

İşınlamanın Gıda Teknolojisinde Kullanımı

Meryem AYDEMİR ATASEVER¹

Mustafa ATASEVER^{1*}

¹Atatürk Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Gıda Hijyeni ve Teknolojisi Bölümü, Erzurum

*e posta: matasever@atauni.edu.tr

ÖZET

Gıda işınlama gıda kaynaklı hastalık riskini azaltan güvenli bir teknoloji olarak tanımlanmaktadır. Gıda işınlama, mikroorganizmaların, parazitlerin ve böceklerin gelişimi ile depolama ve dağıtım sırasında oluşabilecek ciddi kayıpları kontrol altında tutabileceği öngörülen yöntemlerden biridir. Gıda işınlama işlemi zararlı bakteri ve diğer organizmaları yıkımlamak için gıdayı iyonize enerji kaynağına maruz bırakmaktır. İşınlama bazı gıdaların raf ömrünü uzatabilen ve gıda güvenliğini artırabilen bir yöntemdir. Bu makalede işınlamanın gıda ürünlerinin muhafazasında kullanımı ele alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Gıda işınlama, gıda muhafaza, gıda güvenliği.

Usage of Irradiation for Food Technology

ABSTRACT

Food irradiation has been identified as a safe technology to reduce the risk of foodborne illness. Food irradiation is one of the methods to be considered to control the presence of microorganisms, parasites and insects, and to control severe losses during storage and transportation. Food irradiation utilizes a source of ionizing energy that passes through food to destroy harmful bacteria and other organisms. It is capable of improving the safety of many foods, and extending their shelf life. In this paper, the use of irradiation in food products preservation were reviewed.

Keywords: Food irradiation, food protection, food safety.

GİRİŞ

Gıda maddeleri çeşitli sebeplerden dolayı bozulabilmektedir (örn., biyolojik, kimyasal ve fiziksel etmenler). Bozulmaya sebep olan etmenleri ortadan kaldırmaya yönelik çeşitli gıda muhafaza yöntemleri geliştirilmiştir (örn., kurutma, ısıtma işlemi, fermentasyon, tuzlama, dumanlama, konserveleme, dondurma, soğukta muhafaza, kimyasal maddelerle muamele). Geliştirilen ilk gıda muhafaza yönteminin kurutma olduğu düşünülmektedir (ACSH, 2003). Gıda üretiminde kayıpları azaltan, raf ömrünü uzatan ve gıda güvenliğini sağlayan yeni metodların geliştirilmesi ile ilgili çalışmalar devam etmektedir. Son yıllarda üzerinde yoğun olarak çalışılan yöntemlerden biri olan gıda işınlama bu beklentilere cevap verebilen bir yöntem olup kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır (Lacroix ve Ouattara, 2000; ACSH, 2003).

Gıda işınlama, mikroorganizmaların DNA'sını tahrip ederek mikrobiyel faaliyetleri kısıtlayan bir yöntemdir (Lacroix ve Ouattara, 2000; Ashley ve ark., 2004; Villavicencio ve ark., 2004). Bu işlem gıda kaynaklı hastalıklara sebep olan patojenleri kontrol ederek, gıdaların güvenilirliğini artırmaktadır. Bunun yanı sıra çürüme ve bozulmadan kaynaklanan zararın azaltılmasında da rol oynamaktadır (Mason, 1992; Laoharanu, 1994; Satin, 1996; A.D.A., 2000; ACSH, 2003; Gunes ve Tekin, 2006). Bu işlem, işınlamaya maruz bırakılan gıdanın ısısında önemli bir artışa sebep olmadığından dolayı soğuk bir işlem olarak tanımlanmaktadır (Webb

ve Penner, 2000; ACSH, 2003). Oldukça geniş bir uygulama alanına sahip olan işınlamaya hiçbir mikroorganizma direnç geliştirememektedir. Gıda işınlamanın ambalajlanmış son ürüne de uygulanabilir olması ve kimyasal kalıntı bırakmaması bu uygulamayı cazip kılan sebeplerdendir (Lacroix ve Ouattara, 2000). Bu yöntemin işletme maliyeti de nispeten düşüktür.

Gıda işınlama (örn., kırmızı ve kanatlı etleri, deniz ürünleri, baharatlar ve bazı katı gıdalarda) gıdalarda bozulmaya neden olan patojen bakterileri inaktive etmek için kullanılabilir. Bu yöntem ile taze sebze ve meyvelerde böceklerin yumurta ve larvaların öldürülebilir (Lacroix ve Ouattara, 2000; Webb ve Penner, 2000; Dogan, 2007). Söz konusu işlem işınlanan gıdaların duyu özelliklerinde ve kalitesinde değişiklik oluşturmaz. Gıda işınlamanın donmuş gıdalardaki patojen bakterileri inaktive etme yeterliliği de oldukça iyidir (Lacroix ve Ouattara, 2000). İşınlamaya maruz bırakılan gıda maddesi sahip olduğu fiziksel durumunu uygulamadan sonrada muhafaza eder (örn., dondurulmuş gıdanın yine donmuş durumda kalması, çiğ gıda maddesinin yine çiğ kalması) (Webb ve Penner, 2000; ACSH, 2003).

Gıda işınlama uygulamalarında bazı ilkelere uygun hareket etmek gerekmektedir. Öncelikle bozulmuş gıdaların insan tüketimine sunulmak üzere işınlanamayacağı, İyi Üretim Uygulamaları'nın yerini tutmak için kullanılmayacağı belirtilmektedir. İşınlanmış

gıdaların yeniden kontamine olmaması için; doğru bir şekilde ambalajlanması, uygun şartlarda muhafaza edilmesi, kros kontaminasyon riskinin ortadan kaldırılması gerekmektedir (FDA, 1997; A.D.A., 2000; Webb ve Penner, 2000; ACSH, 2003). Işınlama FDA ve bazı ulusal gıda kontrol otoriteleri (örn., Dünya Sağlık Örgütü, Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu) tarafından çeşitli gıda maddeleri için güvenli bir proses olarak kabul edilmiştir (A.D.A., 2000; Lacroix ve Ouattara, 2000).

Işlanmış gıdaların, etiketlerinde radura olarak bilinen sembolü içermeleri yasal bir zorunluluktur. Amerika Birleşik Devletleri Gıda ve İlaç Dairesi (USFDA) ışlanmış gıdaların ambalajlarında radura sembolü ile birlikte "Işlanmıştır" veya "Işınlama İşlemi

Yapılmıştır" ibarelerinin kullanılmasını şart koşmuştur (A.D.A., 2000; Webb ve Penner, 2000; Smith ve Pillai, 2004).



Şekil 1. Gıdanın Işılanmış Olduğunu Gösteren Sembol

Tablo 1. Gıda Işınlama ile İlgili Bazı Tanımlar

Gıda Işınlama: Gıda maddesinin istenilen bir teknolojik amaca ve usulüne uygun olarak yeterli bir dozda ışlanması.

İyonize radyasyon (iyonize ışın): Elektronları hareket ettirerek atomları ve molekülleri iyonlarına ayırabilen ışın

Işınlama Dozu: Işlanan gıdanın birim kütesinin absorbladığı radyasyon enerjisinin miktarı (kGy).

RAD: Radyasyon absorblama dozu 100 rad=1 Gy.

Kilo Gray (kGy): Işlanan gıdanın 1 kg'ı başına absorblanan ortalama radyasyon enerjisinin kilo joule olarak miktarı 1,000 Grays (Gy)=1 kiloGray (1 kGy).

MeV: Milyon elektron volt enerji birimi.

Soğuk pastörizasyon: Patojen mikroorganizmaların tüm vejetatif formlarını yıkımlayan ışınlama uygulaması.

Gıda ışınlama tesisi: Gıdanın uygun bir ışın kaynağında güvenli bir şekilde ışlanması için tasarlanmış ve lisanslanarak tescil edilmiş kaynak, donanım ve çalışma sistemlerini içeren bina ve ekleri.

Dozimetri: Doz ve doz hızının kGy / saat olarak standardize edilmiş metotlarla ölçülmesi.

Gıda Işınlamanın Tarihsel Gelişimi

Gıda ışınlanmanın yaklaşık 50 yıllık bir geçmişi vardır. Bu yöntem, uzun yıllar süren araştırmalar sonucunda kullanılmaya başlanan bir gıda işlem teknolojisidir (A.D.A., 2000; ACSH, 2003).

Fransız bilim adamları 1920'li yılların başlarında ışınlanmanın gıda muhafaza yöntemi olarak kullanılabileceğini ortaya koymuşlardır. Amerika Birleşik Devletleri'nde ise bu metot II. Dünya Savaşı'ndan sonra ele alınmaya başlanmıştır. NASA;1970'li yılların başında astronotlarının tüketimine yönelik olarak hazırlanan gıda maddelerinin muhafazasında bu yöntemi kullanmıştır. Amerika Birleşik Devletleri Gıda ve İlaç Dairesi; (United States Food and Drug Administration; FDA), ışınlama uygulamalarına ilk kez 1963 yılında buğday ve buğday ununda böceklenmenin önlenmesi amacıyla kullanılmasına izin vermiştir. 1983 yılında ise bazı sebze, bitki ve baharatlarda mikroorganizma ve insektlerin kontrolüne yönelik ışınlanmanın kullanılabileceğine dair onay verilmiştir. Domuz etinde trisinozis etkeninden korunmak için ışınlanmanın kullanımı 1985 yılından sonra olmuştur. 1986 yılında, bazı meyve, sebze ve tahıl ürünlerinde olgunlaşmanın geciktirilmesine yönelik ışınlama uygulamaları kabul edilmiştir. Paketlenmiş veya dondurulmuş

kanatlı etlerinde ışınlanmanın kullanımına 1990 yılında başlanmıştır. FDA; Kasım 1997'de dondurulmuş veya taze koyun ve sığır etinde ışınlanmanın kullanımına izin vermiştir. Bu onay *E. Coli* O:157:H7 ve diğer gıda kaynaklı patojenlerin kontrolüne yöneliktir. FDA; 1999 yılında soğukta muhafaza edilen et ve et ürünlerinde kullanılabilecek en yüksek ışınlama dozunun 4,5 kGy, dondurulmuş et ve ürünlerinde ise 7,0.kGy olması gerektiğini vurgulamıştır (A.D.A., 2000; Webb ve Penner, 2000; ACSH, 2003).

Gıda ışınlama birçok ülkede kullanılmaktadır. Dünya çapında 30'dan fazla ülke bu yöntemin uygulanmasına yasal olarak izin vermiştir. Hollanda'da günlük 2 ton, Belçika'da 1 ton ışlanmış gıda üretimi mevcuttur. Güney Afrika'da mango, papaya ve sebzelerde ışınlama yöntemi kullanılmaktadır. Kanada bu metodu patateslerde filizlenmeyi önlemek amacıyla uygulamaktadır (Webb ve Penner, 2000). Türkiye'de 1999 yılında Gıda Işınlama Yönetmeliği yayımlanarak gıda ışınlama uygulamalarına onay verilmiştir (Resmi Gazete, 2003).

Gıda Işınlama Uygulaması

Radyoaktif maddeler, atomlarının sürekli olarak parçalanması sırasında çevreye bazı ışınlar (örn., alfa, beta, gama, X-ışınları) yayarlar. Bu

ışınlar çarptıkları materyalde elektrik yüklü iyonların oluşmasına neden olurlar. Bu ışınlar iyonize ışın adı verilir. İyonize ışın; iyonize olmayan görünür ışık, televizyon ve radyo dalgaları ile mikrodalgadan daha fazla enerjiye sahiptir. (Acar, 1999). Gıda ışınlama; gıdaların iyonize enerji olarak da adlandırılan iyonize ışınlarla muamele edilmesidir (WHO, 1983; A.D.A., 2000; Lacroix ve Ouattara, 2000).

Gıdaların muhafazasında gama ışınları, X-ışınları ve hızlandırılmış elektron ışınları kullanılmaktadır (Olson, 1998). Bunlardan endüstride en yaygın olarak kullanılanı gama ışınlarıdır (WHO, 1983; Swallow, 1991; Diehl, 1995; A.D.A., 2000;).

Gama ışınları, Kobalt 60 (Co^{60}) ve Sezyum 137 (Cs^{137}) kaynaklarından üretilen ışınlardır. Işınlar direkt olarak ışınlanacak gıdanın üzerine verilir. Fakat gıda hiçbir zaman kobalt veya sezyum ile direkt temas ettirilmez (Swallow, 1991; Diehl, 1995; Lagunas-Solar, 1995; Monk ve ark., 1995; A.D.A., 2000; Lacroix ve Ouattara, 2000).

X-ışınları 5 MeV (milyon elektron volt) ve daha düşük enerjide çalışan kaynaklardan üretilmektedir. X ışınlarının malzemeye giriciliği ve doz hızı yüksek olduğu için ışınlama süresi kısadır (A.D.A., 2000).

Hızlandırılmış elektronlar 10 MeV ve daha düşük enerjide çalışan jeneratörlerde üretilmektedir. Hızlandırılmış elektronların dezavantajı penetrasyon gücünün düşük olmasıdır (Webb ve Penner, 2000).

Birim yoğunluktaki maddelerin çift taraflı ışınlanması için optimum incelikleri hızlandırılmış elektronlar için 8 cm, X-ışınları için 25 cm'dir. Uygulamalarda elektron veya X-ışını arasındaki seçim ürünün inceliğine, yoğunluğuna ve gereksinim duyulan doza bağlıdır (Calenberg ve ark., 1998).

Gıda ışınlamada "doz" gıda maddesine ilave edilen bir madde değildir. Doz; gıda maddesinin radyasyona maruz bırakıldığı süre içerisinde absorbe ettiği radyasyonun miktarıdır. Işınlama gıdalarda radyoaktiviteye neden olmayan fiziksel bir proses, bir enerji girdisidir (A.D.A., 2000; Lacroix ve Ouattara, 2000; Diehl, 1995). Bu enerjinin miktarı ışınlama absorblama dozu olarak tanımlanır ve birimi rad (1 rad = 100 erg g^{-1}) veya gray olarak ifade edilir (1 gray = 100 rad) (Lagunas-Solar, 1995; Webb ve Penner, 2000).

Işınlamada gıdaya uygulanması gereken enerjinin dozunu; gıdayı iyonize enerjiye maruz bırakma süresi, gıdanın yoğunluğu, radyasyon kaynağı tarafından soğurulan enerji miktarı belirler (Morrison ve ark., 1992; Diehl, 1995; A.D.A., 2000).

Gıdalara uygulanacak radyasyonun dozu Gıda ve İlaç İdaresi (Food and Drug Administration, FDA) tarafından belirlenmektedir. FDA radyasyon seviyelerini

3 kategoriye ayırmıştır (Acar, 1999; A.D.A., 2000; ACSH, 2003).

Düşük doz (<1 kGy) ışınlamaya radurizasyon denmektedir. Söz konusu doz seviyesi pastörizasyona eşdeğer ışınlama uygulamasıdır. Bu işlem ile gıdaların kalitesini olumsuz yönde etkileyen mikroorganizmaların ortamdaki sayılarının azaltılması amaçlanır. Taze et, meyve ve sebze için 0,75–2,5 kGy ışın dozu yeterlidir. Bu nedenle bu uygulama taze ve kurutulmuş meyve ve sebzelerin raf ömürlerinin uzatılmasında kullanılmaktadır. Kurutulmuş meyvelerde 0,15–1 kGy yeterli olduğu halde 2–3 kGy düzeyinde ışınlama dozu taze meyvelerin raf ömrünü en az 14 gün kadar uzatmaktadır (Lacroix ve Ouattara, 2000). Bu doz seviyesi domuz etinde *Trichinella* paraziti kontrol etmek için de uygulanmaktadır (Acar, 1999).

Orta doz (<10 kGy) ışınlamaya radisidasyon denilmektedir. Bu işlem spor oluşturmaz patojen mikroorganizma yükünün azaltılmasında kullanılmaktadır. Bu uygulama etkileri açısından sütün pastörizasyonuna benzetilebilmektedir. Radisidasyon viral patojenlerin öldürülmesinde yetersizdir. Tipik ışınlama dozu 2,5 kGy ile <10 kGy arasındadır. 2,5 kGy düzeyinde ışınlama *Vibrio parahaemolyticus* veya kanatlılarda *Salmonella* inaktivasyonu için yeterli olduğu halde aynı etki donmuş ürünlerde ancak 5 kGy ile sağlanmaktadır (Acar, 1999; ACSH, 2003).

Işınlamanın yüksek dozda (10 kGy üzeri) uygulamalarına radapertizasyon veya radyasyonla sterilizasyon denilmekte ve etkileri açısından ticari sterilizasyon uygulamasına benzetilmektedir. Bu amaçla kullanılan ışınlama dozları 10–45 kGy arasındadır. Örneğin ortamdaki 10^{12} sayıdaki *Clostridium botulinum* sporunun öldürülmesi için 45 kGy düzeyinde bir ışınlama dozu gereklidir. Ancak böyle yüksek dozlarda gıdaların renk ve koku gibi duyuşal özellikleri olumsuz yönde etkilenmekte, hatta gıdalarda toksikolojik değişimlerde gözlenebilmektedir. Bu nedenle de gıdaların ışınlama ile sterilizasyonu yerine ışınlamanın (örn., ısıl işlem, dondurma) diğer gıda muhafaza yöntemleri ile birlikte uygulanması önerilmektedir (Acar, 1999).

Işınlamanın Faydaları

Gıda ışınlama üreticiler, tüketiciler ve satıcılar için çeşitli faydalar sağlamaktadır. Bu yöntemin halk sağlığı açısından en önemli işlevi gıdalardaki patojen mikroorganizmaları yok edebilme yeteneğidir (A.D.A., 2000; ACSH, 2003).

Türk Gıda Kodeksi Yönetmeliği'ne göre; gıda ışınlama işlemi; gıdalarda bozulmaya sebep olan mikroorganizmalar ve biyokimyasal olayların miktar ve faaliyetlerinin engellenmesi, azaltılması, yok edilmesi, gıdaların raf ömürlerinin uzatılması, olgunlaşma süresinin kontrolü veya müteakip işlemlerdeki istenen değişiklikleri sağlamak amaçlarından biri veya bir

kaçı için belirlenmiş ışınlama dozunda, uygun teknolojik ve hijyenik koşullarda yapılır (Resmi Gazete, 2003).

Işınlama özellikle katı gıdaların tat ve aromalarında önemli değişikliklere sebep olmadan koruyucu etki yapmaktadır. Bu yöntemin dondurulmuş ve çiğ gıdalarda da aynı koruyucu etkiyi gösterdiği bilinmektedir (Lacroix ve Ouattara, 2000).

Gıda ışınlama oldukça geniş uygulama sahasına sahiptir. Bunlardan bazıları aşağıda özetlenmiştir (ACSH, 2003).

Radyasyon sterilizasyon

Bu yöntem ABD’de tek kullanımlık medikal aletlerin sterilizasyonunda kullanılmaktadır. Aynı teknik gıdalara da uygulanabilmektedir. Yoğun çalışmalar; nispeten yüksek doz (10 kGy üzeri) ışınlamayla birlikte hafif ısı muamelesi ve uygun ambalajlamanın gıdalardaki tüm mikroorganizmaları ortadan kaldırdığını göstermiştir. Bu işlemlere maruz bırakılan gıdaların oda sıcaklığında uzun süre bozulmadan

muhafaza edilebildiği bildirilmektedir. Kırmızı et, kanatlı etleri, bazı balık tipleri, kabuklu deniz ürünleri, bazı sebzeler ve unlar radyasyonla sterilizasyona uygundur. Bu işlem; Amerika Birleşik Devletleri’nde NASA astronotları ve bazı immün sistem bozukluğu olan hastalar için hazırlanan gıdaların sterilizasyonunda kullanılmaktadır (Morrison ve ark., 1992; Monk ve ark., 1995; A.D.A., 2000; Webb ve Penner, 2000; ACSH, 2003).

Kimyasal fumigasyonun yerine kullanılması

Işınlama ile tahıllar, baklagiller ve baharatlardaki böcek ve mikroorganizmalar öldürülebilmektedir. Bu yöntem etilen dibromid (EDB; EDB kullanımı, ABD ve çoğu ülkede yasaktır) ve etilen oksitle (EtO; EtO; kullanımı Avrupa Birliği Ülkeleri’nde yasaktır) yapılan kimyasal fumigasyonun yerine kullanılabilir (A.D.A., 2000; ACSH, 2003).

Tablo 2. Gıdalarda Bazı Teknolojik Amaçlara Göre Uygulanmasına İzin Verilen Işınlama Dozları

Doz grubu	Amaç	Doz (kGy)	Ürün
Düşük doz (<1)	Filizlenmenin engellenmesi	0.05-0.15	Patates, soğan, sarımsak, zencefil vb.
	Böcek ve parazit dezenfeksiyonu	0.15-0.50	Tahıllar ve baklagiller, taze ve kurutulmuş meyveler, kurutulmuş balık ve et
	Fizyolojik işlemlerin geciktirilmesi (Ör: Olgunlaşma)	0.50-1.0	Taze meyve ve sebzeler
Orta doz (<10)	Raf ömrünü uzatma	1.0-3.0	Taze balık, çilek vb.
	Patojen mikroorganizma ve bozulmanın önlenmesi	1.0-7.0	Taze ve dondurulmuş deniz ürünleri, çiğ ya da dondurulmuş et ve tavuk eti vb.
	Gıdanın teknolojik özelliklerinin geliştirilmesi	2.0-7.0	Üzümler (artan üzüm suyu miktarı), kurutulmuş sebzeler (azalan pişirme süresi vb.)
Yüksek doz (>10)	Endüstriyel sterilizasyon	30-50	Et, kümes hayvanları, su ürünleri, hazır gıdalar, sterilize edilmiş hastane gıdaları
	(Uygun sıcaklık kombinasyonunda Belirli gıda katkı maddeleri ve bileşenlerin dekontaminasyonu)	10-50	Baharatlar, enzim karışımları, doğal sakız vb.

Bazı gıdalardaki filizlenmenin önlenmesi

Işınlama bazı gıdalardaki filizlenmenin önlenmesi için kullanılan bir yöntemdir. Oldukça düşük doz ışınlama uygulaması patates, soğan, sarımsak gibi sebzelerin filizlenmesini inhibe etmektedir. Işınlama ABD, Çin ve Japonya’da patates ve soğanın filizlenmesinin önlenmesinde kullanılmaktadır (ACSH, 2003; Lacroix ve Ouattara, 2000).

Olgunlaşmanın ertelenmesi ve raf ömrünün uzatılması

Düşük doz ışınlama; bazı meyve ve sebzelerin (örn., domates, papaya, mango, muz) olgunlaşmalarını geciktirerek raf ömürlerini uzatmaktadır. Ortalama doz; bazı meyvelerde

gözlemlenen (örn., çilek, ahudu) küf gelişimini kontrol ederek dayanma sürelerini artırmaktadır. Işınlama ile bazı gıdalarda istenen birtakım değişiklikler oluşturabilmektedir (örn., ışınlanmış unlardan ekme yapımında daha büyük ekme hacmi oluşur, ışınlanan üzümlerden ışınlanmayanlara nazaran daha fazla üzüm suyu alınır) (Mahrouf ve ark., 1998; Lacroix ve Ouattara, 2000; ACSH, 2003).

Gıdalarda bazı parazit zararlarının eliminasyonu

Düşük doz ışınlama ile bazı parazit (örn., toxoplazmoz, trişinelloz) etkenleri etkisiz hale getirilebilmektedir. Işınlanmış domuz eti, çiğ ya

da az pişirilerek yenildiğinde trişinoz ve toksoplazmoz'a sebep olmadığı bildirilmektedir (ACSH, 2003).

Işınlama, canlı hücrelerde çeşitli değişikliklere sebep olmaktadır. Işınlamanın gıdalarda oluşturduğu etki; uygulanan doza bağlıdır. Yüksek doz ışınlama gıdalardaki tüm patojen bakterileri ve sporlarını inaktive etmektedir. Böyle muamele edilen gıdalar yeniden kontaminasyondan korunduğu ve uygun şekilde ambalajlandığı sürece oda sıcaklığında muhafaza edilebilir. Ortalama doz uygulaması gıdalardaki patojen mikroorganizmaları inaktive eder ve raf ömürlerini uzatır. Düşük dozlar bitki kaynaklı gıdalardaki biyokimyasal reaksiyonları değiştirir. Böylece bu gıdaların çürüme veya olgunlaşma prosesleri önemli düzeyde ertelenir. Düşük dozlar aynı zamanda hücre bölünmesini engeller (Lacroix ve Ouattara, 2000; ACSH, 2003). Diğer benzer gıda işlemlerinde olduğu gibi ışınlamanın da kullanımını sınırlayan teknik ve ekonomik limitler vardır. Örneğin ışınlama ile taze gıdaların (örn., sebze, meyve, balık, deniz, ürünleri, et ve kanatlı etleri) raf ömrü sonsuza kadar uzatılmaz. Bunun sebebi gıdalardaki enzimlerin hala aktif, hatta yüksek doz ışınlamaya dahi dirençli olmasıdır. Aşırı yüksek doz ışınlama özellikle fazla yağ içeren gıdalarda aroma kaybına sebep olur. Bazı gıdalar (örn., süt ve ürünleri) lezzetsiz bir aroma oluştuğundan dolayı ışınlamaya uygun değildir (ACSH, 2003).

Işınlamanın Gıdalar Üzerindeki Etkisi

Gıda ışınlama arzu edilen bir takım etkileri (örn., patojenleri öldürmek, raf ömrünü uzatmak, bozulmayı kontrol etmek, kimyasal fumigasyonun yerine kullanmak) elde etmek için iyonize radyasyon ile gıdaların muamele edilmesini kapsar. Bu uygulama; gıdaların ısısında önemli bir artışa sebep olmadığından termal olmayan bir işlem olarak bilinir (A.D.A., 2000; Lacroix ve Ouattara, 2000; ACSH, 2003).

Işınlama gıdayı radyoaktif yapmaz. Gıdaya uygulanan radyasyonun miktarı gıdayı radyoaktif yapacak düzeyin çok altındadır. Röntgen filmi çektilirdiğinde veya x-ışınları ile güvenlik taramasından geçildiğinde radyoaktif veya radyasyonlu hale gelinmiyorsa ışınlanan ürünlerde de bu oluşumlar gözlemlenmez. Gıda ışınlama işlemi radyoaktif atıklar oluşturmaz. İşlem kısaca gıdayı radyasyon kaynağına maruz bırakmaktır (A.D.A., 2000; ACSH, 2003).

Işınlamanın gıdalardaki mikroorganizmalar üzerine etkisi

Farklı tip ve türdeki mikroorganizmalar ışınlamaya karşı değişik hassasiyet gösterirler. Gıda kaynaklı hastalığa ve bozuşmaya sebep olan birçok bakteri genellikle ışınlamaya duyarlıdır. Bu bakteriler 1 kGy ile 7 kGy arasındaki ortalama dozlarla inaktive edilebilirler. Bakteri sporları daha dirençli olup inhibe edilebilmeleri için daha yüksek dozda (10 kGy) ışınlamaya ihtiyaç vardır. Düşük veya ortalama doz ışınlama ile muamele

edilen gıdalarda patojen ve bozuşma yapan bakterileri öldürmek, bakteri sporları tarafından üretilen toksin zararlarından korunmak için ikinci bir işleme ihtiyaç vardır (örn., ısı işlem, soğukta muhafaza, dondurma). Bazı gıdaları bozabilen mayalar ve küfler bakterilerden biraz daha dirençli olup tahrip olmaları için en az 3 kGy radyasyon uygulamasına ihtiyaç vardır. Virüsler radyasyona son derece dirençli olduklarından etkisiz hale getirilmeleri için 20 kGy ile 50 kGy arasında dozlara ihtiyaç vardır. Bundan dolayı gıdalardaki virüslerin inaktivasyonları için ışınlama uygun bir yöntem değildir (Acar,1999; Lacroix ve Ouattara, 2000; ACSH, 2003).

Gıda ışınlamanın mutasyona uğramış yeni bakteri türleri oluşturabileceği yönünde yanlış bir inanış vardır. Söz konusu potansiyel riski araştırmaya yönelik olarak sürdürülen çalışmalar bunun yersiz olduğunu göstermiştir. Şöyle ki, ışınlamanın en büyük tahribatı kromozomlar üzerine olmaktadır. Bu uygulamaya maruz bırakılan gıdalardaki bakteri kromozomları geri dönüşümsüz olarak zarar görmektedir. Işınlama sonucunda bakteri canlı kalmış olsa bile kromozomlarındaki harabiyetten dolayı üreme yeteneğini kaybetmektedir (Urbain, 1986; Lacroix ve Ouattara, 2000; ACSH, 2003).

Besin değeri üzerine etkisi

Gıda muhafaza yöntemleri (örn., kurutma, dondurma, konserveleme) gıdaların besin değerinde birtakım kayıplara (örn., vitamin, mineral kaybı) sebep olmaktadır. Söz konusu bu kayıplar her yöntemde farklı düzeyde gözlemlenmektedir. Işınlamanın gıdaların besin değeri üzerine olan etkisi ise pişirme, dondurma veya konservelemeden daha fazla değildir (Swallow, 1991; ICGFI, 1991; Diehl, 1995; A.D.A., 2000).

Işınlamanın gıdanın besin değerinde yaptığı değişiklikler çok sayıda faktöre (örn., radyasyon dozu, gıdanın tipi, ısı, atmosfer (örn., oksijensiz ortam), ambalajlama, depolama süresi) bağlıdır. Bu yöntemin gıda bileşenleri üzerine olan etkisi ise farklılık arz etmektedir (Olson, 1998; A.D.A., 2000; ACSH, 2003). Şöyle ki; 10 kGy'dan daha fazla ışınlama dozları bile karbonhidratlar, yağlar ve proteinler gibi gıdaların ana bileşenlerini fazla etkilememektedir (Swallow, 1991; Thorne, 1991; Diehl, 1995; A.D.A., 2000). Benzer durum esansiyel amino asitler, mineraller, iz elementler ve çoğu vitaminler (riboflavin, niasin ve vitamin D) için de geçerlidir. Fakat vitamin A, B₁ (tiamin), E ve K ışınlamaya nispeten duyarlıdır (Thorne, 1991; Diehl, 1995; A.D.A., 2000). Bu durumun vitaminlerin yağda çözünüp çözünmemesi veya ışınlamanın yapıldığı atmosferle alakalı olduğu düşünülmektedir. Yapılan çalışmalar tiaminin ısı işlemlere duyarlılığının ışınlamadan daha fazla olduğunu göstermiştir. Işınlamanın, sebze ve meyvelerdeki C vitamini üzerine etkisini araştıran çalışmaların sonuçları çelişkilidir (Lacroix ve Ouattara, 2000; ACSH, 2003). Işınlamanın sadece askorbik asit

üzerine tesir ettiğini belirten çalışmaların yanında total askorbikasitin (askorbikasit ile dehidroaskorbikasit) de etkilendiğini bildiren araştırmalar da mevcuttur (Diehl, 1995; ACSH, 2003).

Özetle; ışınlamanın gıdaların besin değeri üzerine etkisi düşük dozlar (1 kGy'a kadar) için önemsiz sayılmaktadır. Birtakım kayıplar ortalamaya dozu seviyesinde (1 kGy-10 kGy) oluşurken bazıları ise (örn., tiamin kaybı) yüksek doz (10 kGy üzeri) ışınlama düzeyinde gerçekleşmektedir. Diğer gıda işleme proseslerinde olduğu gibi ışınlamada da vitamin kayıpları bazı koruyucu önlemlerle (örn., ışınlama ve depolama sırasında havasız ortam, düşük sıcaklık uygulaması) azaltılabilmektedir (Lacroix ve Ouattara, 2000; ACSH, 2003). Genel olarak ışınlamanın gıdanın besin değeri üzerine etkisi düşük olarak kabul edilmektedir (ACSH, 2003).

Gıdaların duyuşsal kaliteleri üzerine etkisi

Gıdaların doğru bir şekilde dayanıklı hale getirilebilmesi için uygun muhafaza yönteminin kullanılması gerekmektedir. Aksi halde gıda maddelerinde birtakım tat ve aroma kusurları oluşabilmektedir. Gıda ışınlama bazı gıdaların (örn., süt ve ürünleri) duyuşsal özelliklerinde istenmeyen sonuçlara sebep olabilmektedir. Bu durum söz konusu yöntemin kullanımını sınırlayan bir faktör olarak ele alınmaktadır (Farkas, 1998; ACSH, 2003). Bazı gıdalarda ışınlamanın düşük dozları bile istenmeyen tat ve aromaya sebep olabilmektedir. Süt ve ürünleri radyasyona en duyarlı gıdalar arasında olup, 0,1 kGy doz ışınlama seviyesinde dahi beğenilmeyen tat oluşmaktadır. Bu yüzden süt ve ürünleri genel olarak ışınlanmamaktadır (ACSH, 2003).

Işınlama, bazı taze sebze ve meyvelerin hücre duvarına zarar verdiğinden yumuşamaya sebep olabilmektedir (ACSH, 2003). Bazı et ürünlerinde yüksek doz ışınlama uygun şekilde uygulanmadığında aroma bozuklukları oluşabilmektedir (Lacroix ve Ouattara, 2000; ACSH, 2003). Işınlamadan beklenen faydanın sağlanması için her bir gıda için optimum doz ve uygun şartların belirlenmesi gerekmektedir. Aşırı yüksek doz gıdaların duyuşsal özelliklerini etkilerken aşırı düşük doz ise arzu edilen sanitasyonu sağlayamamaktadır. Işınlamaya uygun olduğu kabul edilen bazı gıdalar; kök ve yumrular, tahıllar ve baklagiller, kırmızı ve kanatlı etleri, balık ve deniz ürünleri, çoğu sebze ve meyveler ile baharatlardır. Bu gıdaların duyuşsal özelliklerinde fazla kayıp olmaksızın uygun şartlar altında ışınlanabileceği bildirilmektedir. Bazı hassas gıdalar (örn., et ve balık) düşük sıcaklık ve uygun atmosfer şartlarında ambalajlanarak ışınlanabilmektedir (ACSH, 2003).

Işınlanmış Gıdaların Güvenilirliği

Gıda ışınlamanın güvenilirliğini belirlemeye yönelik araştırmalar uzun yıllardan beri devam etmektedir. Bu amaçla hayvan yedirme (örn., ratlar, fareler, köpekler ve maymunlar üzerinde)

deneilerini de içeren çok yönlü incelemeler yapılmıştır. Yapılan çalışmalar ile gıda ışınlamanın güvenilir bir yöntem olduğu, ışınlamaya tabi tutulmuş gıda maddeleri tüketiminin sağlık açısından bir risk oluşturmayacağı gösterilmiştir (Thayer, 1994; FDA, 2000; A.D.A., 2000; ACSH, 2003).

Sürdürülen araştırmalarda; günlük diyetlerinde ışınlanmış gıdalar bulunan deney hayvanları, gelişimleri, kan değerlerinin durumu ve histopatolojileri yönünden incelenmiştir. Yapılan çalışmaların sonuçları Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (Food and Agricultural Organization of the United Nations FAO), Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu (International Atomic Energy Agency IAEA) ve Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization (WHO), tarafından görevlendirilen uzmanlar (toksikologlar, beslenme uzmanları, mikrobiyologlar, radyasyon kimyacıları ve radyolojistler) tarafından ele alınmıştır (WHO, 1997; A.D.A., 2000; Lacroix ve Ouattara, 2000; ACSH, 2003). Bunun sonucunda ortalama olarak 10 kGy'a kadar olan dozların toksikolojik zararlarının olmadığı kanısına varılmıştır (Farkas, 1998; Lacroix ve Ouattara, 2000 ACSH, 2003).

Işınlanmış gıdaların güvenilirliği belirlemeye yönelik 1981 yılında yapılan bir araştırmada 21 bayan ve 22 erkek gönüllü 15 gün boyunca toplam kalori alımlarının % 62 ile % 70'ini ışınlanmış gıdalardan karşılamışlardır. Söz konusu kişilerde ışınlanmış gıdaların kullanımından kaynaklanan olumsuz bir duruma rastlanmamıştır (ACSH, 2003).

Birçok ülkede (örn., Avusturya, Avustralya, Kanada, Fransa, Almanya, Japonya, İzlanda, İngiltere ve ABD) yürütülen çalışmalarla radyasyon-sterilizasyon yöntemiyle ışınlanan ürünlerin güvenilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla, 25 kGy-50 kGy doz aralığında ışınlanan gıda maddeleri ile beslenen deney hayvanları (örn., ratlar, fareler) incelenmiştir. Çalışmaların sonucunda, ışınlanmış gıda kullanımından kaynaklanan ve aktarılabilen genetik bozukluklara rastlanılmamıştır (ACSH, 2003).

Işınlanmış gıdaların güvenilirliği birçok bilim dalı (örn., radyasyon kimyası, genel toksikoloji, beslenme, mikrobiyoloji, ambalajlama, radyasyon kimyası) tarafından yürütülen çok yönlü çalışmalarla saptanmaktadır (ACSH, 2003).

Işınlama Uygulanan Gıdalar

Işınlama hiçbir atık içermeyen fiziksel bir proses olması nedeniyle taze ve kolay bozulabilen gıdaların korunmasında uygulanan etkin bir yöntem olmakla birlikte her gıdaya uygulanması mümkün değildir (Lagunas-Solar, 1995; Farkas, 1998).

Meyve ve sebzelerin ışınlanması

Taze meyve ve sebzelerin raf ömrünü uzatmak için ışınlama uygulamaları üzerine çok sayıda çalışma yapılmıştır (Thomas, 1986;

Farkas, 1990; Lacroix ve ark., 1991; Gagnon ve ark., 1993; Lacroix ve Ouattara, 2000).

Chaudry ve ark. (2004), havuçlarda ışınlanmanın etkisinin araştırdıkları çalışma sonucunda 2 kGy ışınlama dozunda mantar ve bakteriyel gelişimin tamamen kontrol edildiğini, koliform ve *E.Coli*'nin ise gözlemlenmediğini ayrıca bu düzeyde ışınlanan havuçların duyuşal olarak da kabul edilebilir olduğunu belirtmektedirler.

Song ve ark; (2006); havuç ve lahanada suyuunda *E.Coli* ve *S.Typhimurium*'un varlığını araştırdıkları çalışmada ışınlanmanın mikrobiyel kaliteyi olumlu yönde etkilediğini belirlemişlerdir. Ayrıca bu uygulamanın söz konusu meyve sularında oksidatif aktiviteyi engellemediği hatta artırdığını vurgulamışlardır.

Yapılan bir çalışmada (Bhushan ve Thomas, 1998) elma çeşitleri, (örn., "Golden Delicious", "Royal Delicious", "Red Delicious" ve Rich-A-Red") 0,1-0,2-0,4 ve 0,6 kGy doz seviyelerinde ışınlanarak 2-4 °C'da 6 ay süreyle depolanmıştır. Daha sonra numunelerin fizikokimyasal ve organoleptik kalitesindeki değişimler araştırılmış ve 0,1 kGy seviyesindeki ışınlama dozunun söz konusu kalite kriterlerinde olumsuz bir durum oluşturmadığı gözlemlenmiştir. Sonuç olarak ışınlanmanın elma ticaretinde alternatif bir koruma metodu olarak kullanılabilceği belirtilmiştir.

Hagenmaier ve Robert (1997) tarafından yapılan bir çalışmada taze ve dilimlenmiş kıvrıcık marulları 0,19 kGy dozunda ışınlanmıştır. Söz konusu numunelerde ışınlama işleminden 8 gün sonra yapılan mikrobiyolojik analizlerde toplam canlı sayısının $2,9 \times 10^2$ kob g^{-1} , maya ve küf sayısının $6,0 \times 10^1$ kob g^{-1} olduğu rapor edilmiştir. Oysa ışınlanma işlemi uygulanmamış örneklerde bu rakam sırasıyla $2,2 \times 10^5$ ve $1,4 \times 10^3$ kob g^{-1} olarak belirlenmiştir.

Son yıllarda fazlaca ilgi gören bir gıda maddesi olan mantarlarda satış esnasında %40'dan fazla kayıp meydana gelmektedir. Bu kayıplar çeşitli sebeplerden (örn., yüzeyde kahverengileşme, şapkanın açılması, şapka çapının artması, ağırlık kaybı ve tekstürel değişiklikler) kaynaklanmaktadır. Mantarın yüzeyindeki kahverengileşmeye polifenoloksidaz enzimi ve/veya bakteriler (*Pseudomonas tolaasii*, *Mycogone perniciosus magnus*) neden olmaktadır. Düşük doz ışınlama uygulaması ve kontrollü depolamanın birlikte kullanımı taze mantarların raf ömrünü uzatmaktadır. 2 kGy'lık ışınlama uygulamaları ile bazı patojen bakterilerin (örn., *Pseudomonas tolaasii*, *Mycogone perniciosus*) gelişimi engellenmekte, ışınlanan ürün 10°C'da depolandığında raf ömrü 2 günden 8 güne kadar uzatılabilmektedir (Beaulieu ve ark., 1999; Lacroix ve Ouattara, 2000).

Turunçgillerde ışınlanmanın uygulanabilirliğini belirlemeye yönelik olarak yapılan bir çalışmada (Abdellaoui ve

ark., 1995) meyvelerin raf ömrünü uzatmak amacıyla ılık suyla yıkama ve vaksalama uygulamalarının depolama boyunca önemli kayıplara yol açtığı gösterilmiştir. Oysa 0,3 kGy seviyesinde ışınlanan ve 3°C'da depolanan mandalinalarda 8 hafta sonunda daha az bir kayıp olduğu bildirilmiştir.

Başka bir çalışmada (Sudha Rao ve ark., 2000) paketlenmiş pirinçlerde böceklenmeyi önlemek için düşük dozlarda (0,25-1 kGy) ışınlama yapılmıştır. Işınlanmamış pirinçlerde oda sıcaklığında bir ay depolama sonucunda yüksek derecede böceklenme görülürken 0,25 kGy doz ışınlama seviyesinde bile bu duruma rastlanılmadığı belirtilmiştir.

Et ve et ürünlerinin ışınlanması

Işınlama uygulamalarının et ve ürünlerinde kullanılabilirliğini belirlemeye yönelik çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Söz konusu çalışmalarda kanatlı ve kırmızı ette uygulanması gereken en düşük ışınlama dozunun 2,5 kGy olduğu bildirilmektedir (Hanis ve ark., 1989; Farkas, 1998). Bunun yanında tavuk etinde *Salmonella* spp.'nin tamamen yok edilebilmesi için 2,5 kGy'dan daha yüksek dozlara gereksinim duyulmaktadır (Farkas, 1998; Lacroix ve Ouattara, 2000).

Bir çalışmada (Vickers ve Wang, 2002) sığır etinden hazırlanan ve 1,5 kGy dozda ışınlanan köftelerin lezzet ve beğenilme özellikleri incelenmiştir. Sonuç olarak ışınlanmış ve ışınlanmamış örnekler arasında fark olmadığı, sadece ışınlanmış köftelerin daha sulu ve daha kırmızı renge sahip olduğu bildirilmiştir.

Javanmard ve ark (2006); broylerlerden elde edilen etlere 0,75-5 kGy doz seviyelerinde ışınlama uygulayıp -18°C'de depolanmışlardır. Bu araştırmacılar; 3 aylık aralıklarla yürüttükleri kimyasal ve mikrobiyolojik analizler neticesinde etlerin duyuşal özelliklerinde olumsuz durumların oluşmadığını, mikrobiyel yükün azaldığını, raf ömrünün uzatıldığını vurgulamışlardır.

Baharat ve aromatik bitkilerin ışınlanması

Baharatların ve aromatik bitkilerin lezzet verici özellikleri içerdikleri uçucu yağlardan kaynaklanmaktadır. Bu ürünler güneşte kurutma, depolama ve taşıma esnasında mikrobiyel bulaşmaya maruz kalabilmektedir. Bu yüzden satışa sunulmadan önce buharla, etilen oksitle veya ışınlama ile muamele edilebilmektedir (Farkas, 1988). Buhar ve etilen oksitle yapılan uygulamalarda birtakım olumsuz durumlar (örn., buhar muamelesinde yağ asitlerinde meydana gelen kayıplar, etilen oksitin toksik etkisi) gözlemlenebilmektedir. Bu durumda gama ışınlaması baharatlarda aroma kalitesini değiştirmeyen ve mikrobiyel bozulmayı önleyen etkin bir metot olarak ele alınmaktadır (Farkas, 1988; A.D.A., 2000; ACSH, 2003).

Yapılan bir çalışmada (Variyar ve ark., 1998) 10 kGy dozda ışınlanan karanfil, kakule ve hindistan cevizi örneklerinin uçucu esansiyel yağ bileşenleri, destilasyon-ekstraksiyon tekniği ile

izole edilerek ışınlanmamış örneklerle beraber gaz sıvı kromatografisinde (GLC) ölçülmüştür. Işınlanmış karanfil ve kakulenin esansiyel yağ bileşenleri içeriğinde kalite ve miktar bakımından değişiklik görülmemiştir. Bununla birlikte, ışınlanmış hindistan cevizinde miristin içeriğinin 6 kat arttığı ve elimisin içeriğinin ise aynı oranda azaldığı rapor edilmiştir

Yapılan bir araştırmada (Piggott ve Othman, 1993) ışınlama uygulamasına tabi tutulan karabiberin uçucu yağ içeriğindeki değişimler araştırılmıştır. Işınlanmamış ve 10, 20 ve 30 kGy dozlarında gama ışınlarına maruz bırakılmış karabiber örneklerinin uçucu yağ içeriği belirlenmiştir. Numunelerde ışınlamadan sonra 24°C'da 1., 30. ve 90. gün depolama sırasındaki değişiklikler araştırılmış, ışınlama dozu ve depolama süresinin uçucu yağ içeriği üzerine etkisi olmadığı bildirilmiştir.

Variyar ve ark. (1997) tarafından, filizlenmeyi önlemek için 60 Gy dozda gama ışınlarıyla ışınlanan taze zencefil kök ve gövdeleri uçucu yağ içerikleri açısından analiz edilmiştir. Sonuç olarak bu düzeyde yapılan ışınlama uygulamasının söz konusu bileşenler üzerinde belirgin bir değişikliğe neden olmadığı bildirilmiştir.

Tüketicilerin Işınlanmış Gıdaya Bakışı

Tüketiciler 1990'lı yılların başına kadar ışınlama teknolojisiyle ilgili yetersiz bilgiye sahiptiler (Pszczola, 1990; Loaharanu, 1994; A.D.A., 2000; Webb ve Penner, 2000). İnsanlar bu yöntemin gıdalarda radyoaktiviteye sebep olduğunu düşünmekteydiler (Topal, 1988). Günümüzde ise ışınlanmış gıdalar daha fazla kabul görmeye başlamıştır. Yapılan bir araştırmada (Resurreccion ve ark. 1995); ankete katılan kişilerin %72'sinin ışınlamadan haberdar olduğu, %87,5'inin ışınlama hakkında çok fazla bilgiye sahip olmadığı ortaya çıkmıştır. Yine bu çalışmada tüketicilerin %45'inin ışınlanmış gıda satın aldıkları, %19'unun satın almadığı ve %36'sının kararsız kaldığı saptanmıştır. ABD'de yapılan bir araştırma (Johnson ve ark., 2004) ile tüketicilerin %76'sının ışınlanmış domuz etini, %68'inin ise aynı muameleye tabi tutulmuş kanatlı etini tercih ettikleri ortaya konulmuştur. Tüketiciler bu şekilde *Trichinella* ve *Salmonella* etkenlerinden kaynaklanan hastalık riskini azaltmayı hedeflediklerini belirtmişlerdir. 1993 yılında tüketicilerin %29 u ışınlanmış gıdaları satın almayı isterken bu oranın 2003 yılında %69 a çıktığı aynı çalışmada ortaya konulmuştur. Bu yöntemin kabul edilebilirliği gelişmiş ülkelerde daha fazladır (Gunes ve Tekin, 2006)

Sonuç olarak ışınlama, gıdaların bozulmasına neden olan ve insanlarda hastalıklara yol açan organizmaların azaltılması veya yok edilmesini sağlarken duyu kaliteyi de korumaktadır. Ayrıca bu yöntem gıdaların raf ömrünü uzatan bir takım kimyasal reaksiyonları sınırlayan alternatif bir muhafaza yöntemi olarak ele

alınmaktadır. Tüketiciler gıda ışınlama hakkında bazı yanlış inanışlara sahiptirler. Bu noktadan hareketle ışınlama uygulamaları ile ilgili olarak tüketicilerin bilinçlendirilmesi gerekmektedir. Gıda ışınlama yönteminin diğer muhafaza yöntemleriyle birlikte kullanılması halinde gıda güvenliği ve kalitesi açısından daha iyi sonuçların alınabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Abdellaoui, S., Lacroix, M., Jobin, M., Boubekri, C. and Gagnon, M. (1995). Effect of gamma irradiation combined with hot water treatment on the physico-chemical, nutritional and organoleptic qualities of clementines. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 15, 217-235.
- Acar, J. (1999). Mikroorganizmaların öldürülmesi. "Alınmıştır: *Gıda Mikrobiyolojisi*. (ed) Ünlütürk, A., Turantaş, F., Mangi Tan Basımevi, İzmir, 241-246."
- A.D.A., (2000). Position of the American Dietetic Association: Food Irradiation. ADA Reports. February 2000. 100, 246-252.
- American Council On Science And Health. (2003) http://www.acsh.org/docLib/20040331_irradiated.pdf
- Ashley, B C., Birchfield, P T., Chamberlain, B. V., Kotwal, R. S., McClellan, S. F., Moynihan, S., Patni, S. B., Salmon, S A. and Au, William W. (2004). Health concerns regarding consumption of irradiated food. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 207, 493-504
- Beaulieu, M., Béliveau, M., D'Aprano, G. and Lacroix, M. (1999). Dose rate effect of gamma irradiation on phenolic compounds, polyphenol oxidase (PPO) and browning of mushrooms (*Agaricus Bisporus*). *J. Agriculture Food Chemistry*, 47, 2537-2543
- Bhushan, B. and Thomas, P. (1998). Quality of apples following gamma irradiation and cold storage. *International Journal of Food Science*, 49, 485-492.
- Chaudry, M.A., Bibi, N., Khan, M. Khan, M., Badshah, A., Qureshi, M.J. (2004). Irradiation treatment of minimally processed carrots for ensuring microbiological safety. *Radiation Physics and Chemistry*, 71, 169-173.
- Calenberg, S. B., Vanhaelewyn, G., Cleemput, O. V., Callens, F., Mondelaers, W. and Huyghebaert, A. (1998). Comparison of the effect of X-ray and electron beam irradiation on some selected spices. *LWT - Food Science and Technology*, 31, 252-258.
- Diehl JF. Safety of Irradiated Foods. New York, NY: Marcel Dekker; 1995.
- Dogan, M., Kayacier, A and Ic, E. (2007). Rheological characteristics of some food hydrocolloids processed with gamma irradiation. *Food Hydrocolloids* 21, 392-396.

- Farkas, J. (1988). Irradiation of dry food ingredients. CRC Press, FL, 1-36.
- Farkas, J., (1990). Combination of irradiation with mild heat treatment. *Food Control* 1, 223-229.
- Farkas, J., (1998). Irradiation as a method for decontaminating food A review. *International Journal of Food Microbiology*, 44,189-204.
- Food and Drug Administration. (2000). <http://www.cfsan.fda.gov/~dms/qa-irr1.html>. (Erişim Tarihi: 01 02 2008).
- FDA (1997). Irradiation in the production, processing and handling of food. 62 Federal Register 232, 64107-64121).
- Gagnon, M., Lacroix, M., Pringsulaka, V., Latreille, B., Jobin, M., Nouchpramool, K., Prachasitthisak, Y., Charoen, S., Adulyatham, P., Lettre, J. and Grad, B., (1993). Effect of gamma irradiation combined with hot water dip and transportation from Thailand to Canada on biochemical and physical characteristics of Thai mangoes (Nahng Glahng Wahn variety). *Radiation Physics and Chemistry*, 42, 283-287.
- Gunes, G. and Tekin, M. D. (2006). Consumer awareness and acceptance of irradiated foods: Results of a survey conducted on Turkish consumers. *LWT - Food Science and Technology*, 39, 444-448.
- Hanis, T., Jelen, P., Klir, P., Mnukova, J., Perez, B. and Pesek, M. (1989). Poultry meat irradiation. Effect of temperature on chemical changes and inactivation of microorganisms. *J. Food Prot.*, 52, 26-29.
- Hagenmaier, R.D. and Robert, A.B. (1997). Low-dose irradiation of cut iceberg lettuce in modified atmosphere packaging. *Journal of Agriculture Food Chemistry*, 45, 2864-2868.
- International Consultative Group on Food Irradiation.(1991) Facts About Food Irradiation. Vienna, Austria: International Atomic Energy Agency.
- Javanmard, M., Rokni, N., Bokaie, S., Shakhosseini, G.,(2006). Effects of gamma irradiation and frozen storage on microbial, chemical and sensory quality of chicken meat in Iran. *Food Control* 17, 469-473.
- Johnson, A.M., Reynolds, A.E., Chen, J. and Resurreccion, A.V.A. (2004). Consumer attitudes towards irradiated food: 2003 vs. 1993. *Food Prot. Trends* 24(6).
- Lacroix, M., Jobin, M., Latreille, B., Lapointe, M. and Gagnon, M., (1991). Hot-water immersion and irradiation effect on mangoes keeping-quality after air shipment from Thailand to Canada. *Microbiologie Aliments Nutrition*, 9, 155-160.
- Lacroix, M. and Ouattara B. (2000). Combined industrial processes with irradiation to assure innocuity and preservation of food products — a review. *Food Research International*, 33,719-724.
- Lagunas-Solar, M.C. (1995). Radiation processing of foods: An overview of scientific principles and current status. *Journal of Food Protection*, 58, 186-192.
- Loaharanu, P. (1994). Status and prospects of food irradiation. *Food Technology*, 48, 124-130.
- Mason, J. (1992). Food irradiation-promising technology for public health. *Public Health Rep.*, 107, 489-490.
- Mahrouf, A., Lacroix, M., Nketsa-Tabiri, J., Calderon, N. and Lacroix, M. (1998). Antimicrobial properties of natural substances in irradiated fresh poultry. *Radiation Physics and Chemistry* 52, 81-84.
- Monk, J. D., Beuchat, L. R. and Doyle, M. P. (1995). Irradiation inactivation of food-borne microorganisms. *Journal of Food Protection*, 58, 197-208.
- Morrison RM, Roberts T, Witucki L. (1992). Irradiation of US poultry-benefits, costs, and export potential. *Food Review*; 15, 16-21.
- Olson, DG. (1998). Scientific Status Summary, Irradiation of Food. A Publication of the IFT Expert Panel on Food Safety and Irradiation. *Food Technology*, 52, 56-62.
- Piggott, J.R. and Othman, Z. (1993). Effect of irradiation on volatile oils of black pepper. *Food Chem.*, 46, 115-119.
- Pszcola, D. E. (1990). Food irradiation. Countering the tactics and claims of opponents. *Food Technol.*, 44, 92-97.
- Resmi Gazete (2003). T.C. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, Gıda İşinlanma Yönetmeliği Sayı, 25321.
- Resurreccion, A.V.A., Galvez, F.C.F., Fletcher, S.M. and Misra, S.K. (1995). Consumer attitudes toward irradiated food-results of a new study. *J. Food Protect.*, 58, 193-196.
- Satin, M. (1996). *Food irradiation a guidebook*. (second edition). CRC Pres., books.google.com. (Erişim Tarihi:01 02 2008).
- Smith, J.S. and Pillia, S. (2004). Irradiation and food safety. *Food Technology*, 58, 48-55.
- Song, HP., Kim, DH., Jo, C., Lee, CH., Kim, KS., Byun MW., (2006). Effect of gamma irradiation on the microbiological quality and antioxidant activity of fresh vegetable juice *Food Microbiology*, 23, 372-378.
- Sudha Rao, V., Gholap, A.S., Adhikari, H. and Madhusudanan Nair, P., (2000). Disinfestation of Basmati rice by the use of y-radiation. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 35, 533-540.
- Swallow AJ. Wholesomeness and safety of irradiated foods. In: Friedman M, ed. *Nutritional and Toxicological Consequences of Food Processing*. NewYork, NY: Plenum Press; 1991:11-31.

- Topal, Ş. (1988). Işınlama tekniği ve gıda sanayisinde kullanım olanakları. *Gıda*, 13, 417-423
- Thayer DW. (1994). Wholesomeness of irradiated foods. *Food Technology*, 48, 132-135.
- Thomas, A.C., (1986). Radiation preservation of foods of plant origin. III. Tropical fruits: bananas, mangoes and papayas. *Critical Review in Food Science and Nutrition*, 23, 147-206.
- Thorne S., 1991. *Food Irradiation.*, NY: Elsevier Science Publishers, New York.
- Urbain, W.M. (1986). *Food irradiation.* Academic Press, Orlando, FL.
- Webb, M., Penner, K. (2000). *Food Irradiation*, Kansas State University, February, <http://www.oznet.ksu.edu/library/fntr2/mf24-26.pdf>. [Erişim 05.02.2008]
- World Health Organisation (1997). High-dose irradiation: wholesomeness of food irradiated with doses above 10 KGy, a joint FAO/IAEA/WHO study group. Geneva, Switzerland, 1520. September. 1997. <http://www.who.int/foodsafety/publications..> (Erişim Tarihi: 01 02 2008).
- World Health Organisation (1983). <http://www.euro.who.int/document.pdf>. (Erişim Tarihi: 01 02 2008).
- Variyar, P.S., Bandyopadhyay, C. and Thomas, P. (1998). Effect of γ -irradiation on the volatile oil constituents of some Indian spices. *Food Research Int.*, 31, 105-109.
- Variyar, P. S., Gholap, A. S. and Thomas, P. (1997). Effect of γ -irradiation on the volatile oil constituents of fresh ginger (*Zingiber officinale*) rhizome. *Food Research Int.*, 30, 41-43.
- Vickers, Z. M. and Wang, J. (2002). Liking of ground beef patties is not affected by irradiation. *J. Food Sci.*, 67, 380-383.
- Villavicencio, A. L. C. H., Araújo, M., Marin-Huachaca, M. N. S. J., Mancini-Filho and Delincée H. (2004). Identification of irradiated refrigerated poultry with the DNA comet assay. *Radiation Physics and Chemistry*, 71, 189-191.