



Bir Gıda Koruma Yöntemi: Işınlama

Nurdan AKAKÇE^{1*}

Fusun N. ÇAM²

Özet

Son yıllarda insanoğlunun güvenilir gıdaya olan ihtiyacı, hiç olmadığı kadar artmıştır. Hızla artan nüfus, çevre kirliliği ve iklim değişikliği, zirai denetim uygulamaları ve hayvansal üretim maliyetleri dünyada gıda elde etmeyi dahası mevcut gıdaları güvenilir tutabilmeyi zorlaştırmıştır. Gıdaların uzun süreli güvenilir ve sağlıklı kalabilmesi için birçok gıda koruma yöntemi uygulanmışsa da ancak radyasyonun keşfinden sonra bu alanda hızlı bir ilerleme kaydedilmiştir. Farklı gıdalarda radyasyonla (ışınlama) hijyen ve muhafaza uygulamaları denenerek aynı zamanda gıdaların besin değerleri de takip edilmiştir. Daha önemlisi, farklı gıdaların korunması için uygulanması gereken ışınlama miktarları titizlikle belirlenmiştir. Ayrıca ışınlamaya bağlı gıdaların besin değerlerindeki kayıplar ve gıda zehirlenmeleri ile ışınlama uygulamalarının maliyetleri üzerine uzun süreli araştırmalar yapılmıştır. Gıda endüstrisinde lokomotif bir sektör olan ışınlama uygulamaları ekonomik katkıları hariç gıda hijyeni ve sağlığı açısından en güvenilir yöntem olması ile tüm dünyada en çok başvurulan yöntemdir. Bu derlemede, gıda koruma yöntemleri içinde önemli bir rolü olan “Işınlama” uygulamasının, mikroorganizmalara, gıda bileşenlerine ve ambalajlama materyallerine etkisi, teknolojik gelişimiyle birlikte gıda güvenliği ve tüketici bakış açısıyla değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Besin, ışınlama, gıda hijyeni, gıda sağlığı

A Food Preservation Method: Irradiation

Abstract

In recent years, the need of human beings for safe food has increased as never before. Rapidly increasing population, environmental pollution and climate change, agricultural control practices and animal production costs have made it difficult to obtain food in the world, and moreover, to keep existing foods reliable. Although many food preservation methods have been applied to ensure food remains safe and healthy for a long time, this work area has made rapid progress since the discovery of radiation. In different foods, radiation (irradiation) hygiene and preservation practices were tried and at the same time the nutritional values of the foods were monitored. More importantly, the amount of irradiation to be applied to protect different foods has been meticulously determined. In addition, long-term researches have also been performed on the nutritional losses in foods and food-poisonings related to the application of irradiation and on its application costs. Irradiation applications, which are the leading sector in the food industry, are the most widely used methods in the world with their economic contributions, being the most reliable method in terms of food hygiene and health. In this review, it is aimed to evaluate the effect of “Irradiation application”, which has an important role in food preservation methods, on microorganisms, food components and packaging materials, food safety and consumer perspective with its technological development.

Key words: Food, irradiation, food hygiene, food health

ORCID ID (Yazar sırasına göre)

0000-0002-3473-1202, 0000-0002-1016-4733

Yayın Kuruluna Geliş Tarihi: 17.09.2019

Kabul Tarihi: 05.11.2019

¹Ege Üniversitesi, EGE MATAI (Ege Üniversitesi Merkezi Araştırma Test ve Analiz/Test Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi), Bornova, İzmir

²Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Bornova, İzmir

*E-mail: nurdanakace@gmail.com

Giriş

Nükleer teknolojinin insanlığın gelişimine katkıları, enerji üretimi ve tıp dışında yeterince tanıtılmamıştır. Nükleer teknoloji sayesinde elde edilen ürünlerin kullanımı, genellikle tüketicinin dikkatini çekmemiştir. Günümüz dünyasında insan ihtiyaçlarının artışı, özellikle nükleer teknolojilerden daha fazla yararlanmayı kaçınılmaz kılmıştır. Dünyada karşılaşılan en önemli sorunlardan bir tanesi de yetersiz beslenme ve açlık sorunudur. 2017 yılı Birleşmiş Milletler raporlarına göre, dünya genelindeki çatışmalar ve iklim değişikliği gibi sebeplerden dünya nüfusunun % 11'i açlık sorunu ile karşı karşıya bulunmaktadır. Bu da dünyada 815 milyon kişinin açlığa mahkûm olduğu ve 155 milyon beş yaş altı çocuğun yetersiz beslenme sebebiyle, yeterince gelişemediği gerçeğini gündemde tutmaktadır (UN News, 2017). Açlık sorunuyla baş etmek için; gıda üretimini arttırmanın yanında, mevcut gıdaların kalitesini ve güvenilirliğini yüksek ölçüde korumak gerekmektedir. Gıda maddelerini koruma işlemleri boyunca kayıpsız taşımak ve muhafaza etmek imkansızdır. Bunun için geleneksel koruma yöntemlerinin dışında yeni yöntemlere, örneğin ışınlama ile koruma teknolojisine başvurulmaktadır (TAEK, 2010). Gıda ışınlamanın amaçları sırasıyla; patojenik olan mikroorganizmaları yok etmek ve patojenik olmayan mikroorganizmaları azaltmak, parazitleri ve enfeksiyonlara sebep olan mikroorganizmaları elimine etmek, küflenmeyi engellenmek, filizlenme, çimlenme ve tomurcuklanmayı önlemek, olgunlaşmayı geciktirmek ve raf ömrünü uzatmaktır. Gıda ışınlama; gıda maddesinin, pozitif ve negatif yükler oluşturabilecek şekilde gama ve X-ışınları veya hızlandırılmış e⁻ demetleri kullanılarak patojenik mikroorganizmaları etkin bir şekilde öldüren veya kontrol eden soğuk bir işlemdir (Webb, 2000; TAEK, 2010). Gıda ışınlama uygulamaları, yaklaşık yüz yıllık bir bilimsel araştırmaya dayanan, teknolojik olarak geliştirilen ve gıda güvenliğinin arttırılması ile ilgili çalışmaların devam ettiği bir sektördür (Molins, 2001).

Gıda Işınlamanın Tarihçesi

Gıda ışınlamanın başlangıcı, 1895'te X ışınlarının keşfi ve radyoaktivitenin bulunmasına kadar dayanır. Ardından radyoaktivitenin canlılar üzerindeki etkilerinin anlaşılmasıyla birlikte bu alanda yeni araştırma konuları ortaya çıkmıştır. 1905 yılında, Appleby ve A.J. Banks tarafından ışınlama yoluyla gıdaların korunup saklanabileceği ile ilgili İngiliz patenti (patent no:1609), Büyük Britanya Patent Ofisi'nden alınmıştır (Diehl, 2002; Farkas ve Moha'csi, 2011; Loaharanu ve Thomas, 2001). 1921'de Schwartz, X ışınlarıyla domuz etindeki *Trichatella spiralis*'in eliminasyonu konusunda araştırma yapmış ve bu çalışmasıyla ABD Patent ve Marka Enstitüsü'nden (UPSTO) patent almıştır. 1923 yılında ise ışınlanmış gıdanın hayvanlara yedirilmesi konusunda ilk deney sonucu yayınlanmıştır. Wüst 1930'da, gıda korunması ve bozulmanın geciktirilmesi için ışınlama yoluyla geliştirdiği metot ile (buluş no: FR701302-1931-03-14) Fransa'dan Uluslararası Endüstriyel Mülkiyet Enstitüsü (INPI) patentini almıştır (Wüst, 1930). ABD Atom Enerjisi Komisyonu, üniversiteler ve gıda endüstrisi, 1940'lardan 1950'lilere kadar geniş çapta araştırmalar yapmıştır (Ehlermann, 2016). 1947 yılında da Brasch ve Humer tarafından, elektronlar kullanılarak çiğ haldeki gıdanın, muhafaza ve sterilizasyonunda elde edilen araştırma raporu yayınlanmıştır. Rusya'da 4 Mart 1958'de, filizlenmeyi önlemek için ışınlanmış patateslerin tüketilmesine, bir yıl sonra da böceklenmenin önlenmesi amacıyla tahılların ışınlanmasına dünyada ilk kez izin verilmiştir (Zakladnoi ve ark., 1982). Bhaskaram ve Sadasivan (1975)'a göre, yetersiz beslenen çocukların bünyesinde, radyasyona maruz bırakılan buğday yüzünden poliploid hücreleri oluşmuş, bu hücrelerin daha da geliştiği rapor edilmiştir. Bu rapor (Federal Kayıt, 1986b) tartışma konusu olduğu için, verilerin büyük bir kısmı, birbiriyle çelişen birkaç farklı ajans tarafından karşılıklı olarak değerlendirilmiştir (Kesavan ve Sukhatame 1976). Işınlanmış gıdaların sağlık testleri, FAO/IAEA/WHO Ekspertler Komitesi uzmanları tarafından geliştirilmiştir. Ayrıca JECFI tarafından

Bir Gıda Koruma Yöntemi: Işınlama

1980’de, 10 kGy doza kadar ışınlanmış gıdaların kullanımında sakınca olmadığı rapor edilmiştir. 130 ülkeyi temsilen Codex Alimentarius Komisyonu 1983’te, dünya gıda ışınlama standartlarını kabul ettiğini duyurmuş, FDA ise 1986’da 10 kGy doza kadar uygulamalarda ışınlanmanın uygun olduğunu ve bu dozla gıdaların bozulmasının geciktirildiğini, böceklerden arındırılabilirdiğini ilan etmiştir (FDA, 1986).

Türkiye’de ise 1967 yılında İskenderun’da, endüstriyel alanda ilk tahıl ışınlama tesisi kurulmuştur (TAEK, 2010). Bu tesis aynı zamanda dünyada da bir ilktir. Fakat muhalif görüşler yüzünden 1 yıl sonra tesis yurtdışına taşınmıştır. Türkiye Atom Enerji Kurumu, 1970’li yıllardan beri konuyla ilgili deneysel çalışmaları yürütmektedir. Kurumun bünyesinde 1992 yılında, Sarayköy – Ankara’da Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA) ve Birleşmiş Milletler Gelişme Programının (UNDP) desteği alınarak ilk ışınlama tesisi kurulmuştur. Tekirdağ – Çerkezköy Organize Sanayi Bölgesi’nde 1994 yılında özel sektöre ait bir ışınlama tesisi kurulmuş ve Gıda Işınlama Yönetmeliği de 03.11.1999 tarihinde yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Yönetmeliğin 01.01.2017 düzenlemesinde yer alan 8. Maddesi c bendinde, ‘‘Işınlama işlemi öncesinde, işlem sırasında ve sonrasında 17.12.2011 tarihli ve 28145 sayılı Resmî Gazetede yayımlanan Gıda Hijyeni Yönetmeliğinde belirtilen genel hijyen kurallarına uyulur’’ denilmekte ve ülkemizde TAEK tarafından, gıda ışınlama tesislerinin denetiminin yapılması zorunlu tutulmuştur. Ayrıca 3 Ekim 2019’da yapılan son düzenleme ile gıda ışınlama sembolü ‘‘Radura’’nın temel görüş alanında kolayca görülebilir şekilde etiket üzerinde bulundurulması zorunlu hale getirilmiştir. Dünya’da 60’dan fazla ülkede yasal olarak gıda ışınlaması yapılarak, güvenli besin ihtiyacı giderilmektedir. Avrupa Birliği’ne üye ülkelerin ışınlanmış gıdaları ihraç edebilmeleri için, Avrupa Komisyonu’nun 1999/2/EC Direktifine göre ışınlama tesislerinin, Avrupa Birliği tarafından onaylanması gereklidir. Özel sektöre ait ışınlama tesislerine 7.10.2004’te Avrupa

Komisyonu onay vermiştir (EC, 2004). Özellikle 1996’dan sonra Amerika’da ışınlama çok önemli bir işlem olarak kabul edilmiş ve bunun takibi yapılmaya başlanmıştır. 2002 yılında, dünyada yaklaşık 90 000 ton gıda ışınlama kapasitesine ulaşılmış (Rubio, 2003), 2005 yılına gelindiğinde; baharat ve kurutulmuş sebzeler 186 000 ton ile % 46, hububat ve meyve 82 000 ton ile % 20, et ve deniz ürünü 33 000 ton ile % 8, sarımsak ve patates 88 000 ton ile % 22 ve diğer ürünler 17 000 ton % 4 seviyesinde ışınlanmış gıda uygulaması yapılmıştır (Kume ve ark., 2009). Günümüzde uzayda tüketilen gıdalarla ilgili olarak, NASA hala 44 kGy’de ışınlanmış birkaç ürün kullanmakta ve gelişmiş gıda hijyeni tekniklerini de alternatif olarak değerlendirmektedir (Ehlermann, 2016).

Gıda Işınlamada Kullanılan Yöntemler

Radyoaktif ^{60}Co , X-ışınları ve elektron hızlandırıcıları gelene kadar pratik bir radyasyon kaynağı olarak kabul edilmiştir (Diehl, 1995). ^{60}Co , 1.17 MeV ve 1.33 MeV enerjili iki gama ışını yayar ve kararlı ^{60}Ni elementine dönüşür. Yarılanma ömrü 5.26 yıl olup, yıllık aktivite azalması % 12.3’dür. Maksimum spesifik aktivitesi 50 Ci g⁻¹’dir. ^{60}Co suda çözünmez. Gama ışınlarının maddeye geçiciliği dolayısıyla tercih edilir (TAEK, 2004).

^{137}Cs düşük maliyetli bir izotoptur. Fakat ^{137}Cs çubuklarının sayısı fazla olmadığı için gıda ışınlamada tercih edilmemektedir (Kohli, 2018). Bu tür kaynaklar en yaygın A.B.D.’de kullanılmaktadır. ^{137}Cs kaynağı 0,6 MeV enerjili gama ışını yayar. Yarılanma ömrü 30.2 yıl olup spesifik aktivitesi 3,2 Bq g⁻¹’dir (Bu ve ark., 2015). Bu kaynak kullanılırken dikkatli olunmalıdır. Çünkü teknoloji ve emniyet açısından riskleri vardır. Fakat, ^{137}Cs çubuklarının gıda ışınlamasında daha etkin kullanılabilmesi için fizibilite çalışmasına Hindistan’da başlanmıştır (George, 2018).

Ayrıca X-ışınları ve hızlandırılmış elektronlar da gıda ışınlamada son dönem tercih edilen kaynaklar olup, ^{60}Co kaynak sıkıntısı baş gösterince ve ^{137}Cs kaynak sızıntısı riski

Bir Gıda Koruma Yöntemi: Işınlama

ortaya çıkınca daha çok gündeme gelmiştir (Kohli, 2018). Hızlandırılmış elektronlar yüksek verim kapasitesine sahiptir. Buna rağmen, ışınlanacak ürünün paket boyutları ve kalınlığının azaltılması gerekebilmektedir. Elektron hızlandırıcıları, cihazın içinde üretildiği ve kalın bir zırhlaması olduğu için çevreye radyasyon yaymaz. Elektronlarla düşük doz radyasyon uygulaması, gıda korumadaki en önemli yöntemlerden biridir. Gıdalardaki mikrobiyel yük, elektron ışınlamasıyla ucuz ve çevre dostu bir teknolojiyle bertaraf edilmiş olmaktadır (Lung ve ark., 2015). X-ışınlarının maddeye giriciliği, ⁶⁰Co'a yakın olduğu için X-ışınlarıyla işlem gören ürün çeşidi çoktur (Marisson, 1989).

Gıda Işınlamada Kullanılan Doz Oranları

Bir maddenin bir ölçüm sistemi cinsinden belli bir zaman içerisinde kullanılan veya tüketilen belli bir miktarına 'doz' denir. Radyasyon dozu ise hedef kütle tarafından, belli bir sürede, soğurulan veya alınan radyasyon miktarıdır.

Aktivite, birim zamandaki radyoaktif bozunma miktarını göstermektedir. Radyoaktivite biriminin şiddeti Curie (Ci)'dir. Daha genel bir tanımla ifade edilirse;
1 Curie= 3.7 x 10¹⁰ bozunma s⁻¹

Bq ise saniyede her parçalanma gösteren bir radyoaktif maddenin aktivitesi olarak SI birim sisteminde tanımlanmıştır.

1 Ci = 3.7 10⁹ Bq
1 Bq= 2.703 x 10⁻¹¹ Ci ifadeleri verilebilir (L'Annunziata, 2012).

Rad, bir kg maddeye 10⁻² Joule enerji veren radyasyon miktarıdır. Ortamdan bağımsızdır. 1 Gray (Gy) ise SI birim sisteminde 1 kg maddeye 1 Joule enerji veren radyasyon miktarıdır.
1 Gy= 100 Rad'dır.

Biyolojik dozun geleneksel birimi "Roentgen Equivalent of Man" sözcüklerinin baş harflerinden oluşmuş "Rem" dir. 1 Roentgenlik X ışınının veya çekirdekte gelen ışının meydana getirdiği biyolojik etkiyi oluşturan herhangi bir radyasyon miktarıdır.

1 Rem = 10⁻² Sv'dir (L'Annunziata, 2012).

Uluslararası Radyasyon Birimleri Komisyonu soğurulan doz için Rad, ışınlama için Roentgen, aktivite için Curie, doz eşdeğeri için ise Rem'i tanımlamıştır. SI birim sisteminde ise yeni karşılıklar bulunmuştur (Çizelge 1).

SI birim sisteminde 1 Sv; 1 Gy'lik X veya gama ışını ile aynı biyolojik etkiyi meydana getiren herhangi bir radyasyon miktarıdır.
Biyolojik Doz (Rem) = Soğurulan Doz (Rad) x Kalite Faktörü

Başlangıçta gıda ışınlama çalışmalarında, mikroorganizmaların inaktivasyonu için iki yöntem uygulanmıştır. Gıdadaki mikroorganizmaların tümünü yok etme işlemine "radyasyonla sterilizasyon" denir. Mikrobiyel popülasyonun bir kısmını yok etmek ve gıdalardaki bozulmayı geciktirmek amacıyla "radyasyonla pastörizasyon" uygulanmıştır. Bu konuda uluslararası uzmanlar 1967'de üç yeni terimi terminolojiye kazandırmıştır (UK Statutory Instrument, 1967).

Radurizasyon

Gıda bozulmasına neden olan mikroorganizmaların veya böcek yükünün azaltılmasını sağlayan, ayrıca gıdanın kalite ve raf ömrünü arttırmak için uygulanan 0.4-10 kGy radyasyon dozudur. Bu uygulama, büyümenin yavaşlatılması, taze ürünün olgunlaştırılmasının geciktirilmesi ve hasat sonrası gelişecek böceklerle zarar vermede etkilidir (Loaharanu ve Thomas, 2001).

Bir Gıda Koruma Yöntemi: Işınlama

Çizelge 1. Özel radyasyon birimleri ve SI birimleri arasındaki ilişki

Büyüklik	Özel Birim	SI Birimi	Dönüşüm
Aktivite	Ci	Bq	1 Ci= 3.7x10 ¹⁰ Bq
Işınlama	R	C/kg	1 R= 2.58 x 10 ⁻⁴ C/kg 1 C/kg = 3.876 x 10 ³ R
Soğurulma	Rad	Gy= J/kg	1 Rad = 10 ⁻² Gy 1 Gy = 100 Rad
Doz Eşdeğeri	Rem	Sv= J/kg	1 Rem = 10 ⁻² Sv 1 Sv = 100 Rem

Radisidasyon

Gereksinim duyulan ışınlama doz aralığı 2-8 kGy'dir. Gıdalarda, virüslerin dışında kalan mikroorganizmaların spor oluşturmeyen patojenlerinin ve parazitlerin sayısını azaltmak için, gerekli radyasyon dozunun uygulanması işlemidir. 0.1-1 kGy civarındaki doz ile etteki trişin ve tenyanın öldürülmesi için uygundur. Ayhan (1993)'a göre 2.5 kGy ve üzeri doz uygulamaları, başta et ürünleri olmak üzere çeşitli besin maddelerindeki patojenik bakterilerin vegetatif formlarını yok eder veya azaltır. Radisidasyon seviyesinin üstündeki doz uygulamaları, gıda zehirlenmesinde risk oluşturmaya başlar (Loaharanu ve Thomas, 2001).

Radappertizasyon

Gıdalarda bulunan mikroorganizmaların neredeyse tamamını öldürmek için yeterli

dozun uygulanması işlemidir. Gereksinim dozu 25-70 kGy'dir. Radappertizasyon ile dirençli bakteri ve sporların yok edilmesi söz konusudur. Radisidasyon ile kastedilen pastörizasyon, radappertizasyon ile kastedilen ise konservecilikteki ticari sterilizasyondur (Josephson, 1977). Yasal düzenlemelerle, gıda ışınlamada genel olarak ya 10 kGy' i aşmayan doz ya da her bir özel gıda için izinli doz kullanılır. Kabul edilir limitler ise, farklı yiyeceklerin ya da aynı olsa bile farklı coğrafyalardan gelen yiyeceklerin toleransına uygun seçilir. Bu limitler asla ortalama absorblama dozunun (10 kGy'e kadar güvenli ve yasal limit) aşmaz. Özel izinler (lisans) özel gıdalara radyasyon uygulanması için çıkarılır. Hükümetler bu limitleri denetler (Camcigil, 1991). Gıda Işınlama Yönetmeliğine göre ışınlama sınırları Çizelge 2'de özetlenmiştir.

Bir Gıda Koruma Yöntemi: Işınlama

Çizelge 2. Gıda Işınlama Sınırları

GIDA GRUBU	AMAÇ	Maksimum Genel Ortalama Soğurulan Doz (kGy)
Soğanlar, kökler ve yumrular	Depolama sırasında filizlenme, çimlenme ve olgunlaşmanın önlenmesi	0.2
Taze meyve ve sebzeler	a) Olgunlaşmanın geciktirilmesi	1.0
	b) Böceklenmenin önlenmesi	1.0
	c) Raf ömrününün uzatılması	2.5
	d) Karantina kontrolü	1.0
Hububat, öğütülmüş hububat ürünleri, kabuklu yemişler, yağlı tohumlar, baklagiller ve kurutulmuş meyveler	a) Böceklenmenin önlenmesi	1.0
	b) Bozulmaya neden olan mikroorganizmaların yok edilmesi	5.0
	c) Raf ömrününün uzatılması	5.0
Çiğ balık, kabuklu deniz hayvanları ve bunların ürünleri (taze veya dondurulmuş), dondurulmuş kurbağa bacağı	a) Patojen mikroorganizmaların yok edilmesi	5.0
	b) Raf ömrününün uzatılması	3.0
	c) Paraziter enfeksiyonların kontrolü	2.0
Kanatlı, kırmızı et ile bunların ürünleri (çiğ veya dondurulmuş)	a) Patojen mikroorganizmaların yok edilmesi	7.0
	b) Raf ömrününün uzatılması	3.0
	c) Paraziter enfeksiyonların kontrolü	3.0
Kurutulmuş sebzeler, baharatlar, kuru aromatik bitkiler, otlar, çeşniler ve bitkisel çaylar	a) Patojen mikroorganizmaların yok edilmesi	10.0
	b) Böceklenmenin önlenmesi	1.0
Hayvansal orijinli kurutulmuş gıdalar	a) Böceklenmenin önlenmesi	1.0
	b) Küflerin kontrolü	3.0

İyonize Işınlamaların Mikroorganizmalar ve Gıda Bileşenleri Üzerine Etkileri

Gıda ışınlamada en önemli amaç, gıda hijyeninin iyileştirilmesini ve gıda kayıplarının azaltılmasını sağlamaktır. Bu işlem sonrasında radyasyonun canlı organizmalar üzerine etkileri önemli bir yer tutar. Bu konuda şu sorular ortaya çıkmıştır: “Radyasyon bir hücreyi nasıl etkiler?” “Işınlanmış gıdaların hücrelerinde meydana gelen toksik maddeler, ‘radyotoksinlere’

sebepler olur mu?” “Radyasyon doğrudan hücre membranlarında hasar oluşturur mu?” Bugün iyonize radyasyonun kromozomları ve genetik şifre taşıyıcısı olan DNA’ları hedef aldığı kabul edilmektedir. İyonize radyasyon mikroorganizmalardaki makro ve mikro moleküller üzerine etki ederek çeşitli kimyasal değişikliklere yol açarlar. Işınlanan maddelerde iyonlar ve serbest radikaller oluşur. Işınlanmış gıdalarda oluşan serbest radikaller 10^{-3} s’den daha kısa ömre

Bir Gıda Koruma Yöntemi: Işınlama

sahiptirler (Hall ve ark., 1963). Işınlama ile meydana gelen bozukluklar ve hasarlar doğrudan ve dolaylı etki olmak üzere iki türdür. Doğrudan etkide, ışınlamayla ortaya çıkan enerji, biyolojik meteryal veya molekül tarafından absorbe edilir. Bu da etkilenen materyalin biyolojik fonksiyonlarını değiştirir veya yok eder. Hücrede bölünme ve gelişme ile ilgili genetik bilgileri taşıyan DNA molekülleri doğrudan etki ile birlikte, hücrenin ölümüne ve ciddi değişikliklere uğramasına neden olur. Işınlanan enerji miktarı arttıkça etkilenmede artar. Dolaylı etki ise, ışınlanan ortamda bulunan serbest radikallerin (H[•], OH[•], e^{-su}) etkilenmesiyle meydana gelmektedir. Biyolojik sistemlerde suyun fazla olması, iyonize ışınların su radikallerini oluşturmasına yol açar. OH[•] radikalleri çok kuvvetli oksidandır ve DNA üzerinde zedelenmelere neden olur. Oksijen ve nitroaromatik parçacıkların hücrede radyasyon duyarlılığını arttırdığı bilinmektedir (Buchko ve Weinfeld, 1993). DNA'daki değişikliklerin temel modifikasyonu, tek ve çift bağların oluşturduğu DNA heliksinin bozunmasını kapsar (Deeble ve ark., 1990). Örneğin, gama ışınları hücreye çarptığında, yüksek enerji bırakarak hücre içerisinde bir dizi reaksiyon başlatır. Hücre stoplazmasındaki su moleküllerinin yoğunluğundan dolayı, bu ışınlar suyun radyolize olmasını sağlar. DNA molekülünün Pürin ve Pirimidin bazları ayrıca DNA iskeletindeki şeker-fosfat bağları en büyük hasarı alırken, DNA molekülü üzerinde bulunan hataların pek çoğu tamir edilebilir. DNA içeriği fazla olan organizmalar, görece DNA içeriği az olan organizmalara göre radyasyondan daha fazla zarar görür. DNA içeriği fazla olan organizmaya, “daha radyosensitiftir” diyebiliriz. Ayrıca oksijen, mizanidazol ve diğer nitroaromatiklerin, ışınlanmış hücrelerde DNA iplikçik kırıklarını arttırdığı gösterilmiştir (Dugle ve ark., 1972; Skov ve ark., 1979; Taylor ve ark., 1987; Hentosh, 1988). RNA, moleküler ağırlığının fazlalığı ve bozunmaya daha duyarlı olması sebebiyle, DNA'ya göre çalışılması daha zor bir nükleik asittir (Molins, 2001). Radyasyona duyarlılık tüm canlılarda farklı olduğu için radyosensitiviteyi etkileyen faktörler:

-Organizmanın gelişim evresi
-Işınlamanın yapıldığı sıcaklık
-Radyasyondan koruyucu maddelerinin bulunuşudur.
Örneğin ışınlanmış ve ışınlamamış sarmisakta DNA yapısı PCR metodu ile incelenerek hassasiyetler tespit edilebilmiştir (Eugster ve ark., 2018).

İnaktivasyon Dozu

Ortalama öldürücü doza denir. Radyasyon uygulanan mikroorganizmaların sayısının, üstel olarak azaldığı bilinir. Fakat başlangıçtaki canlı mikroorganizma sayısına göre, sadece % 37 kadar mikroorganizmanın yaşayabilmesi için uygulanan doza “inaktivasyon dozu” denir. D₃₇ ile gösterilir (Erikson ve Szybalski, 1961). Farklı mikroorganizmalarda farklı radyasyon duyarlılığı geliştiği için, D₃₇ değeri canlıya göre farklılık arzeder. % 90 oranında mikroorganizmayı öldüren doz ise “ondalık azalma dozu” (decimal reduction dose) olarak tanımlanır ve D₁₀ ile ifade edilir. Eşitlik 1’le hesaplanır:

$$\log \frac{N}{N_0} = -\frac{1}{D_{10}} D \quad \text{veya}$$
$$D_{10} = \frac{D}{\log N_0 - \log N} \quad (\text{Eşitlik.1})$$

N₀: İlk organizma sayısı

N: Işınlama sonrası mikroorganizma sayısı

D: Uygulanan doz

D₃₇'nin hesaplamasında ise Eşitlik 2 kullanılır (Ayhan, 1993).

$$D_{10} = 2.303 \times D_{37} \quad (\text{Eşitlik.2})$$

Mikroorganizmalara Işınlama Etkisi

Bakteriyel Sporlar

Vejetatif forma sahip bakteriler, spor formları olanlara göre iyonize radyasyona daha duyarlıdır. Çünkü sporlardaki su miktarları, toplam kütleinin % 10'unundan bile daha düşüktür. Ayrıca, sporun koruyucu etkisinden dolayı spor DNA'sı radyasyona daha dirençlidir. Sporun yapısındaki bazı kimyasal maddeler radyasyona direnç sağlar. Örneğin membranda bulunan dipikolinik asit radyasyonun zararlı etkisinden sporu korur. Donmamış hayvansal gıdalardaki bazı bakterilerin radyasyon direnci Çizelge 3'te

Bir Gıda Koruma Yöntemi: Işınlama

verilmiştir (Farkas, 2001).

Çizelge 3. Bazı bakterilerin radyasyona direnç değeri

Bakteri	D ₁₀ Değeri (kGy)
Bitkisel Hücreler	
<i>Aeromonas hydrophila</i>	0.14–0.19
<i>Bacillus cereus</i>	0.17
<i>Brucella abortus</i>	0.34
<i>Campylobacter jejuni</i>	0.08–0.20
<i>Clostridium perfringens</i>	0.59–0.83
<i>Escherichia coli</i> (incl. O157:H7)	0.23–0.35
<i>Lactobacillus spp.</i>	0.3–0.9
<i>Listeria monocytogenes</i>	0.27–1.0
<i>Moraxella phenylpyruvica</i>	0.63–0.83
<i>Pseudomonas putida</i>	0.06–0.11
<i>Salmonella spp.</i>	0.3–0.8
<i>Streptococcus faecalis</i>	0.65–1.0
<i>Staphylococcus aureus</i>	0.26–0.6
<i>Vibrio spp.</i>	0.03–0.12
<i>Yersinia enterocolitica</i>	0.04–0.21
Bakteriyel Sporlar	
<i>Bacillus cereus</i>	1.6
<i>Clostridium botulinum tip A ve B</i>	1.0–3.6
<i>Clostridium botulinum tip E</i>	1.25–1.40
<i>Clostridium sporogenes</i>	1.5–2.2

Yapılan bir çalışmada, çemen, yonca ve mung fasulye tohumlarındaki *E. coli* K12 için D₁₀ değerleri sırasıyla 1.11; 1.21 ve 1.40 kGy bulunmuştur (Xuetong ve ark., 2017).

Virüsler

Çift zincirli virüsler genellikle radyasyona daha az duyarlıdır. Radyasyon virüsün birçok bölgesine özellikle de kapsid üzerine etki eder. Diğer yandan virüsteki birçok protein alt birimlerinin üç boyutlu yapılarına radyasyon zarar verir. Gıda ışınlamada üst limit olan 10 kGy uygulandığında, virüsün bulunduğu ortam koşulları inaktivasyon etkisini değiştirirse de virüslerin % 99'u azaltılmış olur. Yaklaşık olarak, 2 logaritmik döngüden daha fazla yaşamaları mümkün değildir (TAEK, 2004). IAEA' ya göre medikal ürünlerin sterilizasyonu için 25 Gy'lik bir gama radyasyonu yeterliyken, yapılan bir çalışmaya göre, 20-25 Gy'lik bir gama radyasyonu ile insanda immün yetmezliğe sebep olan virüs etkin olarak yok edilememiş ve bu virüse ait DNA'lar da kemik iliğinde tespit edilmiştir (Fideler ve ark., 1994).

Maya ve Küfler

Maya ve küflerin hücre sayısını tespit etmek kolay değildir. Bu yüzden D₁₀ değerlerini belirlerken güçlüklerle karşılaşılır. Birçok maya türü iyonize edici ışınlarla karşı düşük direnç gösterir. 0.1-0.5 kGy arasında değişen D₁₀ değerleri ile en azından 5 kGy'lik dozlar yeterli olur. Bununla birlikte melanize hifleri olan küflerin, bakteriyel sporlara göre yüksek radyasyon direnci olduğu tespit edilmiştir (Saleh ve ark., 1988). Bazı maya türleri ise radyasyona karşı aşırı tolerans gösterebilir. Toksin üreten veya hiç toksin üretmeyen bazı küflerin, ışınlama sonrası toksin ürettikleri tespit edilmiştir. Özellikle küflerde radyasyon direncinde inhibisyonu sağlamak için ışınlama işleminin tekrar tekrar yapılması gerekmektedir (TAEK, 2004).

Parazitler

Birçok parazitik protozonun enfektivitesi, iyonize radyasyon ile azalma eğilimi gösterir. İnsana balıktan, çiğ veya pişmiş kırmızı etten geçen parazitlerin birçoğu ışınlamayla kontrol altına alınabilir. *Toxoplasma gondii*, *Trichinella spiralis*, *Cysticercus bovis* ve *Cysticercus cellulosae* özellikle ışınlamayla

Bir Gıda Koruma Yöntemi: Işınlama

çok iyi kontrol edilebilen parazitlerdir (Thayer, 1990). Parazitlerin ışınlanması için genelde X-ray ve ⁶⁰Co kaynakları kullanılır. Parazitler üzerine radyasyonun olumsuz etkileri geri dönmelidir. Bazı parazitler için ısıtma, dondurma, tuzlama veya fiziksel ve kimyasal işlemleri uygulanarak, kullanılacak olan yüksek radyasyon dozunun düşürülmesi sağlanır (Ayhan, 1993).

Böceklerle Işınlama Etkisi

Radyasyon uygulaması sonucu böceklerde fiziksel olarak deri değiştirme ve başkalaşımda aksamalar, anormal davranışlar, vücut kısımlarının eksik oluşması, küçük yapılı bireyler, üreme gücünde azalma ve ölüm görülür. Gıda ışınlanması, böceklerde belirli türlerin sayısında önemli bir azalmaya neden olur. Işınlama sayesinde böcek ömrünün kısalması ve artan ölüm oranları gözlenir (Sakurai ve ark., 2000). Böceklerde radyasyon ile sterilizasyon, hücrelerin kromozomlarına zarar vererek kromozomal parçalanmalara (baskın ölümcül mutasyonlar, yerdeğiştirmeler) ve diğer dengesiz gametlerin üretimine yol açan kromozomal sapmalar ve daha sonra mitozun engellenmesi ve döllenen yumurta veya embriyoların ölümü şeklinde olur (Dyck ve ark., 2006).

Radyasyonun Gıda Bileşenleri Üzerine Etkisi

Gıda ışınlama işlemi, gıdanın başlangıçtaki besinsel özelliklerini korumak ve sürdürmek amacıyla uygulanan soğuk bir yöntemdir (Webb ve Penner, 2000). Radyasyon dozları oldukça düşük olduğu için, gıdanın radyoaktif hale gelmesi mümkün olmayacağı gibi kimyasal kompozisyonunda da büyük değişiklikler söz konusu olmamaktadır. Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 1994) raporlarına göre karbohidratlarda, proteinlerde, mineral tuzlarında ve yağlarda ışınlama uygulamaları problem yaratmaz (Loaharanu ve Thomas, 2001). Bu konuda yapılan çalışmalar şöyle sıralanabilir:

- 1) Temel radyasyon kimyası, kinetiği ve mekanizması
- 2) Radyasyonun oluşturduğu reaksiyon türleri

- Metal ve iyonların oksidasyonu
 - Karbonillerin oksidasyonu
 - Çift bağların eliminasyonu
 - Aromatik ve heterosiklik bileşenlerdeki aroma azalışı
 - Heterosiklik bileşenlerin hidroksilasyonu
- 3) Ticari koşullarda ışınlama sonucu oluşan tüm ürünler
- Işınlanmış ürünün radyoaktif hale gelmemesi
 - Patojenlerin ve toksinlerin yokluğu
 - Besin öğelerinde oluşabilecek aşırı kayıplardan kaçınma
 - Toksik, mutajenik veya kanserojenik ürünlerin bulunmaması (TAEK, 2004).

Proteinler

Proteinler ışınlandıklarında oluşan reaksiyonlar; proteinin bileşimi ve diğer bileşenlerin bulunmasıyla, protein yapısıyla, proteinin doğal veya sentetik olmasıyla, denatüre olup olmasıyla, proteinin kuru, nemli, solüsyonda veya donmuş durumda olmasıyla ve ışınlama ortamının şartlarıyla (doz, doz hızı, ısı, ortamın O₂ durumu) doğrudan ilgilidir (Ayhan, 1993). Aminoasitlerde radyasyon sonucu kimyasal parçacıkların oluşması; kuru ve oksijenli ortamda ışınlanma durumunda, yüksek enerjili elektronu olan aminoasitlerin doğrudan reaksiyonuna ve iyonların serbest radikallerle sonraki etkileşimine bağlanabilir. Radyasyonun etkileri, proteinin büyüklüğü ve yapısıyla ilişkilidir. Proteinin ışınlanması sonucu oluşan ürünler tamamen rastlantısal değildir. Bir takım düzenli değişiklikler gözlenir. Protein molekülünün iyonize radyasyonu absorbe etmesiyle, çoklu iyonizasyonlara ve moleküllerin uyarılmasına sebep olur. Protein molekülü absorblanan radyasyon enerjisini içine alır ve bağların kırıldığı yerlerde daha duyarlı olur. Işınlama temel olarak hidrojen bağlarını ve başka zincirleri kırarak doğal proteinlerin yapısını etkiler (Urbain, 1986).

Aminoasitlerin kompleks yapısı proteini koruduğu için, ışınlama proteinlerin yapısında bir bozulma oluşturmaz. 50 kGy'lik bir doz uygulaması, protein kalitesinde dikkat çekici bir değişiklik yapmaz (Eggum, 1979). Ama proteinlerin ışınlamayla indirgenmesi ve yükseltgenmesi protein

Bir Gıda Koruma Yöntemi: Işınlama

vizkozitesini değiştirebilir (Molins, 2001). Kırmızı et ve beyaz etin ışınlanmasında proteinlerin yapısına bağlı olarak lezzet değişikliği gözlenmiştir. Ayrıca her iki gıdada da pigmentlerin ışınlanmadan etkilenmesi sebebiyle renk değişikliği olmuştur (Millar ve ark., 2000a; Millar ve ark., 2000b).

Yağlar

Yağlara radyasyonun etkisi daha çok besinsel, toksikolojik, fonksiyonel ve hassasiyetle ilgilidir. Radyasyonun ilk etkisi olarak iyonizasyon ve eksitasyon görülür. Sonraki adımda serbest radikaller açığa çıkar. Yağların radyasyona duyarlılığı katı-sıvı fazlarıyla, sıcaklıkla, O₂ varlığı/yokluğuyla ve ışınlama doz oranıyla ilgilidir (Urbain, 1986). İyonize radyasyonla lipidlerdeki değişim iki yolla oluşur:

1. Moleküle oksijenle oksidasyon reaksiyonunun katalizlenmesi yani otooksidasyon
2. Lipid molekülleri üzerine yüksek enerjili radyasyonun (dolaylı ve dolaysız) etkileşmesi (Molins, 2001).

Bir lipid molekülünde serbest radikaller için en hassas nokta çift bağ olduğu için ışınlanmadan en çok etkilenen çoklu doymamış yağ asitleridir. Işınlanmadan sonra yağ asitlerinde görülen kaybın oksidatif yıkımdan kaynaklandığı ifade edilmektedir. Işınlama ile yağlarda otooksidatif ve oksidatif olmayan değişiklikler olur. Aslında ışınlama ile yağ maddelerinde oluşan otooksidatif reaksiyonlar ışınlanmamış yağ maddelerinde de oluşur. Fakat bu ışınlama uygulamasıyla tepkime hızı artar. Gıda ışınlanmasıyla ortaya çıkan radikaller yeniden O₂ ile tepkimeye girip, bir daha serbest radikaller ortaya çıkabilir. Sonuçta ortamda H₂, CO₂, CO, hidrokarbonlar ve aldehitler birikir (Ayhan, 1993). Peptidlerin radyasyon kimyası aminoasitlerinkine benzer. Peptid bağlarının artışı, hidrasyon sonucu oluşan elektronlara karşı olan reaktiviteyi artırır ve radikaller bozunur (Rustgi ve Riesz, 1978). Avrupa Standardizasyon Komitesi tarafından biyobelirteç olarak kabul edilen 2-alkilsiklobutanonlar (2-ACB'ler), lipid içeren yiyeceklerin ışınlama sırasında oluşan

spesifik bileşiklerdendir (Tsutsumi ve ark., 2011).

Karbonhidratlar

Karbonhidratlar radyasyona duyarlı maddelerdir. Eğer karbonhidratlar ışınlanırsa H₂, CO₂, aldehitler, asitler ve başka karbonhidratlar ortaya çıkar. Sulu ortamlarda karbonhidratlar, iyonize radyasyona tabi tutulduğunda dolaylı ve dolaysız olarak oksidatif yıkım olur. Dolaylı etki OH radikalleri sayesinde. Karbonhidratlarda ışınlanmanın önemli ve tek etkisi glikozidik bağın kırılmasıdır. Bu kırılma, nişasta gibi gıdalarda bulunan karbonhidratın fonksiyonel özelliğini etkilemez ama gıdaların kalitesini etkiler, özellikle meyvelerde dayanıklılığın azalması ve doku değişikliğine yol açar. Bu etkilerin dışında, karbonhidratların radyasyona maruz bırakılmasıyla oluşan değişiklikler çok küçüktür (Urbain, 1986).

Vitaminler

Gıda koruma işlemlerinde bazı vitamin kayıpları olabilmektedir. Işınlama ile oluşan vitamin kayıpları üzerine yapılan çalışmaların sonuçları çelişkilidir. Çünkü bazı çalışmalarda saf solüsyonlar (vitamin çözeltileri) ile elde edilen sonuçlar kabul edildiği için kayıp miktarı çok fazla tespit edilmiştir (IAEA, 2005). Limon ve greyfurtun, elektron hızlandırıcıyla 0.4-1 kGy'lik ışınlanmasında, C vitamininin miktarının değişmediği gözlenmiştir (Ramakrishnan ve ark., 2019). Sulu ortamdaki C vitamininin yapısı, radyasyondan zarar görür. (5 kGy'e kadar uygulamalarda meyvelerdeki ve sebzelerdeki askorbik asidin çok az kayba uğradığı gözlenir). İzo-oktan solüsyonunun içinde D₃ vitamini radyasyon duyarlılığına sahip değildir. Işınlanmış gıdalar genelde biraz D vitamini kaybeder. Birçok farklı formdaki K vitamini yüksek radyasyon hassasiyetine sahiptir (Urbain, 1986). Kuru (katı) ortamda A vitamini veya retinol, pro-vitamin A, karotenoidler özellikle β-karoten göreceli olarak radyasyona karşı kararlıdır ve yaklaşık 20 kGy'e kadar dozlarda az bir inaktivasyon gözlenir (Lukton ve MacKinney, 1956).

Bir Gıda Koruma Yöntemi: Işınlama

Mineraller

Işınlama, gıdanın mineral içeriğini değiştirmez. Bununla birlikte, minerallerin besinsel olarak kullanılabilirliğini değiştirir (Urbain, 1986).

Işınlamada Ambalaj Materyalleri

Gıda ambalajlarının ışınlanması da gıda güvenliği açısından gereklidir. Ambalajlardan kaynaklanabilecek mikrobiyel bulaşların engellenmesini sağlamak için ışınlama önemli bir tercihtir. Ambalaj materyali olarak plastikler kullanılırsa, ambalaj ışındığında plastisizer denen maddeler açığa çıkar ve bu maddeler gıdalara geçer. Bu nedenlerle; ambalajlama materyalleri ambalajlamada kullanılmadan önce ışınlamanın etkileri test edilmelidir (Erkmen, 2000). Ambalajlama materyallerinin bazı tipleri gıda ışınlama uygulamalarında kullanılmaya uygundur. Özellikle; 20 yıldır Birleşik Devletler Gıda ve İlaç İdaresi (FDA) tarafından ambalajlama materyallerinin bir kısmı gıda ışınlama için uygun kabul edilmiştir. Son zamanlarda; Kanada, Hindistan ve Polonya'da çok katmanlı polietilen film içeren materyaller güvenilir bulunmuştur (IAEA, 2005).

Işınlanmış Gıdaların Güvenilirliği

Işınlama ile özellikle süt ve etlerde önlem alınmadığı takdirde ortaya çıkan kötü tat-koku dışında meydana gelen besinsel ve duyuşsal kayıplar, diğer geleneksel gıda koruma işlemleriyle karşılaştırılabilecek düzeydedir. Işınlama ile mikrobiyolojik güvenilirlik sağlanabilmektedir. Bu durumda ışınlanan gıdanın, sağlıklı kalması konusunda dikkat edilmesi gereken toksikolojik güvenilirliktir. Işınlanmış gıdaların güvenilirliğini test etmek için, hayvan deneyleri yapılmaktadır. Bu sayede, yarı kronik etki, kronik etki, üreme üzerine olan etki, kanser oluşumuna etki, kombine kanser oluşumuna etki incelenmiş olup; ayrıca mutojenite açısından değerlendirmeler *in vitro* ve *in vivo* sistemlerde gerçekleştirilmiştir (WHO, 1999). Ayrıca, yurtlarda veya orduda grup halinde yaşayan ve ışınlanmış gıda tüketen insanların klinik olarak kalp fonksiyonları, kan özellikleri, karaciğer ve böbrek fonksiyonları

incelenmiştir (EC, 2003). Sonuçta ışınlanmış gıdalardan kaynaklanan herhangi bir toksik etki ve klinik değişiklik belirlenmemiştir (TAEK, 2004).

Işınlanmış Gıdalara Tüketicinin Bakış Açısı

Günümüzde birçok tüketici, ışınlama işlemiyle gıdaların radyoaktif olabileceğini düşünmektedir. Gıda ışınlamanın benimsenmesinin önündeki engellerden biride, nükleer enerji karşıtı faaliyetlerin yaygınlaşmasıdır. Işınlama ile ilgili birçok araştırma ve çalışma yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre gıda ışınlama yöntemi, diğer gıda koruma yöntemlerinden daha güvenli bulunmuştur. Bu konuda tüketicinin bilinçlendirilmesi çok önemlidir. Örneğin; 1994'te Atlanta'da yapılan bir anket çalışmasında Çizelge 4'deki sonuçlar elde edilmiştir (Resurreccion ve ark., 1995).

Toplumsal farkındalık uyandırmak amacıyla, gıda ışınlama konusuyla ilgili olarak eğitim programlarının düzenlenmesi, market reyollarına açıklayıcı ve öğretici etiket yapıştırılması, kamusal alanlarda posterler asılması veya broşürlerin dağıtılması, televizyonlarda kamu spotlarının yayınlanması, marketlerde ışınlanmış ürünlerin örnek olarak yer alması gerekir. Ayrıca ürünlerin üzerinde "radura" sembolü olmalıdır (Şekil 1) (Ehlermann, 2009). Bu konunun halk sağlığı çerçevesinde ele alınması elzemdir. Hem Sağlık Bakanlığı hem de Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı tarafından öncelikli konular arasına dahil edilmelidir. Eğer tüketicilerin ışınlanmış gıda konusundaki düşünceleri değişmezse, gıda koruma yöntemi olarak ışınlamanın kabul görmesi mümkün görünmemektedir. Tüketici ışınlanmış gıdayı onaylamaya başladığında yasal düzenlemeler de artacaktır. Işınlanmış gıdaların etiketlenmesi ülkeler arası farklılık gösterebilir. Örneğin ABD'de restoran/catering gibi yerlerde kullanılan yiyeceklerin tamamı ışınlanmamışsa, etiketlemeye gerek görülmemektedir (USEPA, 2014). Yeni Zelanda'da ise en küçük işletmede, en az ışınlanmış bir gıda içeriği bile olsa, ışınlanmış gıda etiketi gerekli görülmektedir (MPI, 2013).

Bir Gıda Koruma Yöntemi: Işınlama

Çizelge 4. Tüketici anket sonuçları

<u>Işınlanmış Gıdalar</u>	<u>Doğru</u>	<u>Yanlış</u>	<u>Yorumsuz</u>
Radyoaktif hale gelirler	32.6	18.7	48.7
Yeniden kontamine olmazlar	7.4	46.8	45.8
Kalite karakteristiklerini korurlar	54.1	8.8	37.1



Şekil 1. Radura sembolü. Tüm dünyada ışınlanmış gıdalar üzerinde bulunur

Sonuç

Gıda ışınlama, sağlık açısından hassasiyetle en çok araştırmanın yapıldığı alanlardan biri olmuştur. Bu yöntemin gıda hijyenini sağlama konusundaki başarısının yanında; gıda kalitesi ve güvenilirliği üzerine etkileri ayrıca inceleme konusu olmuştur. Günümüz toplumlarının sağlıklı gıdaya erişimi güçleştikçe, gıda koruma yöntemleri daha da önem kazandığı için ışınlanmış gıdaların pratik yararları teknolojik gelişmeyi de

peşinden sürüklemiştir. Sağlık alanında bilinen radyasyon uygulamalarının yanı sıra gıda sektöründeki ışınlama işlemleri artık yadsınamaz bir süreçtir. Gıda üzerindeki bütün patojen veya zararlı mikrobiyel yükün radyasyon ile yok edilmesi; başta gıda güvenliği ve besin değerleriyle birlikte, tüketici güveninin de korunmasını sağlar. Böylece gıda ışınlama hem ekonomik faydayı hem de gıda sektörünün itibarını arttırmaktadır.

Kaynaklar

- Ayhan, H., (1993) İyonize ışınların gıda bileşenleri üzerine etkileri. *Gıda* 18(4): 265-268.
- Bhaskaram, C. and Sadasivan, G., (1975) Effects of feeding irradiated wheat to malnourished children, *American Journal of Clinical Nutrition* 28(2):130-135.
- Bu, W., Zhengb, J., Liu, X., Long, K., Hu, S., Uchida, S., (2015) Mass spectrometry for the determination of fission products ¹³⁵Cs, ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr: A review of methodology and applications, *Spectrochimica Acta Part B* 119: 65–75.
- Buchko G. W. and Weinfeld M., (1993) Influence of nitrogen, oxygen, and nitroimidazole radiosensitizers on DNA damage induced by ionizing radiation, *Biochemistry* 32: 2186-2193.
- Camcigil, M., (1991) Dose Limits in Food Irradiation , *Food Control*, p (130-132)
- Deeble DJ, Bothe E, Schuchmann HP, Parsons BJ, Phillips GO, von Sonntag C, (1990) The kinetics of hydroxyl-radical-induced strand breakage of hyaluronic acid. A pulse radiolysis study using conductometry and laser-light-scattering., *Z Naturforsch C*. 1990 Sep-Oct; 45(9-10):1031-43.
- Diehl, J.F., (1995) *Safety of Irradiated Foods*, 2 nded.,464 p, NewYork.
- Diehl, J.F., (2002) *Food Irradiation-Past, Present and Future*, *Rad. Phy. and Chem.* 63: 211–215.
- Dugle, D. L., Chapman, J. D., Gillespie, C. J., Borsa, J., Webb, R. G., Meeker, B. E., Reuvers, A. P., (1972) Radiation-induced strand breakage in mammalian cell DNA, *Int. J. Radiat. Biol.* (22): 545-555.
- Dyck, V. A., Hendrichs, J., Robinson, A. S. (Eds.), (2006) *Sterile insect technique: principles and practice in area-wide*

Bir Gıda Koruma Yöntemi: Işınlama

- integrated pest management. Springer Science & Business Media.,799 p.
- EC (2003) European Commission, Commission Decision of 24 April 2003 Amending Decision SCF/CS/NF/IRR/24 Final Revision of the opinion of the Scientific Committee on Food on the irradiation of food. Official J. of European Commission
- EC (2004) European Commission, Commission Decision of 7 October 2004 Amending Decision 2002/840/EC Adopting the List of Approved Facilities in Third Countries for the Irradiation of Foods. Official J. of European Commission
- Eggum, B.O., (1979) Effect of radiation treatment on protein quality and vitamin content of animal feeds, in Decontamination of Animal Feeds by Irradiation, Proc. Advisory Group Meeting, Sofia, Oct. 17-21, 1977, Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture, International Atomic Energy Agency, Vienna, pp. 55-67
- Ehlermann, D. A. E., (2009) The RADUR-terminology and food irradiation, Food Control 20(5): 526-528.
- Ehlermann, D. A. E., (2016) The early history of food irradiation, Rad. Phy. and Chem. (129): 10-12
- Ehlermann, D. A. E., (2016) Particular applications of food irradiation: Meat, fish and others, Rad. Phy. and Chem. 129, 53-57.
- Erikson, R. L., Szybalski, W., (1961) Molecular radiobiology of human cell lines. I. Comparative sensitivity to X-rays and ultraviolet light of cells containing halogen-substituted DNA. Biochem. Biophys. Research Commun. 4(4): 258-261.
- Erkmen, O., (2000) Kaliteli ve güvenli gıda üretimi için ışınlama yöntemi. Gıda 25(2): 58-61.
- Eugster, A., Murmann, P., Känzig, A. and Breitenmoser, A., (2018) A specific but nevertheless simple real-time PCR method for the detection of irradiated food shown detailed at the example of garlic (*Allium sativum*), European Food Research and Technology. 244(5): 819-825.
- Farkas, J., (2001) Physical methods of food preservation. Food microbiology. Fundamentals and frontiers, ASM Press, p. 561-591, Washington, DC.
- Farkas, J. and Mohácsi-Farkas, C., (2011) History and future of food irradiation. Trends in Food Science & Technology 22(2-3): 121-126.
- FDA, U.S. Food and Drug Administration, (1986) <https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfCFR/CFRSearch.cfm?fr=179.26>, (Erişim Tarihi: 10.05.2019)
- FDA, U.S. Food and Drug Administration, (2008) Irradiation in the production, processing and handling of food .Final rule: iceberg lettuce and spinach. Fed. Regist. 73(164) (21 CFR Part 179. [Docket No. FDA-1999-F-2405].73FR49593).
- Federal Kayıt (1986b), Anonymous 1986b, Study on Safety Evaluation of Diets Consisting of 35 Kinds of Irradiated Foods for Human Consumption, FAO/IAEA Seminar for Asia and the Pacific on the Practical Application of Food Irradiation, International Atomic Energy Agency and the Food and Agriculture Organisation of the United Nations, Seminar held in April 7-11, 1986, Shanghai.
- Fideler, Bradley M.; Vangsness, Thomas C. Jr.; Moore, Tillman; Li, Zhiliang; Rasheed, Suraiya, (1994) Effects of gamma irradiation on the human immunodeficiency virus. A study in frozen human bone-patellar ligament-bone grafts obtained from infected cadavera. JBJS 76(7):1032-1035.
- George, J. R., Pathak, B. K. (2018). Feasibility of using ¹³⁷ Cs in gamma irradiators for food processing. International Atomic Energy Agency, Vienna (International Atomic Energy Agency (IAEA)); NICSTAR-2018: NAARRI international conference - advanced applications of radiation technology; p. 79; Mumbai (India); 5-7 Mar 2018

Bir Gıda Koruma Yöntemi: Işınlama

- Hall, J. C., Goldstein, A. L., Sonnenblick, B. P., (1963) Recovery of oxidative phosphorylation in rat liver mitochondria after whole body irradiation, *The Journal of Biological Chemistry* Vol. 238, No. 3, March 1963
- Hentosh, P., (1988) Induction and repair of DNA damage in γ -irradiated human lymphoblasts: irradiation in the presence and absence of misonidazole. *Radiation research* 115(3): 436-447.
- IAEA, Facts About Food Irradiation- NRC-(ICGF), (Erişim Tarihi:18.08.2005)
- Josephson, E.S., (1977) Food irradiation and sterilization, *Rad. Phy. and Chem.* 18(1-2): 223-239.
- Kesavan, P. C., Sukhatame, P. V., (1976) Summary of the technical report on the data of NDJ, Hyderabad and BARC, Bombay on the biological effects of freshly irradiated wheat. Report submitted to the Joint FAO/IAEA/WHO Expert Committee on the Wholesomeness of Irradiated Food.
- Kohli, A. K., (2018) Gamma Irradiator Technology: Challenges and Future Prospects, *Universal Journal of Physics and Application* 12(3): 47-51
- Kume, T., Furuta, M., Todoriki, S., Uenoyama, N., Kobayashi, Y., (2009) Status of food irradiation in the world, *Rad. Phy. and Chem.* (78): 222–226.
- L'Annunziata, M. F., (2012) *Handbook of Radioactivity Analysis*, Academic Press (3. Edit.), p. 151
- Loaharanu, P., Thomas, P., (2001) *Irradiation For Food Safety and Quality*. Crc Press., p. 217, Lanchaster.
- Lukton, A., Mackinney, G., (1956), Effect of ionizing radiations on carotenoid stability, *Food Technology* 10(12): 630-632.
- Lung, H. M., Cheng, Y. C., Chang, Y. H., Huang, H. W., Yang, B. B. and Wang, C. Y., (2015) Microbial decontamination of food by electron beam irradiation', *Trends in Food Science and Technology* 44(1): 66–78.
- Marisson, R. M., (1989) An economic analysis of electron accelerators and Co-60 for irradiating food, U S Department of Agriculture Economic Research Service Technical Bulletin , 1762
- Millar, S.J., Moss, B.W, Stevenson, M.H, (2000a) The effect of ionising radiation on the colour of beef, pork and lamb, *Meat Science* 55(3): 349-360.
- Millar, S.J., Moss, B.W, Stevenson, M.H, (2000b) The effect of ionising radiation on the colour of leg and breast of poultry meat, *Meat Science* 55 (3): 361-370.
- Molins, R., (2001) *Food Irradiation: Principles and Applications*, Wiley/Interscience, p 469, NewY.
- MPI, Ministry of Primary Industries, (2013) *Labelling Requirements for Irradiated Foods – Information for Food Businesses*.
- Ramakrishnan, S. R., Jo, Y., Nam, H. A., Gu, S. Y., Baek, M. E., Kwon, J. H., (2019) Implications of low-dose e-beam irradiation as a phytosanitary treatment on physicochemical and sensory qualities of grapefruit and lemons during postharvest cold storage. *Scientia Horticulturae* 245: 1-6.
- Resurreccion, A. V. A., Galvez, F. C. F., Fletcher, S. M., & Misra, S. K., (1995) Consumer attitudes toward irradiated food: results of a new study. *Journal of Food Protection* 58,:193–196.
- Rubio, T., (2003) Legislation and application of food irradiation. Prospects and controversies. *Ernaehrung/Nutrition* 27(1), 18–22.
- Rustgi, S. and Riesz, P., (1978) Free radicals in U.V.-irradiated aqueous solutions of substituted amides: An E.S.R. and spin-trapping study, *International Journal of Radiation Biology and Related Studies in Physics, Chemistry and Medicine* 34 (2), 149-163
- Sakurai, H., Y. Murakami, T. Kohama, and T. Teruya., (2000) Sterilizing mechanism of gamma radiation in the female of West Indian sweet potato weevil, *Euscepes postfasciatus*. *Research Bulletin of the Faculty of Agriculture, Gifu University, Japan*, Number 65: 13–20.
- Saleh, Y.G., M.S. Mayo, and D.G. Ahearn., (1988) Resistance of some common fungi to gamma irradiation. *Applied and*

Bir Gıda Koruma Yöntemi: Işınlama

- Environmental Microbiology 54(8): 2134–2135.
- Schwartz, B., (1921) Effect of X-rays on Trichinae. Journal of Agricultural Research 20: 845–854
- Skov, K. A., Palcic, B., Skarsgard, L. D., (1979) Radiosensitization of mammalian cells by misonidazole and oxygen: DNA damage exposed by micrococcus luteus enzymes. Radiat. Res. 79: 591-600.
- Taylor, Y. C., Evans, J. W., Brown, J. M., (1987) Radiosensitization by hypoxic pretreatment with misonidazole: An interaction of damage at the DNA level, Radiat. Res. 109: 364-373.
- Thayer, D.W., (1990) Food irradiation benefits and concerns. J. Food Qual. 13: 147-169.
- Tsutsumi, T., Todoriki, S., Nei, D., Ishii, R., Watanabe, T., Matsuda, R. (2011) Detection of irradiated food using 2-Alkylcyclobutanones as markers: Verification of the European Committee Standardization Method EN1785 for the detection of irradiated food containing lipids, Food Hygiene and Safety Science, 52 (6): 132-136.
- Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK), (2004) Gıda Işınlama Kursu, http://www.taek.gov.tr/tr/component/registry/yayinlar/bilgidokumanlari/gida_isinlama/orderby,7/lang,tr-tr/?Itemid=302, Ankara, (Erişim tarihi:14.03.2018)
- Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK), (2010) Gıda Işınlama, <http://www.google.com.tr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&ved=2ahUKEwj5ptq-lrflAhURJFAKHcs5DdIQFjADegQIARAC&url=http%3A%2F%2Fkurumsalari.v.taek.gov.tr%2Fbitstream%2F1%2F334%2F1%2F9465.pdf&usg=AOvVaw2peeV4LqPgHNR06ct3ATXi>, Ankara, (Erişim tarihi: 27.06.2018)
- UK Statutory Instrument (1967) The Food (Control of Irradiation) Regulations 1967 SI 1967- 385, as amended by the Food (Control of Irradiation) (Amendment) Regulations 1972 SI 1972 - 205
- UN News (2017) <https://news.un.org/en/story/2018/09/1019002>, Erişim Tarihi: 5.3.2019
- Urbain, W. M., (1986) Food Irradiation , Academic Press, 1. Edition, 351 p, Florida
- USEPA, US Environmental Protection Agency (2014) Food Irradiation: Food Labeling. http://www.epa.gov/radiation/sources/food_labeling.html (Erişim Tarihi:07.03.2014)
- Webb, M., Penner, K. (2000) Food Irradiation, Kansas State University, February, http://krex.kstate.edu/dspace/bitstream/handle/2097/21767/KSUL0009KSREOD_PUBSMF2426a.pdf?sequence=1, (Erişim tarihi:6.2.2019)
- WHO, World Health Organisation, (1994) Safety and Nutritional Adequacy of Irradiated Food. Geneva (176p).
- WHO, World Health Organisation, (1999) High-Dose Irradiation: Wholesomeness of Food Irradiated with Doses above 10 kGy, Report of a Joint FAO/IAEA/WHO Study Group, Geneva, (197p).
- Wüst, Otto (1930). <https://bases-brevets.inpi.fr/en/document-en/FR701302.html?s=1571990329616&p=5&cHash=a59fc4cc346479d5762a52ab63897682> (Erişim tarihi: 25.10.2019)
- Xuetong, F., Kimberly, S., André Weidauer, G., and Frank-Holm Rögner, E., (2017) Comparison of gamma and electron beam irradiation in reducing populations of *E. coli* artificially inoculated on mung bean, clover and fenugreek seeds, and affecting germination and growth of seeds, Radiation Physics and Chemistry 130: 306–315.
- Zakladnoi, G. A., Men'shenin, A. L., Pretsovskii, E. S., Salimov, R. A., Cherepokov, V. G. and Krsheminskii, V. S., (1982) Industrial application of radiation disinsectification of grain. Atom. Energ 52: 57-59.