

Optik Cam ve Çeşitlerinde Radyasyon Geçirgenliği ve Soğurma Katsayıları

Şeyma BİBER TEMİRCİK^{1*}

¹Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Türkiye

¹<https://orcid.org/0000-0003-1650-6666>

*Sorumlu yazar: seymabiber@hotmail.com

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 10.03.2022

Kabul tarihi: 01.06.2022

Online Yayınlanma: 12.12.2022

Anahtar Kelimeler:

Cam

Optik cam

Buzlu cam

Lamine cam

Radyasyon geçirgenliği

Xrf

ÖZ

Cam çeşitlerinin belirli enerji seviyelerinde radyasyona maruz bırakıldığında lineer soğurma katsayıları ve kütle soğurma katsayıları X-ışını floresans laboratuvarında deneysel çalışılarak karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada optik cam, buzlu cam, lamine cam, siyah cam ve çift cam numunelerinin radyasyon geçirgenliğinin tespiti için Fe-55 X-ışını kaynağı ve Am-241 gama ışını kaynağı kullanılmıştır. Cam numunelerinin 5,9 keV, 17 keV, 26 keV ve 59,543 keV'lik enerjilerde deneysel olarak lineer soğurma katsayıları ve kütle soğurma katsayıları bulunmuştur. Cam numunelerinin soğurma katsayısı hesaplanarak yüzdeleri karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışma ve hesaplamalar sonucu numunelerin hepsinin ışını 5,9 keV'de soğurduğunu göstermiştir. Lineer soğurma katsayısı 17 keV ve 26 keV'de optik camda, 59,543 keV'de siyah camda daha yüksek gözlemlenmiştir. Camların yüzde geçirgenlikleri tablo halinde verilmiştir.

Radiation Permeability and Absorption Coefficients in Optical Glass and its Types

Research Article

Article History:

Received: 10.03.2022

Accepted: 01.06.2022

Published online: 12.12.2022

Keywords:

Glass,

Optical glass

Frosted glass

Laminated glass

Radiation transmittance,

Xrf

ABSTRACT

Linear absorption coefficients and mass absorption coefficients of glass types when exposed to radiation at certain energy levels were compared experimentally in the X-ray fluorescence laboratory. In this study, Fe-55 X-ray source and Am-241 gamma ray source were used to determine the radiation transmittance of optical glass, frosted glass, laminated glass, black glass and double glass samples. Experimentally, linear absorption coefficients and mass absorption coefficients of glass samples were found at energies of 5.9 keV, 17 keV, 26 keV and 59.543 keV. The absorption coefficient of the glass samples was calculated and the percentages were compared. As a result of experimental work and calculations, it has been shown that all samples absorbed the beam at 5.9 keV. The linear absorption coefficient was observed higher in optical glass at 17 keV and 26 keV, and higher in black glass at 59.543 keV. Percent transmittances of the glasses are given in the table.

To Cite: Temircik ŞB. Optik Cam ve Çeşitlerinde Radyasyon Geçirgenliği ve Soğurma Katsayıları. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(3): 1791-1800.

1. Giriş

Çevremizde her alanda sürekli karşılaştığımız ve çoğumuzun görme yetisine araç sağlayan gözlüklerin ana materyali olan camlar yaşantımızda önemli bir yere sahiptir. Yaşam kalitemizi artırmak ve sağlıklı ortamlarda yaşamımızı devam ettirmek için yüksek enerji bölgesindeki ışınları tutabilecek malzemelere talep artmaktadır.

Camların içeriğinde önemli belirli oksitler vardır. Camdaki belirli oksitlere örnek olarak silika (SiO_2), borik asit (B_2O_3) ve fosfor pentoksit (P_2O_5) verilebilir. Ticari amaçlı camlarda borosilikat ve silikat kompozisyonlar büyük çoğunluktadır. Alkali metal oksitlerdeki yapısal değişiklik kompozisyon sınırına bağlıdır. Karışımında köprü olmayan oksijenin bulunması cam viskozitesinin düşmesine sebep olur. Böylece, kristal çekirdeklenme ve büyüme hızının artmasını sağlar (Mc Millan, 1979). Bununla birlikte optik sistemleri oluşturan temel malzeme optik camlardır. Optik camların her çeşidi farklı kompozit yapıdadır. Bu kompozit yapıları oluşturan element ve bileşikler içerisinde, SiO_2 -PbO tanımlı flint camlar kurşun içerikli optik camlardır (Bach ve Neuroth, 1998). Buzlu camlar (opak lens) genellikle çocukluk çağı göz tembelliği ve şaşılığında kullanılan cam çeşididir. Lamine cam, siyah cam ve çift camın ise optik uygulamada, günlük hayatta araç ve gereçlerde malzeme olarak kullanım alanları mevcuttur.

Gözlükler birçok araştırmacı tarafından büyük ilgi görmeye başladı. Günümüzde camlar ve cam seramikler yoğun şekilde kullanılmaktadır. Ameliyathaneler, röntgen odaları, diş klinikleri, laboratuvarlar, radyasyon terapi odalarında, kontrol odası kazanlarında, camlı kapılarda, kontrol sistemlerinde koruyucu panel olarak kullanılabilir (Aktaş ve ark. 2019; Kaur ve ark.2019).

Geleneksel radyasyon koruyucu malzemeler, yani kurşun (Pb) ve betonlar, toksik etki, mukavemet vb. gibi birkaç dezavantaja sahip olduklarından, birçok araştırmacı, gama radyasyonunu önlemek için cam, alaşım ve polimer gibi bazı yeni ve alternatif koruyucu malzemeler bildirmiştir (Kaur ve ark., 2017; Ersundu ve ark., 2018; Gaikwad ve ark., 2018; Obaid ve ark., 2018; Aygün ve ark., 2019). Çeşitli alman camlarının farklı bileşikli numunelerinde, 0.015 ve 10 Mev enerji aralığında, XCOM programı kullanarak numunelerin foton soğurmasını incelemişlerdir (Sayyed ve ark., 2019). F katkılı SnO_2 cam örneklerinin optiksel ve yapısal karakterizasyonunun yanı sıra radyasyon zırhlama verimliliklerini araştırmış, 5,9543 ve 59,543 keV enerji aralığında teorik kütle soğurma katsayılarını WinXCom yazılımını kullanılarak hesaplamıştır (Tekerek, 2021).

Teknolojinin gelişmesiyle beraber insan sağlığını tehlike altına alan radyasyon yayan cihazların kullanımı da artmıştır (Kılıçarslan ve ark., 2007). Canlılar için en tehlikeli elektromanyetik radyasyon X ve γ ışınlarıdır. Radyasyon demeti, maddeden geçirildiğinde şiddetinde azalma gözlenir. Radyasyon şiddetindeki bu azalma, içerisindeki bulunan elementlere, maddenin kalınlığına ve elementlerin madde içerisindeki konsantrasyonuna göre değişir (Turgut, 2000; Turgut ve ark., 2007). Doğada tüm canlılar ve cansızlar hava, su ve toprakta, üstelik kendi vücutlarının içerisinde doğal radyasyon kaynakları ve ilaveten insanlar tarafından üretilen yapay radyasyon kaynaklarının daima ışınımına maruz kalmaktadırlar. Radyasyonun zararlı etkilerinden korunabilmek için zırh, mesafe ve zaman olmak üzere bu üç temel hususa dikkat edilmelidir. Radyoaktif kaynaktan çıkan ışına maruz kalınan zaman ne kadar uzunsa veya ışına yayan kaynağa ne kadar yakınsa alınacak radyasyon dozu da o derece artacaktır. Bazı radyonüklidlerin yayımladığı radyasyon o kadar şiddetlidir ki kilometrelerce uzaktan göremediğiniz halde ışınımına maruz kalınabilir. Bunun gibi şiddetli radyoaktif maddelerin etkilerinden yalnızca zırhlayarak korunulabilir. 19. Yüzyıldan bugüne sosyal ve ekonomik değişiklikler sonucu

malzeme teknolojisi ciddi önem kazanmış ve tüm tasarımlarda, tek bir malzeme yerine malzeme çeşitliliği şeklinde çözümler kendini göstermiştir (Eriç, 1994). Bu açıdan radyasyon geçirmeyen malzemelerin araştırılması son yıllarda büyük önem kazanmıştır.

Bu çalışmada optik cam, buzlu cam, çift cam, siyah cam ve lamine cam numunelerinin radyasyon geçirgenliğinin tespiti için Am-241 gama ışını kaynağı kullanılmıştır. Cam numunelerinin 17 keV, 26 keV ve 59,543 keV'lik enerjilerde deneysel olarak lineer soğurma katsayıları ve kütle soğurma katsayıları bulunmuştur. Cam numunelerinin soğurma katsayısı hesaplanarak yüzdeleri karşılaştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Gama fotonları alfa ve beta parçacıklarından farklı olarak, bir tek elementer durumda enerjilerine ve etkileşim yaptığı maddenin özelliğine göre enerjisinin büyük bir bölümünü, çoğu zaman tamamını kaybeder. Etkileşimde bulunduğu maddenin hangi atomunun yakınında bu kaybın olacağı tamamen ihtimale bağlıdır. Bundan dolayı gama fotonlarının madde tarafından soğurulması sırasında radyoaktif bozunma kanunlarına benzer bir kanun geçerlidir. Maddenin küçük bir dx kalınlığında soğurulan dI ışın şiddeti, bu kalınlığa giren I ışın şiddeti ile orantılıdır.

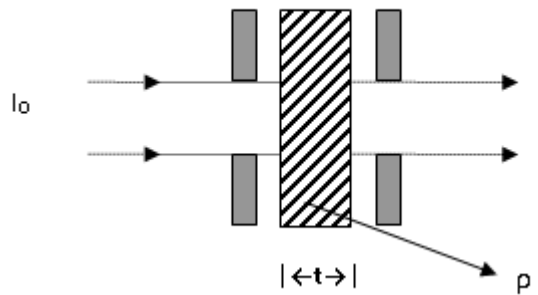
I_0 şiddetinde paralel bir γ -ışını demeti t (cm) kalınlığında, ρ (gr/cm^3) yoğunluğunda homojen bir soğurucuya gönderildiğinde soğurucu maddeden geçen γ -ışını demetinin şiddeti I olur, daima I_0 'dan küçüktür. Bu da γ -ışınlarının madde ile etkileşimlerinde güç yitirdiğini veya soğurmaya maruz kaldığını gösterir (Şekil 1). Burada γ -ışını şiddetindeki azalma dI ise,

$$dI/I = -\mu dt \quad (1)$$

eşitliği ile verilir. Burada μ lineer soğurma katsayısı ve birimi cm^{-1} 'dir. Negatif işaret, γ -ışının maddeyi geçerken şiddetinde azalma olduğunu gösterir. Eşitlik 1 ifadesi düzenlenerek;

$$I = I_0 \exp(-\mu t) \quad (2)$$

olur. Bu ifade "Lambert Kanunu" olarak bilinmektedir (Bertin, 1975).



Şekil 1. γ -ışının Soğurulması (Bertin, 1975).

Soğurma katsayılarını Eşitlik 1-2'ye göre ifade edilecek olunursa;

$$I/I_0 = \exp(-\mu t) \quad (3)$$

Bu eşitliğin logaritması alınırsa,

$$\mu = \frac{\log_e I_0/I}{t} \text{ cm}^{-1} \quad (4)$$

olur.

Kütle soğurma katsayısı lineer soğurma katsayısının soğurucunun özgül ağırlığına bölümüne eşittir (Hubbell, 1999). Kütle soğurma katsayısı radyasyonun madde içinde azalmasını belirleyen bir parametredir. Kütle soğurma katsayısı (μ/ρ) maddede X-ışınları, γ -ışınları, bremsstrahlung gibi fotonlardan kaynaklı giricilik ve enerji depolama hesaplamalarında kullanılan bir niceliktir (ICRU, 2011). Kütle soğurma katsayısı (μ_m) kimyasal ve fiziksel özelliklerden bağımsız olup elementlerin kendine has atomik bir özelliğidir. Enerji ve atom numarasına bağlı olarak değişkenlik gösterir. Kütle soğurma katsayısı lineer soğurma katsayısının soğurucunun özgül ağırlığına bölümüne eşittir (Hubbell, 1999). μ_m ile gösterilir.

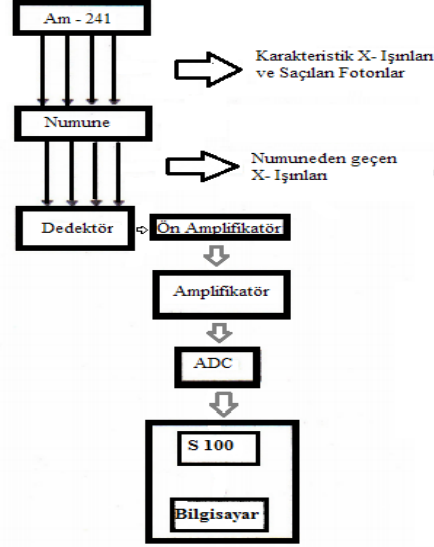
$$I/I_0 = \exp(-\mu_m \rho t) \quad \mu_m = \frac{\mu \text{ cm}^2}{\rho \text{ gr}} \quad (5)$$

Radyasyon geçirme katsayılarının hesaplanması, soğurma çalışmalarında soğurucu malzemenin belli bir kalınlıktan daha ince olduğu durumda bütün parçacıklar soğurucu malzemeyi geçer ve belli bir kalınlıktan daha kalın olduğunda parçacıklar enerjisinin hepsini kaybeder ve soğurucu malzemenin çıkamaz (İçelli, 2002). T geçirme katsayısı olup I/I_0 ile gösterilir.

$$T = I/I_0 \quad (6)$$

Bu çalışmada, 5,9 keV'de rezülasyonu 155 eV olan Canberra marka Si (Li) yarı iletken katihal detektörü, ^{241}Am (59,543 keV) radyoizotop kaynak ve ^{55}Fe (5,9 keV) radyoizotop kaynak, ön amplifikatör, ADC (Analog-Digital Convertör), sistem 100 bilgisayar kartı kullanılmıştır. Si (Li) yarı iletken katihal detektörü, yarı iletken silisyum kristalinin örgü boşluklarına Lityum atomları difüzenen, 2 mm kalınlığında, 12,5 mm² aktif alanlı ve 500 volt ters besleme voltajı ile beslenen bir detektör olup, vakum altındadır (Canberra, 1995). Elektronik gürültünün azalması ve oda sıcaklığında buharlaşabilen, iletkenlik arttırıcı Lityum'un buharlaşarak ayrılmasını önlenmek amacı ile sıvı azot (-196 °C) içine daldırılmış ve termal denge sağlanmıştır. Ön amplifikatör, detektöre gelen karakteristik X-ışınlarını birkaç mili volt mertebesinde elektrik pulslarına çevirip, buradan amplifikatöre ulaşan

elektrik pulslarını, 0-10 volt mertebesine yükseltilir. Bu elektrik pulsları, ADC’de sayısal değerlere dönüştürülür. Sayısal değerler 4096 kanallı ekranda büyüklüklerine göre, enerjilerine uygun olan kanallarda pikler oluşturulur. Bu durumda ekranda farklı sayı ve enerjilerde gelen pulslar, incelenen numunelerin karakteristik X-ışınları spektrumunu verir (Durdu, 2001).



Şekil 2. Deney düzeneği

Fizik Bölümü X-ışını floresans laboratuvarında ^{241}Am (59,543 keV) gama ve ^{55}Fe (5,9 keV) x-ışın kaynakları ile Şekil 2’de görünen deney düzeneği kullanılarak, camların radyasyon soğurma katsayıları bulunmuştur. İncelenecek numuneler aynı şartlarda hassas terazi ile tartılarak kütleleri bulunmuş olup hacimleri hesaplanarak yoğunlukları bulunmuştur. Numunelerin her birinin kalınlıkları farklı olduğu için kumpas yardımıyla kalınlıklar belirlenmiştir. Deneye başlamadan önce, sistem boş iken 59,543 keV’lik gama kaynağı ile 1000 sn süre ile sayım yapılmış ve I_0 bulunmuştur. Daha sonrasında numuneler, numune tutturucuya yerleştirilerek tekrar aynı süre sayım yapılmış ve kaydedilmiştir.

Deneyel olarak lineer soğurma ve kütle soğurma katsayıları hesaplanmıştır. Sonuçlar tablo halinde verilmiş olup grafiklendirilmiştir. Buna ilaveten radyasyon geçirme katsayısı yüzdeleri hesaplanmıştır. Soğurma ölçümlerinde aynı zaman ve deneysel şartlar altında sayımlar yapılarak geçirme katsayıları (I/I_0) ölçülmüştür. Bu sonuçlar Tablo 4’te verilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

Çalışmada 5,9 keV ve 59,543 keV’de numuneler incelenmiş olup 5,9 keV’lik enerjinin tamamını soğurdukları için veri tablolarına eklenmemiştir. Deneyel hesaplamada elde ettiğimiz foton şiddetleri (I ve I_0), t (kalınlık), μ (lineer soğurma katsayısı), ρ (yoğunluk) ve μ_m (kütle soğurma katsayısı) 59,543 keV için Tablo 1, 26 keV için Tablo 2 ve 17 keV için Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 1. 59,543 keV’de cam numunelerin lineer soğurma ve kütle soğurma katsayıları

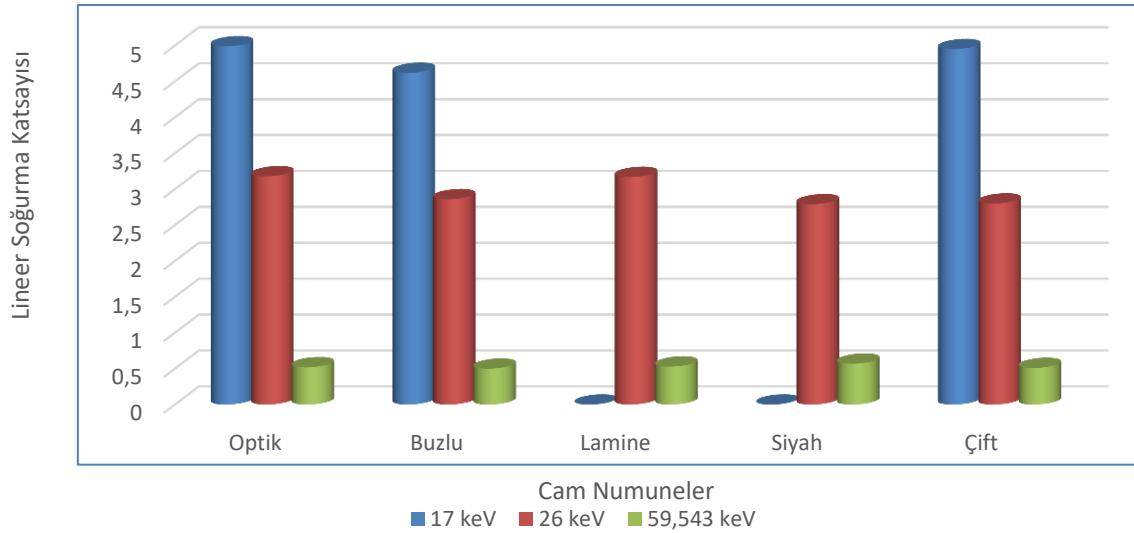
Cam Numune	I_0	I	t	μ	ρ	μ_m
59 keV	(sayım)	(sayım)	(cm)	(cm^{-1})	(gr/cm^3)	(cm^2/gr)
Optik	147377	119799	0,4	0,5179	2,3437	0,2209
Buzlu	147377	120226	0,4	0,5090	2,3634	0,2154
Lamine	147377	119231	0,4	0,5298	2,4240	0,2185
Siyah	147377	93353	0,8	0,5707	2,3960	0,2382
Çift	147377	108209	0,6	0,5149	2,3738	0,2169

Tablo 2. 26 keV’de cam numunelerin lineer soğurma ve kütle soğurma katsayıları

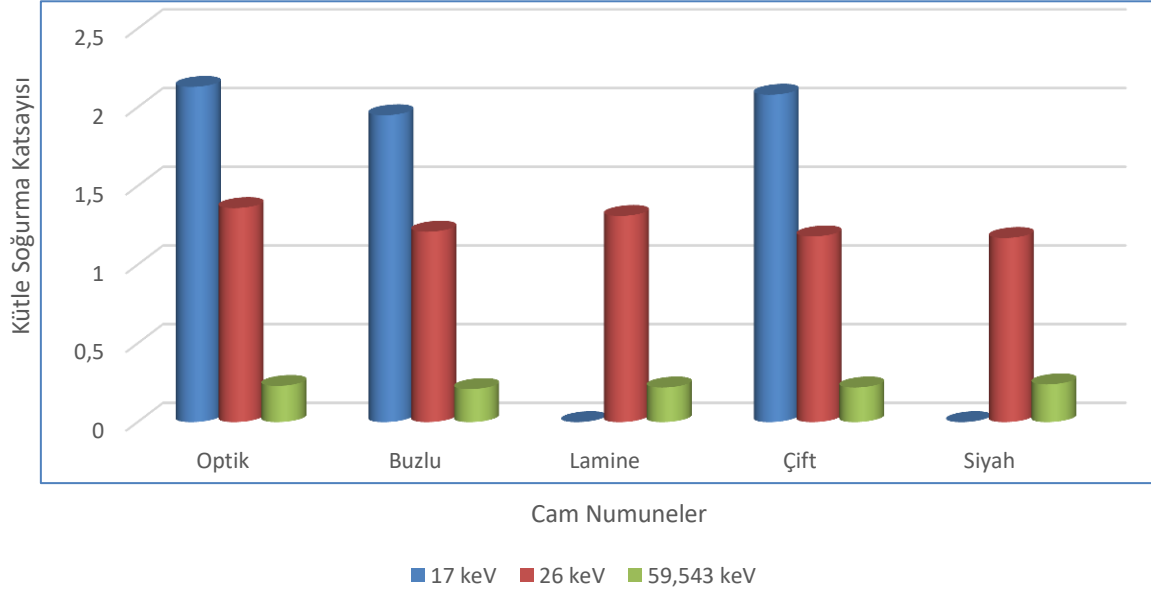
Cam Numune	I_0	I	t	μ	ρ	μ_m
26 keV	(sayım)	(sayım)	(cm)	(cm^{-1})	(gr/cm^3)	(cm^2/gr)
Optik	2958	827	0,4	3,1861	2,3437	1,3594
Buzlu	2958	939	0,4	2,8686	2,3634	1,2137
Lamine	2958	830	0,4	3,1771	2,4240	1,3107
Siyah	2958	315	0,8	2,7996	2,3960	1,1684
Çift	2958	551	0,6	2,8008	2,3738	1,1798

Tablo 3. 17 keV’de cam numunelerin lineer soğurma ve kütle soğurma katsayıları

Cam Numune	I_0	I	t	μ	ρ	μ_m
17 keV	(sayım)	(sayım)	(cm)	(cm^{-1})	(gr/cm^3)	(cm^2/gr)
Optik	745	101	0,4	4,9956	2,3437	2,1315
Buzlu	745	117	0,4	4,6280	2,3634	1,9582
Lamine	745	0	0,4	0	2,4240	0
Siyah	745	0	0,8	0	2,3960	0
Çift	745	38	0,6	4,9596	2,3738	2,0893

**Şekil 3.** 17 keV, 26 keV ve 59,543 keV’de cam numunelerin lineer soğurma katsayıları

Şekil 3’te görüldüğü gibi cam numunelerin 17 keV’de lineer soğurma katsayısı en fazla olan optik cam olup, lamine ve siyah cam 17 keV’lik enerjili ışınları hepsini soğurduğu görülmektedir. 26 keV’de lineer soğurma katsayısı en fazla olan optik cam numunesi olup, en az ise siyah cam numunesidir. 59,543 keV’de lineer soğurma katsayısı en fazla olan siyah cam numunesi olup, en az olan ise buzlu cam numunesidir.

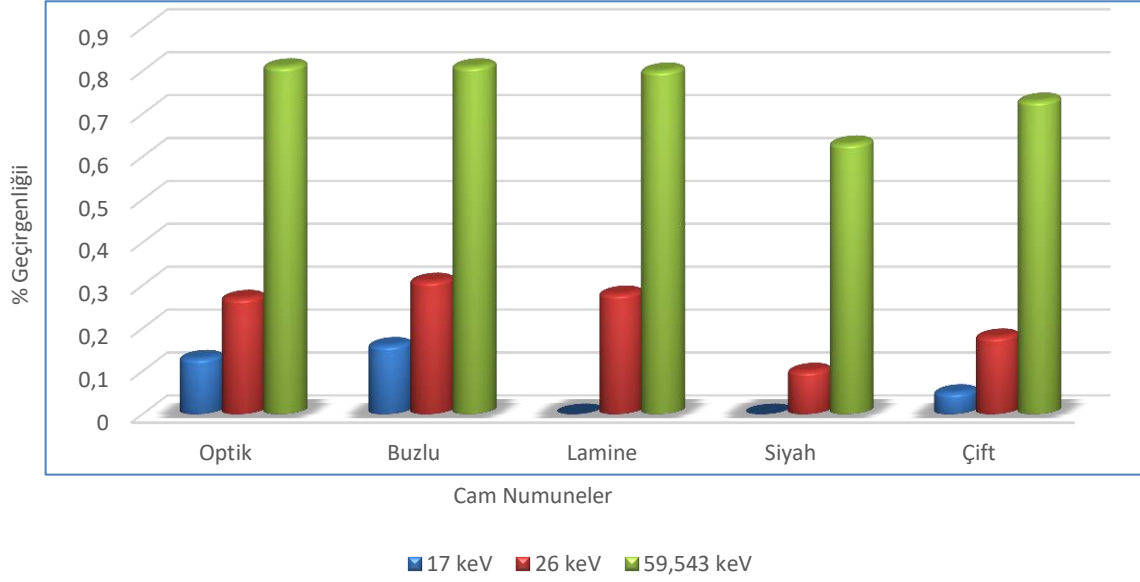


Şekil 4. 17 keV, 26 keV ve 59,543 keV’de cam numunelerin kütle soğurma katsayıları

Şekil 4’te görüldüğü gibi cam numunelerin 17 keV’de kütle soğurma katsayısı en fazla olan optik cam olup, lamine ve siyah cam 17 keV’lik enerjili ışınları hepsini soğurduğu görülmektedir. 26 keV’de kütle soğurma katsayısı en fazla olan optik cam numunesi olup, en az ise siyah cam numunesidir. 59,543 keV’de kütle soğurma katsayısı en fazla olan siyah cam numunesi olup, en az olan ise buzlu cam numunesidir.

Tablo 4. 59,543 keV,26 keV ve 17 keV’de cam numunelerin geçirgenlik yüzdeleri

Numune Cam	% Geçirgenlik		
	17 (keV)	26 (keV)	59,543 (keV)
Optik	0,13	0,27	0,81
Buzlu	0,16	0,31	0,81
Lamine	0	0,28	0,80
Siyah	0	0,10	0,63
Çift	0,05	0,18	0,73



Şekil 5. 17 keV, 26 keV ve 59,543 keV’de cam numunelerin % geçirgenliği

Şekil 5’te ve Tablo 3’te görüldüğü gibi 17 keV’de, optik cam numunesinin enerjinin %13’ünü geçirip %87’sini soğurduğu gözlemlenmektedir. Buzlu cam ise %16’ını geçirip, %84’ünü soğurmuştur. En az geçiren ise siyah cam numunesidir. 26 keV’de optik cam numunesi enerjinin % 27’sini geçirip %73’ünü soğurmuştur. 26 keV’lik enerjinin % 10’unu geçirip, %90’ını geçiren siyah camdır. Optik cam ve buzlu cam 59,543 keV’ lik enerjinin %81’ini geçirip %19’unu soğurmuştur. 59,543 keV’lik enerjinin % 63’ünü geçirip % 37’sini soğuran siyah cam numunesidir.

4. Sonuçlar

Deneysel çalışma ve hesaplamalar sonucunda, cam numuneleri 5,9 keV’lik enerjili ışınların tamamını soğurmuş olup, bu enerjiye kadar tam zırlama sağlanabilir. Radyasyon enerjisinin artmasıyla birlikte 17 keV’lik enerjili ışınları, lamine cam ve siyah cam numuneleri tamamen soğurmuştur. 17 keV’de optik cam numunesinin ışının %87’sini soğurduğu gözlemlenmiştir. 17 keV’de lineer soğurma katsayısı en fazla olan optik cam olup, lamine ve siyah cam 17 keV’lik enerjili ışınları hepsini soğurduğu görülmektedir. 26 keV’lik enerjili ışınların %10’unu geçirip %90 soğuran siyah camdır. 26 keV’de optik cam numunesi enerjinin % 27’sini geçirip % 73’ünü soğurmuştur. 26 keV’de lineer soğurma katsayısı en fazla olan optik cam numunesi olup, en az ise siyah cam numunesidir. 26 keV’de kütle soğurma katsayısı en fazla olan optik cam numunesi olup, en az ise siyah cam numunesidir. Optik cam ve buzlu cam 59,543 keV’lik enerjinin %81’ini geçirip %19’unu soğurmuştur. 59,543 keV’lik enerjinin % 63’ünü geçirip % 37’sini soğuran siyah cam numunesidir. 59,543 keV’de lineer soğurma katsayısı en fazla olan siyah cam numunesi olup, en az olan ise buzlu cam numunesidir. 59,543 keV’de kütle soğurma katsayısı en fazla olan siyah cam numunesi olup, en az olan ise buzlu cam numunesidir. Radyasyon enerjisi arttıkça zırlamanın azalması soğurmanın azalması ile

açıklanır. Çalışılan gözlük camı ve diğer camların sonuç değerlerinin birbirlerine yakın olması kimyasal özellikleri ile ilgili olduğunu düşündürmektedir. Camların genel yapısında bulunan belli başlı oksitlerin soğurucu etkiyi artırdığı lehine yorumlanabilir. X ve gama ışını için koruyucu malzemelerin geliştirilmesi, nükleer tıpta laboratuvarlarda, röntgen, Bilgisayarlı Tomografi (BT) gibi radyasyon cihazlarının bulunduğu alanlarda, hastane, diş klinikleri, araştırma laboratuvarlarında güvenli çalışma ortamı sağlamak için bu konuda çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Çalışmada 5,9 keV'lik enerjiyi tamamen soğuran cam numuneler, çeşitlerine göre tercih önceliği olabilir. 59,543 keV'lik yüksek enerjide bile optik cam ve buzlu camın soğurma katsayısı oldukça iyidir. Çalışma çeşitli cam ve gözlük camlarının radyasyon zırhlamasında güvenli alanlar oluşturması için oldukça önem taşımaktadır. Radyasyonun bilinen zararlarının en aza indirgenmesi doğrultusunda çalışılan camlar, literatüre katkı sağlamakla birlikte yeni çalışmalara ışık tutacağı düşünülmektedir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarı herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazar makaleye %100 oranında katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynakça

- Aktas B., Yalcin S., Dogru K., Uzunoglu Z., Yilmaz D. Structural and radiation shielding properties of chromium oxide doped borosilicate glass, *Radiation Physics Chemistry*, 2019; 156: 144-149.
- Aygün B., Şakar E., Korkut T., Sayyed MI., Karabulut A., Zaid MHM. Fabrication of Ni, Cr reinforced new high alloyed stainless steels for radiation shielding applications. *Results in Physics*, 2019; 12: 1-6.
- Bach H., Neuroth N. The properties of optical glasses. Second Corrected Printing; 1998.
- Bertin EP. Principles and practice of X-Ray spectrometric analysis. 2th ed., Plenum Press NewYork; 1975.
- Canberra. Edition Ten Product Catalog. Canberra Endustries, Inc Connecticut, USA; 1995.
- Durdu BG. Re, Pt ve Au elementlerinin l x-ışını şiddet oranlarının enerjiye bağımlılığı. Kahramanmaraş Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no:44, Kahramanmaraş, Türkiye, 2001.
- Eriç M. Yapı fiziği ve malzemesi. Literatür Kitabevi: İstanbul, Türkiye; 1994.
- Ersundu AE., Büyükyıldız M., Çelikkilek Ersundu M., Şakar E., Kurudirek M. The heavy metal oxide glasses within the WO₃-MoO₃-TeO₂ system to investigate the shielding properties of radiation applications. *Progress in Nuclear Energy* 2018; 104: 280–287.
- Gaikwad DK., Sayyed MI., Obaid SS., Issa SAM., Pawar PP. Gamma ray shielding properties of TeO₂-ZnF₂- As₂O₃-Sm₂O₃ glasses. *Journal of Alloys and Compounds* 2018; 765: 451–458.

- Hubbell J.H., Review of photon interaction cross section data in the medical and biological context. *Physics in Medicine & Biology*, 1999; 44: R1–R22.
- ICRU. Nuclear Data for Neutron and Proton Radiotherapy and for Radiation Protection, International Commission on Radiation Units and Measurements Report 83, Bethesda, MD., USA, 2011.
- İçelli O. Bazı bileşik ve kristallerde lineer diferansiyel saçılma katsayılarının açısız dağılımının ölçülmesi ve etkin atom numarasına göre değişiminin incelenmesi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no:102, Erzurum, Türkiye, 2002.
- Kaur T., Sharma J., Singh T. Thickness optimization of Sn–Pb alloys for experimentally measuring mass attenuation coefficients. *Nuclear Energy and Technology* 2017; 3(1): 1–5.
- Kaur P., Singh KJ., Thakur S., Singh P., Bajwa BS. Investigation of bismuth borate glass system modified with barium for structural and gamma-ray shielding properties, *Spectrochim. Acta-Part A Mol. Biomol. Spectrosc* 2019.
- Kılıçarslan Ş., Başıyigit C., Akkurt İ. Barit agregalı ağır betonların radyasyon zırhlama amacıyla kullanımının araştırılması. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi* 2007; 22(2): 393-399.
- Mc Millan PW. Non-metallic solids. Glass-ceramics, 2th ed. Academic Press: London; 1979.
- Obaid SS., Sayyed MI., Gaikwad DK., Pawar PP. Attenuation coefficients and exposure buildup factor of some rocks for gamma ray shielding applications. *Radiation Physics and Chemistry* 2018; 148: 86–94.
- Sayyed MI., Kakyb KM., Şakar E., Uğur A., Taki MM., Agar O. Gamma radiation shielding investigations for selected germanate glasses. *Journal of Non-Crystalline Solids* 2019; 512: 33-40.
- Tekerek S., Sprey piroliz yöntemiyle SnO₂:F camların üretimi ve radyasyon etkileşim özelliklerinin hesaplanması. *OKU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2021; 4(3): 261-273.
- Turgut Ü. Bileşiklerin kütle azaltma katsayılarının tayini ve karışım kuralının geçerliliğinin araştırılması. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, sayfa no:97, Erzurum, Türkiye, 2000.
- Turgut E., Simsek O., Büyükkasap E. Measurement of mass attenuation coefficients in some Cr, Co and Fe compounds around the absorption edge and the validity of the mixture rule E. *Pramana-Journal of Physics* 2007; 69(2): 199.