



# Akışkan Dental Kompozitin Gamma Radyasyonu Soğurma Özellikleri

Aycan Şengül<sup>1\*</sup>, Kadir Akgüngör<sup>2</sup>, İskender Akkurt<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Akdeniz Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksek Okulu, Tıbbi Görüntüleme Teknikleri Bölümü, Antalya, Türkiye

(ORCID: 0000-0003-4548-5403), [aycansahin@akdeniz.edu.tr](mailto:aycansahin@akdeniz.edu.tr)

<sup>2</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Atom ve Molekül Fiziği Anabilim Dalı İzmir, Türkiye,

(ORCID: 0000-0003-1071-4405), [kadir.akgungor@deu.edu.tr](mailto:kadir.akgungor@deu.edu.tr)

<sup>3</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Nükleer Fizik Anabilim Dalı, Isparta, Türkiye,

(ORCID: 0000-0002-5247-7850), [iskenderakkurt@sdu.edu.tr](mailto:iskenderakkurt@sdu.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 11 Mart 2022 ve Kabul Tarihi 30 Nisan 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1085811)

**ATIF/REFERENCE:** Şengül, A., Akgüngör, K. & Akkurt, İ. (2022). Akışkan Dental Kompozitin Gamma Radyasyonu Soğurma Özellikleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (35), 469-473.

## Öz

Bu çalışma, insan vücudunda doğal veya sentetik malzeme olarak kullanılan akışkan dental kompozitin radyasyon soğurma özelliklerinin Monte Carlo yöntemi kullanılarak hesaplanması ve XCOM sonuçları ile karşılaştırmayı amaçlamaktadır. Lineer soğurma katsayısından elde edilen veriler ile ortalama serbest yol (MFP), yarı değer kalınlığı (HVL) ve onda bir değer kalınlığı (TVL) gibi parametreler de elde edilmiştir. GAMOS 6.2 programı ile gerçekleştirilen simülasyonlarda, disk şeklinde bir soğurucu malzeme üzerine gönderilen noktasal foton kaynak geometrisi kullanılmıştır. 1 keV-20 MeV aralığında otuz altı farklı foton enerjisinde gerçekleştirilmiş ve XCOM verileri ile karşılaştırılmış ve uyumlu bulunmuştur. Bu yöntemin lineer soğurma katsayıları literatürde yer almayan malzeme bileşimleri ve enerji değerleri için alternatif bir hesaplama aracı olarak güvenle kullanılabilceği düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Monte Carlo, GAMOS, XCOM, Lineer soğurma katsayısı, Kompozit biyomalzemeler,

## Gamma Radiation Absorption Properties of Fluid Dental Composite

### Abstract

This study presents the radiation absorption properties of fluid dental composite was investigated computationally and experimentally. In the computational part of the study, I and I<sub>0</sub> values were obtained for biomaterial by using the Gamos 6.2 simulation program. The results calculated with the GAMOS simulation program were compared with the XCOM data. In addition to (μ) and (μ/ρ) values, half value layer (HVL), tenth value layer (TVL) and mean free path (MFP) quantities were obtained which are important in terms of radiation absorption properties. The simulation results were found to be compatible with XCOM data for this composit biomaterial. The simulation results showed that the Monte Carlo technique can be used as an alternative to calculate the mass absorption coefficients at the requested gamma energy, especially for samples that are physically difficult to produce.

Keywords: GAMOS, XCOM, biomaterial, linear attenuation coefficients

**Keywords:** Monte Carlo, GAMOS, XCOM, Composites biomaterial, Linear attenuation coefficients

\* Sorumlu Yazar: [aycansahin@akdeniz.edu.tr](mailto:aycansahin@akdeniz.edu.tr)

## 1. Giriş

X ışımının 1895 yılında keşfedilmesinden sonra iyonize radyasyonlar tıptan endüstriye pek çok alanda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Ancak zaman içerisinde X-ışımının biyolojik dokuda verdiği hasar yeteneği de ortaya çıkmıştır. Radyasyon kaynaklı tehlikeler hakkında, uzun yıllar boyunca kazanılan bilgiler eşliğinde, bu tehlikeleri sınırlamak veya ortadan kaldırmak için etkili yöntemler kullanılarak, güvenli bir şekilde radyasyon kullanılabilir hale gelmiştir. Gama veya x-ışımı, enerjilerinin bir kısmını içinden geçtikleri materyalin elektronlarına aktararak iyonlaşma ve uyarılma olaylarına yol açarlar. X ışımının madde ile etkileşim olasılığı madde içinde karşılaşacağı atom sayısına ve maddenin yoğunluğuna bağlıdır. Soğurucu maddeyi geçen X ışımı demetinde, soğurucunun her cm'sinde meydana gelen foton sayısındaki azalmanın bir ölçüsüdür. Birimi; 1/cm'dir. Monoenerjik X ışınları denklem 1.'de görüldüğü gibi üstel bir şekilde absorbe edilir. Bu denklem "Lambert Kanunu" olarak bilinir (Attix, 2008; Hendee & Ritenour, 2003).

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

Burada  $I_0$  gelen foton akısını,  $I$  ise  $x$  kalınlığından geçen foton akısını ifade etmektedir.  $\mu$  ile ifade edilen toplam lineer azalma katsayısı; X ışını enerjisine ve soğurucu maddenin yoğunluk, atom numarası, gram başına elektron sayısı gibi özelliklerine bağlıdır

Farklı foton enerjilerinde çeşitli malzemeler için lineer soğurma katsayılarını bildiren çalışmalar literatürde mevcuttur. Literatürdeki çalışmalar hem deneysel (Akkurt et al., 2021; Al-Burihi et al., 2019; Al-Hadeethi & Sayyed, 2021; Kurtulus et al., 2021; PALACI et al., 2014; Phelps et al., 1975; Sahin & Bozkurt, 2019) hem de hesaplamalı (Akkurt & Akyıldırım, 2012; Bozkurt & Sahin, 2021; Ermis et al., 2016; Gunoglu & Akkurt, 2021; Sengul & Bozkurt, 2021) değerlendirmelere dayanan  $\mu$  değerlerini sağlar ancak bu veri tabanları genellikle belirli enerjilerde ve sınırlı sayıda malzeme için mevcuttur.

1950'den bu yana Monte Carlo hesaplamaları, medikal fizik uygulamalarının pek çok alanında kullanılabilen ve tanısal radyolojide X-ışını kullanımının potansiyel risklerinin değerlendirilmesine imkan veren bir teknik haline gelmiştir (Rogers, 2006). Radyasyondan korunma, diagnostik X-ışını, radyoterapi fiziği, dozimetri, nükleer tıp gibi medikal fiziğin farklı uygulama alanlarında Monte Carlo uygulamalarının yeri hızla artmaktadır. Bu çalışma, kompozit biyomalzemeler için 1 keV-20 MeV enerji aralığındaki  $\mu$  verilerinin Monte Carlo yöntemi ile hesaplanması ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılması amaçlanmaktadır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

Birbiri içinde erimeyen en az iki farklı malzemenin makro boyutlarda birleşerek oluşturduğu yeni malzemeye kompozit malzeme denir. Kompozit üretimindeki amaç malzemenin mekanik özelliklerinin değiştirmek ve maddeye istenilen özellikleri (Dayanım, hafiflik, esneklik, maliyet, vb.) kazandırabilmektir. Kompozitler temel olarak Matriks ve Doldurucu partiküllerden oluşurlar. Bir kompozitin matriks kısmı genellikle sistemin üretimi sırasında belirli derecelerde

sıvı şeklindedir. Örnek olarak doğal bir malzeme olan kemiğin plastik malzeme olan fiberglas ile güçlendirilmesi kompozit bir yapı oluşturur. Kompozit malzemeler, yapıtaşı olan malzemelere göre avantaj gösterir ve daha hafif, dayanıklı ve uyumlu malzeme üretimi yapılabilir. Kompoziti oluşturan her bir yapının biyoyumlu olması beklenir. Bu duruma ek olarak her bir yapının ara yüzeylerinin de vücut içerisinde bozunmaması gerekmektedir (Meral, 2013; Park & Lakes, 2007).

Biyomalzeme sınıfındaki kompozitlerin kullanım alanları aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Dental siman ve diğer dental uygulamalar için PMMA ve Epoksi reçine
- Kemik kırıklarında sabitleyici tabaka, vidalar
- Metil metakrilatla güçlendirilmiş kemik çimentosu
- Gözenek yüzeyli ortopedik implantlar, kalça protez sapları

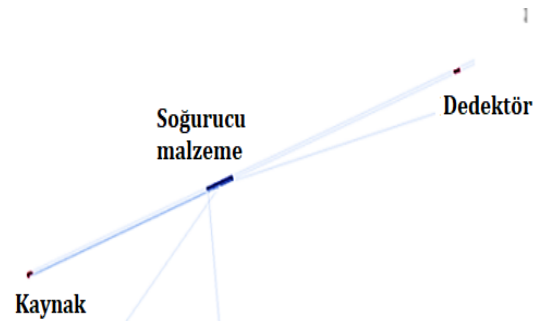
### 2.2. Metot

Monte Carlo yöntemi, istatistiksel bir sayısal analiz tekniğidir. Bu teknik, analitik veya sayısal olarak çözülmesi zor olan bir probleme ait niceliklerin ortalamalarını tahmin etmek için olasılık dağılımlarını ve rastgele sayıları kullanır. İyonlaştırıcı radyasyonun madde ile etkileşimleri de olasılığa dayalı olduğundan, radyasyon taşınım problemleri Monte Carlo yöntemi ile kolaylıkla çözülebilmektedir.(Andreo, 1991)

Biyomalzemelerin lineer soğurma katsayılarının simülasyonları yapılırken kullanılan GAMOS 6.2 simülasyon programı Linux işletim sisteminin Ubuntu 20.04 sürümüne kurulumu (Ubuntu, 2021).

Başlangıçta tıbbi fizik alanındaki simülasyonlar için tasarlanmış olan GAMOS, kullanıcılara, alana özel simülasyonlar için önceden tanımlanmış komutlara doğrudan erişim sağlamaktır (Arce et al., 2014).

Simülasyonda kullanılan geometri nokta kaynak, soğurucu malzeme olarak biyomalzeme ve 3"x 3" NaI dedektöründen oluşmaktadır. 36 farklı enerjide foton kaynağı, soğurucu malzemeyi geçtikten sonra yüzey akısını okumak üzere kaynaktan belli bir uzaklığa yerleştirilmiş detektöre ulaşmaktadır (Şekil 1.)



Şekil 1. Simülasyonda kullanılan geometri (Fig.1 Geometry of the simulation)

Tablo 1'de elementer ağırlığı ve yoğunluk bilgisi bilinen akışkan dental kompozit geometri dosyasında tanımlanmıştır. Simülasyonda Elektromanyetik fizik paketi kullanılmıştır. Skorlama yapılırken surface flux ile yüzeye ulaşan tüm

parçacıklar sayılmıştır. Skorlamaya tüm fizik prosesleri dahil edilirken, varyans azaltma teknikleri kullanılmamıştır. Simülasyon her bir biyomalzeme için, soğurucu varken ve yokken tekrarlanarak I ve I<sub>0</sub> değerleri elde edilmiştir. Monte

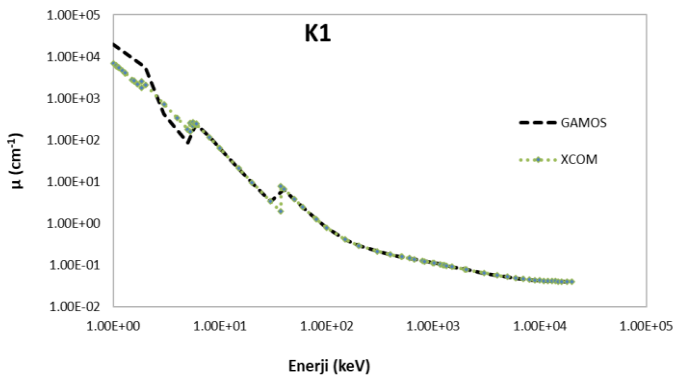
Carlo hesaplamalarının doğruluğunu arttırmak ve düşük istatistiksel hata oluşturmak için yeterli sonuç veren 10<sup>7</sup> foton öyküsü kullanılmıştır.

Tablo 1. Çalışmada Kullanılan akışkan dental kompozitin elementel analizleri (Table 1. Elemental analysis of the flowable dental composite used in the study)

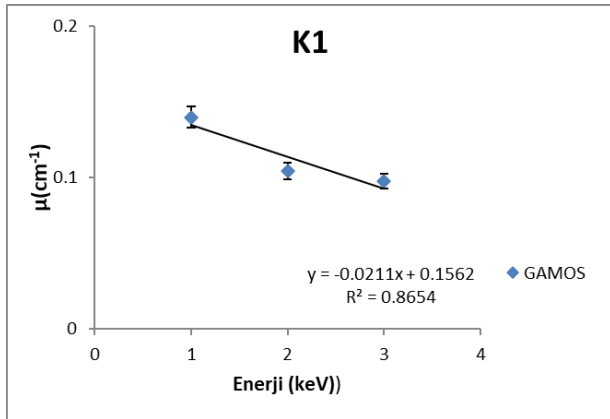
Malzeme	yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Kalınlık (mm)	C	O	Na	Al	Si	Ba
K1	1.808	4	32.35	34.84	1.48	2.51	14.85	13.97

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

#### 3.1. Linear Soğurma Katsayısı Sonuçları



Şekil 2. Linear soğurma katsayısının enerjiyle değişimi (Fig.2 Variation of linear attenuation coefficient with energy)

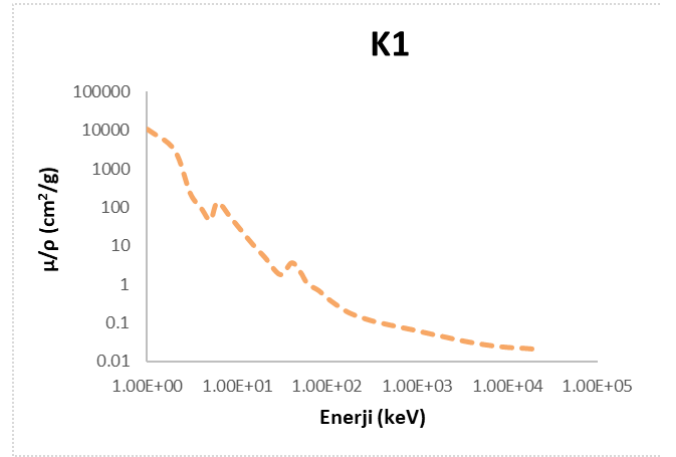


Şekil 3. Linear soğurma katsayısının enerjiyle değişimi (Fig.3 Variation of linear attenuation coefficient with energy)

Linear soğurma katsayısı herhangi bir malzemenin radyasyon soğurma özelliği için en önemli parametrelerin başında gelmektedir ve bu çalışmada elde edilen sonuçlar Şekil 2 ve 3'te gösterilmiştir. Bu şekilden görüleceği gibi den linear soğurma katsayısının enerjiye linear şekilde bağlıdır. Enerji arttıkça linear soğurma kat sayısı azalmaktadır.

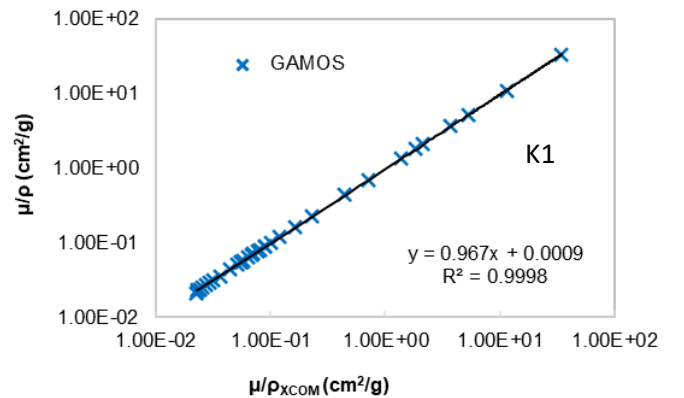
Kütleli soğurma katsayısı, linear soğurma katsayısının maddenin yoğunluğuna bölünmesi ile elde edilir. Kütleli soğurma katsayısı  $\mu/\rho$ , maddenin yoğunluğundan bağımsızdır ve birimi cm<sup>2</sup>/g'dır. Şekil 4'de biyomalzemenin  $\mu/\rho$  değerlerinin enerjiyle ters orantılı olduğu görülüyor, bu da fotoelektrik

etkileşim olasılığının düşük foton enerjisi ve incelenen örneğin yüksek atom sayısı ile ilişkili olduğunu gösteriyor.



Şekil 4. Akışkan dental kompozit için  $\mu/\rho$ ' nun enerjiyle değişimi (Fig.4 Variation of mass attenuation coefficient with energy)

Bu çalışmada incelenen deney ve GAMOS sonuçları XCOM (Berger et al., 2019) sonuçlarıyla karşılaştırıldığında < %0,5 oranında birbirine uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 5'de kompozit malzeme için XCOM ve GAMOS sonuçlarının benzer eğilim sergilediğini gösterilmektedir ( $R^2 > 0.9797$ ).



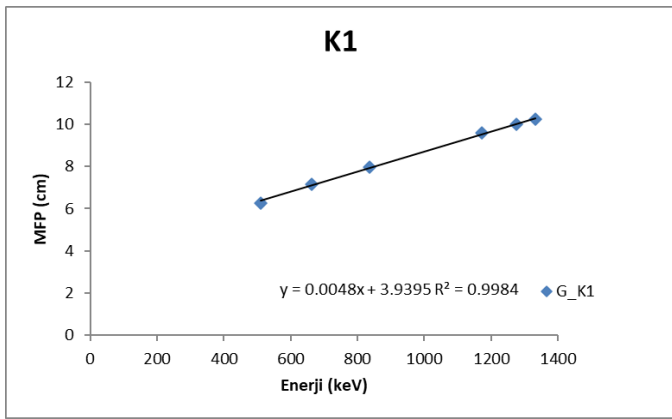
Şekil 5. Monte Carlo simülasyonlarından elde edilen ( $\mu/\rho$ ), XCOM veri tabanından alınan verilere karşı çizilmiştir. (Fig. 5 ( $\mu/\rho$ ), from Monte Carlo simulations plotted against data from the XCOM database)

### 3.2.Ortalama Serbest yol Sonuçları;

Ortalama serbest yol, malzemenin farklı gamma enerjilerinde radyasyon koruma açısından performansını belirlemek için kullanılan bir diğer parametredir. Gama radyasyonunun kalkan malzemesi ile etkileşmeden önce kat edebileceği ortalama mesafe olarak tanımlanır ve Denklem 2. ile verilir.

$$MFP = \frac{1}{\mu} \quad (2)$$

Akışkan dental kompozit biyomalzeme için MFP değerleri gama enerjilerinin bir fonksiyonu olarak Şekil 6’ da gösterilmektedir. Bu şekilden açıkça görülmektedir ki düşük enerjili gama kısa mesafede enerjisini kaybederken enerji arttıkça daha uzun mesafe alabilir.



Şekil 6. Ortalama serbest yol -Enerji (Fig. 6 Mean free path - Energy)

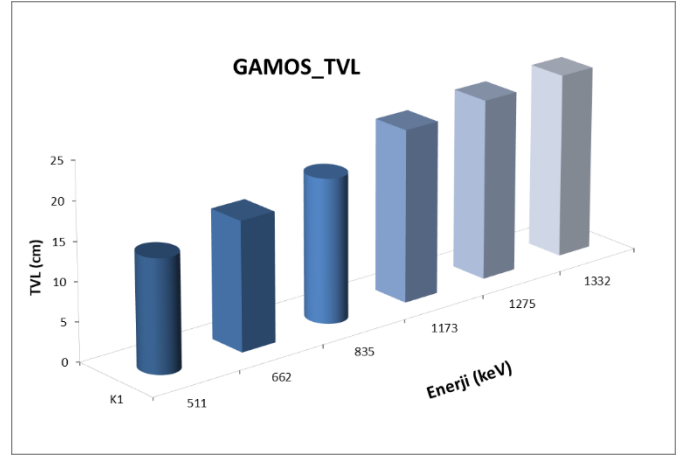
### 3.3.Yarı Değer Kalınlığı Sonuçları

Bir malzemenin radyasyon soğurma özelliklerini belirlemek için yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri, yarı değer kalınlığı ve onda bir değer kalınlığıdır. HVL, soğurucu malzemeyi geçtikten sonra, zayıflatılmış radyasyon yoğunluğunun, gelen radyasyon yoğunluğunun yarısı olacak şekilde zayıflatılması için gerekli malzeme kalınlığıdır. TVL ise zayıflatılmış radyasyon yoğunluğunun gelen radyasyon yoğunluğunun onda birine karşılık gelen kalkan malzemesinin kalınlığı olarak tanımlanır. Bunlar sırasıyla Denklem 3. ve Denklem 4.’de verilmiştir.

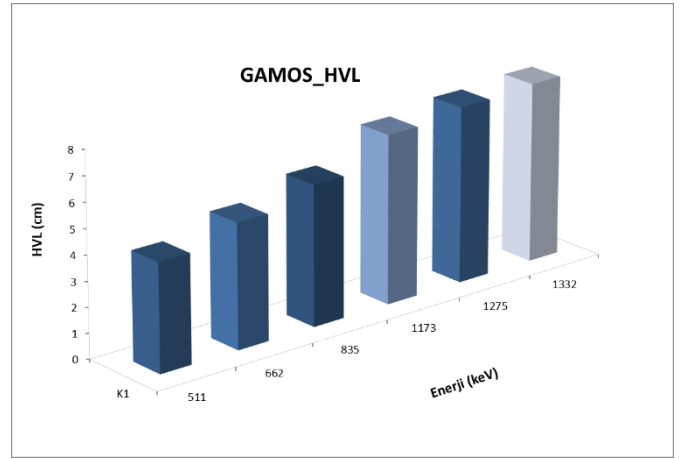
$$HVL = \frac{\mu}{\ln 2} \quad (3)$$

$$TVL = \frac{\mu}{\ln 10} \quad (4)$$

Akışkan dental kompozit biyomalzemenin gelen gama radyasyon şiddetini HVL ve TVL değerlerine indirgemek için gerekli kalınlıklar elde edilmiş ve 3 boyutlu olarak gösterilmiştir. Sonuçlar artan gama enerjisi ile HVL ve TVL’nin arttığını göstermektedir (Şekil 7-8).



Şekil 7. Akışkan dental kompozit için TVL -Enerji (Fig. 7 TVL - Energy for flowable dental composite)



Şekil 8. Kompozit malzemeler için HVL -Enerji (Fig. 8 HVL - Energy for flowable dental composite)

## 4. Sonuç

Bu çalışmada doğal veya sentetik malzeme olarak insan vücudunda kullanılan kompozit biyomalzemenin, lineer soğurma katsayılarının Monte Carlo hesaplamaları ile belirlenmesi ve XCOM sonuçları ile karşılaştırılması amaçlanmıştır. Biyomalzemeler için elde edilen deneysel ve hesaplamalı verilerden aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir;

- Lineer soğurma katsayılarının artan gama enerjisi ile azaldığını ve artan malzeme yoğunluğu ile arttığını göstermiştir.
- Kütleli soğurma katsayılarının sonuçları ilk önce, fotoelektrik soğurmanın baskın olduğu enerji aralığında, malzemenin atom numarasına bağlı olarak keskin bir düşüş sergiler. Bu ilk ani düşüşten sonra,  $\mu / \rho$  değerlerinde atom numarası bağımlılığının ortadan kalkmasıyla, neredeyse benzer bir eğilimle kademeli bir düşüş gösterir. Bu son davranış, Compton saçılmasının orta ve yüksek enerjilerde daha baskın olmasına bağlanabilir.
- HVL ve TVL, artan gama enerjisi ile arttığını göstermektedir.

- MFP değerlerinde açıkça görülmektedir ki, gama düşük enerjili gama kısa mesafede enerjisini kaybederken enerji arttıkça daha uzun mesafe alabilir.
- Elde edilen değerler, XCOM veri tabanının teorik değerleriyle kıyaslanmış ve oldukça iyi uyum gözlenmiştir ( $R^2 = 0.9997$  mertebesinde).

Bu sonuçlar ışığında, ölçüm imkanlarının laboratuvar ortamında kullanılabilecek gama enerjileri ile sınırlı olması veya malzemenin fiziksel olarak üretilmesindeki zorluklar nedeniyle ölçümlerin gerçekleştirilememesi gibi kısıtlamaların varlığında Monte Carlo yaklaşımının güvenle kullanılabileceğini göstermektedir.

## Kaynakça

- Akkurt, I., & Akyıldırım, H. (2012). Radiation transmission of concrete including pumice for 662, 1173 and 1332 keV gamma rays. *Nuclear engineering and design*, 252, 163-166.
- Akkurt, I., Malidarre, R. B., & Kavas, T. (2021). Monte Carlo simulation of radiation shielding properties of the glass system containing Bi 2 O 3. *The European Physical Journal Plus*, 136(3), 1-10.
- Al-Buriah, M. S., Arslan, H., & Tonguç, B. T. (2019). Mass attenuation coefficients, water and tissue equivalence properties of some tissues by Geant4, XCOM and experimental data. *Indian Journal of Pure & Applied Physics (IJPAP)*, 57(6), 433-437.
- Al-Hadeethi, Y., & Sayyed, M. I. (2021). Gamma radiation attenuation characteristics for lithium-zinc-tellurite glasses using Geant4 code and PDS computer software. *Ceramics International*, 47(2), 1660-1665. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2020.08.282>
- Andreo, P. (1991). Monte Carlo techniques in medical radiation physics. *Physics in Medicine & Biology*, 36(7), 861.
- Arce, P., Lagares, J. I., Harkness, L., Pérez-Astudillo, D., Cañadas, M., Rato, P., de Prado, M., Abreu, Y., de Lorenzo, G., & Kolstein, M. (2014). Gamos: A framework to do Geant4 simulations in different physics fields with a user-friendly interface. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 735, 304-313.
- Attix, F. H. (2008). *Introduction to radiological physics and radiation dosimetry*. John Wiley & Sons.
- Berger, M., Hubbell, J., Seltzer, S., Chang, J., Coursey, J., Sukumar, R., Zucker, D., & Olsen, K. (2019). XCOM: Photon Cross Sections Database. NIST, PML, Radiation Physics Division. In.
- Bozkurt, A., & Sahin, A. (2021). Monte Carlo Approach for Calculation of Mass Energy Absorption Coefficients of Some Amino Acids. *Nuclear Engineering and Technology*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.net.2021.04.004>
- Ermis, E., Pilicer, F., Pilicer, E., & Celiktas, C. (2016). A comprehensive study for mass attenuation coefficients of different parts of the human body through Monte Carlo methods. *Nuclear Science and Techniques*, 27(3), 54.
- Gunoglu, K., & Akkurt, İ. (2021). Radiation shielding properties of concrete containing magnetite. *Progress in Nuclear Energy*, 137, 103776. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2021.103776>

- Hendee, W. R., & Ritenour, E. R. (2003). *Medical imaging physics*. John Wiley & Sons.
- Kurtulus, R., Kavas, T., Mahmoud, K., Akkurt, I., Gunoglu, K., & Sayyed, M. (2021). The effect of Nb 2 O 5 on waste soda-lime glass in gamma-rays shielding applications. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 32(4), 4903-4915.
- Meral, M. (2013). *Çok İşlevli Uyluk Çivisi Tasarımı, Üretimi Ve Mekanik Özellikleri Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- PALACI, H., GÜNAY, O., & YARAR, O. (2014). Türkiye'deki radyasyon güvenliği ve koruma eğitiminin değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(14), 249-254.
- Park, J., & Lakes, R. S. (2007). *Biomaterials: an introduction*. Springer Science & Business Media.
- Phelps, M. E., Hoffman, E. J., & Ter-Pogossian, M. M. (1975). Attenuation coefficients of various body tissues, fluids, and lesions at photon energies of 18 to 136 keV. *Radiology*, 117(3), 573-583.
- Rogers, D. (2006). Fifty years of Monte Carlo simulations for medical physics. *Physics in Medicine & Biology*, 51(13), R287.
- Sahin, A., & Bozkurt, A. (2019). Monte Carlo Calculation of Mass Attenuation Coefficients of Some Biological Compounds. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi*, 14(2), 408-417.
- Sengul, A., & Bozkurt, A. (2021). Bazı Biyolojik Bileşiklerin Kütleli Enerji Soğurma Katsayılarının Monte Carlo Yöntemiyle Hesaplanması. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi*, 16(2), 416-423.
- Ubuntu. (2021). <https://ubuntu.com/download/desktop>