

Atıf İçin: Turhan MF, 2021. Anjiyotensin Dönüştürücü Enzim İnhibitörlerinin Foton Etkileşim Parametrelerinin İncelenmesi. İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 11(2):1114-1126.

To Cite: Turhan MF, 2021. Investigation of Photon Interaction Parameters of Angiotensin Converting Enzyme Inhibitors. Journal of the Institute of Science and Technology, 11(2):1114-1126.

Anjiyotensin Dönüştürücü Enzim İnhibitörlerinin Foton Etkileşim Parametrelerinin İncelenmesi

Mehmet Fatih TURHAN^{1, *}

ÖZET: Bu çalışmada bazı anjiyotensin dönüştürücü enzim (ADE) inhibitörlerinin kütle azaltma katsayıları, lineer azaltma katsayıları, yarı tabaka kalınlıkları, onda bir tabaka kalınlıkları, ortalama serbest yolları, etkin atom numaraları ve etkin elektron yoğunlukları $1 \text{ keV} \leq E \leq 100 \text{ GeV}$ enerji aralığındaki farklı enerji için teorik olarak belirlenmiştir. Ayrıca, ADE inhibitörlerinin enerji soğurma yığılma faktörleri ve maruz kalma yığılma faktörleri $0.015 \text{ MeV} \leq E \leq 15 \text{ MeV}$ enerji aralığındaki bazı enerji değerleri için 40 *mfp* ye kadar farklı penetrasyon derinliklerinde geometrik ilerleme (G-İ) fit katsayıları kullanılarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: ADE inhibitörleri, kütle azaltma katsayısı, tabaka kalınlığı, etkin atom numarası, etkin elektron yoğunluğu, yığılma faktörleri.

Investigation of Photon Interaction Parameters of Angiotensin Converting Enzyme Inhibitors

ABSTRACT: In this study, mass attenuation coefficient, linear attenuation coefficient, half value layers, tenth value layers, mean free paths, effective atomic numbers and effective electron densities for different energies in the energy range from $1 \text{ keV} \leq E \leq 100 \text{ GeV}$ for Angiotensin converting enzyme (ACE) inhibitors were theoretically determined. Also, energy absorption build-up factors and exposure build-up factors for ACE inhibitors were calculated using the geometric progression (G-P) fitting coefficients for some energy values in the energy region of $0.015 \text{ MeV} \leq E \leq 15 \text{ MeV}$ for different penetration depths up to 40 *mfp*.

Keywords: ACE inhibitors, mass attenuation coefficient, value layer, effective atomic number, effective electron density, build-up factors

¹ Mehmet Fatih TURHAN ([Orcid ID: 0000-0002-0676-9481](https://orcid.org/0000-0002-0676-9481)) Afyonkarahisar Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Atatürk Sağlık Hizmetler Meslek Yüksek Okulu, Tıbbi Hizmetler ve Teknikleri Bölümü, Tıbbi Görüntüleme Teknikleri Programı, Afyonkarahisar, Türkiye.

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

GİRİŞ

Monokromatik fotonlar madde içerisinde geçerken, fotonların madde ile etkileşimi sonucu sayılarında bir azalma meydana gelir. Bu etkileşim fotoelektrik soğurma, Compton saçılması, Delbruck saçılması, Rayleigh saçılması, çift oluşumu gibi farklı süreçlerle sonuçlanabilir. Etkileşimler arasında en baskın olanları hiç şüphesiz fotoelektrik olay, Compton olayı ve çift oluşumdur. Fotonların madde ile etkileşimlerinden yararlanılarak element, bileşik, alaşım gibi farklı materyallerin kütle azaltma katsayıları, azaltma tesir kesitleri, fotoelektrik tesir kesitleri, Compton tesir kesitleri, çift oluşum tesir kesitleri, vb gibi temel parametrelerin elde edilmesi sağlanır. Bu parametreler hakkında güvenilir bilgi tıp, eczacılık, fizik, kimya alanları başta olmak üzere tarım, makine sanayi gibi diğer pek çok alandaki araştırma ve uygulamalar için oldukça büyük bir öneme sahiptir.

Literatürde çeşitli camlar (Singh ve ark., 2019; Kaur ve ark., 2019; Aşkın ve ark., 2019; Kilicoglu, 2019; Mahmoud ve ark., 2019; Uosif ve ark., 2020; Sayyed ve ark., 2019; Susoy, 2020; Tekin ve ark., 2020), alaşımlar (Agar ve ark., 2019; Manjunatha ve ark., 2019; Akman ve ark., 2019a, b), seramikler (Sayyed ve ark., 2018; Akman ve ark., 2019c) ve bileşikler (Sayyed, 2016; Singh ve Badiger, 2016; Al-Hamarneh ve ark., 2017; Sathiyaraj ve ark., 2017; Lokhande ve ark., 2017; Chen ve ark., 2018; Issa ve ark., 2018; Singh ve ark., 2018; Akman ve ark., 2019d; Al-Buriahı ve ark., 2019) için azaltma parametreleri ile ilgili deneysel ve teorik çalışmalara rastlamak mümkündür. Singh ve ark. (2019) bazı ZnO-Al₂O₃-Fe₂O₃-P₂O₅ cam sistemleri için toplam kütle azaltma katsayılarını, toplam foton etkileşim tesir kesitlerini, etkin atom numaralarını ve etkin elektron yoğunluklarını 59.54 keV foton enerjisinde ölçmüşlerdir. Mahmoud ve ark (2019) kurşun vanadat camlar için toplam kütle azaltma katsayılarını, etkin atom numaralarını, etkin elektron yoğunluklarını, yarı tabaka kalınlıklarını, enerji soğurma ve maruz kalma yığılma faktörlerini belirlemişlerdir. Li₂O-B₂O₃-P₂O₅-TeO₂ cam sistemleri için kütle azaltma katsayıları, etkin atom numaraları, yarı kalınlık, onda bir kalınlık, ortalama serbest yol, enerji soğurma ve maruz kalma yığılma faktörleri farklı enerjilerde teorik olarak Susoy (2020) tarafından belirlenmiştir. Bazı alüminyum-silikon alaşımları için kütle azaltma katsayıları, lineer azaltma katsayıları, yarı tabaka kalınlığı, onda bir tabaka kalınlığı, etkin atom numaraları, etkin elektron yoğunlukları, maruz kalma yığılma faktörleri Manjunatha ve ark. (2019) tarafından belirlenmiştir. Akman ve ark. (2019b) Ag_{92.5}/Cu_{7.5}, Ag₇₂/Cu₂₈, Pd₉₄/Cr₆ ve Pd₆₀/Cu₄₀ alaşımları için kütle azaltma katsayılarını, etkin atom numaralarını, etkin elektron yoğunluklarını ve etkin iletkenliklerini 81 keV ≤ E ≤ 1333 keV enerji aralığındaki 14 farklı enerji için deneysel ve teorik olarak elde etmişlerdir. Sayyed ve ark. (2018) baryum zirkonat, baryum titanat (IV), magnezyum nitrür, baryum pirofosfat ve silisyum karbür seramik malzemeleri için kütle azaltma katsayıları, yarı tabaka kalınlıkları, onda bir tabaka kalınlıkları, radyasyondan korunma verimleri, etkin atom numaraları ve ortalama serbest yolları gibi gama radyasyonu azaltma parametrelerini belirlemişlerdir. Bazı termolümünesans dozimetrik bileşik için etkin atom numaralarının ve kerma değerlerinin yanı sıra enerji soğurma yığılma faktörleri ve maruz kalma yığılma faktörleri 0.015 MeV ≤ E ≤ 15 MeV enerji aralığındaki bazı enerji değerleri için Singh ve Badiger (2016) tarafından geometrik ilerleme (G-İ) fit katsayıları kullanılarak hesaplamışlardır. Farklı moleküler ağırlıklardaki polietilen glikol bileşikleri için kütle azaltma katsayısı, atomik, elektronik, moleküler tesir kesitleri, etkin atom numaraları, etkin elektron yoğunlukları, yarı tabaka kalınlıkları, kütle enerji-soğurma katsayıları ve kerma gibi gama-ışını azaltma parametreleri 59.5 keV ≤ E ≤ 1332.5 keV enerji aralığındaki farklı enerji için deneysel ve teorik olarak Al-Hamarneh ve ark. (2017) tarafından belirlenmiştir. Sathiyaraj ve ark. (2017) altın ve gümüş katkılı polimer jeller için 10 keV ≤ E ≤ 1 GeV arasındaki farklı enerjilerde etkin atom numaralarını ve 0.015 MeV ≤ E ≤ 15 MeV enerji aralığındaki bazı enerji değerleri için enerji soğurma yığılma faktörleri ve maruz kalma yığılma faktörlerini

hesaplamışlardır. Lokhande ve ark. (2017) C-H-O-N temelli bazı amino grup biyo materyal için azaltma parametrelerini belirlemiştir. Issa ve ark. (2018) $\text{Lu}_2\text{O}_3\text{Yb}_2\text{O}_3$, Er_2O_3 , Sm_2O_3 , Dy_2O_3 , Eu_2O_3 , Nd_2O_3 , Pr_6O_{11} , La_2O_3 ve Ce_2O_3 lantanit oksitleri için kütle azaltma katsayılarını, etkin atom numaralarını, etkin elektron yoğunluklarını, yarı tabaka kalınlıklarını, ortalama serbest yollarını, onda bir tabaka kalınlıklarını ve kerma değerlerini teorik olarak hesaplamışlardır. Singh ve ark. (2018) etilen glikol, propilen glikol, gliserin, izoamil alkol, bütanon, asetofenon, sikloheksanon, furfural, benzaldehit, sinamaldehyt, glutaraldehit, anilin, benzylamine, nitrobenzen, etilbenzen, etil format ve su molekülleri için kütle azaltma katsayıları, yarı tabaka kalınlıkları, molar yok olma katsayıları, toplam azaltma tesir kesitleri, toplam elektronik tesir kesitleri, toplam enerji soğurma katsayıları gibi foton etkileşim parametrelerini 81 keV, 122 keV, 356 keV ve 511 keV enerjilerde deneysel ve teorik olarak belirlemiştir. Biyo moleküller ve bazı tıbbi aromatik bitkiler için kütle azaltma katsayıları, etkin atom numaraları, elektron yoğunlukları gibi foton azaltma parametreleri Al-Buriahi ve ark. (2019) ve Akman ve ark. (2019d) tarafından belirlenmiştir.

Anjiyotensin dönüştürücü enzim inhibitörleri günümüzde özellikle hipertansiyon, kalp yetmezliği gibi hastalıklar için oldukça etkili olmasına rağmen, bu enzim inhibitörlerinin radyasyon etkileşim özellikleri ile ilgili literatürde yeterli bilgi bulunmamaktadır. Bu çalışmada bazı anjiyotensin dönüştürücü enzim (ADE) inhibitörlerinin (Benazepril, Kaptopril, Enalapril, Fosinopril, Lisinopril, Moeksipril, Perindopril, Kuinapril, Ramipril ve Trandolapril) kütle azaltma katsayıları, lineer azaltma katsayıları, yarı tabaka kalınlıkları, onda bir tabaka kalınlıkları, ortalama serbest yolları, etkin atom numaraları ve etkin elektron yoğunlukları $1 \text{ keV} \leq E \leq 100 \text{ GeV}$ enerji aralığındaki farklı enerji için teorik olarak belirlenmiştir. Ayrıca, ADE inhibitörlerinin enerji soğurma yığılma faktörleri ve maruz kalma yığılma faktörleri $0.015 \text{ MeV} \leq E \leq 15 \text{ MeV}$ enerji aralığındaki bazı enerji değerleri için 40 *mfp* ye kadar farklı nüfus etme derinliklerinde geometrik ilerleme (G-İ) fit katsayıları kullanılarak hesaplanmıştır.

MATERYAL VE METOT

Lambert Beer yasası bir materyalin içinden geçen fotonun şiddetindeki azalmayı tanımlar ve Eşitlik 1 ile ifade edilir.

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

Burada, I_0 soğurucusuz alınan sayım değeri, I radyasyonun materyal kalınlığı boyunca nüfuz ettiği sayım değeri, μ lineer soğurma katsayısı (cm^{-1}), ρ materyal yoğunluğu (g cm^{-3}), x ise numunenin kalınlığıdır (cm).

Eşitlik 1 yeniden düzenlenirse, Eşitlik 2 den kütle azaltma katsayısı elde edilir (Singh ve ark., 2018).

$$\frac{\mu}{\rho} = \frac{1}{\rho x} \ln \left(\frac{I}{I_0} \right) \quad (2)$$

Alaşım, karışım veya bileşik için kütle azaltma katsayısı Eşitlik 3 ile tanımlanır.

$$\left(\frac{\mu}{\rho} \right)_{\text{Bil.}} = \sum W_i \left(\frac{\mu}{\rho} \right)_i \quad (3)$$

Burada, W_i i . elementin ağırlık kesridir ve Eşitlik 4 ile ifade edilir.

$$W_i = \frac{n_i A_i}{\sum_j n_j A_j} \quad (4)$$

A_i i . elementin atomik ağırlığını ve n_i bileşikteki i . elementin atom sayısını temsil eder.

Yarı tabaka kalınlığı (YTK), gelen fotonun materyal içinden geçmesi sonucunda foton şiddetinin yarıya düşmesi için gereken tabaka kalınlığıdır. Onda bir tabaka kalınlığı (OTK) ise gelen fotonun materyal içinden geçmesi sonucunda foton şiddetinin onda birine düşmesi için gereken tabaka

kalınlığıdır. Ortalama Serbest Yol (*OSY*) art arda iki çarpışma arasındaki ortalama mesafedir. *YTK*, *OTK* ve *OSY* sırasıyla Eşitlik 5, Eşitlik 6 ve Eşitlik 7 ile belirlenmiştir (Susoy, 2020).

$$YTK = \frac{\ln 2}{\mu} \quad (5)$$

$$OTK = \frac{\ln 10}{\mu} \quad (6)$$

$$OSY = \frac{1}{\mu} \quad (7)$$

Burada μ lineer soğurma katsayısıdır ve kütle azaltma katsayısının (μ/ρ) bileşiğin yoğunluğuna oranı ile belirlenebilir (ρ). ADE inhibitörlerinin yoğunlukları Çizelge 1 de verilmiştir.

Çizelge 1. ADE inhibitörlerinin kimyasal formülleri, yoğunlukları ve moleküler ağırlıkları.

Numune Adı	Kimyasal Formül	Yoğunluk (g cm ⁻³)	Moleküler ağırlık (g mol ⁻¹)
Benazepril	C ₂₄ H ₂₈ N ₂ O ₅	1.26	424.49
Kaptopril	C ₉ H ₁₅ NO ₃ S	1.3	217.28
Enalapril	C ₂₀ H ₂₈ N ₂ O ₅	1.204	376.44
Fosinopril	C ₃₀ H ₄₆ NO ₇ P	1.173	563.66
Lisinopril	C ₂₁ H ₃₁ N ₃ O ₅	1.3	405.48
Moeksipril	C ₂₇ H ₃₄ N ₂ O ₇	1.221	498.56
Perindopril	C ₁₉ H ₃₂ N ₂ O ₅	1.15	368.46
Kuinapril	C ₂₅ H ₃₀ N ₂ O ₅	1.2	438.51
Ramipril	C ₂₃ H ₃₂ N ₂ O ₅	1.2	416.51
Trandolapril	C ₂₄ H ₃₄ N ₂ O ₅	1.181	430.53

Etkin atom numarası ve etkin elektron yoğunluğu ise sırasıyla Eşitlik 8 ve Eşitlik 9 yardımıyla belirlenebilir (Akman ve ark., 2019a).

$$Z_{et} = \frac{\sum_i f_i A_i (\mu/\rho)_i}{\sum_j f_j \left(\frac{A_j}{Z_j}\right) (\mu/\rho)_j} \quad (8)$$

$$N_{et} = \frac{Z_{et}}{A_{top}} (N_A n_{top}) \quad (9)$$

Burada, f_i bileşikteki i . elementin atom sayısının bütün elementlerin toplam atom sayısına oranını, A_i i . elementin atomik ağırlığını, Z_j atom numarasını, N_A Avogadro sayısını, A_{top} toplam atomik ağırlığı ve n_{top} bileşikteki toplam atom sayısını ifade eder.

Anjiyotensin dönüştürücü enzim inhibitörlerinin eşdeğer atom numaraları ($Z_{eş}$) belirli bir enerjide $(\mu/\rho)_{Compton}/(\mu/\rho)_{top}$ oranlarının aynı enerjideki bir elementin bu oranlarına karşılık gelmesiyle hesaplanabilir. Bu nedenle $(\mu/\rho)_{Compton}/(\mu/\rho)_{top}$ değerleri WinXCOM (Gerward, 2001) programı kullanılarak atom numarası 4 ile 40 arasındaki elementler için 0.015 MeV – 15 MeV aralığındaki enerjiler için belirlenmiştir. Anjiyotensin dönüştürücü enzim inhibitörü için $R(\mu/\rho)_{Compton}/(\mu/\rho)_{top}$ oranı iki ardışık element oranı arasında kaldığında ADE inhibitörü için eşdeğer atom numarası ($Z_{eş}$) Eşitlik 10 ile belirlenebilir (Turhan ve ark., 2020).

$$Z_{eş} = \frac{Z_1(\log R_2 - \log R) + Z_2(\log R - \log R_1)}{\log R_2 - \log R_1} \quad (10)$$

Z_1 ve Z_2 sırasıyla R_1 ve R_2 oranlarına karşılık gelen elementlerin atom numaralarıdır. R ise belirli bir enerjide ADE inhibitörü oranıdır.

Geometrik ilerleme (G-İ) fit katsayıları eşdeğer atom numarası ($Z_{eş}$) hesaplamalarına benzer şekilde hesaplanmıştır. ADE inhibitörleri için G-İ fit katsayıları (b , c , a , X_k ve d) aşağıdaki gibi belirlenir.

$$P = \frac{P_1(\log Z_2 - \log Z_{eş}) + P_2(\log Z_{eş} - \log Z_1)}{\log Z_2 - \log Z_1} \quad (11)$$

P_1 ve P_2 belirli bir enerjide sırasıyla Z_1 ve Z_2 atom numaralarına karşılık gelen G-İ fit katsayıları temsil eder. Elementler için G-İ fit katsayıları ANSI / ANS-6.4.3 (1991) standart referans veri tabanından alınmıştır.

Enerji soğurma yığılma faktörü ve maruz kalma yığılma faktörlerinin hesaplanması için Eşitlik 12-14 kullanılmıştır.

$$B(E, x) = 1 + \frac{b-1}{K-1}(K^x - 1) \quad K \neq 1 \text{ için} \quad (12)$$

$$B(E, x) = 1 + (b-1)x \quad K = 1 \text{ için} \quad (13)$$

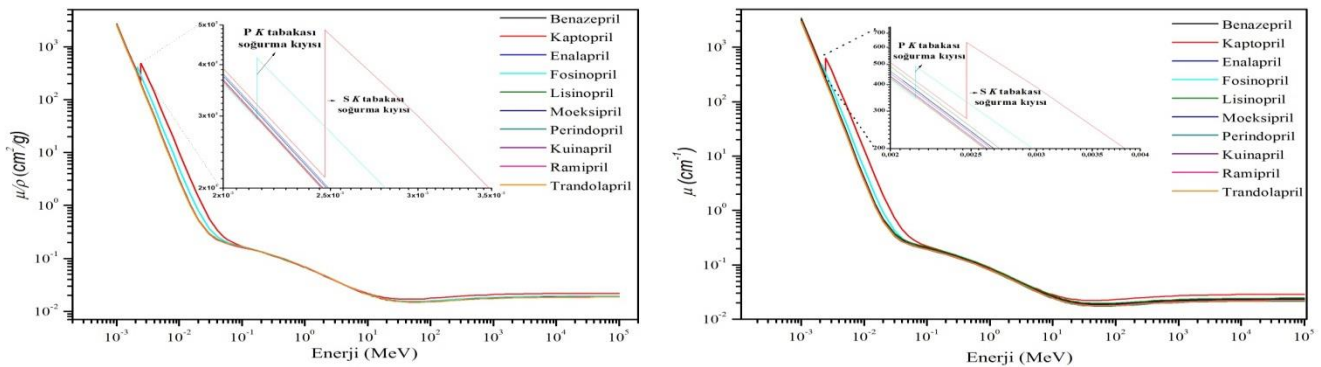
$$K(E, x) = cx^a + d \frac{\tanh(x/X_k - 2) - \tanh(-2)}{1 - \tanh(-2)} \quad x \leq 40 \text{ mfp için} \quad (14)$$

Burada E gelen fotonun enerjisini, x nüfus etme derinliğini, b , c , a , X_k ve d ise G-İ fit katsayılarını temsil etmektedir. 1 mfp 'de yığılma faktörü değeri b ile temsil edilmektedir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Toplam Kütle Azaltma Katsayısı ve Lineer Azaltma Katsayısı

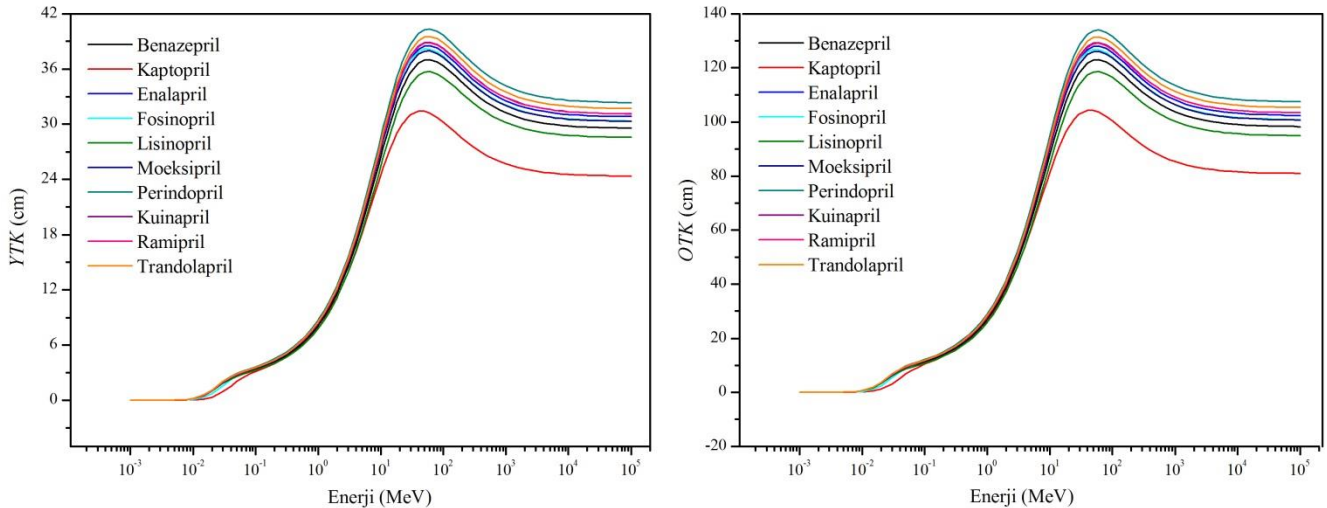
Anjiyotensin dönüştürücü enzim (ADE) inhibitörlerinin kimyasal formülleri, yoğunlukları ve moleküler ağırlıkları Tablo 1'de verilmiştir. Anjiyotensin dönüştürücü enzim inhibitörleri için toplam kütle azaltma katsayıları ve lineer azaltma katsayılarının enerji ($1 \text{ keV} \leq E \leq 100 \text{ GeV}$) ile değişimi sırasıyla Şekil 1 de verilmiştir. ADE inhibitörleri için toplam kütle azaltma katsayısı ve lineer azaltma katsayısı değerleri birbirine çok yakın olduğu Şekil 1'den açıkça görülmektedir. 1 keV ile 100 GeV arasındaki farklı enerjiler için Kaptoprilin aldığı toplam kütle ve lineer azaltma katsayı değerleri diğer ADE inhibitörlerine göre daha büyük olduğu görülmektedir. Ayrıca azaltma katsayılarının farklı enerji bölgelerinde farklı karakteristik özellikler gösterdiği görülmektedir. Düşük enerji bölgesinde soğurma kıyıları haricinde artan enerji ile azaltma katsayılarında keskin bir düşüş gözlenirken, bu düşüş orta enerji bölgesinde keskinliğini yitirmiştir. Yüksek enerji bölgesinde ise azaltma parametreleri neredeyse sabittir. ADE inhibitörlerinin toplam kütle azaltma katsayıları ve lineer azaltma katsayıları literatürde farklı materyaller için yapılan diğer çalışmalar (Sayyed, 2016; Manjunatha ve ark., 2019) ile benzer özellikler göstermiştir.



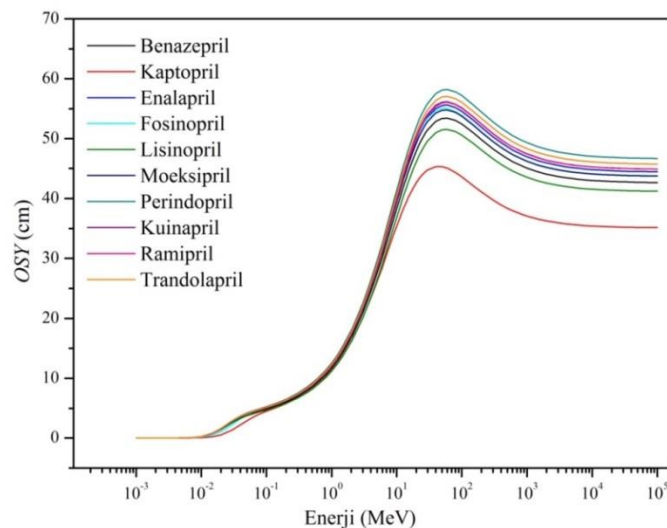
Şekil 1. Toplam kütle azaltma katsayıları ve lineer azaltma katsayılarının enerji ile değişimi.

Yarı Tabaka Kalınlığı, Onda Bir Tabaka Kalınlığı ve Ortalama Serbest Yol

Yarı tabaka kalınlığı, onda bir tabaka kalınlığı ve ortalama serbest yol değerleri bize materyalin radyasyon azaltma özellikleri ile ilgili önemli bilgiler verir. Anjiyotensin dönüştürücü enzim inhibitörlerinin yarı tabaka ve onda bir kalınlık değerlerinin enerji ile değişimi Şekil 2'de gösterilmiştir. İnhibitörlerin ortalama serbest yol değerlerinin enerji ile değişimi ise Şekil 3'te verilmiştir. Şekil 2 ve Şekil 3'ten de görüleceği üzere düşük enerji bölgesinden orta enerji bölgesini kadar olan enerji aralığında ADE inhibitörlerinin *YTK*, *OTK* ve *OSY* değerleri artış göstererek orta enerji bölgesinde maksimuma ulaşmıştır. Yüksek enerji bölgesinde ise bu değerler artan enerji ile exponansiyel bir azalış göstermiş ve enerjinin artışı ile neredeyse sabitlenmiştir. Şekil 2 ve Şekil 3'ten görüldüğü üzere, Perindopril inhibitörü en yüksek *YTB*, *OTK* ve *OSY* değerlerini alırken Kaptopril inhibitörü ise en küçük *YTK*, *OTK* ve *OSY* değerlerini almıştır. 1 keV ile 100 GeV arasındaki farklı enerjilerde Perindopril için yarı tabaka kalınlıkları (*YTK*) 23×10^{-5} -40.34, onda bir tabaka kalınlıkları (*OBK*) 76×10^{-5} -134.03 ve ortalama serbest yol (*OSY*) değerleri 33×10^{-5} -58.21 aralıklarında bulunmuştur. Kaptopril için yarı tabaka kalınlığı, onda bir tabaka kalınlığı ve ortalama serbest yol değerleri 40 MeV de maksimum değerlerini almışlardır ve sırasıyla bu değerler 31.41, 104.36 ve 45.32 olarak bulunmuştur.



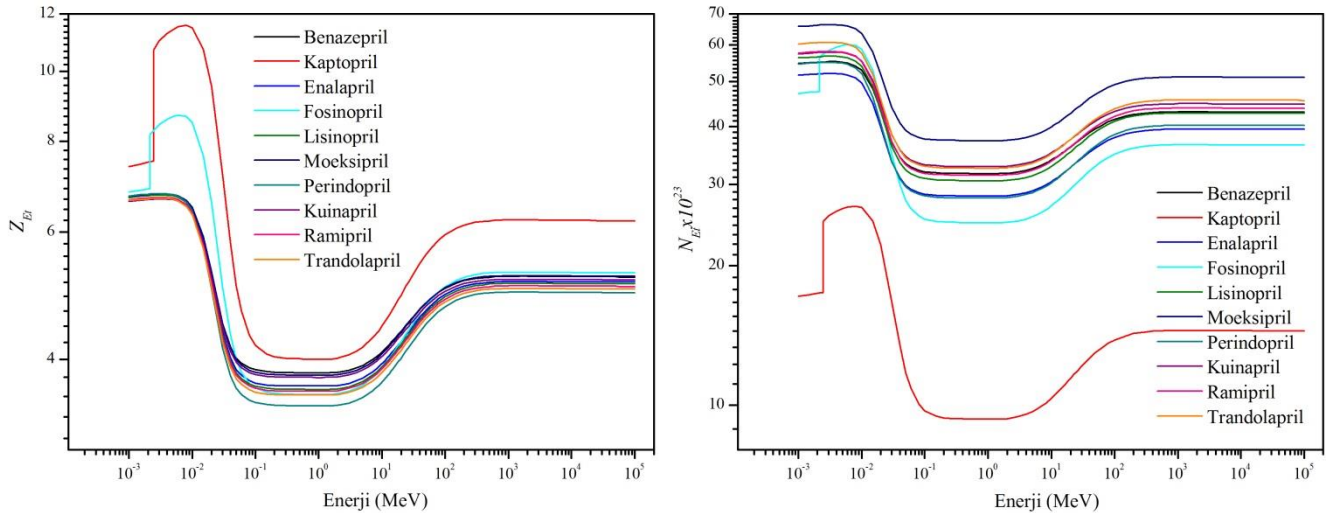
Şekil 2. Yarı tabaka kalınlığı ve onda bir tabaka kalınlığı değerlerinin enerji ile değişimi.



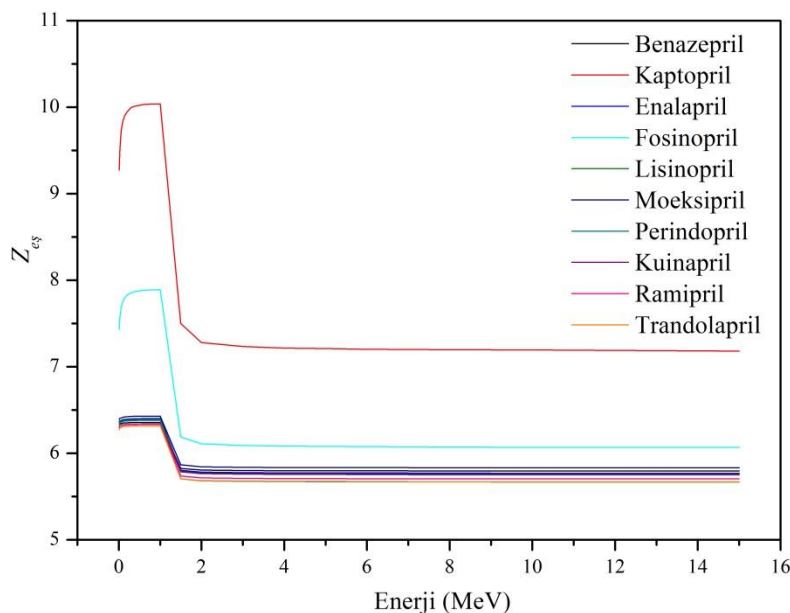
Şekil 3. Ortalama serbest yol değerlerinin enerji ile değişimi.

Etkin Atom Numarası ve Etkin Elektron Yoğunluğu

Atom numarası birden fazla element içeren bir materyal için tek bir sayı olarak tanımlanamaz. Böyle bir materyal için atom numarası etkin atom numarası (Z_{Et}) olarak tanımlanır ve farklı enerjiler için farklı değerler alabilir. Birim kütle başına elektron sayısı etkin elektron yoğunluğu (N_{Et}) ile ifade edilir. ADE inhibitörlerinin etkin atom numarası (Z_{Et}) ve etkin elektron yoğunluğu (N_{Et}) değerlerini $1 \text{ keV} \leq E \leq 100 \text{ GeV}$ enerji aralığında belirlemek için sırasıyla Eşitlik 8 ve Eşitlik 9 kullanılmıştır. Ayrıca, Z_{Et} ve N_{Et} değerleri Şekil 4'te enerjinin bir fonksiyonu olarak çizilmiştir. Şekil 4'ten görüldüğü üzere, Kaptopril en yüksek Z_{Et} değerlerini alırken, en düşük N_{Et} değerlerini almıştır. Kaptoprilin Z_{Et} değerleri 4-11.6 arasında bulunurken, N_{Et} değerleri 9.3×10^{23} - 26.9×10^{23} arasında bulunmuştur. *YTK*, *OTK*, *OSY*, Z_{Et} ve N_{Et} değerleri literatürde farklı materyaller için yapılan diğer çalışmalar (Chen ve ark., 2018; Issa ve ark., 2018; Kaur ve ark., 2019; Manjunatha ve ark., 2019) ile benzer özellikler göstermiştir. Şekil 4'te de tıpkı Şekil 1-3 te olduğu gibi Z_{Et} ve N_{Et} değerleri farklı enerji bölgelerinde farklı karakteristik özellik göstermiştir. Şekil 1-4'ten görüldüğü gibi, fotoelektrik etki düşük enerji bölgesinde baskın iken orta enerji bölgesinde Compton saçılma etkisi baskındır. 1022 keV foton enerjisinden sonra ise çift oluşum etkisi gözlemlenmiştir.



Şekil 4. Etkin atom numarası ve etkin elektron yoğunluğu değerlerinin enerji ile değişimi.



Şekil 5. ADE inhibitörlerinin eşdeğer atom numaralarının enerji ile değişimi.

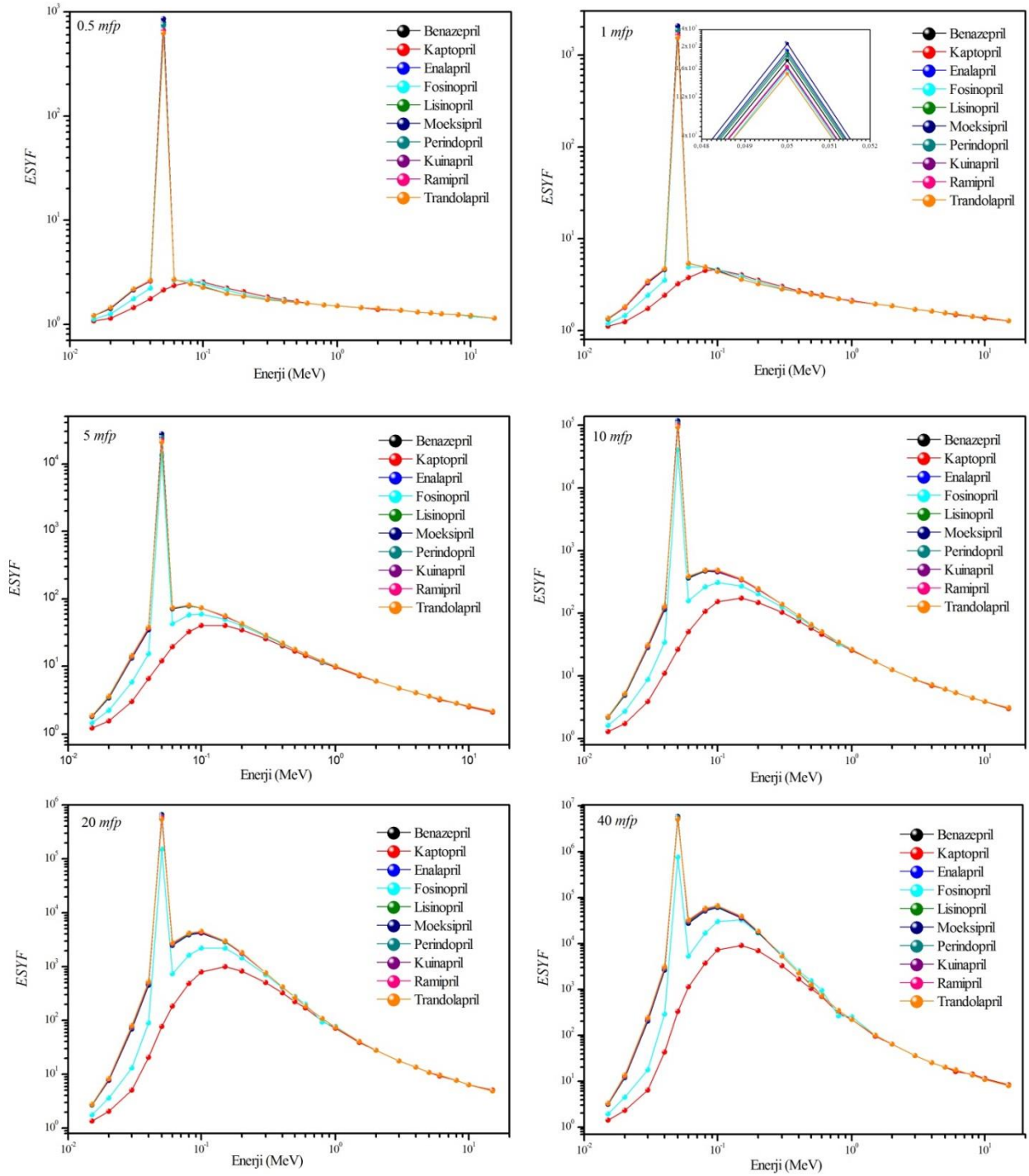
Eşdeğer Atom Numarası, Enerji Soğurma Yığılma Faktörü ve Maruz Kalma Yığılma Faktörü

Anjiyotensin dönüştürücü enzim (ADE) inhibitörlerinin eşdeğer atom numaraları Eşitlik 10 kullanılarak elde edilmiştir. ADE inhibitörlerinin $0.015 \text{ MeV} \leq E \leq 15 \text{ MeV}$ enerji aralığındaki eşdeğer atom numaraları ($Z_{eş}$) Şekil 5'de verilmiştir. Geometrik ilerleyen (G-P) enerji soğurma yığılma faktörü katsayıları ve maruz kalma yığılma faktörü katsayıları Eşitlik 11'den hesaplanmıştır. Ayrıca Benazepril için G-P enerji soğurma ve maruz kalma yığılma faktörü katsayıları Çizelge 2 te verilmiştir. Eşitlik 11 den elde edilen katsayılar Eşitlik 12 de kullanılarak enerji soğurma ve maruz kalma yığılma faktörleri $0.015 \text{ MeV} \leq E \leq 15 \text{ MeV}$ enerji aralığında ADE inhibitörleri için hesaplanmıştır.

Çizelge 3. Benazepril için G-P enerji soğurma ve maruz kalma yığılma faktörü katsayıları.

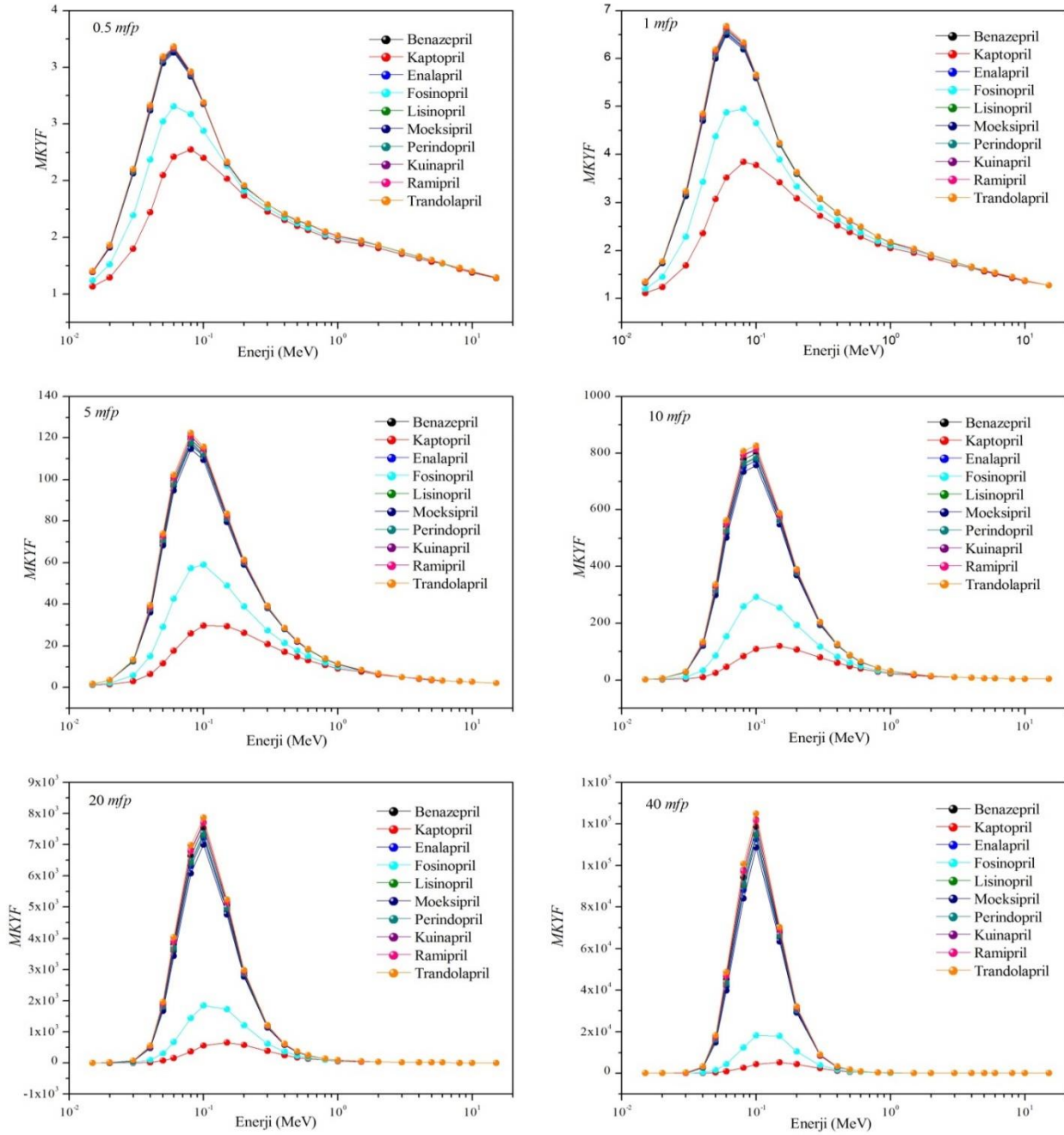
Enerji (MeV)	ESYF					MKYF				
	a	b	c	d	Xk	a	b	c	d	Xk
0.015	0.156	1.343	0.512	-0.078	14.471	0.155	1.334	0.517	-0.077	14.296
0.02	0.096	1.780	0.682	-0.047	15.910	0.097	1.759	0.680	-0.047	16.016
0.03	0.001	3.367	1.043	-0.008	13.801	0.001	3.196	1.043	-0.008	13.843
0.04	-0.100	4.684	1.571	0.042	13.994	-0.102	4.794	1.580	0.044	13.793
0.05	-0.145	1744	1.911	0.061	14.295	-0.150	6.113	1.942	0.065	14.166
0.06	-0.173	5.324	2.155	0.075	14.342	-0.182	6.601	2.223	0.082	14.226
0.08	-0.197	4.880	2.393	0.083	14.311	-0.215	6.283	2.543	0.096	14.028
0.1	-0.200	4.435	2.439	0.081	14.734	-0.222	5.641	2.637	0.097	14.396
0.15	-0.199	3.606	2.420	0.078	14.757	-0.232	4.229	2.714	0.102	14.129
0.2	-0.190	3.244	2.302	0.076	14.781	-0.224	3.619	2.591	0.100	14.429
0.3	-0.172	2.813	2.102	0.068	14.680	-0.199	3.078	2.312	0.087	14.279
0.4	-0.152	2.626	1.915	0.062	14.604	-0.181	2.789	2.114	0.076	13.687
0.5	-0.138	2.458	1.795	0.059	15.325	-0.162	2.612	1.945	0.073	14.167
0.6	-0.121	2.385	1.669	0.047	14.702	-0.145	2.491	1.808	0.060	13.792
0.8	-0.107	2.200	1.556	0.045	14.131	-0.125	2.285	1.649	0.058	13.887
1	-0.090	2.095	1.449	0.039	14.396	-0.105	2.166	1.518	0.049	13.852
1.5	-0.060	1.940	1.277	0.027	14.300	-0.071	2.021	1.321	0.035	13.705
2	-0.038	1.841	1.170	0.015	14.458	-0.045	1.908	1.196	0.022	14.071
3	-0.011	1.715	1.051	0.003	14.222	-0.015	1.758	1.060	0.007	12.121
4	0.003	1.627	0.989	-0.002	13.222	0.004	1.659	0.984	-0.007	24.041
5	0.015	1.565	0.945	-0.007	14.821	0.017	1.580	0.938	-0.011	14.585
6	0.029	1.520	0.901	-0.018	12.505	0.026	1.528	0.907	-0.015	14.466
8	0.035	1.434	0.879	-0.017	11.927	0.037	1.441	0.869	-0.032	16.524
10	0.040	1.380	0.858	-0.022	14.356	0.042	1.375	0.855	-0.020	12.556
15	0.047	1.285	0.837	-0.031	15.555	0.046	1.278	0.839	-0.029	15.027

Anjiyotensin dönüştürücü enzim (ADE) inhibitörlerinin 0.5, 1, 5, 10, 20 ve 40 *mfp* penetrasyon derinliklerinde $0.015 \text{ MeV} \leq E \leq 15 \text{ MeV}$ enerji aralığındaki enerji soğurma yığılma faktörü (ESYF) değerlerinin enerji ile değişimleri Şekil 6 da verilmiştir. Maruz kalma yığılma faktörü değerlerinin enerji ile değişimleri ise Şekil 7 de farklı penetrasyon derinlikleri için verilmiştir. Şekil 7'den görüldüğü üzere 40 *mfp*'de MKYF değerleri incelenen anjiyotensin dönüştürücü enzim (ADE) inhibitörleri için 0.5 MeV'de maksimum değerlerini almıştır. Şekil 6 ve Şekil 7'den görüleceği üzere Kaptopril genellikle düşük enerji bölgesinde ve orta enerji bölgesinde en düşük ESYF ve MKYF değerlerini almıştır. Kaptopril in bu düşük değerleri incelenen anjiyotensin dönüştürücü enzim (ADE) inhibitörleri arasında en iyi soğurucu olduğunun bir kanıtı olarak görülebilir. Ayrıca, ESYF ve MKYF değerlerinin bileşiklerin kimyasına ve foton enerjisine bağlı olduğu söylenebilir.



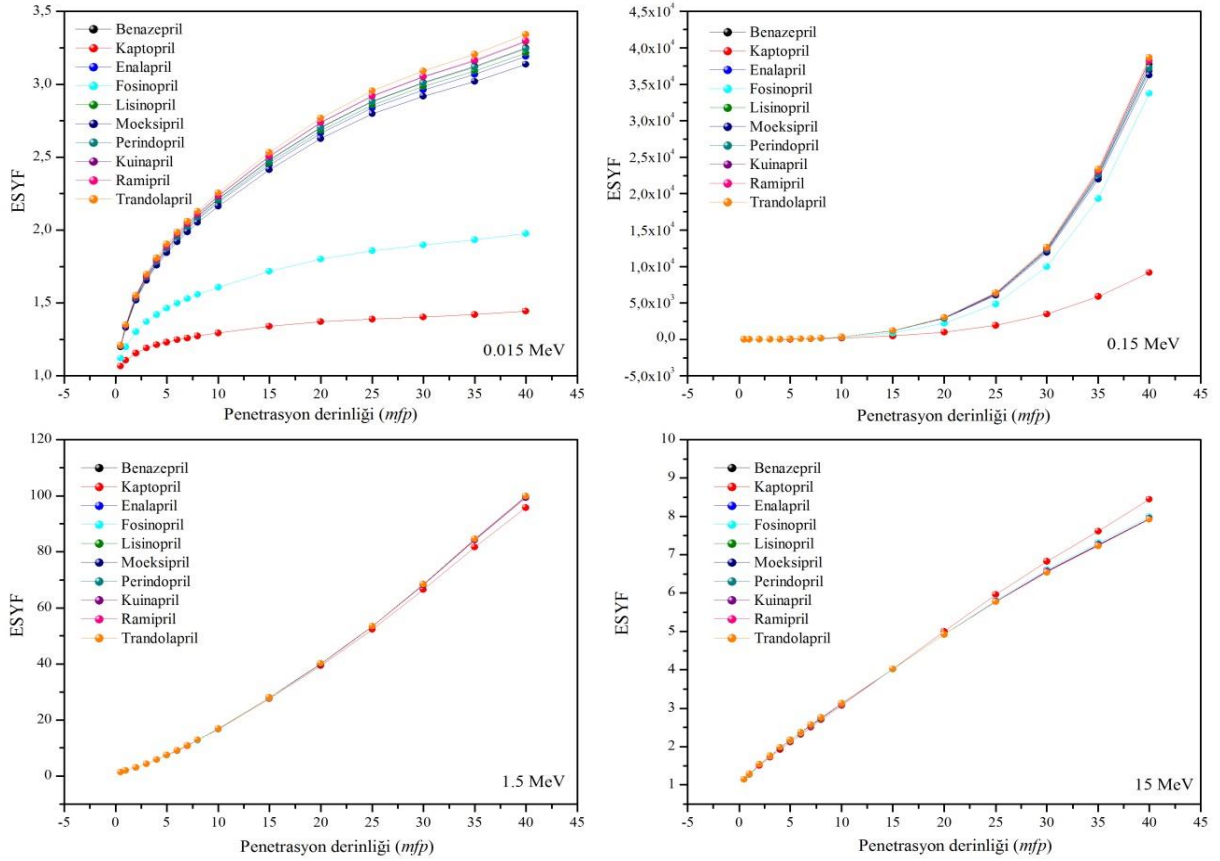
Şekil 6. ADE inhibitörlerinin 0.5, 1, 5, 10, 20 ve 40 *mfp* penetrasyon derinliklerinde $0.015 \text{ MeV} \leq E \leq 15 \text{ MeV}$ enerji aralığındaki ESYF değerlerinin enerji ile değişimi.

Anjiyotensin dönüştürücü enzim inhibitörlerinin ESYF ve MKYF değerlerinin 0.015 MeV, 0.15 MeV, 1.5 MeV ve 15 MeV enerjilerde penetrasyon derinlikleri ile değişimi sırasıyla Şekil 8 ve Şekil 9 da verilmiştir. Artan penetrasyon derinlikleriyle birlikte yığılma faktörleri değerlerinin de arttığı gözlemlenmiştir. Örneğin, Ramipril için 0.15 MeV enerji için ESYF değerleri 0.5 *mfp*'de 1.98, 1 *mfp*'de 3.61, 5 *mfp*'de 55.37, 10 *mfp*'de 349.9, 20 *mfp*'de 2982 ve 40 *mfp*'de 38178 değerlerini almıştır.

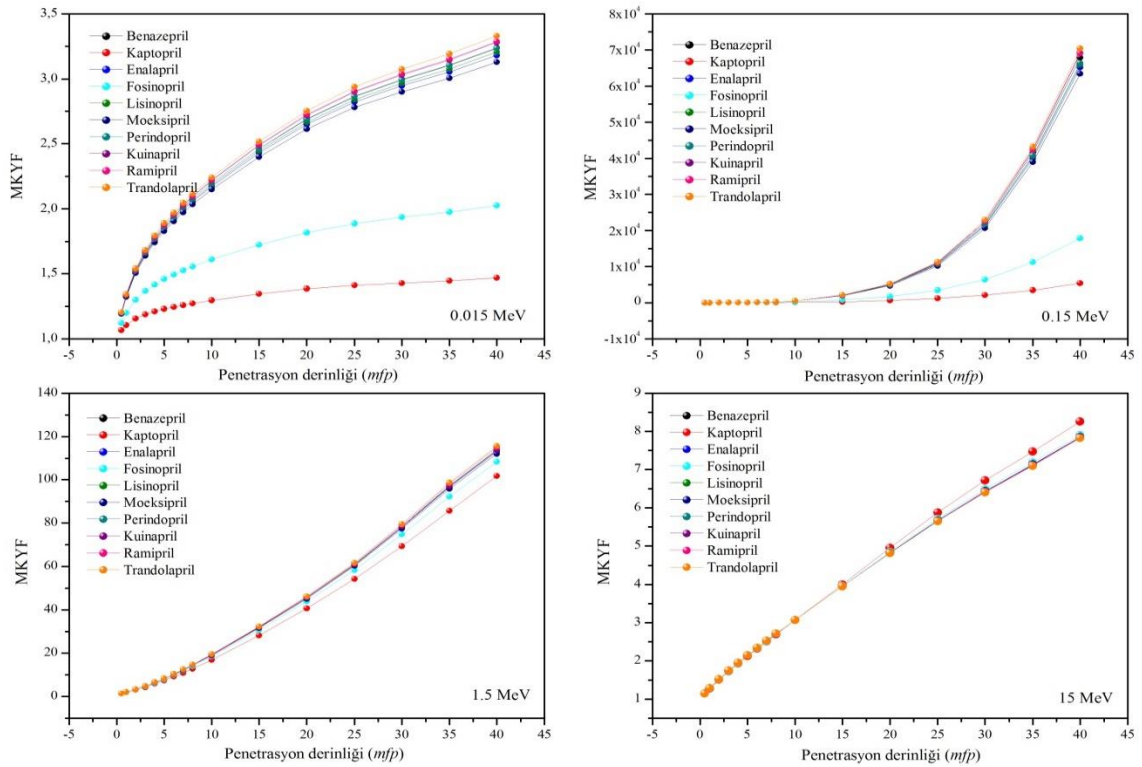


Şekil 7. ADE inhibitörlerinin 0.5, 1, 5, 10, 20 ve 40 *mfp* penetrasyon derinliklerinde $0.015 \text{ MeV} \leq E \leq 15 \text{ MeV}$ enerji aralığındaki MKYF değerlerinin enerji ile değişimi.

Anjiyotensin dönüştürücü enzim inhibitörleri arasında Kaptoprilin ESYF ve MKYF değerleri genel olarak 0.015 MeV, 0.15 MeV ve 1.5 MeV'de en düşük değerlerini alırken 15 MeV'de ters eğilim göstermektedir. Kaptopril 15 MeV'de en yüksek ESYF ve MKYF değerlerini 15 *mfp* ile 40 *mfp* aralığındaki penetrasyon derinliklerinde almıştır. Düşük ve orta enerji bölgesine kıyasla yüksek enerji bölgesindeki bu ters eğilim, yüksek enerjili bölgede çift üretimin daha baskın olması ve yaklaşık olarak Z^2 'ye bağlı olması ile açıklanabilir. Anjiyotensin dönüştürücü enzim inhibitörlerinin ESYF ve MKYF değerleri literatürde bulunan camlar (Kaur ve ark., 2019; Mahmoud ve ark., 2019) alaşımlar (Manjunatha ve ark., 2019) ve bileşikler (Singh ve Badiger, 2016; Tekin ve ark., 2020; Sayyed ve ark., 2019) ile benzer özellikler sergilediği gözlemlenmiştir.



Şekil 8. ADE inhibitörlerinin ESYF değerlerinin 0.015 MeV, 0.15 MeV, 1.5 MeV ve 15 MeV enerjilerde penetrasyon derinlikleri ile değişimi.



Şekil 9. ADE inhibitörlerinin MKYF değerlerinin 0.015 MeV, 0.15 MeV, 1.5 MeV ve 15 MeV enerjilerde penetrasyon derinlikleri ile değişimi.

SONUÇ

Bu çalışmada Benazepril, Kaptopril, Enalapril, Fosinopril, Lisinopril, Moeksipril, Perindopril, Kuinapril, Ramipril ve Trandolapril için 1 keV ile 100 GeV enerji aralığında μ/ρ , μ , YTG, OTG, OSY, Z_{et} ve N_{et} değerleri belirlendi. Ayrıca $Z_{eş}$, ESYF ve MKYF değerleri, anjiyotensin dönüştürücü enzim inhibitörleri için 40 mfp'ye kadar farklı penetrasyon derinlikleri için $0.015 \text{ MeV} \leq E \leq 15 \text{ MeV}$ enerji bölgesinde geometrik ilerleme (G-P) fit katsayıları kullanılarak hesaplandı. Azaltma parametrelerinde önemli farklılıklar gözlemlendi. Tüm parametrelerin birbirini desteklediği görüldü. Tablolar ve şekillerin gösterildiği üzere, Kaptopril incelenen anjiyotensin dönüştürücü enzim inhibitörleri içerisinde radyasyonu daha fazla soğurmaktadır. Elde ettiğim sonuçların başta tıp ve eczacılık alanları olmak üzere radyasyon araştırmalarının çeşitli uygulama alanlarına katkı sağlayacağına inanıyorum.

Çıkar Çatışması

Makaleye ait çalışmanın planlanması, yürütülmesi ve makalenin yazılması aşamalarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederim.

Yazar Katkısı

Makalenin planlanması, yürütülmesi ve yazılması makale tek yazarı olarak tarafımda yapıldığı beyan ederim.

KAYNAKLAR

- Agar O, Sayyed MI, Akman F, Tekin HO, Kaçal MR, 2019. An extensive investigation on gamma ray shielding features of Pd/Agbased alloys. *Nuclear Engineering and Technology*, 51: 853-859.
- Akman F, Kaçal MR, Sayyed MI, Karataş HA, 2019a. Study of gamma radiation attenuation properties of some selected ternary alloys. *Journal of Alloys and Compounds*, 782: 315-322.
- Akman F, Sayyed MI, Kaçal MR, Tekin HO, 2019b. 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 ZY, Kaçal MR, Sayyed MI, Afaneh F, 2019c. The radiation shielding features for some silicide, boride and oxide types ceramics. *Radiation Physics and Chemistry*, 160: 9–14.
- Akman F, Geçibesler IH, Kumar A, Sayyed MI, Zaid MHM, 2019d. Evaluation of radiation absorption characteristics in different parts of some medicinal aromatic plants in the low energy region. *Results in Physics*, 12: 94–100.
- Al-Buriah MS, Arslan H, Tonguc BT, 2019. Investigation of photon energy absorption properties for some biomolecules. *Nuclear Science and Techniques* 30 (103): 1-9.
- Al-Hamarneh IF, Marshdeh MW, Almasoud FI, Alkaoud A, 2017. Determination of gamma-ray parameters for polyethylene glycol of different molecular weights. *Nuclear Science and Techniques* 28 (157): 1-8.
- ANSI/ANS-6.4.3, 1991. Gamma Ray Attenuation Coefficient and Buildup Factors for Engineering Materials. American Nuclear Society, La Grange Park, IL, USA.
- Aşkın A, Sayyed MI, Sharma A, Dal M, El-Mallawany R, Kaçal MR, 2019. Investigation of the gamma ray shielding parameters of $(100-x) [0.5\text{Li}_2\text{O}-0.1\text{B}_2\text{O}_3-0.4\text{P}_2\text{O}_5]-x\text{TeO}_2$ glasses using Geant4 and FLUKA codes. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 521: 119489.
- Chen S, Chai Z, Xue D, Jiang X, Yang Y, 2018. Variation of gamma radiation shielding properties with incident photon energy and penetration depth for WC/Al composites. *Radiation Effects and Defects in Solids*. 173: 399-413.
- Gerward L, Guilbert N, Jensen KB, Levring H, 2001. X-ray absorption in matter. *Reengineering XCOM. Radiation Physics and Chemistry*, 60: 23–24.
- 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.
- Kaur P, Singh KJ, Kurudirek M, Thakur S, 2019. Study of environment friendly bismuth incorporated lithium borate glass system for structural, gamma-ray and fast neutron shielding properties. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 223: 117309.

- Kilicoglu O, 2019. Characterization of copper oxide and cobalt oxide substituted bioactive glasses for gamma and neutron shielding applications. *Ceramics International*, 45: 23619–23631.
- Lokhande RM, More CV, Surung BS, Pawar PP, 2017. Determination of attenuation parameters and energy absorption build-up factor of amine group materials. *Radiation Physics and Chemistry*, 141: 292–299.
- Mahmoud SI, Issa SAM, Saddeek YB, Tekin HO, Kilicoglu O, Alharbi T, Sayyed MI, Erguzel TT, Elsaman R, 2019. Gamma, neutron shielding and mechanical parameters for lead vanadate glasses. *Ceramics International* 45, 14058-14072.
- Manjunatha HC, Sathish KV, Seenappa L, Gupta D, Raj SAC, 2019. A study of X-ray, gamma and neutron shielding parameters in Si- alloys. *Radiation Physics and Chemistry*, 165: 108414.
- Sathiyaraj P, Samuel EJJ, Valeriano CCS, Kurudirek M, 2017. Effective atomic number and buildup factor calculations for metal nano particle doped polymer gel. *Vacuum*, 143: 138-149.
- Sayyed MI, 2016. Investigation of shielding parameters for smart polymers. *Chinese Journal of Physics*, 54: 408–415.
- Sayyed MI, Akman F, Kumar A, Kaçal MR, 2018. Evaluation of radioprotection properties of some selected ceramic samples. *Results in Physics*, 11: 1100–1104.
- Sayyed MI, Tekin HO, Agar O, 2019. Gamma photon and neutron attenuation properties of MgO–BaO–B₂O₃–TeO₂–Cr₂O₃ glasses: The role of TeO₂. *Radiation Physics and Chemistry*, 163: 58-66.
- Singh M, Tondon A, Sandhu BS, Singh B, 2018, Energy dependence of radiation interaction parameters of some organic compounds. *Radiation Physics and Chemistry*, 145: 80–88.
- Singh R, Singh D, Singh A, Dhaliwal AS, 2019. Photon Interaction Parameters Investigations for Some ZnO–Al₂O₃–Fe₂O₃–P₂O₅ Glasses at 59.4 keV Incident Photon Energy. *Glass Physics and Chemistry*, 45 (3): 202–207.
- Singh VP, Badiger NM, 2016. Studies on photon buildup for some thermoluminescent dosimetric compounds. *Indian Journal of Physics*. 90(3): 259-269.
- Susoy G, 2020. Effect of TeO₂ additions on nuclear radiation shielding behavior of Li₂O–B₂O₃–P₂O₅–TeO₂ glass-system. *Ceramics International*, 46: 3844–3854.
- Tekin HO, Kassab LRP, Kilicoglu O, Magalhaes ES, Issa SAM, Mattos GRS. 2020. Newly developed tellurium oxide glasses for nuclear shielding applications: An extended investigation. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 528: 119763.
- Turhan MF, Akman F, Polat H, Kaçal MR, Demirkol İ, 2020. Gamma-ray attenuation behaviors of hematite doped polymer composites, *Progress in Nuclear Energy*, 129: 103504.
- Uosif MAM, Mostafa AMA, Issa SAM, Tekin HO, Alrowailia ZA, Kilicoglu O, 2020. Structural, mechanical and radiation shielding properties of newly developed tungsten lithium borate glasses: An experimental study. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 532: 119882.