

ET VE ET ÜRÜNLERİNDE MİKROBİYAL DEKONTAMİNASYON İÇİN BAZI ISIL OLMAYAN TEKNOLOJİLERİN KULLANIMI

Damla Bilecen Şen^{1*}, Birol Kılıç², Ebru Demir³, Gülden Başıyğit Kılıç¹

¹Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Burdur, Türkiye

²Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

³Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Burdur, Türkiye

Geliş / Received: 04.09.2018; Kabul / Accepted: 09.02.2019; Online baskı / Published online: 01.03.2019

Bilecen Şen, D., Kılıç, B., Demir, E., Başıyğit Kılıç, G. (2019). Et ve et ürünlerinde mikrobiyal dekontaminasyon için bazı ısı olmayan teknolojilerin kullanımı. GIDA (2019) 44 (2): 202-215 doi: 10.15237/gida.GD18099

Bilecen Şen, D., Kılıç, B., Demir, E., Başıyğit Kılıç, G. (2019). Applications of some non-thermal technologies for microbial decontamination in meat and meat products. GIDA (2019) 44 (2): 202-215 doi: 10.15237/gida.GD18099

ÖZ

Günümüzde nüfusun beslenme düzeyi kalkınmanın önemli ölçütlerinden biri olarak sayılmakta ve bu nedenle nüfusun sağlıklı ve dengeli beslenebilmesi açısından et ve et ürünlerinin kalitesinin ve güvenliğinin iyileştirilmesi önem taşımaktadır. Bu nedenle et ve et ürünleri muhafazasında çeşitli ısı işlem uygulamaları kullanılarak, gıdaların raf ömrü uzatılmakta ve mikrobiyal açıdan güvenlik sağlanmaktadır. Ancak bu teknolojinin uygulanması et ve et ürünlerinin fiziksel ve kimyasal yapılarında değişimlere, organoleptik özelliklerinin ve doğal bileşenlerinin bozulmasına neden olmaktadır. Bu nedenle et ve et ürünlerinin muhafazasında ısı olmayan teknolojiler üzerine çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Bu derleme ile et ve et ürünlerindeki mikroorganizmaların dekontaminasyonunda kullanılan ışınlama, ultraviyole ışınları, vurgulu elektrik alan, atımlı ışık, yüksek basınç ve ultrasonik ses dalgaları gibi ısı olmayan teknolojilerin özellikleri, uygulamaları ve oluşturduğu etkiler hakkında bilgi verilmesi amaçlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Mikrobiyal dekontaminasyon, ısı olmayan teknolojiler, et ve et ürünleri

APPLICATIONS OF SOME NON-THERMAL TECHNOLOGIES FOR MICROBIAL DECONTAMINATION IN MEAT AND MEAT PRODUCTS

ABSTRACT

Nowadays, the quality of nutrition level is regarded as one of the most important criteria showing social development level. Therefore, it is important to increase the safety and quality of meat and meat products in order to provide healthy and balanced nutrition. Thus, heat treatment applications have been commonly used for preservation of meat and meat products, and this process provides improved shelf life and microbial safety. However, this technology causes changes in physical and chemical structure, organoleptic characteristics, and natural components of meat and meat products. Therefore, many research about non-thermal technologies has been conducted on muscle foods. This review aims to describe the basic principles, applications and effects of non-thermal technologies including irradiation, ultraviolet light, pulsed electric fields, pulsed light, high hydrostatic pressure and ultrasound used for microbial decontamination of meat and meat products.

Keywords: Microbial decontamination, non-thermal methods, meat and meat products

* Yazışmalardan sorumlu yazar / Corresponding author:

✉ dbilecen@mehmetakif.edu.tr

☎ (+90) 248 213 2728

☎ (+90) 248 213 2704

GİRİŞ

Et ve et ürünleri yüksek sindirilebilirlik özelliği ile karakterize edilen zengin besin öğeleridir ve mikroorganizmaların gelişip çoğalabilmeleri için uygun ortamlardır. Et ürünleri; yüksek nem içerikleri, omega-3 yağ asitleri, vitamin B12, protein, mineral ve diğer gelişme faktörlerince zengin olmalarının yanı sıra belirli oranda fermente olabilir karbonhidrat içermeleri ve pH değerlerinin yüksek olması nedeniyle uygun olmayan depolama koşullarında kolayca bozulabilmektedir (Zhou vd., 2010).

Et ürünlerinde görülen en önemli bozulma türlerinden biri mikrobiyolojik bozulmalardır. Et yüzeyinde bulunan mikroorganizmaların etkinliği, kesimden hemen sonra başlamakta ve uygun olmayan işleme ve muhafaza şartlarında artarak, önemli sayılara ulaşabilmektedir. Gıdaların Mikrobiyolojik Özellikleri Uluslararası Komisyonu (International Commission on Microbiological Specifications for Foods-ICMSF)'na göre, kesilen etlerdeki toplam mikroorganizma veya toplam mikrobiyal yük için sınır değer 10^7 log KOB/g'dır (ICMSF, 1986). Ürünlerde bulunan yüksek sayıdaki mikroorganizmalar; istenmeyen tat ve koku değişimine, yapışkan madde üretimine neden olduğu için ürünlerin duyuşal özelliklerinde de kayıplara yol açmaktadır. Bu nedenle mikroorganizmaların kontrolü, gıda kalite ve güvenilirliği bakımından oldukça önemlidir. Gıda endüstrisinde kullanılan gıda muhafaza yöntemleri genellikle mikroorganizmaların gelişmesini engellemek ya da mikrobiyal inaktivasyonu sağlamak amacıyla yapılmaktadır (Horita vd., 2018).

Gıda muhafazasında ısıl işlem uygulamalarının mikroorganizmaları ve enzimleri inaktive etmesi sebebiyle yaygın bir kullanım alanı vardır. Ancak bu teknolojinin uygulanması sonucunda gıdaların fiziksel ve kimyasal yapılarında değişimler, duyuşal özelliklerinde ve doğal bileşenlerinde bozulmalar görülmektedir. Bu nedenle gıdaların muhafazasında ısıl olmayan teknolojiler üzerine çeşitli araştırmalar yapılmıştır (Li ve Farid, 2016).

Et ve et ürünleri ile sıklıkla ilişkilendirilen mikroorganizmalar enteropatojenik *Campylobacter jejuni*, *Clostridium botulinum*, *Clostridium perfringens*, *Escherichia coli* türleri, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* serotipleri, *Staphylococcus aureus* ve *Yersinia enterocolitica* iken, bu ürünler ile ilişkilendirilen parazit çeşitleri ise *Cysticercus bovis* ve *Taenia saginata*'dır (Dupuy vd., 2014; Lin vd., 2014). Son yıllarda bu patojen mikroorganizmaların dekontaminasyonunda ısıl olmayan teknolojilerin kullanıldığı görülmektedir. Uygulanan bu yöntemlerin etkinliği; etin başlangıçtaki mikrobiyal yükü, işleneceği ürünün özellikleri ve işleme şekli gibi faktörlere bağlı olarak değişebilmektedir (Doğu ve Sarıçoban, 2014).

Bu derleme makalede et ve et ürünlerindeki bazı patojen ve bozulma etmeni olan mikroorganizmaların dekontaminasyonunda kullanılan iyonize ışınlama (İİ), ultraviyole ışın (UV), vurgulu elektrik alan (VEA), atımlı ışık (AI), yüksek basınç (YB) ve ultrasonik ses (US) dalgaları gibi ısıl olmayan bazı teknolojilerin özellikleri, uygulama alanları ve oluşturduğu etkileri hakkında bilgi verilmesi amaçlanmıştır.

ISIL OLMAYAN YÖNTEMLER

İyonize Işınlama (İİ)

Mikroorganizmaların DNA'sını tahrip ederek mikrobiyal faaliyetleri sınırlandıran bir yöntem olan İİ, gıda kaynaklı hastalıklara sebep olan patojenleri inaktive ederek, gıdaların güvenilirliğini arttırmaktadır (Nagarajarao vd., 2016). Işınlama tekniği; ışınlamaya maruz bırakılan gıdanın sıcaklığında önemli bir artış olmamasından dolayı soğuk bir işlem olarak tanımlanmakta ve çürüme veya bozulmadan kaynaklanan zararların azaltılmasında da rol oynamaktadır (Ehlermann, 2016). Işınlamaya karşı hiçbir mikroorganizmanın direnç geliştirememesi, ışınlama teknolojisinin ambalajlanmış son ürüne uygulanabilir olması, toksik kalıntı bırakmaması ve nispeten düşük maliyetli olması bu uygulamanın avantajları arasında yer almaktadır (Singh vd., 2015).

Işınlamanın etkisi; doğrudan (fiziksel) etki ve dolaylı (kimyasal) etki olarak iki temel mekanizma

ile açıklanmaktadır. Fiziksel etkide, ışınlar doğrudan hücre bileşenleri ile reaksiyona girmektedir. Hücrenin canlılığını devam ettirebilmesi için gerekli olan bazı bileşenlere çok hızlı hareket yükleyerek, çarpma sonucu hücreye hasar vermekte, DNA gibi moleküllere enerjisini aktararak iyonize olmalarına neden olmakta ve bu şekilde hücre çoğalmasını önlemektedir. Kimyasal etkide ise, ışınlama su moleküllerini H⁺ ve OH⁻ radikallerine ayrıştırmakta ve oluşan radikaller hücrede yükseltgenme ve indirgenme etkisi yapmaktadır (Lung vd., 2015).

Gıda ışınlama için kullanılan iyonize ışın; radyoaktif kaynaklardan ve elektrik ile çalışan makinelerden olmak üzere iki şekilde sağlanmaktadır. Radyoaktif kaynaklara gama ışınları (γ) (Kobalt-60 (⁶⁰Co) ve Sezyum-137 (¹³⁷Cs) gibi radyoaktif izotoplardan); elektrikle çalışan makinelere ise X ışınları (X ışını tüplerinden veya doğrusal hızlandırıcılardan) ve elektron demeti (lineer veya diğer hızlandırıcılardan) örnek verilebilmektedir (Pillai ve Shayanfar, 2017).

Güvenlik önlemi olarak Codex Alimentarius Komisyonu (Codex), gıdalarda ışınlama dozunun 10 kGy'yi geçmemesi gerektiğini vurgulamaktadır. Fregonesi vd. (2014) 1.5 ve 3 kGy dozunda ışınlamaya maruz bırakılan kuzu etleri arasında; 3 kGy'lik doz uygulanan etlerin fizikokimyasal özelliklerinde olumsuz değişim olmadan mikroorganizmaların azaldığını ve +1 °C'de muhafaza edilmesinin saklanan kuzu etlerinin raf ömrünü 14-56 gün uzattığını vurgulamışlardır. Kundu vd. (2014) 1 kGy dozunda ışınlamaya maruz bırakılan sığır etlerine inoküle edilmiş *Salmonella* sayılarında 1.9 log KOB/g, *E. coli* O157:H7 sayılarında ise 3.9 log KOB/g azalma olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar 1 kGy dozundaki ışınlamanın, sığır etlerinde *E. coli* O157:H7 tehlikesini ortadan kaldırdığını vurgulamışlardır. Ayrıca, de la Paz Xavier vd. (2014) köftelere 2.5 kGy dozuna kadar uygulanan ışınlamanın *L. monocytogenes* üzerinde 2 log KOB/g; *E. coli* O157:H7 üzerinde ise 5 log KOB/g azalmaya neden olduğunu belirtmişlerdir. Bu araştırma ile dondurulmuş sığır etlerinin güvenliğini sağlamak için ışınlama uygulamasının

başarılı bir şekilde kullanılabileceği kanıtlanmıştır. El-Ghafour vd. (2017) balık filetolarına uygulanmış 1.2 ve 3 kGy dozlarındaki γ ışınlarının, mikrobiyal yükleri azaltmak için yeterli olduğunu ve ışınlamanın balık filetolarının raf ömrünü uzattığını, ancak tüm kalite parametreleri dikkate alındığında 3 kGy'lik dozun daha etkili olduğunu belirtmişlerdir. Et ürünlerinde kullanılan ışınlama kaynaklarının etkinliği; ürün çeşitlerine ve uygulanan doz miktarlarına göre değişebilmektedir. Silva vd. (2015) sığır etlerine uygulanmış 2, 4 ve 6 kGy arasındaki γ ışını dozlarının öncesi ve sonrasında, *Staphylococcus* türlerini izole etmeyi ve tanımlamayı amaçlamışlardır. Sonuç olarak araştırmacılar, ışınlamanın mikrobiyal yükü önemli ölçüde elimine ettiğini ve uygulanan dozun artması ile canlı kalan türlerin sayısını azalttığını bildirmişlerdir. Ham vd. (2017) pişirildikten sonra sığır kıymalarına uygulanan elektron demeti ve domuz sosilerine uygulanan γ ışınlarının, ürünlerdeki toplam canlı sayısını tespit edilebilir limitlerin altına düşürdüğünü bildirmişlerdir. Haquea vd. (2017) taze etlere uygulanan γ ışınlarının besin kalitesine zarar vermeden mikrobiyal popülasyonu önemli ölçüde azalttığını belirtmişlerdir. Bu araştırmacılar genel kabul edilebilirlik ve raf ömrü açısından, 2 ve 4 kGy'lik dozlarda uygulanan ışınlamaya kıyasla 6 kGy'lik dozun daha etkili olduğunu vurgulamışlardır. Deepika vd. (2017) elektron demeti uygulanmış domuz sosislerinde toplam canlı sayısı, *S. aureus* ve maya-küf sayılarının; artan ışınlama dozu ile önemli ölçüde azaldığını belirtmişlerdir. Araştırmacılar bu çalışma ile tüm uygulanan elektron demeti dozları arasından 4.5 kGy'lik ışınlama dozunun, uygulanan 3 ve 3.5 kGy dozlarına kıyasla mikrobiyal yükü azaltmada daha etkili olduğunu ortaya koymuşlardır.

Engel teknolojisinde kullanılan diğer yöntemler ile birlikte II uygulanması, et ve et ürünlerinde patojen ve bozulma etmeni olan mikroorganizmaların dekontaminasyonunda daha etkili olmaktadır. Li vd. (2015) sığır etlerine inoküle edilen *Salmonella* ve *E.coli*'ye karşı kullanılan laktik asit ile birlikte düşük dozdaki (1 ve 3 kGy) elektron demeti uygulamasının antimikrobiyal aktiviteyi arttırdığını

belirtmişlerdir. Araştırmacılar, 1 kGy dozundaki elektron demeti ve %5'lik laktik asit çözeltisinin birlikte uygulanmasının *Salmonella* sayısında 1.8 log KOB/g azalmaya neden olduğunu, *E. coli* gelişimini ise sınırladığını vurgulamışlardır. Huq vd. (2015) mikroenkapsüle edilmiş uçucu yağların ve nisin ile birlikte γ ışını uygulanmasının, tüketime hazır et ürünlerinde sinerjistik antimikrobiyal etkiye sebep olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar, mikroenkapsüle edilmiş kekik ve tarçın ile birlikte 1.5 kGy dozda γ ışını uygulanmasının, *L. monocytogenes* sayısında 3.5 log KOB/g azalmaya neden olduğunu ifade etmişlerdir. Koluman ve Dikici (2016) bazı balık türlerinde, nisin kullanmadan yalnızca 5 kGy γ ışını uygulaması ile *L. monocytogenes*'in inhibe edilebileceğini; ancak nisin kullanımının *L. monocytogenes*'in inhibe edilmesi için gerekli dozun azaltılarak 3 kGy'lik dozun yeterli olabileceğini belirtmişlerdir. Aynı araştırmacılar nisin ile γ ışınlarının birlikte kullanılmasının farklı balık ürünlerinde de *L. monocytogenes* üzerinde etkili olduğunu vurgulamışlardır. Hassanzadeha vd. (2017) üzüm çekirdeği ekstraktı içeren kitosan bazlı yenilebilir bir film ile kaplanmış piliç etlerinde 2.5 kGy dozda γ ışını uygulamasının, bakteriyel gelişimi sınırladığını ve +4 °C'de depolanan piliç etlerinin 7 günlük raf ömrünü 14 güne uzattığını bildirmişlerdir.

Ultraviyole ışınları (UV)

Elektromanyetik spektrumun 100-400 nm aralığında bulunan küçük bir bölümünü oluşturan UV, insan vücudunu bronzlaştıran UV-A (320-400 nm), cilt yanığı ve cilt kanserine neden olan UV-B (280-320 nm), mikroorganizmaları öldürücü (germisidal) etki yapan UV-C (200-280 nm) ve vakum altında yayılabilen vakum UV (100-200 nm) olarak alt sınıflara ayrılmaktadır (Nagarajarao vd., 2016).

UV-C; bakteri, virüs, protozoa, maya, küf ve alg gibi mikroorganizmalara karşı öldürücü bir etkiye sahiptir. Park vd. (2015) piliç göğüs etlerine uygulanmış 3600 mWs/cm² UV-C (260 nm) ışığın, 4.84 log KOB/g inoküle edilen hepatit A virüsünde (HAV) ve 4.34 log KOB/g inoküle edilen murine norovirüste (MNV-1) sırasıyla 1.17 log KOB/g ve 1.23 log KOB/g azalmaya neden

olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar, fizikokimyasal ve duyuşal özellikler dikkate alındığında; 600-1200 mWs/cm² UV-C ışığın, HAV ve MNV-1 virüslerine karşı etkili olduğunu vurgulamışlardır.

Mikrobiyal inaktivasyonun gerçekleşebilmesi için, gıdanın en az 0.04 J/cm² enerjiye maruz kalması gerekmektedir. UV-C ışık, aynı DNA dizisindeki timin ve sitozinler arasında çapraz bağlanmaya yol açarak mutasyona sebep olmakta ve bu yolla mikrobiyal hücrelerin ölmesini sağlamaktadır. UV-C ışınlama teknolojisi; su veya kimyasal kullanılmasını gerektirmediği, çevre dostu ve sürdürülebilir bir teknoloji olduğu için son yıllarda sağlık ve gıda sektörü tarafından yüzey dekontaminasyonunda kullanılmaktadır (Sommers ve Sheen, 2015).

UV-C ışınlama uygulaması; sıvıda sterilizasyon, havanın dezenfeksiyonu ve yüzeyde mikroorganizmaların inhibisyonu olmak üzere 3 şekilde mikroorganizmalar üzerinde öldürücü etkiye sağlamaktadır (Rodionova ve Paliy, 2016). Mikroorganizmaların UV-C ışınlarından etkilenmelerinde; tür, suş, kültür ve büyüme gibi mikroorganizmalara ait çeşitli faktörler ve gıdanın çeşidi ile yapısı önemli rol oynamaktadır. Lazaro vd. (2014) *Salmonella* inoküle edilen piliç göğüslerine, 90 saniye boyunca uygulanan 0.62, 1.13 ve 1.95 mW/cm² dozlarında UV-C uygulamalarından, yüksek yoğunluklu olan 1.95 mW/cm² dozun başlangıç bakteri yükünde 7.28 log KOB/g azalma sağladığını ve ayrıca mikrobiyal gelişimde lag fazını ve ürünün raf ömrünü uzattığını belirtmişlerdir. Araştırmacılar, UV-C ışığın piliç etlerinin fiziksel ve kimyasal özelliklerini etkilemeksizin, mikrobiyal kalitesini arttıran alternatif bir teknoloji olduğunu vurgulamışlardır. Tarek vd. (2015) Bologna tipi paketlenmiş tüketime hazır et ürünlerinde; UV-C uygulamasının plastik filmlerin yüzey özelliklerini etkilemeksizin, *E. coli* popülasyonunda yaklaşık 1.5 log azalma sağlayabileceğini belirtmişlerdir. Sommers ve Sheen (2015) *Yersinia pestis* suşlarını inhibe etmek için uygulanmış 0.5 J/cm² UV-C ışık uygulamasının, *in vitro* ortamda 7 log KOB/g ve üzeri azalmaya neden olduğunu; sığır, piliç ve balık etlerinde ise 4 log KOB/g azalmaya yol

açlığını tespit etmişlerdir. Bu bakteride yaklaşık 1 log KOB/g azalma sağlayabilmek için 1 J/cm² UV-C ışık kullanılmasının yeterli olabileceğini belirten araştırmacılar, UV-C ışık kullanımının *Y. pestis*'e karşı etkili olduğunu ortaya koymuşlardır. Lee vd. (2015) kurutma işlemi uygulanmış dikenli çütre (*Thamnaconus modestus*) ve dilimlenmiş kalamar (*Todarodes pacificus*) yüzeylerine farklı dozlarda (0-18 kJ/m²) UV-C ışık (253.7 nm) uygulamanın; *E. coli*, *S. aureus* ve *B. cereus* bakterilerinin gelişimini önemli ölçüde engellediğini bildirmişlerdir. 18 kJ/m² UV-C dozunda ışınlanmanın; dikenli çütre yüzeyine inoküle edilmiş *E. coli*'yi 2.70 log KOB/g, *S. aureus*'u 2.55 log KOB/g ve *B. cereus*'u 2.57 log KOB/g; dilimlenmiş kalamar yüzeylerine inoküle edilmiş *E. coli*'yi ise 1.35 log KOB/g, *S. aureus*'u 0.54 log KOB/g ve *B. cereus*'u 1.05 log KOB/g azalttığını belirtmişlerdir. Araştırmacılar, bu ürünlerde *E. coli* ve *B. cereus*'un tamamen inaktive edilmesi için 6-9 kJ/m² UV-C ışınlanmanın kullanılmasını önermiştir. Bununla birlikte, dilimlenmiş kalamar yüzeyindeki *S. aureus*'un dekontaminasyonu için, UV-C ışınlanmanın kimyasal dezenfektanlarla birlikte kullanılmasının daha etkili olacağını vurgulamışlardır.

UV-C ışık, genellikle ortam havasında taşınan bakteri yükünün kontrolü amacıyla et ve et ürünleri üretim hatlarında ve et karkaslarının muhafazasında soğuk depolarda kullanılmaktadır (Lazaro vd., 2014). Rodionova ve Paliy (2016) üretim tesislerinde kullanılan kapalı tip UV-C ışınlama cihazlarının, tesislerdeki toplam mikroorganizma sayısını %2.5 oranında azalttığını ve UV-C ışınlanmanın et üretim tesislerindeki havanın dezenfeksiyonu için oldukça etkili bir yöntem olduğunu vurgulamışlardır.

UV-C ışığın penetrasyon gücünün zayıf olması sebebiyle, uygulanan gıdaların sadece yüzeylerine etki etmesi kullanımını sınırlamaktadır (Lazaro vd., 2014). Bu nedenle UV-C ışık ile birlikte engel teknolojisinde kullanılan diğer yöntemlerin aynı anda uygulanması, sinerjik bir etki yaratarak; ışınlanmanın etkinliğini arttırmaktadır. Ha ve Kang (2015) dilimlenmiş jambonlara 70 saniye uygulanmış yakın kızıl ötesi ve UV-C ışık kombinasyonunun; *E. coli*'de 3.62 log KOB/g, *S.*

Typhimurium'da 4.17 log KOB/g ve *L. monocytogenes*'de 3.43 log KOB/g azalmaya neden olduğunu bildirmişlerdir. Bottino vd. (2017) vakum paketlenen balık filetolarına uygulanmış düşük (55.83 mJ/cm²) ve yüksek (160.97 mJ/cm²) dozlardaki UV-C ışığın, yalnızca vakum paketlenme yapılmış filetolara kıyasla hem oluşan koloni sayılarını hem de bu kolonilerin büyüme oranlarını azalttığını bildirmişlerdir. Araştırmacılar, UV-C ışığın filetolardaki mikrobiyal büyüme parametrelerini yavaşlatarak ve kimyasal değişiklikleri geciktirerek, filetoların raf ömrünü en az %50 arttırdığını vurgulamışlardır. Yang vd. (2017) piliç göğüs etine uygulanmış UV-C ışık ile birlikte ticari bakteriyofajın, *L. monocytogenes* üzerinde 2.04 log KOB/g azalmaya neden olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca araştırmacılar, yalnızca ticari bakteriyofaj uygulanmış piliç etlerinde; 0.84 log KOB/g azalma olduğunu ifade ederek, UV-C ışığın kullanımı ile *L. monocytogenes* inhibisyonunun etkinliğinin arttığını vurgulamışlardır. Yeh vd. (2018) sığır kıymalarına 3.5 log KOB/g inoküle edilen *Salmonella* suşlarının, bakteriyofaj ilavesi ve UV ışık kullanımı ile 2 log KOB/g'a düştüğünü belirtmişlerdir. Araştırmacılar, bakteriyofaj ve UV ışığın birlikte kullanımının; et sanayinde *Salmonella* kontrolü için uygun olabileceğini vurgulamışlardır.

Vurgulu elektrik alan (VEA)

“Atımlı/darbeli elektrik alan” veya “yüksek voltaj elektrik alan” uygulamaları olarak da bilinen VEA uygulamaları genellikle 1-100 mikrosaniye (μ s) gibi kısa süre ve yüksek elektriksel alan esasına dayanan, ısıl işlemin yerini alabilecek yöntemlerden biri olarak tanımlanmaktadır (Horita vd., 2018). VEA yöntemi, gıdaların duysal özelliklerinde ve besin değerlerinde herhangi bir olumsuz değişime neden olmadan mikroorganizmaların vejetatif formlarının inaktivasyonunu gerçekleştirebilmektedir (Stoica vd., 2013). Özel odalarda gerçekleştirilen VEA uygulamalarında, iki elektrot arasına gıda maddesi yerleştirilmekte ve 0.5–80 kV/cm yüksek voltaj elektrik alanına maruz bırakılmaktadır (Horita vd., 2018). VEA uygulaması, mikroorganizmaların hücre duvarında elektroporasyona ve elektriksel yıkıma neden olarak; hücre organellerini

çatlatmakta, hücre içeriğini azaltmakta ve hücrenin temel fonksiyonlarını yavaşlatarak, inaktivasyonunu gerçekleştirmektedir (Li ve Farid, 2016).

VEA'nın mikroorganizma inaktivasyonunda başarılı olmasında; uygulanan yöntem, seçilen gıdanın çeşidi ve mikrobiyal faktörler oldukça önemlidir. VEA'a bağlı faktörler arasında elektrik alan yoğunluğu, vurgu/darbe genişliği, uygulama süresi ve sıcaklık artışı yer alırken; gıdaya bağlı faktörler arasında gıdanın iletkenliği, sıcaklığı ve pH'sı, mikrobiyal faktörler arasında ise; mikroorganizma türü, konsantrasyonu ve mikroorganizmanın gelişme aşamasında olup olmaması yer almaktadır (Panwar vd., 2015). Stachelska vd. (2012) 28 MHz darbe frekansı ve 300 V/m VEA uygulamasının, sığır kıymalarına 6.7 log KOB/g düzeyinde inoküle edilmiş *Y. enterocolitica*'nın inaktive edilebilmesi için yetersiz olduğunu; ancak darbe frekansının 280 MHz'e çıkarılması ile *Y. enterocolitica* inaktivasyonunun sağlandığını rapor etmişlerdir. Araştırmacılar, 2800 MHz ile birlikte uygulanan VEA'in hem +4 °C'de hem de -20 °C'de depolanan etlerdeki mikroorganizma kontrolünde oldukça etkili olduğunu vurgulamışlardır.

VEA, gıdalarda meydana gelen bozulmaların etkisini azaltmak için verimli bir yöntem olmasının yanı sıra; *L. monocytogenes*, *S. aureus*, *E. coli* ve *S. Typhimurium* gibi halk sağlığı açısından risk oluşturabilen patojenik vejetatif mikroorganizmaların etkinliğini de sınırlamaktadır (Stratakos ve Koidis, 2015). VEA uygulamasının, bakteri sporları üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığı ve bu uygulamaya karşı; bakterilerin mayalara göre daha dirençli, Gram negatif bakterilerin ise Gram pozitif bakterilere göre daha fazla duyarlı olduğu belirtilmektedir (Li ve Farid, 2016).

VEA'da geleneksel ısıl yöntemlerden farklı olarak, oda sıcaklığında ve μ s ya da milisaniye düzeyindeki kısa sürelerde işlem tamamlanabilmektedir. Bu teknolojiye kimyasal koruyucu kullanılmamaktadır (Güven ve Yıldız, 2016). Uygulamanın düşük enerji tüketimi ve sürekli çalışabilirliği gibi avantajları bulunmaktadır (Nagarajao vd., 2016). VEA uygulaması et

endüstrisinde daha çok karkasların elektrostimülasyonunda, etlerin tenderizasyonunda ve tüketime hazır et ürünlerinin yüzey dekontaminasyonunda kullanılmaktadır (Horita vd., 2018). Saif vd. (2006) 32 dakikalık VEA uygulaması sonrasında, keçi eti yüzeyine inoküle edilmiş *E. coli* O157:H7'nin 8 log KOB/g azaldığını bildirmişlerdir. Özer ve Demirci (2006) *E. coli* O157:H7 inoküle edilmiş ve VEA uygulanmış somon filetoların kaslarında; maksimum 1.09 log KOB/g, yüzeylerinde ise maksimum 0.8 log KOB/g azalma gözlemlemişlerdir. *L. monocytogenes* için ise kaslarda maksimum 0.74 log KOB/g, yüzeylerde ise maksimum 1.02 log KOB/g azalma olduğunu bildirmişlerdir.

Yapılan literatür taraması sonucunda; et ve et ürünlerinin güvenilirliği ve kalitesi açısından daha iyi sonuçların elde edilebilmesi için, VEA ile antimikrobiyal ajanların ve diğer engel parametrelerinin birlikte kullanılması gerektiği önerilmektedir.

Atımlı ışık (AI)

Radyasyon kullanılarak yapılan, ürünün içeriğine ve yüzeyine zarar vermeden antimikrobiyal bir etki sağlayan AI uygulaması, mikroorganizmaların inaktive edilmesinde Gıda ve İlaç İdaresi (Food and Drug Administration-FDA)'nin kullanımına izin verdiği etkili bir sterilizasyon yöntemidir (Zhou, 2010; Rajkovic vd., 2010). AI yönteminde; 200-1000 nm aralığındaki UV bölgedeki geniş spektrumlu dalga boyları kullanılmaktadır (Bhavya ve Hebbar, 2017).

Son yıllarda elde edilen bilgiler, AI teknolojisinin yüzeylerden ve sıvılardan hem vejetatif hücrelerin hem de sporların dekontaminasyonu için yüksek potansiyele sahip olduğunu ortaya koymaktadır (Nicorescu vd., 2014; Heinrich vd., 2016).

AI yönteminin mikroorganizmaları inaktive etme mekanizması, UV ışık uygulaması ile benzer olup; esas olarak DNA'nın transkripsiyonunu ve translasyonunu engelleyen foto-ürünlerin oluşumu ile açıklanabilmektedir (Pan vd., 2017). AI uygulaması, DNA hasarına ek olarak; hücrenin ve hücre çevresindeki ortamın farklı adsorpsiyonu sonucu ısıl bir stres oluşturarak hücre yapısına da

zarar vermektedir (Li ve Farid, 2016; Kramer vd., 2017). Keklik vd. (2010) 2.4 J/cm² ve 24.2 J/cm² enerji yoğunluğu uygulamasına maruz kalan piliç örneklerinde *S. Typhimurium*'un 2 log KOB/g azaldığını ifade etmişlerdir. Nicorescu vd. (2014) çiğ ve pişmiş domuz rostoları ve çiğ somon örneklerine uygulanmış AI yönteminin, *Pseudomonas fluorescens* inaktivasyonunda yalnızca 1 log KOB/g azalmaya neden olduğunu; doğal olarak oluşan aerobik floranın inhibe edilmesinde ise yeterli düzeyde etkili bulunduğunu tespit etmişlerdir. 10 ve 30 J/cm² enerji yoğunluğu uygulanmış, çiğ ve pişmiş domuz rostolarındaki aerobik flora üzerinde; 1 ve 3.4 log KOB/g arasında azalmaya neden olduğunu ve bu sayede domuz eti örneklerinde mikrobiyal güvenliğin sağlandığını ve raf ömürlerinin uzatıldığını vurgulamışlardır. Bununla birlikte, 30 J/cm² enerji yoğunluğu uygulamasının, çiğ somon örneklerinde 0.8 log KOB/g gibi sınırlı miktarda aerobik flora azalmasına sebep olduğunu bildirmişlerdir. Sonuç olarak araştırmacılar, AI teknolojisinin hem aerobik flora, hem de *P. fluorescens* inaktivasyonu için bir potansiyele sahip olduğunu; ancak tatmin edici seviyede dekontaminasyon ve yüksek ürün kalitesi elde etmek için orta derecede akıcılığa sahip AI uygulanması gerektiğini ifade etmişlerdir.

AI yöntemi, gıdalarda bozucu mikroorganizmalar üzerinde çok geniş bir antimikrobiyal etki göstermesine rağmen bazı mikroorganizmaların bu yönteme karşı sergiledikleri hassasiyet değişmektedir. Örneğin AI uygulamasına karşı bakteri direncinin, küf sporlarına göre daha düşük olduğu gözlemlenmiştir (Heinrich vd., 2015). Özer ve Demirci (2006) 5.6 J/cm² enerji yoğunluğu uygulanan somon filetolarında, *E. coli* O157:H7 ve *L. monocytogenes*'in 1 log KOB/g azaldığını bildirmişlerdir. Ganan vd. (2013) AI yöntemi uygulanmış fileto ve sosis gibi kürlenmiş et ürünleri yüzeyindeki *L. monocytogenes* ve *Salmonella*'da maksimum 1.5–1.8 log KOB/g azalma olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar, AI uygulamasının kuru işlenmiş et ürünlerinin güvenilirliğini arttırmak için kullanılabilir, ısı olmayan bir teknik olduğunu vurgulamışlardır.

AI yönteminin daha çok gıda yüzeylerindeki mikrobiyal popülasyonu azaltmak veya kullanılan

ekipmanları ve ambalaj materyallerini sterilize etmek için kullanıldığı da görülmektedir (Nagarajarao vd., 2016). Rajkovic vd. (2012) bıçakların et ile temas eden yüzeylerindeki *L. monocytogenes* ve *E. coli* O157:H7 dekontaminasyonu için AI yönteminin, başarılı bir şekilde uygulanabileceğini bildirmiştir. Rajkovic vd. (2017) 3 J/cm² enerji yoğunluğu uygulanmış, dilimlenmiş fermente salam yüzeyindeki *L. monocytogenes*'i 2.24 log KOB/g, *E. coli* O157:H7'i 2.29 log KOB/g, *S. Typhimurium*'u 2.25 log KOB/g ve *S. aureus*'u 2.12 log KOB/g azalttığını bildirmişlerdir. Araştırmacılar yapmış oldukları bu çalışma ile AI'nın lipid ve protein oksidasyonu ile kalite özelliklerini etkilemeden fermente salamaların mikrobiyal güvenliğini iyileştirebileceğini vurgulamışlardır. McLeod vd. (2017) 1.25-18.0 J/cm² arasındaki akışlarda uygulanmış AI'nın piliç fileto yüzeylerine inoküle edilmiş *S. Enteritidis*, *L. monocytogenes*, *S. aureus*, *E. coli*, *Pseudomonas* spp., *Brochothrix thermospacta* ve *Carnobacterium divergens* üzerinde 0.9-3.0 log KOB/g arasında azalmaya neden olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar AI yönteminin, piliç fileto yüzeylerinde patojen ve bozulma etmeni olan mikroorganizmaların canlılığını azaltmak için faydalı bir teknik olduğunu vurgulamışlardır.

Ayrıca, AI uygulamasının etkinliğini arttırmak için diğer engel parametreleri ile birlikte kullanıldığı da görülmektedir. Hierro vd. (2011) vakum paketlenmiş jambon dilimlerinin yüzeylerine uygulanan AI'nın *L. monocytogenes* yükünü 1.78 log KOB/g azalttığını bildirmiştir. Ayrıca araştırmacılar, hem AI uygulamasına, hem de vakum paketlenmeye tabi tutulan örneklerin sadece vakum paketlenmiş örneklere göre raf ömürlerinin 30 gün arttığını vurgulamışlardır.

Yüksek basınç (YB)

Isıl yöntemlere alternatif olarak geliştirilen ve gıdalarda soğuk pastörizasyon yöntemi olarak son yıllarda ilgi uyandıran YB veya yüksek hidrostatik basınç (YHB) uygulamaları; gıdalardaki patojen veya bozulma etmeni olan mikroorganizmaları azaltmayı hedefleyen bir dekontaminasyon yöntemidir (Valdramidis vd., 2015; Hughes, 2016).

YB uygulamasının; mikroorganizmalar ve protein/enzimler üzerine etkisi yüksek sıcaklıktan kaynaklanan etkilere benzemektedir. “Hafif teknoloji” olarak kabul edilen YB’nin, et ürünlerinde bulunan mikroorganizmaları inhibe edici özelliği bulunmasına rağmen; ürünlerde tekstür, renk ve oksidatif bozulmalara yol açtığı görülmektedir (Del Olmo vd., 2014; Medina-Meza vd., 2014; Barba vd., 2015).

Çeşitli gıdaların işlenmesi ve korunmasında kullanılan bu yöntemde; genellikle 100-600 MPa aralığında basınç uygulanmakta ve yöntem; materyali çevreleyen suyun sıkıştırılması prensibine dayanmaktadır (Rajkovic vd., 2010).

YB uygulamaları; çok çeşitli gıda ürünlerinin pastörize edilmesi ve raf ömrünün uzatılması için endüstriyel olarak uygulanan çevre dostu bir yöntemdir. Genel olarak, gıdalarda bulunan düşük su aktivitesinin mikroorganizma hücrelerini basınca karşı koruduğu belirtilmektedir (Cheftel ve Culioli, 1997) ve bu nedenle YB uygulamasının su aktivitesi yüksek gıdalarda daha etkin bir şekilde kullanıldığı görülmektedir. Japonya, Amerika ve bazı Avrupa ülkelerinde başta et ürünleri ve deniz mahsülleri olmak üzere meyve suyu, reçel ve süt gibi birçok gıdada kullanılan YB; basınç, sıcaklık ve işlem süresi gibi proses parametrelerine ve pH, iyonik şiddet, su aktivitesi, tuz içeriği ve diğer antimikrobiyallerin varlığı gibi gıdaların karakteristik özelliklerine bağlıdır (Rajkovic vd., 2010). Sommers vd. (2016) piliç etinden hazırlanmış kıymalara inoküle edilmiş *E. coli*’yi 1 log KOB/g azaltmak için 30.6 dakika boyunca 300 MPa, 8.37 dakika boyunca 400 MPa ve 4.43 dakika boyunca 500 MPa basınç uygulanması gerektiğini belirtmişlerdir. Sommers vd. (2017) tarafından yapılan diğer bir çalışmada ise; *Staphylococcus saprophyticus* inoküle edilmiş piliç etinden hazırlanmış kıymalara 15.5 dakika boyunca 200 MPa, 9.43 dakika boyunca 300 MPa ve 3.54 dakika boyunca 400 MPa basınç uygulamasının; kıymalarda 1 log KOB/g azalmaya neden olduğunu bildirmişlerdir. Yapılan çalışmalar sonucunda, artan basınç uygulamalarına bağlı olarak test mikroorganizmalarının 1 log azaltılması için

gerekli olan uygulama sürelerinin düştüğü görülmektedir.

YB uygulamaları; gıdalardaki patojen ve bozulma etmeni olan mikroorganizmaların azaltılması ve geleneksel ısıl işlemler esnasında zarar gören organoleptik özelliklerin korunması gibi birtakım avantajlara sahiptir (Medina-Meza vd., 2014). Botsaris vd. (2015) vakum paketlenerek 3 dakika boyunca 600 MPa basınç uygulanmış jambon örneklerine ait toplam aerobik koloni sayılarının, +4 °C’de 28 günlük depolama süresince 2 log KOB/g ve altında kaldığını; basınç uygulanmamış örneklerle ait koloni sayılarının ise 10 log KOB/g ve üzerine ulaştığını belirtmişlerdir. Ayrıca, YB uygulamasının ürünlerin organoleptik özelliklerini etkilemediği bildirilmiştir. YB uygulamaları gıda muhafazasına ek olarak; tekstür, su tutma kapasitesi ve kas proteinlerinin jelatinizasyonu gibi et yapısını iyileştirerek, yeni ürünlerin geliştirilmesine olanak sağlamaktadır (Pingen vd., 2016).

Mikroorganizmaların morfolojisi, biyokimyasal reaksiyonları, genetik mekanizmaları, hücre zarları, duvarları ve spor kılıfları üzerinde değişimlere yol açan YB; aynı zamanda mikroorganizmaların hücre duvarının hücre zarından ayrılmasına, çekirdek veya hücre içi organellerin değişmesine ve hücre içi maddelerin hücre dışına sızması gibi morfolojik değişimlere neden olmaktadır (Barba vd., 2017).

Genellikle ısıya karşı dirençli olan mikroorganizmalar, basınca karşı da direnç göstermektedir. Mikroorganizma sporları YB uygulamasına karşı oldukça dirençli olmalarına rağmen, maya ve küflerin vejetatif formları 200-300 MPa aralığındaki basınç ile inaktive edilebilmektedir. Hajos vd. (2004) 600 MPa basınç uygulanmış sosis hamurlarının doğal mikroflorasında bulunan toplam canlı hücre sayısında 3 log KOB/g’dan daha fazla azalma meydana geldiğini belirtmişlerdir. Garriga vd. (2004) sığır filetolarına uygulanan YB yönteminin aerobik, psikrotrofik ve laktik asit bakterisi (LAB) sayısında 4 log KOB/g bir azalmaya neden olduğunu vurgulamışlardır. Gram negatif bakteriler ise, Gram pozitif bakterilere göre ısıya

ve basınca karşı daha duyarlıdır (Hugas vd., 2002; Garriga vd., 2004; Li ve Farid, 2016). Ayrıca YB'nin *C. jejuni*, *E. coli*, *L. monocytogenes*, *S. enteridis*, *S. Typhimurium*, *S. aureus* ve *Y. enterocolitica* gibi önemli gıda patojenlerine karşı etkili olduğu ifade edilmiştir (Hajos vd., 2004). Kruk vd. (2011) piliç göğsü filetolarına uygulanmış 450 ve 600 MPa basınçların, üç önemli patojen olan *S. Typhimurium*, *E. coli* ve *L. monocytogenes* inaktive ettiğini belirtmişlerdir. Araştırmacılar; 600 MPa basınç uygulanmış piliç göğsü filetolarındaki bakteri yükünün 7-14 gün boyunca 6-8 log KOB/g, 450 MPa basınç uygulanmış örneklerin ise 3-14 gün boyunca 4-8 log KOB/g azaldığını bildirmişlerdir. Yapılmış bu çalışma ile YB uygulamasının mikrobiyal bozulmayı azaltarak, filetoların raf ömrünü uzatmada etkili bir teknik olduğu görülmektedir.

YB uygulamasının enzimatik karışımlar, doğal antimikrobiyal ve antioksidan maddeler gibi diğer engel parametreleri ile birlikte kullanılabilir olması bu yöntemin etkinliğini artırmaktadır (Akkara ve Kayaardı, 2014). Hugas vd. (2002) 600 MPa basınç uygulanmış vakum ambalajlı pişmiş jambonlarda, bozulma yapan mikroorganizmaların gelişiminde önemli bir gecikme gözlemlendiğini ve böylece uygulama sonrası örneklerin en az 60 gün boyunca duysal tazeliğini koruduğunu bildirmişlerdir. Lerasle vd. (2014) modifiye atmosfer altında paketlenmiş (MAP) ve 5 dakika boyunca 500 MPa basınç uygulanan piliç etinden hazırlanmış sosislerde, MAP uygulamasının tek başına mikrobiyal kaliteyi iyileştirmediğini; bu yöntemin YB uygulaması ile birlikte kullanılması ile etkinliğinin arttığını ve toplam mezofilik aerob ve LAB sayılarını azaltarak sosislerin raf ömürlerini uzattığını bildirmişlerdir. Banerjee vd. (2017) vakum paketlenmiş koyun eti köftelerine uygulanmış 200-400 MPa YB ve 1.2 ve 3 kGy dozundaki ışınlama uygulamalarının, köftelerdeki toplam canlı sayısını 2-3 log KOB/g azalttığını ve bu yöntemlerin birlikte kullanılması ile köftelerin raf ömürlerinin uzadığını bildirmişlerdir.

Ultrasonik ses (US) dalgaları

Isıl olmayan alternatif teknolojilerden bir diğeri de US dalgalarıdır. Bu ses dalgaları bir sıvı içerisinden

geçtikleri zaman baloncuk veya kavitasyon oluşturmaktadırlar. US dalgalarının uygulanması sırasında oluşan başlıca aktif etki, sıvı içerisinde meydana gelen hava kabarcıklarının oluşumu ile sonuçlanan mekanik etkidir (Horita vd., 2018).

İnsanın işitme sınırı 15-20 kHz olup; US dalgaları insan kulağının işitebileceğinin üzerindeki ses dalgalarıdır ve frekansı 50 kHz'in üzerindedir. US dalgalarının hızı; ortamın fizyolojik durumuna ve sıcaklığına bağlıdır. Genel olarak, US dalgası ekipmanlarında 20 kHz ile 10 MHz arasındaki frekanslar kullanılmaktadır. Yüksek güç için düşük frekanslar tercih edilmekte ve 20 kHz ile 100 kHz arasındaki frekanslarda gıdalardaki mikroorganizmaları inaktif hale getiren kavitasyonu yaratan güçlü US dalgası oluşmaktadır (Nagarajarao, 2016).

Isıl işlem uygulamalarına alternatif olarak geliştirilen ultrases; meydana getirdiği kavitasyon sayesinde mikroorganizmaların hücre duvarlarını parçalayarak, onları inaktive etmektedir. US işlemi sayesinde kavitasyon oluşmakta ve gaz kabarcıkları da bu ortamda meydana gelmektedir. US enerjisi gaz kabarcıklarındaki buharı etkin bir şekilde tutamadığı için gaz kabarcığı patlamakta ve ortamda yoğunlaşmaktadır. Yoğunlaşan ortam ani olarak yüksek bir basınç ve sıcaklık bölgesi oluşturmaktadır. Oluşan bu ortamda bulunan mikroorganizmaların hücre duvarları zarar görmekte ve bunun sonucunda mikroorganizmalar inaktif hale gelmektedir (Turantas vd., 2015). Bu ısıtılmış bölge çok sınırlı bir alanı kapsadığı için mikroorganizmaların tamamını öldürememektedir (Zinoviadou vd., 2015; Barba vd., 2017). Bu nedenle uygulanan US işleminin gıdaların her tarafına homojen bir şekilde ulaştırılması oldukça önemlidir.

US dalgalarının; *Salmonella* serotipleri, *E. coli*, *L. monocytogenes* ve *S. aureus* gibi patojenleri ve bozulma etmeni olan mikroorganizmaları inaktive etmek için başarılı bir şekilde kullanıldığı görülmektedir (Nagarajarao vd., 2016). Yapılan bir çalışmada, model bir sisteme uygulanmış 60 W US dalgalarının; *L. monocytogenes* üzerinde 4 log KOB/g azalmaya neden olduğu belirtilmiştir (Wu ve Narsimhan, 2017). Pinon vd. (2012) piliç

etlerine 20 kHz frekansında 5 dakika uygulanmış US'in, psikrofilik bakterileri 0.2 log KOB/g azalttığını bildirmişlerdir.

US işleminin mikroorganizmaları inaktive ettiği ispatlanmasına rağmen, bu yöntemin tek başına uygulanması sonucunda, ürünlerdeki mikroorganizma sayısının azaltılmasında çok etkili olmadığı belirtilmektedir. Bu nedenle US'in başka yöntemler ile birlikte kombine edilerek uygulanmasının daha etkili olacağı vurgulanmaktadır. Ultrases ve ısıl işlem (termosonikasyon); US ve basınç (manosonikasyon); ultrases, basınç ve ısıl işlem (manotermosonikasyon) uygulamaları kombine yöntemlere örnek olarak gösterilebilmektedir (Panwar vd., 2015; Troy vd., 2016). Kordowska-Wiater ve Stasiak (2011) 2.5 W/cm² yoğunluğunda ve 40 kHz frekansında uygulanmış US'nin, piliç kanatlarının yüzeyindeki *Salmonella* serotipleri., *E. coli* ve *P. fluorescens*'ı 1 log KOB/g azalttığını; US ile birlikte %1 oranında laktik asit kullanımının ise patojenlerde 1.5 log KOB/g'dan daha fazla (4 log KOB/g'a kadar) azalmaya sebep olduğunu ifade etmişlerdir.

SONUÇ

Tüketiciler; besinsel ve duyuşal özelliklerinde minimum değişiklikler meydana gelmiş, yüksek kaliteli işlenmiş ürünler talep etmektedirler. Bu nedenle; et ve et ürünlerine uygulanan ısıl olmayan yöntemler arasında yer alan iyonize ışınlama teknolojisinin; ambalajlanmış son ürüne uygulanabilir olması, toksik kalıntı bırakmaması ve ışınlamaya karşı hiçbir mikroorganizmanın direnç geliştirememesi nedeniyle tüketicilerin beklentilerini karşılayacağı düşünülmektedir. Ayrıca, iyonize ışınlama teknolojisinin antimikrobiyal maddeler (laktik asit, nisin, uçucu yağlar vb.) ile birlikte uygulanmasının; mikrobiyal güvenlik açısından daha etkili olabileceği de öngörülmektedir. Ancak ısıl olmayan teknolojiler ile ilgili yapılan çalışmalar sınırlı sayıda olup, bu dekontaminasyon tekniklerinde maliyetleri en aza indirmek ve uygulama sürecini kolaylaştırmak ile ilgili daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir. Yapılacak bu araştırmalar sayesinde, sanayi ile iş birliği kurulmasının ve bu teknolojilerin kısa sürede uygulamaya aktararak,

endüstriye entegrasyonunun sağlanmasının önemli olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Akkara, M., Kayaardı, S. (2014). İleri muhafaza tekniklerinin et kalitesi üzerine etkisi. *Akademik Gıda*, 12(4), 79-85.

Barba, F.J., Terefe, N.S., Buckow, R., Knorr, D., Orlien, V. (2015). New opportunities and perspectives of high pressure treatment to improve health and safety attributes of foods. *Food Res Int*, 77, 725-742.

Barba, F.J., Koubaa, M., Prado-Silvac, L., Orlien, V., Sant'Ana, A.S. (2017). Mild processing applied to the inactivation of the main foodborne bacterial pathogens: A review. *Trends Food Sci Technol*, 66, 20-35.

Banerjee, R., Jayathilakan, K., Chauhan, O.P., Naveena, B.M., Devatkal, S., Kulkarni, V.V. (2017). Vacuum packaged mutton patties: Comparative effects of high pressure processing and irradiation. *J Food Process Preserv*, 41, e12880.

Botsaris, G., Taki, A. (2015). Effect of high-pressure processing on the microbial quality throughout the shelf life of vacuum-packed sliced ham and frankfurters. *J Food Process Preserv*, 39, 840-845.

Bottino, F.O., Rodrigues, B.L., Ribeiro, J.D.N., Lazaro, C.A.T., Conte-Junior, C.A. (2017). Influence of UV-C radiation on shelf life of vacuum package tambacu (*Colossoma macropomum* X *Piaractus mesopotamicus*) fillets. *J Food Process Preserv*, 41, e13003.

Cheftel, J. C., Culioli, J. (1997). Effects of high pressure on meat: A review. *Meat Sci*, 46(3), 211 - 236.

De la Paz Xavier, M., Dauber, C., Mussio, P., Delgado, E., Maquieira, A., Soria, A. López, T. (2014). Use of mild irradiation doses to control pathogenic bacteria on meat trimmings for production of patties aiming at provoking minimal changes in quality attributes. *Meat Sci*, 98(3), 383-391.

Del Olmo, A., Calzada, J., Nunez, M. (2014). Effect of high-pressure-processing and modified-

- atmosphere-packaging on the volatile compounds and odour characteristics of sliced ready-to-eat "lacon", a cured-cooked pork meat product. *Innov Food Sci Emerg Technol*, 26, 134–142.
- Doğu, S. Ö., Sarıçoban, C. (2014). Et ve ürünlerinde dekontaminasyon yöntemleri. *Eur J Lipid Sci Technol*, 1(3), 92-99.
- Dupuy, C., Morlot, C., Gilot-Fromont, E., Mas, M., Grandmontagne, C., Gilli-Dunoyer, P., Gaya, E., Callait-Cardinal, M.P. (2014). Prevalence of *Taenia saginata* cysticercosis in French cattle in 2010. *Vet Parasitol (Amst)*, 203, 65–72.
- Deepika, P., Zende, R.J., Kshirsagar, D.P., Lande, V.S., Vaidya, V.M., Waghmare, R.N., Todankar, R.P., Shirke, A.H. (2017). Effects of electron beam irradiation on microbial quality of pork sausage stored at refrigeration temperature. *Int J Curr Microbiol Appl Sci*, 6(11), 3978-3987.
- Ehlermann, D.A.E. (2016). Particular applications of food irradiation: Meat, fish and others. *Radiat Phys Chem*, 129, 53-57.
- El-Ghafour, S.A., Zakar, A.H. (2017). Impact of gamma irradiation on the quality of tilapia fish (*Oreochromis niloticus*) fillets stored under refrigerated condition. *Int J Chemtech Res*, 10(2), 573-581.
- Fregonesi, R.P., Portes, R.G., Aguiar, A.M.M., Figueira, L.C., Gonçalves, C.B., Arthur, V., Trindade, M.A. (2014). Irradiated vacuum-packed lamb meat stored under refrigeration: Microbiology, physicochemical stability and sensory acceptance. *Meat Sci*, 97(2), 151-155.
- Ganan, M., Hierro, E., Hospital, X.F., Barrosa, E., Fernandez, M., (2013). Use of pulsed light to increase the safety of ready-to-eat cured meat products. *Food Control*, 32, 512-517.
- Garriga, M., Grèbol, N., Aymerich, M.T., Monfort, J.M., Hugas, M. (2004). Microbial inactivation after high-pressure processing at 600 MPa in commercial meat products over its shelf life. *Innov Food Sci Emerg Technol*, 5, 451–457.
- Güven, E., Yıldız, H. (2016). Isıl olmayan yeni gıda muhafaza tekniklerinin sanayi uygulamaları-2. *Gıda*, 41,4.
- Ha, J-W., Kang, D-H. (2015). Enhanced inactivation of food-borne pathogens in ready-to-eat sliced ham by near-infrared heating combined with UV-C irradiation and mechanism of the synergistic bactericidal action. *Appl Environ Microbiol*, 81(1), 2-8.
- Ham, Y-K., Kim, H-W., Hwang, K-E., Song, D-H., Kim, Y-J., Choi, Y-S., Song, B-S., Park, J-H., Kim, C-J. (2017). Effects of irradiation source and dose level on quality characteristics of processed meat products. *Radiat Phys Chem*, 130, 259-264.
- Hassanzadeha, P., Tajikb, H., Rohanib, S.M.R., Moradib, M., Hashemic, M., Aliakbarlub, J. (2017). Effect of functional chitosan coating and gamma irradiation on the shelf-life of chicken meat during refrigerated storage. *Radiat Phys Chem*, 141, 103-109.
- Hajos, G., Polgar, M., Farkas, J. (2004). High-pressure effects on IgE immunoreactivity of proteins in a sausage batter. *Innov Food Sci Emerg Technol*, 5, 443–449.
- Haqea, M.A., Hashema, M.A., Mujaffar, M.M., Rimaa, F.J., Hossainb, A. (2017). Effect of gamma irradiation on shelf life and quality of beef. *J Meat Sci Technol*, 5(2), 20-28.
- Heinrich, V., Zunabovic, M., Bergmair, J., Kneifel, W., Jager, H. (2015). Post-packaging application of pulsed light for microbial decontamination of solid foods: A review. *Innov Food Sci Emerg Technol*, 30, 145-156.
- Heinrich, V., Zunabovic, M., Varzakas, T., Bergmair, J., Kneifel, W., 2016. Pulsed light treatment of different food types with a special focus on meat: A critical review. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 56(4), 591-613.
- Hierro, E., Barroso, E., de la Hoz, L., Ordonez, J. A., Manzano, S., Fernandez, M. (2011). Efficacy of pulsed light for shelf-life extension and inactivation of *Listeria monocytogenes* on ready-to-eat cooked meat products. *Innov Food Sci Emerg Technol*, 12, 275-281.
- Horita, C.N., Baptista, R.C., Caturla, M.Y.R., Lorenzo, J.M., Barba, F.J., Sant'Ana, A.S. (2018). Combining reformulation, active packaging and non-thermal post-packaging decontamination

- technologies to increase the microbiological quality and safety of cooked ready-to-eat meat products. *Trends Food Sci Technol*, 72, 45-61.
- Hugas, M., Garriga, M., Monfort, J.M., (2002). New mild technologies in meat processing: High pressure as a model technology. *Meat Sci*, 62, 359–371.
- Hughes, B.H., Perkins, L.B., Yang, T.C., Skonberg, D.I. (2016). Impact of post-rigor high pressure processing on the physicochemical and microbial shelf-life of cultured red abalone (*Haliotis rufescens*). *Food Chem*, 194, 487–494.
- Huq, T., Vu, K.D., Riedl, B., Bouchard, J., Lacroix, M. (2015). Synergistic effect of gamma (γ)-irradiation and microencapsulated antimicrobials against *Listeria monocytogenes* on ready-to-eat (RTE) meat. *Food Microbiol*, 46, 507-514.
- ICMSF (1986). International commission on microbiological specifications for foods. Microorganisms in foods 2: Sampling for microbiological analysis: Principles and specific applications, pp. 127–278.
- Kardowska-Wiater, M., Stasiak, D.M. (2011). Effect of ultrasound on survival of gram-negative bacteria on chicken skin surface. *Bull Vet Inst Pulawy*, 55, 207-210.
- Keklik, N.M., Demirci, A., Puri, V.M. (2010). Decontamination of unpackaged and vacuum-packaged boneless chicken breast with pulsed ultraviolet light. *Poultry Sci*, 89, 570e581.
- Koluman, A., Dikici, A. (2016). Effect of nisin and gamma irradiation treatments on *Listeria monocytogenes* on some high economic valued aquaculture products. *Hacetatepe J Bio Chem*, 44(3), 245-257.
- Kramer, B., Wunderlich, J., Muranyi, P., 2017. Recent findings in pulsed light disinfection. *J Appl Microbiol.*, 122(4), 830-856.
- Kruk, Z.A., Yun, H., Rutley, D.L., Lee, E.J., Kim, Y.J. Jo, C. (2011). The effect of high pressure on microbial population, meat quality and sensory characteristics of chicken breast fillet. *Food Control*, 22, 6-12.
- Kundu, D., Gill, A., Lui, C., Goswami, N., Holley, R. (2014). Use of low dose e-beam irradiation to reduce *E.coli* O157:H7, non-O157 (VTEC) *E.coli* and *Salmonella* viability on meat surfaces. *Meat Sci*, 96, 413-418.
- Lazaro, C.A., Conte-Junior, C.A., Monteiro, M.L.G., Canto, A.C.V.S., Costa-Lima, B.R.C., Mano, S.B., Franco, R.M. (2014). Effects of ultraviolet light on biogenic amines and other quality indicators of chicken meat during refrigerated storage. *Poultry Sci*, 93, 2304-2313.
- Lee, E-S., Park, S.Y., Ha, S-D. (2015). Effect of UV-C light on the microbial and sensory quality of seasoned dried seafood. *Food Sci Technol Int*, 22(3), 213–220.
- Lerasle, M., Federighi, M., Simonin, H., Anthoine, V., Reze, S., Cheret, R., Guillou, S. (2014). Combined use of modified atmosphere packaging and high pressure to extend the shelf-life of raw poultry sausage. *Innov Food Sci Emerg Technol*, 23, 54–60.
- 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 Microbiol*, 46, 34-39.
- Li, X., Farid, M. (2016). A review on recent development in non-conventional food sterilization technologies. *J Food Eng*, 182, 33-45.
- Lin, D., Yan, M., Lin, S., Chen, S. (2014). Increasing prevalence of hydrogen sulfide negative *Salmonella* in retail meats. *Food Microbiol*, 43, 1-4.
- Lung, H-M., Cheng, Y-C., Huang, H-W., Yang, B.B., Wang, C-Y. (2015). Microbial decontamination of food by electron beam irradiation. *Trends Food Sci Technol*, 44, 66-78.
- McLeod, A., Liland, K.H., Haugen, J-E., Sorheim, O., Myhrer, K.S., Holck, A.L. (2017). Chicken filets subjected to UV-C and pulsed UV light: Reduction of pathogenic and spoilage bacteria, and changes in sensory quality. *J Food Saf*, 38, e12421.
- Medina-Meza, I.G., Barnaba, C., Barbosa-Cánovas, G.V. (2014). Effects of high pressure

- processing on lipid oxidation: A review. *Innov Food Sci Emerg Technol*, 22, 1-10.
- Nagarajarao, R.C. (2016). Recent advances in processing and packaging of fishery products: A review. *Aquatic Procedia*, 7, 201-213.
- Nicorescu, I., Nguyen, B., Chevalier, S., Orange, N. (2014). Effects of pulsed light on the organoleptic properties and shelf-life extension of pork and salmon. *Food control*, 44, 138-145.
- Özer, N.P., Demirci, A. (2006). Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 and *Listeria monocytogenes* inoculated on raw salmon fillets by pulsed UV-light treatment. *Int J Food Sci Technol*, 41, 354-360.
- Park, S.Y., Ha, S-D. (2015). Ultraviolet-C radiation on the fresh chicken breast: Inactivation of major foodborne viruses and changes in physicochemical and sensory qualities of product. *Food Bioproc Tech*, 8, 895-906.
- Pan, Y., Sun, D-W., Han, Z. (2017). Applications of electromagnetic fields for nonthermal inactivation of microorganisms in foods: An overview. *Trends Food Sci Technol*, 64, 13-22.
- Panwar, R., Grover, C.R., Kumar, N. (2015). Microbial decontamination by novel technologies-potential for food preservation. *Indian Food Ind Mag*, 34(6), 24-32.
- Pillai, S., Shayanfar, S. (2017). Electron beam technology and other irradiation technology applications in the food industry. *Top Curr Chem*, 375(6).
- Pingen, S., Sudhaus, N., Becker, A., Krischek, C., Klein, G. (2016). High pressure as an alternative processing step for ham production. *Meat Sci*, 118, 22-27.
- Pinon, M., Paniwnyk, L., Alarcon-Rojo, A., Renteria, A., Nevarez, V., Janacua-Vidales, H., Mason, T. (2012). Power ultrasound effect on poultry meat microbial flora. 13th Meeting of the European Society of Sonochemistry, 1 - 5 July 2012, Lviv, Ukraine, 182-183p.
- Rajkovic, A., Smigic, N., Devlieghere, F. (2010). Contemporary strategies in combating microbial contamination in food chain. *Int J Food Microbiol*, 141, 29e42.
- Rajkovic, A., Tomasevic, I., Smigic, N., Uyttendaele, M., Radovanovic, R., Devlieghere, F. (2012). Pulsed UV light as an intervention strategy against *Listeria monocytogenes* and *Escherichia coli* O157:H7 on the surface of a meat slicing knife. *J Food Eng*, 100, 446-451.
- Rajkovic, A., Tomasevic, I., Meulenaer, B., Devlieghere, F. (2017). The effect of pulsed UV light on *Escherichia coli* O157:H7, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* Typhimurium, *Staphylococcus aureus* and *Staphylococcal enterotoxin A* on sliced fermente salami and its chemical quality. *Food Control*, 73, 829-837.
- Rodionova, K.O., Paliy, A.P. (2016). The effectiveness of application ultraviolet radiation for the sanitation of production premises of meat processing enterprises. *J Vet Med, Biotechnology and Biosafety*, 2(4), 20-24.
- Saif, S.M.H., Lan, Y., Williams, L.L., Joshee, L., Wang, S. (2007). Reductions of *Escherichia coli* O157:H7 on goat meat surface with pulsed dc square wave signal. *J Food Eng*, 77, 281-288.
- Silva, M.A., Costa, M.C.V.V., Solidonio, E.G., Junior, C.E.O.C., Sena, K.X.F.R., Colaço, W. (2015). Reduction of *Staphylococcus* spp. in jerked beef samples after irradiation with Co-60. International Nuclear Atlantic Conference (INAC), 4-9 October, Sao Paulo, Brazil.
- Singh, P.K., Verma, A.K., Ranjan R., Singh, T.P., Kumar, D., Kumar, P. (2015). Non thermal preservation of meat by irradiation: A review. *J Food Res Technol*, 3(1), 07-13.
- Sommers, C.H., Sheen, S. (2015). Inactivation of avirulent *Yersinia pestis* on food and food contact surfaces by ultraviolet light and freezing. *Food Microbiol*, 50, 1-4.
- Sommers, C.H., Scullen, O.J., Sheen, S. (2016). Inactivation of uropathogenic *Escherichia coli* in ground chicken meat using high pressure processing and gamma radiation, and in purge and chicken meat surfaces by ultraviolet light. *Frontiers in Microbiol*, 7(413).
- Sommers, C., Sheen, S., Scullen, O.J., Mackay, W. (2017). Inactivation of *Staphylococcus saprophyticus* in chicken meat and purge using thermal processing,

- high pressure processing, gamma radiation, and ultraviolet light (254 nm). *Food Control*, 75, 78e82.
- Stachelska, M.A., Stankiewicz-Szymczak, W., Jakubczak, A., Swislocka, R., Lewandowski, W. (2012). Influence of pulsed electric field on the survival of *Yersinia enterocolitica* in minced beef meat. *Aparatura Badawcza I Dydaktyczna*, 17, 13-17.
- Stoica, M., Mihalcea, L., Borda, D., Alexe, P. (2013). Non-thermal novel food processing technologies. An overview. *J Agroalimnet Proc Technol*, 19(2), 212-217.
- Stratakos, A.C., Koidis, A. (2015). Suitability, efficiency and microbiological safety of novel physical technologies for the processing of ready-to-eat meals, meats and pumpable products. *Food Sci Technol*, 50, 1283-1302.
- Tarek, A.R., Rasco, B.A., Sablani, S.S. (2015). Ultraviolet-C light inactivation kinetics of *E. coli* on bologna beef packaged in plastic films. *Food Bioproc Tech*, 8, 1267-1280.
- Troy, D.J., Ojha, K.S., Kerry, J.P., Tiwari, B.K. (2016). Sustainable and consumer-friendly emerging technologies for application within the meat industry: An overview. *Meat Sci*, 120, 2-9.
- Turantas, F., Kilic, G.B., Kilic, B., 2015. Ultrasound in the meat industry: General applications and decontamination efficiency. *Int J Food Microbiol*, 198, 59-69.
- Valdramidis, V.P., Patterson, M.F., Linton, M. (2015). Modelling the recovery of *Listeria monocytogenes* in high pressure processed simulated cured meat. *Food Control*, 47, 353–358.
- Wu, X., Narsimhan, G. (2017). Synergistic effect of low power ultrasonication on antimicrobial activity of melittin against *Listeria monocytogenes*. *LWT - Food Sci Technol*, 75, 578–581.
- Yang, S., Sadekuzzaman, M., Ha, S-D. (2017). Reduction of *Listeria monocytogenes* on chicken breasts by combined treatment with UV-C light and bacteriophage ListShield. *LWT - Food Sci Technol*, 86, 193-200.
- Yeh, Y., Moura, F.H., Van Den Broek, K., Mell, A.S. (2018). Effect of ultraviolet light, organic acids, and bacteriophage on *Salmonella* populations in ground beef. *Meat Sci*, 139, 44-48.
- Zhou, G.H., Xu, X.L., Liu, Y. (2010). Preservation technologies for fresh meat-A review. *Meat Sci*, 86(1), 119-128.
- Zinoviadou, K.G., Galanakis, C.M., Brncic, M., Grimi, N., Boussetta, N., Mota, M.J., Barba, F.J. (2015). Fruit juice sonication: Implications on food safety and physicochemical and nutritional properties. *Food Res Int*, 77, 743-752.