

Gıda Endüstrisinde İyonize Radyasyon Kullanımı

Semra KAYAARDI Veli GÖK

Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü - MANISA

ÖZET

Gıdaların ışınlanması (irradiyasyon), çeşitli enerji tiplerinin gıdalara uygulanmasıdır. Işınlama; bakteri ve diğer zararlı organizmaların gelişmelerini, moleküler yapılarını değiştirmek suretiyle engellemekte, sebze ve meyvelerde biyokimyasal reaksiyonlar sonucu oluşan olgunlaşma ve pürsümeleeri geciktirmekte, patates, soğan gibi ürünlere de filizlenmeleri önlemektedir. Sonuç olarak, gıdaların depolama süresinin uzatılması ve kalitelerinin geliştirilmesi söz konusu olmaktadır.

The Use of Ionizing Radiation in Food Industry

ABSTRACT

Food irradiation is the treatment of food by certain type of energy. Irradiation is prevent the division of bacteria and the other organisms by changing their molecular structure, slow down ripening and senescence of fruits and vegetables by causing biochemical reactions, prevent sprouting in potatoes, onions etc. As a results, the normal storage life foods is extend and improvement food quality.

GİRİŞ

Gıdalarda bozulmaları geciktirmek, bozulma sonucu oluşan gıda kayıpları ile gıda zehirlenmelerini önlemek ve uluslararası ticarete gerekli olan kalite standartlarını sağlanmak amacıyla çeşitli muhafaza yöntemleri uygulanmaktadır. Radyasyon uygulamaları da son yıllarda etkili muhafaza yöntemleri arasında yerini almıştır. Gıda ve Tarım Organizasyonu (7) verilerine göre, dünyada gıdaların %25'i böcek, bakteri ve kemirgenler tarafından telef edilmektedir. Işınlama, tek başına hasat sonu kayıpları önlemek için yeterli olmamakla birlikte, kayıpları ve pestisitlerin kimyasal reaksiyonlarını azaltmada büyük rol oynamaktadır. Gıdalarda böceklenme, küflenme ve erken filizlenme gibi durumlara bağlı olarak oluşan kayıpları engellemek için birçok ülkede hububat, patates, soğan, sarımsak gibi ürünlerin muhafazasında ışınlama yöntemi uygulanmaktadır. Özellikle böceklenme ve mikrobiyal bulaşmalara karşı uygulanan fumigasyon işlemine alternatif olarak radyasyon kullanımı konusunda araştırmalar sürdürülmektedir. Ayrıca düşük dozlarda radyasyon enerjisi kullanılarak gıda kaynaklı hastalıkların kontrolü ve katı gıdaların daha hijyenik olması sağlanmaya çalışılmaktadır. Radyasyonun gıda güvenliği ve sağlık üzerine etkileri baharat, tahıl ürünleri, kanatlı etleri, meyve ve sebzeler üzerinde yapılan çalışmalarla aydınlatılmaya çalışılmakta ve günümüzde birçok ülkede ticari işletmelerde kullanım alanı bulmaktadır. Gıdaların ışınlanmasına izin verilen ülkelerde en fazla et, deniz ürünleri, kuru gıdalar, dondurulmuş tavuk ürünleri ve baharatlar bu uygulamaya tabi tutulmaktadır (8, 13). Son 50 yılda yapılan çalışmalar, ışınlamanın etkili bir muhafaza yöntemi olduğunu, ancak uygulama zamanı ve dozunun çok iyi ayarlanması gerektiğini göstermektedir (4,13). Kodex Alimentarius Komisyonu'na hazırlanmış olan gıdaların radyasyon ile muhafazasına ilişkin kurallar, Gıda ve Tarım Organizasyonu ile Dünya Sağlık Örgütü tarafından 130'u aşkın ülkede uygulanmaktadır (7). Dünyada her yıl yaklaşık yarım milyon ton gıda maddesi ve katkı maddeleri radyasyonla muamele edilmektedir. Bu değer toplam işlenmiş gıdalar

dikkate alındığında çok düşüktür ve ışınlama henüz uluslararası ticarete kullanılmamaktadır. Gıdalarda radyasyon uygulamasının gelişimi ve yaygınlaşması için tüketicilerin olayı anlaması ve kabul etmesi gerekmektedir. Yanlış anlamalar ve korkular yüzünden nükleer bulaşma riskini düşünen tüketicilere bunu kabul ettirmek oldukça güçtür. Gıdaların ışınlanması ile ilgili yanlış anlamaları engellemek için çeşitli durum raporları yayınlanmakta ve Uluslararası Irradiyasyon Grubu bu konuyla yakından ilgilenmektedir (4). Yanlış anlamalar ve kuşku ortadan kaldırmak için öncelikle ışınlanmış gıda ile radyoaktif gıda terimlerinin birbirinden ayırt edilmesi gerekmektedir.

İşinlanmış gıdalar: istenen düzey ve tipte radyasyon enerjisinin, sporları inhiye etme, gıda zehirlenmelerine yol açan bakterileri yıkılama gibi istenen özelliklerinden dolayı, uygulandığı gıdalardır. Gıdaların yanında kozmetikler, şarap şişeleri, hastane malzemeleri, tıbbi malzemeler ve bazı gıda paketlenme materyalleri de ışınlanmaktadır.

Radyoaktif gıdalar ise: silah denemeleri veya nükleer reaktör kazaları sonucu istenmeden radyoaktif kaynaklardan kontamine olan gıdalardır. Bu tür bulaşık gıdalar, koruma amaçlı veya diğer özellikleri bakımından gıdaya bilinçli olarak uygulanan radyasyonla kesinlikle karıştırılmamalıdır (4,6).

Gıdalara Uygulanan Radyasyon ve Tipleri

Bazı maddelerin atomları sürekli olarak parçalanmakta ve çevreye iyonize eden ışınlar yaymaktadır. Bu şekilde parçalanarak iyonizan ışın yayan maddelere radyoaktif maddeler adı verilmektedir. Uranyum doğal radyoaktif maddelerden biridir. Bazı elementler ise bir takım işlemler sonucunda yapay olarak radyoaktif madde haline dönüştürülmektedir. Bu elementlerden en önemlileri kobalt 60 (Co^{60}) ve sezyum 137 (Cs^{137}) elementleridir. Kobalt 60 (Co^{60}) ve sezyum 137 (Cs^{137}) yapay olarak radyoaktif hale getirilmiş maddeler olup bunlara radyoaktif izotoplar veya radyonüklidler denmektedir. Gıdaların işlenmesinde kullanılan radyasyon tipleri; yüksek enerjili gamma ışınları, X ışınları ve hızlandırılmış elektron radyasyonlarıyla sınırlıdır. Bu radyasyonlar ayrıca iyonize radyasyon olarak da

adlandırılmaktadır. Çünkü bu radyasyon tiplerinin enerjileri, elektronların atomlardan ve moleküllerden ayrılmaları için yeterlidir ve bunları elektriksel olarak yüklü iyonlara dönüştürürler. Gamma ve X ışınları; yüksek enerjili elektromanyetik ışınlardır, kısa dalga boyunda meydana gelirler ve enerji düzeyleri yüksek olduğu için nüfuz etme yetenekleri fazladır. Gıdaların muhafazasında en fazla kullanılan iyonize ışın gamma ışınlarıdır. Co⁶⁰ ve Cs¹³⁷, gamma ışınlarının üretiminde kullanılan ışın kaynaklarıdır. Gamma ve X ışınları, özellikler ve materyaller üzerine etkileri yönünden benzerlik göstermelerine rağmen, orijinleri arasında temel farklılıklar bulunmaktadır. Farklı enerjilere sahip X ışınları makineler tarafından üretilmekte, buna karşın gamma ışınları spesifik enerjili olup radyoaktif izotopların doğal olarak parçalanmasıyla oluşmaktadır. Örneğin bu amaçla kullanılan Co⁶⁰, doğal olarak bulunan Co⁵⁹'un nötron ışınlarına maruz bırakılması sonucu oluşur. Diğer bir radyoaktif izotop olan Cs¹³⁷ ise nükleer reaktör yan ürünüdür. Doğal veya çeşitli şekillerde yapay olarak elde edilen radyoaktif izotoplar stabil değildirler ve parçalanmak yada yıkılmak suretiyle stabil duruma geçerek radyasyon yayarlar (1,4,8).

İyonize eden ışınların endüstriyel düzeyde gıdaların ışınlanmasında kullanılabilmesi için ekonomik ışın kaynaklarına gereksinim duyulmaktadır. Bu amaçla elektron hızlandırıcı aletler ve yapay radyoaktif maddeler üzere iki farklı kaynaktan yararlanılmaktadır. Bu iki farklı yöntemden elde edilen ışınlar gıdalarda bulunan mikroorganizmalar ve böcekler üzerine aynı etkiyi sağlamaktadırlar. Elektron hızlandırıcı aygıtlar, iyonize eden ışın formunda elektron ışını üretirler. Elektronlar, subatomik parçacıklar olup, kütleleri çok küçük ve negatif elektrik yüklüdür. Hızlandırılmış elektronların nüfuz yetenekleri 8 cm kadardır ve bu nedenle gıdaların ışınlanmasında kullanılabilirler (1). Nötronlar, nüfuz etme güçleri yüksek olmakla birlikte, sterilizasyon etkilerinin az olması ve gıdaları radyoaktif hale getirmelerinden dolayı kullanılmamaktadırlar (12). Radyoaktif izotoplar zamanla aktivitelerini yarı yarıya kaybederler. Yarı ömürleri bir partiküler elementin herbir radyo izotopu için spesifiktir. Gıdaların ışınlanmasında en önemli gamma ışını kaynaklarından Co⁶⁰'ın yarı ömrü 5,3 yıl, Cs¹³⁷'nin ise 30 yıldır. Yarı ömrü çok uzun olan Cs¹³⁷'nin ortamdaki uzaklaştırılması zaman aldığından bu kaynak pazarlamada ticari nicelik yönünden pek tercih edilmemektedir. Radyasyon kaynakları belli materyallerin ışınlanmasında kullanılabilirlerdir. Yüksek enerjili elektron ışınları, elektron hızlandırıcı makinelerde üretilmektedir. Elektronlar, gıdalarda fazla derine nüfuz etmemelerine rağmen, X ışınları çok iyi nüfuz etmektedirler (1,4).

Gıdalarda Işınlama Dozu ve Birimi

İşinlama dozu; üretim sırasında radyasyon bölgesinden geçen gıda tarafından absorbe edilen radyasyon enerjisinin miktarıdır. Uygulanan doz, gerek ulaşımın istenen amaç, gerekse gıdanın kalitesi ve insan sağlığı bakımından önemlidir. Günümüzde radyasyon dozunun birimi Gray olarak adlandırılmaktadır. Gray daha önce kullanılan rad biriminin 100 katıdır (1 Gy=100 rad). Enerji ilişkileri teriminde 1 Gy, 1 kg gıdanın ışınlama sırasında absorbe ettiği 1 jul enerjiye eşittir. Uluslararası

sağlık ve güvenlik kuruluşları, gıdaların ışınlanmasında tüm gıdalar için 10.000 Gry (10 kGy) düzeyindeki dozun hiçbir toksikolojik riskinin olmadığını bildirmekte ve güvenli doz olarak kullanımına izin vermektedirler (1,4,8,16). Yapılan çalışmalarda kontrollü koşullarda ışınlama uygulandığında gıdaların radyoaktif duruma gelmediği yada çok az etkilendikleri belirlenmiştir. Gıdalarda en çok kullanılan Co⁶⁰ ve Cs¹³⁷, uygulandıkları ürünlerde çok düşük radyoaktiviteye sebep olurlar. Radyoaktivitenin birimi Becquerel'dir (Bq) ve bir saniyedeki yayılma karşılık gelmektedir. Gıdalar dahil çevremizdeki herşey normalde iz miktarda radyoaktivite içermektedir. Bunun anlamı, potasyum gibi elementlerden kaynaklanan doğal radyoaktivitenin günlük diyetle 150-200 Bq düzeyinde alınımın sakınca oluşturmadığıdır (4). Gıdaların ışınlanmasına izin verilen tüm ülkelerde radyasyon kaynağı ve enerji düzeyi sınırlıdır ve rutin olarak kontrol edilmektedir. Işınlanmanın hızı, dozu ve enerji düzeyi her gıda için özenle belirlenmektedir. En önemlisi de gıdanın hiç bir zaman radyasyon kaynağı ile direkt temas ettirilmemesidir. Elektron hızlandırıcı cihazlarda yüksek enerji düzeyine çıkarılmış elektronlar (Beta ışınları) ve X ışınları için maksimum enerji düzeyleri sırasıyla 10 milyon elektron volt (MeV) ve 5 MeV'dir. Bir milyon elektron volt, 1.6×10^{13} juldür (6). Işınlama sırasında radyoaktif madde üretilmediği için radyoaktif çöp birikmesi olmamaktadır. Co⁶⁰ zamanla radyoaktif olmayan nikel ve Cs¹³⁷ de baryuma dönüşmektedir. Bu kaynaklar başlangıçtaki miktarlarının %6-12'si düzeyine kadar düştüğünde radyasyon kaynağından uzaklaştırılırlar. Kalıntılar tekrar aktif hale getirilmek üzere konteynerlerle nükleer reaktörlere gönderilmekte veya depolanmaktadır. Ancak bu miktar oldukça düşüktür.

Gıda Işınlama Sistemleri

Gıdaların ışınlanması amacıyla değişik yapı ve fiziksel özelliklerde düzeneklerden yararlanılmaktadır. Işın kaynağı olarak radyoaktif izotop kaynakları veya ışın üreten makinelerin kullanıldığı sistemlerin kesikli ve sürekli çalışan tipleri bulunmaktadır. Kesikli sistemlerde gıdalar ışınlama hücrelerine alınmakta ve belli bir süre ışınlandıktan sonra hücreden çıkarılmaktadır. Sürekli olanlarda ise, belli bir süre ışın kaynağının yanından geçirilmek suretiyle gıdaların ışınlama işlemi tamamlanmaktadır. Tek tip ve büyük hacimdeki gıdaların ışınlanmasında sürekli sistemler tercih edilmektedir. Radyasyon uygulamalarında en önemli koşul personelin ışın etkisinden korunmasıdır. Bu amaçla kullanılan makineler, yalnızca sistem çalıştırıldığı sürece ışın ürettiği için personelin ışınlardan korunması daha kolaydır. Ancak radyonüklidlerin ışın kaynağı olarak kullanıldığı durumlarda kaynak ışınlamadan sonra bir su havuzuna indirilmek suretiyle personelin ışın alması önlenir. İşletmelerde radyasyon kaynağı kesinlikle izolelidir. Bu nedenle normal olarak işçilerin ve çevrenin radyasyona maruz kalması söz konusu değildir. Radyatörler, çok katmanlı koruyucu malzemelerle kaplanmıştır. Çalışanlar yasak olan tehlikeli alanlara girdikleri takdirde potansiyel tehlikeyle karşı karşıya kalırlar. Radyoaktif materyaller kesinlikle kurşun kaplı çelik materyallerde taşınmalıdır. Işınlanan gıdaların etiketlerinde yeşil-beyaz renkli ışınlanmış ürün sembolünün bulunması zorunludur (1).

İşnlama İşleminin Avantajları

İşnlama işlemi fumigasyona alternatif olarak değerlendirilmektedir. Etilen dibromid (EDB), metil bromid (MB), etilen oksit (ETO) gibi çeşitli kimyasallarla gıda ve gıda katkı maddelerinin fumigasyonu, gelişmiş ülkelerin çoğunda sağlık, çevre veya güvenlik nedeniyle ya yasaklanmış ya da kısıtlanmıştır. Amerika'da Çevre Koruma aracılığıyla böceklerle mücadele amacıyla EDB kullanımı ve kullanan ülkelerden alınan gıdaların satışı yasaklanmıştır. Daha sonra diğer ülkeler de bu kararı uygulamışlardır. Metil bromid, tarımda gıdalara saran böceklerin yok edilmesi amacıyla en yaygın kullanılan pestisitlerdir. Ancak bunun da ozon katmanını delen maddeler listesine ilave edildiği ve bu maddelerin 2000 yılında kullanımından vazgeçilmesi gerektiği bildirilmiştir (13). Bu durumda yakın gelecekte gıda ve tarım sektöründe böceklerle mücadelede fumigasyon kullanımını mümkün olmayacak ve bunun yerine alternatif uygulamalara gerek olacaktır. İşnlama, fumigasyon uygulamalarına alternatif olan etkili bir yöntemdir. 0.2-0.7 kGy arasındaki düşük dozlar hububat ve diğer depolanmış ürünlerde meyçana gelebilen böceklenmenin kontrolünde etkilidir. Fumigasyon işleminin aksine radyasyon uygulamasında hiçbir artık yoktur. Yeniden böceklenmeyi engellemek için radyasyon uygulanan ürünlerin böcek geçirmeyen materyallerle kaplanması gerekir. Meyve ve sebzelede düşük dozda radyasyon kullanılması etkili olmaktadır. Meyvelerde meydana gelen sineklenmeyi önlemek için 0.15 kGy, diğer böcekler için ise 0.3 kGy doz yeterlidir. (9,10).

İşnlama, baharat ve diğer kuru gıdaların sanitasyonunda etkilidir. Islı işlem sıvı gıdalarda istenen etkiyi göstermesine rağmen, et, tavuk, balık gibi katı ürünler ile kurutulmuş katkı maddeleri veya pazarlarda taze olarak satılan gıdalar için uygun değildir. Özellikle kümes hayvanlarının, gıda zehirlenmesine sebep olan Salmonella ve Campylobacter gibi etkenlerle bulaşma riski vardır (16). Kimyasal koruyucular bu tür gıdaların muhafazasında kullanılmasına rağmen toksikolojik artıklar ve çevre kirliliği nedeniyle sağlık açısından problem yaratmakta, bu nedenle de kullanım için sınırlayıcı düzenlemeler getirilmektedir. Gıdaların hijyenik kalitesini korumak amacıyla radyasyon kullanımı konusunda yapılan değerlendirmelerde Salmonella, Campylobacter, Trichinella, Toxoplazma gibi etkenlerden kaynaklanan halk sağlığı açısından önemli hastalıkların mevcut işlemlerle tam olarak engellenemeyeceği belirtilmektedir. Yine kolera gibi ciddi hastalıkların etkeni olan vibrio türlerinin de radyasyona duyarlı oldukları belirtilmekte ve *V. vulnificus*, *V. cholerae* ve *V. parahaemolyticus*'un D değerinin 0.1-0.2 kGy arasında olduğu ve 1 kGy gibi çok düşük dozda radyasyonun Vibrio türlerini inaktif hale getirdiği ifade edilmektedir (13). WHO (1992) tarafından da gıdalarda *V. Cholerae*'nin kontrolü için radyasyon uygulaması tavsiye edilmektedir. Ayrıca *L. monocytogenes* ve *E. coli* O157:H7 etkenleri için mevcut korunma yöntemlerinin yetersiz kaldığı ve işnlamanın denenebileceği belirtilmektedir. Bu patojenlerin gıdalarda kontrolü için radyasyon 1.5-3 kGy düzeyinde uygulanmalıdır. Paraziter etkenlerin (toxoplazma, tenia vb.)

inhibisyonunda da 1kGy gibi düşük dozlu uygulamalar önemli bir fizikokimyasal ve mikrobiyolojik değişime neden olmaksızın etkili olmaktadır (14).

İşletmelerde enerji tasarrufu sağlamaktadır. Konserveleme, soğutma veya dondurarak depolamaya göre radyasyonla muhafazanın enerji ihtiyacı düşüktür. Özellikle et, tavuk gibi hayvansal gıdaların muhafazasında en yaygın kullanılan dondurularak depolamada çok fazla enerji tüketilmektedir. Bu nedenle dondurularak depolama yerine soğutma-radyasyon kombinasyonunun kullanılabilmesi belirtilmektedir. Bazı çalışmalar düşük dozda radyasyonlamanın (2-3 kGy), 0-3°C'lik soğutmayla birlikte kullanılması durumunda pazarlama için yeterli raf ömrünün sağlandığını göstermiştir. Böylece enerji tasarrufu sağlanacak, maliyet düşürülecek ve kar oranı artırılmış olacaktır (13). Yine yüksek kaliteli ve raf ömrü uzun hayvansal gıda elde edilmesinde de işnlamanın dondurma işlemiyle kombineli olarak kullanılabilmesi belirtilmektedir. Bu tür işlemlerde 30-50 kGy radyasyon kullanılmakta ve enerji ihtiyacı düşük olmaktadır (11).

Gıdaların soğutulmasında yaygın olarak kullanılan CFC soğutucular 2000 yılından sonra kullanılmayacaktır. CFC'nin yasaklanmasıyla gelişmekte olan ülkelerde soğutma maliyeti artacak ve ülkeler bunu karşılayamayacaklardır. Gelişmekte olan ülkelerin bazılarında çoğunlukla soğuk zincir bulunmaması veya pahalı gelmektedir. Gıdalarda soğutmayla muhafazaya bağımlılığı azaltmak amacıyla yapılan çalışmalarda radyasyon uygulaması bir alternatif olarak değerlendirilmektedir.

İşnlama, gıda kaynaklı hastalıkların insidensinin ve hasat sonrası gıda kayıplarının azaltılması ile gıda ticaretinin kolaylaştırılması için etkili ve verimli bir yöntemdir. Gıda kaynaklı hastalıklar sağlık yanında gelişmiş ve gelişmekte olan ülke nüfusunun verimliliğini de azaltmakta, dolayısıyla ekonomik kaybı arttırmaktadır (13).

İşnlama Uygulamalarının Sınırlayıcı Faktörler

Gıdaların işnlaması spesifik gıda problemlerini azaltmakta, gıda kalitesini ve sağlığı korumada diğer muhafaza yöntemleriyle (soğutma gibi) kombineli olarak kullanılabilir. Ancak hiç bir zaman GMP yerine geçememekte ve tüm gıdalara uygulanamamaktadır. Örneğin süt ve süt ürünlerinde işnlama sonucu koku kayıpları oluşmaktadır. Et, tavuk, balık gibi gıdalarda da önerilen dozun üzerinde kullanıldığında duyuşal değişiklikler görülmektedir. Gıdaların önerilen dozlarda işnlaması tüm mikroorganizma ve toksinleri elimine edemez, virüsleri yıkımlayamaz. Bundan dolayı radyasyonlu ürünlerin uygun koşullarda muhafazası gerekmektedir. Mikrobiyal toksinler (Enterotoksin ve Aflatoksin gibi) radyasyonla inaktive edilemediğinden, bu toksinleri üreten mikroorganizmalarla bulaşık gıdalarda soğutma, düşük nem içeriği, paketlenme, depolama gibi iyi üretim uygulamaları (GMP) yapılmalıdır. Genel olarak konserveleme, dondurma, kurutma işlemlerinde olduğu gibi radyasyonlama için de özel tesislere ihtiyaç vardır. Örneğin işnlama uygulanacak fabrikalar, hammaddenin bol, pazara ulaşımın kolay ve depolara yakın merkezi yerlerde kurulmalıdır. Tüm gıda işleme yöntemlerinde olduğu gibi işnlama da üretim maliyetini arttırmaktadır. Yüksek sermaye maliyeti ve kritik

minimum kapasiteye ihtiyaç vardır. Bu uygulamada, düşük enerji ihtiyacından dolayı işlem maliyeti düşüktür. Gıdalarda ışınlama nükleer teknoloji olarak algılanmakta ve ışınlanmış gıda ile radyoaktif materyal terimleri karıştırılmaktadır. Tüketiciler gıdaların neden radyasyona tabi tutulduğunu anlayamamakta ve radyoaktivite yüzünden korkmaktadırlar. Ayrıca gıdalardaki kimyasal maddelerin patojenik mikroorganizmalardan daha çok dikkat çektiği gözlenmektedir (13).

Gıdaların Bazı Özellikleri Üzerine Işınlamanın Etkileri

1. Kimyasal Özellikler Üzerine Etkisi: Işınlamanın, gıdalarda çok küçük kimyasal değişikliklere neden olabildiği ancak bunun zararlı ve tehlikeli olmadığı bildirilmektedir (4). Işınlama işlemi sırasında iyonize radyasyon gıdalardaki makro elementleri (su, protein, yağ gibi) etkilemekte ve sonuçta serbest radikaller oluşmaktadır. Ancak oluşan bu serbest radikaller gıdaların güvenliğini etkilememektedir. Serbest radikaller, atom veya moleküllerin elektronla bağ yapmamış halidir. Bunlar ışınlama yanında kızartma, dondurarak kurutma gibi gıda işleme şekillerinde ve gıdanın normal oksidasyon olaylarında da oluşurlar. Çok reaktif olup kararsız yapıdadırlar ve ürünleri stabil forma dönüştürmede bileşenlerle tepkimeye girerler. Serbest radikaller ağızdaki tükrük gibi başka bir sıvı form ile etkileşim sonucu ortadan kalkar. Sonuç olarak bunların yutulması ile herhangi bir toksikolojik ve başka zararlı etkiler oluşmaz. Uzun süreli yapılan bir laboratuvar çalışmasında 45 kGy düzeyinde ışınlanmış süt tozu ile beslenen hayvanlarda (ki bu değer izin verilen maksimum değerin 4 katıdır) hiç bir mutajenik etki gözlenmemiş ve tümör oluşmamıştır. Hatta bu hayvanlarda 9 nesil sonrası bile toksikolojik etki görülmemiştir. Bunun yanında ışınlanmamış, ancak kızartılmış ekmeklerin ışınlanmış kuru gıdalardan daha fazla serbest radikal içerdikleri ve zehirli etkilerinin söz konusu olduğu ortaya çıkmıştır (6,15). Işınlama sırasında ortamın sıcaklığı veya dondurma yöntemleri ışınlamanın etkisini arttırmaktadır. Ortamın su aktivitesinin düşük olması da ışın etkisiyle mikroorganizmaların öldürülmesini kolaylaştırır.

Işınlama kullanım amacına göre farklı isimler almaktadır. **Radapertizasyon:** sterilizasyon amacıyla yapılan uygulamaya, **radizidasyon;** spor oluşturmeyen patojen mikroorganizmaların öldürülmesinin amaçlandığı ışın uygulamasına, **radurizasyon** ise; pastörizasyona eşdeğer ışınlamaya denir. Bu uygulamaların dozları sırasıyla; 30-45 kGy, 2.5- 10 kGy ve 0.75-2.5 kGy' dir (1,12, 3).

2.Besleyici Değer Üzerine Etkisi: Işınlamanın gıdaların besleyici değeri üzerine sadece diğer muhafaza yöntemleri kadar etkili olduğu ifade edilmektedir. Gıdalarda bulunan karbonhidrat, protein, yağ gibi makro elementler 10 kGy düzeyinde radyasyona dayanıklı olmasına karşın, mikro elementer (vitamin) diğer muhafaza yöntemlerinde olduğu gibi duyarlıdır. Örneğin C vitamini ve B₂ vitamininin radyasyona duyarlılığı ısıtılışta olduğu gibidir. Gıda ve Tarım Organizasyonu, Dünya Sağlık Örgütü ve Uluslararası Atom Enerjisi kuruluşlarının 1980 yılında yayınladıkları bildiriye ışınlamanın gıdalarda özel beslenme sorunları oluşturmadığı bildirilmiştir (2 ,7,16). Radyasyonun gıdaların besleyici değeri üzerine etkisi, radyas-

yonun dozu, gıdanın tipi, paketlenme, işleme koşulları, sıcaklık ve depolama süresi gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Bu faktörlerin çoğu diğer muhafaza yöntemlerinde de etkilidir (7)

3. Mikrobiyolojik Güvenliğe Etkisi: İyonize eden ışınların mikroorganizmalar üzerindeki etkileri, hücre içine giren ışınların atomlardan elektronları uzaklaştırması sonucu iyonize moleküllerin oluşması ile gerçekleşir. Bunun sonucu canlı hücrede DNA ve hücre membranlarının fonksiyonlarında önemli değişimler meydana gelir ve serbest radikaller oluşur. Serbest radikallerin reaktiviteleri de ikincil değişimlere neden olur. Gamma ışınlarının biyolojik etkileri radyasyon dozuna bağlıdır. 10 kGy düzeyindeki ışın dozu, gram negatif bakteriler ve küflerin tümünü, gram pozitif bakteriler ile mayaların büyük çoğunluğunu öldürdüğü halde, bakteri sporları ve virüsler üzerinde fazla etkili değildir. Salmonella gibi gram negatif bakteriler gamma ışınlarının etkisiyle kolaylıkla öldürülebildikleri halde Clostridium türleri daha dirençlidir. Bilindiği gibi gıdalarda özellikle de et ve balıklarda Cl. botulinum önemli bir gıda kaynaklı zehirlenme etkenidir. Gıdalara 10 kGy düzeyinde radyasyon uygulanması botulismus riskini arttırmamaktadır. Işınlamanın GMP uygulamalarından sonra yapılması etkenin gelişimi ve toksin üretmesini engeller. Yüksek dozda (30-60 kGy) radyasyon uygulandığı takdirde Cl. botulinum yıkılmır. Cl. botulinum Tip E 4°C'de bile gelişebildiğinden radyasyonlama dahil tüm sterilizasyon ve pazarlama işlemleri sırasında gıdanın 3°C'nin altında tutulması gerekir. Etkenin diğer tipleri ise 10°C'nin altında gelişemez ve toksin üretmez. Yani et ve balık ile ürünlerinde Cl. botulinum'un gelişmesini engellemek için depolamanın belli sıcaklıklarda yapılması gerekmektedir (1,4,5). Işınlama, diğer muhafaza yöntemlerinde olduğu gibi, bozulmuş gıdayı düzeltmez, kirli gıdaları temizleyemez, yani radyasyonlama bir sihir değildir. Ancak mikroorganizmaların üremelerini ve toksin oluşturmalarını engeller. Yani radyasyon uygulaması sağlık açısından mikrobiyolojik tehlikeyi arttırmamaktadır. Toksin ve virus içeren bir gıdaya radyasyon uygulaması yarar sağlamaz. Bunun yanında katı hayvansal gıdalardan kaynaklanan parazitler hastalıkları önlemede etkilidir. Sadece hijyenik kalitesi iyi olan gıdalar ışınlanmalıdır. Pastörizasyon, dondurma gibi gıda muhafaza yöntemlerinde gıdada aranan özellikler ışınlama için de geçerlidir (8).

Işınlanmış gıdaların paketlenmesinde çok katmanlı polietilen filmin daha uygun olduğu bulunmuştur. Ayrıca gıdaların paketlenmesinde kullanılan materyallere de radyasyon uygulanabilmektedir (11).

SONUÇ

Son yıllardaki araştırmalar, gelişmeler ve kamuoyu tartışmaları gıda ışınlamalarının, artan dünya nüfusuna yiyecek sağlanması ve gıda ticaretinde engel faktörler olarak değerlendirilen bazı olumsuzlukların ortadan kaldırılmasında diğer teknolojilerle birlikte değerlendirilebileceğini göstermektedir. Bu teknoloji özellikle hayvansal kaynaklı gıdalar ile baharatların hijyenik kalitesini sağlamanın yanında, hububat ve diğer depolanmış ürünlerde böceklenmeyi önlemek için de tercih edilmelidir. Bu yeni yöntem diğer işleme teknikleri ile kombine olarak kullanıldığında daha yararlı olmakta ve gıdanın kalite-

tesinin devamlılığında enerji tasarrufu sağlamaktadır. Genel olarak iyonize radyasyonla muamele edilmiş gıdalara karşı tüketicilerin isteksiz oldukları gözlenmektedir. Bu da tüketicilerin konuyla ilgili yeterli bilgiye sahip olmamasına ve tedirgin olmalarına bağlanmaktadır. Aydınlatılmış tüketiciler ise ıslanmış gıda ile radyoaktif gıdayı karıştırdıklarını, isteksiz davranmalarının sebebinin bu olduğunu ifade etmektedirler. Konu tam olarak açıklandığında ıslanmış gıdaların tercih edildiği dikkati çekmektedir. Son 10 yıldır birçok ülkede elma, patates, soğan, çeşitli baharatlar, çilek, papaya, kurutulmuş balık, fermente domuz sosisi gibi ürünler ıslanmış halde pazar bulmaktadır. Bu uygulamaya maruz bırakılmış gıdaların uluslararası ticarete de yer alması için daha fazla çalışmalar yapılması ve özendirici özellikleri üzerinde dikkatle durulması gerekmektedir.

Ülkemizde bu konuya henüz yeterince önem verilmemektedir. Ancak gelecekte kuru üzüm, kuru incir, hububat gibi ürünlerde böceklenme ve diğer bozulma tiplerini engellemek, meyve- sebzelerde taze iğni korumak, soğan, sarımsak vs de filizlenmeyi önlemek ve uluslararası gıda kalite standartlarına uygun ürünler üreterek pazarlayabilmek için, özellikle de fumigasyonun yasaklanacağı iddia edilen 2000'li yıllarda, bu uygulama üzerinde yoğunlaşılması kaçınılmaz olacaktır.

KAYNAKLAR

- 1-Acar, J. (1998): Mikroorganizmaların Öldürülmesi. *Gıda Mikrobiyolojisi* (eds. Ülütürk, A., Turantaş, F.)Mengi Tan basımevi, Çınarlı, İzmir.
- 2-Anonymous, (1981): Wholesomeness of Irradiated Food. Report of a joint FAO/IAEA Expert Committee, Technical Report Series No. 659, World Health Organization, Geneva.
- 3-Anonymous,(1983): The Microbiological Safety of Irradiated Food.Codex Alimentarius Commission,CX/FH/83/9, Rome.
- 4-Anonymous, (1999): Facts about Food Irradiation. A series of Fact Sheets from the International Consultative Group on Food Irradiation. Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture, Vienna, Austria.
- 5-CAC,(1983): Codex Alimentarius Commission, Recommended International Standart for Irradiated Foods, Food and Agriculture Organization and The World Health Organization, Rome.
- 6-Diehl,J.F.(1990): *Safety of Irradiated Foods*.Marcel Dekker Inc., New York.
- 7-FAO, (1992): Codex General Standart for Irradiated Foods. CODEX STAN 106-1983. In Codex Alimentarius-General Requirement, 2 nd ed. FAO, Rome.
- 8-Hui, Y.H. (1992): Encyclopedia of Food Science and Technology, Volume:3.A Wiley Interscience Publication, USA.
- 9-IAEA,(1991): Insect Disinfection of Food and Agricultural Products by Irradiation. STI/PUB/895. IAEA, Vienna.
- 10-IAEA,(1991): Report of a Task Force Meeting on Irradiation as a Quarantine Treatment of Fresh Fruits and Vegetables, convened by the International Consultative Group on Food Irradiation (ICGFI).ICGFI Document 13,IAEA, Vienna.
- 11-Josephson, E.S.(1993):Radappertization of Meat, Poultry, Finfish, Shellfish and Special Diets. In *Preservation of Food by Ionizing Radiation*. Vol. III (eds E.S. Josephson and M.s. Peterson), CRC Press, Boca Raton, Florida.
- 12-Kurtcan, K., Altuğ, T. (1993): Gıda ıslama yöntemi ve baharatlarda kullanımı.E.Ü. Müh. Fak. Derg. 11(2), 125-133.
- 13-Loaharanu, P. (1995): Food Irradiation: current status and future prospects. In *new Methods of food Preservation G. W. Gould (ed.)*. Blackie Academic and Professional, Glasgow.
- 14-Loaharanu, P., Murrell, K.D. (1994):A role of irradiation in the control of food-borne disease. Trends Food Sci. Techn., 5(6), 190-195.
- 15-Merritt, C. (1989): Radiolytic Products- Are They Safe. Safety Factors Influencing the Acceptance of Food Irradiation Technology, IAEA TECDOC-490, Vienna.
- 16-WHO. (1994): Review of the Safety and Nutritional Adequacy of Irradiated Food. Report of a WHO Consultation, Geneva.