

## İŞINLANMIŞ GIDALARIN TESPİTİNDE KULLANILAN YÖNTEMLER

Vasfiye Başbayraktar\*

TAEK, Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi, Ankara

Geliş tarihi / *Received*: 11.11.2011

Düzeltilerek Geliş tarihi / *Received in revised form*: 23.12.2011

Kabul tarihi / *Accepted*: 03.01.2012

### Özet

Gıdaya uygulanan ışınlama işleminin uygunluğunun kontrolü ışınlanmış gıdanın uluslararası ticaretini kolaylaştırmak ve tüketicinin güvenini sağlamak için önemlidir. Bu nedenle ışınlanmış gıdanın tespiti önem kazanmıştır. Işınlanmış gıdanın belirlenmesinde, ışınlama esnasında gıdalarda oluşan fiziksel, kimyasal, biyolojik ve mikrobiyolojik değişiklikler temel alınmaktadır. İdeal bir tespit metodu; ışınlama için spesifik olmalı ve diğer prosesler, depolama şartları ve süresinden etkilenmemeli, yöntemin limit değerleri gıdaya uygulanabilecek dozun altında olmalı ve her gıdaya uygulanabilmelidir. Ayrıca, yöntem doğru, güvenilir, tekrarlanabilir, uygulaması kolay ve hızlı olmalı ve gıdaya uygulanan doz hakkında bilgi vermelidir. Ancak bu özellikleri karşılayan tek bir yöntem henüz geliştirilememiştir. Bunun için ışınlanmış gıdaların teşhisinde birden fazla yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden bazılarının ışınlanmış gıdaların tespitinde kullanılması CEN ve TSE tarafından kabul edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Gıda ışınlama, tespit yöntemleri

## USED METHODS FOR DETECTION OF IRRADIATED FOODS

### Abstract

Proper control of irradiation processing of food is very critical to facilitate international trade of irradiated foods and to ensure consumer confidence. Therefore, detection of irradiated food has become important. The detection of irradiated food is based on physical, chemical, biological and microbiological changes of food during irradiation. The ideal method of detection must be specific to irradiation and not affected by other processes, storage conditions, and irradiation period, and the detection limits should be below the applied irradiation dose and applicable to all food. Also, the method should be accurate, reliable, repeatable, easy to apply and fast, and should give information about the dose applied to food. Unfortunately, no single method that meets these expectations has not been developed yet. For this purpose, more than one method are used for the detection of irradiated food. Some of these methods have been accepted by CEN and TSE for irradiated foods.

**Keywords:** Food irradiation, detection methods

\*Yazışmalardan sorumlu yazar / *Corresponding author*;

✉ vasfiye.basbayraktar@taek.gov.tr, ☎ (+90) 312 815 4307 📠 (+90) 312 810 1735

## GİRİŞ

Gıda ışınlama işlemi, fiziksel bir gıda muhafaza yöntemi olup, gıdalardaki mikroorganizma yükünün azaltılarak uzun süre muhafazasına yönelik belirli dozlarda iyonlaştırıcı radyasyona tabi tutulmasıdır. Gıda sektöründe ışınlama işlemi, teknolojik amacına ve uygulanan doza göre radyasyon pastörizasyonu ve radyasyon sterilizasyonu olmak üzere ikiye ayrılır. Pastörizasyon amaçlı ışınlamada gıdaya 1-10 kilogray (kGy) arasında doz uygulanarak bozulma etmeni mikroorganizmaların sayısı azaltılarak ürünün raf ömrü uzatılır ve patojen mikroorganizmalar elimine edilir; sterilizasyon amaçlı uygulamalarda ise radyasyona dirençli bakteri sporlarının kontrolü amaçlanmaktadır. Bağışıklık sistemi zarar görmüş hastaların diyetlerinde ve astronotlar için üretilen uzay gıdalarında uygulanır. Gıda ve Tarım Örgütü (FAO), Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu (IAEA) ve Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) oluşturduğu Ortak Ekspertler Komitesi, Kodeks Alimentarius Komisyonu (CAC), Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi (FDA), Kanada Sağlık Dairesi ve Avrupa Birliği Gıda Bilimsel Komitesi gıdaların ışınlanmasında kullanılacak maksimum 10 kGy ışınlama dozunun hiçbir biyolojik, kimyasal ve toksik etkisinin olmadığını açıklamıştır. Bugün dünyada 55'den fazla ülke bu teknolojiyi benimsemiştir ve 68 kadar ışınlama tesisinde yaklaşık olarak 100 çeşit gıda ışınlanmaktadır (1-5).

Gıda ışınlama işleminin ticari olarak uygulanması, ışınlanmış gıdaların uluslararası ticaret hacminin büyümesi, birçok ülkede bu teknolojinin kullanılması ile ilgili düzenlemelerin farklı olması ve tüketicilerin ışınlanmış gıdaların işaretlenmesi konusundaki talepleri ışınlanmış gıdaların teşhisini önemli hale getirmiştir. 1996 yılında Avrupa Birliği Standardizasyon Komitesi (CEN) ışınlama işlemine maruz bırakılmış gıdaların tespiti için 5 standardı kabul etmiştir (EN-1784, EN-1785, EN-1786, EN-1787 ve EN-1788) ve 2004 yılına kadar 5 yeni metot daha CEN tarafından onaylanmıştır (EN-13783, EN-1384, EN-14596, EN-13708 ve EN-13751). Türkiye'de ise Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, Sağlık Bakanlığı ve Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) tarafından hazırlanan "Gıda Işınlama Yönetmeliği" 6 Kasım 1999 tarih ve 23868 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir (6). Bu yönetmeliğe göre

ışınlanmış gıdaların tespiti ve ışınlama doz tespiti uluslararası kabul görmüş analiz metotlarına göre TAEK laboratuvarlarında veya TAEK, Tarım ve Köyişleri Bakanlığı ve Sağlık Bakanlığı'nın müştereken belirleyeceği laboratuvarlarda yapılabilir. TAEK'de yönetmelik hükümleri gereği ışınlanmış gıdaların tespiti için çeşitli çalışmalar yapmış ve bu amaç doğrultusunda bazı teşhis yöntemlerini hayata geçirmiştir. Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (SANAEM) Uygulama Bölümü Gıda Birimi ve Teknoloji Bölümü Dozimetri Birimi laboratuvarlarında ışınlanmış gıdaların tespiti DNA Komet Deneyi (TS EN 13784:2004), Doğrudan Epifloresans Filtre Tekniği/Aerobik Plaka Sayımı (DEFT/APC) Yöntemi (TS EN 13783), Gaz Kromatografik/Kütle Spektroskopik Analiz Yöntemi, (TS EN 1785:1996), Termoluminesans (TL) Yöntemi (TS EN 1788:2007) ve Elektron Spin Rezonans (ESR) Spektroskopisi kullanılarak (kemik içeren gıdalar TS EN 1786:1998, selüloz içeren gıdalar TS EN 1787:2005 ve şeker içeren gıdalar TS EN 13708:2004) yapılmaktadır. TAEK'da yapılan bu analizlerden "ESR ile Selüloz İçeren Işınlanmış Gıdaların Tespiti" ve "DNA Komet Deneyi ile Işınlanmış Gıda Maddelerinin Belirlenmesi" analizleri 2009 yılı Mayıs ayında Türk Akreditasyon Kurumu tarafından akredite edilmiştir.

Işınlama işlemi diğer prosesler gibi gıdalarda bazı değişikliklere neden olur. Bu değişiklikler ışınlama işlemine maruz kalan gıdaya ve ışınlama dozuna bağlıdır. Işınlanmış gıdaların tespiti için geliştirilen metotlar, ışınlama esnasında gıdalarda oluşan fiziksel, kimyasal, biyolojik ve mikrobiyolojik değişikliklerin saptanmasına dayanmaktadır. Ancak ışınlanmış gıdaların tespitinde karşılaşılan en önemli sorun, ışınlama sonrası oluşan değişikliklerin tespit edilemeyecek kadar az olabilmesi ve/veya ışınlamaya özgü olmamasıdır.

### Fiziksel Yöntemler

Fiziksel metotlar ile gıdaya uygulanan radyasyon sonucu gıda örneklerinde oluşan serbest radikallerin vermiş oldukları ESR sinyalleri ile gıda örneklerine yapılmış inorganik yapıdaki toz örneklerde (silikatlarda) tuzaklanmış olan elektronların verdikleri TL sinyalleri incelenerek teşhis yapılır.

#### Elektron Spin Rezonans Yöntemi (ESR)

ESR spektroskopisi ile, iyonlaştırıcı radyasyon uygulaması sonucunda gıda maddelerinde

oluşan paramagnetik merkezlerin (serbest radikallerin) tespiti yapılır. Ancak, su oranı yüksek gıdaların ışınlanmasında suyun radyolizi sonucu oluşan radikaller kararsız olmaları sebebiyle kısa ömürlüdürler ve tespit edilemezler. Buna karşın gıdaların sert matrikslerinde (tohum, kabuk ve kemik gibi) oluşan radikaller kararlı olup, oda sıcaklığında ESR tarafından belirlenebilir. ESR spektrumundaki sinyal şiddeti, ışınlama ile gıda örneğinde oluşan serbest radikallerin sayısı ile orantılıdır bu da soğurulan ışınlama dozuna bağlıdır. ESR spektroskopisi kullanılarak içerikleri açısından 3 farklı gıda grubunun ışınlanıp ışınlanmadığı tespit edilebilmektedir.

a) Kemik içeren ışınlanmış gıdaların ESR ile saptanması: ESR ile iyonlaştırıcı radyasyonun et, tavuk ve balık gibi kemik içeren gıdaların katı bileşenlerinde oluşturduğu radikaller saptanabilir (7-11). Tespit işleminin sınırları ve kararlılığı, numune içinde bulunan kemiklerdeki hidroksiapatit mineral içeriği ile bu mineralin mineralizasyon seviyesinden etkilenmektedir. Bu yöntem laboratuvarlar arası denemelerle başarı ile test edilmiş, CEN ve TSE tarafından ışınlanmış kemik ihtiva eden gıdaların belirlenmesinde standart bir yöntem olarak kabul edilmiştir (12, 13).

b) Selüloz içeren ışınlanmış gıdaların ESR ile saptanması: ESR spektroskopisi selüloz içeren kurutulmuş veya taze meyve ve sebzelerde, baharat, şifalı bitkiler ve çay gibi gıdalarda ışınlama işleminin tespitinde başarıyla uygulanmıştır (14-21). Tespit sınırı ve kararlılığı örneğin kristal selüloz ve rutubet içeriği gibi faktörlerden etkilenmektedir. Örneklerdeki selüloz radikallerinin kararlılığı ürünlerin raf ömründen daha kısa olabilir. Bu metot CEN ve TSE tarafından selüloz içeren ışınlanmış gıdaların belirlenmesi için standart metot olarak kabul edilmiştir (22, 23).

c) Kristal şeker içeren ışınlanmış gıdaların ESR ile saptanması: İyonlaştırıcı radyasyona tutulmuş kristal şeker içeren (kurutulmuş papaya, karpuz, kiraz, incir gibi) gıdalar ESR tekniği kullanılarak saptanabilir (24-26). Yöntemin en düşük gözlemlenebilir sınırı çoğunlukla örnekteki şekerin kristalleşme özelliğine bağlıdır. Bu yöntem kristal şeker içeren gıdaların ışınlanıp ışınlanmadığının belirlenmesinde hem CEN hem TSE tarafından önerilen standart bir metottur (27, 28).

### Lüminesans Spektroskopisi

İyonlaştırıcı radyasyon bir maddeden geçerken bu madde tarafından soğurulan enerji maddenin kristal yapısında depolanır. Maddede depolanan bu enerji çeşitli yöntemler kullanılarak açığa çıkarılır ve serbest kalan bu enerji ışık yayılması şeklinde görülür. Bu olaya lüminesans denir. Depolanan enerjinin salıverilmesi, madde ısıtılarak sağlanıyorsa termolüminesans veya fotonların soğurulması ile sağlanıyorsa fotolüminesans olarak isimlendirilir.

a) Termolüminesans (TL): Işınlamanın etkisi ile, gıda örneklerine bulaşan (yapışan) silikat minerallerinin kristal örgü yapılarında depolanan enerji, bu minerallerin kontrollü ısıtılması ile Termolüminesans ışıması olarak açığa çıkarılır ve bu ışımalar ısıtma sıcaklığının fonksiyonu olarak çizdirilir. Işınlanmış örneklerden toplanan silikat minerallerinden elde edilen TL ışınma eğrilerinin şiddeti ışınlanmamış örneklerden toplananlara göre daha fazladır. Bu yöntem baharat ve bunların karışımlarında, şifalı bitkilerde, kabuklu deniz ürünleri, buğday, pirinç, nohut ve mısırdaki başarıyla uygulanmıştır (29-35). Toprak ve rüzgâra maruz kalan bütün gıda maddeleri üzerinde daima mineral kalıntıları bulunabileceğinden bütün tarımsal ürünler TL ile analiz için uygundur. Yöntemin tespit sınır değerleri ve kararlılığı her bir numuneden toplanabilen mineral miktarlarına, tiplerine ve analiz için seçilen ısıtma sıcaklığı aralıklarına bağlıdır. Yöntem CEN ve TSE tarafından silikat minerallerin ayrılabilirdiği gıdalarda ışınlama işleminin belirlenmesinde kullanılabilecek standart bir metot olarak benimsenmiştir (36, 37).

b) Işıklı Uyarılmış Lüminesans (PSL): PSL ölçümünde sistem ışınlanmış maddede depolanan enerjinin, madde ışıkla uyarıldığı zaman optik radyasyon olarak geri yayılmasıdır. Lüminesans yöntemlerinin sahip olduğu hassasiyete ve özgünlüğe sahiptir. PSL yöntemi ilke olarak özellikle silikat mineral ve hidroksiapatit gibi biyoinorganik materyalleri içeren her gıdaya uygulanabilir. Şifalı bitkiler, baharat, yumurta ve doğal tuz örneklerinde uygulanmıştır (32, 38-42). Örneğin metoda hassasiyeti numunenin içerdiği mineralin çeşidine ve miktarına bağlıdır. Yöntem, ışınlanmış gıdaların belirlenmesinde bir eleme metodu olarak CEN ve TSE tarafından kabul edilmiştir ancak sonucun standart bir yöntem kullanılarak doğrulanması gereklidir (43, 44).

### **Kimyasal Yöntemler**

Işınlanmış gıdaların tespitinde kullanılan kimyasal yöntemler ışınlama esnasında gıdaların kimyasal yapısında oluşan değişikliklerin tespitine yöneliktir.

Yağlarda oluşan değişikliklerin tespiti

Katı yağ içeren gıdalara iyonlaştırıcı radyasyon uygulandığında yağ asitlerinin karbonil grubuna yakın  $\alpha$  veya  $\beta$  kırılmanın sonucunda ışınlama işleminin tipik ürünleri olan hidrokarbonlar oluşur. Işınlanmış gıdalarda oluşan hidrokarbonların miktarı gıdanın içerdiği yağ miktarına ve yağ asidi kompozisyonuna bağlıdır. İyonlaştırıcı radyasyon uygulaması sonucu oluşan hidrokarbonların belirlenmesi için öncelikle yağın gıdadan alınması ve bu yağdan da hidrokarbonların ayrılması gerekir. Daha sonra gaz kromatografisi ile hidrokarbonlar tespit edilir. Bu yöntem katı yağ içeren ışınlanmış gıdaların belirlenmesinde CEN ve TSE tarafından standart bir yöntem olarak kabul edilmiştir (45, 46). Bu metodu sınırlayan faktörler katı yağ içeriğinde düşük oranda bulunan yağ asitlerinden az miktarlarda hidrokarbonların oluşması ve düşük ışınlama dozlarında oluşan hidrokarbonların teşhis limitlerinin altında kalabilmesidir. Işınlanmış katı yağ içeren gıdaları belirlemek için kullanılan bir diğer yöntemde ışınlama işlemi sonucunda yağ asitlerinden oluşan ışınlamaya özgü bileşenler olan 2-alkilsiklobütanların (2-ACB) gaz kromatografik/kütle spektrometrik analizi yöntemi ile tespitidir. Işınlama ile trigliseritlerdeki açıl-oksijen bağı kopar ve ana yağ asidi ile aynı sayıda karbon içeren 2-ACB oluşur. Eğer ürünün yağ asidi kompozisyonu biliniyorsa oluşan 2-ACB tahmin etmek de mümkündür. Gıdadan alınan yağdan ekstrakte edilen 2-ACB'ler daha sonra gaz kromatografisinde ayrıştırılır ve kütle spektrometresinde tespit edilir. Metot CEN ve TSE tarafından katı yağ içeren gıdaların ışınlandığının belirlenmesinde kullanılacak yöntem olarak kabul edilmiştir (47, 48). Yöntemler kurutulmuş balık, yumurta, tavuk eti, peynir, dilimlenmiş jambon, domuz eti, soğutulmuş sığır eti, köfte ve sosis gibi örneklerde başarıyla uygulanmıştır (49-60).

### **DNA Yöntemleri**

İyonlaştırıcı radyasyonun hücredeki hedefi DNA'dır. Mikroorganizmaların inaktivasyonu, çoğalmalarının ve/veya büyümelerinin engellenmesi radyasyonun

DNA üzerinde oluşturduğu hasarlardan kaynaklanmaktadır.

DNA comet assay

İyonlaştırıcı radyasyonun doğrudan veya dolaylı etkisi ile DNA'nın zincirlerinden birinde veya ikisinde kopmalar, DNA'nın bazlarında kayıp veya zarar ve DNA'nın kendi içinde veya proteinlerle çapraz bağlar oluşabilir. Bu yöntemde lam üzerindeki agaroz içine yerleştirilen hücre veya çekirdeklerin membranları deterjan kullanılarak parçalanır ve ayarlanan gerilim ile belirli bir süre elektroforez uygulanır. Hasar görmüş DNA parçaları anoda doğru hareket ederek çekirdekten uzaklaşır ve bir kuyruklu yıldız görüntüsü verir. Gıdaya uygulanan doz ile kuyruk uzunluğu arasında doğrusal bir ilişki vardır. Komet Assay yöntemi CEN ve TSE tarafından ışınlanmış gıdaların tespitinde kullanılacak bir eleme metodu olarak kabul edilmiştir (61, 62). DNA Komet deneyi, prensipte DNA içeren tüm gıdaların ışınlanıp ışınlanmadığının belirlenmesinde kullanılabilir ve birçok gıdaya başarıyla uygulanmıştır (63, 64). Ancak, hücre süspansiyonlarının hazırlanmasında, uygun hücrelerin elde edilmesinde, düşük dozda ışınlanan gıdalarda ve daha önce işlem görmüş ürünlerde güçlüklerle karşılaşmıştır (3, 65-68). EN TSE 13784'de de belirtildiği gibi bu yöntem ışınlanmış gıdaların tespitinde kullanılan bir eleme yöntemidir ve elde edilen sonuçların ışınlanmış gıdaların teşhisinde standartlaşmış başka bir teknik ile doğrulanması gerekmektedir. Çünkü, gıdalarda DNA'nın parçalanmasına sadece iyonlaştırıcı radyasyon değil gıdaya uygulanan kimyasal ve/veya fiziksel işlemler ve doğal enzimatik DNA bozulması da neden olabilir.

### **Biyolojik Metotlar**

Işınlama işleminin gıdanın biyolojik özelliklerinde neden olduğu değişiklikleri temel alan tespit yöntemleridir.

DEFT/APC metodu: Işınlanmış otların ve baharatın tespiti için kullanılan, CEN ve TSE tarafından bir eleme yöntemi olarak kabul edilmiş bir metottur (69, 70). Bu yöntemde direkt epifloresan filtre tekniği (DEFT) ve aerobik plaka sayımı (APC) tekniği birlikte kullanılır. DEFT tekniği kullanılarak elde edilen sayının APC'de sayılan mikroorganizma sayısı ile karşılaştırılması ilkesine dayanır. Işınlanmamış örnekler için DEFT sayısı ile

APC'den elde edilen sayı birbirine yakındır. Eğer APC sayısı DEFT'den elde edilen sayıdan küçük ise örneğin ışınlanmış olabileceği kabul edilir. Fakat bu yöntemin çok az sayıda mikroorganizma içeren ( $APC < 10^3$  kob/g) örneklerde, fumigasyon veya ısı işlem görmüş gıdalarda ve anti-mikrobiyel aktiviteye sahip bileşenler içeren örnekler uygulanması ile yanlış sonuçlar alınabilir. Işınlama işleminin örneğe uygulandığının kesin olarak ifade edilebilmesi için sonucun standart referans metotlardan biri ile doğrulanması gereklidir. Yöntem şifalı bitkiler, baharat, minimal işlem görmüş sebzeler ve kurutulmuş balık örneklerinde uygulanmıştır (71-73).

Limulus amoebocytelysate/gram negatif bakteri (LAL/GNB) metodu: Işınlama ile gıdanın mikrobiyel popülasyonundaki azalmayı gösteren 2 tekniğin birlikte uygulandığı ve CEN tarafından kabul edilen bir eleme metodudur (74). Bu yöntemde örnekte var olan canlı gram negatif bakteri sayısı ve canlı veya ölü gram negatif bakterilerin endotoksinlerinde bulunan lipopolisakkaritlerin konsantrasyonları belirlenir. İki değer arasındaki farkın büyük olması ışınlama işleminin yapılmış olabileceğinin bir göstergesi olarak değerlendirilir. Ancak gıdanın mikrobiyel yükünün az olması, ürüne dekontaminasyon amaçlı başka gıda muhafaza metotlarının uygulanması, ışınlama sonrası ürünün depolama koşulları veya ürünün anti-mikrobiyel aktiviteye sahip olması bu yöntemin sınırlayıcı faktörleridir. Sonucun standartlaşmış bir metot ile doğrulanması gerekir. Yöntem tavuk eti örneklerinde başarıyla uygulanmıştır (75-77).

### SONUÇ

Işınlanmış gıdaların belirlenmesinde kullanılacak ideal bir yöntem, bütün gıdalara uygulanabilen kolay, hızlı, ucuz olmalı ve doğru sonuç vermelidir. Ancak şu an için her gıdaya uygun tek bir tespit yöntemi bulunamamıştır. Işınlamanın tespiti için uygun yöntemin seçimi gıdaya, ışınlama dozuna, istenen hassasiyet derecesine ve yöntemin maliyetine bağlıdır. Işınlanmış gıdaların tespitinde kullanılan yöntemlerinin geliştirilmesi için ve/veya yeni yöntemlerin bulunması için sürekli araştırmalar yapılmaktadır. Işınlanmış gıdada oluşan kimyasal göstergelerin saptanması için

ELISA kitlerinin geliştirilmesi ışınlanmış gıdaların belirlenmesini çok kolaylaştırabilir. Analitik yöntemlerin birlikte kullanılmasıyla bütün gıdalar için uygulanabilecek tek bir yöntem geliştirilebilir. DNA yöntemleri ve kimyasal yöntemlerin test prosedürlerinin basitleştirilmesi için daha fazla araştırmanın yapılması gerekmektedir. Ayrıca, ışınlanmış gıdaların tespiti için kullanılan düşük maliyetli ESR ve lüminesans cihazlarının geliştirilmesi de çok büyük yarar sağlayacaktır.

### KAYNAKLAR

1. Farkas J, Mohacsi-Farkas C. 2011. History and future of food irradiation. *Trends Food Sci Tech*, 22, 121-126.
2. Stefanova R, Vasilev NV, Spassov SL. 2010. Irradiation of food, current legislation framework, and detection of irradiated foods. *Food Anal Method*, 3, 225-252.
3. Arvanitoyannis IS (ed). 2010. *Irradiation of Commodities: Techniques, Applications, Detection, Legislation, Safety and Consumer Opinion*. Elsevier, USA, 710 p.
4. Kume T, Furuta M, Todoriki S, Uenoyama N, Kobayashi Y. 2009. Status of food irradiation in the world. *Radiat Phys Chem*, 78, 222-226.
5. Chauhan SK, Kumar R, Nadanasabapathy S, Bawa AS. 2009. Detection methods for irradiated foods. *Compr Rev Food Sci F*, 8, 4-16.
6. Anon 1999. Türk Gıda Kodeksi. Gıda Işınlama Yönetmeliği. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı. 6 Aralık 1999 tarih ve 23868 sayılı Resmi Gazete, Ankara.
7. Wong YC, Sin DWM, Yao WY. 2010. Food irradiation and its detection. In: *Handbook of Seafood and Seafood Products Analysis*, Nolle LML, Toldra F (eds), CRC Press, USA, pp. 774-796.
8. Chiaravalle AE, Mangiacotti M, Marchesani G, Vegliante G. 2010. Electron spin resonance (ESR) detection of irradiated fish containing bone (gilthead sea bream, cod, and swordfish). *Vet Res Commun*, 34 (1), 149-152.
9. Steward EM. 2008. Detection of irradiated ingredients. In: *Handbook of Processed Meats and Poultry Analysis*, Nolle LML, Toldra F (eds), CRC Press, USA, pp. 725-745.

10. Atta S, Ahmad T, Zeb A, Nagra SA. 2008. The ESR method to detect the irradiated fish and beef bones. *J Chem Soc Pak*, 30 (5), 708-711.
11. Goulas AE, Stahl M, Riganakos KA. 2008. Effect of various parameters on detection of irradiated fish and oregano using the ESR and PSL methods. *Food Control*, 19, 1076-1085.
12. Anon 1996. Foodstuffs – detection of irradiated food – containing bone, method by ESR –spectroscopy. EN 1786 European Committee for Standardization, Brussels.
13. Anon 1998. Gıda maddeleri – ışınlanmış, kemik ihtiva eden gıdaların tespiti – ESR spektroskopisi metodu. TS EN 1786 Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
14. Li W, Ha Y, Zhao Y, Zhang Y. 2010. Quantitative Detection of Absorbed Dose of Irradiated Dried Fruit by ESR Spectroscopy Method. [http://en.cnki.com.cn/Article\\_en](http://en.cnki.com.cn/Article_en) (Erişim tarihi 26.08.2011).
15. Tepe-Çam S, Engin B. 2010. Identification of irradiated sage tea (*Salvia officinalis* L.) by ESR spectroscopy. *Radiat Phys Chem*, 79, 540–544.
16. Kikuchi M, Hussain MS, Morishita N, Ukai M, Kobayashi Y, Shimoyama Y. 2010. ESR study of free radicals in mango. *Spectrochimica Acta Part A*, 75, 310–313.
17. Aleksieva K, Georgieva L, Tzvetkova E, Yordanov ND. 2009. EPR study on tomatoes before and after gamma-irradiation. *Radiat Phys Chem*, 78, 823–825.
18. Yordanov ND, Aleksieva K. 2009. Preparation and applicability of fresh fruit samples for the identification of radiation treatment by EPR. *Radiat Phys Chem*, 78, 213–216.
19. Ukai M, Kameya H, Nakamura H, Shimoyama Y. 2008. An electron spin resonance study of dry vegetables before and after irradiation. *Spectrochimica Acta Part A*, 69, 1417–1422.
20. Polat M, Korkmaz M. 2008. Detection of irradiated black tea (*Camellia sinensis*) and rooibos tea (*Aspalathus linearis*) by ESR spectroscopy. *Food Chem*, 107, 956–961.
21. Shimoyama Y, Ukai M, Nakamura H. 2007. Advanced protocol for the detection of irradiated food by electron spin resonance spectroscopy. *Radiat Phys Chem*, 76, 1837–1839.
22. Anon 2000. Foodstuffs – detection of irradiated food – containing cellulose by ESR spectroscopy. EN 1787 European Committee for Standardization, Brussels.
23. Anon 1998. Gıda maddeleri – selüloz içeren ışınlanmış ESR spektroskopisi ile belirlenmesi. TS EN 1787 Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
24. Arvanitoyannis IS, Stratakos A, Tsarouhas P. 2009. Irradiation applications in vegetables and fruits: a review. *Crit Rev Food Sci*, 49, 427-462.
25. Yordanov ND, Aleksieva K. 2007. EPR study on gamma-irradiated fruits dehydrated via osmosis. *Radiat Phys Chem*, 76, 1084–1086.
26. Yordanov ND, Pachova Z. 2006. Gamma-irradiated dry fruits an example of a wide variety of long-time dependent EPR spectra. *Spectrochimica Acta Part A*, 63, 891–895.
27. Anon 2001. Foodstuffs – detection of irradiated food containing crystalline sugar by ESR spectroscopy. EN 13708 European Committee for Standardization, Brussels.
28. Anon 2002. Gıda maddeleri – kristal şeker içeren gıdaların ışınlanıp ışınlanmadığının ESR spektroskopisi ile belirlenmesi. TS EN 13708 Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
29. Correcher V, Garcia-Guinea J. 2011. Application of the EN 1788 European standard for the control of saffron, pepper and blends. *Food Control*, 22, 173-179.
30. D'Oca MC, Bartolotta A, Cammilleri C, Giuffrida S, Parlato A, Di Stefano V. 2010. A practical and transferable methodology for dose estimation in irradiated spices, based on thermoluminescence dosimetry. *Appl Radia Isotopes*, 68, 639–642.
31. D'Oca MC, Bartolotta A. 2010. The identification of irradiated crustaceans and evaluation of the dose by thermoluminescence: intercomparison between two methods for extracting minerals. *Food Res Int*, 43, 1255–1259.
32. Bortolin E, Boniglia C, Gargiulo R, Onori S. 2009. Herbal materials used in dietary supplements: comparison of luminescence methods for detection of irradiation. *Radiat Phys Chem*, 78, 683–685.
33. Yazıcı AN, Bedir M, Bozkurt H, Bozkurt H. 2008. Thermoluminescence properties of irradiated chickpea and corn. *Nucl Instrum Meth B*, 266, 613–620.

34. Khan HM, Bhatti IA. 2007. Identification of radiation treatment of wheat (*Triticum aestivum. L*) and rice (*Oryza sativa. L*) samples using thermoluminescence of contaminating minerals. *Nucl Sci Tech*, 18 (1): 26-29.
35. Engin B. 2007. Thermoluminescence parameters and kinetics of irradiated inorganic dust collected from black peppers. *Food Control*, 18, 243–250.
36. Anon 2001. Foodstuffs – thermoluminescence detection of irradiated food from which silicate minerals can be isolated. EN 1788 European Committee for Standardization, Brussels.
37. Anon 1998. Gıda maddeleri – silikat minerallerinin ayrılabilirdiği gıdalarda ışınlanmanın belirlenmesi – termoluminesans yöntemi. TS EN 1788 Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
38. Bortolin E, Onori S. 2009. Verification of imported food upon import for radiation processing: dried herbs, including herbs used in food supplements, and spices by PSL and TL. *Radiat Phys Chem*, 78, 679–681.
39. Bhatti IA, Kim B, Kim M, Lee J, Kim H, Kwon J. 2008. The screening and/or identification of different types of irradiated eggs by analyzing photo-stimulated luminescence and thermoluminescence. *Food Control*, 19, 587-591.
40. Fuochi PG, Alberti A, Bortolin E, Corda U, La Civita S, Onori S. 2008. PSL study of irradiated food: NaCl as possible reference material. *Radiat Meas*, 43, 483 – 486.
41. Todoriki S, Hagiwara S, Saitou K, Ohtsuka H. 2007. Thermoluminescence and photo stimulated luminescence measurements on commercial spices. Report of National Food Research Institute, 71, 91-96.
42. Alberti A, Corda U, Fuochi P, Bortolin, E, Calicchia A, Onor S. 2007. Light-induced fading of the PSL signal from irradiated herbs and spices. *Radiat Phys Chem*, 76, 1455–1458.
43. Anon 2002. Foodstuffs – detection of irradiated food using photostimulated luminescence. EN 13751 European Committee for Standardization, Brussels.
44. Anon 2004. Gıda maddeleri – ışıkla uyarılmış lüminesans kullanılarak ışınlanmış gıdanın belirlenmesi. TS EN 13751 Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
45. Anon 1996. Foodstuffs - detection of irradiated food-containing fat – gas chromatographic analysis of hydrocarbons. EN 1784 European Committee for Standardization, Brussels.
46. Anon 1998. Gıda maddeleri – katı yağ içeren ışınlanmış gıdaların belirlenmesi – hidrokarbonların gaz kromatografik analizi. TS EN 1784 Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
47. Anon 1996. Foodstuffs - detection of irradiated food- containing fat - gas chromatographic/mass spectrometric analysis of 2-alkylcyclobutanones. EN 1785 European Committee for Standardization, Brussels.
48. Anon 1998. Gıda maddeleri – katı yağ içeren ışınlanmış gıdaların belirlenmesi – 2-alkilsiklobütanonların gaz kromatografik/kütle spektrometrik analizi. TS EN 1785 Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
49. Nam KC, Lee EJ, Ahn DU, Kwon JH. 2011. Dose-dependent changes of chemical attributes in irradiated sausages. *Meat Sci*, 8, 184–188.
50. Steward EM. 2011. Detection of irradiated ingredients. In: *Safety Analysis of Foods of Animal Origin*, Nollet LML, Toldra F (eds), CRC Press, USA, pp. 207-228.
51. Li A, Ha Y, Wang F, Li Y. 2010. Detection of hydrocarbons in irradiated chilled beef by HS-SPME–GC–MS and optimization of the method. *J Am Oil Chem Soc*, 87, 731–736.
52. Hijaz FM, Smith JS. 2010. Levels of 2-dodecylcyclobutanone in ground beef patties irradiated by low-energy X-ray and gamma rays. *J Food Sci*, 75 (9), 156-160.
53. Hijaz F, Kumar A, Smith JS. 2010. A rapid direct solvent extraction method for the extraction of 2-dodecylcyclobutanone from irradiated ground beef patties using acetonitrile. *J Food Sci*, 75 (6), 118-122.
54. Blanch GP, Caja M, Flores G, Castillo M. 2009. Identification of 2-dodecylcyclobutanone and linear-alkanes as irradiation markers in sliced dry-cured ham. *Food Chem*, 113, 616–620.
55. D'Oca MC, Bartolotta A, Cammilleri MC, Giuffrida SA, Parlato A, DiNoto AM, Caracappa S. 2009. The gas chromatography/mass spectrometry can be used for dose estimation in irradiated pork. *Radiat Phys Chem*, 78, 687–689.

56. Tewfik I. 2008. A rapid direct solvent extraction method for the extraction of cyclobutanones from irradiated chicken and liquid whole egg. *Int J Food Sci Tech*, 43, 108–113.
57. Tewfik I. 2008. Extraction and identification of cyclobutanones from irradiated cheese employing a rapid direct solvent extraction method. *Int J Food Sci & Nut*, 59 (7-8), 590-598.
58. Zanardi E, Battaglia E, Ghidin S, Conter M, Badian A, Ianieri A. 2007. Evaluation of 2-alkylcyclobutanones in irradiated cured pork products during vacuum-packed storage. *J Agric Food Chem*, 55 (10), 4264–4270.
59. Kwon J, Kausar T, Noh J, Kim D, Byun M, Kim K, Kim K. 2007. The identification of irradiated seasoned filefish (*Thamnaconus modestus*) by different analytical methods. *Radiat Phys Chem*, 76, 1833-1836.
60. Hirotaka O, Masakazu F, Yukio T. 2007. Detection of irradiated meat, fish and their products by measuring 2-alkylcyclobutanones levels after frozen storage. *J Food Hyg Soc Japan*, 48 (6), 203-206.
61. Anon 2001. Foodstuffs – DNA Comet Assay for the detection of irradiated foodstuffs –screening method. EN 13784 European Committee for Standardization, Brussels.
62. Anon 2002. Gıda maddeleri – ışınlanmış gıda maddelerinin belirlenmesi için DNA Komet Deneyi - eleme yöntemi. TS EN 13784 Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
63. Khawar A, Bhatti A, Khan QM, Khan AI, Asi MR, Ali T. 2011. Evaluation of irradiation in foods using DNA Comet Assay. *J Food Sci Technol*, 48(1), 106–109.
64. Khan AA, Khan HM. 2008. DNA Comet Assay: a simple screening technique for identification of some irradiated foods. *J Radioanal Nuc Chem*, 275(2), 337–342.
65. Arvanitoyannis IS, Stratakou A, Mante E. 2009. Impact of irradiation on fish seafood shelf life: a comprehensive review of application and irradiation detection. *Crit Rev Food Sci*, 49, 68-112.
66. Álvarez DLM, Miranda EFP, Carro S, Enr que II, Matos W. 2009. Detection of garlic gamma-irradiated by assay comet. International Nuclear Atlantic Conference - INAC 2009, September 27 to October 2, Rio de Janeiro, Brazil.
67. Verbeek F, Koppen G, Schaecken B, Verschaeve L. 2008. Automated detection of irradiation food with the comet assay. *Radiat Prot Dosim*, 128(4), 421-426.
68. Duarte RC, Mozeika MA, Fanaro GB, Marchioni E, Villavicencio ALCH. 2009. DNA comet assay to identify different freezing temperatures of irradiated liver chicken. International Nuclear Atlantic Conference - INAC 2009, September 27 to October 2, Rio de Janeiro, Brazil.
69. Anon 2001. Foodstuffs – detection of irradiated food using the direct epifluorescent filter technique /aerobic plate count (DEFT/APC) – screening method. EN 13783 European Committee for Standardization, Brussels.
70. Anon 2002. Gıda maddeleri – doğrudan epifloresans süzme tekniği / aerobik plâka sayımı (DEFT/APC) kullanarak ışınlanmış gıdaların belirlenmesi – eleme yöntemi. TS EN 13783 Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
71. Zhao Y, Li L, Wang Z, Wang C, Ji P, Wang C. 2010. Detection of irradiated food by using direct epifluorescent filter technique/aerobic plate count method (DEFT/APC). [http://en.cnki.com.cn/Article\\_en](http://en.cnki.com.cn/Article_en) (Erişim tarihi 10.08.2011).
72. Araujo MM, Duarte RC, Silva PV, Marchioni E, Villavicencio ALCH. 2009. Application of the microbiological method DEFT/APC to detect minimally processed vegetables treated with gamma radiation. *Radiat Phys Chem*, 78, 691–693.
73. Leth T, Hansen HB, Boisen F. 2006. Comparison of three methods for detection of herbal food supplement irradiation. *Eur Food Res Technol*, 223, 39–43.
74. Anon 2004. Foodstuffs – Microbiological screening for irradiated food using LAL/GNB procedures. EN 14569 European Committee for Standardization, Brussels.
75. Koshikawa T, Matsushima M, Hironiwa T, Miyahara M. 2008. Examination of the experimental conditions in using the LAL/GNB method for judging food irradiation. [http://agris.fao.org/agris\\_search/search/display.do](http://agris.fao.org/agris_search/search/display.do) (Erişim tarihi 05.08.2011).
76. Hu Q, Zou C, Guo L. 2008. A study on screening of irradiated chicken by LAL/GNB. [http://en.cnki.com.cn/Article\\_en](http://en.cnki.com.cn/Article_en) (Erişim tarihi 27.07.2011).
77. Hu Q, Zou C, Guo L. 2009. Limulus Amoebocyte Lysate (LAL) assay coupled with gram negative bacteria (GNB) count for detecting x-ray irradiated chicken. [http://en.cnki.com.cn/Article\\_en](http://en.cnki.com.cn/Article_en) (Erişim tarihi 27.07.2011).