurma olayı	13
2.9. Soğurma kıyısı	14
2.10. μ/ρ , λ ve Z arasındaki ilişki	15
2.11. Toplam kütle soğurma katsayısı	16
2.12. Moleküler tesir kesiti	17
2.13. Atomik tesir kesiti	17
2.14. Elektronik tesir kesiti	17
2.15. Etkin atom numarası	18

2.16. Etkin elektron yoğunluğu	18
2.17. Ortalama serbest yol	19
2.18. Yarı kalınlık değeri	19
2.19. Onda bir kalınlık değeri	19
BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM	20
3.1. Enerji ayrımlı EDXRF spektrometresi	20
3.2. HpGe dedektörü	21
3.2.1. Yüksek voltaj kaynağı	22
3.2.2. Ön yükseltici	22
3.2.3. Yükseltici	22
3.2.4. Analog sayısal dönüştürücü	23
3.2.5. Çok kanallı analizör	23
3.3. Numunelerin hazırlanması	23
3.4. Deney geometrisi	25
BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI	27
4.1. Kütle soğurma katsayısının deneysel olarak hesaplanması	27
4.2. Lineer soğurma katsayısı deneysel olarak hesaplanması	32
4.3. Moleküler tesir kesiti	34
4.4. Atomik tesir kesiti	36
4.5. Elektronik tesir kesiti	38
4.6. Etkin atom numarası	40
4.7. Etkin elektron yoğunluğu	42
4.8. Ortalama serbest yol	44
4.9. Yarı kalınlık değeri	46
4.10. Onda bir kalınlık değeri	48
BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE SONUÇ	50
KAYNAKLAR	57
ÖZGEÇMİŞ	62

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

A	: Atomik Ağırlık
C_m	: Elementin Ağırlık Kesri
E_K	: Kinetik Enerji
E_B	: Bağlanma Enerjisi
E_e	: Geri Tepen Elektronun Toplam Enerjisi
F	: Element Bolluğu
h	: Planck Sabiti
I	: Geçen Radyasyon Şiddeti
I_0	: Gelen Radyasyon Şiddeti
N	: Element Sayısı
N	: Avagadro Sayısı
N_E	: Etkin Elektron Yoğunluğu
M	: Moleküler Ağırlık
m_e	: Elektronun Durgun Kütlesi
m_o	: Durgun Kütle
T	: Kalınlık
W	: Ağırlık Kesri
Z	: Atom Numarası
Z_{eff}	: Etkin Atom Numarası
P	: Yoğunluk
θ	: Foton Saçılma Açısı
σ	: Tesir Kesiti
$\sigma_{t,a}$: Atomik Tesir Kesiti
$\sigma_{t,m}$: Moleküler Tesir Kesiti
$\sigma_{t,e}$: Elektronik Tesir Kesiti
τ	: Fotoelektrik Soğurma Katsayısı

π	: Çift Oluşum Katsayısı
ν	: Frekans
λ	: Dalga Boyu
μ	: Lineer Soğurma Katsayısı
μ_a	: Atomik Soğurma Katsayısı
μ_m	: Toplama Kütle Soğurma Katsayısı
μ_{mol}	: Molar Soğurma Katsayısı
ADC	: Analog Sayısal Dönüştürücü
EDXRF	: Enerji Ayrımlı X Işını Floresans
HVL	: Yarı Kalınlık Değeri
MCA	: Çok Kanallı Analizör
MFP	: Ortalama Serbest Yol
TVL	: Onda Bir Kalınlık Değeri
XRF	: X Ray Floresans

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Fotoelektrik olay	6
Şekil 2.2. Compton saçılması	8
Şekil 2.3. Çift oluşum	9
Şekil 2.4. Fotoelektrik etki, Compton ve Çift oluşum olaylarının baskın olduğu enerji seviyeleri	11
Şekil 2.5. X ışınlarının soğurulması	11
Şekil 2.6. Kütle soğurma katsayısının dalga boyuna göre değişimi	15
Şekil 3.1. HpGe dedektör sistemi	22
Şekil 3.2. Coumarin-3-karboksilik asit	23
Şekil 3.3. (a) nötr ligand HCCA, (b) trans-M (CCA1) 2 (H ₂ O) 2 ve (c) trans-M (CCA2) 2 (H ₂ O) 2, [M = Zn (II), Co (II), Ni (II), Cu (II) ve Fe (II)] Coumarin-3- karboksilik asit kompleksi	24
Şekil 3.4. Deneyde kullanılan numuneler	25
Şekil 3.5. Deney geometrisi	26
Şekil 4.1. Coumarin-3- karboksilik asit'in a) Fe b) Co c) Ni d) Cu e) Zn metal komplekslerinin enerjiye bağlı kütle soğurma katsayısı değişimi	30
Şekil 4.2. Enerjiye bağlı deneysel ve teorik kütle soğurma katsayıları	30
Şekil 4.3. Enerjiye bağlı lineer soğurma katsayısı değişimi	32
Şekil 4.4. Enerjiye bağlı moleküler tesir kesiti değişimi	34
Şekil 4.5. Enerjiye bağlı atomik tesir kesiti değişimi	36
Şekil 4.6. Enerjiye bağlı elektronik tesir kesiti değişimi	38
Şekil 4.7. Enerjiye bağlı etkin atom numarası değişimi	40
Şekil 4.8. Enerjiye bağlı etkin elektron yoğunluğu değişimi	42
Şekil 4.9. Enerjiye bağlı ortalama serbest yol (MFP) değişimi	44
Şekil 4.10. Enerjiye bağlı yarı kalınlık değeri (HVL) değişimi	46
Şekil 4.11. Enerjiye bağlı onda bir kalınlık değeri (TVL) değişimi	48

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. Tezde kullanılan numuneler	24
Tablo 3.2. Kaynakların enerjilerde yayınlanma ihtimaliyeti	26
Tablo 4.1. Kütle soğurma katsayısı (μ/ρ) deneysel ve teorik sonuçları	31
Tablo 4.2. Lineer soğurma katsayısı (μ) deneysel ve teorik sonuçları	33
Tablo 4.3. Moleküler tesir kesiti deneysel ve teorik sonuçları	35
Tablo 4.4. Atomik tesir kesiti deneysel ve teorik sonuçları	37
Tablo 4.5. Elektronik tesir kesiti teorik sonuçları	39
Tablo 4.6. Etkin atom numarası deneysel ve teorik sonuçları	41
Tablo 4.7. Etkin elektron yoğunluğu deneysel ve teorik sonuçları	43
Tablo 4.8. Ortalama serbest yol (MFP) deneysel ve teorik sonuçları	45
Tablo 4.9. Yarı kalınlık değeri (HVL)deneysel ve teorik sonuçları	47
Tablo 4.10. Onda bir kalınlık (TVL) deneysel ve teorik sonuçları	49

KARBOKSİLİK ASİT KOORDİNASYONLU BAZI METAL KOMPLEKSLERİNİN SOĞURMA PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

ÖZET

Bu çalışmada $C_{20}H_{10}O_8 Zn.2H_2O$, $C_{20}H_{10}O_8 Cu.2H_2O$, $C_{20}H_{10}O_8 Co.2H_2O$, $C_{20}H_{10}O_8 Ni.2H_2O$, $C_{20}H_{10}O_8 Fe.2H_2O$ komplekslerin 80 keV-1333 keV enerji aralığındaki kütle soğurma katsayıları, lineer soğurma katsayıları, moleküler tesir kesiti, atomik tesir kesiti, elektronik tesir kesiti (teorik), etkin atom numarası, etkin elektron yoğunluğu, ortalama serbest yol, yarı kalınlık değeri ve onda bir kalınlık değeri deneysel olarak hesaplanmıştır. Deneysel verilerle karşılaştırmak için hesaplanan teorik değerler WinXCOM programı ile elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: kütle soğurma katsayısı, etkin atom numarası, ortalama serbest yol

DETERMINATION OF ABSORPTION PARAMETERS OF SOME METAL COMPLEXES WITH CARBOXYLIC ACID COORDINATION

SUMMARY

In this study, the mass absorption coefficients, linear absorption coefficients, electronic cross section (theoretical), effective atomic number, effective electron density, mean free path, half-thickness value and one-tenth thickness of $C_{20}H_{10}O_8 \cdot Zn \cdot 2H_2O$, $C_{20}H_{10}O_8 \cdot Cu \cdot 2H_2O$, $C_{20}H_{10}O_8 \cdot Co \cdot 2H_2O$, $C_{20}H_{10}O_8 \cdot Ni \cdot 2H_2O$ and $C_{20}H_{10}O_8 \cdot Fe \cdot 2H_2O$ metal complexes, value were calculated experimentally in the 80 keV-1333 keV energy range. Theoretical values calculated for comparison with experimental data were obtained with WinXCOM program.

Keywords: mass absorption coefficient, effective atomic number, mean free path

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Fotonun maddeyle etkileşiminden en çok kullanılan parametrelerden biri soğurma ve saçılma parametrelerinden oluşan kütle soğurma katsayısıdır. Bu katsayı birim alandaki kütle başına foton etkileşimlerinin oranı olarak ifade edilebilir ve gelen fotonun enerjisine, numunenin atom numarasına, yoğunluğuna ve numunenin kimyasal yapısına bağlıdır.

Toplam kütle soğurma katsayısı yardımıyla etkin atom numarası, etkin elektron yoğunluğu, moleküler, atomik ve elektronik tesir kesitleri, birim başına aktarılan kinetik enerji ve molar yok olma katsayısı gibi parametreler hesaplanabilir. Bu parametreler medikal, radyasyon, nükleer, plazma ve uzay fiziğinde, biyolojik ve zirai endüstri gibi alanlarda kullanılabilir.

Bir elementi tanımlamak için tek bir atom numarası kullanılır. Hine (1952)'ye göre kompleks maddelerin foton etkileşim uygulamalarında maddeyi tanımlamak için ise etkin atom numarasını kullanılır. Fotoelektrik etki, Compton saçılma ve Çift oluşum gibi süreçlerin üzerinde katkısı olan etkin atom numarası değişen enerji ile farklılık göstermektedir.

Etkin elektron yoğunluğu da kompleks bir malzemenin etkileşim karakteristiklerini ortaya çıkaran bir parametredir ve etkin elektron yoğunluğu veya etkin elektron sayısı, maddenin birim kütle başına düşen elektron sayısı olarak tanımlanır. Etkin atom numarası ve etkin elektron yoğunluğu kompleks bir maddenin soğurduğu kinetik enerjisinin, maddenin kütle enerji soğurma katsayısının ve Compton profilinin belirlenmesinde kullanılır. Ayrıca, etkin atom numarası ve etkin elektron yoğunluğu kompleks malzemelerin foton etkileşim süreçleri hakkında da bilgi verir.

Birçok araştırmacı veya araştırma grubu bazı bileşik, kompleks, cam, polimer ve biyolojik malzemeler gibi kompozit materyallerin kütle soğurma katsayılarını, moleküler, atomik ve elektronik tesir kesitlerini, etkin atom numaralarını ve etkin elektron yoğunluklarını seçilmiş bazı enerjilerde deneysel veya teorik olarak bulmuşlardır.

El-Kateb ve Abdul-Hamid (1991) hidrojen, karbon ve oksijen iğeren bazı maddelerin 0.054 ile 1.333 MeV enerji aralığında NaI(Tl) sintilasyon dedektörü ile kütle soğurma katsayılarını, etkin atom numaralarını ve etkin elektron yoğunluklarını bulmuşlardır. Bhandal ve Singh (1993a; 1993b) dört farklı ęimento ve farklı kompozit malzemelerde 1 keV ile 100 GeV enerji aralığında kütle soğurma katsayılarını ve etkin atom numaralarını teorik olarak bulmuşlardır. Gill ve ark. (1998) PbO, CdO, Bi₂O₃ ve B₂O₃ katkılanmış camlarda ve granit, niyalit, mignatit, fosforit ve kireğtaşı gibi kayaların 662 keV foton enerjisinde NaI(Tl) sintilasyon dedektörü ile etkin atom numaralarını bulmuşlardır. İçelli ve ark. (2008) H₃BO₃ ve Na₂B₄O₇ gibi bazı boron moleküllerinin 15.74 ile 40.93 keV enerji aralığında moleküler, atomik ve elektronik tesir kesitlerini ve etkin atom numaralarını geğiş geometrisini kullanarak hesaplamışlardır. Demir ve Han (2009) doplanmamış ve farklı oranlarda doplanmış GaAs ve InP kristallerinin toplam kütle soğurma katsayılarını, atomik ve elektronik tesir kesitlerini, etkin atom numaralarını ve elektron yoğunluklarını lęmřlerdir. Han ve ark. (2009) bazı doğal minerallerin 22,1, 25,0, 59,5 ve 88,0 keV enerjilerinde Si(Li) dedektörü ile kütle soğurma katsayılarını, etkin atom numaralarını ve etkin elektron yoğunluklarını lęmřlerdir. Polat ve ark. (2011) bazı seçilmiş baryum bileşiklerinin 36,63 ile 38,21 keV enerji aralığında Si(Li) dedektörü ile kütle soğurma katsayılarını, moleküler, atomik ve elektronik tesir kesitlerini, etkin atom numaraları ve elektron yoğunluklarını bulmuşlardır. Demir ve ark. (2012) bazı vitaminlerin 30,82, 59,54, 80,99, 356,01, 661,66 ve 1408,01 keV enerjilerinde NaI(Tl) sintilasyon dedektörü ile kütle soğurma katsayılarını, etkin atom numaralarını ve elektron yoğunluklarını hesaplamışlardır. Medhat (2012) bazı değerli taşların 81, 356,5, 661,6, 1173,2 ve 1332,5 keV foton enerjilerinde HPGe dedektörü ile toplam kütle soğurma katsayılarını, toplam atomik ve elektronik tesir kesitlerini, etkin atom numaralarını ve elektron yoğunluklarını hesaplamıştır. Ahmadi ve ark. (2013) bakteritorodopsin ve bunu iğeren bazı

aminoasitlerin kütle soğurma katsayılarını kullanarak 1 keV ve 100 GeV enerji aralığında etkin atom numaralarını ve elektron yoğunluklarını teorik olarak bulmuşlardır. Pawar ve Bichile (2013) bazı aminoasitlerin 122, 356, 511, 662, 1170, 1275 ve 1330 keV foton enerjilerinde NaI(Tl) sintilasyon dedektörü ile kütle soğurma katsayılarını, etkin atom numaralarını ve elektron yoğunluklarını deneysel olarak ölçmüşlerdir. Kucuk ve ark. (2013) bazı homo ve hetero zincirli polimerlerin 59,5, 511, 661,6, 1173,2, 1274,5 ve 1332,5 keV foton enerjilerinde, NaI(Tl) dedektör kullanarak kütle soğurma katsayılarını, etkin atom numaralarını ve elektron yoğunluklarını elde etmişlerdir. Kore ve Pawar (2014) bazı seçilmiş aminoasitlerin 122, 356, 511, 662, 1170, 1275 ve 1330 keV foton enerjilerinde kütle soğurma katsayıları, etkin atom numaraları ve elektron yoğunlukları hesaplamışlardır. Yasaka ve ark. (2014) farklı oranlarda çinko, bizmut ve borat katkılanmış bazı camların farklı foton enerjilerinde NaI(Tl) dedektörü ile kütle soğurma katsayılarını, etkin atom numaralarını ve elektron yoğunluklarını belirlemişlerdir. Akman ve ark. (2015a) bazı seçilmiş samaryum bileşiklerinin kütle soğurma katsayısından ikincil uyarma geometrisini kullanarak 36,847 ve 57,142 keV enerji aralığında etkin atom numaralarını ve elektron yoğunluklarını deneysel olarak ölçmüşlerdir. Oto ve ark. (2015) borit, magnetit, limanit, hematit ve serpentin cevherlerinin 81, 276, 302, 356 ve 383 keV foton enerjilerinde HPGe dedektörü ile kütle soğurma katsayılarını, etkin atom numaralarını ve elektron yoğunluklarını hesaplamışlardır. Akman ve ark. (2015b) La₂O₃, Ce ve Gd numunelerinin 30 keV ile 57 keV enerji aralığında ikincil uyarma geometrisini kullanarak soğurma kıyıları yakınlarında kütle soğurma katsayılarını ölçmüşlerdir. Akman ve ark. (2016a) bazı gadolinyum bileşikleri için 39,52 ile 57,14 keV enerji aralığında K tabakası soğurma sıçrama oranları, sıçrama faktörleri, etkin atom numaraları ve elektron yoğunlukları rapor edilmiş ve sonuçlar ligand atomlarının enerji aralığı, iyonlaşma enerjisi, elektron ilgisi ve küresel elektrofilitiklik gibi kimyasal parametreler ile yorumlanmıştır. More ve ark. (2016) bazı aminoasitlerin 122, 356, 511, 662, 884, 1170, 1275 ve 1330 keV foton enerjilerinde NaI(Tl) dedektörü ile kütle soğurma katsayılarını, molar yok olma katsayılarını, elektronik tesir kesitlerini, etkin atom numaralarını ve elektron yoğunluklarını deneysel olarak ölçmüşlerdir. Gaikwad ve ark. (2017) bazı enzimler, proteinler, amino asitler ve yağ asitlerinin 122, 356, 511, 662, 884, 1170, 1275 ve 1330 keV foton

enerjilerinde NaI(Tl) dedektörü ile kütle soğurma katsayılarını, molar yok olma katsayılarını, elektronik tesir kesitlerini, etkin atom numaralarını ve elektron yoğunluklarını deneysel olarak ölçmüşlerdir. Obaid ve ark. (2018) kayalar ve betonların 122-1330 keV foton enerji aralığında gama spektrometresi kullanarak kütle soğurma katsayısı, etkin atom numarası ve elektron yoğunluğunu deneysel olarak hesaplamışlardır. Akman ve ark. (2019a) seçilen bazı alaşımlar için 81-1333 keV foton enerji aralığında HPGe dedektörü kullanılarak kütle soğurma katsayısı etkin atom numarası ve etkin elektron yoğunluğu gibi foton soğurma parametrelerini deneysel olarak hesaplamışlardır. Kaçal ve ark. (2019) bazı seramikler için 81-1333 keV foton enerji aralığında HPGe dedektörü kullanarak kütle ve lineer soğurma katsayısı, etkin atom numarası, etkin elektron yoğunluğu, yığılma faktörü(Buildup) ve hızlı nötron uzaklaştırma tesir kesiti gibi radyasyon koruma parametrelerini incelemişlerdir. Sayyed ve ark. (2019) seçilen bazı kurşun ve bizmut tuzlarının 81-1333 keV foton enerji aralığında foton soğurma parametreleri belirlenmiştir. Akman ve ark. (2019b) seçilen bazı seramik numunelerinin 81 keV-1333 keV enerji aralığında HPGe dedektörü kullanılarak kütle soğurma katsayısı, etkin atom numarasını, elektron yoğunluğunu, ortalama serbest yol ve yarı kalınlık değerini deneysel olarak hesaplamışlardır.

BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. X Işıklarının tanımı ve özellikleri

Wilhelm Conrad Röntgen 1895’de madde üzerine düşen hızlı elektronların, bilinmeyen tabiatlı son derece girici ışınlar meydana getirdiğini gözlemlemiştir. Mahiyetleri tam olarak bilinmediği için X-ışınları diye adlandırılan bu ışınların giricilik ve şiddetlerinin başlangıçtaki elektronların hızlarıyla doğru orantılı olduğu yani elektronlar ne kadar hızlı ise oluşan X-ışınlarının da o kadar girici ve şiddetli olduğu tespit edilmiştir. Bir madde üzerine düşen ışık etkisiyle maddeden elektron sökülmesi esasına dayanan fotoelektrik olay, fotonların elektronlara enerji aktarabileceğini, bu enerjiyi soğuran elektronların serbest kalarak harekete geçebileceğini göstermiştir. X-ışınlarının keşfi ile bu olayın tersinin de mümkün olabileceği yani hareketli bir elektronun kinetik enerjisinin tümünün veya bir kısmının bir fotona dönüşebileceği anlaşılmıştır (Kaçal, 2011).

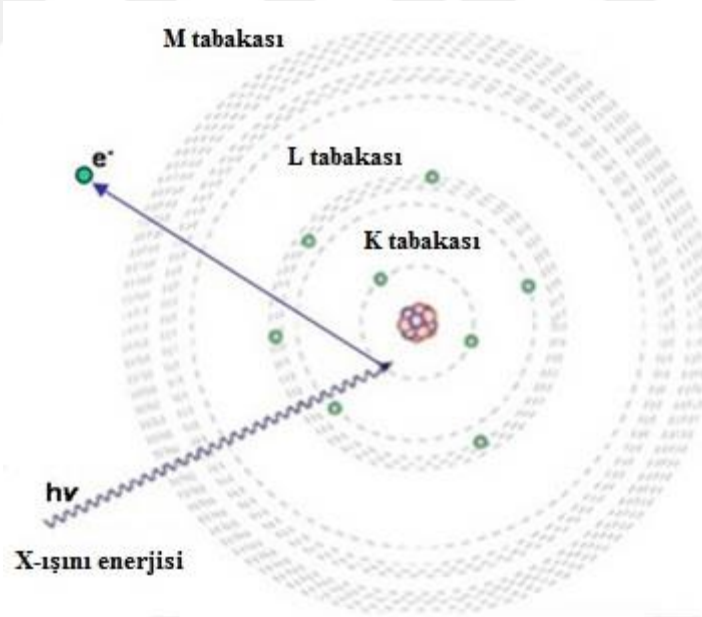
2.2. X ışınlarının madde ile etkileşimi

X-ışınları, nitelik itibarıyla sürekli X-ışınları ve karakteristik (veya çizgi) X-ışınları olmak üzere iki grupta incelenebilirler. Sürekli X-ışınları ivmelenen yükler sayesinde, karakteristik X-ışınları orbitaller arası elektron geçişleriyle oluşur. Bir X-ışını maddeyi geçerken X-ışını fotonları ve ortamın fotonları arasındaki etkileşimin bir sonucu olarak şiddetinde bir azalma veya zayıflama olur. Böyle soğurma etkileri X-ışını flüoresans (XRF) analizlerinde büyük öneme sahiptir. Soğurulmaların derecesi numune kompozisyonunun bir derecesidir ve genellikle numunelere ve standartlara göre farklılık gösterir.

X-ışınları madde etkileşimleri, etkileşim tarzlarına göre azaltma, saçılma ve çift oluşum olayları olarak incelenebilir. X-ışınlarının madde ile etkileşmesinde en fazla gözlenen azaltma biçimi fotoelektrik olay, saçılma biçimi Compton saçılmasıdır (Kaya, 2006).

2.3. Fotoelektrik olay

Metal yüzeye ışık düşürülerek metal yüzeyden elektron sökülme olayına denir. İlk defa 1887'de Hertz tarafından keşfedilmiştir ve 1905 yılında da Einstein tarafından açıklanmıştır. Bir soğurucu atomunun sıkı bağlı bir elektronu ve gelen foton arasındaki etkileşimi ve fotonun tüm enerjisini elektronun soğurarak serbest hale geçmesi ile fotoelektrik soğurma oluşur. Koparılan elektron fotoelektron olarak adlandırılır. Bir K tabakası elektronu ve $h\nu$ enerjili bir foton arasındaki fotoelektrik etkileşimi Şekil 2.1'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Fotoelektrik olay (Akman,2013)

Serbest (zayıf bağlı) bir elektron ile foton arasında meydana gelen Compton saçılmasının aksine, fotoelektrik olay bir foton ile sıkı bağlı bir elektron arasında meydana gelir.

Fotoelektrik olayının temel özellikleri sıralayacak olursak,

1. Fotonun taşıdığı fazla enerji ve momentum soğurucu atoma aktarılır, ancak çekirdek kütlesi nispeten büyük olduğundan, atomik geri tepme enerjisi son derece küçüktür ve ihmal edilebilir. Koparılan fotoelektronun E_K kinetik enerjisi, gelen fotonun enerjisi $h\nu$ ile orbital elektronun bağlanma enerjisi E_B arasındaki farka eşittir, yani,

$$E_K = h\nu - E_B \quad (2.1)$$

şeklinde olur.

2. Soğurucu atomun bir elektronun $E_B(K)$ K tabakası bağlanma enerjisi $h\nu$ foton enerjisinden küçükse, yani, $h\nu > E_B(K)$ ise, soğurucunun K tabakası elektronları ile fotoelektrik soğurma meydana gelme ihtimali yaklaşık %80'dir ve kalan %20 ise daha yüksek tabandaki bağlı elektronların fotoelektrik soğurma meydana getirme ihtimaliyetidir.
3. Fotoelektron tarafından alınan enerji, fotoelektronun atomdan sökülüp, atomu iyonlaşmış hale getirmek için yetersiz olabilir, fakat atomu uyararak fotoelektronun daha üst orbitallere geçmesi için yeterli olabilir.
4. Verilen bir tabakada fotoelektron yayımlanması sonucu oluşan boşluk, daha üst tabakadaki bir elektron tarafından doldurulabilir, geçiş enerjisi, ya yayımlanan karakteristik fotonun ya da Auger elektronun enerjisi diyebiliriz (Akman,2016b).

2.4. Compton Olayı

Işığın tanecikli yapıda olduğunu gösteren önemli olaylardan biri de Compton olayıdır. Gelen foton, kendisine kıyasla çok zayıf bağlı veya serbest bir elektron ile çarpışarak enerjisinin bir kısmını kaybeder ve geliş doğrultusundan sapar. Bu sırada gelen fotonla çarpışan elektron yörüngesinden koparak belli bir açıyla saçılır. Compton saçılmasında, elektronun bağlanma enerjisinin, gelen fotonun enerjisi yanında ihmal edilecek kadar küçük olduğu durumlarda daha etkili gözlenir. $h\nu$ enerjili bir foton ile zayıf bağlı bir elektronun etkileşimi sonucu oluşur. Compton saçılmasında, gelen

fotonun enerjisi $h\nu$ 'den daha küçük enerjili, $h\nu'$ enerjisine sahip saçılmış bir foton ve atomdan E_K kinetik enerji ile ayrılmış bir Compton (geri tepme) elektronu üretilir.

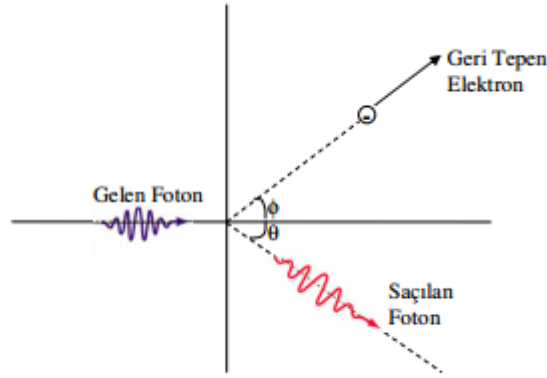
$$h\nu + m_e c^2 = h\nu' + E_e \quad (2.2)$$

burada $m_e c^2$ geri tepen elektronun durgun kütle enerjisi ve E_e geri tepen elektronun toplam enerjisidir.

Toplam enerji ve momentumun korunduğu bu saçılmada, gerekli işlemler yapıldığında Compton dalgaboyu kayması şu şekilde ifade edilir:

$$\lambda' - \lambda = \Delta\lambda = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos\theta) = \lambda_C (1 - \cos\theta) \quad (2.3)$$

Burada, m_e elektronun durgun kütlesi, θ fotonun saçılma açısı, c ışık hızı, h ise Planck sabiti, λ gelen fotonun dalgaboyu, λ' saçılmış fotonun dalgaboyu, $\Delta\lambda$ gelen ve saçılmış fotonlar arasındaki dalgaboyu farkı ve λ_C elektronun Compton dalgaboyudur. Bu eşitlikten de görüldüğü gibi Compton dalgaboyundaki kayma sadece saçılma açısı θ 'ya bağlıdır ve $h\nu$ gelen foton enerjisinden bağımsızdır. Compton olayı şematik olarak şekil 2.2' de gösterilmiştir.

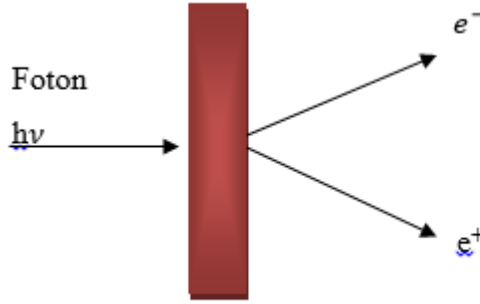


Şekil 2.2. Compton saçılması (Kaya,2006)

Fotoelektrik olay genellikle K ve L tabakalarına ait elektronlarda baskın olmasına rağmen, Compton olayı dış tabaka elektronlarında daha baskındır (Akman,2016b).

2.5. Çift Oluşum

Çift oluşum, çekirdeğin etki alanına giren bir fotonun bir elektron ile bir pozitrona dönüşmesi olayıdır. Elektron ile pozitronun kütleleri birbirine eşit, yükleri ise eşit ve zıt işaretlidir. Çift oluşumun meydana gelebilmesi için eşik enerjisi $2m_0c^2$ (1,02 MeV) olmalıdır. 1,02 MeV'den daha büyük enerjili bir foton, yüksek atom numaralı bir elementin çekirdeğinin yakınından geçerken yok olur ve elektron pozitron çifti meydana gelir. Bu olay çekirdek etrafında olduğundan hiçbir korunum ilkesi bozulmuş olmaz. Sonuçta bu olay meydana gelirken yük, momentum ve toplam enerji korunur. Çift oluşum, hole teorisi ile açıklanabilir. Dirac'a göre, bir serbest elektronun enerjisi $+m_0c^2$ 'den daha büyük veya $-m_0c^2$ 'den daha küçüktür. Dirac teorisine göre, $2m_0c^2$ 'den daha büyük bir enerjiye sahip olan bir foton, bir elektronu negatif enerjili bir durumdan pozitif enerjili bir duruma yükseltebilir. Bu, pozitif enerji durumunda gözlenebilir bir elektron ile negatif enerji durumunda Dirac deliği denilen ve pozitif yüklü bir parçacık gibi hareket eden bir boşluk (hole) meydana getirir. Bu boşluk bir pozitrona karşılık gelmektedir. Böylece bir elektron-pozitron çifti meydana gelmiş olur (Gürol,2004). Çift oluşum şekil 2.3' de verilmiştir.



Şekil 2.3. Çift oluşum (Baydere,2014)

2.6. Soğurucu ile foton etkileşiminin genel özellikleri

Bir foton madde üzerine düşürüldüğünde farklı etkileşimlere maruz kalabilir. Bu etkileşimler ya atomun çekirdeğiyle ya da atomun elektronlarıyla oluşur. Çekirdek ile etkileşimler direkt olarak foton-çekirdek etkileşimleri ya da foton ile çekirdeğin elektrik alanı etkileşimleri (çift oluşum) şeklinde olur.

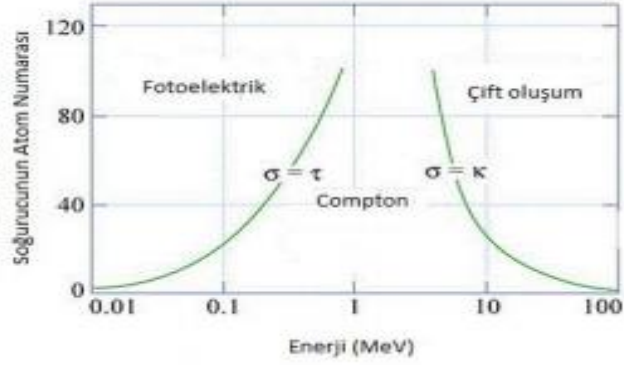
Zayıf bağı bir elektron, $h\nu$ foton enerjisi ile karşılaştırıldığında bağlanma enerjisi E_B 'nin çok küçük olduğu bir elektrondur. Zayıf bağı bir elektron ile bir foton arasındaki etkileşim bir foton ile serbest bir elektronun etkileşimi olarak düşünürüz. Sıkı bağı bir elektron, E_B bağlanma enerjisi ile bir fotonun enerjisi karşılaştırıldığında, $h\nu$ foton enerjisinin E_B bağlanma enerjisinden çok az küçük olduğu ya da tamamen büyük olduğu bir elektrondur. Sıkı bağı bir elektron ile foton arasında etkileşim olması için, elektronun E_B bağlanma enerjisinin $h\nu$ foton enerjisinden yaklaşık olarak küçük olması gerekir, yani, $E_B \leq h\nu$ olmalıdır. Bir foton ile sıkı bağı bir elektronun etkileşiminde, atom bir bütün olarak dikkate alınır.

Foton ile atomun etkileşiminde iki sonuç ortaya çıkar;

1. Fotonun yok olması (yani tamamen soğurulması) ve enerjisinin bir kısmını hafif yüklü parçacıklara (elektron ve pozitron) aktarması.
2. Fotonun saçılması. Burada da iki ihtimal vardır;
 - a. Saçılan fotonun gelen fotonla aynı enerjiye sahip olması ve etkileşimde hafif yüklü parçacıkların salınmaması
 - b. Saçılan fotonun gelen fotondan daha az enerjiye sahip olması ve fazla enerjinin hafif yüklü parçacığa (elektrona) aktarılması

Soğurucu ortamında hafif yüklü parçacıkların (elektron ve pozitron) foton etkileşimleri boyunca şu şekillerde üretilebilirler;

1. Ya soğurucu ortamın orbital elektronları ile ortam boyunca etkileşimler yaparak enerjilerini depolarlar (iyonlaşma var).
2. Ya da soğurucu ortamın çekirdeği ile Coulomb etkileşimleri boyunca fotonlar şeklinde kinetik enerjilerini yayımlarlar (radyasyon kaybı) (Akman,2013).



Şekil 2.4. Fotoelektrik etki, Compton ve Çift oluşum olaylarının baskın olduğu enerji seviyeleri(Ermiş,2014)

2.7. Soğurma katsayıları

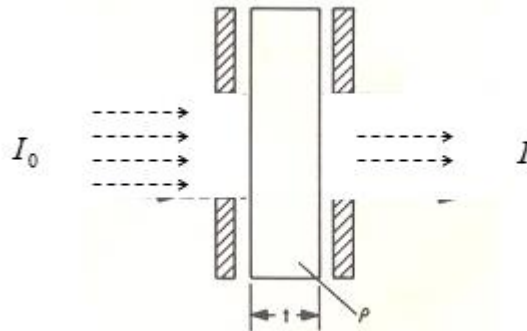
X-ışınları demeti ince bir tabakadan geçirildiğinde soğurma ve saçılma sonucunda ışının şiddeti veya gücünde azalma meydana gelir. Bir elementin soğurma spektrumu basittir ve elementin karakteristiği olan belli dalga boylarında piklerden oluşmuştur. dt kalınlığındaki bir madde üzerine gelen demetin şiddeti maddeyi geçtikten sonra azalacaktır.

I_0 : gelen fotonun şiddeti

t : madde kalınlığı

I : t kalınlığından geçen fotonun şiddeti

μ : lineer soğurma katsayısı



Şekil 2.5. X ışınlarının soğurulması

Bu azalma gelen şiddet ve kalınlıkla doğru orantılı olacaktır. Buradaki orantı katsayısına μ (azaltma katsayısı) dersek;

$$-dI_0 = \mu I_0 dt \quad (2.4)$$

yazılabilir. Buradan

$$\int_{I_0}^I \frac{dI_0}{I_0} = - \int_0^t \mu dt \quad (2.5)$$

$$I = I_0 e^{-\mu t} \quad (2.6)$$

bulunur.

Bu ifade "Lambert Kanunu", "Beer Kanunu" veya "Beer-Lambert Kanunu olarak bilinir. Numune bir tek saf elementten meydana gelmiyorsa, numuneyi meydana getiren elementlerin toplam soğurma katsayılarının ağırlıklı ortalaması

$$\mu = \sum_m C_m \mu_m \quad (2.7)$$

ifadesinden bulunabilir; ki burada C_m numune içinde m. elementin ağırlık kesri (ağırlık konsantrasyonu), μ_m ise m. elementin soğurma katsayısıdır.

Yukarıdaki ifadede yer alan soğurma (veya azaltma) katsayısı dört şekilde tanımlanmaktadır:

1. Lineer soğurma katsayısı: Birim alanda birim kalınlık başına soğurmayı verir.

Yani birim yüzeye gelen enerjinin birim kalınlıkta azalmasıdır:

$$\mu = \frac{\ln(I/I_0)}{t} \text{ (cm}^{-1}\text{)} \quad (2.8)$$

2. Kütle soğurma katsayısı: Birim alanda birim kütle başına düşen soğurmayı verir:

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} \text{ (cm}^2\text{/g)} \quad (2.9)$$

3. Atomik soğurma katsayısı: Birim alanda atom başına düşen soğurmayı verir:

$$\mu_a = \frac{\mu A}{\rho N} = \frac{\mu}{n} \text{ (cm}^2/\text{atom)} \quad (2.10)$$

4. Molar soğurma katsayısı: Birim alanda mol başına düşen soğurmayı verir:

$$\mu_{mol} = \frac{\mu}{\rho} A \text{ (cm}^2/\text{mol)} \quad (2.11)$$

Burada A atomik kütle ve N Avagadro sayısıdır.

Bu dört katsayıdan en çok kullanılanı kütle soğurma katsayısıdır. Elementin atomik bir özelliğidir ve sadece dalga boyu ve atom numarasının bir fonksiyonu olup farklı maddelerin kütle soğurma katsayısı değerleri direkt olarak karşılaştırılabilir ve çözelti, bileşik ya da karışım için bu değerler bileşenlerin değerlerinden kolayca bulunabilir. Kütle soğurma katsayısı (μ/ρ) bileşikler, çözeltiler ve karışımlar için muhtevaya ait değerlerden hesap edilebilirler. Bu durumda μ/ρ , bileşiği teşkil eden elemanların soğurma katsayılarının ağırlıklı ortalamalarıdır. Cismin ağırlık kesirleri W_1, W_2, \dots ve bunlara karşılık $\mu_1/\rho_1, \mu_2/\rho_2, \dots$ hesap edilirse, toplam kütle soğurma katsayısı,

$$\frac{\mu}{\rho} = W_1(\mu_1/\rho_1) + W_2(\mu_2/\rho_2) + \dots \quad (2.12)$$

şeklinde bulunabilir (Akman,2013).

2.8. X-ışını soğurma olayı

X ışını fotonları madde içerisine girdiğinde, madde atomunun bağlı elektronları, serbest elektronları ve çekirdeği ile etkileşime girebilir. Soğrulma olayı birçok olaylar sonucu gözlenmekle birlikte bu olayların en baskın olanları fotoelektrik olay, saçılma (compton, koherent) olayı ve çift oluşum olayıdır. Bu olayların meydana gelme ihtimaliyeti fotonun enerjisiyle değişmektedir. Bu üç olay sonucunda aşağıda verilen denklemlerden toplam soğurma katsayısı değeri elde edilir.

$$\mu = \tau + \sigma + \pi \quad (2.13)$$

$$\mu/\rho = (\tau/\rho) + (\sigma/\rho) + (\pi/\rho) \quad (2.14)$$

burada, τ ve τ/ρ fotoelektrik soğurma katsayıları, σ ve σ/ρ saçılma katsayıları, π ve π/ρ çift oluşum katsayılarıdır.

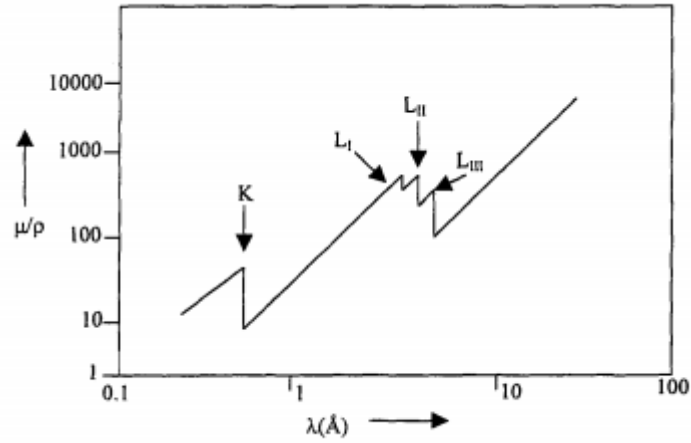
Fotoelektrik soğurmada, foton tamamen soğurulur, gelen foton enerjileri yörünge elektronlarını sökmek için kullanılır ve X-ışını spektral çizgilerinin yayımlanması sonucu oluşan fotoelektronlara kinetik enerji olarak verilir. Saçılma sürecinde, foton tamamen soğurulmaz, fakat izlediği yoldan numune içinden geçerken sapmaya uğrar. Saçılma olayı, çok kısa dalgalı boylarında düşük atom numaralı elementlerde fotoelektrik olaydan daha baskındır. Çift oluşum sürecinde, fotonlar atom çekirdeğine çok yakın geçerken, enerjilerini çekirdeğe iki yüklü parçacık olan elektron ve pozitron oluşturması için verir.



2.9. Soğurma kıyası

Bir atomda verilen seviyeden elektron sökebilmek için gerekli maksimum dalga boyu o elementin o seviyedeki soğurma kıyası denir. Her element için uyarma potansiyeli sayısınca soğurma kıyası vardır. Soğurma kıyası, çekirdeğe yaklaştıkça azalır (Şahin,2013).

Herhangi bir element veya bileşiğin kütle soğurma katsayısı, soğrulan X ışınlarının dalga boyu veya enerjisiyle değişir. Şekil 2.6' da görüldüğü gibi elementin X ışını soğurma katsayısı, genellikle dalga boyu azaldıkça azalır. Bu eğride düzgün süreksizlik vardır yani sürekliliğin bozulduğu kırılma aralıkları soğurma kıyası olarak bilinir.



Şekil 2.6. Kütle soğurma katsayısının dalga boyuna göre değişimi (Williams 1987)

2.10. μ/ρ , λ ve Z arasındaki ilişki

Kütle soğurma katsayısı μ/ρ , her madde için farklı değerler alır bu yüzden maddeler için ayırt edici bir katsayıdır. Aynı maddenin her bir dalgaboyunda da farklı değerlere sahiptir. Belli bir element için dalgaboyu ve soğurma arasındaki ilişkiyi en iyi şekilde, dalgaboyunun kütle soğurma katsayısına karşı bir log-log grafiği çiziminden elde edilir. Verilen bir dalgaboyunda, durdurma enerjisi çok büyük olduğundan ağır elementlerde kütle soğurma katsayısı artan Z ile artar. Verilen bir element için, dalgaboyu arttıkça X-ışınları daha az nüfuz edeceği için kütle soğurma katsayısı artan dalgaboyuyla artar.

Toplam soğurmanın bileşenleri fotoelektrik soğurma, saçılma ve çift oluşumdur. X-ışını dalgaboyu bölgesinde çift oluşum meydana gelmez ve fotoelektrik soğurma saçılmaya göre daha baskındır. Bu yüzden, kütle soğurma katsayısının büyük bir kısmını fotoelektrik soğurma belirler. Fotoelektrik soğurma katsayısı her bir tabakadan elektron sökülmesiyle foton soğurmasının belirtildiği katsayıların toplamıdır;

$$(\tau/\rho)_\lambda = \sum (\tau/\rho)_{\lambda,i} = (\tau/\rho)_{\lambda,K} + (\tau/\rho)_{\lambda,L1} + (\tau/\rho)_{\lambda,L2} + (\tau/\rho)_{\lambda,L3} + \dots \quad (2.15)$$

yazılır. $(\tau/\rho)_\lambda$ λ dalgaboyunda fotoelektrik kütle soğurma katsayısı ve $(\tau/\rho)_{\lambda,i}$ λ dalgaboyunda i . tabaka elektronları için fotoelektrik kütle soğurma katsayısıdır.

Dalgaboyu arttıkça her bir tabakanın soğurma kıyası sırasıyla aşılr ve bu terim eşitlikten çıkarılır, τ/ρ' daki ani düşüşlerin oluşmasının sebebi budur. Soğurma kıyasları arasında,

$$\tau/\rho = K' \left(\frac{N}{A} \right) Z^4 \lambda^3 \quad (2.16)$$

ilişkisi vardır. Burada K' her soğurma kıyasında değişen bir sabit, N Avogadro sayısı, A atomik ağırlık ve N/A gram başına düşen atom sayısıdır. Verilen herhangi bir madde için, N/A sabittir ve K' ile birleştirilirse Bragg-Pierce Kanunu elde edilir;

$$\mu/\rho = KZ^4 \lambda^3 \quad (2.17)$$

şeklinde yazılır, K hala her soğurma kıyasında değişen bir sabittir (Akman,2013).

2.11. Toplam kütle soğurma katsayısı

Toplam kütle soğurma katsayısı, bir maddenin belli bir dalga boyunda veya enerjisinde ayırt edici bir özelliğidir, yani her madde için farklıdır ve aynı maddenin her bir dalga boyunda veya enerjisinde de farklı değerlere sahiptir. Toplam kütle soğurma katsayısı belli bir enerjide numunenin varlığında ve yokluğundaki radyasyon şiddetindeki sayımlar ile belirlenebilir. Deneysel toplam kütle soğurma katsayısı aşığıdaki eşitlik ile belirlenebilir;

$$I = I_0 \exp[-(\mu/\rho)t\rho] \quad (2.18)$$

bu ifadeyi μ/ρ için yeniden düzenlersek;

$$\mu/\rho = -\frac{1}{t\rho} \ln(I/I_0) \quad (2.19)$$

elde edilir. Eşitlikte bulunan I_0 ve I terimleri soğurucusuz ve soğuruculu ölçülen radyasyon şiddet miktarlarını, $t\rho$ birim alan başına düşen madde miktarını ve μ/ρ toplam kütle soğurma katsayısını belirtir. Bir maddeyi oluşturan her bir elementten gelen soğurma katsayılarının toplamıyla maddeye ait toplam kütle soğurma katsayısı tayin edilebilir. Bu kurala karışım kuralı denir ve bir madde birden fazla elemente sahipse, o maddenin toplam kütle soğurma katsayısı karışım kuralıyla belirlenir ve aşığıdaki eşitlik ile ifade edilir;

$$(\mu/\rho)_{bil.} = \sum_i W_i (\mu/\rho)_i \quad (2.20)$$

burada, W_i i. elementin ağırlıklı oranı ve $(\mu/\rho)_i$ ise madde içindeki i. elementin toplam kütle soğurma katsayısıdır (Akman 2013).

2.12. Moleküler tesir kesiti

Toplam kütle soğurma katsayısı sonuçları yardımıyla bir maddeye ait moleküler tesir kesitleri aşağıdaki ifade yardımıyla belirlenebilir;

$$\sigma_{t,m} = \frac{1}{N} (\mu/\rho)_{bil} \sum_i (n_i A_i) \quad (2.21)$$

eşitlikteki A_i i. elementin atomik ağırlığını, n_i maddedeki elementlerin sayısını, $(\mu/\rho)_{bil}$ maddenin toplam kütle soğurma katsayısını ve N ise Avogadro sayısını ifade eder.

2.13. Atomik tesir kesiti

Moleküler tesir kesitleri bir maddenin atomik tesir kesitlerinin belirlenmesinde kullanılabilir ve aralarındaki basit ifade aşağıdaki gibidir;

$$\sigma_{t,a} = \frac{\sigma_{t,m}}{\sum_i n_i} \quad (2.22)$$

burada $\sigma_{t,a}$ atomik tesir kesitini, $\sigma_{t,m}$ moleküler tesir kesitini ve n_i ise maddedeki toplam element sayısını belirtir.

2.14. Elektronik tesir kesiti

Toplam elektronik tesir kesiti, madde içindeki her bir elemente ait elektronik tesir kesitlerinin belirlenmesinden sonra bunların toplamından hesaplanabilir. Bir element için elektronik tesir kesiti ifadesi aşağıdaki gibidir;

$$\sigma_{t,e} = \frac{1}{N} \sum_i \frac{f_i A_i}{Z_i} (\mu/\rho)_i \quad (2.23)$$

burada N Avogadro sayısı, f_i i. elementin madde içindeki bolluğu, A_i i. elementin atomik ağırlığı, Z_i i. elementin atom numarası ve $(\mu/\rho)_i$ i. elementin toplam kütle soğurma katsayısıdır.

2.15. Etkin atom numarası

Karmaşık yapıda olan alaşım, toprak, biyolojik materyaller gibi maddelerde foton etkileşimi için atom numarası, elementlerde olduğu gibi tek bir sayı ile belirtilemez. Atom numarası yerini enerjiye bağlı olarak değişen etkin atom numarasına bırakır. Etkin atom numarası çalışmaları molekülün radyasyonla etkileşimi hakkında kesin bilgiler verir. Etkin atom numarası, karmaşık X-ışını ve gama ışını soğurulmasının yorumlanmasında ve medikal radyasyon dozimetlerinde yararlı bir parametredir. Bir maddenin birçok karakteristiğinin sayılar ile ifade edilmesi etkin atom numarası parametresiyle gerçekleşir. Karmaşık yapılu maddelerin etkin atom numarası, nükleer endüstri, uzay araştırma programları, mühendislik ve bilimsel uygulamaların birçok alanında kullanılan yararlı bir parametredir.

Etkin atom numarası bir maddenin atomik ve elektronik tesir kesitleri yardımıyla elde edilebilir;

$$Z_{\text{eff}} = \frac{\sigma_{t,a}}{\sigma_{t,e}} \quad (2.24)$$

yani, etkin atom numarası bu iki tesir kesitinin oranıdır.

2.16. Etkin elektron yoğunluğu

Etkin atom numarasına benzer şekilde etkin elektron yoğunluğu da bir maddenin karakteristik özelliğidir. Etkin elektron yoğunluğu birim madde miktarına düşen elektron olarak belirtilir ve aşağıdaki ifade yardımıyla elde edilebilir;

$$N_E = \frac{Z_{\text{eff}}}{A_{\text{top.}}} (N n_{\text{top.}}) \quad (2.25)$$

burada, $A_{\text{top.}}$ madde için atomik ağırlıkların toplam sayısı, Z_{eff} etkin atom numarası, N Avogadro sayısı ve $n_{\text{top.}}$ maddedeki toplam atom sayısıdır (Akman,2013).

2.17. Ortalama serbest yol

Bir ortamdaki atom, elektron ve benzeri bir parçacığın veya fotonun herhangi bir etkileşmeye uğramadan gittiği yol (soğrulmaya veya saçılmaya uğramadan önce alabileceği ortalama mesafe) ortalama serbest yol (MFP) dur. Bir maddenin koruyucu özelliğini belirtir. İyi bir koyucu özelliği ortalama serbest yolu düşük olan malzemelerde vardır.

$$\text{MFP} = \frac{1}{\mu} \quad (2.26)$$

Burada μ lineer soğurma katsayısıdır.

2.18. Yarı kalınlık değeri

Yarı kalınlık değeri radyasyon şiddetinin yarı yarıya azaltmak için gereken kalınlıktır (HVL).

$$\text{HVL} = \frac{0.693}{\mu} \quad (2.27)$$

2.19. Onda bir kalınlık değeri

Onda bir kalınlık değeri radyasyon şiddetinin onda bir azaltmak için gereken kalınlıktır (TVL) (Akman, 2018).

$$\text{TVL} = \frac{2.303}{\mu} \quad (2.28)$$

BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Enerji ayrımlı EDXRF spektrometresi

X ışını floresans spektroskopisi (XRF). Atom numarası $Z>4$ büyük elementlerin kalitatif ve kantitatif miktarını milyonda bir hassasiyetle belirlemede kullanılan tahripsiz analitik metotlardan biridir. XRF methodunun en önemli avantajları, geniş dinamik aralık, yüksek hassasiyet ve numune hazırlamak için çok az miktarda örnek gerektirmesidir (Lemberge, 2000).

Oda sıcaklıklarında radyasyonun tespiti için sayısız malzeme mevcuttur. Bu sıcaklıklarda dedektörün zayıf akımından ileri gelen gürültü seviyesi yüzünden, kullanılan malzeme geniş aralığa sahip olmalıdır. Ayrıca bu malzemelerin yük transfer özellikleri de yüksek olmalıdır. Günümüzde EDXRF cihazlarını temel alan birçok laboratuvarlarda katihal dedektör tipi olarak Si(Li) veya yüksek saflıkta HpGe dedektörleri tercih edilmektedir.

EDXRF spektrometreleri;

X ışını kaynağı (x ışını tüpü veya radyoaktif kaynak)

Katihal dedektörü (Si(Li), HpGe, Ge(Li), vb.,)

Destekleyici elektronik kısım (PV,Amplifer, PC vb.,)

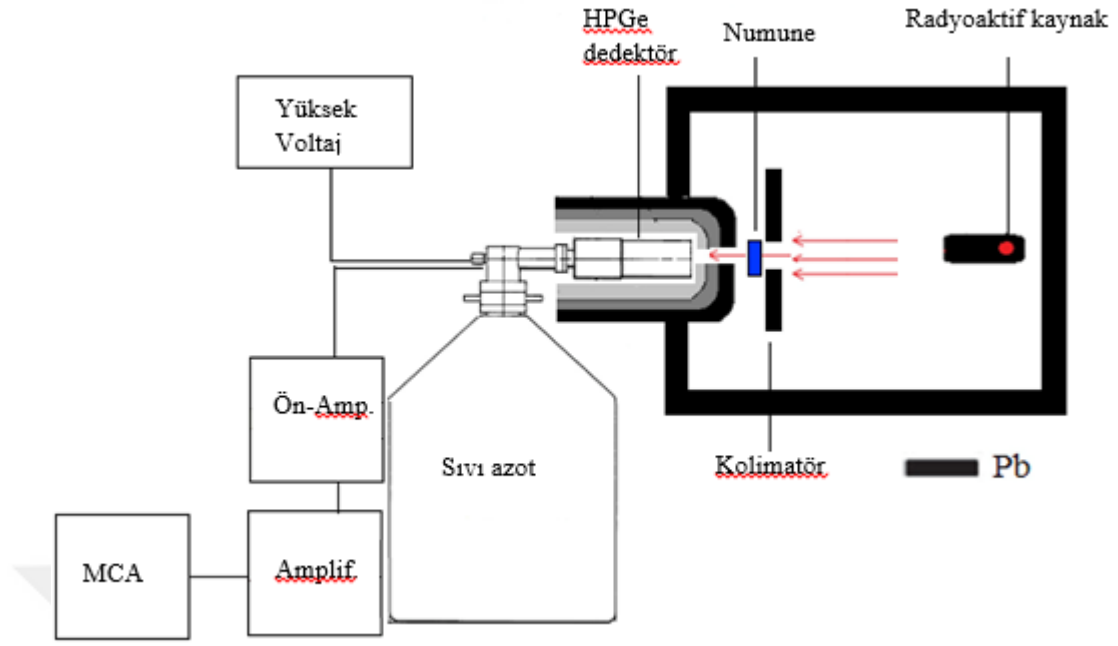
Olmak üzere temel üç kısımdan meydana gelmektedir.

Radyoaktivitenin algılanması için kullanılan tüm yöntemlerin temelinde yüklü parçacıkların ya da elektromanyetik ışınların malzemeyle etkileşmesi esası vardır. Yarı iletken dedektörler, gama ışınları ölçümünde kullanılan en yaygın dedektörlerdendir. Yarı iletken dedektörlerden de yüksek saflıklı germanyum dedektörler, yüksek enerji çözünürlüğü, yüksek verim gibi özelliklerinden dolayı en çok tercih edilen dedektörlerdir.

3.2. HpGe dedektörü

Normal germanyum kristallerinde safsızlık oranı 10^{13} atom/cm³ iken 1986 yılında yüksek saflıktaki germanyum kristallerinde bu oran 10^{10} atom/cm³ değerine ulaşmıştır. Böylece Li katkısı ile daha az saflıkta elde edilen Ge(Li) yarı iletken dedektörlerinde, Li katkısı yapılmadan daha yüksek saflıkta germanyum kristalleri oluşturulmuştur. Bu durumda yüksek saflıkta germanyum kristallerinden yapılan yarı iletken dedektörlerin tüketim bölgesindeki daha büyük artışlar elde edilmiştir. Ayrıca Li katkısının kalkmasıyla da bu yarı iletken dedektörleri sürekli soğutmaya gerek kalmamaktadır, sadece kullanıldıkları süre içerisinde soğuk tutulmaları yeterlidir (Baykal, 2007).

HpGe dedektör diyotları arasına uygulanan ters gerilimle çalışır. Radyasyon, dedektörün hassas hacminde soğurulduğundan soğurulan foton enerjisine orantılı olarak elektrik sinyaline çevrilir. Üretilen bu elektrik sinyali detektöre yakın olan ön yükselticiye gelir. Oradan da ana yükselticiye ve çok kanallı analizöre ulaşır. Buraya gelen sinyal elektronik gürültü, yük taşıyıcılarında istatistiksel dalgalanma ve tamamlanmamış yük toplanmasından dolayı genişletilmiş çizgi spektrumunu oluşturur. Temel sayma (background) radyasyonu spektrumun altında kalır. HpGe dedektör sistemi şekil 3.1' de verilmiştir.



Şekil 3.1. HpGe dedektör sistemi

3.2.1. Yüksek voltaj kaynağı

Dedektörde meydana gelen yükleri toplamak için dedektör üzerine voltaj uygulamak gerekir. Bunun değeri üretici firma tarafından belirlenir ve HpGe dedektörümüzün en iyi çalışma voltajı 2600 V tur.

3.2.2. Ön yükseltici

Detektörden gelen yük pulsunu voltaj pulsuna dönüştürür. Ön yükselticiden çıkan pulsların yükseklikleri veya genlikleri toplanan yük değeri ile orantılı olmalıdır.

3.2.3. Yükseltici

Yükseltici (amplifier) ön yükselticiden çıkan darbenin yüksekliğini 10 volta kadar yükseltir. Yükselticinin kazancı (gain) ile çıkış sinyalinin genliğinin arasında lineer bir ilişki vardır. Spektroskopik yükselticinin kullanım amacı, ilgilenilen enerji bölgesindeki sinyalleri güçlendirip analog sayısal dönüştürücünün (ADC) kabul ettiği

0 ile 10 volt arasındaki bölgeye taşımaktır. Yükselticinin lineer olması radyasyon enerjisi ile puls yüksekliğinin orantılı olmasını sağlar.

3.2.4. Analog sayısal dönüştürücü

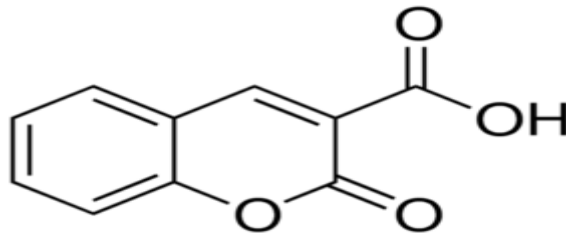
ADC'nin amacı yükselticiden gelen analog pulsunu, onun genliği ile dolayısıyla X-ışını fotonunun enerjisiyle orantılı bir tam sayıya çevirmektir.

3.2.5. Çok kanallı analizör

ADC' den çıkan dijital sinyaller çok kanallı analizör (MCA) tarafından alınırlar. Çok kanallı analizörün ana işlevi, detektörden çıkan darbeleri, yüksekliklerine göre, her darbe için bir sayım olmak üzere, hafızaya kaydedip (kanal), belirli bir süre içinde her bir enerji değerine karşılık gelen toplam sayım miktarını oluşturmaktır (spektrum). Yatay eksen kanal sayısını (enerji) gösterir.

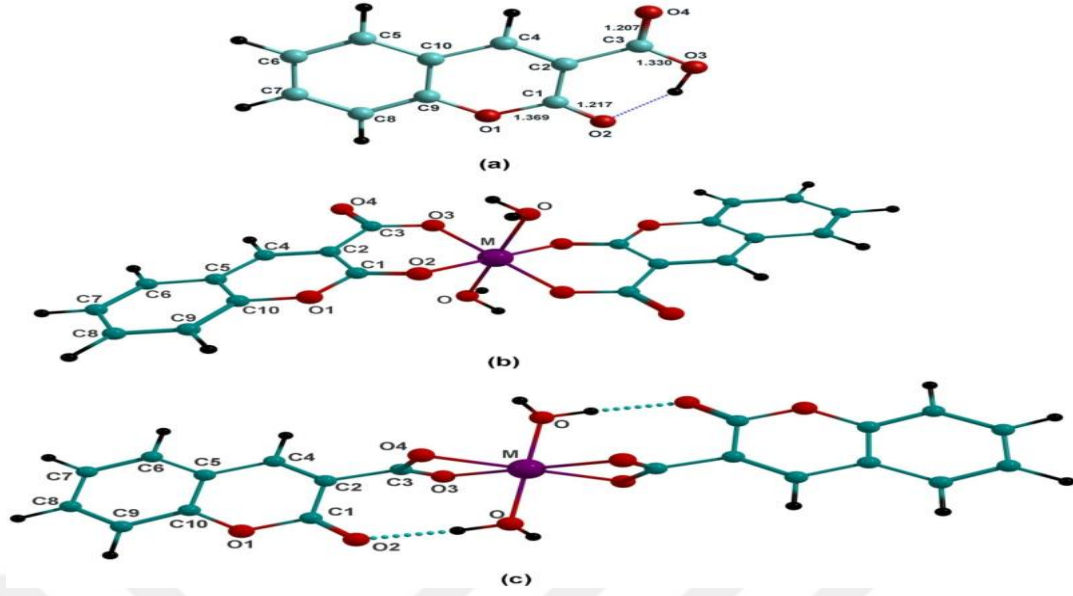
3.3. Numunelerin hazırlanması

Bu tezde Coumarin -3- karboksilik asidinin Fe, Ni, Zn, Co, Cu metalleri ile kompleksleri oluşturulmuştur. Coumarin-3- karboksilik asitin molekül yapısı şekil 3.2' de verilmiştir.



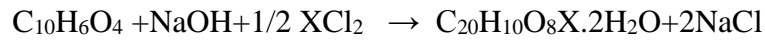
Şekil 3.2. Coumarin-3-karboksilik asit

Karboksilik asit maddemize nötrale işlemleri uygulanarak H (hidrojen)atomunu kopararak metal tutunması sağlanmıştır. Oluşan komplekslerin koordinasyonları şekil 3.3'de verilmiştir.



Şekil 3.3. (a) nötr ligand HCCA, (b) trans-M (CCA1) 2 (H2O) 2 ve (c) trans-M (CCA2) 2 (H2O) 2, [M = Zn (II), Co (II), Ni (II), Cu (II) ve Fe (II)] Coumarin-3- karboksilik asit kompleksi (Creaven,2011)

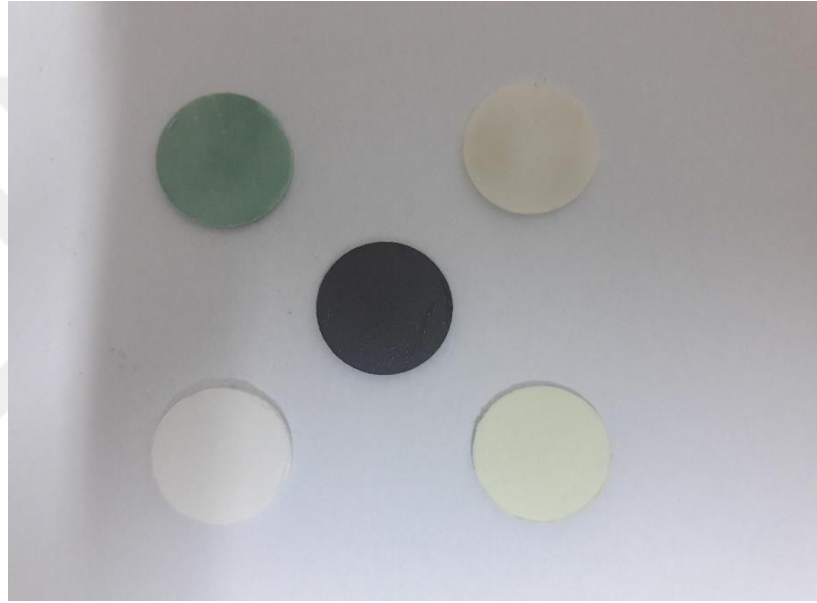
$C_{10}H_6O_4 \cdot 6H_2O$ asidini etanol+saf su ile çözdükten sonra 1 mol NaOH eklenip nötralize işlemi uygulanıp hidrojen bağı koparılması sağlanır. Koparılan H nin yerine metal eklenmesi için yarım mol $NiCl_2$, $FeCl_2$, $CoCl_2$, $CuCl_2$, $ZnCl_2$ sudaki çözeltisine eklenip 60 °C de 6 saat karıştırıldı ve oda sıcaklığına kadar soğutuldu ve çökeltme meydana geldi. Süzme kağıdından süzdükten sonra kurumaya bırakıldı. Oluşan maddemizin kimyasal reaksiyon eşitliği aşağıdaki gibidir (X: Ni, Fe, Co, Cu, Zn).



Tablo 3.1. Tezde kullanılan numuneler

Kimyasal Formülü	Şekli	Kimyasal Formülü	Şekli
Ni	Toz	$C_{20}H_{10}O_8 Ni \cdot 2H_2O$	Toz
Fe	Toz	$C_{20}H_{10}O_8 Fe \cdot 2H_2O$	Toz
Co	Toz	$C_{20}H_{10}O_8 Co \cdot 2H_2O$	Toz
Cu	Toz	$C_{20}H_{10}O_8 Cu \cdot 2H_2O$	Toz
Zn	Toz	$C_{20}H_{10}O_8 Zn \cdot 2H_2O$	Toz

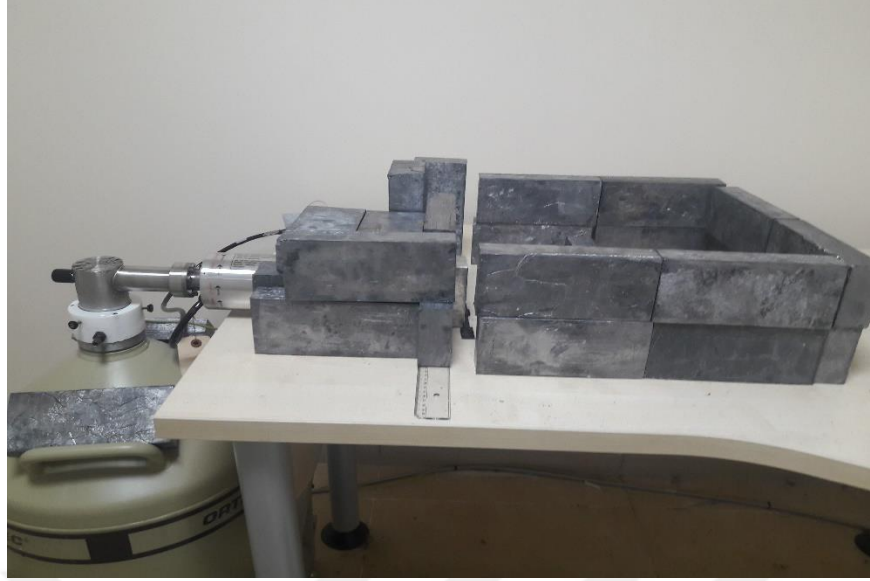
Tablo 3.1’ de verilen toz numuneler önce akik el havanı kullanılarak öğütülmüş ve 400 mesh’lik eleklerle elenmiştir. Böylece parçacık büyüklüğü ve soğurma etkileri en aza indirgenmiştir. Bu karışımlar 13 mm çaplı pelletler haline getirilmek için 7-10 ton basınç altında preslenmiştir. Tabletlerin kütleleri 10-5 gram hassasiyete sahip bir terazi ile tartılmıştır. Numunelerin aynı büyüklükte hazırlanmasına, temizliklerine ve muhafazalarına özen gösterilmiştir. Numunelerin ağırlığını ve yarıçapını kullanarak birim alana düşen kütle miktarı bulunacaktır. Tezimizde kullanılan numunelerimiz şekil 3.4’ te verilmiştir.



Şekil 3.4. Deneyde kullanılan numuneler

3.4. Deney geometrisi

Deneylerde, aktif alanı 70mmx25mm olan, 5.9 keV’de 380 eV, 122 keV’de 585 eV ve 1.33 MeV’de 1.8 keV çözünürlüğü sahip HPGe dedektörü (ortec markası, GEM-SP7025P4-B modeli) kullanılmıştır. Her kaynağın spektrumu (soğuruculu ve soğurucusuz) 1000 sn olarak kaydedilmiştir. Numunelerimiz 13mm çapında olup şekil 3.5’ deki deney geometrisine yerleştirilip ölçümler alınmıştır.



Şekil 3.5. Deney geometrisi

Deneyde 81, 161, 276, 303, 356, ve 384 keV ^{133}Ba , 122 ve 136 keV ^{57}Co , 151, 1275 keV, ^{22}Na , 835 keV ^{54}Mn , 662 keV ^{137}Cs , 1173 ve 1333 keV, ^{60}Co foton enerjilerinde kalibrasyon işlemi yapılmıştır. Kaynakların ilgili enerjiler için yayınlanma ihtimaliyeti tablo 3.2’ de verilmiştir. Kaynaktan çıkan ışınların kolime edilmesi için kurşun bir kolimatör içine konulmuştur.

Tablo 3.2. Kaynakların enerjilerde yayınlanma ihtimaliyeti

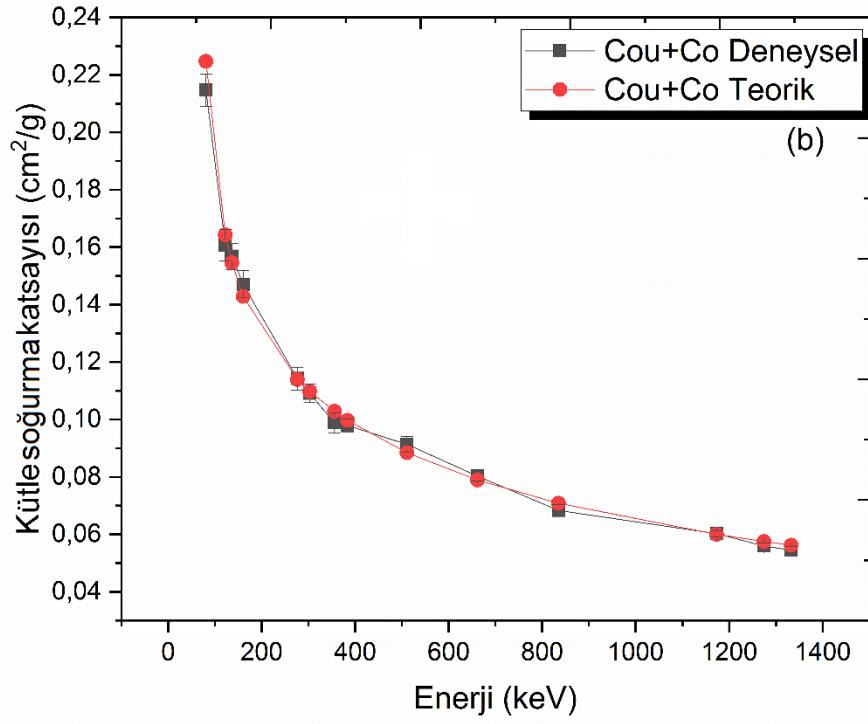
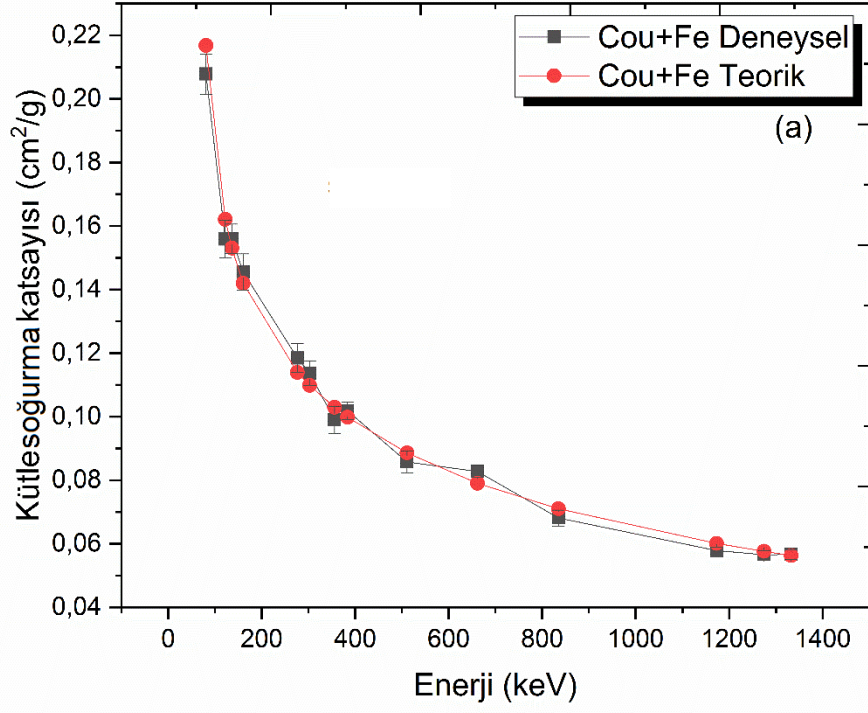
Kaynak	Aktiflik (kBq)	Yarı ömür (y)	Enerji (keV) - Şiddet(%)
^{22}Na	456	2.60	511.003 (179.80%)
			1274.530 (99.94%)
^{54}Mn	378	0.86	834.848 (99.98%)
			^{57}Co
^{57}Co	413	0.74	122.061 (85.60%)
			136.474 (10.68%)
^{60}Co	424	5.27	1173.237 (99.97%)
			1332.501 (99.99%)
^{133}Ba	460	10.51	80.997 (34.06%)
			160.613 (0.65%)
			276.398 (7.16%)
			302.853 (8.33%)
			356.017 (62.05%)
^{137}Cs	473	30.07	383.851 (8.94%)
			661.657 (85.10%)

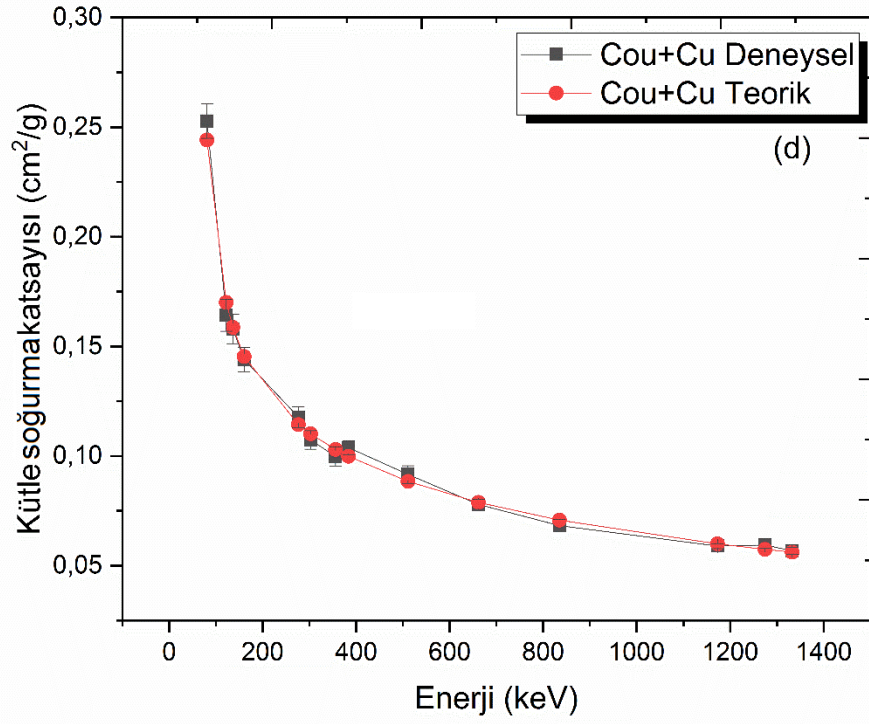
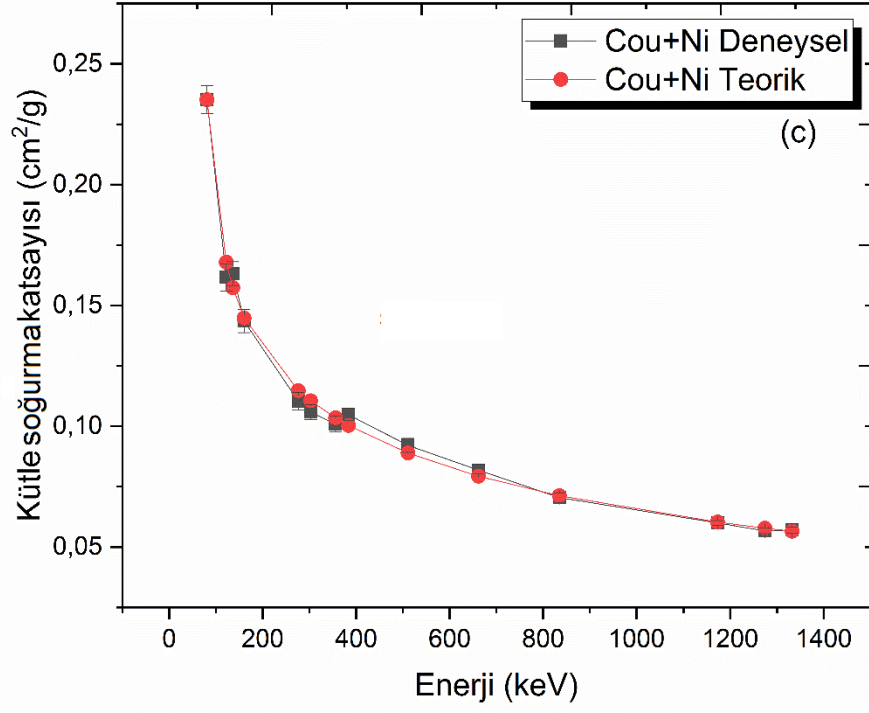
BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

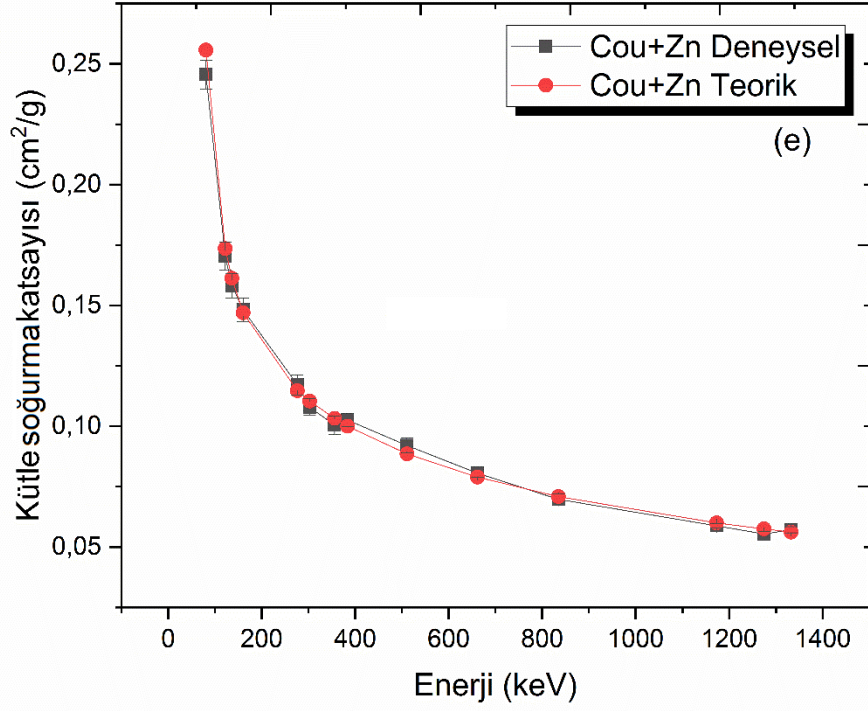
Tezimizde bulunan $C_{20}H_{10}O_8 \cdot Zn \cdot 2H_2O$, $C_{20}H_{10}O_8 \cdot Cu \cdot 2H_2O$, $C_{20}H_{10}O_8 \cdot Co \cdot 2H_2O$, $C_{20}H_{10}O_8 \cdot Ni \cdot 2H_2O$, $C_{20}H_{10}O_8 \cdot Fe \cdot 2H_2O$ kompleks yapılarımızın 80 keV-1333 keV enerji aralığında kütle soğurma katsayısı, lineer soğurma katsayısı, moleküler tesir kesiti, atomik tesir kesiti, elektronik tesir kesiti, etkin atom numarası, etkin elektron yoğunluğu, ortalama serbest yol, yarı kalınlık değeri ve onda bir kalınlık değeri deneysel ve teorik olarak hesaplanmıştır. Deney düzeneğinde I_0 şiddetini bulmak için numune yokken sayım yapılarak spektrum elde edilmiştir. Daha sonra I şiddetini bulmak için numune yerleştirildikten sonra ölçümler alınıp spektrumlar elde edilmiştir. Alınan ölçümler sayesinde Lambert yasası kullanılarak deneysel ölçümler ve WinXCOM programı ile de teorik değerler elde edilmiştir.

4.1. Kütle soğurma katsayısının deneysel olarak hesaplanması

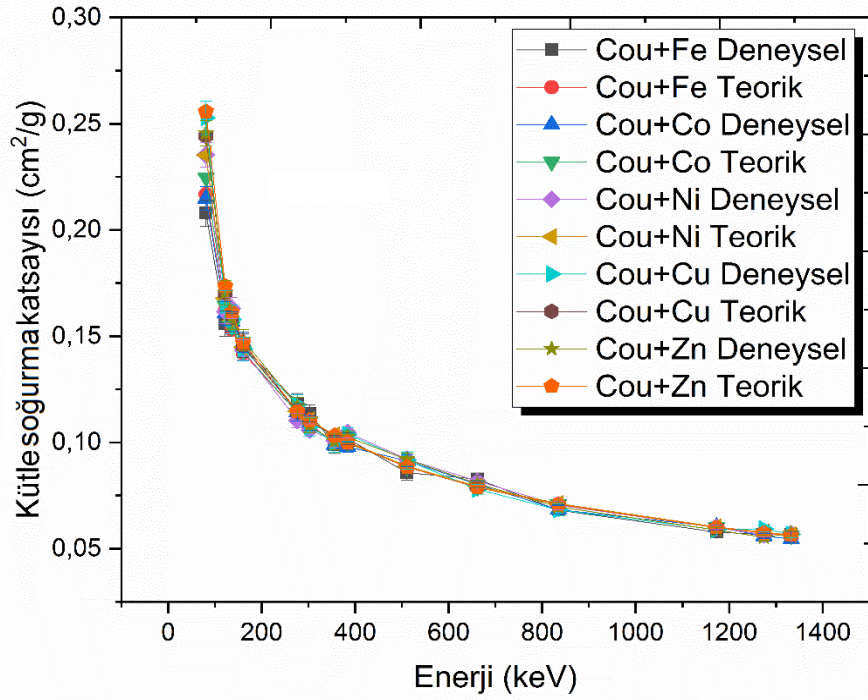
Kütle soğurma katsayısı deneysel değerlerini Lambert yasasından türetilen (2.19) denkleminde yararlanarak hesaplanmıştır. Teorik değerleri ise WinXCOM programından elde edilmiştir. Numunelerimizin 81keV-1333 keV enerji değerlerine karşılık kütle soğurma katsayısı değişim grafikleri deneysel ve teorik olarak şekil 4.1 ve şekil 4.2' de verilmiştir. Numunelerimizin hesaplanan deneysel ve teorik değerleri Tablo 4.1' de verilmiştir. Tablodaki verilere göre artan enerji değerlerine karşı kütle soğurma katsayıları bütün kompleks yapılarımızda azalma görülmüştür. Enerjinin düşük olduğu yerlerde değerleri yüksek, yüksek olduğu yerlerde değerleri düşük olarak görülmüştür. Düşük enerji aralıklarında azalmaya sebep olan etkiler çoğunlukla fotoelektrik etki, Compton saçılmasından dolayı daha fazladır.







Şekil 4.1. Coumarin-3- karboksilik asit'in a) Fe b) Co c) Ni d) Cu e) Zn metal komplekslerinin enerjiye bağlı kütle soğurma katsayısı değişimi



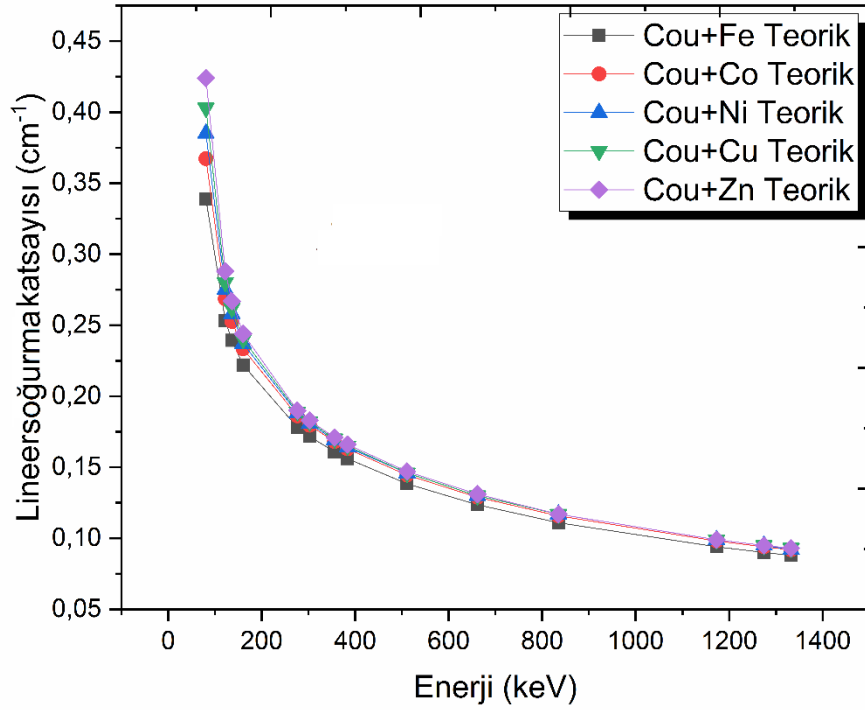
Şekil 4.2. Enerjiye bağlı deneysel ve teorik kütle soğurma katsayıları

Tablo 4.1. Kütle soğurma katsayısı (μ/ρ) deneysel ve teorik sonuçları

Enerji (keV)	Kütle soğurma katsayısı (μ/ρ) (cm^2/g)									
	$\text{C}_{20}\text{H}_{10}\text{O}_8 \text{ Zn.2H}_2\text{O}$		$\text{C}_{20}\text{H}_{10}\text{O}_8 \text{ Cu.2H}_2\text{O}$		$\text{C}_{20}\text{H}_{10}\text{O}_8 \text{ Co.2H}_2\text{O}$		$\text{C}_{20}\text{H}_{10}\text{O}_8 \text{ Ni.2H}_2\text{O}$		$\text{C}_{20}\text{H}_{10}\text{O}_8 \text{ Fe.2H}_2\text{O}$	
	Deneysel	WinXCOM	Deneysel	WinXCOM	Deneysel	WinXCOM	Deneysel	WinXCOM	Deneysel	WinXCOM
80,997	0,2456±0,0060	0,2557	0,2528±0,0078	0,2442	0,2148±0,0056	0,2247	0,2353±0,0057	0,2352	0,2079±0,0063	0,2168
122,061	0,1703±0,0058	0,1736	0,1643±0,0073	0,1701	0,1607±0,0055	0,1643	0,1616±0,0055	0,1679	0,1559±0,0059	0,1621
136,474	0,1582±0,0051	0,1613	0,1579±0,0066	0,1587	0,1568±0,0045	0,1546	0,1632±0,0049	0,1573	0,1559±0,0046	0,1531
160,613	0,1482±0,0050	0,1470	0,1440±0,0056	0,1453	0,1471±0,0048	0,1428	0,1435±0,0048	0,1448	0,1456±0,0057	0,1420
276,398	0,1171±0,0042	0,1147	0,1177±0,0049	0,1143	0,1142±0,0040	0,1139	0,1103±0,0036	0,1147	0,1184±0,0046	0,1139
302,853	0,1078±0,0034	0,1104	0,1073±0,0042	0,1101	0,1091±0,0033	0,1098	0,1058±0,0030	0,1105	0,1137±0,0038	0,1099
356,017	0,1005±0,0038	0,1032	0,0998±0,0043	0,1030	0,0988±0,0036	0,1028	0,1009±0,0033	0,1035	0,0990±0,0042	0,1030
383,851	0,1025±0,0027	0,1000	0,1038±0,0033	0,0998	0,0979±0,0024	0,0997	0,1047±0,0024	0,1003	0,1018±0,0028	0,0998
511,003	0,0920±0,0031	0,0885	0,0916±0,0040	0,0884	0,0913±0,0028	0,0884	0,0921±0,0029	0,0889	0,0857±0,0034	0,0886
661,657	0,0805±0,0017	0,0789	0,0779±0,0023	0,0788	0,0803±0,0017	0,0789	0,0818±0,0016	0,0793	0,0828±0,0019	0,0790
834,848	0,0697±0,0022	0,0708	0,0683±0,0027	0,0708	0,0683±0,0020	0,0708	0,0704±0,0020	0,0712	0,0681±0,0025	0,0710
1173,237	0,0588±0,0010	0,0600	0,0589±0,0012	0,0599	0,0602±0,0010	0,0600	0,0600±0,0010	0,0603	0,0579±0,0010	0,0601
1274,53	0,0553±0,0012	0,0574	0,0594±0,0016	0,0574	0,0559±0,0012	0,0575	0,0566±0,0011	0,0578	0,0566±0,0013	0,0576
1332,501	0,0571±0,0013	0,0561	0,0568±0,0016	0,0561	0,0546±0,0012	0,0562	0,0570±0,0012	0,0565	0,0566±0,0014	0,0563

4.2. Lineer soğurma katsayısı deneysel olarak hesaplanması

Lineer soğurma katsayısı deneysel olarak (2.8) denkleminde yararlanılarak hesaplanmıştır. Enerjiye bağlı azalma grafiği şekil 4.3’ de gösterilmiştir. Teorik değerler WinXCOM programıyla elde edilmiştir. Bu değerler tablo 4.2’ de gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre bütün kompleks yapılarımızda lineer soğurma katsayısı artan enerji ile azaldığı görülmüştür.



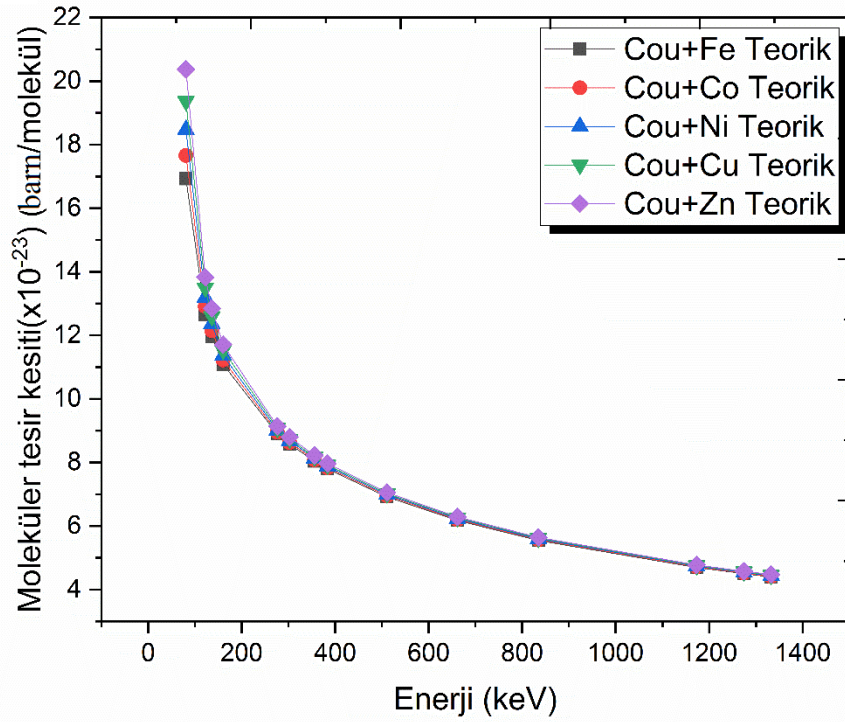
Şekil 4.3. Enerjiye bağlı lineer soğurma katsayısı değişimi

Tablo 4.2. Lineer soğurma katsayısı (μ) deneysel ve teorik sonuçları

Enerji (keV)	Lineer soğurma katsayısı (μ) (cm ⁻¹)									
	C ₂₀ H ₁₀ O ₈ Zn.2H ₂ O		C ₂₀ H ₁₀ O ₈ Cu.2H ₂ O		C ₂₀ H ₁₀ O ₈ Co.2H ₂ O		C ₂₀ H ₁₀ O ₈ Ni.2H ₂ O		C ₂₀ H ₁₀ O ₈ Fe.2H ₂ O	
	Deneysel	WinXCOM	Deneysel	WinXCOM	Deneysel	WinXCOM	Deneysel	WinXCOM	Deneysel	WinXCOM
80,997	0,407±0,010	0,424	0,417±0,013	0,403	0,351±0,009	0,367	0,385±0,009	0,385	0,325±0,010	0,339
122,061	0,282±0,010	0,288	0,271±0,012	0,280	0,263±0,009	0,269	0,265±0,009	0,275	0,244±0,009	0,253
136,474	0,262±0,008	0,267	0,261±0,011	0,262	0,256±0,007	0,253	0,267±0,008	0,258	0,244±0,007	0,239
160,613	0,246±0,008	0,244	0,238±0,009	0,240	0,240±0,008	0,233	0,235±0,008	0,237	0,227±0,009	0,222
276,398	0,194±0,007	0,190	0,194±0,008	0,189	0,187±0,007	0,186	0,181±0,006	0,188	0,185±0,007	0,178
302,853	0,179±0,006	0,183	0,177±0,007	0,182	0,178±0,005	0,179	0,173±0,005	0,181	0,178±0,006	0,172
356,017	0,167±0,006	0,171	0,165±0,007	0,170	0,162±0,006	0,168	0,165±0,005	0,169	0,155±0,007	0,161
383,851	0,170±0,004	0,166	0,171±0,005	0,165	0,160±0,004	0,163	0,171±0,004	0,164	0,159±0,004	0,156
511,003	0,152±0,005	0,147	0,151±0,007	0,146	0,149±0,005	0,145	0,151±0,005	0,146	0,134±0,005	0,138
661,657	0,134±0,003	0,131	0,129±0,004	0,130	0,131±0,003	0,129	0,134±0,003	0,130	0,129±0,003	0,124
834,848	0,116±0,004	0,117	0,113±0,004	0,117	0,112±0,003	0,116	0,115±0,003	0,117	0,106±0,004	0,111
1173,237	0,097±0,002	0,099	0,097±0,002	0,099	0,098±0,002	0,098	0,098±0,002	0,099	0,090±0,002	0,094
1274,53	0,092±0,002	0,095	0,098±0,003	0,095	0,091±0,002	0,094	0,093±0,002	0,095	0,088±0,002	0,090
1332,501	0,095±0,002	0,093	0,094±0,003	0,093	0,089±0,002	0,092	0,093±0,002	0,092	0,088±0,002	0,088

4.3. Moleküler tesir kesiti

Bir malzemenin moleküler tesir kesiti kütle soğurma katsayısı yardımıyla elde edilir. Deneysel olarak (2.21) denklemi ile hesaplanmış ve teorik değerler ise WinXCOM programı kullanılarak elde edilen sonuçlardan hesaplanmıştır. Şekil 4.4’ de maddelerimizin moleküler tesir kesitinin enerji ile değişimi gösterilmiştir. Grafikte de görüldüğü gibi artan enerji ile azalma görülmüştür. Deneysel ve teorik değerlerimiz tablo 4.3’ de gösterilmiştir.



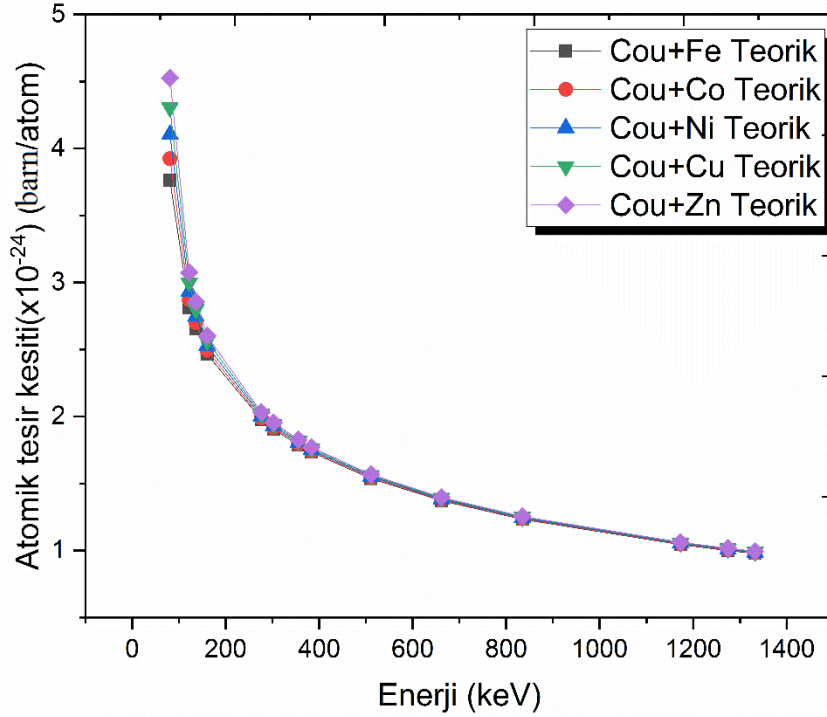
Şekil 4.4. Enerjiye bağlı moleküler tesir kesiti değişimi

Tablo 4.3. Moleküler tesir kesiti deneysel ve teorik sonuçları

Moleküler tesir kesiti $\times 10^{-23}$ (barn/molekül)										
Enerji (keV)	C ₂₀ H ₁₀ O ₈ Zn.2H ₂ O		C ₂₀ H ₁₀ O ₈ Cu.2H ₂ O		C ₂₀ H ₁₀ O ₈ Co.2H ₂ O		C ₂₀ H ₁₀ O ₈ Ni.2H ₂ O		C ₂₀ H ₁₀ O ₈ Fe.2H ₂ O	
	Deneysel	WinXCOM	Deneysel	WinXCOM	Deneysel	WinXCOM	Deneysel	WinXCOM	Deneysel	WinXCOM
80,997	19,563±0,480	20,371	20,056±0,620	19,374	16,879±0,441	17,659	18,484±0,450	18,474	16,229±0,495	16,927
122,061	13,569±0,462	13,828	13,035±0,583	13,494	12,630±0,430	12,910	12,691±0,432	13,187	12,169±0,464	12,656
136,474	12,603±0,406	12,845	12,533±0,526	12,592	12,324±0,357	12,145	12,816±0,387	12,358	12,175±0,362	11,950
160,613	11,802±0,396	11,707	11,428±0,443	11,533	11,558±0,376	11,223	11,271±0,374	11,372	11,364±0,442	11,087
276,398	9,332±0,333	9,138	9,342±0,387	9,073	8,978±0,315	8,951	8,667±0,279	9,011	9,247±0,358	8,894
302,853	8,590±0,273	8,795	8,515±0,333	8,737	8,575±0,260	8,628	8,309±0,234	8,682	8,874±0,300	8,577
356,017	8,003±0,305	8,221	7,917±0,342	8,173	7,766±0,280	8,082	7,927±0,256	8,127	7,727±0,329	8,038
383,851	8,168±0,213	7,965	8,239±0,260	7,921	7,694±0,189	7,836	8,223±0,191	7,878	7,950±0,221	7,795
511,003	7,326±0,246	7,051	7,266±0,318	7,017	7,178±0,223	6,949	7,231±0,226	6,982	6,694±0,268	6,916
661,657	6,415±0,134	6,285	6,184±0,179	6,256	6,308±0,130	6,199	6,424±0,124	6,228	6,462±0,146	6,171
834,848	5,552±0,176	5,642	5,418±0,215	5,617	5,368±0,159	5,567	5,533±0,160	5,592	5,316±0,196	5,543
1173,237	4,680±0,079	4,776	4,677±0,094	4,755	4,733±0,077	4,714	4,710±0,077	4,735	4,517±0,081	4,694
1274,53	4,406±0,097	4,576	4,714±0,126	4,556	4,392±0,090	4,517	4,446±0,088	4,537	4,416±0,104	4,498
1332,501	4,549±0,100	4,473	4,511±0,124	4,454	4,288±0,097	4,415	4,473±0,091	4,435	4,419±0,113	4,396

4.4. Atomik tesir kesiti

Numunelerimizin 80 keV -1333 keV enerji aralığında atomik tesir kesiti denklem (2.22) yardımıyla deneysel olarak belirlenmiştir ve teorik değerler ise WinXCOM programı kullanılarak elde edilen sonuçlardan hesaplanmıştır. Numunelere ait deneysel ve teorik değerler tablo 4.4' de verilmiştir. Atomik tesir kesitinin enerjiye bağlı grafiği şekil 4.5' de verilmiştir. Artan enerjiyle değerinde azalma gösterdiği gözlenmektedir.



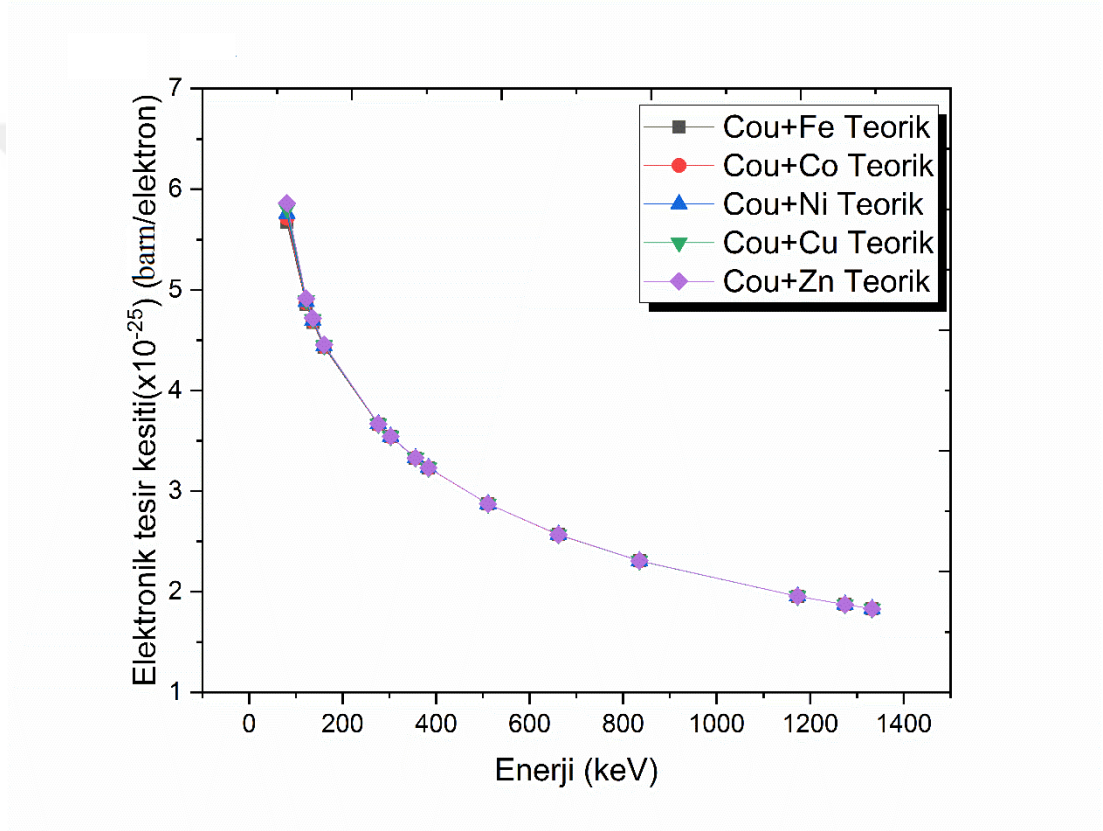
Şekil 4.5. Enerjiye bağlı atomik tesir kesiti değişimi

Tablo 4.4. Atomik tesir kesiti deneysel ve teorik sonuçları

Enerji (keV)	Atomik tesir kesiti $\times 10^{-24}$ (barn/atom)									
	$C_{20}H_{10}O_8$ Zn.2H ₂ O		$C_{20}H_{10}O_8$ Cu.2H ₂ O		$C_{20}H_{10}O_8$ Co.2H ₂ O		$C_{20}H_{10}O_8$ Ni.2H ₂ O		$C_{20}H_{10}O_8$ Fe.2H ₂ O	
	Deneysel	WinXCOM	Deneysel	WinXCOM	Deneysel	WinXCOM	Deneysel	WinXCOM	Deneysel	WinXCOM
80,997	4,347±0,107	4,527	4,457±0,138	4,305	3,751±0,098	3,924	4,108±0,100	4,105	3,606±0,110	3,762
122,061	3,015±0,103	3,073	2,897±0,129	2,999	2,807±0,095	2,869	2,820±0,096	2,931	2,704±0,103	2,813
136,474	2,801±0,090	2,854	2,785±0,117	2,798	2,739±0,079	2,699	2,848±0,086	2,746	2,706±0,081	2,656
160,613	2,623±0,088	2,602	2,539±0,098	2,563	2,568±0,084	2,494	2,505±0,083	2,527	2,525±0,098	2,464
276,398	2,074±0,074	2,031	2,076±0,086	2,016	1,995±0,070	1,989	1,926±0,062	2,002	2,055±0,080	1,977
302,853	1,909±0,061	1,954	1,892±0,074	1,942	1,905±0,058	1,917	1,846±0,052	1,929	1,972±0,067	1,906
356,017	1,778±0,068	1,827	1,759±0,076	1,816	1,726±0,062	1,796	1,762±0,057	1,806	1,717±0,073	1,786
383,851	1,815±0,047	1,770	1,831±0,058	1,760	1,710±0,042	1,741	1,827±0,043	1,751	1,767±0,049	1,732
511,003	1,628±0,055	1,567	1,615±0,071	1,559	1,595±0,050	1,544	1,607±0,050	1,552	1,487±0,059	1,537
661,657	1,426±0,030	1,397	1,374±0,040	1,390	1,402±0,029	1,378	1,427±0,028	1,384	1,436±0,033	1,371
834,848	1,234±0,039	1,254	1,204±0,048	1,248	1,193±0,035	1,237	1,230±0,035	1,243	1,181±0,044	1,232
1173,237	1,040±0,018	1,061	1,039±0,021	1,057	1,052±0,017	1,048	1,047±0,017	1,052	1,004±0,018	1,043
1274,53	0,979±0,022	1,017	1,047±0,028	1,013	0,976±0,020	1,004	0,988±0,020	1,008	0,981±0,023	1,000
1332,501	1,011±0,022	0,994	1,002±0,027	0,990	0,953±0,022	0,981	0,994±0,020	0,985	0,982±0,025	0,977

4.5. Elektronik tesir kesiti

Numunelerimizin 80 keV -1333 keV enerji aralığında elektronik tesir kesiti denklem (2.23) yardımıyla teorik olarak belirlenmiş ve teorik değerler tablo 4.5’ de verilmiştir. Elektronik tesir kesitinin enerjiye bağlı grafiği şekil 4.6’ da verilmiş ve artan enerjiyle azaldığı görülmüştür.



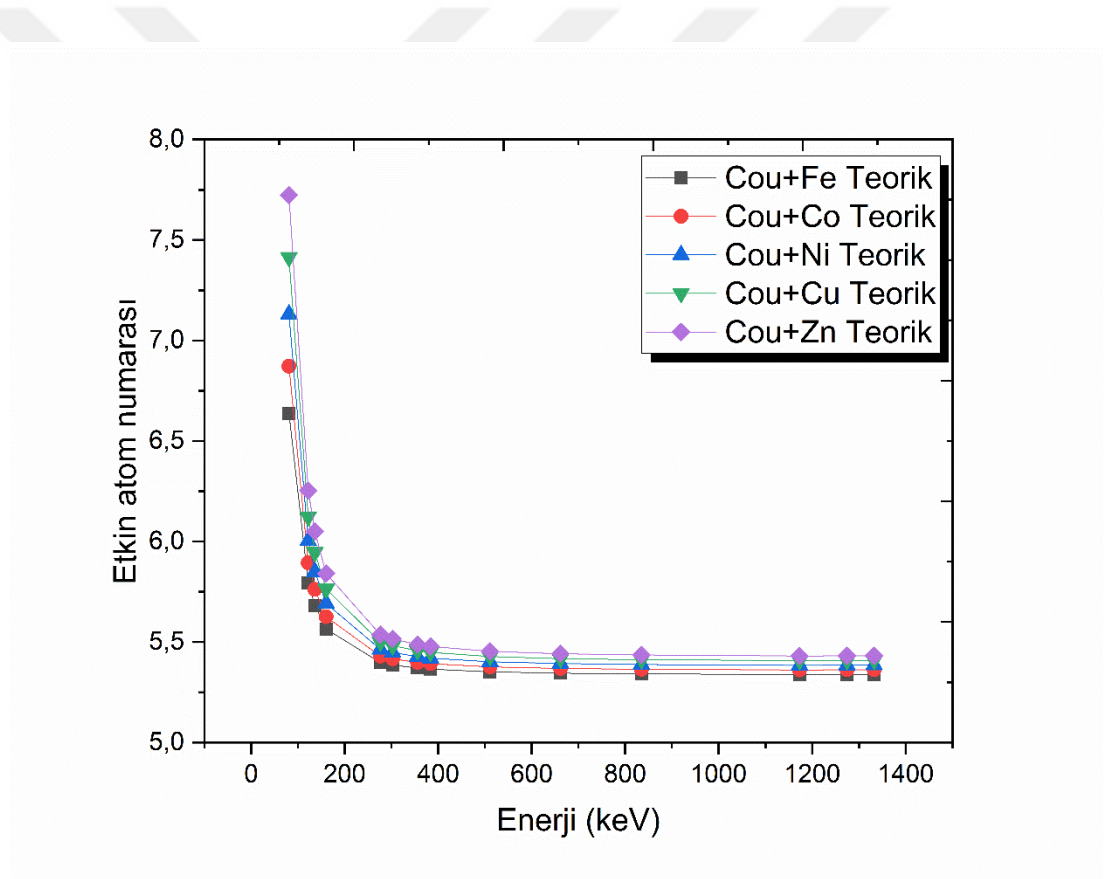
Şekil 4.6. Enerjiye bağlı elektronik tesir kesiti değişimi

Tablo 4.5. Elektronik tesir kesiti teorik sonuçları

Enerji (keV)	Elektronik tesir kesiti $\times 10^{-25}$ (barn/elektron)				
	C ₂₀ H ₁₀ O ₈ Zn.2H ₂ O	C ₂₀ H ₁₀ O ₈ Cu.2H ₂ O	C ₂₀ H ₁₀ O ₈ Co.2H ₂ O	C ₂₀ H ₁₀ O ₈ Ni.2H ₂ O	C ₂₀ H ₁₀ O ₈ Fe.2H ₂ O
	WinXCOM(Teorik)	WinXCOM(Teorik)	WinXCOM(Teorik)	WinXCOM(Teorik)	WinXCOM(Teorik)
80,997	5,861	5,807	5,710	5,757	5,667
122,061	4,913	4,897	4,867	4,882	4,854
136,474	4,718	4,706	4,685	4,695	4,675
160,613	4,454	4,447	4,433	4,440	4,428
276,398	3,668	3,666	3,663	3,665	3,662
302,853	3,544	3,542	3,540	3,541	3,539
356,017	3,329	3,329	3,327	3,328	3,326
383,851	3,231	3,231	3,229	3,230	3,229
511,003	2,873	2,873	2,872	2,873	2,872
661,657	2,567	2,567	2,566	2,566	2,566
834,848	2,307	2,306	2,306	2,306	2,306
1173,237	1,954	1,954	1,954	1,954	1,954
1274,53	1,872	1,872	1,872	1,872	1,872
1332,501	1,830	1,830	1,830	1,830	1,830

4.6. Etkin atom numarası

Karmaşık yapılı maddelerin atom numarası elementler gibi tek bir sayıyla ifade edilemez. Enerjiye bağlı olarak değişen bir sayıyla ifade edilir ki buna etkin atom numarası denir. Etkin atom numarası deneysel olarak denklem (2.24) yardımıyla elde edilmiştir. Etkin atom numarasının enerjiye bağlı değişimi şekil 4.7' de verilmiştir. Deneysel ve teorik sonuçlar tablo 4.6' da verilmiştir. Etkin atom numarasının artan enerji ile azaldığı hem deneysel hem de teorik olarak gözlemlenmiştir. Düşük enerjilerde hızlı bir düşüş varken yüksek enerjilerde değerler birbirine çok yakındır.



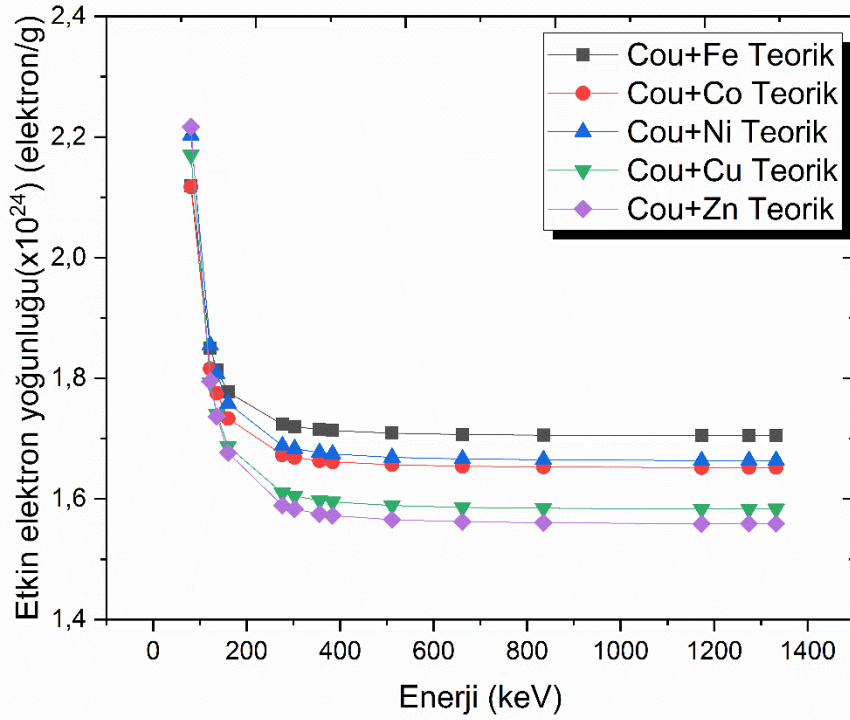
Şekil 4.7. Enerjiye bağlı etkin atom numarası değişimi

Tablo 4.6. Etkin atom numarası deneysel ve teorik sonuçları

Enerji (keV)	Etkin atom numarası									
	C ₂₀ H ₁₀ O ₈ Zn.2H ₂ O		C ₂₀ H ₁₀ O ₈ Cu.2H ₂ O		C ₂₀ H ₁₀ O ₈ Co.2H ₂ O		C ₂₀ H ₁₀ O ₈ Ni.2H ₂ O		C ₂₀ H ₁₀ O ₈ Fe.2H ₂ O	
	Deneysel	WinXCOM	Deneysel	WinXCOM	Deneysel	WinXCOM	Deneysel	WinXCOM	Deneysel	WinXCOM
80,997	7,417±0,182	7,723	7,675±0,237	7,414	6,568±0,172	6,872	7,135±0,174	7,131	6,364±0,194	6,637
122,061	6,137±0,209	6,254	5,915±0,264	6,123	5,766±0,196	5,894	5,777±0,197	6,003	5,571±0,213	5,794
136,474	5,936±0,191	6,050	5,918±0,248	5,946	5,846±0,169	5,761	6,066±0,183	5,850	5,787±0,172	5,680
160,613	5,888±0,198	5,840	5,711±0,221	5,763	5,793±0,189	5,625	5,641±0,187	5,692	5,704±0,222	5,564
276,398	5,654±0,202	5,537	5,662±0,235	5,500	5,446±0,191	5,430	5,255±0,169	5,464	5,611±0,217	5,397
302,853	5,387±0,171	5,515	5,341±0,209	5,481	5,382±0,163	5,416	5,214±0,147	5,448	5,572±0,188	5,385
356,017	5,342±0,204	5,487	5,285±0,228	5,457	5,187±0,187	5,398	5,294±0,171	5,427	5,162±0,220	5,370
383,851	5,617±0,146	5,478	5,667±0,179	5,448	5,294±0,130	5,392	5,657±0,132	5,420	5,471±0,152	5,365
511,003	5,666±0,190	5,454	5,621±0,246	5,427	5,554±0,172	5,376	5,594±0,175	5,402	5,179±0,207	5,351
661,657	5,554±0,116	5,442	5,354±0,155	5,417	5,462±0,113	5,368	5,562±0,108	5,393	5,596±0,127	5,345
834,848	5,349±0,169	5,436	5,220±0,207	5,412	5,173±0,154	5,365	5,332±0,154	5,388	5,123±0,189	5,341
1173,237	5,322±0,090	5,430	5,318±0,107	5,407	5,382±0,088	5,361	5,356±0,087	5,384	5,136±0,092	5,338
1274,53	5,229±0,115	5,431	5,594±0,149	5,408	5,213±0,107	5,362	5,277±0,105	5,385	5,242±0,124	5,339
1332,501	5,524±0,122	5,431	5,477±0,150	5,408	5,207±0,118	5,362	5,432±0,111	5,385	5,367±0,137	5,339

4.7. Etkin elektron yoğunluğu

Numunelerimizin 80 keV -1333 keV enerji aralığında etkin elektron yoğunluğu denklem (2.25) yardımıyla deneysel olarak belirlenmiştir ve teorik değerler ise WinXCOM programı kullanılarak elde edilen sonuçlardan hesaplanmıştır. Numunelere ait deneysel ve teorik değerler tablo 4.7' de verilmiştir. Etkin elektron yoğunluğu enerjiye bağlı grafiği şekil 4.8' de verilmiştir. Etkin elektron yoğunluğu artan enerjiyle azaldığı gözlenmiştir.



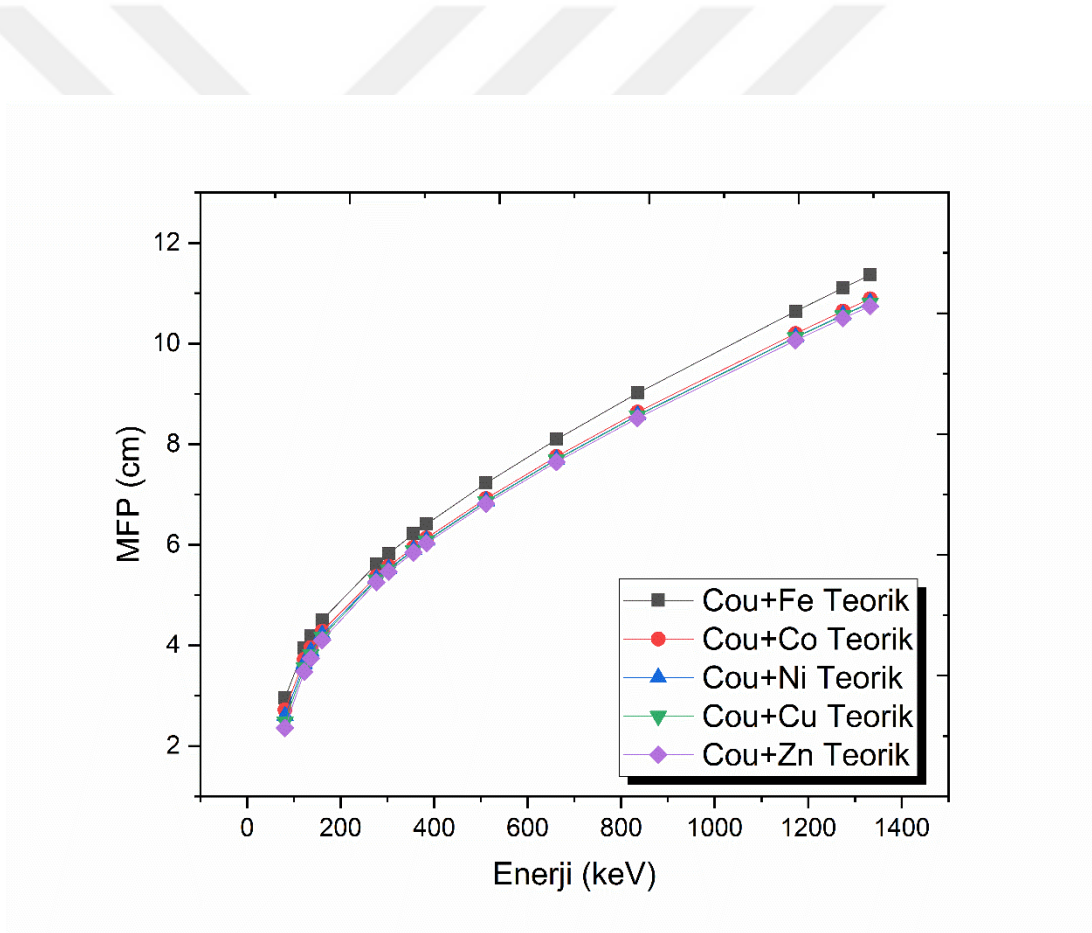
şekil 4.8. Enerjiye bağlı etkin elektron yoğunluğu değişimi

Tablo 4.7. Etkin elektron yoğunluğu deneysel ve teorik sonuçları

Enerji (keV)	Etkin elektron yoğunluğu $\times 10^{+24}$ (elektron/g)									
	C ₂₀ H ₁₀ O ₈ Zn.2H ₂ O		C ₂₀ H ₁₀ O ₈ Cu.2H ₂ O		C ₂₀ H ₁₀ O ₈ Co.2H ₂ O		C ₂₀ H ₁₀ O ₈ Ni.2H ₂ O		C ₂₀ H ₁₀ O ₈ Fe.2H ₂ O	
	Deneysel	WinXCOM	Deneysel	WinXCOM	Deneysel	WinXCOM	Deneysel	WinXCOM	Deneysel	WinXCOM
80,997	2,129±0,052	2,217	2,247±0,069	2,170	2,024±0,053	2,117	2,204±0,054	2,203	2,032±0,062	2,120
122,061	1,762±0,060	1,795	1,732±0,077	1,793	1,777±0,060	1,816	1,785±0,061	1,855	1,779±0,068	1,850
136,474	1,704±0,055	1,737	1,733±0,073	1,741	1,801±0,052	1,775	1,874±0,057	1,807	1,848±0,055	1,814
160,613	1,690±0,057	1,676	1,672±0,065	1,687	1,785±0,058	1,733	1,743±0,058	1,759	1,821±0,071	1,777
276,398	1,623±0,058	1,589	1,658±0,069	1,610	1,678±0,059	1,673	1,624±0,052	1,688	1,792±0,069	1,724
302,853	1,546±0,049	1,583	1,564±0,061	1,605	1,658±0,050	1,669	1,611±0,045	1,683	1,779±0,060	1,720
356,017	1,533±0,058	1,575	1,547±0,067	1,598	1,598±0,058	1,663	1,636±0,053	1,677	1,649±0,070	1,715
383,851	1,612±0,042	1,572	1,659±0,052	1,595	1,631±0,040	1,661	1,748±0,041	1,675	1,747±0,049	1,713
511,003	1,626±0,055	1,565	1,646±0,072	1,589	1,711±0,053	1,657	1,728±0,054	1,669	1,654±0,066	1,709
661,657	1,594±0,033	1,562	1,568±0,045	1,586	1,683±0,035	1,654	1,719±0,033	1,666	1,787±0,041	1,707
834,848	1,535±0,049	1,560	1,528±0,061	1,584	1,594±0,047	1,653	1,647±0,048	1,665	1,636±0,060	1,706
1173,237	1,528±0,026	1,559	1,557±0,031	1,583	1,658±0,027	1,652	1,655±0,027	1,663	1,640±0,029	1,705
1274,53	1,501±0,033	1,559	1,638±0,044	1,583	1,606±0,033	1,652	1,630±0,032	1,664	1,674±0,040	1,705
1332,501	1,586±0,035	1,559	1,604±0,044	1,583	1,605±0,036	1,652	1,678±0,034	1,664	1,714±0,044	1,705

4.8. Ortalama serbest yol

Numunelerimizin 80 keV -1333 keV enerji aralığında ortalama serbest yolu denklem (2.26) yardımıyla deneysel olarak belirlenmiştir. Teorik değerlerimiz ise WinXCOM programı sonuçlarından yararlanılarak belirlenmiştir. Numunelere ait deneysel ve teorik değerler tablo 4.8’ de verilmiştir. Ortalama serbest yolun enerjiye bağlı grafiği şekil 4.9’ da verilmiştir. Artan enerjiyle değerinde artma olduğu gözlenmiştir. Düşük enerjilerde hızlı bir artış varken yüksek enerjilerde yavaş yavaş artış olduğu gözlenmiştir.



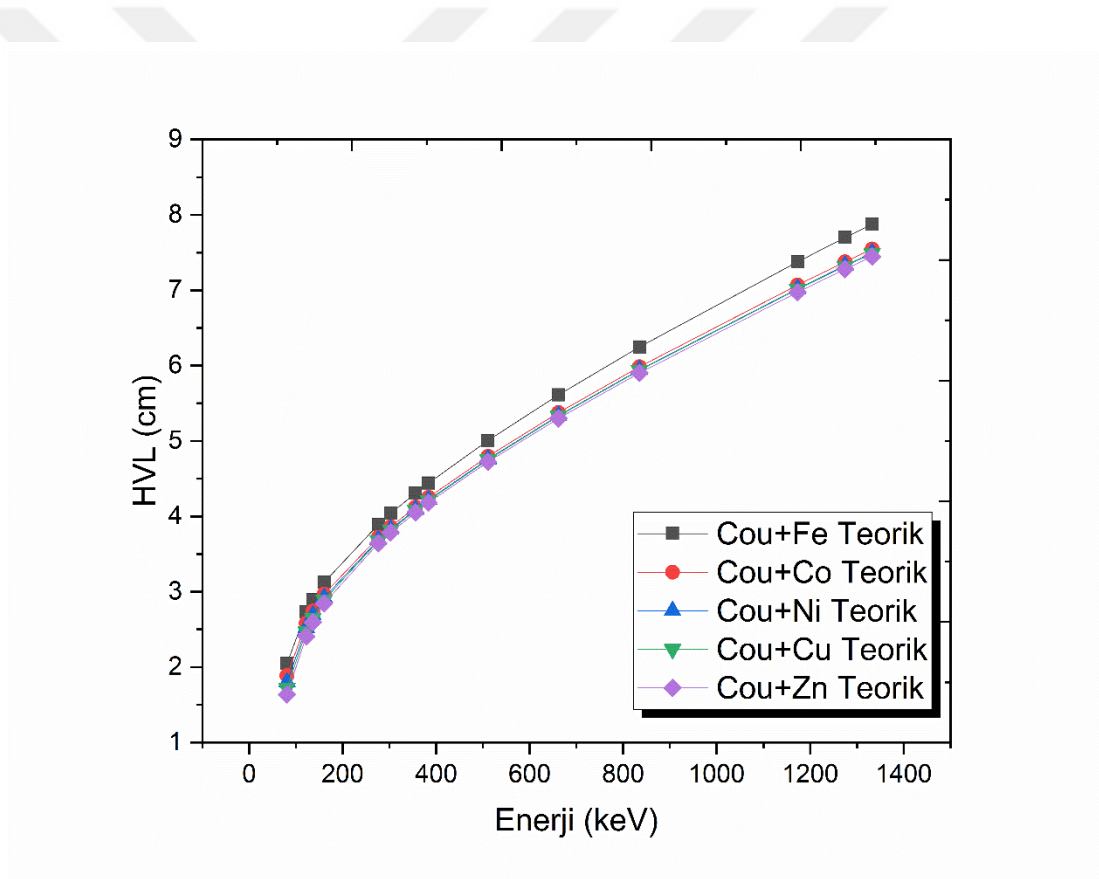
Şekil 4.9. Enerjiye bağlı ortalama serbest yol (MFP) değişimi

Tablo 4.8. Ortalama serbest yol (MFP) deneysel ve teorik sonuçları

Enerji (keV)	Ortalama serbest yol (MFP) (cm)									
	C ₂₀ H ₁₀ O ₈ Zn.2H ₂ O		C ₂₀ H ₁₀ O ₈ Cu.2H ₂ O		C ₂₀ H ₁₀ O ₈ Co.2H ₂ O		C ₂₀ H ₁₀ O ₈ Ni.2H ₂ O		C ₂₀ H ₁₀ O ₈ Fe.2H ₂ O	
	Deneysel	WinXCOM	Deneysel	WinXCOM	Deneysel	WinXCOM	Deneysel	WinXCOM	Deneysel	WinXCOM
80,997	2,456±0,060	2,359	2,399±0,074	2,483	2,848±0,074	2,723	2,594±0,063	2,596	3,078±0,094	2,951
122,061	3,542±0,121	3,475	3,691±0,165	3,565	3,807±0,129	3,724	3,778±0,129	3,636	4,105±0,157	3,947
136,474	3,813±0,123	3,741	3,838±0,161	3,821	3,901±0,113	3,959	3,742±0,113	3,880	4,103±0,122	4,180
160,613	4,071±0,137	4,105	4,210±0,163	4,171	4,160±0,135	4,284	4,254±0,141	4,217	4,396±0,171	4,506
276,398	5,149±0,184	5,258	5,150±0,213	5,302	5,355±0,188	5,371	5,533±0,178	5,322	5,402±0,209	5,616
302,853	5,594±0,178	5,464	5,650±0,221	5,506	5,607±0,170	5,572	5,771±0,163	5,523	5,629±0,190	5,824
356,017	6,004±0,229	5,845	6,077±0,262	5,886	6,191±0,224	5,949	6,049±0,196	5,900	6,464±0,275	6,214
383,851	5,883±0,153	6,033	5,839±0,184	6,073	6,249±0,154	6,136	5,831±0,136	6,087	6,284±0,175	6,408
511,003	6,559±0,220	6,815	6,621±0,289	6,856	6,698±0,208	6,919	6,631±0,207	6,867	7,463±0,298	7,223
661,657	7,491±0,157	7,645	7,780±0,225	7,690	7,622±0,157	7,755	7,465±0,144	7,700	7,731±0,175	8,094
834,848	8,655±0,274	8,517	8,879±0,352	8,565	8,956±0,266	8,636	8,666±0,250	8,575	9,397±0,346	9,012
1173,237	10,268±0,174	10,062	10,286±0,208	10,117	10,158±0,165	10,198	10,181±0,166	10,128	11,060±0,197	10,642
1274,53	10,906±0,240	10,501	10,206±0,273	10,558	10,947±0,225	10,643	10,785±0,214	10,569	11,311±0,267	11,106
1332,501	10,563±0,233	10,743	10,666±0,293	10,802	11,212±0,254	10,889	10,719±0,219	10,813	11,303±0,289	11,362

4.9. Yarı kalınlık değeri

Yarı kalınlık değeri deneysel değeri 80 keV -1333 keV enerji aralığında denklem (2.27) yardımıyla belirlenmiştir ve teorik değeri ise WinXCOM programı kullanılarak elde edilen sonuçlardan hesaplanmıştır. Yarı kalınlık değeri deneysel ve teorik değeri tablo 4.9' da, enerjiye bağlı grafiği ise şekil 4.10' da verilmiştir. Artan enerji ile yarı kalınlık değeri arttığı gözlenmektedir.



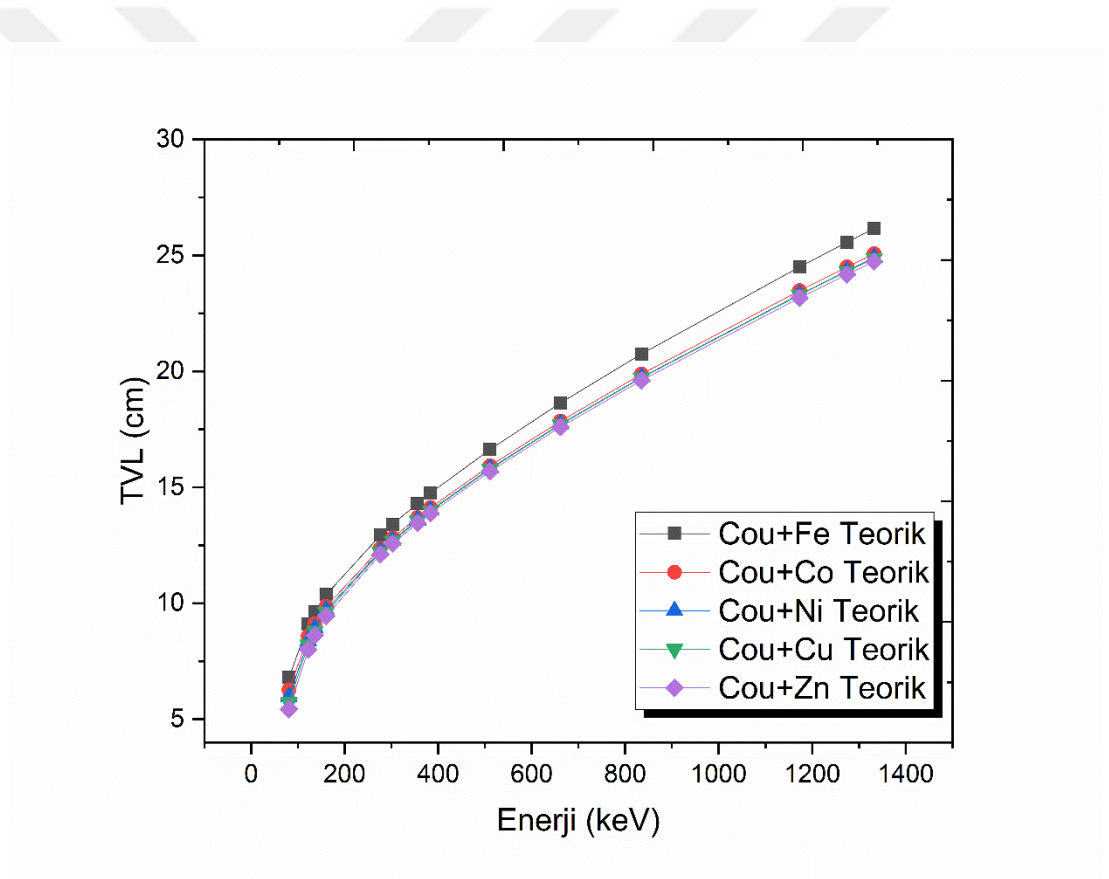
Şekil 4.10. Enerjiye bağlı yarı kalınlık değeri (HVL) değişimi

Tablo 4.9. Yarı kalınlık değeri (HVL)deneysel ve teorik sonuçları

Enerji (keV)	Yarı kalınlık değeri (HVL) (cm)									
	C ₂₀ H ₁₀ O ₈ Zn.2H ₂ O		C ₂₀ H ₁₀ O ₈ Cu.2H ₂ O		C ₂₀ H ₁₀ O ₈ Co.2H ₂ O		C ₂₀ H ₁₀ O ₈ Ni.2H ₂ O		C ₂₀ H ₁₀ O ₈ Fe.2H ₂ O	
	Deneysel	WinXCOM	Deneysel	WinXCOM	Deneysel	WinXCOM	Deneysel	WinXCOM	Deneysel	WinXCOM
80,997	1,703±0,042	1,635	1,663±0,051	1,721	1,974±0,052	1,887	1,798±0,044	1,799	2,134±0,065	2,046
122,061	2,455±0,084	2,409	2,558±0,114	2,471	2,639±0,090	2,581	2,619±0,089	2,520	2,845±0,109	2,736
136,474	2,643±0,085	2,593	2,661±0,112	2,648	2,704±0,078	2,744	2,593±0,078	2,689	2,844±0,085	2,897
160,613	2,822±0,095	2,845	2,918±0,113	2,891	2,883±0,094	2,969	2,949±0,098	2,923	3,047±0,118	3,123
276,398	3,569±0,127	3,645	3,570±0,148	3,675	3,712±0,130	3,723	3,835±0,124	3,689	3,744±0,145	3,893
302,853	3,877±0,123	3,787	3,916±0,153	3,816	3,886±0,118	3,862	4,000±0,113	3,829	3,902±0,132	4,037
356,017	4,162±0,159	4,051	4,212±0,182	4,080	4,291±0,155	4,123	4,193±0,136	4,090	4,481±0,191	4,308
383,851	4,078±0,106	4,182	4,047±0,127	4,210	4,331±0,107	4,253	4,042±0,094	4,219	4,356±0,121	4,442
511,003	4,547±0,153	4,724	4,589±0,201	4,752	4,642±0,144	4,796	4,596±0,144	4,760	5,173±0,207	5,006
661,657	5,192±0,109	5,299	5,392±0,156	5,330	5,283±0,109	5,375	5,174±0,100	5,337	5,358±0,121	5,610
834,848	5,999±0,190	5,904	6,155±0,244	5,937	6,208±0,184	5,986	6,007±0,173	5,944	6,513±0,240	6,247
1173,237	7,117±0,121	6,975	7,130±0,144	7,013	7,041±0,115	7,069	7,057±0,115	7,020	7,666±0,137	7,376
1274,53	7,559±0,166	7,279	7,074±0,189	7,318	7,588±0,156	7,377	7,476±0,148	7,326	7,840±0,185	7,698
1332,501	7,322±0,162	7,447	7,393±0,203	7,487	7,772±0,176	7,547	7,430±0,152	7,495	7,835±0,201	7,876

4.10. Onda bir kalınlık değeri

Numunelerimizin 80 keV -1333 keV enerji aralığında onda bir kalınlık değeri denklem (2.28) yardımıyla deneysel olarak belirlenmiştir ve teorik değerler ise WinXCOM programı kullanılarak elde edilen sonuçlardan hesaplanmıştır. Numunelere ait deneysel ve teorik değerler tablo 4.10' da verilmiştir. Onda bir kalınlık değerinin enerjiye bağlı grafiği şekil 4.11' de verilmiştir. Artan enerjiyle onda bir kalınlık değerinin arttığı görülmüştür.



Şekil 4.11. Enerjiye bağlı onda bir kalınlık değeri (TVL) değişimi

Tablo 4.10. Onda bir kalınlık değeri (TVL) deneysel ve teorik sonuçları

Enerji (keV)	Onda bir kalınlık değeri (TVL) (cm)									
	C ₂₀ H ₁₀ O ₈ Zn.2H ₂ O		C ₂₀ H ₁₀ O ₈ Cu.2H ₂ O		C ₂₀ H ₁₀ O ₈ Co.2H ₂ O		C ₂₀ H ₁₀ O ₈ Ni.2H ₂ O		C ₂₀ H ₁₀ O ₈ Fe.2H ₂ O	
	Deneysel	WinXCOM	Deneysel	WinXCOM	Deneysel	WinXCOM	Deneysel	WinXCOM	Deneysel	WinXCOM
80,997	5,656±0,139	5,432	5,523±0,171	5,718	6,559±0,171	6,269	5,973±0,145	5,977	7,087±0,216	6,795
122,061	8,155±0,278	8,002	8,498±0,380	8,209	8,765±0,298	8,575	8,700±0,296	8,373	9,452±0,361	9,088
136,474	8,779±0,283	8,614	8,838±0,371	8,797	8,983±0,260	9,115	8,615±0,260	8,934	9,447±0,281	9,625
160,613	9,375±0,315	9,451	9,693±0,376	9,605	9,578±0,312	9,864	9,796±0,325	9,709	10,122±0,393	10,375
276,398	11,857±0,423	12,108	11,858±0,491	12,208	12,330±0,433	12,368	12,740±0,411	12,253	12,439±0,481	12,932
302,853	12,880±0,409	12,581	13,010±0,508	12,678	12,911±0,392	12,830	13,289±0,375	12,718	12,962±0,438	13,410
356,017	13,825±0,527	13,459	13,992±0,604	13,553	14,255±0,515	13,698	13,928±0,450	13,586	14,885±0,633	14,309
383,851	13,547±0,353	13,891	13,444±0,423	13,985	14,389±0,354	14,128	13,427±0,312	14,016	14,469±0,403	14,756
511,003	15,104±0,507	15,692	15,245±0,666	15,787	15,422±0,479	15,931	15,268±0,477	15,813	17,183±0,687	16,631
661,657	17,248±0,362	17,604	17,913±0,519	17,706	17,550±0,362	17,857	17,189±0,332	17,729	17,800±0,404	18,638
834,848	19,929±0,631	19,611	20,446±0,810	19,721	20,622±0,612	19,884	19,954±0,575	19,744	21,636±0,797	20,751
1173,237	23,642±0,401	23,169	23,685±0,478	23,296	23,389±0,381	23,482	23,443±0,382	23,320	25,467±0,455	24,503
1274,53	25,112±0,552	24,179	23,500±0,628	24,311	25,206±0,519	24,506	24,833±0,493	24,336	26,044±0,615	25,571
1332,501	24,323±0,537	24,738	24,559±0,674	24,873	25,816±0,585	25,072	24,682±0,504	24,898	26,026±0,667	26,162

BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

$C_{20}H_{10}O_8$ Zn.2H₂O, $C_{20}H_{10}O_8$ Cu.2H₂O, $C_{20}H_{10}O_8$ Co.2H₂O, $C_{20}H_{10}O_8$ Ni.2H₂O, $C_{20}H_{10}O_8$ Fe.2H₂O numunelerinin toplam kütle soğurma katsayıları, moleküler, atomik ve elektronik tesir kesiti (teorik), etkin atom numaraları, etkin elektron yoğunlukları, ortalama serbest yol, yarı kalınlık değeri ve onda bir kalınlık değeri 81, 161, 276, 303, 356, ve 384 keV ¹³³Ba, 122 ve 136 keV ⁵⁷Co, 151, 1275 keV ²²Na, 835 keV ⁵⁴Mn, 662 keV ¹³⁷Cs, 1173 ve 1333 keV ⁶⁰Co foton enerjilerinde soğurma geometrisi kullanılarak belirlenmiştir. Ölçülen deneysel soğurma parametrelerinde deneysel hatamız minimum%1,61 maksimum %4,63 olarak bulunmuştur. Yaptığımız hata X veya γ -ışını pikleri altında kalan alana, numunenin birim alanda kütlesine, gelen ve geçen radyasyondaki istatistiksel belirsizliklere ve sistematik belirsizliklere bağlı olabilir.

Kütle soğurma katsayısı numuneye gelen ve geçen X veya γ -ışını şiddetleri ve numunenin birim alandaki kütlesi kullanılarak 80 keV -1333 keV enerji aralığında denklem (2.19) yardımıyla toplam kütle soğurma katsayılarının deneysel değerleri bulunmuştur. Teorik değerlerimiz WinXCOM programı kullanılarak belirlenmiştir. Deneysel ve teorik değerlerimizin sonuçları tablo 4.1' de verilmiştir. Coumarin-3 karboksilik asitin Zn, Cu, Co, Ni, Fe metalleri ile oluşturulan kompleksleri için hesaplanan kütle soğurma katsayısı değerlerinde ki maksimum ve minimum hatalarımız sırasıyla %1,7-3,7, %2,04-4,4, %1,66-3,64, %1,66-3,40, %1,72-4,24 olarak belirlenmiştir. Kütle soğurma katsayılarının foton enerjisi ile değişen grafiği şekil 4.3' te verilmiştir. Kütle soğurma katsayılarının artan enerji ile azaldığı görülmüştür. Bu azalma düşük enerji bölgesinde daha hızlı iken yüksek enerjilerde birbirine daha yakındır. Düşük enerjilerde fotoelektrik ve Compton olayları baskın olduğundan metal komplekslerimize nüfuz eden foton şiddetlerinde ki azalma daha fazla, yüksek enerjilerde çift oluşum gerçekleşmesi sebebiyle foton şiddetlerinde

azalma daha azdır. Kompleks yapılarımız arasında kütle soğurma katsayısı değeri düşük enerjilerde en büyük olan $C_{20}H_{10}O_8 Zn.2H_2O$ bileşiği, en küçük olan $C_{20}H_{10}O_8 Fe.2H_2O$ bileşiği olmuştur. Yüksek enerjilerde numunelerimizin kütle soğurma katsayısı değeri çok yakın olduğu gözlenmiştir. Deneysel ve teorik kütle soğurma katsayıları arasındaki farklılıklar %0,04 ve %4,61 arasında değişmektedir ve deneysel verilerin teoriklerle orantılı olduğu görülmüştür.

Lineer soğurma katsayısının deneysel değerleri 80 keV -1333 keV enerji aralığında denklem (2.8) yardımıyla bulunmuştur. Teorik değerlerimiz WinXCOM programı yardımıyla belirlenmiştir. Deneysel ve teorik değerlerimizin sonuçları tablo 4.2' de verilmiştir. Deneysel değerlerimizde, Zn, Cu, Co, Ni, Fe metalleriyle oluşturulan Coumarin-3 karboksilik asit kompleksleri için yapılan maksimum ve minimum hatalar sırasıyla %2,06-3,60, %2,06-4,63, %2,04-3,70, %2,15-3,40, %2,22-4,51 olarak belirlenmiştir. Lineer soğurma katsayısının artan enerji ile azaldığı görülmüştür. Lineer soğurma katsayısının foton enerjisi ile değişen grafiği şekil 4.3' de verilmiştir. Lineer soğurma katsayısının değeri $C_{20}H_{10}O_8 Zn.2H_2O$ numunemizin yoğunluğu fazla olduğu için en büyük iken, $C_{20}H_{10}O_8 Fe.2H_2O$ numunemizin yoğunluğu az olduğu için en küçüktür. Deneysel ve teorik lineer soğurma katsayısı değerleri arasındaki farklılık %0-%4,71 arasında olduğu bulunmuş olup deneysel verilerin teorikle uyumlu olduğu görülmüştür.

Moleküler tesir kesiti deneysel değerleri 80 keV-1333 keV enerji aralığında denklem (2.21) yardımıyla bulunmuştur. Teorik değerlerimiz WinXCOM programı ile belirlenmiştir. Deneysel ve teorik değerlerimizin sonuçları tablo 4.3' de verilmiştir. Coumarin-3 karboksilik asitin Zn, Cu, Co, Ni, Fe metallerimiz ile oluşturulan kompleks yapıları için hesaplanan moleküler tesir kesiti değerlerindeki maksimum ve minimum hatalarımız sırasıyla %1,68-3,81, %2,01-4,47, %1,63-3,60, %1,63-3,40, %1,79-4,26 olarak belirlenmiştir. Moleküler tesir kesiti artan enerji ile azalma olduğu görülmüştür. Foton enerjisi ile değişim grafiği şekil 4.4' de verilmiştir. Bu azalma düşük enerji bölgesinde daha hızlı iken yüksek enerjilerde birbirine daha yakındır. Numunelerimiz arasında en büyük moleküler tesir kesitine sahip olan $C_{20}H_{10}O_8 Zn.2H_2O$ bileşiği, en küçük ise $C_{20}H_{10}O_8 Fe.2H_2O$ bileşiği olarak bulunmuştur.

Moleküler tesir kesitinin deneysel değeri ile WinXCOM yardımıyla hesaplanan teorik değeri arasındaki farklılık %0,05 ve %4,62 arasında olduğu belirlenmiş ve deneysel verilerin teorikle orantılı olduğu görülmüştür.

Atomik tesir kesiti 80 keV -1333 keV enerji aralığında denklem (2.22)' den yararlanılarak bulunmuştur. Teorik değerlerimiz WinXCOM programı yardımıyla belirlenmiştir. Deneysel ve teorik değerlerimizin sonuçları tablo 4.4' de verilmiştir. Coumarin-3 karboksilik asitin Zn, Cu, Co, Ni, Fe metalllerimiz ile oluşturulan kompleks yapılarının atomik tesir kesitinin hesaplanan değerlerindeki maksimum ve minimum hatalarımız sırasıyla %1,73-3,82, %2,02-4,45, %1,61-3,59, %1,62-3,40, %1,79-4,25 olarak belirlenmiştir. Atomik tesir kesiti artan enerji ile azalma olduğu görülmüştür. Atomik tesir kesitinin foton enerjisi ile değişen grafiği şekil 4.5' de verilmiştir. Bu azalma düşük enerji bölgesinde hızlı bir şekilde iken yüksek enerjilerde değerler birbirine daha yakındır. Numunelerimizden $C_{20}H_{10}O_8 \cdot Zn \cdot 2H_2O$ kompleksi en büyük atomik tesir kesitine, $C_{20}H_{10}O_8 \cdot Fe \cdot 2H_2O$ kompleksi en küçük atomik tesir kesitine sahiptir. Deneysel atomik tesir kesiti ile teorik WinXCOM değerleri arasındaki farklılık %0,07 ve %4,61 arasında değişmektedir. Deneysel verilerin teorikle orantılı olduğu görülmüştür.

Elektronik tesir kesitinin teorik değeri 80 keV -1333 keV enerji aralığında denklem (2.23)' den yararlanılarak elde edilmiştir. Elektronik tesir kesitinin teorik değerleri tablo 4.5' de ve foton enerjisi ile değişim grafiği şekil 4.6' da verilmiştir. Elektronik tesir kesiti artan enerji ile azalmıştır. Bu azalma düşük enerji bölgesinde daha hızlı iken yüksek enerjilerde değerler birbirine yakındır. Numunelerimiz arasında elektronik tesir kesiti en büyük olan $C_{20}H_{10}O_8 \cdot Zn \cdot 2H_2O$, en küçük olan $C_{20}H_{10}O_8 \cdot Fe \cdot 2H_2O$ kompleks yapılarımız olarak bulunmuştur.

Karmaşık yapılı maddelerin atom numarası elementler gibi tek bir sayıyla ifade edilemez. Enerjiye bağlı olarak değişen bir sayıyla ifade edilir ki buna etkin atom numarası denir. Etkin atom numarası 80 keV -1333 keV enerji aralığında denklem (2.24)' den yararlanılarak bulunmuştur. Teorik değerlerimiz WinXCOM programı yardımıyla belirlenmiştir. Deneysel ve teorik değerlerimizin sonuçları tablo 4.6' da

verilmiştir. Coumarin-3 karboksilik asitin Zn, Cu, Co, Ni, Fe metallerimiz ile oluşturulan kompleks yapıların etkin atom numarasını deneysel olarak bulduğumuzda yaptığımız minimum ve maksimum hatalarımız sırasıyla %1,69-3,81, %2,01-4,46, %1,63-3,60, %1,62-3,41, %1,79-4,26 olarak belirlenmiştir. Etkin atom numarasının foton enerjisi ile değişen grafiği şekil 4.7' de verilmiştir ve artan enerji ile değerinde azalma görülmüştür. Düşük enerjilerde fotoelektrik olay, compton saçılmasından dolayı numuneye nüfuz eden foton şiddetindeki azalma daha fazla, yüksek enerjilerde çift oluşum gerçekleşmesi sebebiyle azalma daha azdır. Numunelerimiz arasında etkin atom numarası $C_{20}H_{10}O_8$ Zn.2H₂O kompleks yapımızın en büyük değerde olduğu, $C_{20}H_{10}O_8$ Fe.2H₂O kompleks yapımızın en küçük değere sahip olduğu anlaşılmıştır. Etkin atom numarası deneysel değeri ile WinXCOM yardımıyla bulunan teorik değeri arasındaki farklılık %0,06 ve %4,63 arasında değişmektedir. Deneysel verilerin teorikle orantılı olduğu görülmüştür. Etkin atom numarası fotoelektrik olayın baskın olduğu düşük enerjilerde yüksek değerler almıştır. Compton saçılmasının baskın olduğu orta düzey enerji bölgelerinde tekrar artış göstermiştir. Çift oluşumun baskın olduğu yüksek enerji bölgelerinde en az olacak şekilde değer birbirine yakın azalmıştır. Bir malzemede iyi bir radyasyon koruma özelliği etkin atom numarasının büyük olmasıyla orantılıdır. Bu değerler düşük enerji bölgesinde daha fazladır.

Etkin elektron yoğunluğu 80 keV -1333 keV enerji aralığında denklem (2.25)' den yararlanılarak bulunmuştur. Teorik değerlerimiz WinXCOM programı sayesinde belirlenmiştir. Deneysel ve teorik değerlerimizin sonuçları tablo 4.7' de verilmiştir. Coumarin-3 karboksilik asitin Zn, Cu, Co, Ni, Fe metallerimiz ile oluşturulan kompleks yapıların hesaplanan etkin elektron yoğunluğu maksimum ve minimum hatalarımız sırasıyla %1,70-3,78, %1,99-3,63, %1,63-3,63, %1,63-3,42, %1,77-4,24 olarak belirlenmiştir. Etkin elektron yoğunluğu artan enerji ile azalma olduğu görülmüş ve foton enerjisi ile değişim grafiği şekil 4.8' de verilmiştir. Bu azalma düşük enerji bölgesinde daha hızlı bir şekilde iken yüksek enerjilerde değerler birbirine daha yakındır. Numunelerimiz arasında $C_{20}H_{10}O_8$ Zn.2H₂O bileşiğinin etkin elektron yoğunluğu düşük enerjilerde en yüksek değere sahip iken yüksek enerjilerde en küçük değerde olduğu görülmüştür. $C_{20}H_{10}O_8$ Fe.2H₂O bileşiğinde ise düşük enerjilerde etkin elektron yoğunluğu en küçük, yüksek enerjilerde diğer numunelerimize göre en büyük

değere sahip olduğu görülmüştür. Deneysel etkin elektron yoğunluğu ile teorik WinXCOM değerleri arasındaki farklılık %0,04 ve %4,59 arasında değişmektedir. Deneysel verilerin teorikle orantılı olduğu görülmüştür.

Ortalama serbest yol (MFP) 80 keV -1333 keV enerji aralığında lineer soğurma katsayısı yardımıyla denklem (2.26)' dan deneysel olarak elde edilmiştir. WinXCOM programı kullanılarak da teorik elde edilmiştir. Deneysel ve teorik değerlerimizi tablo 4.8' de verilmiştir. Coumarin-3 karboksilik asitin Zn, Cu, Co, Ni, Fe metallerimiz ile oluşturulan kompleks yapılarımızın ortalama serbest yolu hesapladığımızda yapılan maksimum ve minimum hatalarımız sırasıyla %1,69-3,81, %2,02-4,47, %1,62-3,62, %1,63-3,31, %1,78-4,25 olarak belirlenmiştir. Ortalama serbest yolun artan foton enerjisi ile arttığı görülmüştür ve foton enerjisi ile değişim grafiği şekil 4.9' da verilmiştir. Düşük enerjilerde ortalama serbest yolun değerinde hızlı bir yükseliş varken yüksek enerjilerde yakın değerlerde artış gözlenmiştir. Numunelerimiz arasında ortalama serbest yol değeri en büyük olan $C_{20}H_{10}O_8 \cdot Fe \cdot 2H_2O$ bileşiği, en küçük değere sahip olan $C_{20}H_{10}O_8 \cdot Zn \cdot 2H_2O$ bileşiğidir. Deneysel ortalama serbest yol ile WinXCOM yardımıyla hesaplanan teorik değerleri arasındaki farklılık %0,07 ve %4,69 arasında değişmektedir. Deneysel verilerin teorikle orantılı olduğu görülmüştür. Bir malzeme ne kadar düşük ortalama serbest yola sahipse iyi bir koruyucu malzemedir. Artan enerji ile artışı için yüksek enerjilerde foton azaltması daha az olacaktır.

Yarı kalınlık değeri(HVL) 80 keV -1333 keV enerji aralığında lineer soğurma katsayısı yardımıyla denklem (2.27)' den deneysel olarak elde edilmiştir. WinXCOM programı kullanılarak da teorik elde edilmiştir. Deneysel ve teorik değerlerimizi tablo 4.9' da verilmiştir. Yarı kalınlık değerini hesaplarken yapılan maksimum ve minimum hatalarımız coumarin-3 karboksilik asitin Zn, Cu, Co, Ni, Fe metallerimiz ile oluşturulan kompleks yapıların sırasıyla %1,70-3,82, %2,02-4,45, %1,63-3,61, %1,62-3,39, %1,78-4,26 olarak belirlenmiştir. Yarı kalınlık değerinin artan foton enerjisi ile arttığı görülmüştür ve daha iyi görebilmek için enerji ile değişim grafiği şekil 4.10'da verilmiştir. Numunelerimizden yarı kalınlık değeri en fazla olan $C_{20}H_{10}O_8 \cdot Fe \cdot 2H_2O$, en az değerde olan $C_{20}H_{10}O_8 \cdot Zn \cdot 2H_2O$ kompleks yapılarımız

olmuştur. Deneysel yarı kalınlık değeri ile teorik WinXCOM değerleri arasındaki farklılık %0,05 ve %4,70 arasında değişmektedir. Deneysel verilerin teorikle orantılı olduğu görülmüştür.

Onda bir kalınlık değeri (TVL) 80 keV -1333 keV enerji aralığında lineer soğurma katsayısı yardımıyla denklem (2.28)' den deneysel olarak elde edilmiştir. WinXCOM programı kullanılarak ta teorik olarak elde edilmiştir. Deneysel ve teorik değerlerimiz tablo 4.10' da verilmiştir. Coumarin-3 karboksilik asitin Zn, Cu, Co, Ni, Fe metalleriyle oluşturulan kompleks yapıların onda bir kalınlık değeri hesaplanırken yapılan maksimum ve minimum hatalarımız sırasıyla %1,69-3,81, %2,01-4,47, %1,63-3,61, %1,63-3,40, %1,79-4,25 olarak belirlenmiştir. Onda bir kalınlık değerinin artan enerji ile arttığı görülmüştür ve foton enerjisine bağlı değişen grafiği şekil 4.11'de verilmiştir. Numunelerimizden $C_{20}H_{10}O_8 Fe.2H_2O$ kompleks yapımızda onda bir kalınlık değeri en fazla iken, $C_{20}H_{10}O_8 Zn.2H_2O$ kompleks yapımızda en az değerde olduğu bulunmuştur. Deneysel onda bir kalınlık değeri ile teorik WinXCOM değerleri arasındaki farklılık %0,06 ve %4,71 arasında değişmektedir. Deneysel verilerin teorikle orantılı olduğu görülmüştür.

Moleküler tesir kesiti, atomik tesir kesiti, z etkin (etkin atom numarası) ve etkin elektron yoğunluğunun en büyük değeri atom ağırlığı çok olan Coumarin-3-karboksilik asitin Zn metal kompleksinde ($C_{20}H_{10}O_8 Zn.2H_2O$), en küçük değeri ise atom ağırlığı az olan Coumarin-3-karboksilik asit Fe metal kompleksinde ($C_{20}H_{10}O_8 Fe.2H_2O$) çıkmıştır. Deneysel ve teorik değerler bunu doğrulamıştır. Enerjinin artmasıyla bu parametrelerin değerleri azalmıştır. Ortalama serbest yol, yarı kalınlık değeri, onda bir kalınlık değeri lineer soğurma katsayısı arttıkça azaldığı için en fazla değeri Coumarin-3-karboksilik asitin Fe metal kompleksinde ($C_{20}H_{10}O_8 Fe.2H_2O$), en az değeri Coumarin-3-karboksilik asitin Zn metal kompleksinde ($C_{20}H_{10}O_8 Zn.2H_2O$) çıkmıştır. Deneysel ve teorik değerler bunu doğrulamıştır. Enerjinin artmasıyla değerleri de artmıştır.

Bu sonuçlara göre iyi bir soğurmaya sahip olacak malzemenin kütle soğurma katsayısı, lineer soğurma katsayısı, moleküler tesir kesiti, atomik tesir kesiti, elektronik tesir kesiti, etkin atom numarası ve etkin elektron yoğunluğunun fazla olması gerekir. Düşük

enerjilerde bu değerler daha fazla çıkmıştır. Araştırmamızda numunelerimiz arasında bu değerler coumarin-3-karboksilik asitin Zn ile yaptığı bileşikte ($C_{20}H_{10}O_8 \cdot Zn \cdot 2H_2O$) en fazla, Fe ile yaptığı bileşikte ($C_{20}H_{10}O_8 \cdot Fe \cdot 2H_2O$) en az çıkmıştır. Bir malzemenin iyi bir soğurmaya sahip olduğunu ortalama serbest yol, yarı kalınlık değeri ve onda bir kalınlık değerinin küçük olmasıyla da belirlenebilir. Düşük enerjilerde bu değerler daha küçüktür. Yapılan alışma da en küçük değere sahip olan $C_{20}H_{10}O_8 \cdot Zn \cdot 2H_2O$ bileşiği, en yüksek değere sahip olan $C_{20}H_{10}O_8 \cdot Fe \cdot 2H_2O$ bileşiğidir.



KAYNAKLAR

- Ahmadi, M., Lunscher, N., Yeow, J.T.W., 2013. Effective atomic numbers and electron densities of bacteriorhodopsin and its comprising amino acids in the energy range 1 keV-100 GeV. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, 300, 30-34.
- Akman, F., 2013. EDXRF Spektrometre ile bazı elementlerin K tabakası ve L_{III} alttabakası soğurma sıçrama faktörlerinin doğrudan uyarma ve geçiş geometrileriyle ve bazı Ce, Sm Ve Gd bileşiklerinin soğurma parametrelerinin belirlenmesi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 146, Erzurum
- Akman, F., Durak, R., Turhan, M.F., Kacal, M.R., 2015a. Studies on effective atomic numbers, electron densities from mass attenuation coefficients near the K edge in some samarium compounds. Applied Radiation and Isotopes, 101, 107-113.
- Akman, F., Durak, R., Kacal, M.R., Turhan, M.F., Akdemir, F., 2015b. Determination of K-shell absorption jump factors and jump ratios for La₂O₃, Ce and Gd using two different methods. Radiation Physics and Chemistry, 107, 75-81.
- Akman, F., Durak, R., Kaçal, M.R., Bezgin, F., 2016a. Study of absorption parameters around the K edge for selected compounds of Gd. X-ray Spectrometry, 45, 103-110.
- Akman, F., 2016b. Bazı kompleks malzemelerin farklı foton enerjilerinde soğurma parametrelerinin belirlenmesi. Bingöl Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi, Bilimsel Araştırma Projesi
- Akman, F. Kaçal, M. R., 2018. Investigation of radiation attenuation parameters of some drugs used in Chemotherapy in Wide Energy Region. Journal of Radiology and Oncology, 2: 047-052.

- Akman, F., Sayyed, M. I., Kaçal, M. R., Tekin, H. O., 2019a. 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., Khattari, Z.Y., Kaçal, M.R., Sayyed, M.I., Afaneh, F., 2019b. The radiation shielding features for some silicide, boride and oxide types ceramics. *Radiation Physics and Chemistry*, 160, 9-14.
- Baydere, C., 2014. Karboksilik asit koordinasyonlu bazı geçiş metal komplekslerinin floresans parametrelerinin ölçülmesi. Giresun Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 50, Giresun
- Baykal, S., 2007. Yeni tip gama dedektörleri ve iz sürme tekniği. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 45, Ankara
- Bhandal, G.S., Singh, K., 1993a. Photon attenuation coefficient and effective atomic number study of cements. *Applied Radiation and Isotopes*, 44, 1231-1243.
- Bhandal, G.S., Singh, K., 1993b. Study of the mass attenuation coefficients and effective atomic numbers in some multielement materials. *Applied Radiation and Isotopes*, 44, 929-939.
- Creaven B.S. Devereux M, Georgieva I. Karcz D. Mccann M Trendafilova N. Walsh M., 2011. Molecular structure and spectroscopic studies on novel complexes of Coumarin-3-Carboxylic Acid with Ni(II), Co(II), Zn(II) and Mn(II) ions based on density functional theory. *Spectrochimica Acta Part A*, 84, 275-285.
- Demir, D., Turşucu, A., Öznülür, T., 2012. Studies on mass attenuation coefficient, effective atomic number and electron density of some vitamins. *Radiation and Environmental Biophysics*, 51, 469-475.
- Demir, L., Han, I., 2009. Mass attenuation coefficients, effective atomic numbers and electron densities of undoped and differently doped GaAs and InP crystals. *Annals of Nuclear Energy*, 36, 869-873.
- El-Kateb, A.H., Abdul-Hamid, A.S., 1991. Photon attenuation coefficient study of some materials containing hydrogen, carbon and oxygen. *Applied Radiation and Isotopes*, 42, 303-307.

- Ermiş, Ş., 2014. X veya γ ışını soğuran camların etkin atom ve elektron numaralarının hesaplanması. Bursa Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 50, Bursa
- Gaikwad, D. K., Pawar, P. P., Selwam, T. P., 2017. Mass attenuation coefficients and effective atomic numbers of biological compounds for gamma ray interactions. *Radiation Physics Chemistry*, 138, 75-80.
- Gill, H., Kaur, G., Singh, K., Kumar, V., Singh, J., 1998. Study of effective atomic numbers in some glasses and rocks. *Radiation Physics and Chemistry*, 51, 671-672.
- Gürol, A., 2004. Bazı ferromanyetik elementler ve bileşiklerinde x-ışını floresans tesir kesitlerine manyetik alanın etkisi. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 108, Erzurum
- Han, I., Demir, L., Şahin, M., 2009. Determination of mass attenuation coefficients, effective atomic and electron numbers for some natural minerals. *Radiation Physics and Chemistry*, 78, 760-764.
- Hine, G.J., 1952. The effective atomic number of materials for various gamma ray process. *Physical Review*, 85, 725-728.
- İçelli, O., Erzeneoğlu, S., Bomcukçuoğlu, R., 2008. Determination of molecular, atomic, electronic cross sections and effective atomic number of some boron compounds and TSW. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 266, 3226-3230.
- Kaçal, M.R., 2011. Atomik iç tabaka geçişlerinde manyetik kuadrupol-elektrik dipol katkı oranları ve açısal dağılım parametrelerinin ölçülmesi. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 109, Erzurum.
- Kaçal, M.R., Akman, F., Seyit, M.I., 2019. Investigation of radiation shielding properties for some ceramics. *Radiochimica Acta*, 107, 179-191.

- Kaya, N., 2006. $69 \leq Z \leq 76$ atom numaralı elementlerin K tabakası soğurma-sıçrama faktörlerinin tayini. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 67, Trabzon
- Kore, P.S., Pawar, P.P., 2014. Measurements of mass attenuation coefficient, effective atomic number and electron density of some amino acids. *Radiation Physics and Chemistry*, 98, 86-91.
- Kucuk, N., Cakır, M., Isitman, N.A., 2013. Mass attenuation coefficients, effective atomic numbers and effective electron densities for some polymers. *Radiation Protection Dosimetry*, 153, 127-134.
- Lemberge, P., 2000. Quantitative X-Ray fluorescence analysis using partial least squares and monte carlo simulations, Universiteit Antwerpen, Faculteit Wetenschappen, Departement Scheikunde, Phd Thesis
- Medhat, M.E., 2012. Study of the mass attenuation coefficients and effective atomic numbers in some gemstones. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 293, 555-564.
- More, C.V., Lokhande, R.M., Pawar, P.P., 2016. Effective atomic number and electron density of amino acids within the energy range of 0.122-1.330 MeV. *Radiation Physics and Chemistry*, 125, 14-20.
- Obaid, S.S., Gaikwad, D.K., Pawar, P.P., 2018. Determination of gamma ray shielding parameters of rocks and concrete. *Radiation Physics and Chemistry*, 144, 356-360.
- Oto, B., Yıldız, N., Akdemir, F., Kavaz, E., 2015. Investigation of gamma radiation shielding properties of various ores. *Progress in Nuclear Energy*, 85, 391-403.
- Pawar, P.P., Bichile, G.K., 2013. Studies on mass attenuation coefficient, effective atomic number and electron density of some amino acids in the energy range 0.122-1.333 MeV. *Radiation Physics and Chemistry*, 92, 22-27.
- Polat, R., Yalçın, Z., İçelli, O., 2011. The absorption jmp factor of effective atomic number and electronic density for some barium compounds. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 629, 185-191.

Sayyed, M.I., Akman, F., Kaçal, M.R., Kumar, A., 2019. Radiation protective qualities of some selected lead and bismuth salts in the wide gamma energy region. Nuclear Engineering and Technology, 51, 860-866.

Şahin, Y., 2013. X-ışını spektroskopisi ders kitabı. Çimke Yayınları

Williams, K.L., 1987. An introduction to x-ray spectrometry: x-ray fluorescence and electron microprobe analysis, Allen and Unwin, London.

Yasaka, P., Pattanaboonmee, N., Kim, H.J., Limkitjaroen, P., Kaewkhao, J., 2014. Gamma radiation shielding and optical properties measurements of zinc bismuth borate glasses. Annals of Nuclear Energy, 68, 4-9.



ÖZGEÇMİŞ

1987 yılında Giresun'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Giresun'da tamamladı. 2007 yılında girdiği Atatürk Üniversitesi Fizik Öğretmenliği Bölümünden 2012 yılında mezun oldu. 2014 yılında Giresun Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı.

