



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Bazı K ve Ca Bileşikleri İçin Kütle Zayıflatma Katsayısı, Toplam Elektronik Tesir Kesiti, Toplam Atomik Tesir Kesiti, Etkin Atom Numarası, Etkin Elektron Yoğunluğu ve Kerma Ölçümü

 Saniye TEKEREK

^a Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Türkiye, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: saniyetekerek@ksu.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.867478

ÖZ

Bu makalede bazı K ve Ca bileşiklerinin deneysel ve teorik kütle zayıflatma katsayısı geçirgenlik yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Ayrıca hesaplanan kütle zayıflatma katsayısı verileri kullanılarak toplam elektronik tesir kesiti, atomik tesir kesiti, etkin atom numarası, etkin elektron yoğunluğu ve Kerma parametreleri elde edildi. Bu radyasyon zayıflatma parametreleri dar ışın deney geometrisi kullanarak elde edildi. Bu çalışmada ölçümler Am-241 kaynağından 59.543 keV'de yüksek çözünürlüklü bir Si (Li) detektörü kullanılarak yapılmıştır. Teorik kütle zayıflatma katsayısı WinXCOM data programı ile hesaplanmıştır. Mevcut çalışma, seçilen bileşiklerin gama zayıflatma özelliklerini içermektedir. Gama zayıflatma parametreleri, seçilen tüm bileşikler için ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kütle zayıflatma Katsayısı, Etkin atom numarası, Elektron yoğunluğu, Kerma

Measurement of Mass Attenuation Coefficient, Total Electronic Cross-section, Total Atomic Cross-section, Effective Atomic Numbers, Effective Electron Densities and Kerma for Some K and Ca Compounds

ABSTRACT

In this manuscript is calculated the experimental and theoretical mass attenuation coefficient some K and Ca compounds by using transmission method. Also the total electronic cross section, atomic cross section, effective atomic number, effective electron density and Kerma parameters were obtained using the calculated mass attenuation coefficient data. These radiation attenuation parameters were obtained using the values calculated attenuation with the narrow beam experimental geometry. In this study, measurements were made using a high resolution Si (Li) detector at 59,543 keV from the Am-241 source. The theoretical mass attenuation coefficient were calculated from the WinXCOM data programme. The current study involves the gamma attenuation properties of selected compounds. The gamma attenuation parameters are studied in detail for all selected compounds.

Keywords: Mass attenuationco efficient, Effective atomic number, Electron density, Kerma

I. GİRİŞ

Nükleer teknolojideki gelişmeler sonucunda çekirdek kaynaklı veya çekirdek kaynaklı olmayan radyasyonların kullanımları geniş bir alana yayılmıştır. Nükleer enerjinin çeşitli alanlarda reaktörlerde, hastanelerin radyasyon onkolojisi ve radyoloji bölümlerinde, nükleer savaş tehlikesine karşı sığınaklarda, radyoaktif atıkların saklanması, radyasyon ve radyasyondan korunma olayları oldukça önem kazanmıştır. Radyoaktif ışınlar ve parçacıklar dokuya zarar verir ve kanserojen etki gösterirler. Radyasyona maruz kalan ve radyasyonlu ortamda çalışan personelin korunması amacıyla çeşitli korunma yöntemleri kullanılmaktadır. Radyasyon zırlama radyoloji, onkoloji, nükleer görüntüleme, nükleer santraller gibi birçok alanda kullanılan korunma yöntemlerinden biridir.

Onkoloji, koruyucu tıp, gama ışını floresans çalışmaları ve tomografi uygulamalarından dolayı kütle zayıflatma katsayıları, toplam atomik ve elektronik tesir kesitleri, etkin atom numarası ve etkin elektron yoğunluklarının teorik sonuçlarının yanı sıra deneysel değerlerinin tespit edilmesi kritik öneme sahiptir. Etkin atom numarası ve elektron yoğunluğu gibi foton etkileşim parametrelerinin doğru değerleri, medikal fizikte düzeltme değeri olarak ve hedef materyalle foton etkileşimi hakkında kesin bilgi vermek için gereklidir [1]. Bilgisayarlı tomografi (CT) tarayıcılarda yüksek çözünürlüklü görüntüler elde etmek için etkin atom numarası ve etkin elektron yoğunlukları bilgisi gereklidir [2]. Son yıllarda radyoterapi uygulamalarında ve medikal görüntülemede elektron yoğunluğunun kullanımı ile ilgili bazı çalışmalar yapılmıştır [3,4].

Yüksek enerjili fotonun soğurulması olayı etkileşime girilen malzemenin yoğunluk ve atomik özellikleri ile ilgilidir. Gama ışını koruma etkisi, malzemelerin fiziksel özellikleri, kütle zayıflatma katsayıları, atomik ve elektronik tesir kesitleri, etkin atom ve elektron yoğunluklarının bilinmesiyle mümkün olmaktadır [5].

Radyasyon maddeyle etkileşime girdiğinde malzemede bazı değişikliklere sebep olabilir. Etkileşim sonucunda malzemenin özelliğine göre radyasyonun enerjisinde azalma söz konusu olabilmektedir. Zırlama olayında alternatif maddelerin incelenmesi gerekmektedir. Radyasyon zırlama maddesi olarak kullanılan farklı madde ve bileşiklerin kütle zayıflatma katsayılarının hesaplanması bu malzemelerin radyasyona karşı koruyucu zırh olup olamayacağı hakkında ön bilgi vermektedir. Malzemelerin birbiri ile karşılaştırılması için kütle zayıflatma katsayısı bilgisinin kullanılması uygun bulunmaktadır [6].

Teknolojik ve tıbbi uygulamalarda kimyasal element ve bileşik malzemelerin radyasyon tepkisini karakterize etmek için etkin atom numarası parametresinin bilinmesi gerekmektedir. Radyoterapi ve dozimetri için soğurulan doz ile birlikte tıbbi görüntülemede gelen radyasyon şiddetinin azalması dikkate alınmaktadır. Bileşik gibi çoklu element yapıdaki malzemelerin kütle zayıflatma katsayısı, etkin atom numarası gibi atomik büyüklüğün ölçümü, uzay fiziğinde, astronomide, nükleer fizikte, nükleer silah yapımında, jeolojide, plazma fiziğinde, uydu yapımında ve pek çok diğer radyasyon uygulamalarında önemlidir. Kütle zayıflatma katsayısının hesaplanması materyal kalınlığını belirlemek içinde kullanılan bir yöntemdir [5].

Hedef canlıya verilecek tedavi edici radyasyon dozunun hesaplanmasında, ortam içinde ilerlemesinin tanımlanmasında kütle zayıflatma katsayısı en önemli parametrelerden biridir. Literatürde bu parametrenin belirlenmesi için çok sayıda çalışma yapılmıştır [7-10]. Bazı organik ve inorganik maddelerin, canlı dokuların, alaşımların, polimerlerin, camların, çeşitli bileşiklerin radyasyon zayıflatma özellikleri kütle zayıflatma katsayıları, etkin atom ve elektron numaraları deneysel ve teorik olarak hesaplanmıştır [13-23]. keV düzeyindeki fotonlar radyasyon biyolojisinde, tıbbi teşhis ve tedavide kullanıldıkları için araştırılması gerekli görülen bir enerji değeridir [11]. Etkin atom numarası (Z_{eff}) ilgilenilen enerji için bir element yerine bir kompozit malzeme seçilerek alternatif malzeme kullanımı için olanak sağlamaktadır [12].

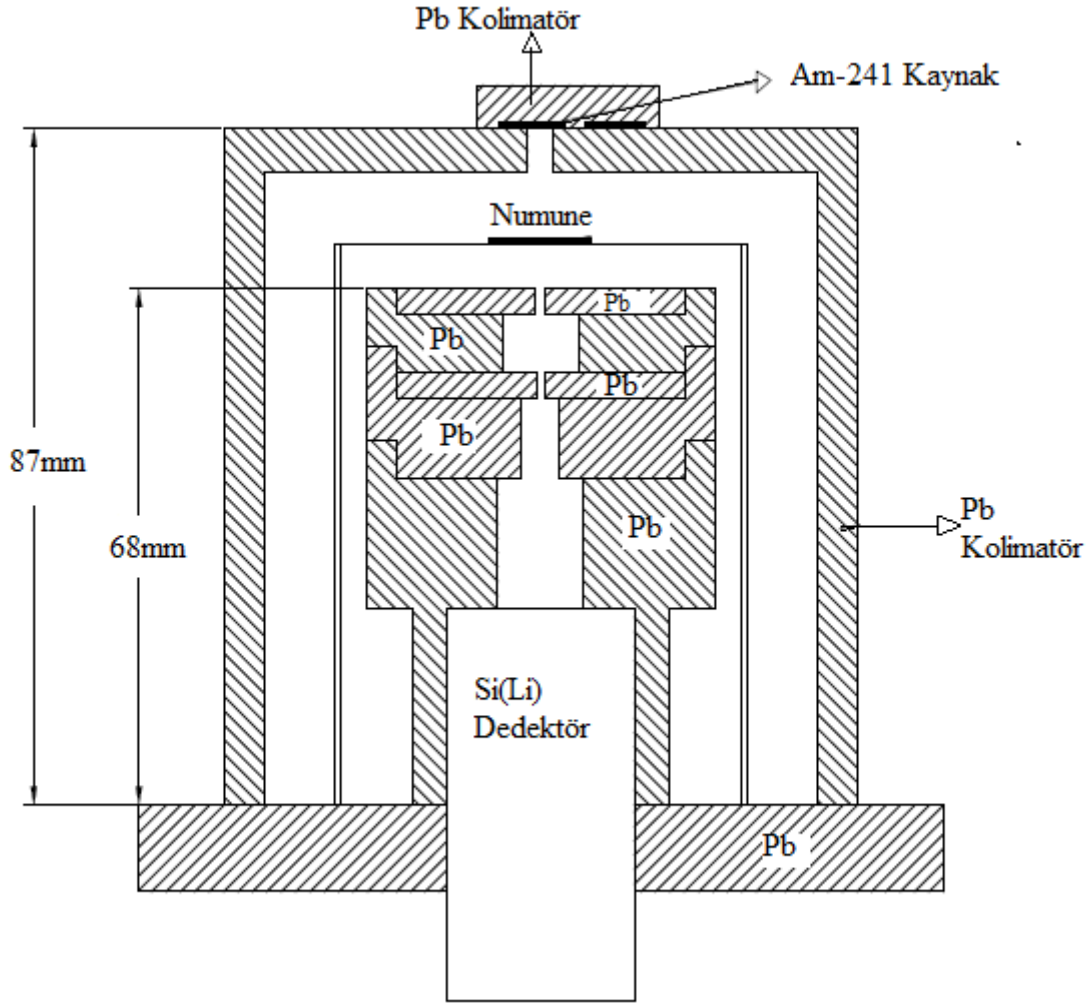
Bu çalışmada çeşitli açılardan önemli olan bazı bileşiklerin toplam atomik tesir kesiti, toplam moleküler tesir kesiti, elektronik tesir kesiti, etkin atom numarası, etkin elektron yoğunluğu ve Kerma değerleri 59,543 keV enerji de deneysel ve teorik olarak incelenmiştir. Bu çalışmada kullanılan çoklu element maddeleri K ve Ca elementlerinin bazı bileşiklerinden oluşmaktadır.

II. MATERYEL VE METOD

Organizmanın normal fizyolojik fonksiyonlarını yerine getirebilmesi için gerekli olan K ve Ca elementleri esansiyel elementler olarak adlandırılırlar. Esansiyel elementler olmadan organizma yaşam döngüsünü tamamlayamaz veya normal gelişimini gerçekleştiremez [24]. K ve Ca esansiyel elementleri oksijen taşınması, hormonal aktivitelerin düzenlenmesi, serbest radikallerin etkisiz hale getirilmesi gibi birçok önemli biyolojik fonksiyonun gerçekleştirilmesinde rol oynamaktadır [25]. Alkali metal olan K, toprak alkali metal olan Ca elementlerinin bazı bileşiklerinin etkin atom numaraları, gama ışını geçirgenlik spektrumlarının değerlendirilmesine dayalı olan bir metotla belirlenmiştir. Lineer zayıflatma katsayısı, kütle zayıflatma katsayısı, etkin atom numarası, etkin elektron yoğunluğu ve Kerma değerleri hesap edilirken bu yöntem ihtiyacı duyulmaktadır. Bu çalışmanın sonuçları farklı bileşiklerin atom ve elektron sayılarının, kütle zayıflatma katsayılarının molekül yapısına ve molekül ağırlığına göre nasıl değiştiğinin anlaşılmasına olanak sağlamaktadır.

Bu çalışmada örneklerin radyasyon zayıflatma özelliklerinin incelenmesi için Am-241 radyoizotop halka kaynağı kullanılmıştır. 200 mesh'lik elekten elenen örnekler Myler filme homojen bir şekilde dağıtılıp ve Am-241 kaynaktan yayımlanan gama fotonun ne kadarını soğurduğunu tespit edebilmek için geçirgenlik deneyi yapılmıştır.

Bu makale çalışmasında kütle zayıflatma katsayıları ve etkin atom numarasının belirlenmesi için radyasyon zayıflatma ve geçirgenlik deney geometrisi kurulmuştur. Kütle zayıflatma katsayılarını ölçmek için kullanılan geçirgenlik deney geometrisi Şekil 1'de şematik olarak gösterilmiştir. Örnekte geçen ışınların dedektör tarafından net sayılabilmesi için uygun deney geometrisinin belirlenmesi çok önemlidir. Net şiddette sayım elde edilmesini sağlamak için uyarıcı-malzeme, malzeme-sayaç arası uzaklıklar en iyi şekilde ayarlanmıştır. Kaynaktan gelen ışınlar uygun bir kolimatör kullanılarak paralel bir demet halinde dedektör penceresine düşecek şekilde kolime edilmiştir. 3 kısımdan oluşan Pb kolimatör uzunluğu 68 mm'dir. Radyoaktif kaynaktan yayımlanan radyasyondan korunmak için radyoaktif kaynak 4 cm kalınlıkta 87 mm uzunluğa sahip kurşun koruyucuya yerleştirilmiştir. Kurşun koruyucuya sabitlenmiş olan radyoaktif kaynak ve koruyucu kolimatör zırh dedektörü çevreleyecek genişliktedir.



Şekil 1. Geçirgenlik deney geometrisinin şematik gösterimi

İncelenen bileşikler enerjisi 59,543 keV olan Am-241 kaynak kullanılarak ölçümler alınmıştır. Bileşiğe gelen foton şiddeti (I) ve bileşikten geçen foton şiddeti (I_0) bileşiğin absorbladığı foton şiddetinin hesaplanması için gerekli olan deneysel verilerdir. Malzemeden geçen ışınların şiddetinin sayılması için ayırma gücü 5,9 keV’de 155eV olan Si(Li) yarı iletken katihal dedektörü kullanılmıştır.

A. GEÇİRGENLİK METODU İLE ETKİN ATOM NUMARASI VE ELEKTRON YOĞUNLUĞUNUN BULUNMASI

Geçirgenlik olayı foton enerjisine bağlı olarak gama ışınlarının madde ile etkileşmesi sonucunda maddedeki elementlere bağlı olarak etkin atom numarasını değişime uğratar [26]. Toplam kütle zayıflatma katsayısı Denklem (1) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\frac{\mu}{\rho} = \frac{\pi r^2}{m} \ln\left(\frac{I_0}{I}\right) \quad (1)$$

Denklem (1)’de yer alan, (I_0) kaynaktan gelen foton şiddeti, (I) bileşikten geçen foton şiddeti, ρ bileşik yoğunluğu, m kütle (g) ve r yarıçap (cm) dir.

Bileşikler için karışım kuralını kullanarak kütle zayıflatma katsayıları hesaplanır. Denklem (2) kullanılarak toplam atomik tesir kesiti (σ_{ta}) hesaplanmıştır [27].

$$\sigma_{ta} = \frac{1}{N_A \sum n_i} \left(\frac{\mu}{\rho} \right)_C \sum_i n_i A_i \quad (2)$$

$\sum_i n_i A_i$ molekül ağırlığı, A_i atom ağırlığı, n_i bileşiği oluşturan atomlarının sayısını, N_A Avogadro sayısıdır. Formül (2)'de σ_{ta} toplam atomik tesir kesiti, n_i bileşikteki toplam atom sayısıdır.

Bileşiğe ait toplam atomik tesir kesiti ve kütle zayıflatma katsayısı değerleri ile elektronik tesir kesiti belirlenmiştir. Toplam elektronik tesir kesiti (σ_{te}) Formül (3) kullanılarak hesaplanmıştır [27].

$$\sigma_{te} = \frac{1}{N_A} \sum_i f_i \frac{A_i}{Z_i} \left(\frac{\mu}{\rho} \right)_i; \quad f_i = \left(\frac{n_i}{\sum_i n_i} \right) \quad (3)$$

A_i bileşiği oluşturan i elementin atom ağırlığı, Z_i i elementinin atom numarası, f_i i elementine ait bolluk kesridir. n_i , i elementinin atom sayısı, $\sum_i n_i$ toplam atom sayısıdır.

Toplam atomik tesir kesiti ve elektronik tesir kesitlerinin birbirine oranı etkin atom numarasıdır. Formül (4) kullanılarak etkin atom numarası (Z_{eff}) hesap edilmiştir [28].

$$Z_{eff} = \frac{\sigma_{ta}}{\sigma_{te}} \quad (4)$$

Etkin elektron yoğunluğu (N_{eff}) Formül (5) kullanılarak hesaplanmıştır [29].

$$N_{eff} = \frac{N_A n_{tot} Z_{eff}}{\sum_i n_i A_i} \quad (5)$$

Formül (5)'de $\sum_i n_i A_i$ molekül ağırlığı, n_{tot} toplam atom sayısı, N_A Avogadro sayısı, Z_{eff} etkin atom numarasıdır.

Hava ortamında Kerma değeri Formül (6) kullanılarak hesaplanmıştır [30].

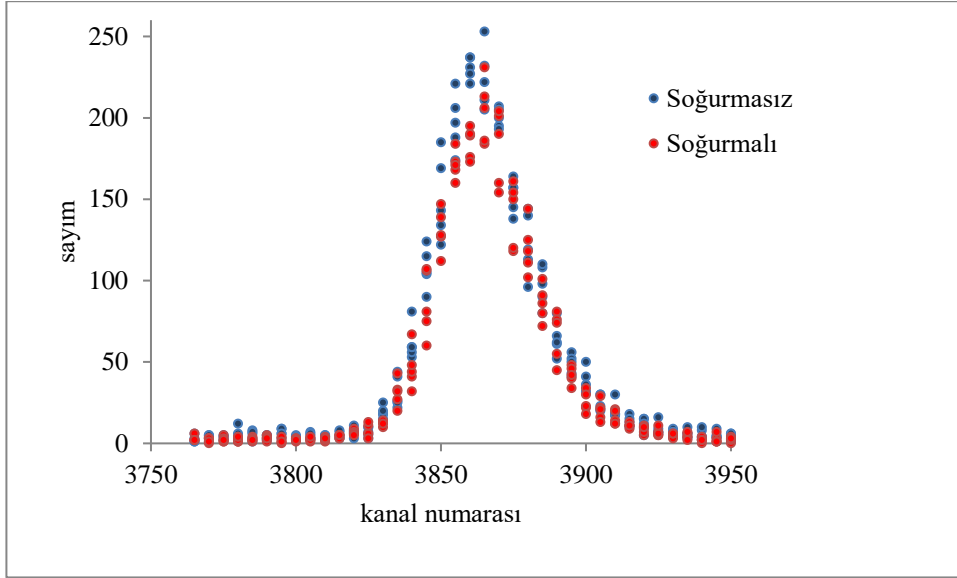
$$Kerma = \frac{\left(\frac{\mu}{\rho} \right)_{bil.}}{\left(\frac{\mu}{\rho} \right)_{hava}} \quad (6)$$

$\left(\frac{\mu}{\rho} \right)_{bil.}$ bileşik kütle zayıflatma katsayısı, $\left(\frac{\mu}{\rho} \right)_{hava}$ hava kütle zayıflatma katsayısıdır.

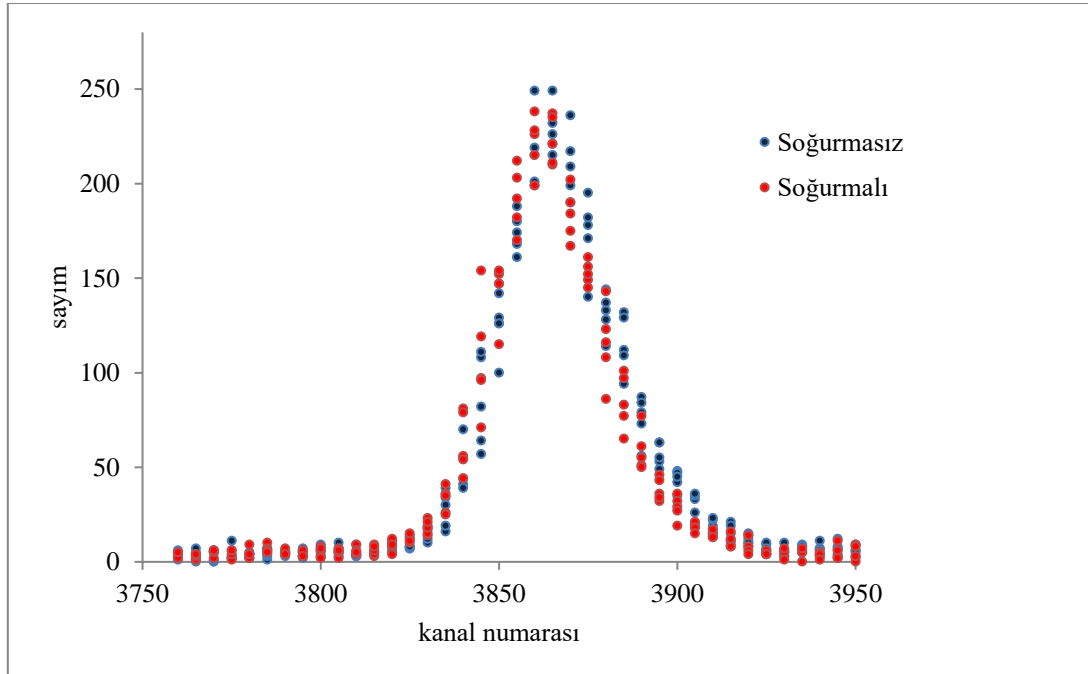
III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada K ve Ca elementlerine ait bazı bileşikler için 59,543 keV enerjide kütle zayıflatma katsayıları deneysel yöntemlerle ölçülmüş ve hesaplanmıştır. Bileşiklerin kütle zayıflatma katsayılarının belirlenmesinde en önemli aşamalardan biri malzemelerin uygun deney geometrisinde radyasyon zayıflatma ölçümlerinin yapılmasıdır. Bu ölçümler, direkt geçirgenlik yöntemine göre geçirgenlik deney geometrisi kullanılarak yapılmıştır. Hesaplanan kütle zayıflatma katsayısı değerleri kullanılarak toplam moleküler, atomik, elektronik tesir kesiti, etkin atom numarası, etkin elektron yoğunluğu ve Kerma deneysel değerleri hesaplanmıştır. Bileşiklerin kütle zayıflatma katsayıları, toplam molekül, atomik ve elektronik tesir kesitleri, etkin atom numarası ve elektron yoğunluğu gibi parametrelerin bilinmesi onların karakteristik özelliklerinin anlaşılabilmesi için oldukça önemlidir. Bu atomik parametrelerin teorik değerlerinin hesaplanabilmesi için WinXCOM programı kullanılmıştır.

Bu program yardımıyla hesaplanan teorik değerler ile deneysel değerler kıyaslanmıştır. Deneysel ve teorik kütle zayıflatma katsayıları, atomik, moleküler ve elektronik tesir kesitleri, etkin atom numarası, bileşiklerin etkin elektron yoğunluğu ve Kerma sonuçları Tablo 1-6'da listelenmiştir. K ve Ca elementlerine ait bileşikler arasında en iyi kütle zayıflatma katsayısına sahip olan KF ve $\text{CaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ bileşiğine ait radyasyon soğurmalı ve soğurmasız şiddet grafikleri Şekil 2-3'de gösterilmiştir.



Şekil 2. $\text{CaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ bileşiğine ait soğurmalı ve soğurmasız şiddet grafiği



Şekil 3. KF bileşiğine ait soğurmalı ve soğurmasız şiddet grafiği

Tablo 1. K bileşikleri için Kütle zayıflatma katsayısı, Etkin atom numarasının deneysel ve teorik değerleri

Bileşik	μ/ρ (cm^2/gr)		Z_{eff}	
	Deneysel	Teorik	Deneysel	Teorik
K		0,577		19
KF	0,471	0,451	17,162	16,445
KSCN	0,414	0,415	14,754	14,811
K ₂ CO ₃	0,395	0,408	14,078	14,560
K ₂ S ₂ O ₇	0,390	0,365	14,801	13,864
KNO ₃	0,331	0,339	6,669	6,840
KHSO ₄	0,305	0,355	10,737	12,482
KAl(SO ₄) ₂ .12H ₂ O	0,296	0,264	7,226	6,447

Tablo 2. Ca bileşikleri için Kütle zayıflatma katsayısı, Etkin atom numarasının deneysel ve teorik değerleri

Bileşik	μ/ρ (cm^2/gr)		Z_{eff}	
	Deneysel	Teorik	Deneysel	Teorik
Ca		0,669		20
CaCl ₂ .H ₂ O	0,674	0,482	1,979	1,414
CaF ₂	0,328	0,437	11,908	15,843
CaSO ₄ .2H ₂ O	0,295	0,346	8,800	10,331
Ca(OH) ₂	0,272	0,453	7,298	12,165
Ca(PH ₂ O ₂) ₂	0,248	0,366	7,488	11,030

Tablo 3. K bileşikleri için Toplam moleküler tesir kesiti, Toplam atomik tesir kesitinin deneysel ve teorik değerleri

Bileşik	σ_{tm} ($10^{-23} cm^2/molekül$)		σ_{ta} ($10^{-23} cm^2/atom$)	
	Deneysel	Teorik	Deneysel	Teorik
KF	4,549	4,359	2,274	2,179
KSCN	6,687	6,713	1,671	1,678
K ₂ CO ₃	9,068	9,378	1,511	1,563
K ₂ S ₂ O ₇	16,484	15,441	1,498	1,403
KNO ₃	5,559	5,702	1,111	1,140
KHSO ₄	6,907	8,029	0,986	1,147
KAl(SO ₄) ₂ .12H ₂ O	23,396	20,874	0,487	0,434

Tablo 4. Ca bileşikleri için Toplam moleküler tesir kesit, Toplam atomik tesir kesitinin deneysel ve teorik değerleri

Bileşik	σ_{tm} ($10^{-23} cm^2/molekül$)		σ_{ta} ($10^{-23} cm^2/atom$)	
	Deneysel	Teorik	Deneysel	Teorik
CaCl ₂ .H ₂ O	14,461	10,330	2,410	1,721
CaF ₂	4,265	5,675	1,421	1,891
CaSO ₄ .2H ₂ O	8,448	9,918	0,704	0,826

Ca(OH) ₂	3,350	5,584	0,670	1,116
Ca(PH ₂ O ₂) ₂	7,030	10,355	0,639	0,941

Tablo 5. K bileşiğine ait teorik ve deneysel Toplam elektronik tesir kesiti ve Etkin elektron yoğunluğunun deneysel ve teorik değerleri

Bileşik	σ_{te} ($10^{-23} cm^2/elektron$)		N_{eff} ($10^{+23} elektron/gram$)	
	Deneysel	Teorik	Deneysel	Teorik
KNO ₃	0,166	0,166	1,985	2,036
KF	0,132	0,132	3,556	3,408
KSCN	0,113	0,113	3,656	3,670
K ₂ CO ₃	0,107	0,107	3,679	3,805
K ₂ S ₂ O ₇	0,101	0,101	3,858	3,609
KHSO ₄	0,091	0,091	3,323	3,862
KAl(SO ₄) ₂ .12H ₂ O	0,067	0,067	4,401	3,927

Tablo 6. Ca bileşiğine ait teorik ve deneysel Toplam elektronik tesir kesiti ve Etkin elektron yoğunluğunun deneysel ve teorik değerleri

Bileşik	σ_{te} ($10^{-23} cm^2/elektron$)		N_{eff} ($10^{+23} elektron/gram$)	
	Deneysel	Teorik	Deneysel	Teorik
CaSO ₄ .2H ₂ O	0,080	0,080	3,692	4,335
Ca(OH) ₂	0,091	0,091	2,965	4,942
Ca(PH ₂ O ₂) ₂	0,085	0,085	2,916	4,295
CaF ₂	0,119	0,119	2,754	3,664
CaCl ₂ .H ₂ O	1,217	1,217	0,554	0,396

Tesir kesiti sonucunda gözlenen deneysel ve teorik değerlerdeki farklılıklar hata sınırları içerisinde uyumlu olmasına rağmen bazı değerlerde sapmalar gözlenmiştir. Bu sapmalar karışım kuralı kullanılırken molekül içi etkileşimlerin yok sayılması olduğu varsayılmaktadır.

Elektronik konfigürasyonu Potasyum 3p⁶ 4s¹, Kalsiyum 3p⁶ 4s² olan K ve Ca elementlerinin bileşiklerinde kütle zayıflatma katsayısı arttıkça toplam atomik tesir kesitinde ve etkin atom numarası değerlerinde genellikle bir artış gözlenmiştir. Bu artış K ve Ca bileşiklerini oluşturan diğer ligand elementlerin atom numaralarının artmasıyla açıklanabilir. K periyodik tabloda 1A grubu elementi alkali metaldir ve Ca, 2A grubu toprak alkali metal özellikleri gösterirler. K bileşikleri için elde edilen sonuçlar saf K için elde edilen sonuç ile karşılaştırıldığında, μ/ρ için % 18,37-% 48,70 arasında değerler aldığı gözlenmiştir. Atom numarası 19 olan K elementinin etkin atom numarasındaki minimum ve maksimum değişim sırasıyla % 9,67 ile -F ve % 64,9 ile -NO₃ ligand grubuna sahip olan bileşiklerde gözlenmiştir. Ca bileşikleri için elde edilen sonuçlar saf Ca için elde edilen sonuç ile karşılaştırıldığında, μ/ρ için % 0,74-% 62,92 arasında değerler aldığı gözlenmiştir. Atom numarası 20 olan Ca elementinin bileşiklerinde etkin atom numarasındaki minimum ve maksimum değişim sırasıyla % 40 ile -F₂ ve % 90 ile -Cl₂.H₂O ligand grubuna sahip olan bileşiklerde gözlenmiştir. Ca elementinin bileşikleri arasında en fazla değişim halojenlerle yaptığı bileşiklerde gözlenmiştir. Bunun sebebi, halojenlerin atom numarasının artmasıyla Ca elementinin dış tabaka elektronlarının halojenin coulomb alanından daha fazla etkilenmesinden dolayı olduğu düşünülmektedir.

Bileşiği oluşturan elementlerin atomik ağırlığının artmasıyla bileşiğin Z_{eff} değerinde bir artış olduğu gözlemlendi. Etkin atom numarasına bağlı olarak elektron yoğunluğunun değerleri de bileşiği oluşturan elementlerin atom numarasına bağlıdır. Genel olarak küçük atom numaralı elementlerden oluşan bileşiklerin etkin elektron yoğunluğunun daha küçük değerler aldığı gözlemlenmiştir.

Bileşiklerin kütle zayıflatma katsayısı arttıkça Kerma değerinde de bir artış olduğu gözlemlenmiştir. K bileşikleri için elde edilen sonuçlar saf K için elde edilen sonuç ile karşılaştırıldığında, Kerma için % 18,40-% 48,73 arasında değiştiği gözlenmiştir. Ca bileşikleri için elde edilen sonuçlar saf Ca için elde edilen sonuçlar ile karşılaştırıldığında, Kerma için % 0,78-% 62,91 arasında değerler aldığı gözlenmiştir.

Bileşiklerin kütle zayıflatma katsayılarının teorik hesaplamalarında kullanılan karışım kuralı, molekül oluşturulan atomlar arasındaki kimyasal etkileşimleri göz ardı eder. Molekül içerisindeki atomlar birbirlerinden bağımsız değil, onlarla etkileşim içerisinde dirler. Dolayısıyla bağımsız atomlara ait kütle zayıflatma katsayısı ile bileşiğe ait molekül içerisindeki atomların kütle zayıflatma katsayısı değerleri arasında farklılık olması beklenen bir sonuçtur. Deneyler sonucunda elde edilen kütle zayıflatma katsayısı ile karışım kuralı kullanılarak elde edilen teorik kütle zayıflatma katsayısı arasındaki farklılığın sebebi karışım kuralının kimyasal etkileşimleri göz ardı etmesinden kaynaklı olabilir. Bu durumda çalışmamızdaki deneysel sonuçlarla teorik sonuçlar arasındaki farklılıkları açıklayan bir durumdur. Aynı zamanda tablolar incelendiğinde 59,543 keV enerjide elde edilen deneysel ve teorik kütle zayıflatma katsayısı değerleri arasındaki farkın çoklu atom içeren bileşiklerde genellikle daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bileşiği oluşturan elementlerin sayısı arttıkça kütle zayıflatma katsayısındaki teorik ve deneysel sonuçlardaki farkın arttığı gözlenmektedir. Bileşiği oluşturan merkez atomun atom numarasının artması ile moleküler ve atomik tesir kesitlerinde genellikle artış gözlenmiştir. Elde edilen veriler analiz edildiğinde bileşik içindeki element sayısının artmasıyla deneysel toplam atomik tesir kesitinin, toplam elektronik tesir kesitinin ve etkin atom numarasının sayısal olarak azalma gösterdiği, buna karşın etkin elektron yoğunluğunun artış gösterdiği gözlenmiştir. Aynı zamanda bileşik içindeki element sayısının azalması etkin atom numarasında artışa, etkin elektron yoğunluğunda azalışa sebep olduğu düşünülmektedir.

IV. SONUC

K ve Ca elementlerine ait bileşiklerinin kütle zayıflatma katsayı değerlerinin merkez atomun atom numarasının büyümesiyle artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Bileşikler üzerinde kimyasal etki bileşiği oluşturan elementlerin valans elektron yapılarında meydana gelen değişimden dolayı olur. Kimyasal etkiler, bileşiğin kimyasal bağının durumuna bağlı olarak ve valans elektronlarına göre yorumlanmaktadır. Maddenin moleküler bağı, kimyasal ve kristal yapısı gama ışını zayıflatma ihtimallerini etkiler. Atomların elektronları kendine doğru çekme gücü elektronegatiflik olarak tanımlanır. Elektronegatiflik, bir atomun bileşik yapma isteğine ait bir özelliktir. Yüksek enerjili ışın etkisi ile tüm bu büyüklüklerde bazı değişimler meydana geldiği düşünülmektedir.

K ve Ca bileşiklerinin kütle zayıflatma katsayısı μ/ρ , moleküler tesir kesiti σ_{tm} , atomik tesir kesiti σ_{ta} , elektronik tesir kesiti σ_{te} , etkin atom numarasının Z_{eff} , etkin elektron yoğunluğu N_{eff} , Kerma (K) parametrelerinin tıp alanında, endüstride, eczacılık alanında, ziraai olarak, koruyucu tıp, gama ışını floresans çalışmaları ve tomografi uygulamalarında kullanılmalarından dolayı bu parametrelerin teorik sonuçlarının yanı sıra uygulamalı olarak deneysel değerlerinin tespit edilmesi de önemlidir. Bu çalışma bundan sonraki araştırmacılara referans teşkil eden bir çalışma niteliğine sahip olmasından dolayı bu makalede çalışılan bileşiklerden elde edilen değerler daha sonra yapılacak olan çalışmalarda referans olarak kullanılabilir.

V. KAYNAKLAR

[1] E. Dellow. "Dose determination at keV X-ray qualities using different protocols", Yüksek Lisans Tezi. Tıbbi Fizik Programı, Tıbbi Radyasyon Fiziği Klinik Bilimleri, Lund University, 2008.

- [2] V. Shivaramu, R. Kumar, L. Rijasekaran ve N. Ramamurthy, "Effective atomic numbers for photon energy absorption of some low-Z substances of dosimetric interest", *Radiation Physics and Chemistry*, c. 62, ss. 371-377, 2001.
- [3] N. Kanematsu, T. İnaniwa ve Y. Koba, "Relationship between electron density and effective densities of body tissues for stopping, scattering and nuclear interactions of proton and ion beams", *National Institute of Radiological Sciences, Medical Physics*, c. 39, s. 2, ss. 1016-1020, 2012.
- [4] J. Seco ve P. M. Evans, "Assessing the effect of electron density in photon dose calculations", *Medical Physics*, c. 33, ss. 540, 2006.
- [5] I. Han ve L. Demir, "Determination of mass attenuation coefficients, effective atomic and electron numbers for Cr, Fe and Ni alloys at different energies", *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B.*, c. 267, ss. 3-8, 2009.
- [6] G. F. Knoll, "*Radiation Detection and Measurement*," University of Michigan, John Wiley & Sons, Inc. New York, 2002, ss. 830.
- [7] J. H. Hubbell, "Photon mass attenuation and energy-absorption coefficients from 1 keV to 20 MeV", *International Journal of Applied Radiations and Isotopes*, c. 33, ss. 1269-1290, 1982.
- [8] J. H. Hubbell ve S. M. Seltzer, "Tables of X-ray mass attenuation coefficients and mass energy-absorption coefficients 1 keV to 20 MeV for elements Z=1 to 92 and 48 additional substances of dosimetric interest", *National Institute of Standards and Physics Laboratory, NISTIR*, ss. 5632, 1995.
- [9] L. Gerward, N. Guilbert, K. B. Jensen ve H. Levring, "X-ray absorption in matter Reengineering XCOM", *Radiation Physics and Chemistry*, c. 60, ss. 23-24, 2001.
- [10] C. T. Chantler, "Theoretical form factor, attenuation and scattering tabulation for Z=1-92 from E=1-10 eV to E=0.4-1.0 MeV," *J. Phys. Chem.*, c. 24, ss. 71-643, 1995.
- [11] J. H. Hubbell, "Review of photon interaction cross section data in the medical and biological context," *Physics in Medicine & Biology*, c. 44, 1999.
- [12] G. J. Hine, "The effective atomic numbers of materials for various gamma interactions, Secondary electron emission and effective atomic numbers," *Physical Review*, c. 85, ss. 725-737, 1952.
- [13] V. Manjunathaguru ve T. K. Umesh, "Effective atomic numbers and electron densities of some biologically important compounds containing H, C, N and O in the energy range 145-1330 keV", *Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics*, c. 39, s. 18, ss. 3969-3981, 2006.
- [14] U. Çevik, E. Bacaksız, N. Damla ve A. Çelik, "Effective atomic numbers and electron densities for CdSe and CdTe semiconductors", *Radiation Measurements*, c. 43, s. 8, ss. 1437-1442, 2008.
- [15] M. Kurudirek, M. Büyükyıldız ve Y. Özdemir, "Effective atomic number study of various alloys for total photon interaction in the energy region of 1 keV-100 GeV", *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated*. c. 613, s. 2, ss. 251-256, 2010.
- [16] B. Rudraswamy, N. Dhananjaya ve H. C. Manjunatha, "Measurement of absorbed dose rate of gamma radiation for lead compounds", *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipmen*, c. 619, s. 1-3, ss. 171-173, 2010.

- [17] M. Kurudirek, “Bazı çoklu element yapıdaki maddelerin foton etkileşimi, foton enerji soğurması, foton kuvvetlendirme faktörü ve hızlı nötron azaltma tesir kesitleri açısından incelenmesi,” Doktora tezi, Fizik, Fen BilimleriEnstitüsü, Atatürk Üniversitesi Erzurum, Türkiye, 2011.
- [18] H. C. Manjunatha ve B. Rudraswamy, “Study of effective atomic number and electron density for tissues from human organs in the energy range of 1 keV100 GeV”, *Health Physics*, c. 104, s. 2, ss. 158-162, 2013.
- [19] I. Han, M. Aygün, L. Demir ve Y. Şahin, “Determination of effective atomic numbers for 3d transition metal alloys with a new semi-empirical approach,” *Annals of Nuclear Energy*, c. 39, s. 1, ss. 56-61, 2012.
- [20] K. S. Mann, J. Singla, V. Kumar ve G. S. Sidhu, “Investigation of mass attenuation coefficients and exposure building factors of some low-Z building materials,” *Annals of Nuclear Energy*, c. 4, ss. 157-166, 2012.
- [21] M. L. Taylor, R. L. Smith, F. Dossing ve R. D. Franich, “Robust calculation of effective atomic numbers:the auto-Zeff software”, *Medical Physics*, c. 39, s. 4, ss. 1769-1778, 2012.
- [22] N. Küçük, M. Çakır ve N. A. Isıtman, “Mass attenuation coefficients, effective atomic numbers and effective electron densities for some polymers”, *Radiation Protection Dosimetry*, c. 153, s. 1, ss. 127-134, 2013.
- [23] A. Un ve F. Demir, “Determination of mass attenuation coefficients, effective atomic numbers and effective electron numbers for heavy-weight and normal weight concretes”, *Applied Radiation and Isotopes*, c. 80, ss. 73-77, 2013.
- [24] Y. Zheng, X. K. Li, Y. Wang ve L. Cai, “The role of zinc, copper and iron in the pathogenesis of diabetes and diabetic complications: Therapeutic effects by chelators”, *Hemoglobin*, c. 32, s. 1-2, ss. 135-145, 2008.
- [25] P. J. Parsons ve F. Barbosa, “Atomic spectrometry and trends in clinical laboratory medicine”, *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, c. 62, s. 9, ss. 92-1003, 2007.
- [26] F. D. Jackson ve D. J. Hawkes, “X-Ray attenuation coefficients of elements and mixtures”, *Physics Reports*, c. 70, s. 3, ss. 169-233, 1981.
- [27] M. P. Singh, B. S. Sandhu ve B. Singh “Measurement of effective atomic number of composite materials using scattering of γ -rays”, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, A*, c.580, ss. 50-53, 2007.
- [28] K. Singh, H. Singh, V. Sharma, R. Nathuram, A. Khanna, R. Kumar, S. S. Bhatti ve H. S. Sahota, “Gamma-ray attenuation coefficients in bismuth borate glasses,” *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B*, c. 194, ss. 1-6, 2002.
- [29] S. R. Manohara, S. M. Hanagodimath, K. S. Thind ve L. Gerward, “On the effective atomic number: a comprehensive set of formulas for all types of materials” *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B*, c. 266, ss. 3906–3912, 2008.
- [30] V. P. Singh, M .E. Medhat, N. M. Badiger ve A. Z. M. S. Rahman, “Radiation shielding effectiveness of newly developed superconductors,” *Radiation Physics and Chemistry*, c. 106, ss. 175-183, 2015.