

## Sprey Piroliz Yöntemiyle SnO<sub>2</sub>:F Camların Üretimi ve Radyasyon Etkileşim Özelliklerinin Hesaplanması

Saniye TEKEREK<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, 46100, Kahramanmaraş

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0003-3326-358X>

\* Sorumlu yazar: saniyetekerek@ksu.edu.tr

### Araştırma Makalesi

### ÖZET

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 16.02.2021

Kabul tarihi: 18.06.2021

Online Yayınlanma: 15.12.2021

#### Anahtar Kelimeler:

Kimyasal püskürtme

Kalay oksit flor

Kütle soğurma katsayısı

Flor katkılı kalay oksit (SnO<sub>2</sub>:F) kaplı camlar Sprey piroliz yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Bu camların optiksel ve yapısal özellikleri UV ve X-ışını kırınım (XRD) spektrometreleri ile incelenmiştir. Üretilen SnO<sub>2</sub>:F kaplı camların teorik olarak kütle soğurma katsayıları WinXcom programı kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen kütle soğurma katsayısı değerleri kullanılarak lineer soğurma katsayıları, etkin atom numarası, yarı değer katman kalınlığı, onda bir değer katman kalınlığı ve ortalama serbest yol değerleri hesaplanmıştır. Bu çalışmada, farklı enerjilerde F katkısına bağlı olarak flor katkılı kalay oksit (SnO<sub>2</sub>:F) kaplı camların kütle zayıflama katsayıları ve radyasyon etkileşim özellikleri araştırılmıştır.

## Production of SnO<sub>2</sub>:F Glass by Spray Pyrolysis Method and Calculation of Radiation Interaction Properties

### Research Article

### ABSTRACT

#### Article History:

Received: 16.02.2021

Accepted: 18.06.2021

Published online: 15.12.2021

#### Keywords:

Spray pyrolysis

Tin oxide fluorine

Mass attenuation coefficient

F doped tin oxide (SnO<sub>2</sub>:F) glasses was produced by using spray pyrolysis method. These glasses were investigated optical and structure properties by UV and X-ray diffraction (XRD) spectrometry. The theoretical mass attenuation coefficients of the produced SnO<sub>2</sub>:F coated glasses were calculated by using the WinXcom program. The linear attenuation coefficients, effective atomic number, half value layer thickness, one tenth layer thickness, mean free path values were calculated using the obtained mass attenuation coefficients. In this study it was investigated that the mass attenuation coefficients and radiation interaction properties for fluorine doped tin oxide (SnO<sub>2</sub>:F) coated glasses by depending on the F contribution in different energies.

**To Cite:** Tekerek S. Sprey Piroliz Yöntemiyle SnO<sub>2</sub>:F Camların Üretimi ve Radyasyon Etkileşim Özelliklerinin Hesaplanması. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2021; 4(3): 261-273.

### Giriş

Gama fotonlarının tıbbi fizik, radyoterapi, görüntüleme, uzay teknoloji uygulamaları vb. alanlarda yaygın kullanımının artması radyasyon fizikçilerine ve nükleer mühendislere radyasyon kalkanı için daha uygun tasarım araştırmaları için ilham vermektedir. X ve gama ışını için koruyucu malzemelerin geliştirilmesi, tasarımları nükleer tıpta laboratuvar, röntgen radyografisi, Bilgisayarlı Tomografi (CT) tarama odaları gibi radyasyon cihazlarının bulunduğu ölçüm alanları içerisinde yer alan cam bölmelerin bulunduğu hastane, diş klinikleri, araştırma laboratuvarlarında cam koruma malzemelerinin geliştirilmesi radyasyon korunmayı

sağlar (Ersundu ve ark., 2018; Gaikwad ve ark., 2019; Kaewkhao ve Limsuwan, 2010). Bu nedenle cam, şeffaflığı, yüksek homojenliği ve geniş bir bileşim yelpazesini katkı maddesi olarak kabul etmesi nedeniyle uygun bir malzeme olarak değerlendirilebilir. Cam bileşimine ağır elementler eklemek, radyasyondan korunma özelliklerini önemli ölçüde artırdığı bilinmektedir ( Gaikwad ve ark., 2018; Agar ve ark., 2019; Kumar ve ark., 2020). Yüksek enerjili gama fotonlarına karşı zırhlama izin verilen doz seviyesinin sınırlarına kadar düşürmek için reaktörde veya nükleer araştırma merkezinde zorunludur (Agar ve ark., 2019). Gerekli koruyucu malzemenin tipi ve kalınlığı, radyasyon türleri, radyo-izotop aktivitesi, maliyet etkinliği ve maruz kalma oranı ile ilgilidir. Güçlü bir kalkan malzemesi, küçük bir penetrasyon mesafesinde önemli miktarda enerji kaybına neden olur ve tehlikeli radyasyonların daha fazla emisyon olasılığını mümkün olduğu kadar azaltır (Singh ve ark., 2018). 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). Günümüzde birçok bilim adamı radyasyon madde etkileşimi konusunda araştırma yapmaktadır. Alaşım, bileşik, karışım gibi birçok malzeme türlerinin gama ışını koruma özellikleri incelenmiştir. Katkılanan malzemelerin radyasyona karşı verdiği tepkiler farklılık gösterebilmektedir. Katkı maddelerinin gama ışını kalkanlama özellikleri üzerindeki etkisi hakkında araştırmalar yapılmaktadır (Sirin, 2020). Bu araştırmalarda tıbbi ve endüstriyel alanlarda farklı koruyucu malzemeleri geliştirmek ve ayrıca insan sağlığına zararlı kurşun kullanımının üstesinden gelmek amacıyla yapılmaktadır (Seenappa, 2017).

Güneş pillerinde de sıklıkla kullanılan iletkenlik özelliği olan SnO<sub>2</sub>:F filmlerin radyasyona karşı verdiği tepkinin incelenmesi bu filmlerin farklı alanlarda kullanılabilmesi açısından olanak sağlayabilir. Böylelikle güneş pillerinin temelini oluşturan iletken cam tabakaların radyasyona karşı tutumu hakkında fikir sahibi olunabilmesi açısından bu çalışmaların yapılması önemlidir.

Bu çalışmada SnO<sub>2</sub>:F üretimi için kimyasal püskürtme tekniği kullanılmıştır. Çalışmada kütle soğurma katsayısının teorik değerleri WinXCom data programı yardımıyla hesaplanmıştır. Elde edilen kütle soğurma katsayısı yardımıyla Z<sub>eff</sub> (etkin atom numarası), HVL (yarı değer katman kalınlığı), TVL (onda bir değer katman kalınlığı) ve MFP (ortalama serbest yol) soğurma parametreleri hesaplanmıştır.

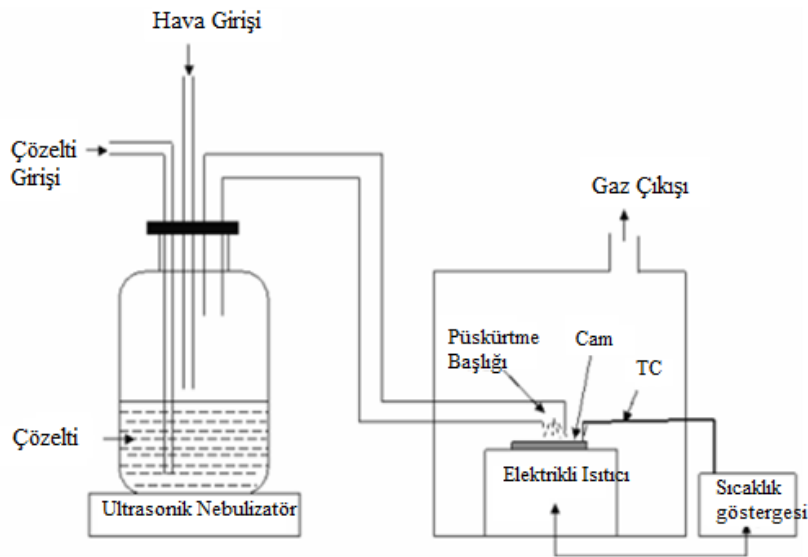
## **Materyal ve Metod**

SnO<sub>2</sub>:F ince filmler güneş enerjisi dönüşümünde ekonomik ve uygunluk açısından önemlidir. Aynı zamanda atmosferik şartlara uygunlukları nedeniyle fotovoltaik uygulamalarda iyi sonuçlar verdiği için talep edilen cam kaplamalardır (Dutta ve ark., 1995). Flor katkılanmış SnO<sub>2</sub> bileşiği daha yüksek elektrik iletkenlik, optik geçirgenlik ve kızılötesi yansımaya özelliklerine sahiptir. SnO<sub>2</sub>:F cam, metal ve metal oksit gibi kristal ve amorf yüzeylere iyi tutunması nedeniyle çok ilgi çekicidir. Sprey piroliz yöntemi çözeltilerin sıcak altlıklar üzerine püskürtülmesiyle elde edilen ince film büyütme tekniğidir. Bu tekniğin tercih edilme sebebi uygun maliyetle, istenilen sıcaklıklarda, istenen film kalınlığında üretilebilmesi ve üretim esnasında oksijen miktarının fazlalığı ile oksit yarıiletken film üretilebilmesidir. Bu çalışmanın temel amacı, radyasyon

kalkanlama uygulamaları için farklı F oranlarında katkılanarak elde edilen SnO<sub>2</sub>:F ince filmlerin gama foton zayıflatma parametrelerini belirlemektir.

### SnO<sub>2</sub>:F İnce Filmlerin Elde Edilmesi

Bu çalışmada 75x25x1mm boyutlarında cam alt tabanlar kullanılmıştır. İlk etapta su ile ön temizleme işlemi daha sonra 5 dk. etil alkol içerisinde bekletme ve deiyonize su ile durulama prosedürleri gerçekleştirilerek steril altlıklar elde edilmiştir. Durulama işleminden sonra camlar 5 dk. aseton içerisinde bekletilerek, kurutulmuştur. SnO<sub>2</sub>:F ince filmleri kimyasal püskürtme yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Başlangıç çözeltisi 90°C sıcaklıkta 11gr SnCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O, 5ml hidroklorik asit (HCl) içerisinde 10 dk. manyetik karıştırıcıda karıştırılarak hazırlanmıştır (Elangovan ve ark., 2004). Kimyasal çözelti oda sıcaklığına soğutulmuştur. 5 ml saf suda çözülen amonyum florür (NH<sub>4</sub>F) çözeltisi hazırlanarak SnCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O ve HCl çözeltisi ile NH<sub>4</sub>F çözeltisi birleştirilmiştir. Elde edilen karışıma metanol eklenerek 100 ml'ye tamamlanmıştır. Elde edilen başlangıç çözeltisini buharlaştırabilmek için 1,63 MHz frekanslı ultrasonik nebulizatör kullanılmıştır. Püskürtme odacığında bulunan ısıtıcı taban 450°C'ye kadar ısıtılıp, başlangıç çözeltisi yaklaşık 8 dk. süreyle püskürtülerek SnO<sub>2</sub>:F filmler elde edilmiştir. Film yapımı esnasında kullanılan deney düzeneği Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Kimyasal püskürtme yöntemi kullanılarak SnO<sub>2</sub>:F filmlerin elde edilmesi için kullanılan deney düzeneği

Elde edilen SnO<sub>2</sub>:F'un yarı değer katmanı (HVL), kaynaktan çıkıp cam ileten yüzeye gelen foton şiddetinin yarıya düşmesi için gerekli olan soğurucu kalınlığını, Onda bir (1/10) değer katmanı (TVL) ise ileten cam ile etkileşime giren radyasyon şiddetini 1/10'a düşürmek için gereken malzeme kalınlığını ifade etmektedir. Denklem (2), (3) ve (4) kullanılarak HVL, TVL ve MFP ( $\lambda$ ) değerleri hesaplanmıştır. Ortalama serbest yol (MFP) denklem(4) kullanılarak hesaplanmıştır ( Akkaş, 2016; Agar ve ark., 2019).

$$HVL = \ln 2 / \mu \quad (2)$$

$$TVL = \ln 10 / \mu \quad (3)$$

$$MFP = 1 / \mu \quad (4)$$

Denklem (5) kullanılarak malzeme için toplam moleküler tesir kesiti ( $\sigma_{tm}$ ) hesaplanmıştır (Singh ve ark., 2007).

$$\sigma_{tm} = 1 / N_A \cdot (\rho / \mu) \cdot \sum n_i A_i \quad (5)$$

$A_i$  atom ağırlığı,  $n_i$  malzemeyi oluşturan atomlarının oranı,  $N_A$  Avogadro sayısıdır.

Denklem (6) kullanılarak malzemeye ait toplam elektronik tesir kesiti ( $\sigma_{te}$ ) hesaplanmıştır (Singh ve ark., 2007).

$$\sigma_{te} = 1 / N_A \cdot \sum f_i (\rho / \mu)_i (A_i / Z_i); f_i = (n_i / \sum n_i) \quad (6)$$

$A_i$  bileşiği oluşturan  $i$  elementin atom ağırlığı,  $Z_i$   $i$  elementine ait atom numarası,  $f_i$   $i$  elementine ait bolluk kesri,  $n_i$   $i$  elementinin atom sayısıdır.

Denklem (7) kullanılarak etkin atom numarası ( $Z_{eff}$ ) hesap edilmiştir (Singh ve ark., 2002).

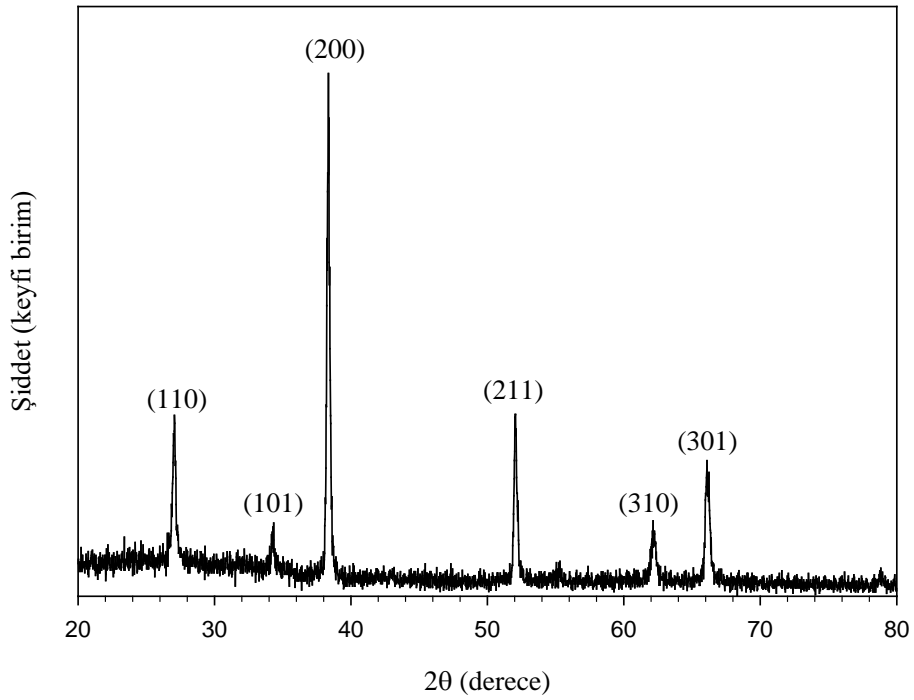
$$Z_{eff} = \sigma_{ta} / \sigma_{te} \quad (7)$$

## Bulgular ve Tartışma

Elde edilen iletken ve geçirgen SnO<sub>2</sub>:F kaplı camların X-ışınları kırınım (XRD) deseni ve ( $hkl$ ) düzlemleri Şekil 2’de gösterilmiştir. Film tercihli büyüme yönü  $2\theta = 38,35^\circ$ ’de (200) olarak tespit edilmiştir. Diğer piklere ait açı değerleri düzlemler arası mesafeler ( $d$ ) ve  $hkl$  düzlemleri Tablo 1’de gösterilmiştir. XRD kristal deseninden SnO<sub>2</sub>:F ince filmlerinin tetragonal formda polikristal yapısında olduğu tespit edilmiştir. SnO<sub>2</sub> içerisine F katkılanmış filmlerin tercihli büyüme yönü (200) düzleminde ve XRD deseni literatürle uyum içerisindedir (Agashe ve ark., 1988).

Enerji ve flor katkı oranının artmasına bağlı olarak  $Z_{eff}$  değerindeki değişim Şekil 6 ve 7’de gösterilmiştir. Kütle soğurma katsayısının ( $\mu/\rho$ ) enerjiye göre değişim grafiği Şekil 5’de gösterilmiştir.  $\mu/\rho$  değerlerinin artan foton enerjisi ile azalma gösterdiği görülmektedir. Kütle soğurma katsayı değerleri F konsantrasyonuna bağlı olarak değişim göstermektedir. F katkısının artmasıyla kütle soğurma katsayısında bir düşüş olduğu tespit edilmiştir. Hesaplanan yarı değer, onuncu değer katmanı ve ortalama serbest yol bu camlar için incelenmiş enerjiye göre değişim grafikleri Şekil 8-10’da gösterilmiştir. Çizilen grafiklerden de görüldüğü gibi HVL, TVL ve MFP parametrelerinin hesaplanan değerleri artan foton enerjisi ile artış göstermektedir.

Tüm enerjiler de en büyük HVL ve TVL değerlerinin %50 F katkısına sahip ince filme ait olduğu görülmektedir.

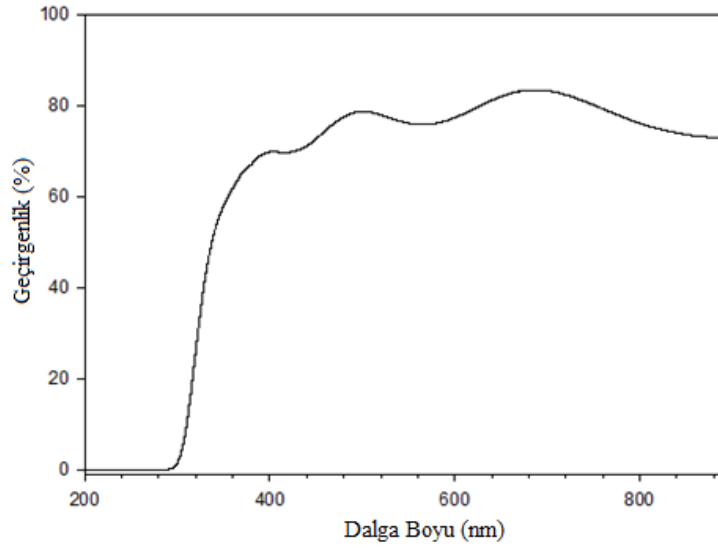


Şekil 2. Kimyasal püskürtme yöntemi ile üretilen SnO<sub>2</sub>:F ince filmlerin XRD deseni

Tablo 1. SnO<sub>2</sub>:F filmlerinin XRD kırınım desenlerinden elde edilen veriler

2θ(derece)	d (Å <sup>o</sup> )	(hkl)
38,35	2,3463	(200)
52,06	1,7565	(211)
27,06	3,2942	(110)
66,05	1,4144	(301)
62,19	1,4926	(310)
34,28	2,6154	(101)

Kimyasal püskürtme yöntemi ile üretilen SnO<sub>2</sub>:F kaplı camların dirençleri 30 Ω olarak ölçülmüştür. Bu direnç değeri camın iletkenlik özelliğine sahip olduğunu ve literatürle uyum içerisinde olduğunu göstermektedir (Murakami ve ark., 1996). SnO<sub>2</sub>:F ince filmin optiksel geçirgenlikleri UV spektrometresi ile elde edilmiş olup sonuç Şekil 3'de gösterilmiştir.



**Şekil 3.** Kimyasal püskürtme yöntemi ile üretilen SnO<sub>2</sub>:F ince filmlerin optiksel geçirgenliği

Katkılama oranlarının iletkenlik üzerinde etkisi sebebiyle güneş pili uygulamalarında SnO<sub>2</sub>:F kaplaması tercih edilmektedir. Bu nedenle sadece iletken olan filmlerin geçirgenlik özellikleri incelenmiş ve hemen hemen bütün filmlerde 300-900 nm arasında %70-80 geçirgenliğe sahip olduğu gözlemlenmiştir.

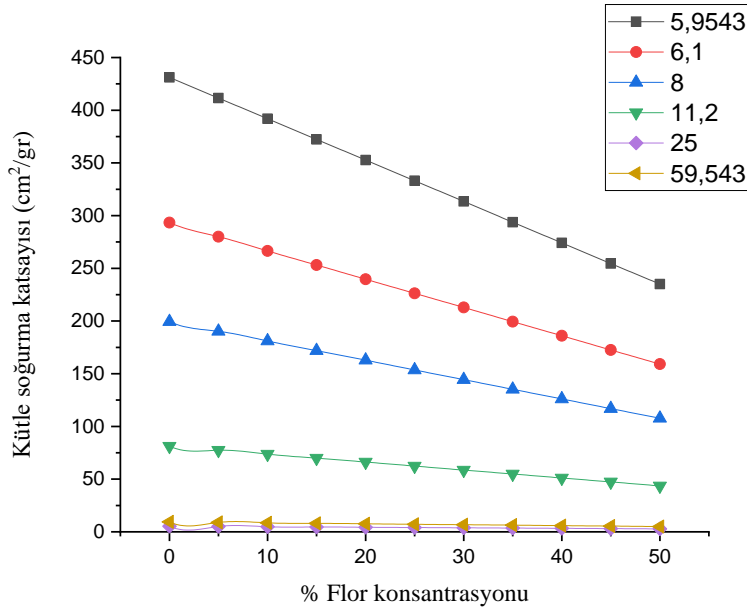
**Tablo 2.** Flor katkı oranlarına göre farklı enerjilerde kütle soğurma katsayı değerleri

Katkı oranları (%)		Kütle Soğurma Katsayısı (cm <sup>2</sup> /gr)					
SnO <sub>2</sub>	F	5,9543 keV	6,9 keV	8 keV	11,2 keV	25 keV	59,543 keV
100	0	431,2	293,4	199,4	81,25	9,362	5,319
95	5	411,6	280	190,3	77,48	8,926	5,063
90	10	391,9	266,5	181,1	73,71	8,491	4,807
85	15	372,3	253,1	171,9	69,94	8,056	4,550
80	20	352,7	239,7	162,8	66,17	7,621	4,294
75	25	333,1	226,3	153,6	62,40	7,185	4,038
70	30	313,5	212,9	144,4	58,63	6,750	3,782
65	35	293,8	199,4	135,2	54,86	6,315	3,525
60	40	274,2	186	126,1	51,09	5,880	3,269
55	45	254,6	172,6	116,9	47,32	5,445	3,013
50	50	235	159,2	107,7	43,55	5,009	2,756

Tablo 2 incelendiğinde aktif bir ametal olan F katkısının cama iletkenlik özelliği sağlamanın yanında kütle soğurma katsayısını da düşürdüğü gözlemlenmiştir. Yapılan hesaplamalardan kütle soğurma katsayısının

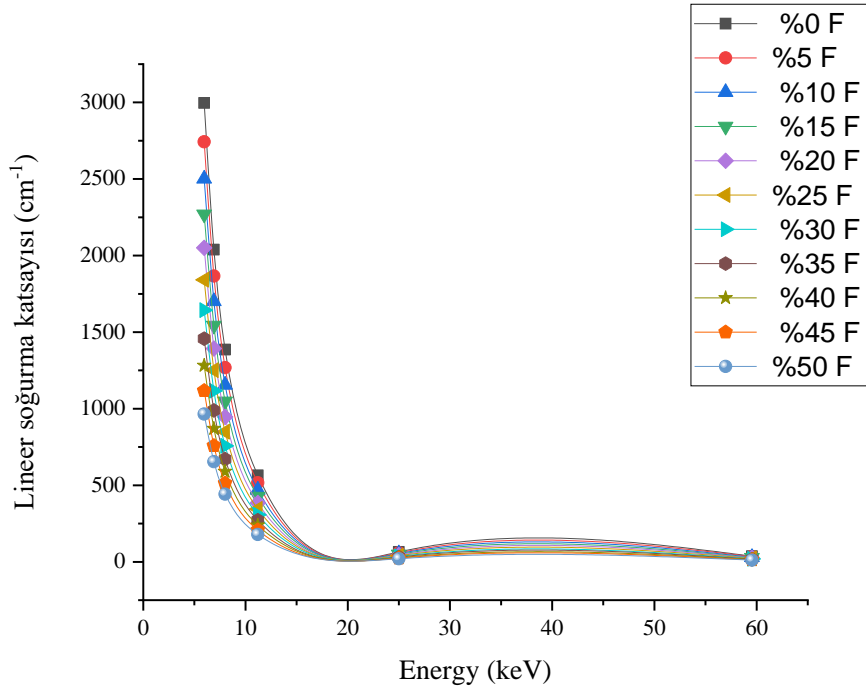
5,9-59,543 keV enerji aralığında mevcut ince filmlerin radyasyon ile etkileşme ihtimali daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu durum yapılan hesaplamalar neticesinde gözlemlenmiştir. 50 keV ve üzeri enerjilerde mevcut ince filmlerin hemen hemen tamamında elde edilen değerlerin çok yakın olduğu gözlemlenmiştir. Yüksek enerjili <sup>241</sup>Am kaynağının 59,543 keV enerjide gama radyasyonu yaydığı göz önünde bulundurularak ince filmlerin gama radyasyonuna verdiği tepkiyi incelemek amacıyla 5,9-59,543 keV enerji aralığında çalışılmıştır.

Flor konsantrasyonuna bağlı olarak kütle soğurma katsayısındaki değişim grafiği Şekil 4’de gösterilmiştir. Şekil 4’den de görüldüğü üzere SnO<sub>2</sub>:F ince filmlerin radyasyonu soğurma olayı enerjiye bağlı olarak incelendiğinde F konsantrasyon miktarına göre kütle soğurma katsayısının azaldığı gözlemlenmiştir. Bu azalışın foton madde etkileşiminde baskın olan fotoelektrik etki ile olduğu açıklanabilir. Elde edilen veriler ışığında radyasyon ve F katkılı iletken camların arasındaki etkileşimin çoğunun düşük enerji bölgesinde gerçekleştiğini gösterir. Saçılma olayı foton madde etkileşimini azaltan bir durum olmasından dolayı 25 keV’den büyük enerjilerde Compton saçılması olayının da etkisiyle MAC (kütle soğurma katsayısı) parametrelerinin daha küçük değerler aldığı gözlemlenmiştir.



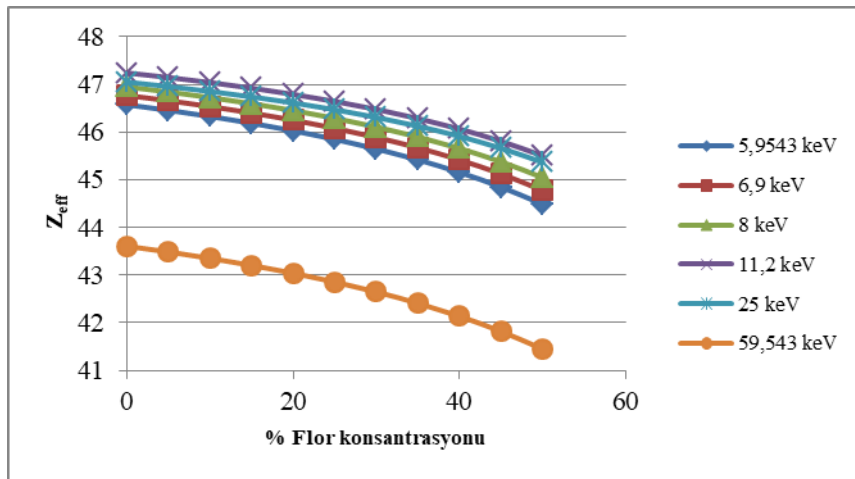
Şekil 4. Flor konsantrasyonuna ve enerjiye bağlı olarak kütle soğurma katsayısındaki değişim

Şekil 5’de Flor konsantrasyonuna bağlı olarak enerjiye göre lineer soğurma katsayısındaki değişim grafiği çizilmiştir. Bu grafikte görüldüğü gibi lineer soğurma katsayısının değeri artan enerji ile azalmaktadır. Fotoelektrik etkinin baskın olduğu düşük enerjili bölgede lineer soğurma katsayısının daha yüksek bir değer kazandığı görülmektedir.



Şekil 5. Flor konsantrasyonuna bağlı olarak enerjiye göre lineer soğurma katsayısındaki değişim

Flor konsantrasyonuna bağlı olarak etkin atom numarası  $Z_{eff}$  değişim grafiği Şekil 6'da gösterilmiştir. Şekil 6'da enerji ve %F katkısının artmasıyla  $Z_{eff}$  değerinin azaldığı gözlemlenmektedir. Enerji artışıyla beraber  $Z_{eff}$  değerinde de azalma gözlemlenmiştir.  $SnO_2:F$  ince filmi incelendiğinde, atom numarası düşük olan Florun ( $F=9$ ) malzemenin fotonla etkileşme ihtimalini azalttığı, atom numarası büyük olan Kalayın ( $Sn=50$ ) ise etkileşme ihtimalini artırdığı görülmektedir. Bu durum atom numarası büyük elementler için fotoelektrik etkinin baskın olması ve atomik tesir kesitlerinin de kütle soğurma katsayısıyla orantılı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

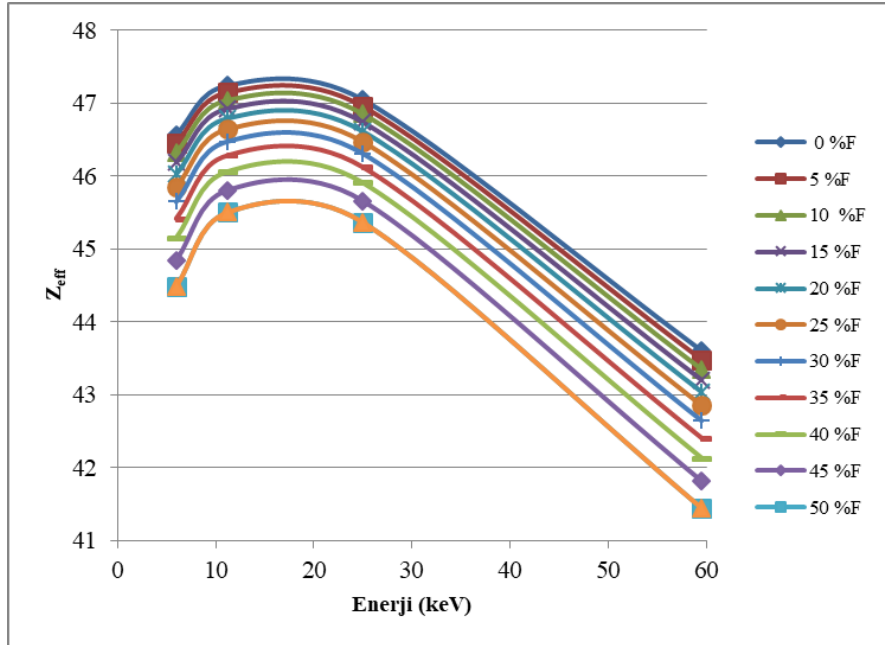


Şekil 6. Flor konsantrasyonuna bağlı olarak etkin atom numarası  $Z_{eff}$  değişim grafiği

Flor konsantrasyonuna ve enerjiye bağlı olarak etkin atom numarası  $Z_{eff}$  değişim grafiği Şekil 7'de gösterilmiştir. İncelenen  $SnO_2:F$  ince filmlerin etkin kütle numarası  $Z_{eff}$  hemen hemen tüm katkılanma oranlarında çok büyük değişimler göstermemiştir. Bunun sebebi Florun ( $F$ ) atom numarasının Kalay ( $Sn$ )

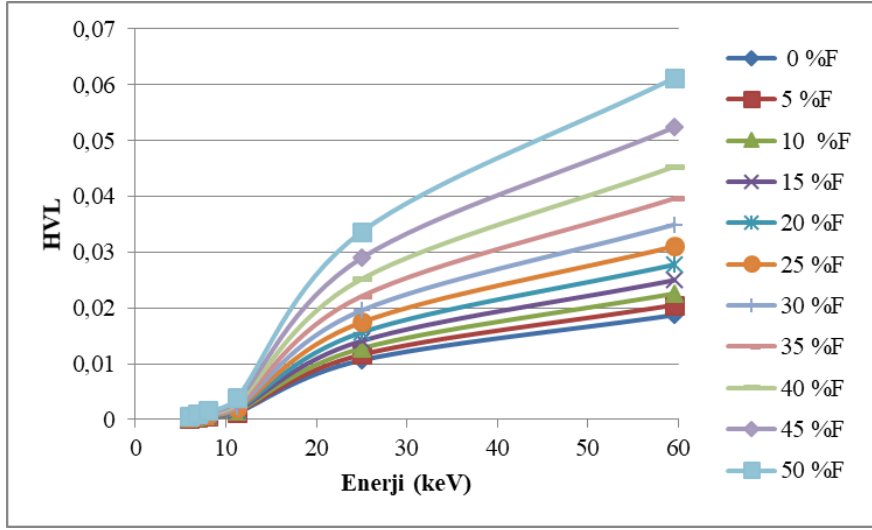


elementine kıyasla düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Düşük enerjide  $Z_{eff}$  değerindeki artış etkin atom numarasının Sn elementinin atom numarasına yaklaştığını göstermektedir. Birden fazla elementten oluşan yapılar radyasyonla etkileşime girdiğinde enerjiye bağlı olarak etkin atom numarasında değişim meydana getirmektedir. Enerji arttıkça çoklu atom yapılarda etkin atom numarası azalma gösterir. İnce filmler için  $Z_{eff}$  değerindeki düşüş ara enerjilerde Compton saçılmasının varlığı ile açıklanmaktadır.

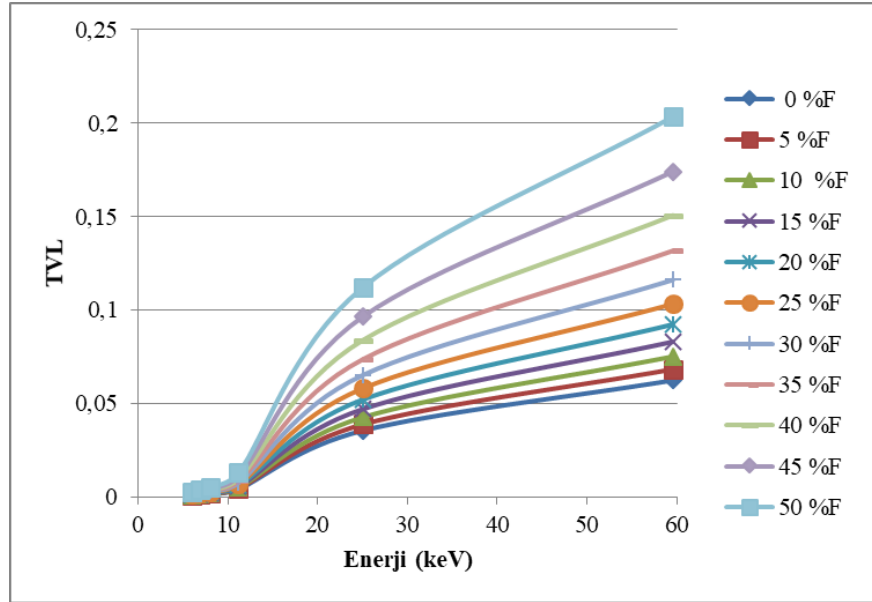


Şekil 7. Flor konsantrasyonuna ve enerjiye bağlı olarak etkin atom numarası  $Z_{eff}$  değişimi

Enerjiye göre yarı değer katman kalınlığı HVL ve TVL değişim grafikleri Şekil 8 ve Şekil 9'da gösterilmiştir. Enerji arttıkça HVL ve TVL değerlerinde yükselme olduğu Şekil 8 ve 9'da gözlemlenmektedir. HVL ve TVL numunenin yoğunluğuna bağlıdır. Bu anlamda, yüksek yoğunluğa sahip %100 SnO<sub>2</sub> kaplı camlar diğer camlara kıyasla daha küçük HVL ve TVL değerlerine sahiptir. Flor katkısı ise HVL ve TVL değerlerinde artışa sebep olmuştur.

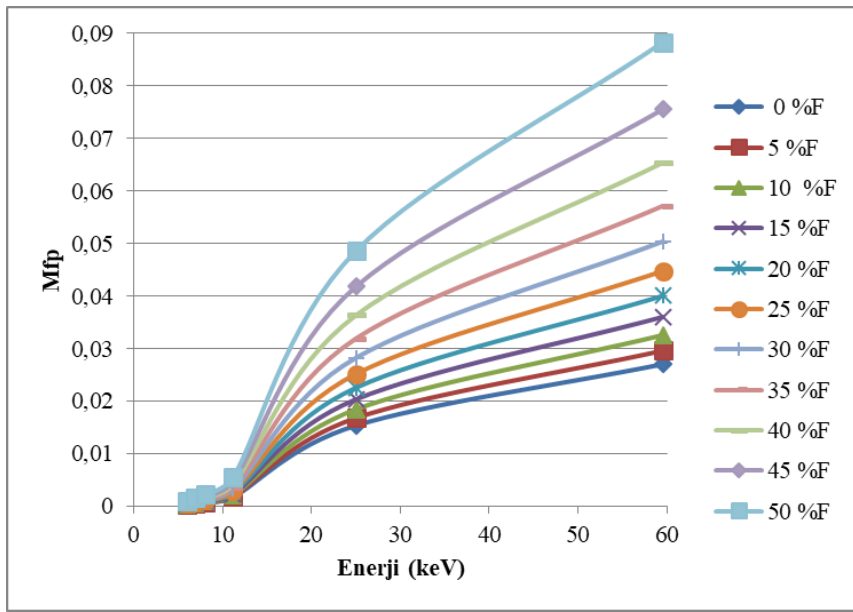


Şekil 8. Enerjiye göre yarı değer katman kalınlığı HVL değişimi



Şekil 9. Enerjiye göre onda bir değer kalınlığı TVL değişimi

Enerjiye göre MFP değişim grafiği Şekil 10'da gösterilmiştir. Flor elementine oranla yüksek yoğunluğa sahip Kalay içeriğine sahip numunenin daha düşük MFP değerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Elektrik iletme ve %80 oranında ışık geçirme özelliği olan bu ince filmlerin radyasyon zırlama özelliği de göz önünde bulundurulduğunda endüstri ve birçok alanda kullanım alanı bulacağı düşünülmektedir.



Şekil 10. Flor konsantrasyonuna bağlı olarak enerjiye göre ortalama serbest yol Mfp değişim

## Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, üretilen F katkılı SnO<sub>2</sub> cam örneklerinin optiksel ve yapısal karakterizasyonunun yanı sıra radyasyon zırlama verimlilikleri araştırılmış, teorik kütle soğurma katsayıları WinXCom yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Bu hesaplamalar 5,9543-59,543 keV'lik foton enerjileri için elde edilmiştir. F içeriğinin oranı arttıkça  $\mu/\rho$  ve  $Z_{eff}$  parametre değerlerinin azaldığı görülmüştür. En yüksek kütle soğurma katsayısının %5 F katkılı camlarda olduğu bulunmuştur. Flor elementinin katkı oranı arttıkça halojen bir element olan Florun yoğun elektron ilgisine sahip olmasından dolayı katkı olarak eklendiği maddede kütle soğurma katsayısının düşmesine sebep olmuştur. Elde edilen sonuçlar, kalay oksit flor için 5,9543 keV'de maksimum bir değere sahiptir. F içeriğinin azalan oranıyla camların radyasyondan korunma kapasitesi artmaktadır. Sonuçlar, malzemenin foton ile etkileşiminin malzemenin kimyasal bileşimine bağlı olduğunu göstermektedir. Bu nedenle %5 F katkılı ince filmlerin en yüksek radyasyon koruma özelliğine sahip olduğu bulunmuştur. Sonuç olarak yüksek atom numarasına sahip olan Sn, çalışmada iyi radyasyon perdeleme performansı göstermektedir. Gelecekte daha iyi bir malzeme karakterizasyonu için bu çalışmaların devam ettirilmesi büyük önem taşımaktadır. İyonlaştırıcı radyasyonun bilinen zararlı etkilerini azaltmak için, incelenen malzeme alternatif olarak gama, beta ve nötron korumasında kullanılabilir. Sonuç olarak SnO<sub>2</sub>:F camlar, fiziksel ve mekanik özelliklerinden dolayı güneş pillerinde yaygın kullanımının yanı sıra medikal ve tıp alanlarında da alternatif bir malzeme olarak kullanılabilirliği tartışılabilir. Bu nedenle bu çalışmada radyasyona karşı davranışı incelenen malzemenin birçok alanda etkin bir şekilde kullanılabilir olduğu 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

- Agar O., Sayyed MI., Akman F., Tekin HO., Kaçal MR. An extensive investigation on gamma ray shielding features of Pd/Ag-based alloys. *Nuclear Engineering and Technology* 2019; 51(3): 853-859.
- Agashe C., Marathe BR., Takwale MG., Bhide VG. Structural properties of SnO<sub>2</sub>: F films deposited by spray pyrolysis technique. *Thin Solid Films* 1988; 164: 261-264.
- Akkaş A. Determination of the tenth and half value layer thickness of concretes with different densities. *Acta Physica Polonica A* 2016; 129(4): 770-772.
- Aygün B., Şakar E., Korkut T., Sayyed MI., Karabulut A., Zaid MHM. Fabrication of Ni, Cr, W reinforced new high alloyed stainless steels for radiation shielding applications. *Results in Physics*, 2019; 12: 1-6.
- Dutta J., Perrin J., Emeraud T., Laurent JM., Smith A. Pyrosol deposition of fluorine-doped tin dioxide thin films. *Journal of Materials Science* 1995; 30(1): 53–62.
- Elangovan E., Singh MP., Ramamurthi K. Studies on structural and electrical properties of spray deposited SnO<sub>2</sub>:F thin films as a function of film thickness. *Materials Science and Engineering B: Solid-State Materials for Advanced Technology* 2004; 113(2): 143–148.
- Ersundu AE., Büyükyıldız M., Çelikbilek Ersundu M., Şakar E., Kurudirek M. The heavy metal oxide glasses within the WO<sub>3</sub>-MoO<sub>3</sub>-TeO<sub>2</sub> system to investigate the shielding properties of radiation applications. *Progress in Nuclear Energy* 2018; 104: 280–287.
- Gaikwad DK., Sayyed MI., Botewad SN., Obaid SS., Khattari ZY., Gawai UP., Afaneh F., Shirshat MD., Pawar PP. Physical, structural, optical investigation and shielding features of tungsten bismuth tellurite based glasses. *Journal of Non-Crystalline Solids* 2019; 503: 158–168.
- Gaikwad DK., Sayyed MI., Obaid SS., Issa SAM., Pawar PP. Gamma ray shielding properties of TeO<sub>2</sub>-ZnF<sub>2</sub>-As<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Sm<sub>2</sub>O<sub>3</sub> glasses. *Journal of Alloys and Compounds* 2018; 765: 451–458.
- Kaewkhao J., Limsuwan P. Mass attenuation coefficients and effective atomic numbers in phosphate glass containing Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, PbO and BaO at 662 keV. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment* 2010; 619(1–3): 295–297.
- 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.
- Kumar A., Gaikwad DK., Obaid SS., Tekin HO., Agar O., Sayyed MI. Experimental studies and Monte Carlo simulations on gamma ray shielding competence of (30+x)PbO–10WO<sub>3</sub>– 10Na<sub>2</sub>O – 10MgO – (40-x)B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> glasses. *Progress in Nuclear Energy* 2020; 119.
- Murakami K., Yagi I., Kaneko S. Oriented growth of tin oxide thin films on glass substrates by spray

pyrolysis of organotin compounds. In *Journal of the American Ceramic Society* 1996; 79(10): 2557–2562.

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.

Seenappa L. A study of photon interaction parameters in barium compounds. *Annals of Nuclear Energy* 2017; 109: 310–317.

Singh H., Sharma J., Singh T. Extensive investigations of photon interaction properties for  $Zn_xTe_{100-x}$  alloys. *Nuclear Engineering and Technology* 2018; 50(8): 1364–1371.

Singh K., Singh, H., Sharma, V., Nathuram, R., Khanna, A., Kumar, R., Singh Bhatti, S., & Singh Sahota, H. Gamma-ray attenuation coefficients in bismuth borate glasses. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms* 2002; 194(1): 1–6.

Singh MP., Sandhu BS., Singh B. Measurement of the effective atomic number of composite materials using Rayleigh to Compton scattering of 279 keV gamma rays. *Physica Scripta* 2007; 76(4): 281–286.

Sirin M. The effect of titanium (Ti) additive on radiation shielding efficiency of  $Al_{25}Zn$  alloy. *Progress in Nuclear Energy* 2020; 128.