

Araştırma Makalesi / Research Article

Geliş tarihi / Received: 03.01.2021

Kabul tarihi / Accepted: 13.03.2021

Atf İçin: Akdemir F, Turhan M. F, Akman F, Geçibesler İ. H, Kaçal M. R, Durak R, 2021. Düşük Enerji Aralığında Bazı Bitkilerin Radyasyon Soğurma Parametrelerinin Belirlenmesi. İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 11(3): 1959-1969.

To Cite: Akdemir F, Turhan M. F, Akman F, Geçibesler İ. H, Kaçal M. R, Durak R, 2021. Determination of Radiation Absorption Parameters of Some Plants in The Low Energy Range. Journal of the Institute of Science and Technology, 11(3): 1959-1969.

Düşük Enerji Aralığında Bazı Bitkilerin Radyasyon Soğurma Parametrelerinin Belirlenmesi

Fatma AKDEMİR^{1,*}, M. Fatih TURHAN², Ferdi AKMAN³, İ. Halil GEÇİBESLER⁴, M. Recep KAÇAL⁵, Rıdvan DURAK^{6,7}

ÖZET: Sunulan bu çalışmada, XRF spektrometresi kullanılarak dört aromatik bitki taksonunun (*Teucrium chamaedrys* L. subsp. *sinuatum*, *Astragalus kurdicus* var. *muschianus*, *Ranunculus arvensis* ve *Juglans regia*) bazı soğurma parametreleri (kütle azaltma katsayıları, molar yok-olma katsayıları, etkin atom numaraları ve etkin elektron yoğunlukları) 13.92 ile 59.54 keV foton enerji aralıklarında ölçülmüştür. Ölçümler Si(Li) detektör ve ²⁴¹Am nokta kaynağı kullanılarak yapılmıştır. Si(Li) detektör, 12.5 mm² aktif alana, 0.008 mm kalınlığında berilyum pencereye ve 5.9 keV'de 160 eV çözünürlüğe sahiptir. İlk üç bitkinin toprak üstü kısımları incelenirken, *J. regia*'nın yaprak kısmı incelenmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar WinXCOM bilgisayar programı kullanılarak hesaplanan soğurma parametreleri teorik değerleri ile karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçların hesaplanan teorik sonuçlar ile iyi bir uyum gösterdiği gözlemlenmiştir. *T. chamaedrys* L. subsp. *sinuatum* bitkisinin toprak üstü kısmında soğurma parametrelerinin en büyük değerler aldığı ve *J. regia* bitkisinin yaprak kısmında bu parametrelerin en küçük değerler aldıkları gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tıbbi aromatik bitki, kütle azaltma katsayısı, molar yok-olma katsayısı, etkin atom numarası, etkin elektron yoğunluğu

Determination of Radiation Absorption Parameters of Some Plants in The Low Energy Range

ABSTRACT: In the present study, the some radiation absorption parameters (mass attenuation coefficients, molar extinction coefficients, effective atomic numbers and effective electron densities) of four aromatic plant taxon's (*Teucrium chamaedrys* L. subsp. *sinuatum*, *Astragalus kurdicus* var. *muschianus*, *Ranunculus arvensis* and *Juglans regia*) have been measured at 13.92 and 59.54 keV photon energy ranges using XRF spectrometry. Measurements were made using a Si (Li) detector and ²⁴¹Am spot source. The Si (Li) detector has an active area of 12.5 mm², a 0.008 mm thick beryllium window and a resolution of 160 eV at 5.9 keV. While the aerial parts of the first three plants were investigated, the leaf part of the *J. regia* was investigated. The obtained experimental results were compared with the theoretically calculated some absorption parameters using the WinXCOM computer program. It is observed that the experimental results are in good agreement with those calculated theoretically values. It has been observed that the absorption parameters have the highest values in the above ground part of the *T. chamaedrys* L. subsp. *sinuatum* plant and that these parameters have the lowest values in the leaf part of the *J. regia* plant.

Keywords: Medicinal aromatic plant, mass attenuation coefficient, molar extinction coefficient, effective atomic number, effective electron density

¹Fatma AKDEMİR ([Orcid ID: 0000-0003-1934-6979](https://orcid.org/0000-0003-1934-6979)), Giresun Üniversitesi, Tirebolu Mehmet Bayrak Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, 28500, Giresun, Türkiye.

²M. Fatih TURHAN ([Orcid ID: 0000-0002-0676-9481](https://orcid.org/0000-0002-0676-9481)), Afyon Kocatepe Üniversitesi, Atatürk Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Görüntüleme Teknikleri, 03200 Afyonkarahisar, Türkiye.

³Ferdi AKMAN ([Orcid ID: 0000-0002-8838-1762](https://orcid.org/0000-0002-8838-1762)), Bingöl Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elektronik Haberleşme Teknolojisi Programı, 12000, Bingöl, Türkiye.

⁴İ. Halil GEÇİBESLER ([Orcid ID: 0000-0002-4473-2671](https://orcid.org/0000-0002-4473-2671)), Bingöl Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü, Doğal Ürün Araştırma Laboratuvarı, 12000, Bingöl, Türkiye.

⁵M. Recep KAÇAL ([Orcid ID: 0000-0002-3183-5516](https://orcid.org/0000-0002-3183-5516)), Giresun Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 28500, Giresun, Türkiye.

^{6,7}Rıdvan DURAK ([Orcid ID: 0000-0002-3935-176X](https://orcid.org/0000-0002-3935-176X)), Atatürk Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, 25240, Erzurum, Türkiye

Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi, Fen Fakültesi Dekanlığı, 04100, Ağrı, Türkiye.

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Fatma AKDEMİR, e-mail: fatma.akdemir@giresun.edu.tr

Makale Fatma AKDEMİR tarafından 09-12 Mayıs 2018 tarihlerinde, Türkiye, Antalya'da düzenlenen 3rd International Conference On Advances In Natural & Applied Sciences Icanas 2018'de sözlü sunum olarak yapılmıştır.

GİRİŞ

Radyasyon bugün yaşam ortamının ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir. Doğal kaynaklardan elde edilen radyasyonların yanı sıra nükleer reaktörler, radyoizotoplar, röntgen cihazları gibi insan yapımı kaynaklara da sahibiz. Radyasyon, tıp, endüstri, ziraat ve uzay araştırmaları gibi çeşitli alanlarda yararlı bir şekilde kullanılmaktadır. Bununla birlikte, radyasyonun, özellikle yüksek enerjili radyasyonun insan üzerindeki etkileri ve tehlikeleri iyi bilinmektedir. Dolayısıyla, radyasyon teknolojilerini kullanan kişilerin bu radyasyonlardan ayrıca korunmalıdır. Bu çerçevede, radyasyonların ortak ve endüstriyel kullanım materyalleri ile biyolojik ve ticari önemi olan materyallerle etkileşimi, radyasyon bilimi alanında önemli bir ilgi alanı haline gelmiştir. Radyasyon azaltma malzemesi olarak kullanılacak materyal seçilirken doğada fazla bulunması, oldukça etkili olması, bilimsel olarak bakıldığında ekonomik açıdan kullanılabilir nitelikte olması gibi özelliklere sahip olmasına dikkat edilir. Çalışmamızda kullandığımız taksonlar tüm bu özelliklere sahiptir. Bu kapsamda, sunulan çalışmada *T. chamaedrys* L. subsp. *sinuatum*, *A. kurdicus* var. *muschianus*, *R. arvensis* ve *J. regia* taksonlarının radyasyon ile etkileşim parametreleri dikkate alınmıştır. Tıbbi değeri olan taksonların radyasyon ile etkileşimini içeren kısıtlı sayıda çalışma bulunmaktadır (Morabad ve Kerur, 2010; Chaudhari, 2013; Ghosh ve Das, 2014; Trunova ve ark., 2015; Teerthe ve Kerur, 2016).

Literatüre bakıldığında, bitkilerin radyasyon soğurma parametreleri konusunda birkaç çalışma bulunmaktadır. Teerthe ve Kerur (2016) *Eucalyptus obliqua* ve *Mangifera* tıbbi bitkilerinin kütle azaltma katsayılarını 13,596 ile 32,890 keV enerji aralığında NaI(Tl) sintilasyon detektörü yardımı ile belirlemişlerdir. *Alyssum pateri* subsp. *prostratum* bitkisinin bazı kısımlarının (kök, toprak üstü ve çiçek) kütle azaltma katsayıları ve molar yok-olma katsayıları 13,92 ve 59,54 keV enerji aralığında bir Si(Li) detektör kullanılarak ölçülmüştür. Sonuçlar, deneysel değerler ile WinXCOM programı kullanılarak hesaplanan teorik değerler arasında iyi bir uyum olduğunu göstermiştir (Akdemir ve ark., 2019). Chaudhari (2013) Asoka bitkisinin farklı kalınlıklarda taze ve kurutulmuş yapraklarının lineer ve kütle azaltma katsayılarını Cs ve Tl kaynaklarını kullanarak belirlemiştir ve deneysel sonuçlarını teorik sonuçlar ile karşılaştırdığında ikisi arasında uyum olduğunu gözlemlemiştir. Üç tıbbi aromatik bitkinin (*Teucrium chamaedrys* L. subsp. *sinuatum*, *Rheum ribes*, and *Chrysophthalmum montanum*) farklı bölümleri (kök, çiçek, gövde ve yaprak) için kütle azaltma katsayıları, etkin atom numaraları ve elektron yoğunlukları ölçülmüş, Monte Carlo and WinXCOM programları kullanılarak hesaplanmıştır (Sayyed ve ark., 2018). Lamiaceae familyasının bir üyesi olan *Teucrium* L., cinsi dünyanın pek çok yerinde bulunmakla beraber Doğu Yarımküre'nin kuzey ılıman ve subtropikal bölgelerinde bolca bulunur. *Teucrium* cinsinin temsilcileri yüzyıllardır şifalı otlar olarak kullanılmıştır. *Teucrium* türleri için etnofarmakolojik bulgular; uyarıcı, tonik, diaphoretik, diüretik, antidiyabetik, antiseptik, kurt düşürücü, mide ağrısı, astım, kadın hastalıkları, kronik bronşit ve gut gibi rahatsızlıkların tedavi edilmesinde kullanımını içerir (Ulubelen ve ark., 2000). Türk halk tıbbında, bazı *Astragalus* türlerinin (Fabaceae) sulu kökleri, antikanser ve immün sistemi uyarıcı etkilere sahip olmasının yanında yara iyileştirme tedavisinde de kullanılmaktadır. *Astragalus* türlerinin köklerinin, polisakkaritler ve saponinler bakımından zengin olduğu bilinmektedir (Yesilada ve ark., 2005). Ranunculaceae familyasından olan *R. arvensis* artrit, astım, gut, yüksek ateş ve sedef hastalığı gibi patolojik durumların tedavi edilmesi amacı ile Uzak Doğu'da geleneksel olarak kullanılan ve çiçeklenme döneminde ilkbaharda oldukça alerjik olan yabani bir bitkidir. Türkiye'de, bitki sık sık Akdeniz Bölgesi'nin yüksek dağlarında ve Anadolu'nun güneydoğu ve doğu bölgelerinde, bitki üretimi ile tarım alanları olan yerlerde görülür (Sayhan ve ark., 2009). Son olarak, ceviz, *J. regia* L. (Juglandaceae) oldukça besleyici bir besindir. Ceviz yaprağı, halk tıbbında idrar söktürücü, kurt düşürücü, ateş düşürücü, cilt iltihabı, aşırı terleme,

ülser gibi rahatsızlıkların tedavisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ceviz, oksidasyona yatkın olan linoleik ve oleik asit gibi doymamış yağ asitlerinden oluşan bileşenler bakımından zengindir (Almeida ve ark., 2008).

Sunulan bu çalışmada, tıbbi aromatik bitkilerden olan *T. chamaedrys* L. subsp. *sinuatum*, *A. kurdicus* var. *muschianus*, *R. arvensis* ve *J. regia* taksonlarının kütle azaltma katsayıları, molar yok-olma katsayıları, etkin atom numaraları ve etkin elektron yoğunlukları 13.92 ile 59.54 keV foton enerji aralıklarında belirlenmiştir. *T. chamaedrys* L. subsp. *sinuatum*, *A. kurdicus* var. *muschianus*, *R. arvensis* bitkilerinin toprak üstü kısımları ve *J. regia*'ın yaprak kısmı dikkate alınmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlar WinXCOM (Gerward ve ark., 2001) programı kullanılarak elde edilen teorik sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

MATERYAL VE METOT

Elemental Analiz Süreci

Bitki numuneleri doğal yaşam ortamlarından toplandıktan sonra laboratuvar ortamına getirilmiştir ve test edilecek olan kısımları ayrılmıştır. Ayrılan kısımlar baskısız kâğıt üzerine yerleştirilmiş ve havasız, güneş almayan laboratuvar koşullarında 25 °C'de kurumaya bırakılmıştır. Kurutma işleminden sonra, bitkilerin ilgili kısımları laboratuvar tipi değirmen ile öğütülerek toz haline getirilmiştir. Toz haline getirilmiş numuneler, laboratuvar tipi bir hidrolik pres ile pellet takımı içinde yaklaşık cm^2 'ye 10 ton basınç uygulayarak 6.5 mm yarıçapa sahip disk şekline getirilmiştir. Numunelerin kimyasal bileşimini belirlemek için Thermo marka Flash 2000 serisi CHNS/Organik elemental analiz cihazı kullanılmıştır. Numunelerdeki toplam karbon, hidrojen ve azot elementleri belirlendikten sonra, eser miktardaki elementler ihmal edilerek, oksijen elementinin yüzde konsantrasyonu diğer üç elementin (C, H ve N) konsantrasyonlarının toplamının 100'den çıkarılması ile belirlenmiştir. Bu yol ile belirlenen, numunelerin kimyasal bileşimleri yüzde olarak Çizelge 1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Bitkilerin yüzde olarak kimyasal bileşimleri

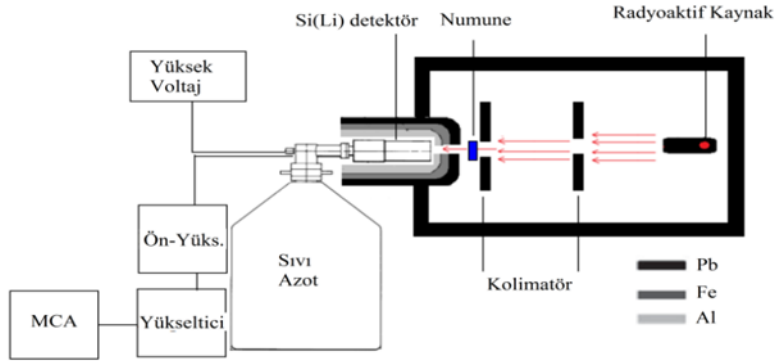
Numune	Numune Kod	Hidrojen (%)	Karbon (%)	Azot (%)	Oksijen (%)
<i>T. chamaedrys</i> L. subsp. <i>sinuatum</i>	S1	5.175	42.831	1.354	50.640
<i>A. kurdicus</i> var. <i>muschianus</i>	S2	9.136	48.930	2.664	39.271
<i>R. arvensis</i>	S3	9.922	43.346	1.764	44.968
<i>J. regia</i>	S4	5.389	83.056	2.923	8.632

Deneysel Süreç ve Veri Analizi

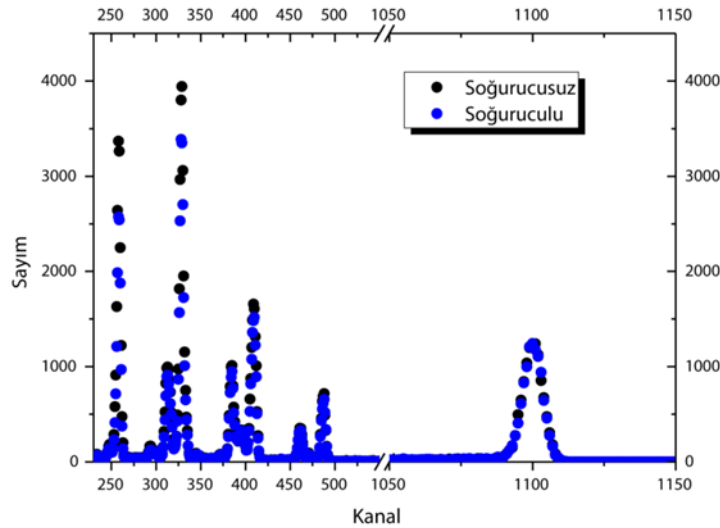
Bitki numunelerinin kütle azaltma katsayıları 13.92 ile 59.54 keV foton enerji aralıklarında Şekil 1'de görülen geçiş geometrisi kullanılarak ölçülmüştür.

Ölçümler çok-kanallı bir analizör ile birleştirilmiş Si(Li) detektör, radyoaktif kaynak, kolimatörler ve numuneden oluşan sistem ile gerçekleştirilmiştir. Si(Li) detektör, 12.5 mm^2 aktif alana, 0.008 mm kalınlığında berilyum pencereye ve 5.9 keV'de 160 eV çözünürlüğe sahiptir. Detektör 4096 kanallı bir çok-kanallı analizör ile birleştirilmiştir. Detektör sisteminin enerji kalibrasyonu 0 ile 88 keV enerji aralığında test kaynakları kullanılarak yapılmıştır. Deneylerde 370 kBq aktiviteye sahip ^{241}Am nokta kaynağından yayımlanan enerjiler kullanılmıştır. Detektör kristaline ulaşan saçılmış radyasyonu ve çevre radyasyonunu minimize etmek için kolimatörler kullanılmıştır. İstatistiksel belirsizliği azaltmak için 18000 ile 46800 saniye aralığında değişen ölçümler alınmıştır. Bu sayede ilgili enerjideki foton şiddetindeki sayımın belirsizliği %1'in altında tutulmuştur. Soğuruculu ve soğurucusuz alınan ölçümler aynı zaman aralığında ve aynı deney koşullarında alınmıştır. İlgili enerjideki pik alanı Origin 7.5

programı kullanılarak belirlenmiştir. Bu şekilde elde edilen S2 kodlu numunenin tipik bir spektrumu Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 1. Deney geometrisi



Şekil 2. S2 kodlu numunenin tipik bir spektrum örneği

Belirli bir ortamdan geçen, bir başlangıç şiddete sahip bir foton demeti ilgili ortamdan geçerken Beer-Lambert yasasına göre üssel olarak azalır.

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

Burada I , I_0 , x ve μ sırasıyla numuneden geçen şiddeti, başlangıç şiddetini, numune kalınlığını ve lineer azaltma katsayısını belirtir. Lineer azaltma katsayısıyla ilişkili olan kütle azaltma katsayısı, foton ve ortam arasında oluşan etkileşimin bir olasılığıdır ve ortamın faz durumundan bağımsızdır. Birden fazla element içeren maddelerin kütle azaltma katsayıları, karışım kuralı olarak da bilinen her bir elementin ağırlıklı kesrinden dolayı katkı sağladığı kütle azaltma katsayılarının toplamından bulunur (Akman ve ark. 2015; 2016; 2017).

$$\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{numune} = \sum_i W_i \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_i \quad (2)$$

Burada W_i i. elementin ağırlıklı kesrini, $(\mu/\rho)_i$ ise i. elementin kütle azaltma katsayısını belirtir.

Kütle azaltma katsayısı yardımıyla molar yok-olma katsayısı, etkin atom numarası ve etkin elektron yoğunluğu parametreleri belirlenebilir. Radyasyon soğurma parametrelerinden biri olan ve maddenin bir molü tarafından soğurulan radyasyon olarak tanımlanan molar yok-olma katsayısı aşağıdaki eşitlik yardımı ile belirlenebilir:

$$\varepsilon = 0,4343M(\mu/\rho)_{numune} \quad (3)$$

Burada $(\mu/\rho)_{numune}$ numunenin kütle azaltma katsayısı ve M ise numunenin moleküler ağırlığıdır. Kütle azaltma katsayısı kullanılarak belirlenebilecek olan diğer bir parametre etkin atom numarasıdır ve aşağıdaki eşitlik yardımı ile belirlenebilir:

$$Z_{eff} = \frac{\sum_i f_i A_i (\mu/\rho)_i}{\sum_j f_j \frac{A_j}{Z_j} (\mu/\rho)_j} \quad (4)$$

Burada f_i i. elementin toplam element sayısına göre bolluk oranını, A_i i. elementin atomik ağırlığını, $(\mu/\rho)_i$ i. elementin kütle azaltma katsayısını belirtir. Birim kütle başına elektron sayısı olarak tanımlanan etkin elektron yoğunluğu ise etkin atom numarası yardımıyla aşağıdaki eşitlikle belirlenebilir:

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

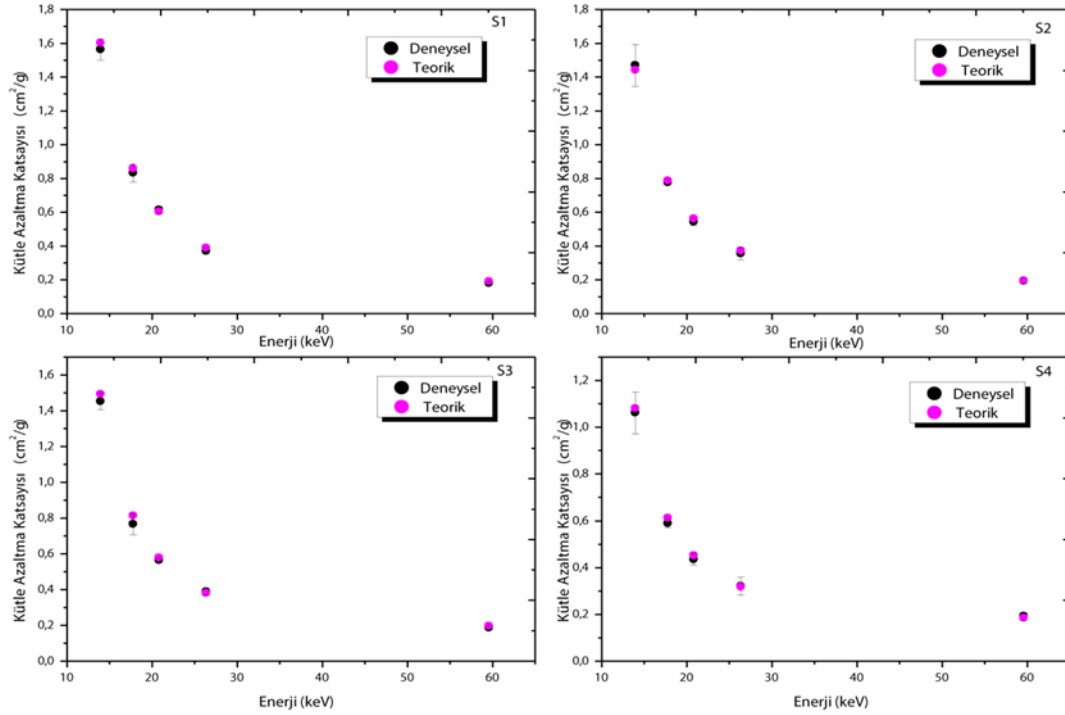
Burada N_A Avogadro sabitini, Z_{eff} etkin atom numarasını, n_{tot} toplam atom sayısını, n_i i. elementin atom sayısını ve A_i ise i. elementin atomik ağırlığını belirtir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

T. chamaedrys L. subsp. *sinuatum* (S1), *A. kurdicus* var. *muschianus* (S2), *R. arvensis* (S3) bitkilerinin toprak üstü kısımlarının ve *J. regia* (S4) bitkisinin yaprak kısmının kütle azaltma katsayıları Eşitlik (1) kullanılarak 13.92 keV ile 59.54 keV aralığında beş farklı enerjide belirlenmiştir. Çizelge 2’de bu numunelerin kütle azaltma katsayıları teorik değerleri ile birlikte verilmiştir. Teorik değerler Çizelge 1’de verilen elementlerin yüzde konsantrasyonları kullanılarak WinXCOM programı yardımıyla hesaplanmıştır. Sunulan numunelerin kütle azaltma katsayılarının enerjinin bir fonksiyonu olarak grafiği Şekil 3’te görülmektedir.

Çizelge 2. Bitki numuneleri için deneysel ve teorik kütle azaltma katsayıları ($\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$)

Kod	13.92 keV		17.75 keV		20.78 keV		26.34 keV		59.54 keV	
	Deneysel	Teorik	Deneysel	Teorik	Deneysel	Teorik	Deneysel	Teorik	Deneysel	Teorik
S1	1.564±0.063	1.603	0.835±0.054	0.860	0.616±0.019	0.604	0.373±0.019	0.391	0.181±0.008	0.192
S2	1.471±0.124	1.444	0.778±0.017	0.789	0.545±0.022	0.563	0.356±0.035	0.374	0.195±0.017	0.196
S3	1.453±0.047	1.495	0.767±0.058	0.814	0.564±0.013	0.579	0.390±0.020	0.383	0.187±0.009	0.198
S4	1.062±0.090	1.081	0.590±0.020	0.614	0.436±0.025	0.453	0.322±0.038	0.318	0.193±0.017	0.186



Şekil 3. Kütle azaltma katsayısının foton enerjisiyle değişimi

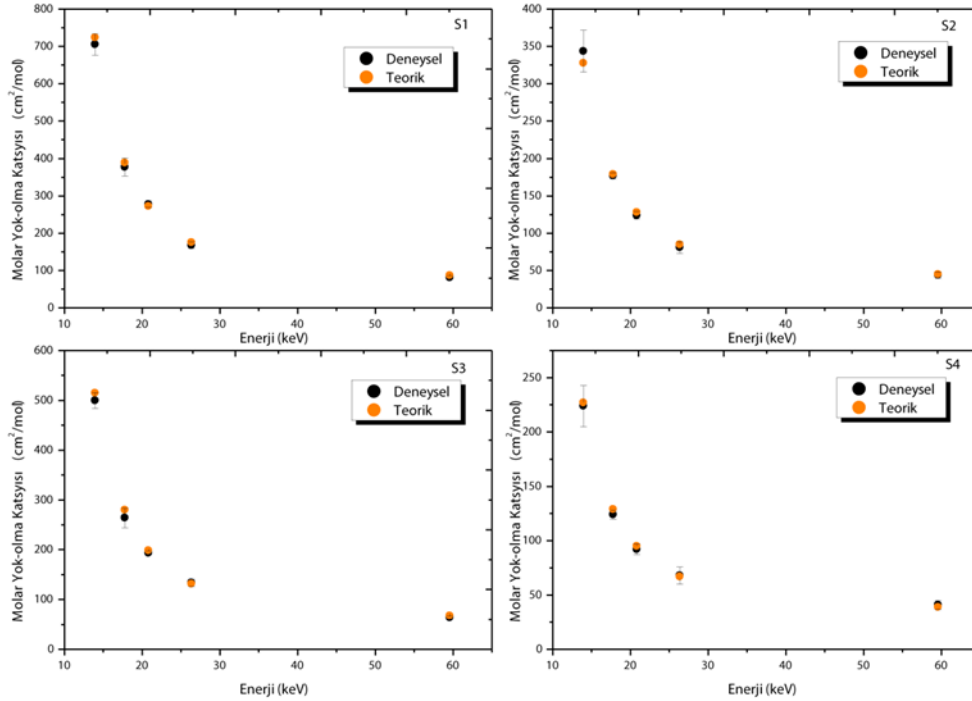
Çizelge 2 ve Şekil 3 incelendiğinde, Eşitlik (1) ile belirlenen deneysel kütle azaltma katsayıları ile Eşitlik (2) ile hesaplanan teorik değerler arasında iyi bir uyum olduğu görülmektedir. Çizelge 2 ve Şekil 3'ten de görüldüğü gibi kütle azaltma katsayısının artan enerji ile azaldığı gözlemlenmiştir. Çizelge 2'den artan enerji ile numunelerin kütle azaltma katsayıları arasındaki farkın gittikçe azaldığı görülmektedir. Bunun nedeni, Compton saçılmanın düşük atom numaralı elementlerde artan enerji ile hızla baskın hale gelmesidir. S1 kodlu numunenin kütle azaltma katsayısının diğer numunelerden daha büyük olduğu gözlemlenmiştir. Çizelge 1 incelendiğinde, S1 kodlu numunenin oksijen elementinin yüzde bolluğu diğer elementlerinkinden daha büyük olduğundan, numune içindeki elementlerin atom numarası ve yüzde konsantrasyonu arttığında kütle azaltma katsayısının arttığı söylenebilir. Aynı şekilde, en küçük kütle azaltma katsayısı S4 kodlu numunede gözlemlenmiştir. Bu numunede de oksijenin bolluğu en küçük, karbonun bolluğu en büyük olduğundan bu gözlem önceki yorumu desteklemektedir.

Eşitlik (3) kullanılarak belirlenen deneysel molar yok-olma katsayılarının sonuçları teorik sonuçları ile birlikte Çizelge 3'te listelenmiştir. Ayrıca, bu parametrenin deneysel ve teorik sonuçlarının enerji ile değişim grafiği Şekil 4'te verilmiştir.

Çizelge 3. Bitki numuneleri için molar yok-olma katsayıları ($\text{cm}^2 \text{mol}^{-1}$) değerleri

Kod	13.92 keV		17.75 keV		20.78 keV		26.34 keV		59.54 keV	
	Deneysel	Teorik	Deneysel	Teorik	Deneysel	Teorik	Deneysel	Teorik	Deneysel	Teorik
S1	706±29	724	377±24	389	278±9	273	168±9	176	82±4	87
S2	344±28	328	177±4	179	124±5	128	81±8	85	44±4	45
S3	500±16	515	264±20	280	194±4	199	134±7	132	64±3	68
S4	224±19	227	124±4	129	92±5	95	68±8	67	41±4	39

Çizelge 3 ve Şekil 4'ten de görüldüğü gibi deneysel ve teorik molar yok-olma katsayıları arasında iyi bir uyum vardır. Şekil 4'ten de görüldüğü gibi bütün numunelerin molar yok-olma katsayılarının enerjinin fonksiyonu grafiklerinin eğimi benzerlik göstermektedir. Yani, kütle azaltma katsayılarında olduğu gibi artan enerji ile molar yok-olma katsayıları da kademeli olarak azaltılmaktadır.



Şekil 4. Molar yok-olma katsayısına karşı enerji değişim grafiği

S1 kodlu numunenin molar yok-olma katsayılarının diğer numunelerinkinden daha büyük ve S4 kodlu numunenin molar yok-olma katsayılarının diğer numunelerinkinden daha küçük olduğu gözlemlenmiştir. Eşitlik (3)'ten ve molar yok-olma katsayılarının sonuçlarından görüldüğü gibi, molar yok-olma katsayısı foton enerjisiyle ve numunenin moleküler ağırlığı ile direkt olarak ilişkilidir. Ayrıca, molar yok-olma katsayısının numunenin kimyasal bileşiminden etkilendiğini söyleyebiliriz.

Birden fazla elemente sahip olan bir maddenin foton ile etkileşiminde önemli olan bir diğer parametreler etkin atom numarası ve elektron yoğunluğudur. Sunulan çalışmada, numunelerin etkin atom numaraları ve etkin elektron yoğunlukları Eşitlik (4) ve (5) yardımı ile belirlenmiştir. Bu parametreleri belirlerken Çizelge 1'de verilen elementlerin yüzde bollukları da dikkate alınmıştır. Sunulan numunelerin beş farklı enerjide elde edilen deneysel ve teorik etkin atom numaraları ve elektron yoğunlukları sırasıyla Çizelge 4 ve Çizelge 5'te listelenmiştir.

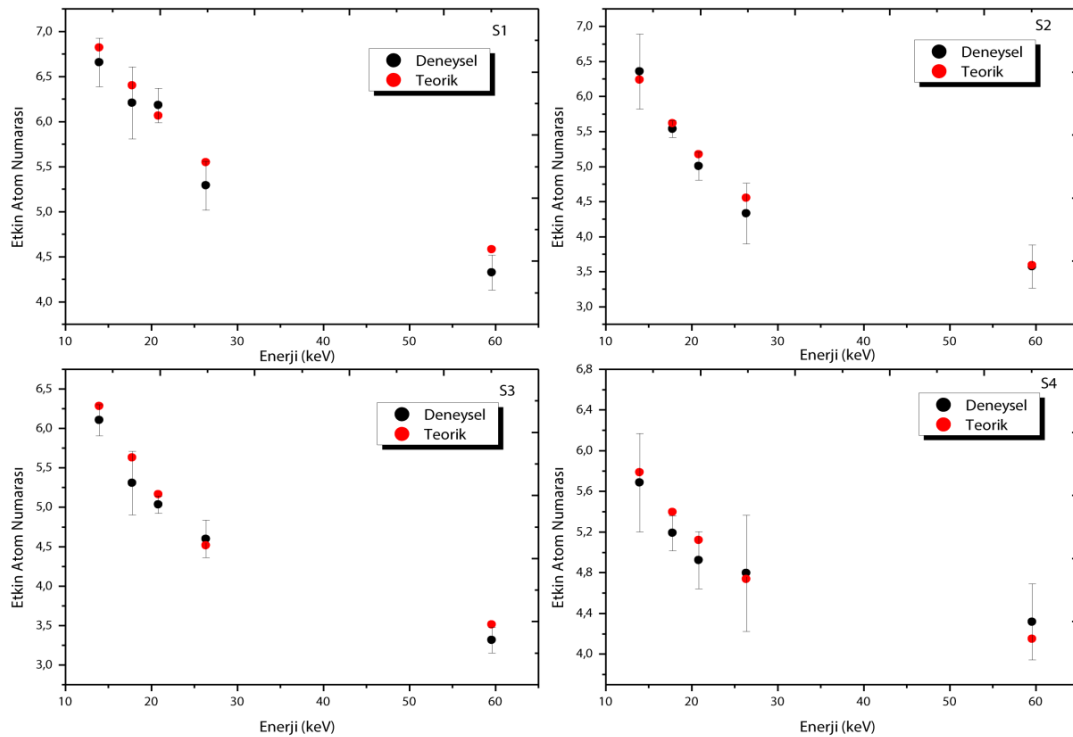
Çizelge 4. Bitki numuneleri için deneysel ve teorik etkin atom numarası değerleri

Kod	13.92 keV		17.75 keV		20.78 keV		26.34 keV		59.54 keV	
	Deneysel	Teorik	Deneysel	Teorik	Deneysel	Teorik	Deneysel	Teorik	Deneysel	Teorik
S1	6.66±0.27	6.82	6.21±0.40	6.40	6.18±0.19	6.07	5.29±0.27	5.55	4.33±0.19	4.58
S2	6.36±0.54	6.24	5.54±0.12	5.62	5.01±0.20	5.18	4.33±0.43	4.56	3.58±0.31	3.59
S3	6.11±0.20	6.28	5.31±0.40	5.63	5.04±0.11	5.17	4.60±0.24	4.52	3.32±0.16	3.51
S4	5.69±0.48	5.79	5.19±0.17	5.40	4.93±0.28	5.12	4.80±0.57	4.74	4.32±0.37	4.15

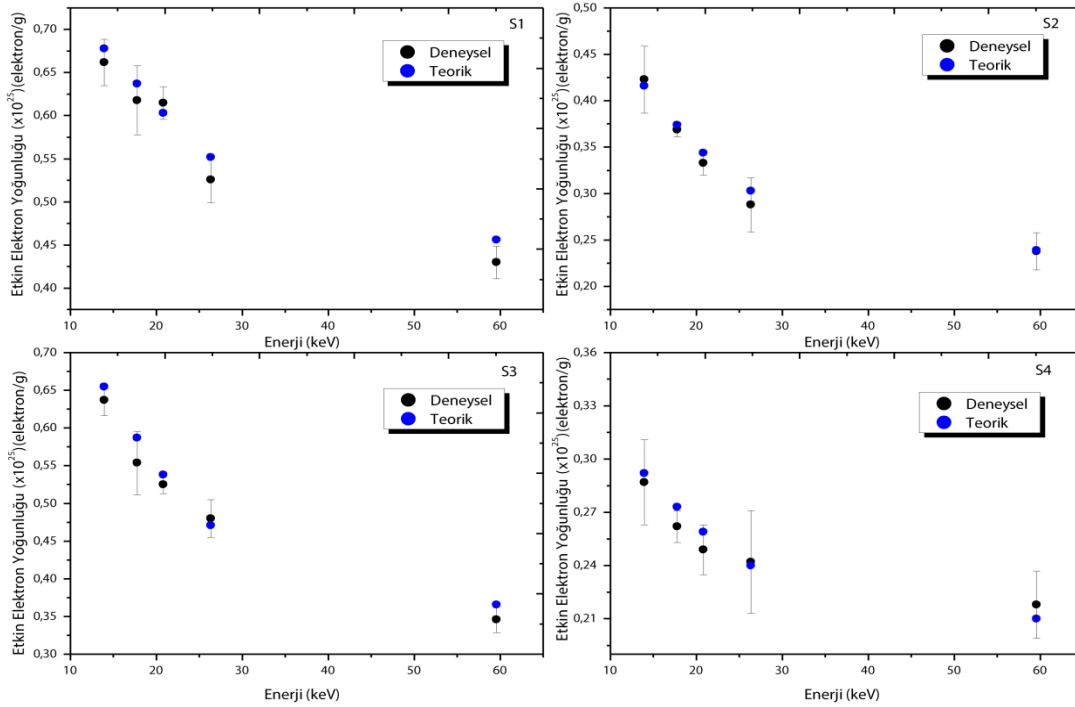
Çizelge 5. Bitki numuneleri için etkin elektron yoğunluğu ($\times 10^{25}$) (elektron g^{-1}) değerleri

Kod	13.92 keV		17.75 keV		20.78 keV		26.34 keV		59.54 keV	
	DeneySEL	Teorik	DeneySEL	Teorik	DeneySEL	Teorik	DeneySEL	Teorik	DeneySEL	Teorik
S1	0.66±0.03	0.68	0.62±0.04	0.64	0.62±0.02	0.60	0.53±0.03	0.55	0.43±0.02	0.46
S2	0.42±0.04	0.42	0.37±0.01	0.37	0.33±0.01	0.34	0.29±0.03	0.30	0.24±0.02	0.24
S3	0.64±0.02	0.66	0.55±0.04	0.59	0.53±0.01	0.54	0.48±0.03	0.47	0.35±0.02	0.37
S4	0.29±0.02	0.29	0.26±0.01	0.27	0.25±0.01	0.26	0.24±0.03	0.24	0.22±0.02	0.21

Numunelerin etkin atom numaralarının ve etkin elektron yoğunluklarının enerji ile değişimi Şekil 5 ve Şekil 6'da görülmektedir. Teorik hesaplamalar WinXCOM programından hesaplanan kütle azaltma katsayıları kullanılarak yapılmıştır.

**Şekil 5.** Etkin atom numarasına karşı enerji değişim grafiği

Çizelge 4-5'ten de görüldüğü gibi etkin atom numaralarının ve etkin elektron yoğunluklarının deneysel ve teorik sonuçları arasında iyi bir uyum vardır. Şekil 5 ve Şekil 6'dan görüldüğü gibi, etkin atom numarası ve elektron yoğunluğu, kütle azaltma ve molar yok-olma katsayılarında olduğu gibi artan enerji ile azalmaktadırlar. Belirlenen deneysel ve teorik etkin atom numaraları Hine (1952)'nin savunduğu etkin atom numarası enerji ile değişir önerisini desteklemektedir. S1 kodlu numunenin etkin atom numarasının en büyük değerini almasının nedeni, içinde bulunan oksijen elementinin fazlalığıdır. Aynı şekilde, S4 kodlu numunenin etkin atom numarasının en küçük değerini almasının nedeni de, bu numune içinde bulunan karbon elementinin fazlalığıdır. Buradan, etkin atom numarası değerinin numune içinde bulunan en büyük atom numarasına sahip ve yüzde konsantrasyonu fazla olan elemente doğru meyilli olduğunu söyleyebiliriz. Yani, etkin atom numarası numune içindeki elementin bolluğuna bağlıdır. Etkin atom numarası ile etkin elektron yoğunluğu direkt olarak birbirleri ile orantılı olduğundan, etkin atom numarası için yapılan yorumlar etkin elektron yoğunluğu için de geçerlidir.



Şekil 6. Etkin elektron yoğunluğuna karşı enerji değişim grafiği

SONUÇ

Gerçekleştirilen bu çalışmada, *T. chamaedrys* L. subsp. *sinuatum*, *A. kurdicus* var. *Muschianus*, *R. arvensis* bitkilerinin toprak üstü kısımlarının ve *J. regia* bitkisinin yaprak kısmının kütle azaltma katsayıları, molar yok-olma katsayıları, etkin atom numaraları ve etkin elektron yoğunlukları 13.92 ile 59.54 keV aralığında beş farklı enerjide deneysel ve teorik olarak belirlenmiştir. Bu çalışmanın deneysel ve teorik sonuçları, kütle azaltma katsayısı, molar yok-olma katsayısı, etkin atom numarası ve etkin elektron yoğunluğu parametrelerinin sunulan bitki numunelerinde foton enerjisi ile nasıl değiştiğini anlamamıza yardımcı olacaktır. Çalışmamızda deneysel ve teorik sonuçların birbiri ile uyum içerisinde olduğu görülmüştür. Çizelge 2’de 13.92 keV foton enerjisindeki teorik kütle azaltma katsayıları incelenecek olursa, S1 (*T. chamaedrys* L. subsp. *Sinuatum*) için $1.603 \text{ cm}^2/\text{g}$ ve S4 (*J. Regia*) için $1.081 \text{ cm}^2/\text{g}$ şeklindedir. Yani, toprak üstü numunesinin kütle azaltma katsayısı yaprak numunesinden % 48.29 daha fazladır. Toprak üstü numunesinin radyasyon soğurma kabiliyeti yaprak numunesinden daha iyidir. Aynı incelemeyi molar yok-olma katsayılarında yapacak olursak, Çizelge 3’te S1 için $724 \text{ cm}^2 \text{ mol}^{-1}$ ve S4 için $227 \text{ cm}^2 \text{ mol}^{-1}$ şeklindedir, yani toprak üstü numunelerinin molar yok-olma katsayıları yaprak numunesinin iki katından daha fazladır. Molar yok-olma katsayısı, kütle azaltma katsayısı ve moleküler ağırlık ile doğru orantılıdır. Toprak üstü numunelerinin kütle azaltma katsayılarının yanında moleküler ağırlıkları da yaprak numunesinden büyük olduğundan, gözlemlenen bu fark mantıklıdır. Kütle azaltma katsayılarındaki ve molar yok-olma katsayılarındaki farklılık asıl olarak içerdikleri elementlerin yüzde bollukları ile alakalıdır. Çizelge 4’te 13.92 keV foton enerjisindeki teorik etkin atom numarası değerleri incelenecek olursa, S1 için 6.82 ve S4 için 5.79 şeklindedir. Yani, toprak üstü numunesinin etkin atom numarası değeri yaprak numunesinden % 17.79 daha fazladır. Son olarak da Çizelge 5’te 13.92 keV foton enerjisindeki teorik etkin elektron yoğunluğu değerleri incelenecek olursa, S1 için $0.68 (\times 10^{25})$ elektron g^{-1} ve S4 için $0.29 (\times 10^{25})$ elektron g^{-1} şeklindedir. Yani, toprak üstü numunesinin etkin elektron yoğunluğu değeri yaprak numunesinden yaklaşık iki kat daha fazladır. Sonuç olarak, *T. chamaedrys* L. subsp. *sinuatum* bitkisinin toprak üstü kısmında kütle azaltma katsayılarının, molar yok-olma

katsayılarının, etkin atom numaralarının ve elektron yoğunluklarının en büyük değerler aldığı ve *J. regia* bitkisinin yaprak kısmında bu parametrelerin en küçük değerler aldıkları gözlemlenmiştir. Sunulan sonuçlar, kütle azaltma katsayısının, molar yok-olma katsayısı, etkin atom numarası ve elektron yoğunluğu parametrelerinin belirlenmesinde yararlı ve öncü bir parametre olduğunu göstermiştir. Sunulan parametrelerin deneysel ve teorik sonuçları radyasyon fiziği ve biyolojisi, medikal fiziği ve ziraat gibi alanlardaki uygulamalarda yararlı olacağı düşünülmektedir.

Çıkar Çatışması

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

Yazar Katkısı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

KAYNAKLAR

- Akdemir F, Turhan MF, Akman F, Geçibesler İH, Kaçal MR, Durak R, 2019. Measurement of Mass Attenuation Coefficients and Molar Extinction Coefficients of *Alyssum pateri* subsp. *Prostratum*. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 9(1): 339-346.
- Akman F, Durak R, Turhan MF, Kaçal MR, 2015. Studies on effective atomic numbers, electron densities from mass attenuation coefficients near the K edge in some samarium compounds. *Applied Radiation and Isotopes*, 101: 107-113.
- Akman F, Durak R, Kacal MR, Bezgin F, 2016. Study of absorption parameters around the K edge for selected compounds of Gd. *X-ray Spectrometry*, 45: 103-110.
- Akman F, Kaçal MR, Akman F, Soylu MS, 2017. Determination of effective atomic numbers and electron densities from mass attenuation coefficients for some selected complexes containing lanthanides. *Canadian Journal of Physics*, 95: 1005-1011.
- Almeida IF, Fernandes E, Lima JL, Costa PC, Bahia MF, 2008. Walnut (*Juglans regia*) leaf extracts are strong scavengers of pro-oxidant reactive species. *Food Chemistry*, 106(3):1014-1020.
- Chaudhari LM, 2013. Study of attenuation coefficients of leaves of Asoka plant by using Cs and Tl sources. *Research Journal of Physical Sciences*, 1(2):1-8.
- Gerward L, Guilbert N, Jensen KB, Levring H, 2001. X-ray absorption in matter, reengineering XCOM. *Radiation Physics and Chemistry*, 60:23-24.
- Ghosh S, Das MK, 2014. Attenuation coefficients and absorbed gamma radiation energy of different varieties of potato, mango and prawn at different storage time and physiological condition. *Food Chemistry*, 145:694-700.
- Hine GJ, 1952. The effective atomic numbers of materials for various gamma ray processes. *Physical Review*, 85: 725.
- Morabad RB, Kerur BR, 2010. Mass attenuation coefficients of X-rays in different medicinal plants. *Applied Radiation and Isotopes*, 68:271-274.
- Sayhan MB, Gokdemir MT, Guloglu C, Orak M, Ustundag M, 2009. A burn case associated with *Ranunculus arvensis*. *The Anatolian Journal of Clinical Investigation*, 3(1): 85-87.
- Sayyed MI, Akman F, Geçibesler İH, Tekin HO, 2018. Measurement of mass attenuation coefficients, effective atomic numbers, and electron densities for different parts of medicinal aromatic plants in low-energy region. *NUCL SCI TECH* (2018) 29:144.
- Teerthe SS, Kerur BR, 2016. X-ray mass attenuation coefficient of medicinal plant using different energies 32.890 keV to 13.596 keV. *Materials Today: Proceedings*, 3:3925-3929.

- Trunova V, Sidorina A, Kriventsov V, 2015. Measurement of X-ray mass attenuation coefficients in biological and geological samples in the energy range of 7-12 keV. *Applied Radiation and Isotopes*, 95:48-52.
- Ulubelen A, Topcu G, Sönmez U, 2000. Chemical and biological evaluation of genus *Teucrium*. *Studies in Natural Products Chemistry (Bioactive Natural Products Part D)* 23:591-648.
- Yesilada E, Bedir E, Çalış İ, Takaishi Y, Ohmoto Y, 2005. Effects of triterpene saponins from *Astragalus* species on in vitro cytokine release. *Journal of Ethnopharmacology*, 96(1-2):71-77.