

Bazı Seçilen Ferrit Seramikler İçin Radyasyon Soğurma Parametrelerinin Hesaplanması

Mehmet Fatih TURHAN¹ Fatma AKDEMİR² Ferdi AKMAN³ Aslı ARAZ⁴ Rıdvan DURAK⁴

ÖZET: Ferrit seramikleri nispeten düşük maliyetli, üretilmesi kolay, mükemmel korozyon ve demanyetizasyon direnci özelliklerinden dolayı en yaygın kullanılan kalıcı mıknatıs malzemeleridir. Ferrit seramikler tıbbi cihazlarda, manyetik terapide, manyetik oyuncaklarda, hoparlörlerde, mikrofonlarda, ses sistemlerinde, kalıcı manyetik aktüatörlerde, watt-saat metrelerde, sensörlerde, cep telefonlarında, elektrik motorlarında, vb. kullanılırlar. Bu çalışmada 1 keV ile 100 GeV enerji aralığında BaFe₁₂O₁₉, SrFe₁₂O₁₉, Y₃Fe₅O₁₂, LiFeO₂ için kütle soğurma katsayıları, moleküler tesir kesitleri, atomik tesir kesitleri, elektronik tesir kesitleri, etkin atom numaraları ve etkin elektron yoğunlukları incelenmiştir. Soğurma parametrelerinin değişimi fotoelektrik etki, Compton saçılması ve çift oluşum süreçleriyle yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ferrit seramik, Kütle soğurma katsayısı, Tesir kesiti, Etkin atom numarası, Etkin elektron yoğunluğu

Calculation of Radiation Absorption Parameters for Some Selected Ferrite Ceramics

ABSTRACT: Ferrite ceramics are the most commonly used permanent magnet materials because comparatively low-cost, easy to produce, excellent corrosion and demagnetization resistance properties. Ferrite ceramics are utilized in the medical devices, magnetic therapy, magnetic toys, speakers, microphones, audio systems, permanent magnetic actuators, watt-hour meters, sensors, cell phones, electric motors, etc. In this study, mass attenuation coefficients, molecular cross sections, atomic cross sections, electronic cross sections, effective atomic numbers and effective electron densities were investigated in the energy range from 1 keV to 100 GeV for BaFe₁₂O₁₉, SrFe₁₂O₁₉, Y₃Fe₅O₁₂, LiFeO₂. The changes in the absorption parameters were interpreted with the photoelectric effect, Compton scattering and pair production processes.

Keywords: Ferrite ceramic, Mass attenuation coefficient, Cross section, Effective atomic number, Effective electron density

¹ Mehmet Fatih TURHAN (Orcid ID: 0000-0002-0676-9481), Afyonkarahisar Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Atatürk Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Görüntüleme ve Teknikleri Programı, Afyonkarahisar, Türkiye

² Fatma AKDEMİR (Orcid ID: 0000-0003-1934-6979), Giresun Üniversitesi, Tirebolu Mehmet Bayrak Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, Giresun, Türkiye

³ Ferdi AKMAN (Orcid ID: 0000-0002-8838-1762), Bingöl Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elektronik Haberleşme Teknolojisi Programı, Bingöl, Türkiye

⁴ Aslı ARAZ (Orcid ID: 0000-0002-2443-8731), Rıdvan Durak (Orcid ID: 0000-0002-3935-176X), Atatürk Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Erzurum, Türkiye

* Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Mehmet Fatih TURHAN, e-mail: m.f.turhan@hotmail.com

GİRİŞ

Fotonun madde ile etkileşimi temelde inkoherent saçılma, koherent saçılma, fotoelektrik soğurma ve çift oluşumu süreçleriyle meydana gelir. Birim alan başına birim kütlede soğurmanın ölçüsü olan kütle soğurma katsayısı, maddenin atomik ve moleküler enerji seviyelerinin esas özellikleri hakkında geniş bir bilgi edinmemizin yanı sıra sağlıkta, endüstriyel uygulamalarda, nükleer fiziğin temel çalışmalarında ve tarım gibi pek çok alanda oldukça büyük bir öneme sahiptir. Kütle soğurma katsayıları kullanılarak kütle enerji soğurma katsayıları, toplam etkileşim tesir kesitleri, molar yok olma katsayıları, moleküler, atomik, elektronik tesir kesitleri, etkin atom numaraları, elektron yoğunlukları gibi bir dizi ilişkili parametreler hesaplanabilir.

Literatürde soğurma parametreleri ile ilgili deneysel ve teorik çalışmalar mevcuttur. Bu doğrultuda, Hubbell (1982) 1 keV ile 20 MeV enerji aralığında bazı bileşik ve karışımlar için gama ışını kütle soğurma katsayısı verilerini yayınlamıştır. 1987 yılında, herhangi bir element, bileşik veya karışım için tesir kesitlerini ve kütle soğurma katsayılarını belirleyen Dos tabanlı bilgisayar programı olan XCOM geliştirilmiştir (Berger ve Hubbel, 1987). Hubbell ve Seltzer (1995) atom numarası $1 < Z < 92$ arasındaki elementler için X-ışını soğurma katsayılarını ve kütle enerji soğurma katsayılarını literatüre sunmuşlardır. Gerward ve ark. (2001) iyi bilinen ve çok kullanılan XCOM programını Windows versiyonu olan WinXCOM'a dönüştürmüşlerdir. Bazı çelik örnekleri için farklı enerjilerde etkin atom numaraları ve etkin elektron yoğunlukları Akkurt (2009) tarafından belirlenmiştir. Kaçal ve ark. (2017) bazı enzim inhibitörleri için kütle soğurma katsayılarını, moleküler, atomik, elektronik tesir kesitlerini, etkin atom numaralarını ve etkin elektron yoğunluklarını 1 keV ile 100

GeV aralığındaki farklı enerjiler için teorik olarak hesaplamışlardır. Singh ve ark. (1995) bazı inorganik bileşikler için kütle soğurma katsayılarını ve etkin atom numaralarını farklı enerjilerde (10^{-2} MeV - 10^5 MeV) deneysel ve teorik olarak belirlemişlerdir. Kadam ve ark. (2007) $MgFe_2O_4$ ferrit malzeme için lineer soğurma katsayılarını, kütle soğurma katsayılarını, azaltma tesir kesitlerini, elektronik tesir kesitlerini, etkin atom numaralarını $0.36 \leq E \leq 1.28$ MeV enerji aralığındaki 5 farklı enerjide deneysel olarak belirlemiş ve hesapladıkları teorik değerlerle birlikte literatüre sunmuşlardır. Vejdani-Noghreyyan ve ark. (2016) bazı kurşun temelli seramikler için kütle soğurma katsayılarını deneysel ve teorik olarak belirlemişlerdir. $BaAl_2Ti_6O_{16}$, $CaTiO_3$, $CaZrTi_2O_7$, $Pb_{10}(VO_4)_{4.8}(PO_4)_{1.2}I_2$, $ZrSiO_4$ için kütle soğurma katsayıları Singh ve ark. (2018) tarafından belirlenmiştir. Baltaş ve Çevik (2008) $YBa_2Cu_3O_{7-8}$ süper iletkeni için 59.5, 65.2, 77.1, 94.6, 122 ve 136 keV enerjilerde ölçtükleri kütle soğurma katsayılarından yararlanarak etkin atom numaralarını ve etkin elektron yoğunluklarını belirlemişlerdir. Ti, Ni, Co, Cu elementleri SiO_2 , $KAlSi_3O_8$, $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, FeS_2 ve $Mg_2Si_2O_6$ bileşikleri ve $Ti_{0.7-0.3}Ni_{0.3-0.7}$, $Ti_{0.8-0.2}Co_{0.2-0.8}$, $Co_{0.8-0.2}Cu_{0.2-0.8}$ alaşımları için kütle soğurma katsayıları 22.1, 25.0, 59.5 ve 88.0 keV enerjilerde rezülasyonu 5.9 keV'de 160 eV olan bir Si(Li) dedektör kullanılarak deneysel bir şekilde ölçülmüş ve elde edilen soğurma katsayıları kullanılarak etkin atom numaraları ve elektron yoğunlukları hesaplanmıştır (Han ve ark., 2009a, b, c). Pawar ve Bichile (2013), Kore ve Pawar (2014) Glisine ($C_2H_5NO_2$), DL-Alanin ($C_3H_7NO_2$), Prolin ($C_5H_9NO_2$), L-Lösin ($C_6H_{13}NO_2$), L-Arjinin ($C_6H_{14}N_4O_2$), L-Arjinin Monohidroklorür ($C_6H_{15}ClN_4O_2$), DL-aspartik asit LR($C_4H_7NO_4$), L-glutamin ($C_4H_{10}N_2O_3$), kreatin monohidrat LR($C_4H_9N_3O_2H_2O$),

kreatinin hidroklorür ($C_4H_7N_3O.HCl$), L-asparajin monohidrat ($C_4H_9N_3O_2H_2O$), L-metiyonin $LR(C_5H_{11}NO_2S)$ amino asitleri için 122, 356, 511, 662, 1170, 1275 ve 1330 keV enerjilerde $NaI(Tl)$ dedektör kullanılarak kütle soğurma katsayılarını, etkin atom numaralarını ve etkin elektron yoğunluklarını deneysel bir şekilde ölçmüşlerdir. Akman ve ark. (2015) bazı samaryum bileşikleri için K tabakası soğurma kıyısı civarında kütle soğurma katsayılarını, etkin atom numaralarını ve etkin elektron yoğunluklarını $36.847 \leq E \leq 57.142$ keV enerji aralığında farklı elementlerin karakteristik X-ışınlarını kullanarak deneysel olarak tayin etmişlerdir. Singh ve ark. (2015) lantanit oksitler ve Akça ve Erzeneoğlu (2014) biyomedikal öneme sahip elementler için 100 mCi'lik Am-241 kaynaktan yayımlanan 59.54 keV'lik gama fotonlarını kullanarak kütle soğurma katsayılarını, etkin atom numaralarını ve elektron yoğunluklarını deneysel olarak belirlemiş ve teorik olarak hesaplanmış değerlerle birlikte tablolar ve grafikler halinde literatüre sunmuşlardır. Akman ve ark. (2017) Gd, Dy, Er, Yb elementleri ve bu elementlerin bazı bileşikleri için $13.92 \leq E \leq 59.54$ keV enerji aralığındaki bazı enerjilerde $Si(Li)$ dedektör kullanarak kütle soğurma katsayılarını belirlemiş ve elde edilen kütle soğurma katsayılarını kullanarak etkin atom numaralarını ve etkin elektron yoğunluklarını hesaplamışlardır. Manjunatha (2017) polimetil metakrilat ve kapton için kütle soğurma katsayılarını, etkin atom numaralarını ve etkin elektron yoğunluklarını $NaI(Tl)$ dedektör kullanarak $84 \leq E \leq 1330$ keV enerji aralığında olan 11 farklı enerjide ölçmüştür. Ayrıca araştırmacı polimetil metakrilat ve kapton polimerleri için enerji soğurma ve maruz kalma yığılma (build-up) faktörlerini $0.015 \leq E \leq 15$ MeV enerji aralığındaki farklı enerjiler için teorik olarak hesaplamıştır.

Literatürde çeşitli malzemeler için soğurma parametreleri çalışmalarına oldukça sık rastlanmasına rağmen ferrit seramikler için bu çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bu çalışmada $BaFe_{12}O_{19}$, $SrFe_{12}O_{19}$, $Y_3Fe_5O_{12}$, $LiFeO_2$ ferrit seramikler için kütle soğurma katsayıları, moleküler tesir kesitleri, atomik tesir kesitleri, elektronik tesir kesitleri, etkin atom numaraları, etkin elektron yoğunlukları 1 keV ile 100 GeV aralığındaki farklı enerjiler için teorik olarak hesaplanmıştır.

Teorik Hesaplamalar

Çalışmada X veya γ ışını azaltma tekniği esas alınmıştır. Bu teknikte soğuruculu ve soğurucusuz ortamlarda farklı enerjilerde X veya γ ışını sayımı yapılarak kütle soğurma katsayıları belirlenebilir.

Toplam kütle soğurma katsayısı,

$$I = I_0 e^{-(\mu/\rho)\rho x} \quad (1)$$

eşitliği ile bulunur ve burada, μ lineer soğurma katsayısı (cm^{-1}), ρ numunenin yoğunluğu (g/cm^3), x numunenin kalınlığı (cm), I_0 soğurucusuz alınan sayım değeri ve I radyasyonun numune kalınlığı boyunca nüfuz ettiği sayım değeridir. Çalışmada kütle soğurma katsayılarının belirlenmesi için WinXCOM (Gerward ve ark., 2001) programı kullanılmıştır.

W_A, W_B, W_C, \dots ağırlık kesrindeki A, B, C, \dots elementlerinden oluşmuş bir bileşiğin, çözeltinin ya da karışımın kütle soğurma katsayısı aşağıdaki eşitlik ile bulunur.

$$\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{A,B,C} = \sum W_i \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{A,B,C} = W_A \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_A + W_B \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_B + W_C \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_C + \dots \quad (2)$$

Moleküler tesir kesitlerinin hesaplanması için aşağıdaki eşitlik kullanılır.

$$\sigma_{i,m} = \frac{1}{N} (\mu/\rho)_{bil.} \sum (n_i A_i) \quad (3)$$

Burada, N Avogadro sayısı, n_i bileşikteki i. elementin atom sayısı, A_i i. elementin atomik

ağırlığı, $(\mu/\rho)_{bil}$ bileşiğin kütle soğurma katsayısıdır.

Toplam atomik tesir kesiti eşitlik 3 ile ifade edilen moleküler tesir kesitleri kullanılarak aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanır.

$$\sigma_{t,a} = \sigma_{t,m} \frac{1}{\sum_i n_i} \quad (4)$$

Bir element için toplam elektronik tesir kesiti;

$$\sigma_{t,e} = \frac{1}{N} \sum \frac{f_i A_i}{Z_i} \left(\frac{\mu}{\rho} \right)_i \quad (5)$$

ile ifade edilir. Burada, f_i bileşikteki i elementin atom sayısının bütün elementlerin toplam atom sayısına oranı, $(\mu/\rho)_i$ bileşikteki i elementin toplam kütle soğurma katsayısıdır.

Atomik ve elektronik tesir kesiti etkin atom numarasına aşağıdaki eşitle bağlıdır.

$$Z_{et} = \frac{\sigma_{t,a}}{\sigma_{t,e}} \quad (6)$$

Elektron yoğunluğunu ise etkin atom numarasına aşağıdaki eşitlik ile bağlıdır;

$$N_{et} = \frac{Z_{et}}{A_{top.}} (N n_{top.}) \quad (7)$$

burada, $A_{top.}$ bileşik içindeki elementlerin toplam atomik ağırlığıdır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

BaFe₁₂O₁₉ (baryum hekzaferrit), SrFe₁₂O₁₉ (stronsiyum hekzaferrit), Y₃Fe₅O₁₂ (itriyum demir granat), LiFeO₂ (lityum ferrit) ferrit seramikler 1 keV ile 100 GeV aralığındaki farklı enerjilerde toplam kütle soğurma katsayıları, moleküler tesir kesitleri, atomik tesir kesitleri, elektronik tesir kesitleri, etkin atom numaraları ve etkin elektron yoğunlukları teorik olarak hesaplanmıştır. Seramiklerin 1 keV ile 100 GeV aralığındaki farklı enerjilerdeki kütle soğurma katsayılarını belirlemek için WinXCOM (Gerward ve ark., 2001) programı kullanılmıştır. Bazı

radyoizotop kaynaklardan yayımlanan fotonların karakteristik enerjileri için kütle soğurma kaynakları Tablo 1 de verilmiştir. Hesaplanan kütle soğurma katsayıları Eşitlik 3. de kullanılarak moleküler tesir kesitleri belirlenmiştir. Atomik ve elektronik tesir kesitleri Eşitlik 4. ve Eşitlik 5. yardımıyla hesaplanmıştır. Etkin elektron yoğunlukları ise Eşitlik 6. dan elde edilen etkin atom numarası değerlerinin Eşitlik 7. de kullanılmasıyla elde edilmiştir.

BaFe₁₂O₁₉, SrFe₁₂O₁₉, Y₃Fe₅O₁₂, LiFeO₂ ferrit seramikler için kütle soğurma katsayıları, moleküler, atomik ve elektronik tesir kesitlerinin teorik değerleri enerjinin fonksiyonu olarak Şekil 1 de verilmiştir. Şekil 1 den de görüldüğü üzere, BaFe₁₂O₁₉, SrFe₁₂O₁₉, Y₃Fe₅O₁₂, LiFeO₂ ferrit seramikler için kütle soğurma katsayıları, moleküler, atomik, elektronik tesir kesitlerinin teorik değerlerinin enerjiye ve seramiğin kimyasal yapıya bağlılığı açıkça gözlemlenmiştir. Ayrıca artan enerjiye bağlı olarak kütle soğurma katsayılarının, moleküler, atomik ve elektronik tesir kesitlerinin azaldığı ve literatürdeki farklı materyaller için yapılan çalışmalarla benzer özellikler gösterdiği (Singh ve ark. 2018, Akman ve ark. 2018) gözlemlenmiştir.

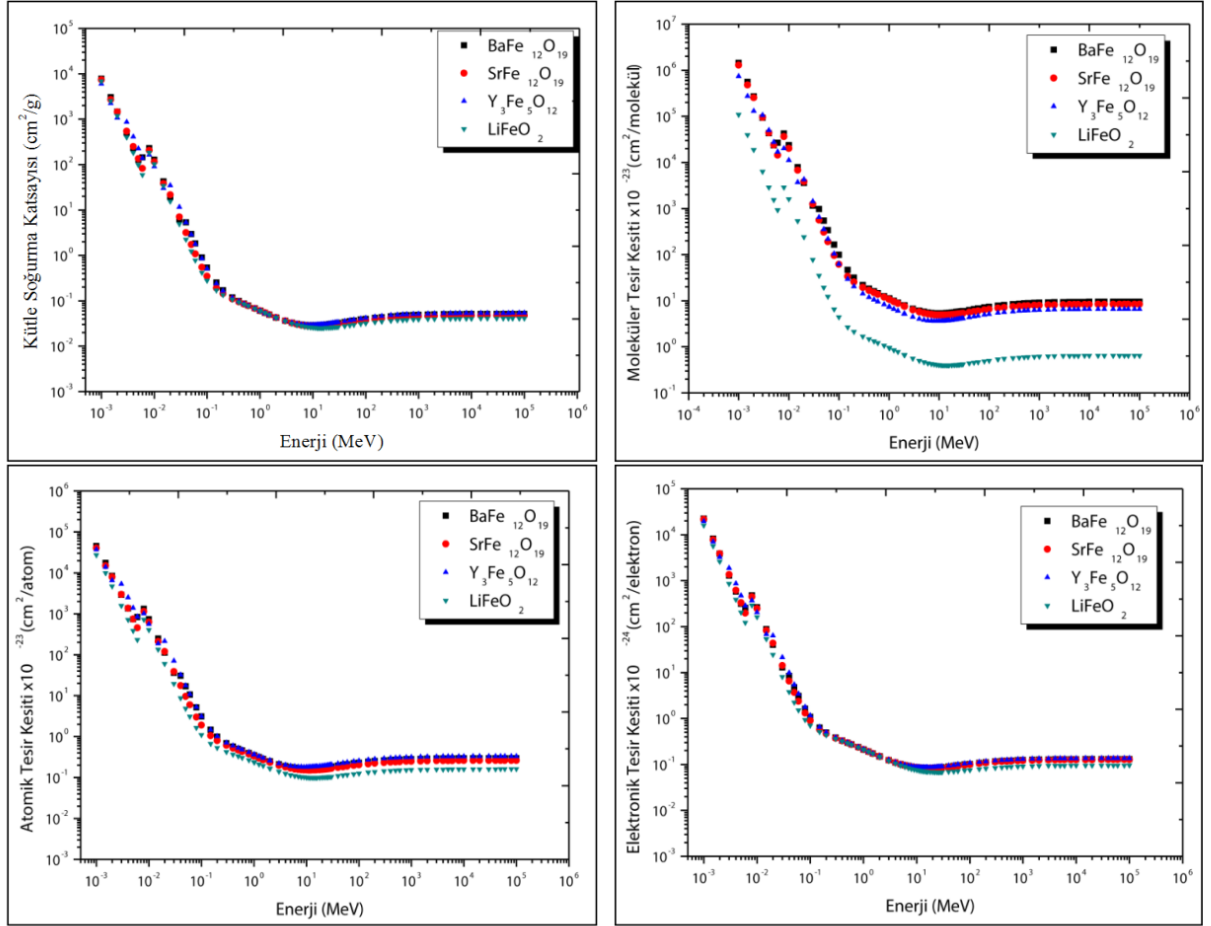
1 keV ile 100 GeV aralığındaki farklı enerjilerdeki BaFe₁₂O₁₉, SrFe₁₂O₁₉, Y₃Fe₅O₁₂, LiFeO₂ ferrit seramiklerin etkin atom numaraları ve etkin elektron yoğunlukları enerjinin fonksiyonu olarak Şekil 2 ve Şekil 3 verilmiştir. Ayrıca Şekil 4 de, etkin elektron yoğunluğu değerleri etkin atom numarasın fonksiyonu olarak çizilmiştir. Farklı materyaller için yapılan benzer çalışmalar (Kaur ve ark. 2017, Kaçal ve ark. 2017, Issa ve ark. 2018) ve Şekil 2-3 den de görüldüğü gibi, etkin atom numaraları etkin elektron yoğunlukları ile benzer eğilimler göstermektedir. Etkin atom numarası ve etkin

elektron yoğunluk değerleri enerjiye bağlı olarak karakteristik özellikler göstermiştir. Ayrıca etkin atom numaraları ve etkin elektron yoğunlukları düşük enerji bölgesinde artan enerjiyle neredeyse eksponansiyel bir şekilde azalma göstermektedir. Bunun nedeni fotoelektrik etkileşimin bu enerji bölgesinde baskın olmasıdır. Genellikle fotoelektrik etkileşim düşük enerji bölgesinde Z^4 , yüksek enerji bölgesinde Z^5 ile değişir. Bu etki $E^{3,5}$ ile ters orantılı olarak değişir. Şekil 2 ve Şekil 3 den görüldüğü gibi, orta enerji bölgesinde etkin atom numaraları ve etkin elektron yoğunlukları Compton saçılmasından dolayı en küçük değerlerini alır. Değerler bu enerji bölgesinde

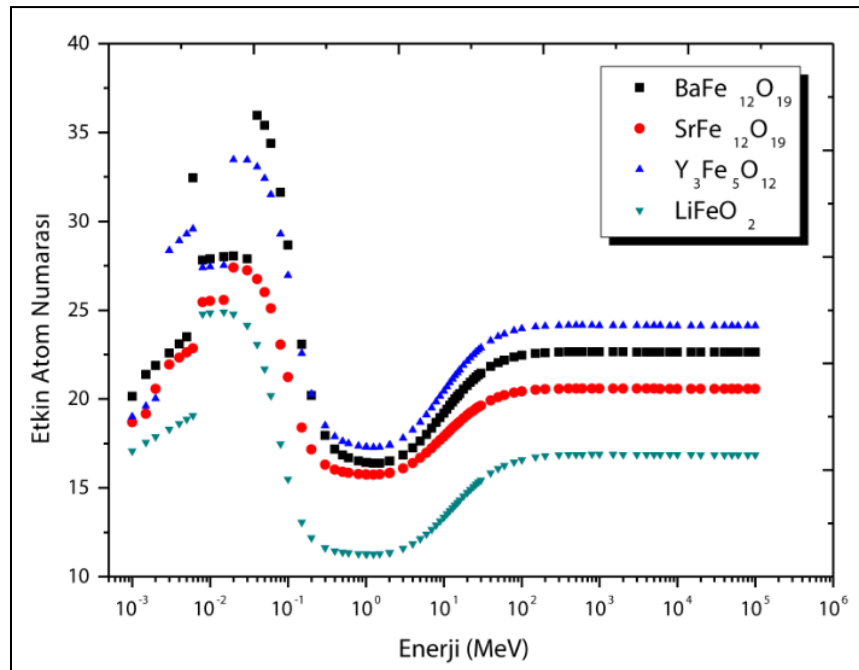
neredeyse sabittir. Bunun nedeni, Compton saçılmasının orta enerji bölgesinde Z ile değişmesidir. Ayrıca saçılma etkisi E ile ters orantılı olarak değişir. Yüksek enerji bölgesinde ise, etkin atom numarası ve etkin elektron yoğunluk değerleri enerjinin bir fonksiyonu olarak tekrar yükselmektedir. Şekil 2 ve Şekil 3 den görüldüğü gibi, yüksek enerji bölgesinde çift oluşum etkileşimi baskındır. Çift oluşum ise Z^2 ile ve E ile doğru orantılıdır (Kadam ve ark. 2007, Issa ve ark. 2018). Şekil 4 den de görüldüğü üzere etkin elektron yoğunluğunun artan etkin elektron numarasıysa lineer bir artışa sahip olduğu söylenebilir.

Tablo 1. Bazı radyoizotop kaynaklar için kütle soğurma katsayıları (cm^2/g)

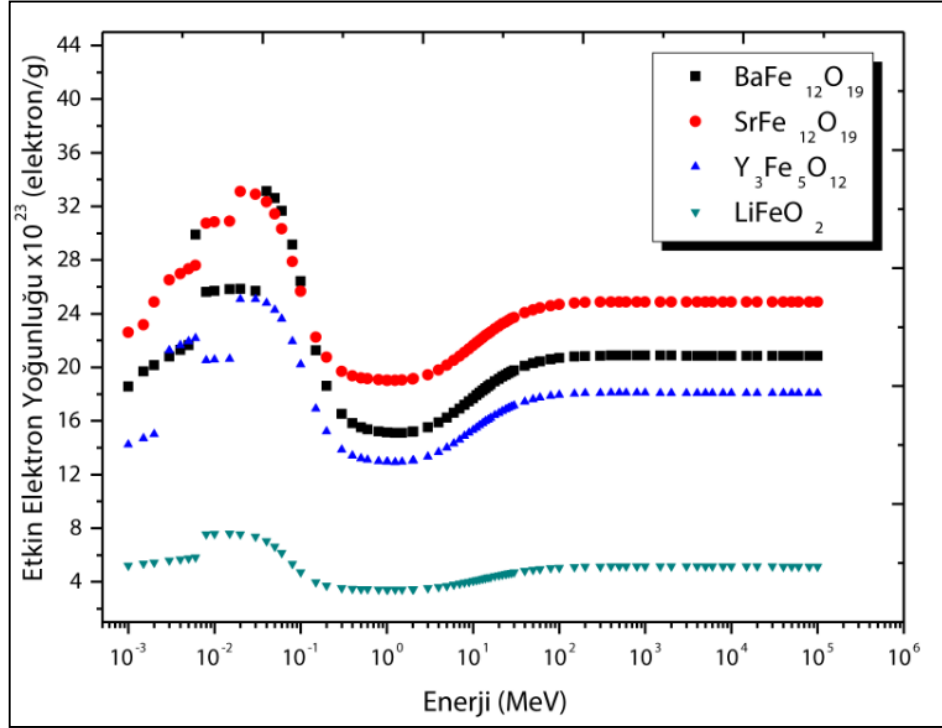
Kaynak	Enerji (keV)	BaFe ₁₂ O ₁₉	SrFe ₁₂ O ₁₉	Y ₃ Fe ₅ O ₁₂ ,	LiFeO ₂
⁵⁷ Co	14.41	47.697	42.717	33.823	38.251
¹³³ Ba	53.16	2.506	1.475	2.441	1.057
²⁴¹ Am	59.54	1.867	1.102	1.804	0.799
¹³³ Ba	79.61	0.905	0.552	0.860	0.421
¹³³ Ba	80.99	0.869	0.532	0.825	0.407
⁵⁷ Co	122.06	0.359	0.250	0.340	0.212
⁵⁷ Co	136.47	0.294	0.214	0.279	0.187
¹³³ Ba	276.39	0.127	0.116	0.123	0.112
¹³³ Ba	302.85	0.118	0.110	0.115	0.107
¹³³ Ba	356.01	0.106	0.101	0.104	0.099
¹³³ Ba	383.85	0.101	0.097	0.099	0.096
¹³⁷ Cs	661.65	0.075	0.074	0.074	0.074



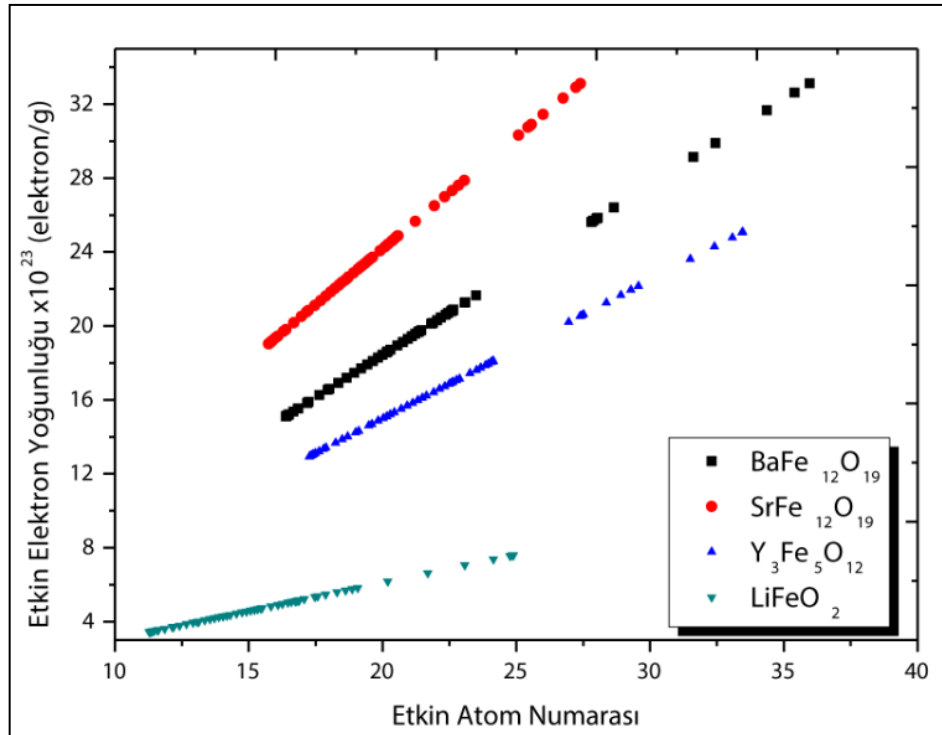
Şekil 1. Kütütle Soğurma Katsayıları, Moleküler, Atomik, Elektronik Tesir Kesitlerinin enerjiye göre değişimi



Şekil 2. Etkin atom numarasının enerjiye göre değişimi



Şekil 3. Etkin elektron yoğunluğunun enerjiye göre değişimi



Şekil 4. Etkin elektron yoğunluğunun etkin atom numarasına göre değişimi

SONUÇ

Bu çalışmada $BaFe_{12}O_{19}$, $SrFe_{12}O_{19}$, $Y_3Fe_5O_{12}$, $LiFeO_2$ ferrit seramikler için kütle soğurma katsayıları, moleküler tesir kesitleri, atomik tesir kesitleri, elektronik tesir kesitleri, etkin atom numaraları, etkin elektron yoğunlukları 1 keV ile 100 GeV aralığındaki farklı enerjiler için teorik olarak hesaplanmıştır. Literatürde ferrit seramiklerin foton etkileşim parametreleri ile ilgili oldukça sınırlı sayıda çalışma vardır. Ferrit seramiklerin foton etkileşim parametrelerinin incelenmesi atom ve molekül fiziği, sağlık fiziği, otomotiv endüstrisi, ses sistemleri endüstrisi gibi pek çok alan için yararlı bilgiler içerdiğine inanılmaktadır.

KAYNAKLAR

- Akça B. and Erzeneoğlu SZ, 2014. The Mass Attenuation Coefficients, Electronic, Atomic, and Molecular Cross Sections, Effective Atomic Numbers, and Electron Densities for Compounds of Some Biomedically Important Elements at 59.5 keV. *Science and Technology of Nuclear Installations*, 901465:1-8.
- Akkurt I, 2009. Effective atomic and electron numbers of some steels at different energies. *Annals of Nuclear Energy*, 36:1702-1705.
- Akman F, Durak R, Turhan MF, Kaçal MR, 2015. 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, Kaçal MR, Akman F, Soylu MS, 2017. Determination of effective atomic numbers and electron densities from mass attenuation coefficients for some selected complexes containing lanthanides. *Canadian Journal of Physics*, 95:1005-1011.
- Akman F, Geçibesler IH, Sayyed, MI, Tijani SA, Tufekci AR, Demirtas I, 2018. Determination of some useful radiation interaction parameters for waste foods. *Nuclear Engineering and Technology*, 50: 944-949.
- Baltaş H, Çevik U, 2008. Determination of the effective atomic numbers and electron densities for YBaCuO superconductor in the range 59.5–136 keV. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 266:1127–1131.
- Berger MJ and Hubbell JH, 1987. XCOM photon cross sections on a personal computer. NBSIR 87-3597. National Bureau of Standards (former name of NIST). Gaithersburg, MD. Available from: <<http://physics.nist.gov/xcom>>.
- Gerward L, Guilbert N, Jensen KB, Levring H, 2001. X-ray absorption in matter, reengineering XCom. *Radiation Physics and Chemistry*, 60:23-24.
- Han I, Demir L, Şahin M, 2009a. Determination of mass attenuation coefficients, effective atomic and electron numbers for some natural minerals. *Radiation Physics and Chemistry*, 78:760–764.
- Han I and Demir L, 2009b. Mass attenuation coefficients, effective atomic and electron numbers of Ti and Ni alloys. *Radiation Measurements*, 44:289–294.
- Han I and Demir L, 2009c. Studies on effective atomic numbers, electron densities from mass attenuation coefficients in Ti_xCo_{1-x} and Co_xCu_{1-x} alloys. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 267:3505–3510.
- Hubbell JH, 1982. Photon mass attenuation and energy absorption coefficients from 1 keV to 20 MeV. *The International Journal of Applied Radiation and Isotopes*, 33:1269–1290.
- Hubbell JH and Seltzer SM, 1995. Tables of X-ray attenuation coefficients and mass energy-absorption coefficients from 1 keV–20 MeV for elements Z-1 to 92 and 48 additional substances of dosimetry interest. NISTIR 5632.

- Issa SAM, Sayyed MI, Zaid MHM, Matori KA, 2018. Photon parameters for gamma rays sensing properties of some oxide of lanthanides. *Results in Physics*, 9:206-210.
- Kadam RH, Alone ST, Bichile GK, Jadhav KM, 2007. Measurement of atomic number and mass attenuation coefficient in magnesium ferrite. *Pramana - Journal of Physics*, 68(5):869-874.
- Kaçal MR, Karataş HA, Akman F, 2017. Photon Absorption characteristics of some selected Enzyme Inhibitors used in Cancer Research in the Energy range 1 keV-100 GeV. *Journal of Radiology and Oncology*, 1:60-68.
- Kaur P, Singh T, Singh D, 2017. Photon Interaction Parameters for Some ZnO–Al₂O₃–Fe₂O₃–P₂O₅ Glasses. *Glass Physics and Chemistry*, 43(3):227-232.
- Kore PS, Pawar PP, 2014. Measurements of mass attenuation coefficient, effective atomic number and electron density of some amino acids. *Radiation Physics and Chemistry*, 98:86–91.
- Manjunatha HC, 2017. A study of gamma attenuation parameters in poly methyl methacrylate and Kapton. *Radiation Physics and Chemistry*, 137:254–259.
- Pawar PP, Bichile GK, 2013. Studies on mass attenuation coefficient, effective atomic number and electron density of some amino acids in the energy range 0.122–1.330 MeV. *Radiation Physics and Chemistry*, 92:22–27.
- Singh G, Gupta MK, Dhaliwal AS, Kahlon KS, 2015. Measurement of attenuation coefficient, effective atomic number and electron density of oxides of lanthanides by using simplified ATM-method. *Journal of Alloys and Compounds*, 619:356–360.
- Singh K, Kaur R, Vandana, Kumar V, 1995. Study of effective Atomic Numbers and Mass Attenuation Coefficients in Some Compounds. *Radiation Physics and Chemistry*, 47:535-541.
- Singh VP, Badiger NM, Korkut T, 2018. Gamma exposure buildup factors and neutron total cross section of ceramic hosts for high level radioactive wastes. *Progress in Nuclear Energy*, 104:1-7.
- Vejdani-Noghreiyani A, Aliakbari E, Ebrahimi-Khankook A, Ghasemifard M, 2016. Theoretical and experimental determination of mass attenuation coefficients of lead-based ceramics and their comparison with simulation. *Nuclear Technology & Radiation Protection*, 31(2):142-149.