



Makale / Research Paper

**Bazı Seramiklerin Düşük Enerjili Gamalar için Radyasyon Soğurma Kapasitelerinin Belirlenmesi**

Bahar TÜYSÜZ<sup>a\*</sup>, Serdar DİZMAN<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Rize/TÜRKİYE

<sup>b</sup>Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Rize/TÜRKİYE

\*[bahar\\_tuysuz20@erdogan.edu.tr](mailto:bahar_tuysuz20@erdogan.edu.tr)

Received/Geliş: 017.07.2021

Accepted/Kabul: 22.02.2021

**Öz:** İnsanların çoğu zamanını binaların (ev, ofis, okul, avm vs.) içerisinde geçirdiği göz önünde bulundurulduğunda yapı malzemelerinin radyasyon tutuculuk özelliklerinin önemli olduğu görülür. Bu bağlamda binalarda sıkça kullanılan seramik örneklerinde radyasyon tutuculuk özelliklerinin incelenmesi oldukça önemlidir. Aynı zamanda, radyasyon soğurma hesaplamalarının bir amacı da daha az kütleyle sahip ve daha iyi soğurucu özelliği olan malzemeleri belirlemektir. Buna binaen yapılan çalışmada, yapı marketlerden alınan 8 farklı kalınlığa sahip olan ve farklı markalara ait 20 adet seramik numunesi 59.5 keV enerjili gama ışını ile ışımlandı ve Yüksek Safılıkta Germanyum Dedektörü (HPGe) kullanılarak seramik numunelerinin lineer ve kütle soğurma katsayıları deneysel olarak ölçüldü. Ayrıca, incelenen örneklerin radyasyondan korunma verimliliği (RPE), yarı değer kalınlığı (HVL) ve ortalama serbest yol (MFP) değerleri de hesaplandı. Ölçüm ve hesaplama sonuçlarına göre lineer soğurma katsayısı, kütle soğurma katsayısı, RPE, HVL ve MFP değerlerinin değişimleri sırasıyla, 0.5284 - 1.7543 cm<sup>-1</sup>, 0.2373 - 0.7078 cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>, 32.9326 - 75.8532, 0.3950 - 1.3115 cm ve 0.5700 - 1.8925 cm aralığında bulundu. Seramik örnekleri için hesaplanan lineer ve kütle soğurma katsayıları literatürde verilen bazı yapı malzemeleri ile kıyaslandı. Sonuç olarak, incelenen markalara ait seramik örneklerinin radyasyon soğurma kapasitelerinin birbirinden farklı olduğu görüldü. Bu farklılığın seramiklerin içeriğindeki element veya bileşiklerden kaynaklandığı söylenebilir.

**Anahtar Kelimeler:** Radyasyon; soğurma; seramik; radyasyondan korunma verimliliği.

**Determination of the Radiation Absorption Capacity for Low-Energy Gamma of Some Ceramics**

**Abstract:** Considering that people spend most of their time in buildings (home, office, school, shopping mall, etc.), it is seen that the radiation absorption properties of building materials are important. In this context, it is very important to examine the radiation absorption properties of ceramic samples, which are frequently used in buildings. On the other hand, another purpose of radiation absorption calculations is to identify materials that have less mass and better absorbing properties. Therefore, in this study, 20 ceramic samples of 8 different thicknesses and different brands bought from construction markets were irradiated with 59.5 keV gamma rays, and the linear and mass absorption coefficients of the ceramic samples were experimentally measured using a High Purity Germanium Detector (HPGe). In addition, the radiation protection efficiency (RPE), half-value layer (HVL) and mean free path (MFP) values of the examined samples were calculated. According to measurement and calculation results, the changes in linear absorption coefficient, mass absorption coefficient, RPE, HVL and MFP values were found to be in the range of 0.5284 - 1.7543 cm<sup>-1</sup>, 0.2373 - 0.7078 cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>, 32.9326 - 75.8532, 0.3950 - 1.3115 cm and 0.5700 - 1.8925 cm, respectively. The linear and mass absorption coefficients calculated for ceramic samples were compared to some building materials given in the literature. As a result, it was seen that the radiation absorption capacities of the ceramic samples belonging to the brands examined were different from each other. It can be said that this difference is due to the elements or compounds in the content of the ceramics.

**Keywords:** Radiation; absorption; ceramic; radiation protection efficiency.

*Bu makaleye atf yapmak için*

Tüysüz, B., Dizman, S., "Bazı Seramiklerin Düşük Enerjili Gamalar için Radyasyon Soğurma Kapasitelerinin Belirlenmesi" El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi 2022, 9 (2); 522-531.

*How to cite this article*

Tüysüz, B., Dizman, S., "Determination of the Radiation Absorption Capacity for Low-Energy Gamma of Some Ceramics" El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 2022, 9 (2); 522-531.

ORCID ID: <sup>a</sup>0000-0001-8484-8938; <sup>b</sup>0000-0002-6511-9526

## 1. Giriş

İnsanlar, kozmik ışıklardan iyonlaştırıcı radyasyona ve Dünya'nın kabuğunda bulunan doğal olarak oluşan radyoaktif maddelere sürekli olarak maruz kalmaktadırlar. İnsanların doğal radyasyona maruz kalmasının ana kaynakları olan doğal olarak oluşan radyonüklitler, özellikle potasyum, uranyum ve toryum serilerinin radyonüklitleridir. Çevresel örneklerdeki doğal radyonüklit konsantrasyonları coğrafi ve jeolojik faktörler nedeniyle çok farklı olabilirler [1].

Radyasyonun farklı malzemelerle etkileşimi üzerine yapılan çalışmalar temel fizikte çok önemlidir. Günümüzde radyasyondan korunma, radyasyon tedavisi ve radyasyon sağlığı gibi uygulamalı nükleer radyasyon alanlarında önemli olan radyasyon için koruyucu malzemeler gibi çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Bilim insanları, radyasyona karşı doğal ve doğal olmayan koruyucu malzemeler aramaktadırlar. Radyasyon kalkanı üzerinde farklı malzemelerle (örneğin; kumaş, ahşap, polimer, seramik, alaşım vb.) birçok deneysel ve teorik çalışma yapılmıştır [2, 3].

Seramik malzemeler düşük dielektrik sabiti, düşük ısıl genleşme, yüksek erime noktası ve güçlü oksidasyon direnci gibi özelliklerinden dolayı radyasyondan korunmak için kullanılan materyallerden biridir [4].

Seramik ürünler genellikle binalarda (ev, hastane, işyeri vb.) banyo, tuvalet ve mutfakta kullanılmakta ve çeşitli malzemelerin karıştırılması, karışımın yüksek sıcaklıkta pişirilmesi ve şekillendirilmesi ile üretilmektedir. Dünya seramik pazarı yaklaşık 9.1 Milyar Euro'luk bir ticaret hacmine sahiptir [5]. Türkiye, seramik üretiminde Avrupa'nın önde gelen ülkeleri arasında yer almakta olup, dünyada Çin ve Brezilya'nın ardından üçüncü sırada yer almaktadır. Ayrıca Türkiye, dünya seramik ihracatında Çin ve Meksika'nın ardından üçüncü sırada yer almaktadır [6, 7].

Bu çalışmada, yapı marketlerde satılan ve tüketicinin kullanımına sunulan farklı markalara ait 20 adet seramik numunesinin 59.5 keV enerjide dar ışın geometrisi deney düzeneğine sahip Yüksek Saflıkta Germanyum Dedektörü (HPGe) kullanılarak lineer ve kütle soğurma katsayıları deneysel olarak ölçülmüştür. Ayrıca, alınan seramik numunelerinin radyasyondan korunma verimliliği (RPE), yarı değer kalınlığı (HVL) ve ortalama serbest yol (MFP) değerleri hesaplandı. Ek olarak, hesaplanan parametreler literatürde verilen benzer çalışmalarla kıyaslandı.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Örneklerin Toplanması

Yapı marketlerde tüketicinin kullanımına sunulan 8 farklı firmaya ait 20 adet farklı kalınlıklarda seramik karolar alındı.

### 2.2. Örneklerin Analize Hazırlanması

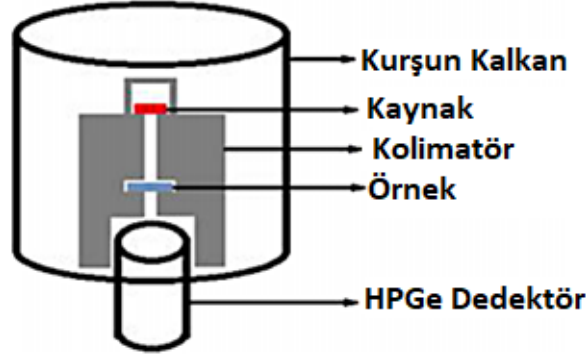
Alınan 20 adet seramiğin her biri seramik kesme makinası kullanılarak 2x2 cm boyutunda kesildi. Kesilen seramikler N1'den başlayarak N20'ye kadar numaralandırıldı. Seramiklerin, bir verniyeli kumpas yardımıyla kalınlıkları ve hassas terazi ile de kütleleri hata payını azaltmak için 3'er kez ölçüldü ve ortalamaları alındı.

### 2.3. Analizlerin Yapılması

Seramiklerin radyasyon soğurma kapasitelerinin ölçülmesinde Şekil 1'de gösterilen deney düzeneği kullanıldı [1]. Gama ışını kaynağı olarak 370 MBq aktiviteye sahip silindirik bir radyoaktif <sup>241</sup>Am

nokta kaynağı kullanıldı.  $^{241}\text{Am}$  radyoaktif kaynağı 59.54 keV enerjide %35.9 bollukta gama ışınları yayar. Radyoaktif nokta kaynaktan yayınlanan gamaların dedektör penceresine dik olarak yönelmesini sağlamak için kurşun kolimatör kullanılmıştır.

Radyoaktif kaynaktan yayınlanan gamaların değerini belirlemek için ilk olarak deney düzeneğine örnekler yerleştirilmeden önce sayım gerçekleştirildi. Daha sonra, ölçümler için seramik örneklerinin her biri gama ışını dedektörü ile  $^{241}\text{Am}$  radyoaktif kaynak arasına yerleştirildi ve 600 saniye boyunca HPGe ile sayıldı. Ölçümler sonucunda elde edilen gama spektrumları, foto pik alanının belirlenmesi için GammaVision yazılımı ile analiz edildi.



Şekil 1. Gama ışını zayıflamasını ölçmek için deneysel kurulum

Çalışmada kullanılan yüksek saflıkta germanyum dedektörü (ORTEC HPGe, Model No: GEM55P4-95) %55 verime ve çok kanallı bir analizöre sahiptir. Bu dedektör sisteminin çözünürlüğü (yarı maksimumdaki tam genişlik),  $^{57}\text{Co}$ 'nin 122 keV enerjideki gama ışını için 1.0 ve  $^{60}\text{Co}$ 'ın 1332 keV enerjideki gama ışını için 1.9'dur. Dedektör, arka plan radyasyon (background) seviyesini düşürmek için 10 cm kalınlığa sahip silindirik bir kurşun ile çevrilmiştir. Dedektörün verimi, aktivitesi bilinen bir  $^{152}\text{Eu}$  kaynağı ile belirlendi.  $^{152}\text{Eu}$  radyoaktif kaynağı; %3 - %29 emisyon olasılıklarında ve geniş enerji aralıklarında (122, 244, 344, 411, 443, 779, 964, 1112 ve 1408 keV) fotonlar yaydığı için enerji kalibrasyonu ve verimin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır [1].

#### 2.4. Radyasyon Soğurma Kapasitelerinin Hesaplanması

Fotonlar, herhangi bir malzeme ile çeşitli mekanizmalarla etkileşirler. Bir malzeme gama ışını ile ışınlanırsa, ışının yoğunluğu malzeme tarafından azaltılacaktır. Bu durumda, malzemenin lineer zayıflama katsayısı Lambert-Beer yasasına göre (Denklem 1) hesaplanır [8].

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

Burada  $I_0$  soğurma olmadan (numunesiz) dedektörde kaydedilen sayım sayısı,  $I$  soğurucu varken dedektörde kaydedilen sayım sayısı,  $\mu$  lineer soğurma katsayısı ( $\text{cm}^{-1}$ ) ve  $x$  malzemenin kalınlığıdır (cm). Belirli bir malzemeyi soğurma yönünden karakterize eden daha uygun bir parametre, kütle soğurma katsayısıdır ( $\mu_m$ ) ve lineer soğurma katsayısı ile kütle soğurma katsayısı arasındaki ilişki Denklem 2 ile verilir [10].

$$\mu_m = \mu/\rho \quad (2)$$

Burada  $\mu$  lineer soğurma katsayısı ( $\text{cm}^{-1}$ ) ve  $\rho$  malzemenin özgül ağırlığıdır ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ). Mevcut malzemenin gama fotonlarını soğurma performansı, radyasyondan korunma verimliliği (RPE) açısından incelenir ve Denklem 3 ile hesaplanır [11]. Mevcut malzemenin gama fotonlarını

soğurma performansı, radyasyondan korunma verimliliği (RPE) açısından incelenir ve Denklem 3 ile hesaplanır [10].

$$RPE = 1 - \left(\frac{I}{I_0}\right) \cdot 100 \quad (3)$$

Burada  $I$  dedektöre ulaşan ve  $I_0$  ise iletilen fotonun yoğunluklarıdır. Yarı değer kalınlığı (HVL) radyonüklitlerden yayılan fotonların yarısının durdurulması için gereken zırh kalınlığıdır. Bu parametre foton enerjisi ile soğurucu maddenin atom numarasına bağlıdır [4, 11].

$$HVL (cm) = \frac{0.693}{\mu} \quad (4)$$

Burada  $\mu$  lineer soğurma katsayısıdır ( $cm^{-1}$ ). Ortalama serbest yol (MFP), radyasyonun ortamda iki etkileşim arasında aldığı yol; materyal cinsine ve radyasyon enerjisine bağlı olarak değişmektedir [4, 12].

$$MFP (cm) = \frac{1}{\mu} \quad (5)$$

### 3. Bulgular ve Tartışma

Yapı marketlerden alınan 8 farklı firmaya ait 20 seramik örneğinin örnek kodu, marka kodu, kalınlığı, kütlesi ile hesaplanan hacim ve yoğunluk değerleri Tablo 1’de verilmektedir. İncelenen seramik örneklerinde en az kalınlığa (0.59 cm) sahip örneğin N7 kodlu ve G markalı örnek olduğu belirlenmiştir. Aynı şekilde, kalınlığı en fazla olan örneklerin ise N10, N12 ve N17 kodlu örnekler olduğu tespit edilmiştir.

**Tablo 1.** Seramik örneklerinin kodları ve bazı fiziksel değerleri

Örnek	Marka	Kalınlık (cm)	Kütle (g)	Hacim (cm <sup>3</sup> )	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )
N1	D	0.81	8.8609	3.2400	2.7348
N2	A	0.89	7.7162	3.5560	2.1699
N3	E	0.87	5.1729	3.4680	1.4916
N4	E	0.77	7.5671	3.0600	2.4729
N5	B	0.77	7.2849	3.0800	2.3652
N6	G	0.70	6.3800	2.7800	2.2950
N7	G	0.59	5.5408	2.3520	2.3558
N8	H	0.89	7.3358	3.5480	2.0676
N9	E	0.79	6.8425	3.1440	2.1764
N10	G	0.91	6.7399	3.6400	1.8516
N11	G	0.81	7.1390	3.2440	2.2007
N12	G	0.91	8.8462	3.6320	2.4356
N13	F	0.70	7.0130	2.8000	2.5046
N14	E	0.77	5.1227	3.0880	1.6589
N15	C	0.81	8.0304	3.2400	2.4785
N16	E	0.70	6.6860	2.8000	2.3879
N17	E	0.91	9.0726	3.6560	2.4816
N18	G	0.89	8.4041	3.5400	2.3740
N19	C	0.70	6.1823	2.8080	2.2017
N20	C	0.87	6.0554	3.4720	1.7441

Tablo 1’de verilen değerler kullanılarak seramik örneklerinin lineer ve kütle soğurma katsayılarının yanında örneklerin RPE, HVL ve MFP değerleri de hesaplandı. Hesaplama sonucu elde edilen bu değerler Tablo 2’de verilmektedir.

**Tablo 2.** Seramik numuneleri için hesaplanan bazı değerler

Örnek Kodu	$\mu$ (cm <sup>-1</sup> )	RPE	$\mu_m$ (cm <sup>2</sup> /g)	HVL (cm)	MFP (cm)
N1	0.6491	40.8882	0.2373	1.0677	1.5407
N2	0.6361	43.1908	0.2931	1.0895	1.5721
N3	0.5782	39.4243	0.3876	1.1986	1.7296
N4	0.6685	40.0367	0.2703	1.0366	1.4958
N5	0.6423	39.0178	0.2716	1.0789	1.5568
N6	0.6359	35.7200	0.2771	1.0899	1.5727
N7	0.6794	32.9326	0.2884	1.0201	1.4719
N8	0.6566	44.1453	0.3176	1.0554	1.5230
N9	0.5891	37.0616	0.2707	1.1764	1.6976
N10	0.5633	40.1053	0.3042	1.2303	1.7753
N11	0.6402	40.4989	0.2909	1.0825	1.5621
N12	0.6570	44.9272	0.2697	1.0549	1.5222
N13	0.7015	38.8012	0.2801	0.9879	1.4255
N14	0.5881	36.4921	0.3545	1.1784	1.7004
N15	1.7543	75.8532	0.7078	0.3950	0.5700
N16	0.6354	35.9023	0.2661	1.0907	1.5739
N17	0.6335	43.9534	0.2553	1.0940	1.5786
N18	0.6245	42.4616	0.2631	1.1096	1.6012
N19	0.6539	36.8096	0.2970	1.0598	1.5294
N20	0.5284	36.7860	0.3030	1.3115	1.8925

Tablo 2 incelendiğinde, lineer soğurma katsayısı değerlerinin 0.5284 ile 1.7543 cm<sup>-1</sup> arasında, kütle soğurma katsayılarının ise 0.2373 ile 0.7078 cm<sup>2</sup>/g arasında değiştiği belirlenmiştir.

İncelenen örneklerde RPE, HVL ve MFP değerlerinin sırasıyla 32.9326 ile 75.8532, 0.3950 ile 1.3115 cm ve 0.5700 ile 1.8925 cm arasında değiştiği belirlenmiştir. 20 adet seramik numunesinin ait olduğu 8 markanın lineer soğurma katsayısı ortalamaları Tablo 3’te verilmektedir. Buna göre 8 marka içinden lineer soğurma katsayısı en yüksek olan C markası, en düşük olan ise E markasıdır.

**Tablo 3.** Markalara ait lineer soğurma katsayısı ortalamaları

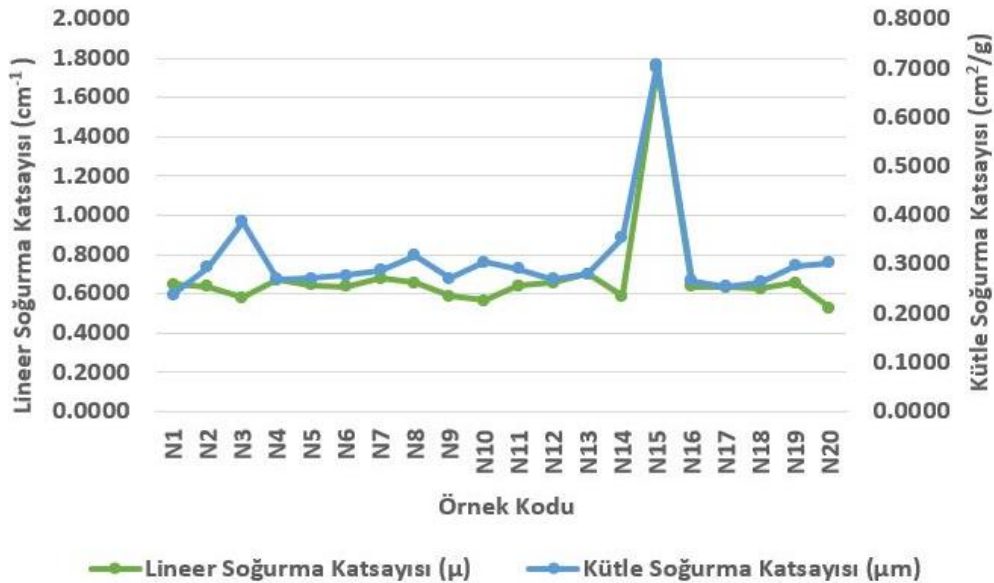
Marka	Lineer Soğurma Katsayısı (cm <sup>-1</sup> )
A	0.6361
B	0.6423
C	0.9789
D	0.6491
E	0.6115
F	0.7015
G	0.6336
H	0.6566

İncelenen 20 adet seramik numunesinin kalınlıklarına göre hesaplanan lineer soğurma katsayıları ve ortalamaları Tablo 4'te verilmektedir.

**Tablo 4.** İncelenen örneklerin kalınlıklarına göre lineer soğurma katsayıları

Kalınlık (cm)	Marka	$\mu$ (cm <sup>-1</sup> )	$\mu_{ort}$ (cm <sup>-1</sup> )
0.59	G	0.6794	0.6794
	G	0.6959	
0.70	F	0.7015	0.6717
	E	0.6354	
	C	0.6539	
0.77	E	0.6685	0.6330
	B	0.6423	
	E	0.5881	
0.79	E	0.5891	0.5891
	D	0.6491	
0.81	G	0.6402	1.0145
	C	1.7543	
	E	0.5782	
0.87	C	0.5284	0.5533
	A	0.6361	
0.89	H	0.6566	0.6391
	G	0.6245	
	G	0.5633	
0.91	G	0.6570	0.6179
	E	0.6335	

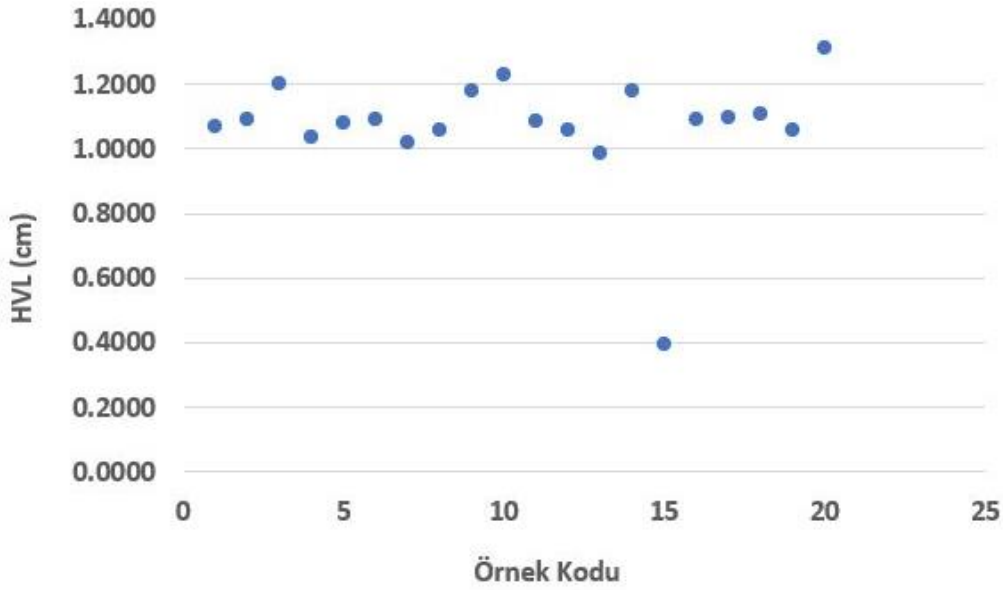
Tablo 4'te görüldüğü üzere, en yüksek lineer soğurma katsayısının 0.81 cm kalınlığa sahip örneklerde olduğu belirlenmiştir. Aslında lineer soğurma katsayısı formülüne bakıldığında kalınlık arttıkça soğurmanın artması beklenir. Ancak, 0.81 cm kalınlıktan daha fazla kalınlığa sahip örneklerin lineer soğurma katsayısının daha düşük olduğu görülmektedir. Bunun nedeninin seramiklerin içeriğindeki element ya da bileşenlerine bağlı olmasından kaynaklanabileceği söylenebilir. Örnek kodlarına göre lineer ve kütle soğurma katsayılarının değişimi Şekil 2' de gösterilmektedir.



**Şekil 2.** Örnek kodlarına göre lineer ve kütle soğurma katsayısı değişimi

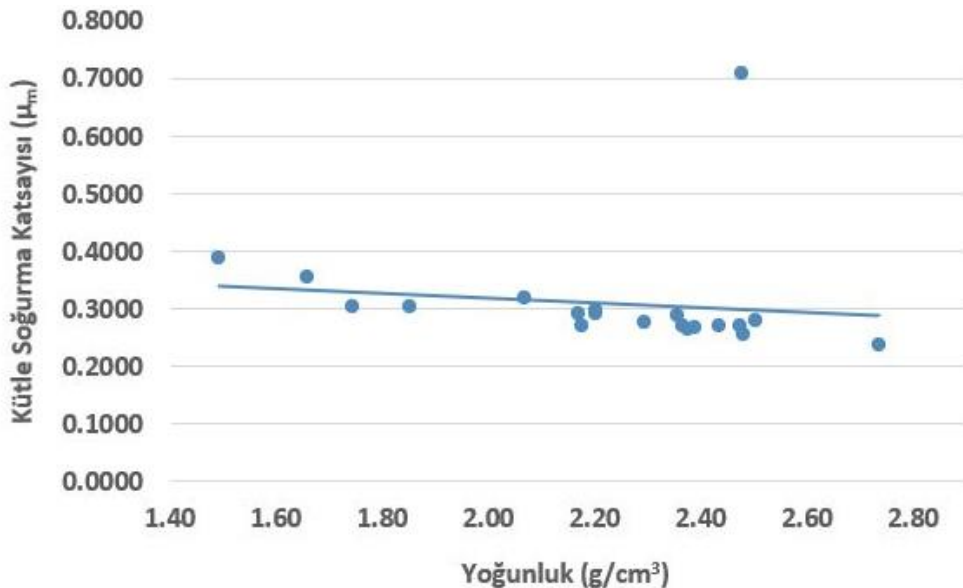
Şekil 2’den görüldüğü üzere, en yüksek lineer soğurma katsayısına sahip olan örnek,  $1.7543 \text{ cm}^{-1}$  değeri ile C markasına ait N15 kodlu örnek olduğu tespit edilmiştir. En düşük değere sahip olan örneğin ise  $0.5284 \text{ cm}^{-1}$  değeri ile yine C markasına ait N20 kodlu örnek olduğu belirlenmiştir. En yüksek kütle soğurma katsayısına ( $0.7078 \text{ cm}^2/\text{g}$ ) sahip örneğin yine C markasına ait N15 kodlu örnek olduğu, en düşük kütle soğurma katsayısına sahip olan örneğin ise ( $0.2373 \text{ cm}^2/\text{g}$ ) D markasına ait N1 kodlu örnek olduğu tespit edilmiştir.

Seramik numuneleri için hesaplanan HVL değerlerinin değişimi Şekil 3’te gösterilmektedir. En düşük yarı değer kalınlığına ( $0.3950 \text{ cm}$ ) sahip olan N15 örneğidir. N20 örneği, en yüksek HVL değerine ( $1.3115 \text{ cm}$ ) sahip olan örnektir. Bu iki örnek de C markasına ait seramik örnekleridir. N15 kodlu seramik örneğinin diğer seramik örneklerine göre daha iyi bir soğurucu olduğu açık bir şekilde görülmektedir.



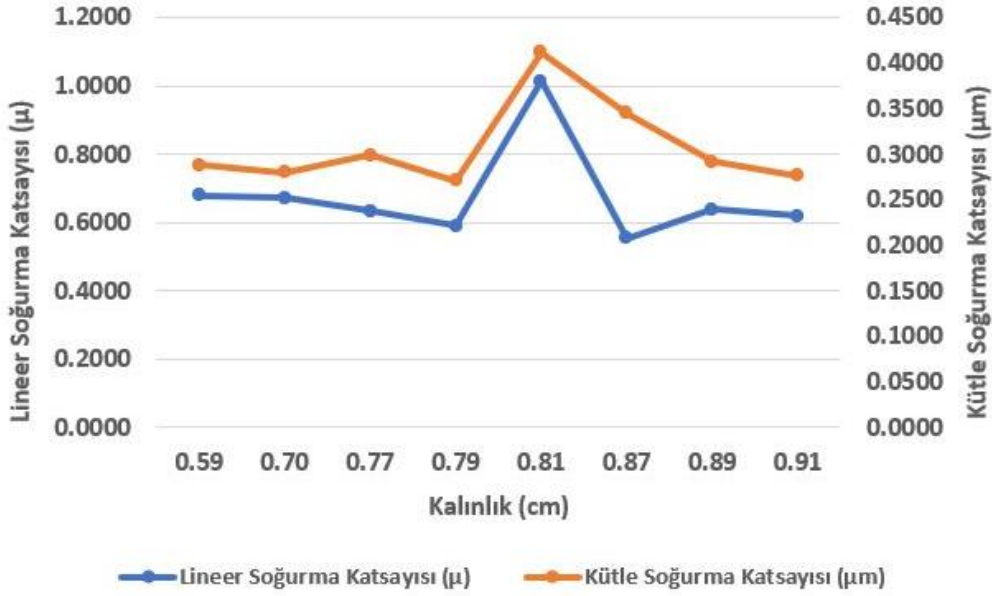
Şekil 3. Örnek kodlarına göre yarı değer kalınlıklarının değişimi

İncelenen seramik örneklerinin yoğunluklarına göre kütle soğurma katsayılarının değişimi Şekil 4’te gösterilmektedir.



Şekil 4. Seramik numunelerinin yoğunluklarına göre kütle soğurma katsayılarının ( $\mu_m$ ) değişimi

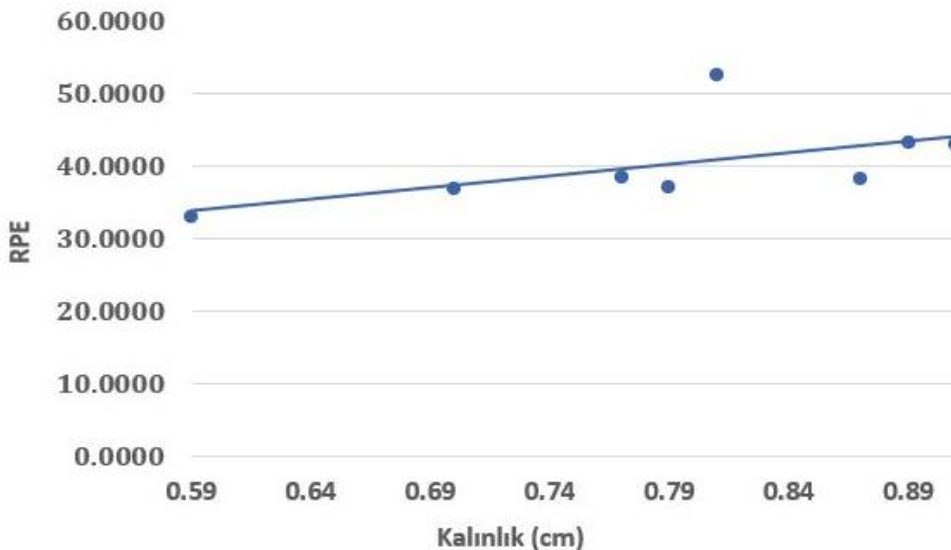
Kütle soğurma katsayısı formülünde görüldüğü gibi yoğunluk arttıkça kütle soğurma katsayısı azalmaktadır. İncelenen örneklerde bu duruma uymayan tek seramik örneğinin N15 kodlu örnek olduğu görülmektedir. Yoğunluğu  $2.4785 \text{ g/cm}^3$  olan N15 örneği en yüksek kütle soğurma katsayısına ( $0.7078 \text{ cm}^2/\text{g}$ ) sahip iken, yoğunluğu  $2.7348 \text{ g/cm}^3$  olan N1 örneği ise en düşük kütle soğurma katsayısına ( $0.2373 \text{ cm}^2/\text{g}$ ) sahiptir. Bu durumun, N15 kodlu seramik örneğinin içeriğindeki element ve bileşenlerinden kaynaklı olabileceği söylenebilir. Şekil 5'te seramik örneklerinin kalınlıklarına göre lineer ve kütle soğurma katsayılarının değişimleri gösterilmektedir.



Şekil 5. Seramik numunelerinin kalınlıklarına göre lineer ve kütle soğurma katsayılarının değişimi

Kalınlığı 0.81 cm olan C markasına ait N15 kodlu örneğin en yüksek lineer ( $1.75 \text{ cm}^{-1}$ ) ve kütle soğurma ( $0.70 \text{ cm}^2/\text{g}$ ) katsayısına sahip olduğu tespit edilmiştir. En düşük lineer soğurma katsayısına ( $0.52 \text{ cm}^{-1}$ ) sahip örneğin C markasına ait N20 kodlu örnek olduğu, en düşük kütle soğurma katsayısına ( $0.23 \text{ cm}^2/\text{g}$ ) sahip olan örneğin ise D markasına ait N1 kodlu örnek olduğu belirlenmiştir.

Şekil 6'da seramik örneklerinin kalınlıklarına göre radyasyondan korunma verimliliği (RPE) değişimleri gösterilmektedir.



Şekil 6. Seramik numunelerinin kalınlıklarına göre RPE katsayılarının değişimi



RPE değeri en yüksek çıkan örneğin (75.85) C markasına ait N15 kodlu örnek olduğu ve en düşük RPE değerine (32.93) sahip örneğin ise G markasına ait N7 kodlu örnek olduğu tespit edilmiştir. Şekil 7 incelendiğinde, kalınlığı 0.81 cm olan C markalı N15 kodlu örneğin radyasyondan korunma verimliliğinin diğer örneklere göre daha yüksek olduğu görülmektedir.

Literatürde yapı malzemelerinin lineer ve kütle soğurma katsayılarının belirlenmesi üzerine yapılmış bazı çalışmalar ile bu çalışmadan elde edilen sonuçların karşılaştırılması Tablo 5'te verilmektedir.

**Tablo 5.** Seramik örneklerinin lineer ve kütle soğurma katsayılarının farklı yapı malzemeleri ile karşılaştırılması

Örnek	$\mu$ (cm <sup>-1</sup> )	$\mu_m$ (cm <sup>2</sup> /g)	Referanslar
Çelik		1.2300	[3]
Kurşun		8.0410	[13]
Beton	0.1156	0.0033	[14]
Çimento Harcı	0.5930		[15]
Seramik		2.4849	[4]
Alüminyum		0.3681	[13]
Seramik	0.6858	0.3103	Bu çalışma

Tablo 5'te verilen değerlere göre, bu çalışmadaki seramik örneklerinin lineer soğurma katsayısı beton ve çimento harcı örneğinden daha yüksek bulundu. Bu sonuç ile çalışılan seramik örneklerinin beton ve çimento harcından daha iyi bir radyasyon soğurucu olduğu söylenebilir. Ayrıca, incelenen seramik örneklerinin ortalama kütle soğurma katsayısı betondan daha yüksek, çelik, kurşun, alüminyum ve seramik örneğinden ise daha düşük bulundu.

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada, yapı marketlerden alınan 8 farklı kalınlığa sahip olan ve farklı markalara ait 20 adet seramik numunesi 59.5 keV enerjili gama ışını ile ışınlandı ve Yüksek Safılıkta Germanyum Dedektörü (HPGe) kullanılarak lineer ve kütle soğurma katsayıları deneysel olarak ölçüldü. İncelenen örneklerin RPE, HVL ve MFP değerleri de ayrıca hesaplandı. Bunlarla birlikte, hesaplanan tüm değerler hem örnek koduna göre hem de soğurma hesaplamalarında önemli bir etken olan kalınlığa göre incelendi. İncelenen seramik örneklerinde C markasına ait N15 kodlu örneğin diğer örneklere göre daha iyi bir radyasyon soğurucusu olduğu tespit edildi. Seramik örneklerindeki bu lineer soğurma katsayısı farklılığı seramiklerin hammaddelerinden ve üretim metotlarından kaynaklı olabilir. Seramik örnekleri için hesaplanan lineer ve kütle soğurma katsayıları literatürde verilen bazı yapı malzemeleri ile kıyaslandı ve seramik örneklerinin beton ve çimentodan daha iyi bir soğurucu olduğu tespit edildi. Sonuç olarak, insanların çoğu zamanını yapıların (ev, ofis, okul, avm vs.) içerisinde geçirdiği göz önünde bulundurulduğunda yapılarda sıkça kullanılan seramiklerde radyasyon tutuculuk özelliklerinin incelenmesi oldukça önemlidir. Aynı zamanda, soğurma hesaplamalarının bir amacı da daha az kütleyle sahip ve daha iyi soğurucu özelliği olan malzemeleri belirlemektir.

#### Yazar(lar)ın Katkıları

BT ve SD test ve analiz çalışmalarını yaptı ve makaleyi yazdı. Her iki yazar da makalenin son halini okudu ve onayladı.

#### Çıkar Çatışması

Yazarlar, çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

**Kaynaklar**

- [1]. Dizman, S., Yildiz, O., Boyracı, G.M. and Kolaylı, S., Determination of Natural Radioactivity Levels and Gamma Radiation Attenuation Coefficients in Propolis Samples and the Study of Its Antioxidant Properties, *Radiochimica Acta*, 2020, 108(10), 829–837
- [2]. Sarinta, B. and Nageswara, A., Determination of Attenuation Coefficients of Some Wood Materials Based on Thickness and Chemical Composition. *Canadian Journal of Physics*, 2014, 92(9), 968-972.
- [3]. Medhat, M.E. and Singh, V.P., Radiation Effects and Defects in Solids Incorporating Plasma Science and Plasma Technology Mass Attenuation Coefficients of Composite Materials by Geant4, XCOM and experimental data: comparative study. *Radiation Effects and Defects in Solids*, 2014, 69(9),800–807.
- [4]. Sayyed, M.I., Akman, F., Kumar, A. and Kaçal, M.R., Evaluation of Radioprotection Properties of Some Selected Ceramic Samples, *Results in Physics*, 2018, 11,1100–1104.
- [5]. CCST, 2018. Ceramic Industry Macro Market Research.
- [6]. Dizman, S., Investigation of Natural Radioactivity and Associated Radiological Hazards in Ceramic Sanitary Ware Products Commercially Sold in Turkey. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 2021, 101(14), 2209-2219.
- [7]. TIMFED, Sector Research Report, 2017, September.
- [8]. Akman, F., Durak, R., Kacal, M.R. and Bezin, F., Study of Absorption Parameters around the K Edge for Selected Compounds of Gd. *X-Ray Spectrometry*, 2016, 45(2), 103–110.
- [9]. Medhat, M.E., Gamma-ray Attenuation Coefficients of Some Building Materials Available in Egypt. *Annals of Nuclear Energy*, 2009, 36(6), 849–852.
- [10]. Kumar, A., Gamma Ray Shielding Properties of PbO-Li<sub>2</sub>O-B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> glasses. *Radiation Physics and Chemistry*, 2017, 136, 50–530.
- [11]. Parlak, Y., Uysal, B., Kırac, F.S., Kovan, B., Demir, M., Ayan, A., Poyraz, L., Özasan, İ.A., Köseoğlu, K., Yeyin, N., Dönmez, S., Radiation Safety Guide: General Definitions and Radiation Protection Rules in Nuclear Medicine Applications. *Nuclear Medicine Seminars*, 2020, 6(2), 71–89.
- [12]. Monte, E.G.S., For the Exposure Buildup Factors of Low and High Energies of Gamma Rays,2009.
- [13]. Hubbell, J.H. and Seltzer, S.M., *Tables of X-Ray Mass Attenuation*, 1995.
- [14]. Ünal, O., İcağa, Y., and Çoşkun, A., An Investigation of Radiation Absorption Properties of Barite Aggregate Concrete. *Afyon Kocatepe University Journal of Sciences and Engineering*, 2016, 16(1), 125–131.
- [15]. Çalık, A.E. and Şirin, H., Theoretical Investigation of Half-Value Thickness of Some Construction Materials. *Anadolu Üniversitesi Bilim Ve Teknoloji Dergisi - B Teorik Bilimler*, 2018, 1–1.