



**ÇEŞİTLİ GIDA NUMUNELERİNİN IŞINLANIP IŞINLANMADIĞININ  
TERMOLÜMİNESANS (TL) TEKNİĞİ İLE BELİRLENMESİ KONUSUNDA  
YAPILAN BİR ULUSLARARASI KARŞILAŞTIRMA ÇALIŞMASI**

**Ülkü Rabia Yüce\*, Talat Aydın**

Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırmaları Kurumu (TENMAK), Nükleer Enerji Araştırma Enstitüsü,  
Kahramankazan, Ankara, Türkiye

Geliş / Received: 23.06.2020; Kabul / Accepted: 19.12.2020; Online baskı / Published online: 30.12.2020

Yüce, Ü.R., Aydın, T. (2021). Çeşitli gıda numunelerinin ışınlanıp ışınlanmadığının termolüminesans (TL) tekniği ile belirlenmesi konusunda yapılan bir uluslararası karşılaştırma çalışması. *GIDA* (2021) 46 (1) 97-109 doi: 10.15237/gida. GD20084.

*Yüce, Ü.R., Aydın, T. (2021). An international comparison study determination whether various food samples have been irradiated using thermoluminescence (TL) technique. GIDA (2021) 46 (1) 97-109 doi: 10.15237/gida. GD20084.*

**ÖZ**

Işınlanmış gıdaların tespiti için fiziksel, kimyasal veya biyolojik birçok yöntem vardır. Bu yöntemler içinde ışınlamadan yıllar sonra bile güvenilir sonuçlar veren ve sadece ışınlanmış gıdaları değil, daha önce hiç ışınlanmamış gıdaları da tespit edebilen fiziksel yöntem şimdilik sadece Termolüminesans (TL) yöntemidir. Bu yöntem, üzerinden silikat mineralleri ayrıştırılabilen gıdalara uygulanabilmektedir. Bu makalede, termolüminesans tekniği kullanılarak tarçın, köri, yeşil mercimek, kurutulmuş mantar, ay çekirdeği, keklik otu ve yeşil çay örneklerinin ışınlanıp ışınlanmadığının tespiti için uluslararası bir karşılaştırma çalışması kapsamında yapılan deneylerin sonuçları sunulmuştur. Yukarıda adı geçen gıda maddelerinden TS EN 1788:2007 standardına göre ayrıştırılan silikat minerallerinin önce doğal TL ışımaya eğrileri (TL1) daha sonra aynı örneklerin 1 kGy beta radyasyon dozu aldıktan sonraki TL ışımaya eğrileri (TL2) kaydedilmiştir. Bu eğrilere ait maksimum pik sıcaklık değerlerine ve eğrilerin altında kalan alanların oranlarına (TL1/TL2) bakılmıştır. Karşılaştırma çalışması sonuç raporlarında, tüm örneklerin %100 başarı ile "ışınlanmış" veya "ışınlanmamış" olarak tespit edildiği belirtilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Işınlanmış gıdaların tespiti, termolüminesans, uluslararası karşılaştırma

**AN INTERNATIONAL COMPARISON STUDY ON DETERMINATION  
WHETHER VARIOUS FOOD SAMPLES HAVE BEEN IRRADIATED USING  
THERMOLUMINESCENCE (TL) TECHNIQUE**

**ABSTRACT**

There are many methods for the detection of irradiated foods. Among these methods, the only physical method that gives reliable results even many years after irradiation is Thermoluminescence (TL) method. In this article, results of the experiments conducted within the scope of an international comparison study to determine whether the samples of cinnamon, curry, green lentils, dried mushrooms, sunflower seeds, oregano and green tea were exposed to any irradiation process using thermoluminescence technique are presented. According to the TS EN 1788:2007, the natural (TL1)

\* Yazışmalardan sorumlu yazar / Corresponding author

✉: ulkurabiayuce.semiz@tenmak.gov.tr,

☎: (+90) 312 8101705

☎: (+90) 312 815 43 95

Ülkü Rabia Yüce; ORCID no: 0000-0002-3301-2863

Talat Aydın; ORCID no: 0000-0002-3319-648X

and 1 kGy beta irradiated (TL2) TL glow curves of the silicate minerals separated from the above-mentioned food samples were obtained. The peak temperatures at the maximum values of these curves and the ratios of the areas under the curves (TL1 / TL2) were examined. In the comparison study results reports, it was stated that all samples were detected as "irradiated" or "non-irradiated" with 100% success.

**Keywords:** Irradiated food, thermoluminescence, international comparison

## GİRİŞ

Taze gıda tüketmek elbette sağlık açısından çok önemlidir ve kıymetli bir gereksinimdir. Ancak ürettiğimiz her gıdayı taze bir şekilde tüketebilme imkânımız yoktur. Bu nedenle geçmişten bugüne kadar kurutma, tuzlama, dondurma ve mayalama gibi çeşitli gıda koruma yöntemleri geliştirilmiştir. Giderek artan dünya nüfusunun beslenme ihtiyacını karşılayabilmek için gelişen gıda endüstrisinde bu geleneksel koruma yöntemleri yetersiz kalmıştır. Gelişen teknoloji ile daha fazla gıdanın korunabilmesini sağlamak, insanları gıda kaynaklı hastalıklara karşı korumak, gıdaların ithalat ve ihracatının daha kolay yapılabilmesi adına gıdaların raf ömrünü uzatmak ve artan gıda kayıplarını azaltmak için geleneksel yöntemlere alternatif kimyasalların ve radyasyon ışınlamasının kullanıldığı gıda koruma yöntemleri geliştirilmiştir (Engin vd., 2011). Gıda ışınlama, yüksek enerjili gama ışınları, X-ışınları veya elektronların belli bir dozda gıdaya verildiği bir koruma yöntemidir. Büyük boyutlu gıdalara kısa zamanda ve hızlı bir şekilde uygulanabilmesi, daha az maliyetli olması, kimyasal koruma yöntemleri gibi gıdada kalıntı bırakmaması, sağlığa zararlı tüm mikroorganizmalar üzerinde daha fazla etkili olması ve ambalajlanmış son ürüne de uygulanabilir olması gıda ışınlama yönteminin diğer yöntemlere kıyasla üstünlükleridir (Bayram vd., 2004; Scriber vd., 1993).

Gıdaların iyi tarım ve iyi üretim yapıldıktan sonra insan sağlığına uygun koşullar sağlanarak tüketiciye sunulması asıl şarttır. Bu şartlardan sonra hala ihtiyaç varsa, insan sağlığına zararı yoksa gıda ışınlama yönetmeliğinde önerilen koşullarda doğru bir şekilde gerçekleştiriliyorsa ve tüketicinin menfaatine uygunsa gıdalar ışınlanabilir (Gıda Işınlama Yönetmeliği, 2019). Gıda ışınlamada, Co-60 (1.25 MeV) ve Cs-137 (0.66 MeV) gama ışınlayıcılar, 10 MeV enerjili elektronların kullanıldığı elektron hızlandırıcılar veya 5 MeV'e kadar hızlandırılmış elektronlardan

üretilen X-ışınları kullanılmaktadır. Gıdalar bu kaynaklar ile ışınlandığında hiçbir şekilde radyoaktif olmazlar yani radyasyon yaymazlar. Dünya Sağlık Örgütü (WHO), Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) ve Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA) gibi kuruluşların önderliğinde yapılan gıda ışınlama çalışmalarında, 10 kGy'lik doz değerine kadar olan ışınlamalarda gıdaların besin değerlerini yitirmediği belirtilmiştir. Buna ilaveten gıdaların şeklinin, tadının, kokusunun değişmediği ve tüketim açısından risk oluşturmadığı raporlanmıştır (Anonymous, 1981; International Atomic Energy Agency, 1991). Gıdaların ışınlanması işlemi konusunda ülkemizde şimdilik iki ayrı tesis aktif olarak hizmet vermektedir. Bunlardan ilki Ankara Sarayköy'de bulunan Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırmaları Kurumuna (TENMAK) bağlı Nükleer Enerji Araştırma Enstitüsü (NÜKEN) bünyesinde faaliyet veren SVST-Co-60 ışınlama cihazı kullanan, IV. kategori tote box tipi gama ışınlama tesisidir. Diğer tesis ise Tekirdağ Çerkezköy'de bulunan yine aynı kategori ve tipteki JS9600 ışınlama cihazı kullanan Gamma Pak ışınlama tesisidir. Bu tesislerde çoğunlukla mikroorganizma açısından zengin olan baharatların ışınlanması yapılmaktadır. Işınlama ücretleri gıdanın kilogramı başına ve ışınlama doz miktarına göre belirlenmektedir.

Ülkemizde ışınlanmasına izin verilen gıda grupları ve ortalama ışınlama doz miktarları gıda ışınlama yönetmeliğinde her gıdanın özellikleri itibarıyla belirlenmiştir. Yönetmelik gereğince ışınlanmış gıda üzerinde yeşil renkte Radura sembolü (Şekil 1) ile etiketleme yapılması zorunludur. Ayrıca gıdanın tamamı ışınlanmamış, sadece bileşenlerinden bir kısmı ışınlanmışsa paketin içindekiler bölümünde bu bileşen belirtilmelidir (Gıda ışınlama yönetmeliği, 2019).

Gıdaların doğru bir şekilde etiketlenmesi, hem tüketicinin "ışınlama" ile gıda koruma işlemi

yapıldığına dair bilgilendirilmesi hem de tüketiciye “ışınlanmış” veya “ışınlanmamış” ürünü seçebilme şansını vermesi bakımından önemlidir. Maalesef bazı firmalar ışınlama maliyeti ve zahmetinden kaçınmak için gıdayı ışınlanmış gibi etiketleyerek aslında hiçbir koruma işlemi yapmadan insan sağlığını tehdit edebilecek gıdaları (özellikle baharatları) raflara koyabilmektedir. Tersi bir durum yani ışınlanmış bir gıdanın ışınlanmamış gibi gösterilmesi ülkemizde çok karşılaştığımız bir durum değildir. Gıdaların doğru bir şekilde etiketlenip etiketlenmediğinin kontrolü için her gıda türüne uygulanabilen tek bir yöntem yoktur. Bu nedenle birçok yöntem geliştirilmiştir. Ancak bu yöntemlerin çoğu, her zaman kesin sonuç veremediğinden “eleme” başka bir deyişle “tarama” yöntemi olarak kalmıştır. Bu yöntemler arasında eleme yöntemi olmayan ve kesin teşhis yöntemi olarak adlandırılan dört fiziksel bir kimyasal yöntem vardır. Ülkemizde Türk Standartları Enstitüsü (TSE) orijinal dili İngilizce olan bu yöntemlere ait olan standartları Türkçe olarak hazırlamakta ve kullanıcılara erişimlerini sağlamaktadır (Çizelge 1) (EN 13708, 2004; EN 1786, 1998; EN 1787, 2005; EN 1788, 2007 ve EN 1784, 2005).



Şekil 1. Radura sembolü (Gıda yönetmeliği, 2019)  
*Figure1. Radura symbol (Food regulation, 2019)*

Çizelge 1’de ilk sırada yer alan Termolüminesans (TL) yöntemi hariç diğer yöntemler sadece ışınlanmış gıdaları tespit edebilmektedir. TL yöntemi ise hem ışınlanmış hem de ışınlanmamış

gıdaların tespiti için kullanılmaktadır. Bu yöntemde teşhis için gıdanın kendisi değil gıda üzerine yapışmış inorganik toz tanecikleri (silikat mineralleri) incelenir. Bu yöntemle baharatlar, otlar, kuru meyveler ve sebzeler, kalsit içeren bazı kabuklu deniz ürünleri ve içerisinde silikat minerali bulunma ihtimali olan tüm gıda karışımlarının ışınlanıp ışınlanmadığı belirlenebilmektedir (TS EN 1788,2007). Yöntemin en büyük avantajı, ışınlamadan sonra TL sinyallerinin yıllarca kalabilmesidir (Anonymous,1981; International Atomic Energy Agency, 1991). Bazı durumlarda gıdadan TL tekniği ile ölçüm yapmaya imkân verebilecek miktarda silikat minerali toplanamaması, örnek hazırlama işleminin uzun sürmesi ve kullanılan kimyasalların pahalı olması yöntemin en önemli dezavantajlarıdır (Engin vd., 2011).

Bu makalede tarçın, köri, yeşil mercimek, kurutulmuş mantar, ay çekirdeği, keklik otu ve yeşil çay örneklerinin herhangi bir ışınlama işlemine maruz kalıp kalmadığının TL tekniği kullanılarak belirlenmesi konusunda yapılan deneylerin sonuçları sunulmuştur. Bu araştırma İspanyada bulunan Centro Nacional de Alimentación (CNA) isimli araştırma merkezi tarafından düzenlenen “Intercomparison exercises for quality assurance on physical methods for irradiated food detection” isimli uluslararası karşılaştırma çalışması kapsamında yapılmıştır. TS EN 1788:2007 standardı temel alınarak ayrıştırılan silikat minerallerinin önce doğal TL ışımaya eğrileri (TL1) daha sonra aynı örneklerin 1 kGy beta radyasyon dozu aldıktan sonraki TL ışımaya eğrileri (TL2) çizilmiştir. Bu eğrilerin pik maksimum sıcaklık değerlerine ve eğrilerin altında kalan alanların oranlarına (TL1/TL2) bakılmış ve İspanyadan gelen sonuç raporuna göre tüm örnekler %100 başarı ile “ışınlanmış” veya “ışınlanmamış” olarak belirlenmiştir.

### **MATERYAL VE YÖNTEM** **Termolüminesans**

Lüminesans olayı, yalıtkan bir kristalin enerji bant diyagramı ile açıklanabilir (Şekil 2). Bu modelde elektronların, bant olarak adlandırılan farklı enerji seviyelerinde olduğu kabul edilir. En düşük enerji

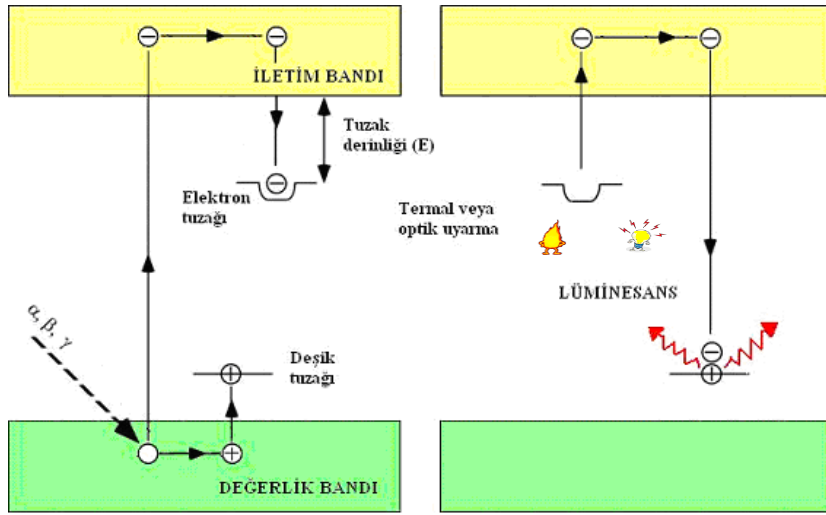
bandı, değerlik bandı olarak, en yüksek enerji bandı iletim bandı ve bu iki bant arasındaki boşluk yasaklı bölge olarak adlandırılır. Kusursuz bir kristalde bu yasaklı bölgede hiç elektron bulunmaz. Ancak doğada gıda maddeleri üzerindeki toz zerreciklerinde de en çok bulunan kuvars ve feldspat mineralleri gibi silisyum tabanlı

silikat mineralleri başta olmak üzere çoğu mineral kristal yapılarının içinde bir takım kusurlar barındırırlar. Yapılarının içindeki bu kusurlar yasaklı bölgede yarı kararlı enerji seviyelerinin (elektronlar için tuzakların) oluşmasına neden olur (Aitken, 1985; Yüce, 2010).

Çizelge 1: Gıdaların ışınlanıp ışınlanmadığını belirleyebilen yöntemler.

Table 1. *Methods that can determine whether foods have been irradiated*

Sıra No	Gıda çeşidi <i>Food</i>	İlgili standart <i>Standard</i>	Tür/yöntem <i>Method</i>
1	Baharatlar, otlar, kuru meyveler, sebzeler gibi silikat minerali içeren gıdalar <i>Foods containing silicate mineral, such as spices, herbs, dried fruits, vegetables</i>	EN 1788:2007 Gıda Maddeleri- Minerallerinin Ayrılabilirdiği Gıdalarda Işınlanmanın Belirlenmesi - Termoluminesans Yöntemi <i>EN 1788:2007 Foodstuffs - Thermoluminescence detection of irradiated food from which silicate minerals can be isolated</i>	Silikat Fiziksel <i>Physical</i>
2	Et, balık, tavuk, deniz ürünleri gibi kemik içeren gıdalar <i>Bone-containing foods such as meat, fish, chicken, seafood</i>	EN 1786:1998 Gıda Maddeleri - Işınlanmış, Kemik İçeren Gıdaların Tespiti - ESR Spektroskopisi Yöntemi <i>EN 1786:1998 Foodstuffs - Detection of irradiated food containing bone - Method by ESR spectroscopy</i>	Fiziksel <i>Physical</i>
3	Selüloz içeren gıdalar <i>Foods containing cellulose</i>	EN 1787:2005 Gıda Maddeleri - Selüloz İçeren Işınlanmış Gıdaların ESR Spektroskopisi ile Belirlenmesi Yöntemi <i>EN 1787:2005 Foodstuffs - Detection of irradiated food containing cellulose - Method by ESR spectroscopy</i>	Fiziksel <i>Physical</i>
4	Şeker içeren gıdalar <i>Foods containing sugar</i>	EN 13708:2004 Gıda Maddeleri - Kristal Şeker İçeren Gıdaların Işınlanıp Işınlanmadığının ESR Spektroskopisi ile Belirlenmesi Yöntemi <i>EN 13708:2004 Foodstuffs - Detection of irradiated food containing crystalline sugar by ESR spectroscopy</i>	Fiziksel <i>Physical</i>
5	Et, süt ürünleri, su ürünlerive meyveler gibi katı yağ içeren gıdalar <i>Fat-containing foods such as meat, dairy products, seafood, and fruits</i>	TS EN 1784:2005 Gıda Maddeleri - Katı Yağ İçeren Işınlanmış Gıdaların Belirlenmesi - Hidrokarbonların Gaz Kromatografik Analizi Yöntemi <i>TS EN 1784:2005 Foodstuffs - Detection of irradiated food containing fat - Gas chromatographic analysis of hydrocarbons</i>	Kimyasal <i>Chemical</i>



Şekil 2. Lüminesans olayının enerji bant diyagramı (Yüce, 2010)

Figure 2. Energy band diagram of luminescence event (Yüce, 2010)

İletim bandı: *Conduction band*

Değerlik bandı: *Valance band*

Tuzak derinliği: *Trap depth*

Elektron tuzacı: *Electron trap*

Termal veya optik uyarma: *Thermal or optical stimulation*

Lüminesans: *Luminescence*

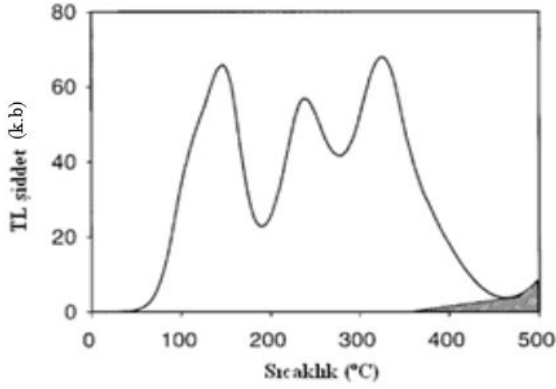
Deşik tuzacı: *Hole trap*

Gıda ışınlama sırasında kullanılan radyasyon iyonize etme özelliğine sahiptir. Gıdalar ışınlandığında eğer üzerlerinde silikat mineralleri var ise bu minerallerin değerlik bandındaki elektronlar iyonizasyon sonucu iletim bandına geçerler. Burada çok kısa süre kaldıktan sonra (pikosaneyeler mertebesinde) hemen iletim bandına en yakın tuzaklarda depolanırlar. İyonize edilen elektronların geride bıraktıkları boşluklar olan deşikler de değerlik bandına en yakın tuzaklarda depolanırlar. Böylece radyasyon enerjisi, minerallerin kristal yapısında geçici olarak depo edilir ve sistem yarı kararlı bir halde kalır. Sistemin kararlı hale gelebilmesi için elektronların bu tuzaklardan çıkarılması bunun için sisteme dışarıdan ısı, ışık vb. bir enerji verilmesi gerekmektedir. Termolüminesans olayında kristalin ısıtılması ile yeterli enerjiyi (tuzaktan kaçmak için gerekli eşik enerjisini) alan elektronlar, tuzaklardan kurtularak tekrar iletim bandına geçer. İletim bandında yine çok kısa süre kaldıktan sonra geride bıraktıkları deşiklerin tuzaklandığı enerji seviyelerine geçiş yaparlar. Her bir elektronun geçişi sırasında görünür bölgede lüminesans ışınmalar açığa çıkar. İşte bu

lüminesans ışınmalar, ısı enerjisi verilerek gerçekleştiği için bu olaya Termolüminesans denir (Aitken, 1985; Yüce, 2010).

Gıda üzerine yapışmış silikat minerallerinin TL ölçümleri yapılırken mineraller genellikle 500°C sıcaklığa kadar sabit bir ısıtma hızında ısıtılır. Yayınlanan lüminesansın şiddeti hassas bir foto çoğaltıcı tüp yardımı ile ölçülerek sıcaklığın bir fonksiyonu şeklinde kaydedilir. Bir TL sinyali, farklı sıcaklıklarda belirgin piklerin gözlemlendiği bir ışınma eğrisi (glow curve) ile değerlendirilir. Işınma eğrisinde görülen bu pikler, ısıtılan mineralin içerisindeki elektron tuzakları boşaldıkça önce artış gösterir sonra o enerji seviyesindeki tuzakların tamamı boşaldığı için lüminesans ışınmanın giderek azalmasıyla yavaşça sıfırlanır. Sıcaklık arttıkça elektronlar daha çok enerji alabildiği için daha derin (yani elektronları çıkartmak için daha çok enerji gerektiren) tuzaklardaki elektronlar uyarılır ve lüminesans şiddet tekrar artar ve yine o tuzak seviyesi boşalınca tekrar sıfırlanır. Bu durum sıcaklık arttıkça mevcut tuzakların derinliğine yani enerjisine göre hiç dolu tuzak kalmayınca kadar

devam eder. Böylece TL ışımaya eğrisindeki pikler Şekil 3'deki gibi sürekli bir şekilde sıra sıra dizilir (Aitken, 1985;Yüce, 2010).



Şekil 3. Toprak örneğinden çıkarılan feldspat mineralinin TL ışımaya eğrisi (Aitken, 1985)

Figure 3. TL glow curve of feldspar mineral extracted from soil sample (Aitken, 1985)

TL şiddet: TL intensity  
Sıcaklık: Temperature

### EN1788 standardının uygulanması

Gıda maddeleri üzerindeki inorganik toz zerrecikleri çoğunlukla kuvars ve feldspat minerallerinden oluşur. İyi birer lüminesans materyal olan bu mineraller silisyum tabanlı oldukları için silikat mineralleri olarak adlandırılır. Doğal olarak bilinen 11 feldspat olmasına rağmen doğada en çok bulunan feldspat çeşitleri potasyum feldspat ( $KAlSi_3O_8$ ), sodyum feldspat ( $NaAlSi_3O_8$ ) ve kalsiyum feldspat ( $CaAlSi_2O_8$ )'dır. Bu feldspat türlerinin yoğunlukları  $2.5-2.6 \text{ g/cm}^3$  arasında değişmektedir. Kuvars minerali ise silisyum dioksit ( $SiO_2$ ) kimyasal formuna sahiptir ve yoğunluğu  $2.65-2.66 \text{ g/cm}^3$  arasındadır. Bu minerallerden etkin bir lüminesans elde edebilmek için lüminesans sinyal vermeyecek olan karbonatların ve gıdanın organik kısımlarının ölçüm yapılacak örnekten uzaklaştırılması gerekir.

Silikat minerallerini gıdalardan ayrıştırma işlemleri TS EN 1788:2007 standardında ayrıntılı bir şekilde anlatılır. Bu yöntem, baharatlar, şifalı bitkiler, bunların karışımları, kabuklu deniz hayvanları, taze ve kurutulmuş meyve sebzeler kısacası üzerinde silikat minerali bulunan ve bu

minerallerin ayrıştırılabildiği gıdalara başarıyla uygulanabilir (TS EN 1788:2007).

Bu çalışmada tarçın, köri, yeşil mercimek, kurutulmuş mantar, ay çekirdeği, keklik otu ve yeşil çay örneklerinin herhangi bir ışınlama işlemine maruz kalıp kalmadığı Termolüminesans tekniği ile TS EN 1788:2007 ( Gıda Maddeleri-Silikat Minerallerinin Ayrılabilirliği Gıdalarda Işınlamanın Belirlenmesi-Termolüminesans Yöntemi) standardı temel alınarak araştırılmıştır. Örneklerden yukarıdaki standarda göre ayrıştırılan silikat minerallerinin önce doğal termolüminesans ışımaya eğrilerine (TL1) daha sonra aynı örneklerin 1 kGy beta dozu aldıktan sonraki termolüminesans ışımaya eğrilerine (TL2) bakılmıştır. TL1 ve TL2 ışımaya eğrilerinin şekilleri ve altında kalan alanların oranları (TL1/TL2) değerlendirilerek örneklerin ışınlanmış veya ışınlanmamış olduğuna karar verilmiştir.

### Minerallerin ayrıştırılması

Tüm gıda örnekleri ayrı ayrı 1000 ml'lik beherlere konuldu. Örnekler beherlere konulurken örneklerin bulunduğu şeffaf plastik poşetlerin dip kısımlarında kalan toz zerrecikleri de beherlere aktarıldı. Şeffaf poşetlerden aktarılması zor olan yapışmış toz zerrecikleri ise su yardımıyla poşetlerden beherlere aktarıldı. Gıdalara yapışan toz zerreciklerinin gıdalardan ayrılabilmesini kolaylaştırmak için beherlerin üzerleri de-iyonize su ile doldurulduktan sonra ultrasonik banyoda bir saat titreşimde bekletildi. Daha sonra her bir örnek için ayrı naylon elek kullanılarak tüm örnekler ayrı ayrı derin kaplara süzüldü. Eleklerin üzerinde kalan örnekler püskürtme mekanizması olan bir su bataryası yardımıyla de-iyonize su ile yıkandı. Bu işlemlerden sonra toz taneciklerinin derin kapların diplerine çökmesi için iki saat beklendi ve toz tanecikleri kapların diplerinde kalacak şekilde üstte kalan sulu kısımlar döküldü. Böylece 250 mikronluk naylon elek yardımıyla yeşil mercimek, kurutulmuş mantar, ay çekirdeği, keklik otu ve yeşil çay gibi büyük parçalı gıda kalıntılarını kolayca temizlenebildi. Tarçın ve köri örnekleri içinse 125 mikronluk naylon elek kullanıldı. Ancak bu iki baharat örneği küçük tanecikli olduğu için dipte kalan mineralli su içinde

oldukça fazla gıda kalıntısının mevcut olduğu görüldü.

Derin kapların diplerinde kalan mineralli su karışımları her örnek için 8 ayrı santrifüj tüpüne paylaştırılarak ivmesi 1000g olacak şekilde 2 dakika santrifüjlendi. Bu işlem sonucu yoğunluğu 1 g/ml' den az olan istenmeyen organik kısımlar tüplerin üst kısımlarında kalmış oldu. Tüplerin üzerindeki sular boşaltılarak tüplere yoğunluğu 2.0 g/ml olan lityum heteropolitungstate (LST) ağır sıvı ayrıştırıcısı eklendi. Örnekler 2 dakika santrifüjlendikten sonra LST üzerinde kalan organik kalıntılar pastör pipet yardımıyla alındı. Tüplerin içinde kalan LST, pastör pipet yardımıyla tüplerin diplerinde kalan minerallere zarar vermeden dikkatli bir şekilde alındı. Örnekleri LST' den arındırmak için tüplere saf su konuldu ve LST kalıntılarını temizlenene kadar birkaç kez saf su ile santrifüj işlemi yapıldı. Bu işlemler her bir gıda için ayrı ayrı tekrarlandı. Tarçın ve köri hariç tüm örneklerdeki organik kalıntılar tek seferde kolayca temizlenebildi. Tarçın ve köri için LST ile aynı işlem organik gıda kalıntılarında kurtuluncaya kadar tekrarlandı.

Numuneyi karbonatlardan arındırmak için, tüplere pastör pipet yardımıyla 1M, 5 ml hidroklorik asit (HCl) çözeltisi ilave edildi ve 10 dakika karanlık ortamda bekletildi. HCl 'yi nötralize etmek için tüplere 1M, 5ml amonyum hidroksit (NH<sub>4</sub>OH) çözeltisi ve kalan boşluğa da saf su eklendi. Bu karışım 2 dakika santrifüjlendi. Her aşamada tüplerin diplerinde kalan mineralleri kaybetmemek için minerallerin üzerlerindeki fazla su ve kimyasallar pastör pipet yardımıyla dikkatli bir şekilde alındı. Son olarak silikat minerallerini kimyasal kalıntılardan arındırmak için tüplere aseton konuldu ve 1 dakika santrifüjlendi. Aseton ile santrifüj işlemi aseton berraklaşana kadar tekrar edildi. Tüplerdeki aseton yine bir pastör pipet yardımıyla boşaltılarak tüplerin diplerinde kalan silikat mineralleri ayrı ayrı petri kaplarına konuldu. Silikat minerallerinin olduğu petri kapları 45°C de 5 saat süreyle etüvde kurutulmuş ölçüme hazır hale getirildi. Bu işlemler her bir gıda için ayrı ayrı tekrarlandı.

Örnekler kurutulduktan sonra petri kaplarına yapışmış olanlar bir spatül yardımıyla kazınarak her örnek için yaklaşık 10 mg silikat minerali toplanabildi. Ay çekirdeği örneğinden minerallerin ayrıştırılması işlemi sırasında yeterince silikat minerali toplanamadığı görüldü. Yine de olan az miktarı (yaklaşık 3 mg) ile deneylere devam edildi.

### **Termoluminesans ölçümleri**

Ölçümler 7,5 mm kalınlığında Hoya U-340 filtresi yerleştirilmiş Riso TL/OSL Model DA- 20 okuyucuda kırmızı ışıkla aydınlatılan laboratuvar şartlarında yapıldı. Işık dedeksiyonu maksimum dedeksiyon etkinliği 300-400 nm aralığında olan bialkali EMI 9235QA foto çoğaltıcı tüp ile gerçekleştirildi. 70-500 °C sıcaklık aralığında 6 °C/sn ısıtma hızında ve sıvı azot atmosferinde TL sinyallerine bakıldı. Bu işlem sırasında sahte TL piklerini ve hızlı ısınma-soğumaları engellemek için %99.99 yüksek saflıkta azot gazı (nitrojen) kullanıldı. TL ölçümleri paslanmaz çelikten yapılmış dış çapı 12 mm, iç çapı 9 mm ve yüksekliği 1 mm olan TL kaplarına yaklaşık 5 mg örnek konularak yapıldı. Ölçüm yapılan TL kapları ve örnek tutucu deneylere başlamadan önce herhangi bir kalıntı olması ihtimaline karşı alkol ile temizlendi.

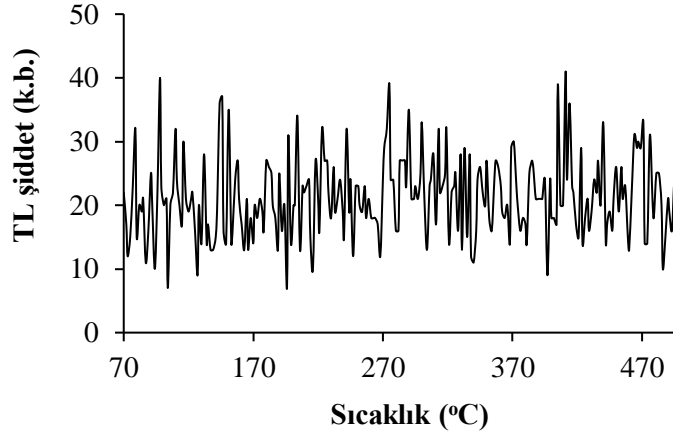
Her ölçümden önce boş TL kaplarının ışınma eğrileri kaydedildi. Şekil 4'te verilen boş ölçüm kabının TL ışınma eğrisine bakıldığında ölçümleri olumsuz etkileyebilecek herhangi bir TL sinyali gözlenmemiştir. Ardından aynı okuma şartlarında yaklaşık 5 mg silikat mineralinin bulunduğu ölçüm kaplarının TL1 okumaları yapıldı. TL1 ışınma eğrisi kaydedilen örnekler normalizasyon amacıyla Sr-90 beta kaynağı kullanılarak 1 kGy ışınlandı. Işınlamadan sonra örneklerdeki sıg tuzakların boşaltılabilmesi yani düşük sıcaklıklarda kafa karıştıracak TL sinyallerinin sönmülmesi için etüvde 1 gece boyunca 50° C sıcaklıkta bekletildi. Bu örneklerin ölçümleri alındı ve TL2 olarak kaydedildi.

### **İşinlanma ve işinlanmama kararı**

TS EN1788:2007 standardına göre işinlanmış gıdalar 150-250 °C sıcaklık aralığında bir pik verirken işinlanmamış örnekler düşük seviyede

(bir yılda yaklaşık 1-2 mGy civarında) radyoaktivitenin neden olduğu 250-300 °C'nin üzerinde TL pikleri verirler. Düşük seviyede radyoaktivite, silikat minerallerinin kendi içerisinde ve çevresinde bulunan radyoaktif maddelerden (çoğunlukla Uranyum-238,

Toryum-232 ve Potasyum-40) kaynaklanır. Yine bu standartta 150-250 °C sıcaklık aralığında TL1 ve TL2 ışıma eğrilerinin altında kalan alanların oranı (TL1/TL2), ışınlanmış örneklerde 0,5'ten büyükken ışınlanmamış örneklerde 0,1' in çok altında olduğu belirtilmektedir.



Şekil 4. Boş ölçüm kabının TL ışıma eğrisi.

Figure 4. TL glow curve of the empty TL cup.

TL şiddet: TL intensity (a.u)

Sıcaklık : Temperature

## SONUÇLAR VE TARTIŞMA

İncelenen örneklerin TL1 ve TL2 ışıma eğrileri Şekil 5-11'de görülmektedir. Bu eğrilere ait pik maksimum şiddet ve pik maksimum sıcaklık değerleri, TL1/TL2 oranları ve ışınlanmış olup olmadıklarının sonuçları Çizelge 2'de verilmiştir.

Yeşil çay örneğinin TL1 ışıma eğrisi olan Şekil 5a'ya bakıldığında 302°C sıcaklıkta maksimumu olan düşük şiddetli bir doğal radyasyon sinyali gözlenirken normalizasyon ışınlamasından sonra kaydedilen TL2 ışıma eğrisinde maksimumu 208°C sıcaklıkta olan oldukça yüksek şiddetli bir sinyal gözlenmiştir (Şekil 5b) . Çizelge 2'de yeşil çay için verilen TL1/TL2 oranına bakıldığında 0.002 gibi oldukça düşük bir oran görülmektedir. Elde edilen bu verilerden yola çıkılarak yeşil çay örneğinin ışınlanmamış olduğu sonucuna varılmıştır.

Keklik otu örneği 206 °C sıcaklıkta pik maksimumu olan bir TL1 ışıma eğrisine ve 227 °C sıcaklıkta pik maksimumu olan yüksek şiddetli bir TL2 ışıma eğrisine sahiptir (Şekil 6). TL1/TL2 oranı ise cihazda otomatik alan değeri hesaplamaları ile 0.415 olarak belirlenmiştir (Çizelge 2) . Bu sonuçlardan yola çıkılarak keklik otu örneğinin ışınlanmış olduğu söylenebilir.

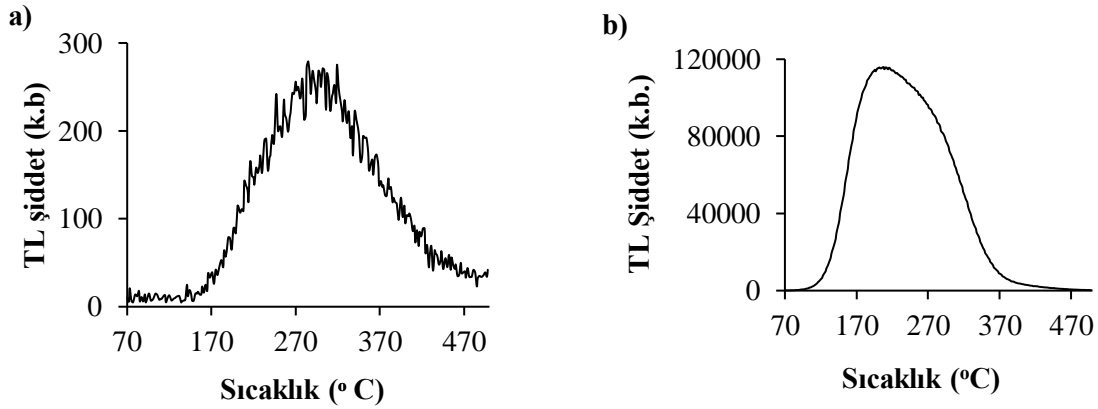
Şekil 7 ve Şekil 8'de verilen kurutulmuş mantar ve ay çekirdeği örneklerine ait TL ışıma eğrilerinin şekillerine ve Çizelge 2'de verilen TL1/TL2 oranlarına bakılarak her iki örneğin ışınlanmış olduğu sonucuna varılmıştır. Şekil 9, 10 ve 11'de verilen yeşil mercimek, tarçın ve köri örneklerinin TS EN1788:2007 standardına göre tavsiye edilen 150-250°C sıcaklık aralığında TL1 ve TL2 ışıma eğrilerinin integralleri alındıktan sonra belirlenen TL1/TL2 oranları 0,1 den büyük bulunmuştur. Her üç örneğin de ışınlanmış olduğu sonucuna varılmıştır.



Çizelge 2. Örneklere ait ışıma eğrilerinin özellikleri  
Table 2. Properties of radiation curves of samples.

Örnek Sample	adı	TL1	TL2	TL1/TL2 TL1/TL2	Sonuç Result
Yeşil Çay Green tea		$T_{max} = 302 \text{ } ^\circ\text{C}$ $I_{max} = 271$	$T_{max} = 208 \text{ } ^\circ\text{C}$ $I_{max} = 115957$	0.002	İşinlanmamış Not irradiated
Keklik Otu Oregano		$T_{max} = 206 \text{ } ^\circ\text{C}$ $I_{max} = 18831$	$T_{max} = 227 \text{ } ^\circ\text{C}$ $I_{max} = 45427$	0.415	İşinlanmıştır Irradiated
Kurutulmuş Mantar Dried Mushroom		$T_{max} = 227 \text{ } ^\circ\text{C}$ $I_{max} = 38313$	$T_{max} = 163 \text{ } ^\circ\text{C}$ $I_{max} = 106064$	0.362	İşinlanmıştır Irradiated
Ay Çekirdeği Sunflower seeds		$T_{max} = 218 \text{ } ^\circ\text{C}$ $I_{max} = 14100$	$T_{max} = 159 \text{ } ^\circ\text{C}$ $I_{max} = 33205$	0.425	İşinlanmıştır Irradiated
Yeşil Mercimek Green lentils		$T_{max} = 237 \text{ } ^\circ\text{C}$ $I_{max} = 3108$	$T_{max} = 225 \text{ } ^\circ\text{C}$ $I_{max} = 7032$	0.442	İşinlanmıştır Irradiated
Tarçın Cinnamon		$T_{max} = 225 \text{ } ^\circ\text{C}$ $I_{max} = 165332$	$T_{max} = 199 \text{ } ^\circ\text{C}$ $I_{max} = 153247$	1.079	İşinlanmıştır Irradiated
Köri Curry		$T_{max} = 225 \text{ } ^\circ\text{C}$ $I_{max} = 62917$	$T_{max} = 185 \text{ } ^\circ\text{C}$ $I_{max} = 66347$	0.948	İşinlanmıştır Irradiated

$T_{max}$  = Maksimum pik sıcaklığı,  $I_{max}$  = Maksimum pik şiddeti  
 $T_{max}$  = Maximum peak temperature,  $I_{max}$  = Maximum peak intensity



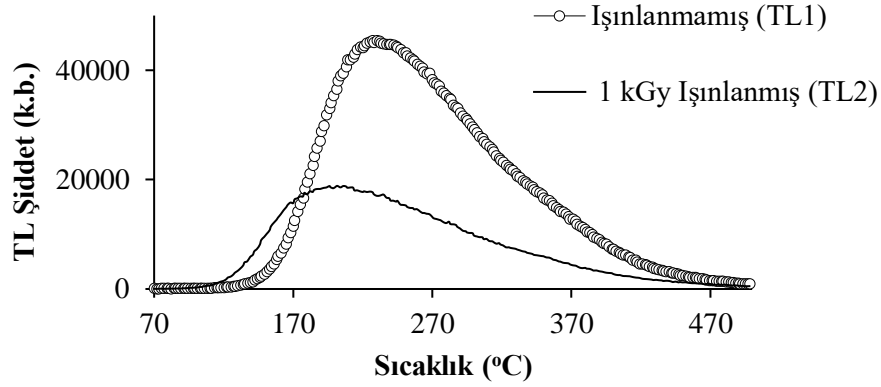
Şekil 5. Yeşil çay örneğinin a) ışınlanmamış (TL1) ve b) 1 kGy ışınlanmış (TL2) ışıma eğrileri.  
Figure 5. TL1 and TL2 glow curves of green tea sample.

TL şiddet: TL intensity (a.u)

Sıcaklık : Temperature

1 kGy ışınlanmış (TL1): 1 kGy irradiated (TL1)

İşinlanmamış: Not irradiated (TL2)



Şekil 6. Keklik otu örneğinin TL1 ve TL2 ışıma eğrileri.

Figure 6. TL1 and TL2 glow curves of oregano sample.

TL şiddet: TL intensity (a.u)

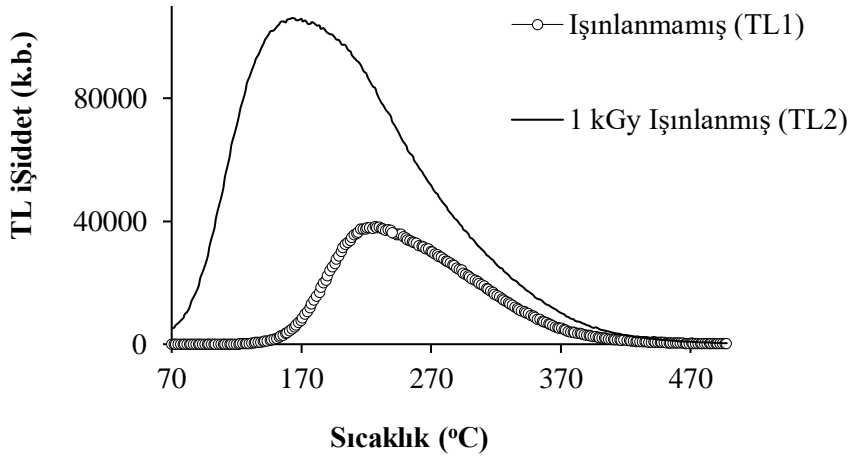
Sıcaklık: Temperature

1 kGy ışınlamış (TL1): 1 kGy irradiated (TL1)

Işınlanmamış: Not irradiated (TL2)

Elde edilen tüm sonuçlar, literatürde daha önce Termoluminesans tekniği kullanılarak belirlenen ışınlamış ve ışınlanmamış gıda ayırmaları ile

uyum içindedir (Engin 2007; Paksu vd. 2013; Cam vd. 2012).



Şekil 7. Kurutulmuş mantar örneğinin TL1 ve TL2 ışıma eğrileri.

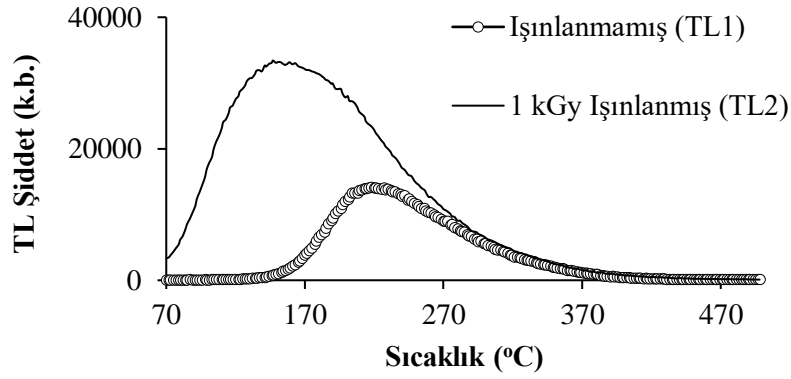
Figure 7. TL1 and TL2 glow curves of dried mushroom sample.

TL şiddet: TL intensity (a.u)

Sıcaklık : Temperature

1 kGy ışınlamış (TL1): 1 kGy irradiated (TL1)

Işınlanmamış: Not irradiated (TL2)



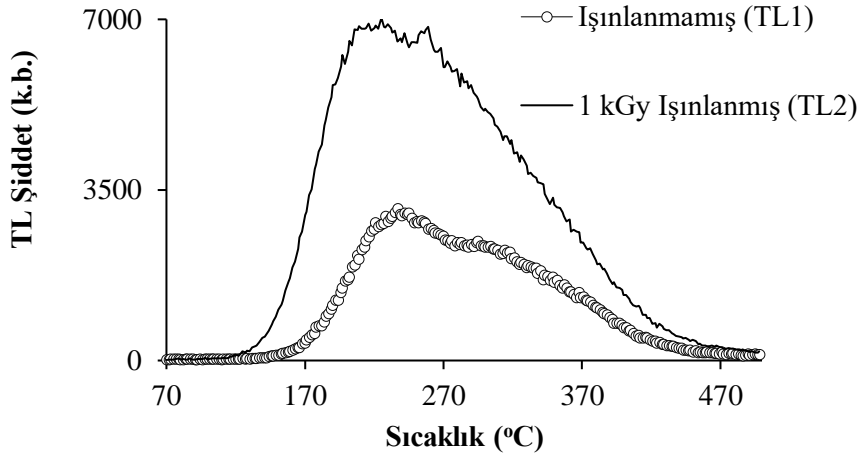
Şekil 8. Ay çekirdeği örneğinin TL1 ve TL2 ışıma eğrileri.  
Figure 8. TL1 and TL2 glow curves of sunflower seeds sample.

TL şiddet: TL intensity (a.u)

Sıcaklık : Temperature

1 kGy ışınlanmış (TL1): 1 kGy irradiated (TL1)

Işınlanmamış: Not irradiated (TL2)



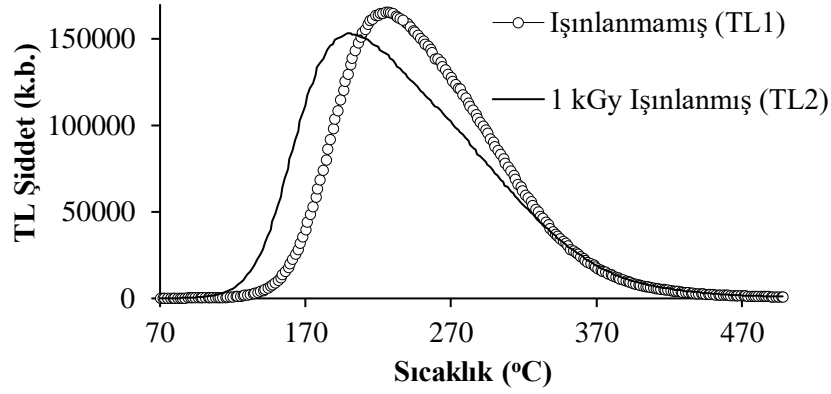
Şekil 9. Yeşil mercimek örneğinin TL1 ve TL2 ışıma eğrileri.  
Figure 9. TL1 and TL2 glow curves of green lentils sample.

TL şiddet: TL intensity (a.u)

Sıcaklık : Temperature

1 kGy ışınlanmış (TL1): 1 kGy irradiated (TL1)

Işınlanmamış: Not irradiated (TL2)



Şekil 10. Tarçın örneğinin TL1 ve TL2 ışıma eğrileri.

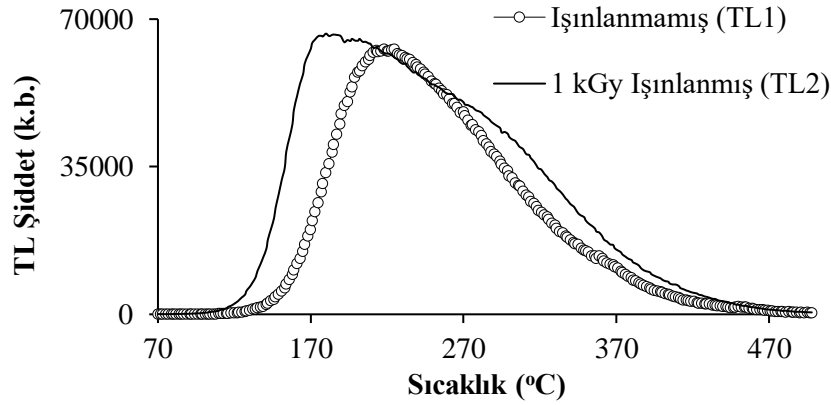
Figure 10. TL1 and TL2 glow curves of cinnamon sample.

TL şiddet: TL intensity (a.u)

Sıcaklık : Temperature

1 kGy ışınlamış (TL1): 1 kGy irradiated (TL1)

Işınlanmamış: Not irradiated (TL2)



Şekil 11. Köri örneğinin TL1 ve TL2 ışıma eğrileri.

Figure 11. TL1 and TL2 glow curves of curry sample.

TL şiddet: TL intensity (a.u)

Sıcaklık : Temperature

1 kGy ışınlamış (TL1): 1 kGy irradiated (TL1)

Işınlanmamış: Not irradiated (TL2)

TL tekniği ile ışınlamış gıda tespiti çalışmalarında TL2 ölçümleri için yapılan normalizasyon ışınlamaları çoğunlukla Co-60 gama kaynağı ile yapılmaktadır. Bu çalışmada bir gama kaynağı yerine Sr-90 beta kaynağından çıkan beta ışınları kullanılmış ve karşılaştırma çalışması sonuç raporlarında, tüm örneklerin %100 başarı ile "ışınlamış" veya "ışınlanmamış" olarak tespit edildiği belirtilmiştir.

#### ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazarlar, bu makale ile ilgili başka kişi veya kurumlar ile çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

#### YAZAR KATKILARI

Dr. Ülkü Rabia YÜCE SEMİZ: %70

Talat AYDIN: %30

**KAYNAKLAR**

- Aitken, M.J.(1985). *Thermoluminescence dating*. Academic Press, Orlando/London, 351 p.
- Anonymous (1981). Wholesomeness of irradiated food, Report of joint FAO/IAEA/WHO Expert Committee World Health Organisation, Geneva. Technical Report Series 659.
- Bayram, G., Delincee, H. (2004). Identification of irradiated Turkish foodstuffs combining various physical detection methods. *Food Control* 15: 81–91, [https://doi.org/10.1016/S0956-7135\(03\)00018-5](https://doi.org/10.1016/S0956-7135(03)00018-5).
- Çam, S. T., Aydaş, C., Engin, B., Yüce, U.R. , Aydın, T., Polat, M. (2012). ESR and TL studies of irradiated Anatolian laurel leaf (*Laurus nobilis* L.), *Radiat. Eff. Defect S.* 167 (6): 1-11, <https://doi.org/10.1080/10420150.2012.666243>.
- EN 1786 (1998). Detection of irradiated food containing bone: analysis by electron paramagnetic resonance. European Committee for Standardization, Brussels.
- EN 13708 (2004). Detection of irradiated food containing crystalline sugar: analysis by EPR. European Committee for Standardization, Brussels.
- EN 1787 (2005). Determination of irradiated food containing cellulose: analysis by EPR. European Committee for Standardization, Brussels.
- EN 1788 (2007). Thermoluminescence detection of irradiated food from which silicate minerals can be isolated. European Committee for Standardization, Brussels.
- Engin, B. (2007). Thermoluminescence parameters and kinetics of irradiated inorganic dust collected from black peppers. *Food Control* 18: 243-250, <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2005.10.002>.
- Engin, B., Aydaş, C., Yüce, Ü.R., Aydın, T., Çam, S.T., Demirtaş, H. ve Zeyrek, C.T. (2011). Elektron Spin Rezonans (ESR) ve Termoluminesans (TL) teknikleri ile gıdaların gama ışınları ile ışınlanıp ışınlanmadıklarının tespit edilmesi. (Teknik rapor, TAEK TR-2011-07). Ankara: Türkiye Atom Enerjisi Kurumu.
- Gıda İşleme Yönetmeliği (2019).
- International Atomic Energy Agency (1991). Facts About Food Irradiation. Vienna, Austria. IAEA/PI/A33E.
- Paksu, U, Aydaş, C. , Yüce, U.R., Aydın, T., Polat, M., Engin, B., (2013). ESR and TL investigations on gamma irradiated linden (*Tilia vulgaris*). *Radiat. Environ. Biophys.* 52(2) : 255-267, <https://doi.org/10.1007/s00411-013-0465-x>.
- Schreiber G. A., Hele, N., Bögl, K.W. (1993). Dedection of irradiated food-methods and routine applications. *J.Radiat.Biol.* 63: 105-130, <https://doi.org/10.1080/09553009314550141.I>
- TS EN 1784 (2005). Gıda Maddeleri - Katı Yağ İçeren Işınlanmış Gıdaların Belirlenmesi - Hidrokarbonların Gaz Kromatografik Analizi Yöntemi.
- Yüce,U.R. (2010). Diş ve kemik örneklerinin lüminesans tekniklerde geriye dönük (retrospektif) dozimetre olarak kullanımının geliştirilmesi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora Tezi, Ankara, Türkiye, 96s.