

## ET DEKONTAMİNASYONUNDA ELEKTRON DEMETİ İŞINLAMASI (EDI) KULLANIMI

Sena ÖZBAY DOĞU<sup>1</sup>, Akif ÖZBAY<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Aksaray Üniversitesi Tuz Gölü Su ve Çevre Uygulama ve Araştırma Merkezi, Aksaray

<sup>2</sup>Gazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Ankara

Received: 30.07.2015

Accepted: 19.08.2015

Published online: 06.09.2015

Corresponding author:

Sena ÖZBAY DOĞU, Aksaray Üniversitesi Tuz Gölü Su ve Çevre Uygulama ve Araştırma Merkezi, Aksaray, Türkiye

E-mail: [sena\\_ozbay@hotmail.com](mailto:sena_ozbay@hotmail.com)

### Öz:

Gıda ışınlaması, tüm gıda gruplarında uygulanabilmekte ve dekontaminasyonu sağlamada önemli yöntemlerden birisi olarak kabul edilmektedir. Özellikle çiğ gıdalarda dekontaminasyon için termal işlemlerin uygulanamaması bir kısıt olarak görülmekte, ayrıca bu tip dekontaminasyon uygulamaları sonucunda ürünün kalite özelliklerinin olumsuz etkilenmesi de söz konusu olabilmektedir. Bu bağlamda alternatif dekontaminasyon yöntemlerine olan ilgi artmaktadır. Et ve ürünleri, yapısı gereği prosesin tüm aşamalarında kontaminasyonlara açık bir konumdadır. Bu sorun ürünün hızla bozulmasına, halk sağlığını tehdit etmesine ve raf ömrünün azalmasına sebep olabilmektedir. Bu gibi sorunları önlemek için fiziksel, kimyasal ya da biyolojik temelli birçok dekontaminasyon yöntemi bulunmaktadır. Ancak uygulanacak yöntemlerin ucuz, hızlı, tekrarlanabilir, çevreye dost, üretim sürecini ve son ürün kalitesini olumsuz yönde etkilemeyecek yapıda olması büyük önem taşımaktadır. Bu ihtiyaçlar doğrultusunda görece olarak yeni bir yöntem olan elektron demeti ışınlama (EDI) yöntemi büyük avantajlar sağlamaktadır. Et ve ürünlerinde EDI uygulamaları, etkin mikrobiyal inhibisyon sağlamak ve buna bağlı olarak ürünün raf ömrünü uzatmaktadır. Çalışmamızda, EDI prosesinin prensibi ve et ürünlerinde uygulamalarına dair literatür çalışmaları derlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Elektron demeti ışınlama, Et, Et ürünleri, Et dekontaminasyonu

### Abstract:

#### Using Electron Beam Irradiation in Meat Decontamination

Food irradiation is regarded as one of the important methods, can be applied in all food groups, to provide decontamination. Especially decontamination with thermal process creates a constraint in raw food. In addition, the quality characteristics of the product are adversely affected as a result of this decontamination applications. In this context, there is increasing interest in alternative decontamination methods. Meat and meat products is an open position to contamination due to the structure in all stages of process. This problem is cause rapid deterioration of the product, reduction of shelf life and threats to public health. There are many decontamination methods based on physical, chemical or biological to avoid problems. However, the applied method must inexpensive, fast, reproducible, environment friendly. Also this methods will not affect adversely to manufacturing process and quality of the final product. In accordance with these requirements electron beam irradiation (EBI) method offers great advantages. EDI applications, ensure effective microbial inhibition and extends the shelf life of the product in meat and meat products. In our study, literature of principles of EBI process and practices in meat products has been compiled.

**Keywords:** Electron beam irradiation, Meat, Meat products, Meat decontamination

## Giriş

Gıda maddeleri, tarladan çatala gıda zincirinin tüm aşamaları boyunca kontaminasyonlardan etkilenebilmektedir. Bu bağlamda farklı dekontaminasyon yöntemleri hem kalite hem ürünün raf ömrü hem de halk sağlığı açısından büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla birçok dekontaminasyon yöntemi, hem uygulamada hem de literatürde geniş bir yer kaplamaktadır. Teknolojinin ilerlemesi ile farklı ve bütünlük yöntemlerde dekontaminasyon literatürüne katkılar sağlamaktadır. Bu yeni teknolojilerden birisi olan gıdaların ışınlanması, diğer gıda koruma yöntemleri gibi gıdaların yapısındaki mikroorganizma ve parazitleri inhibe ederek gıdanın raf ömrünün uzatılması temeline dayanan bir gıda koruma yöntemidir (De Lara ve ark., 2002). Bu yöntemde dekontaminasyon aracı, düşük dozlarda iyonize radyasyondur.

Elektron demetiyle ışınlama (EDI) ise, gıda ışınlama yöntemleri içerisinde yer alan tüm gıda gruplarında dekontaminasyon sağlamak için kullanılabilen en yeni teknolojilerden birini oluşturmaktadır. EDI sistemi ile mikrobiyal kontaminasyon önlenemekte bazı gıdaların (meyve ve sebze gibi) olgunlaşması kontrol edilebildiği için bu gibi ürünlerin raf ömrü de uzatılabilmektedir (Lung ve ark., 2015).

Toplumda ışınlama uygulamaları ile ilgili endişeler de bulunmaktadır. Uygun doz ve proses uygulamaları, ışınlama ile birlikte farklı dekontaminasyon yöntemlerinin uygulanması, ürün kalitesi ve insan sağlığına olan etkileri açısından en önemli noktaları oluşturmaktadır. Ayrıca belirlenen dozlar içerisinde uygulanan ışınlama proseslerinin ürün kalitesi ve raf ömrüne olan katkılarının yanı sıra termal yöntemlerle kıyaslandığında çevre dostu olduğunu da söylemek mümkündür.

## Gıdalarda EDI'nın Dekontaminasyon Mekanizması

Gıda ürünleri, tarladan çatala tüm aşamalarda kontaminasyona açıktır. Hammadde temini, taşıma, işleme, ambalajlama, depolama gibi gıda ürünü üretim aşamalarının tamamı kontaminasyonlar açısından büyük önem taşımaktadır. Bu gıda zinciri aşamalarında kontaminasyonu önlemek için kullanılan pek çok yöntem bulunmaktadır. Kimyasal kullanımı, yıkama, termal işlemler, dekontaminasyon yöntemlerinin temelinin oluşturmaktadır.

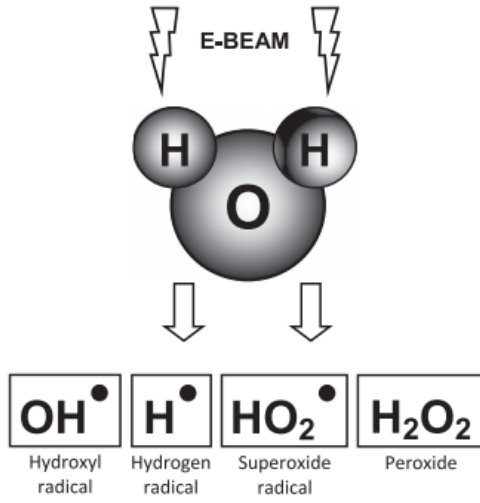
İyonize radyasyona maruz bırakma yöntemi ise yeni bir yaklaşım olarak karşımıza çıkmakta ve konu ile ilgili çalışmalar devam etmektedir.

İyonize radyasyon grubu içerisinde farklı radyasyon çeşitleri bulunmaktadır. Bunlar gama ışınları, elektron demeti ve X-ray'dir. Soğuk pastörizasyon olarak isimlendirilen bu yöntemlerle hem patojen hem de bozulmaya sebep olan mikrobiyal gelişim önlenerek gıdanın raf ömrü uzatılmaktadır (Moosekian ve ark., 2012). Bu yöntemler içerisinde EDI'nın temeli, düşük dozlarda iyonize radyasyon ile gıdanın muamele edilmesine dayanmakta ve yöntemin mikrobiyal dekontaminasyonda etkin olduğu (Lung ve ark., 2015) ve diğer ışınlama yöntemlerine kıyasla daha kısa sürdüğü (Tahergorabi ve ark., 2012) bilinmektedir.

EDI'nın antimikrobiyal etkisi iki şekilde gerçekleşmektedir (Tahergorabi ve ark., 2012). Biri doğrudan mikroorganizmaların fizyolojik aktivitelerine, diğeri ise su molekülüne etki etmesi ile olmaktadır. Birinci etkiyle EDI, doğrudan ya da dolaylı olarak mikroorganizmaların gerçekleştirdiği kimyasal reaksiyonlara ya da onların fizyolojik metabolizmalarına etki ederek mikrobiyolojik gelişimi inhibe etmektedir. Mikroorganizmalar, EDI'ye maruz kaldıklarında yüksek enerji üretmekte, bu durumda onların DNA yapılarında bozulma, enzim ve membran proteinlerinin denatüre olması gibi kimyasal ve moleküler bağlarının zarar görmesine sebep olmaktadır. Bunun sonucunda hücreler uzun süreli olarak normal fizyolojik aktivitelerine devam edememekte, fonksiyonlarını yitirerek ölmektedir (Miller, 2006). Bu bağlamda radyasyon dozunun artması inhibe edici etkiyi arttırmaktadır. İkinci etki ise, suyun radyoliziyle oluşan serbest radikallerden ileri gelmektedir (Tahergorabi ve ark., 2012). Bu bağlamda EDI'nın dolaylı etkisi su aktivitesi ile yakından ilişkilidir. Şekil 1.'de elektron demeti ışınlamasının su molekülü üzerine etkisi gösterilmektedir.

Uluslararası Atom enerjisi Kurumu, gıda ışınlamayı, paketleme öncesinde gıdanın gama ışınları, X-ray ya da elektronlara maruz bırakılması olarak tanımlamaktadır (Henson, 1995). Ülkemiz Gıda Işınlama Yönetmeliği'nde de her bir gıda grubu için ayrı ayrı uygulanabilecek dozlar, ışınlama tesislerinin kuruluşu ve radyasyon güvenliği gibi

konular açık şekilde belirtilmektedir (Anonim, 1999).



**Şekil 1.** Elektron demeti ışınlamasının su molekülü üzerine etkisi (Tahergorabi ve ark., 2012; Lung ve ark., 2015).

**Figure 1.** The effect of electron beam irradiation on the water molecules (Tahergorabi et al., 2012; Lung et al., 2015).

EDI yönteminde ışınlama dozu, gıdanın kompozisyonu ve mikrobiyal türlerin dekontaminasyon çalışmalarını doğrudan etkilemektedir (Lung ve ark., 2015). EDI'nın dozu dekontaminasyon çalışmalarında özellikle büyük önem taşımaktadır. Hatta uygulanan doza bağlı olarak gıdanın pastörizasyon ya da sterilizasyonunu gerçekleştirmek mümkündür (Tahergorabi ve ark., 2012). Doz kadar önemli bir diğer faktör de mikroorganizma türleridir. Rodriguez ve ark. (2006)'nın farklı mikroorganizmalar üzerine yaptıkları çalışmada EDI'ye en dirençli mikroorganizmanın patojen olmayan *E. coli* K-12 MG1655 ( $D_{10} = 0,88$  kGy) olduğu bildirilirken, EDI'ye en dirençli patojenin ise *L. monocytogenes* ( $D_{10} = 1,09$  kGy) olduğu vurgulanmaktadır. Çevresel şartlara daha dayanıklı mikrobiyal sporların da EDI uygulaması sonucunda termal dirençlerinin düştüğü bildirilmektedir (De Lara ve ark., 2002; Valero ve ark., 2006). Ancak tekrarlanan EDI uygulamalarında mikroorganizmaların ışınlama prosesine direnç kazandıklarını gösteren çalışmalar da bulunmaktadır (Levanduski ve Jaczynski, 2008). Çalışmalardan da görüldüğü gibi, her mikroorganizma radyasyona farklı yanıtlar verebilmektedir.

EDI prosesini etkileyen bir diğer faktör ise, gıdaya ait özellikler olmaktadır. Gıdanın boyutu, kalınlığı, ışına maruz kalma şekli ve paketlenmesi, ışın-

lamanın penetrasyonunu etkileyerek dolaylı olarak dekontaminasyonunu da etkilemektedir (Lung ve ark., 2015). Gıda ışınlama sistemlerinde uygulanan dozlar temel alınarak kabaca üç sınıfa ayrılmaktadır.

- **Düşük doz uygulamaları (<1 kGy)**, bu uygulamalar genelde kurutulmuş meyvelerin, baharatların ve tahılların böcek dezenfeksiyonunda, muz gibi meyvelerin olgunlaşmasını geciktirmede, patates, soğan, sarımsak gibi sebzelerin filizlenmesini önlemek için kullanılmaktadır.
- **Orta doz uygulamaları (1 – 10 kGy)**, bu uygulamalar gıda ürünlerinde mikrobiyal dekontaminasyonu sağlayarak gıdanın raf ömrünü uzatmaktadır
- **Yüksek doz uygulamaları (10-60 kGy)**, bu tip uygulamalar ise immün sistemi çok zayıflamış hastaların ve astronotların tükettikleri gıdalarda uygulanmaktadır (Fan ve ark., 2012).

Gıdalarda EDI prosesinin, belirlenen dozlarda uygulanması ile birçok avantaja sahip olduğu bilinmektedir. İyi tasarlanmış bir EDI uygulaması ile, gıdanın raf ömrü uzamakta, mikrobiyal riski düşmekte, kalitesi artmakta ve bozulmalardan ileri gelen ekonomik kayıplar önenebilmektedir (Lung ve ark., 2015). Bu avantajlara ek olarak bu yöntem, gıdanın sıcaklığını yükseltmediği için çiğ gıdaların da dekontamine edilmesine olanak vermektedir (Henson, 1995). Termal dekontaminasyon yöntemleri bu açıdan kullanım kısıtına sahip olabilmektedir. Ayrıca ışınlanmış gıdaların raf ömrünün ısı işlem görmüş gıdalarla kıyaslandığında daha uzun olduğu da bildirilmektedir (Aguirre ve ark., 2012).

Özellikle taze sebze ve meyveler EDI uygulamalarında önemli bir yer tutmaktadır. EDI'nın çiğ gıdalarda Salmonella (Tahergorabi ve ark., 2012) ve *E. coli* (Gomes ve ark., 2008) dekontaminasyonu için uygun bir araç olduğu bildirilmektedir. Yapılan bir çalışmada EDI uygulamasının ıspanak yaprakları üzerinde *E.coli* O157:H7 inhibe etme özelliği bulunduğu bildirilmiştir (Gomes ve ark., 2008). Aynı çalışmada ışınlama uygulamasının depolama boyunca yaprakların sertliğinin ışınlama yapılmamış örneklerle kıyaslandığında daha yüksek olduğu da bildirilmektedir. Ispanak dışında sarımsak (Kim ve ark., 2014), mantar (Fernandes ve ark., 2014), domates, marul ve kavunda da (Trinette ve ark., 2011) EDI uygulamalarının kullanılabilirliği bildirilmektedir.

Hububat da EDI uygulamalarının yaygın kullanıldığı bir alan olarak kabul edilmektedir. Bu bağlamda mısır (Nemtanu ve ark., 2014) ve sorgum (Shawrang, 2011) üzerine yapılan çalışmalar bildirilmektedir. Peynir (Kim ve ark., 2010), bebek maması (Tesfai ve ark., 2014) ve deniz ürünleri (Jaczynski ve Park, 2003) gibi pek çok gıdada da EDI uygulamaları yapılmış ve prosesin uygulanabilirliğine dair sonuçlar elde edilmiştir.

Gıda ürünlerinin yanı sıra ambalajların da ışınlanması ile dekontaminasyon gerçekleşmektedir. Bu bağlamda düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) gıda ambalajlarının ışınlanması da literatürde yer almaktadır (Han ve ark., 2007).

### Et Dekontaminasyonunda EDI Uygulamaları

Et, yapısal özellikleri dolayısıyla bozulmalara elverişli bir gıda maddesidir. Bu bağlamda et ve ürünlerinin dekontaminasyonu büyük önem taşımakta, dekontaminasyonu sağlamak amacıyla fiziksel, kimyasal ve biyolojik temellere dayanan pek çok yöntem bulunmaktadır (Özbay-Doğu ve Sarıçoban, 2014). Et ve ürünlerinde alternatif bir dekontaminasyon yöntemi olarak EDI ve gama ışınlarının kullanıldığı bilinmektedir (O'Bryan ve ark., 2008).

Yapılan bir çalışmada dondurulmuş dana kıymasında *E. coli* O157:H7'nin inaktivasyonu için iyonize radyasyonun ve hidrostatik basıncın etkileri incelenmiştir. Bu çalışmanın sonuçları, EDI ve X-ray ışınlanmanın *E. coli* O157:H7'yi limit değerin altına düşürdüğünü göstermiştir. Ancak hidrostatik basınç uygulamasıyla aynı sonuç elde edilememiştir (Schilling ve ark., 2009). Bu bağlamda EDI uygulamalarının etkinliğinden bahsetmek de mümkün olabilmektedir. Kıymada yapılan farklı bir çalışma ile de *E. coli* O157:H7'nin EDI uygulaması ile etkin bir şekilde inaktive edildiği bildirilmiş ancak tekrarlanan uygulamalarda mikroorganizmanın ışınlamaya direnç gösterdiği de vurgulanmıştır (Levanduski ve Jaczynski, 2008).

Farklı bir çalışmada ise tavuk göğüs etine uygulanan elektron demeti ışınlanmasının *Campylobacter* ve *Salmonella* üzerine inhibe edici etkisi olduğu vurgulanmaktadır (Lewis ve ark., 2002). Sarjeant ve ark. (2005)'da tavuk etine uygulanan EDI'nın *Salmonella* üzerine inaktive edici etkisini vurgulamakta ve ışınlama dozunun artmasının psikotrofik mikroorganizmaların inhibisyonunu arttırdığını

belirtmektedir. Farklı bir çalışmada ise hem kanatlı etinin hem de yumurtasının avian influenza (kuş gribi) virüsünden dekontaminasyonunda EDI uygulaması başarılı sonuçlar verdiği vurgulanmaktadır (Brahmakshatriya ve ark., 2009).

Ayrıca EDI, diğer dekontaminasyon tekniklerinin etkinliğini arttırmak için bir araç olarak da kullanılmaktadır (Lung ve ark., 2015). Kümes hayvanları ile ilgili bir çalışmada EDI dekontaminasyonunun etkinliğini artıran bir araç olarak bütünleşik bir yöntemin içinde değerlendirilmiştir. Sodyum diasetat, sodyum laktat, potasyum benzoat gibi antimikrobiyaller ile birlikte uygulanan EDI prosesi, *L. monocytogenes*'e karşı başarılı sonuçlar vermiştir (Zhu ve ark., 2009). Kırmızı ette de benzer bir çalışma gerçekleştirilmiş ve EDI uygulaması öncesinde laktik asitle etin muamele edilmesinin antimikrobiyal etkiyi arttırdığı vurgulanmıştır (Li ve ark., 2015). Yapılan çalışmalarda kümes hayvanları yetiştiriciliğinde bir sterilizasyon aracı olarak EDI kullanımının uygunluğunu ve maliyet avantajlarını vurgulamışlardır (Kotov ve ark., 2003).

Bir diğer et ürünleri grubu olan deniz ürünlerinin de hızla bozulan gıda maddeleri olması dekontaminasyonlarının önemini artırmaktadır. Jaczynski ve Park (2003) yaptıkları çalışma ile surimi isimli deniz ürünü üzerinde elektron demetinin penetrasyonunu incelemiş ve 33-82 mm kalınlıkta penetrasyonunun gerçekleştiğini bildirmişlerdir. Aynı çalışmada EDI uygulamasının *S. aureus* üzerine inhibe edici etkisi de vurgulanmaktadır. Farklı olarak tavşan etinin dekontaminasyonu üzerine çalışan Maxim ve ark. (2014), et yüzeyine eşit dağılım gerçekleştiren bir EDI aracı geliştirmişler ve bu uygulamanın *E. coli* O157:H7 üzerine inhibe edici etkisini bildirmişlerdir.

Işınlama uygulamalarının et aroması, rengi ve kokusu üzerine etkileri bulunmaktadır (Ahn ve ark., 2000; Jo ve Ahn, 2000; Du ve ark., 2002; Lee ve Ahn, 2005; Kundu ve Holley, 2013) Ette EDI vasıtasıyla dekontaminasyon uygulamalarında prosesin tasarımı büyük önem taşımaktadır. Işınlama uygulamaları lipid peroksidasyonunu (hidroksil radikalleri ve süperoksitlerin oluşması sebebiyle) artırarak bu etkiyi oluşturmaktadır. Lipid peroksidasyonunun oluşmasıyla istenmeyen koku ve renk meydana gelebilmekte ayrıca ürünün raf ömrü de kısalmaktadır (Lung ve ark., 2015). Buna karşılık farklı bir çalışmada ışınlanmanın tavuk eti ve kürlenmiş etin duyuşal özelliklerini değiştirdiği ancak sosislerin (Frankfurter), duyuşal özelliklerinin kabul edilebilir ölçülerde kaldığı, depolama

süresinin duyuusal karakteristik üzerine daha etkili olduğu vurgulanmıştır (Johnson ve Resurrection, 2009). Johnson ve ark., (2004) yemeye hazır kanatlı etleri üzerine yaptıkları ışınlama çalışmasında benzer sonuçlar elde etmiş, ışınlanmış örneklerin depolama süresi uzadıkça kalitelerinin düştüğü vurgulanmıştır. Bu gibi çalışmalara karşılık domuz pırzola, sığır eti, kıyması ve tavuk eti üzerine yapılan çalışmalarda ışınlamanın bu et ürünleri üzerine kalite özelliklerinde olumsuz etkileri olmadığı bildirilmiştir (O'Bryan ve ark., 2008). Benzer şekilde Lewis ve ark. (2008), tavuk etine EDI uygulamasından sonra panelistlerin EDI uygulanan ve uygulmayan etler arasında fark edilebilir bir değişkenlik gözlemlemediklerini bildirmiştir. Ayrıca EDI, özellikle taze tavuk ürünlerinin duyuusal özelliklerini korumak için uygun bir dekontaminasyon yöntemi olarak kabul edilmektedir (Brahmakshatriya ve ark., 2009).

Ülkemiz Gıda Işınlama Yönetmeliğinde, patojenleri inhibe etmek, paraziter enfeksiyonların kontrolünü sağlamak ve ürünlerin raf ömrünü uzatmak amacıyla ışınlamanın yapılabileceği bildirilerek, deniz ürünleri (max. 5 kGy), kanatlı etleri ve kırmızı ette (max. 7 kGy) sınırlanan dozlarda işlemlerin gerçekleştirilebileceği bildirilmiştir (Anonim, 1999). EFSA (2011) ise sınır doz değerleri balık ve kabuklular için 3 kGy, kanatlı etleri için 7 kGy, taze kırmızı et için ise 2 kGy olarak bildirmiştir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO)'nün hazırladığı rapora göre 10 kGy'den daha düşük dozlardaki gıda ışınlama işlemlerinin toksik etkiler ve besleyici değerindeki kayıplar açısından güvenli olduğu bildirilmiştir (WHO, 1997).

## Sonuç

Et ve et ürünlerinde EDI kullanımı, mikroorganizmaların inhibisyonunda, yüzey dekontaminasyonunun sağlanmasında ve bunlara bağlı olarak et ürününün raf ömrünün uzamasında kullanılabilir yöntemlerdir. Bunlara ek olarak EDI uygulamaları, kısa süren işlem süreçleriyle zaman ve maliyet tasarrufu da sağlayabilmektedir. EDI'nın farklı uygulamalarla desteklendiği bütünlük yöntemler de bulunmakta ve bu uygulamaların EDI'nın etkinliğini artırdığı da ispat edilmiştir.

Gelecek çalışmalarda EDI uygulamalarının geliştirilmesine yönelik Ar-Ge çalışmaları yapılmasının iyi olacağı düşünülmektedir. Ayrıca gıda dekontaminasyonunda EDI kullanımının güvenli olduğu, gıdada kalan radyasyonun ya da gıdanın

besleyiciliği üzerine olumsuz bir etkisinin olmadığına yönelik çalışmalar da arttırılmalıdır (Lung ve ark., 2015).

Özellikle et ve ürünlerinde lipid peroksidasyonundan dolayı oluşabilecek istenmeyen özelliklerin bertaraf edilmesi için uygun doz, zaman ve yöntem seçimi üzerine çalışmalar geliştirilmeli, hem dekontaminasyonu en iyi şekilde gerçekleştirecek hem de ürünün kalite özelliklerini olumsuz etkilemeyecek optimum yöntemler belirlenmelidir.

## Kaynaklar

- Aguirre, J.S., Ordóñez, J.A., de Fernando, G.D.G. (2012): A comparison of the effects of E-beam irradiation and heat treatment on the variability of *Bacillus cereus* inactivation and lag phase duration of surviving cells. *International Journal of Food Microbiology*, 153(3): 444-452.
- Ahn, D.U., Jo, C., Du, M., Olson, D.G., Nam, K.C. (2000): Quality characteristics of pork patties irradiated and stored in different packaging and storage conditions. *Meat Science*, 56(2): 203-209.
- Anonim. (1999): Gıda Işınlama Yönetmeliği. Resmi Gazete Tarihi: 06.11.1999 Resmi Gazete Sayısı:23868 <http://mevzuat.basbakanlik.gov.tr/Metin.aspx?MevzuatKod=7.5.5065&sourceXmlSearch=g%C4%B1da&MevzuatIliski=0> sitesinden 29.07.2015 tarihinden alınmıştır.
- Brahmakshatriya, V., Lupiani, B., Brinlee, J.L., Cepeda, M., Pillai, S.D., Reddy, S.M. (2009): Preliminary study for evaluation of avian influenza virus inactivation in contaminated poultry products using electron beam irradiation. *Avian Pathology*, 38(3): 245-250.
- De Lara, J., Fernández, P.S., Periago, P.M., Palop, A. (2002): Irradiation of spores of *Bacillus cereus* and *Bacillus subtilis* with electron beams. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 3(4): 379-384.
- Du, M., Ahn, D.U., Mendonca, A.F., Wesley, I.V. (2002): Quality characteristics of irradiated ready-to-eat breast rolls from turkeys fed conjugated linoleic acid. *Poultry science*, 81(9): 1378-1384.
- EFSA (2011): Statement summarising the Conclusions and Recommendations from the Opinions on the Safety of Irradiation of Food

- adopted by the BIOHAZ and CEF Panels. *EFSA Journal*, 9(4): 2107
- Fan, X., Sommers, C.H., Marshall, R.C. (2012): Advances in electron beam and X-ray technologies for food irradiation. In X. Fan, & C.H. Sommers (Eds.), *Food irradiation research and technology* (2nd ed.). Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc. In Lung, H.M., Cheng, Y.C., Chang, Y.H., Huang, H.W., Yang, B.B., Wang, C.Y. (2015): Microbial decontamination of food by electron beam irradiation. *Trends in Food Science & Technology*, 44: 66-78.
- Fernandes, Â., Barreira, J.C., Antonio, A.L., Martins, A., Ferreira, I. C., Oliveira, M.B.P. (2014): Triacylglycerols profiling as a chemical tool to identify mushrooms submitted to gamma or electron beam irradiation. *Food Chemistry*, 159: 399-406.
- Gomes, C., Moreira, R.G., Castell-Perez, M.E., Kim, J., Da Silva, P., Castillo, A. (2008): E-Beam Irradiation of Bagged, Ready-to-Eat Spinach Leaves (*Spinacea oleracea*): An Engineering Approach. *Journal of Food Science*, 73(2): 95-102.
- Henson, S. (1995): Demand-side constraints on the introduction of new food technologies: the case of food irradiation. *Food Policy*, 20(2): 111-127.
- Jaczynski, J., Park, J.W. (2003): Microbial inactivation and electron penetration in surimi seafood during electron beam processing. *Journal of Food Science*, 68(5): 1788-1792.
- Jo, C., Ahn, D.U. (2000): Volatiles and oxidative changes in irradiated pork sausage with different fatty acid composition and tocopherol content. *Journal of Food Science-Chicago*, 65(2): 270-275.
- Johnson, A.M., Resurreccion, A.V.A. (2009): Sensory Profiling of electron-beam irradiated ready-to-eat poultry frankfurters. *LWT-Food Science and Technology*, 42(1): 265-274.
- Johnson, A.M., Reynolds, A.E., Chen, J., Resurreccion, A.V.A. (2004): Consumer Acceptance of electron-beam irradiated ready-to-eat poultry meats. *Journal of Food Processing and Preservation*, 28(4): 302-319.
- Kim, H.J., Ham, J.S., Lee, J.W., Kim, K., Ha, S.D., Jo, C. (2010): Effects of gamma and electron beam irradiation on the survival of pathogens inoculated into sliced and pizza cheeses. *Radiation Physics and Chemistry*, 79(6): 731-734.
- Kim, H.Y., Ahn, J.J., Shahbaz, H.M., Park, K.H., Kwon, J.H. (2014): Physical-, chemical-, and microbiological-based identification of electron beam and  $\gamma$ -irradiated frozen crushed garlic. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(31): 7920-7926.
- Kotov, Y.A., Sokovnin, S.Y., Balezin, M.E. (2003): A review of possible applications of nanosecond electron beams for sterilization in industrial poultry farming. *Trends in Food Science & Technology*, 14(1): 4-8.
- Kundu, D., Holley, R. (2013): Effect of low-dose electron beam irradiation on quality of ground beef patties and raw, intact carcass muscle pieces. *Journal of Food Science*, 78(6): 920-925.
- Lee, E.J., Ahn, D.U. (2005): Quality characteristics of irradiated turkey breast rolls formulated with plum extract. *Meat Science*, 71(2): 300-305.
- Levanduski, L., Jaczynski, J. (2008): Increased resistance of *Escherichia coli* O157: H7 to electron beam following repetitive irradiation at sub-lethal doses. *International Journal of Food Microbiology*, 121(3): 328-334.
- Lewis, S.J., Velasquez, A., Cuppett, S.L. (2002): Effect of electron beam irradiation on poultry meat safety and quality. *Poultry Science*, 81(6): 896-903.
- Li, S., Kundu, D., Holley, R.A. (2015): Use of lactic acid with electron beam irradiation for control of *Escherichia coli* O157: H7, non-O157 VTEC E. coli, and Salmonella serovars on fresh and frozen beef. *Food Microbiology*, 46: 34-39.
- Lung, H.M., Cheng, Y.C., Chang, Y.H., Huang, H.W., Yang, B.B., Wang, C.Y. (2015): Microbial decontamination of food by electron beam irradiation. *Trends in Food Science & Technology*, 44: 66-78.
- Maxim, J.E., Neal, J.A., Castillo, A. (2014): Development of a novel device for applying uniform doses of electron beam irradiation on carcasses. *Meat Science*, 96(1): 373-378.

- Miller, R.B. (2006): Electronic irradiation of foods: an introduction to the technology. Springer Science & Business Media.
- Moosekian, S.R., Jeong, S., Marks, B.P., Ryser, E.T. (2012): X-ray irradiation as a microbial intervention strategy for food. *Annual Review of Food Science and Technology*, 3: 493-510.
- Nemţanu, M.R., Braşoveanu, M., Karaca, G., Erper, I. (2014): Inactivation effect of electron beam irradiation on fungal load of naturally contaminated maize seeds. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(13): 2668-2673.
- O'bryan, C.A., Crandall, P.G., Ricke, S.C., Olson, D.G. (2008): Impact of irradiation on the safety and quality of poultry and meat products: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48(5): 442-457.
- Özbay Doğu, S., Sarıçoban, C. (2014): Et ve ürünlerinde dekontaminasyon yöntemleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 1(3): 92-99.
- Rodriguez, O., Castell-Perez, M.E., Ekpanyaskun, N., Moreira, R.G., Castillo, A. (2006): Surrogates for validation of electron beam irradiation of foods. *International Journal of Food Microbiology*, 110(2): 117-122.
- Sarjeant, K.C., Williams, S.K., Hinton, A. (2005): The effect of electron beam irradiation on the survival of *Salmonella enterica* serovar typhimurium and psychrotrophic bacteria on raw chicken breasts stored at four degrees celsius for fourteen days. *Poultry Science*, 84(6): 955-958.
- Schilling, M.W., Yoon, Y., Tokarsky, O., Pham, A.J., Williams, R.C., Marshall, D. L. (2009): Effects of ionizing irradiation and hydrostatic pressure on *Escherichia coli* O157: H7 inactivation, chemical composition, and sensory acceptability of ground beef patties. *Meat Science*, 81(4): 705-710.
- Shawrang, P., Sadeghi, A.A., Behgar, M., Zareshahi, H., Shahhoseini, G. (2011): Study of chemical compositions, anti-nutritional contents and digestibility of electron beam irradiated sorghum grains. *Food Chemistry*, 125(2): 376-379.
- Tahergorabi, R., Matak, K.E., Jaczynski, J. (2012): Application of electron beam to inactivate *Salmonella* in food: Recent developments. *Food Research International*, 45(2): 685-694.
- Tesfai, A., Beamer, S. K., Matak, K.E., Jaczynski, J. (2014): Effect of electron beam on chemical changes of nutrients in infant formula. *Food Chemistry*, 149: 208-214.
- Trinetta, V., Vaidya, N., Linton, R., Morgan, M. (2011): A comparative study on the effectiveness of chlorine dioxide gas, ozone gas and e-beam irradiation treatments for inactivation of pathogens inoculated onto tomato, cantaloupe and lettuce seeds. *International Journal of Food Microbiology*, 146(2): 203-206.
- Valero, M., Sarriás, J.A., Alvarez, D., Salmerón, M.C. (2006): Modeling the influence of electron beam irradiation on the heat resistance of *Bacillus cereus* spores. *Food Microbiology*, 23(4): 367-371.
- WHO (1997): High-Dose Irradiation: Wholesomeness of Food Irradiated with Doses Above 10 kGy. *WHO Technical Report Series 890*.
- Zhu, M.J., Mendonca, A., Ismail, H.A., Ahn, D.U. (2009): Fate of *Listeria monocytogenes* in ready-to-eat turkey breast rolls formulated with antimicrobials following electron-beam irradiation. *Poultry Science*, 88(1): 205-213.