

Kocatepe Vet.J (2015) 8(2):79-86
DOI: 02145030009830
Submission: 11.06.2015
Accepted: 07.07.2015

DERLEME

Et ve Et Ürünlerinde Soğuk Plazma Uygulamaları

Simge AKTOP^{1*}, Veli GÖK², Mehmet ÖZKAN³, Recep KARA⁴

¹ Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Afyonkarahisar/TÜRKİYE

² Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar/TÜRKİYE

³ Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü, Afyonkarahisar/TÜRKİYE

⁴ Afyon Kocatepe Üniversitesi Veteriner Fakültesi Besin/Gıda Hijyeni ve Teknolojisi Anabilim Dalı, Afyonkarahisar/TÜRKİYE

ÖZET

Et ve et ürünlerinin dayanıklılığının artırılması için birçok yöntem kullanılmaktadır. Et endüstrisinde yaygın olarak kullanılan pişirme, haşlama ve soğutma gibi ısı işlemleri, ette bazı değişikliklere neden olabilmektedir. Bu ısı işlemlere alternatif olarak ısı olmayan teknolojiler ortaya çıkmıştır. Bu teknolojiler arasında, tat, koku ve yapıda önemli değişikliklere neden olmayan, çevre dostu olan ve proseste toksik maddelerin kullanılmadığı soğuk plazma teknolojisi ön plana çıkmaktadır. Radyo frekansı ve dielektrik (yalıtkan) bariyer boşaltıcı gibi plazma sistemlerinden elde edilen soğuk plazma, et ve et ürünlerinde mikrobiyolojik bozulmaya neden olan mikroorganizmaların inaktivasyonunda kullanılabilir. Bu derlemenin amacı, birçok gıda ürünüde denemeleri yapılan soğuk plazma teknolojisinin et ve et ürünlerindeki uygulamalarını inceleyerek, et endüstrisindeki uygulanabilirliği hakkında bilgi vermektir.

Anahtar Kelimeler: Et ve et ürünleri, Dekontaminasyon, İnaktivasyon, Novel (yeni nesil) teknolojiler, Soğuk plazma

•••

Applications of Cold Plasma in Meat and Meat Products

SUMMARY

Many methods are used to increase durability of meat and meat products. Thermal treatments such as cooking, scalding and cooling which are used in meat industry widespreadly, can cause to some changes in meat. Non-thermal technologies emerged as alternative to this thermal treatments. Cold plasma which do not cause to changes in flavor, odor and texture, is environment friendly and do not be used toxic substances in process, attract attention among this technologies. Cold plasma which can be obtained from systems of plasma such as radio frequency and dielectric barrier discharge (DBD), is used in inactivation of microorganisms which cause to microbiological spoilage in meat and meat products. The aim of this review is to investigate that the applications of cold plasma technologies in meat and meat products and also to inform about its feasibility in meat industry.

Key Words: Meat and meat products, Decontamination, Inactivation, Novel Technologies, Cold plasma,

*Corresponding author e-mail: simgeaktop@hotmail.com

GİRİŞ

Et ve et ürünleri, hazırlama, depolama ve dağıtım aşamalarını kapsayan üretim zincirinin farklı aşamalarında, mikroplarla kontamine olabilmektedir (Jayasena ve Jo 2013). Bu durum kalite kayıplarına ve/veya gıdanın bozulmasına, bu nedenle de gıda kaynaklı hastalıklara neden olmaktadır. Haşlama, pişirme ve soğutma gibi ısıl dekontaminasyon teknikleri, et endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak bu dekontaminasyon işlemleri etin renk, koku ve tekstürünü etkileyen birçok fiziksel ve kimyasal değişikliğe neden olabilmektedir (Loretz ve ark 2011, Aymerich ve ark 2008, Zhou ve ark 2010). Bununla birlikte, gıdanın duysal özelliklerinde istenmeyen değişikliklere ve gıda ürünlerinin beslenme değerinde azalmaya da neden olabilmektedirler (Garcia-Gonzalez ve ark 2007, Stoica ve ark 2011, Rastogi 2003, Valizadeh ve ark 2009).

Yüksek kalitenin, mikrobiyal güvenliğin, normal flavor ve lezzetteki ekolojik ürünlerin beklendiği tüketici istekleri göz önüne alındığında, araştırmacılar, ısıl olmayan teknolojiler gibi alternatif dekontaminasyon yöntemlerine daha fazla odaklanmışlardır (Aymerich ve ark 2008, Zhou ve ark 2010). Yüksek hidrostatik basınç, darbeli elektrik alan, iyonize radyasyon ve salınımlı manyetik alan ısıl olmayan novel (yeni nesil) teknolojilerden bazılarıdır (Raso ve Barbosa-Canovas 2003). Bununla birlikte, ilk tesisin yüksek maliyetli olması, güvenlik önlemleri, özel ekipmanlar ve eğitilmiş personel gerektirmesi ve gıdalarda bazı kalite değişikliklerine neden olması, bu işlemlerin dezavantajlarıdır (Yun ve ark 2010, Kruk ve ark 2010). Bu novel teknolojilerden biri de plazma teknolojisidir. Plazma olarak bilinen iyonize gazın kullanımı, ısıl olmayan sterilizasyon teknolojisi olarak ortaya çıkmaktadır (Fernandez ve ark 2013, Laroussi 2002).

Plazma, pozitif ve negatif iyonları, serbest radikalleri, elektron ve foton formundaki yüklenmiş partikülleri ve molekülleri içeren gazın, kısmen iyonize edilmesi olarak tanımlanmaktadır. Plazma türleri, bakteriyal hücrelerle etkileşime geçebilmekte, spor ve virüslerin de olduğu mikroorganizmaları etkili bir şekilde inaktive edebilmektedir (Misra ve ark 2011). Son zamanlarda plazmanın, *Escherichia coli* O157:H7, *Listeria monocytogenes*, *Campylobacter*, *Salmonella* ve *Staphylococcus aureus* gibi gıda kaynaklı patojenik bakterileri, etkili bir şekilde inaktive edebildiği kanıtlanmıştır (Critzler ve ark 2007, Dirks ve ark 2012, Niemira ve Sites 2008, Suresh-Kumar ve ark 2010, Yun ve ark 2010). Bununla birlikte plazma, materyalin yüzey modifikasyonu, toksik maddelerin yıkımı ve ürüne yeni özelliklerin kazandırılması

amaçlarıyla da uygulanabilmektedir (Bonizzoni ve ark 2002).

Özellikle mikroorganizmaların inaktivasyonu için kullanılan plazma teknolojisinin avantajlarından birkaçı; çevre açısından güvenli olması, tehlikeli ve toksik maddeler kullanılmaması, gıdanın tat, görünüş ve kokusunda değişikliklere neden olmaması, prosesin son derece temiz olması, tekdüzeliğin ve tekrarlanabilirliğin sağlanması, çok ince ve homojen kalınlıkta kaplamanın sağlanabilmesidir (Moisan ve ark 2001, Yang ve ark 2009, Moisan ve ark 2002, Kayar ve Yıldız 2011, Asık ve Seydim 2011, Mutlu ve ark 1997).

Bu araştırmada, yeni bir sterilizasyon tekniği olan plazmanın yapısı, özellikleri, et ve et ürünlerindeki uygulamaları ve mikroorganizmaları inaktive etme yetenekleri üzerinde durulmuştur.

Plazma ve Özellikleri

Maddenin dördüncü hali olarak tanımlanan plazma, maddenin katı, sıvı ve gaz hallerinden oldukça farklı özelliklere sahiptir (Akman 1993, Li ve ark 1997). Uyarılmış türler ve iyonlar üretmek, atom ve moleküllerin elektriksel yapısını yeniden düzenlemek için bir gaza enerji uygulanmasıyla plazma oluşturulur (Fernandez ve ark 2011). Plazma, hem fotonları, elektronları, pozitif ve negatif iyonları, serbest radikalleri ve nötral atomları içeren çeşitli türlerden, hem de kovalent bağları kıran ve kimyasal reaksiyonların sayısını arttıran, yeterli elektrik enerjisine sahip reaktif türlerden meydana gelmektedir (Laroussi 2002, Moisan ve ark 2002).

Evrenin %99'dan fazlasını oluşturan plazmanın doğadaki örnekleri; bir yıldırımın parıltısı, kuzey ışığının yumuşak parıltısı, flüoresan tüp içerisindeki iletken gazdır (Chen 1984).

Plazma elektriksel yönden nötral bir madde olup, güçlü bir radyasyon, elektrik alan veya elektriksel boşalım etkisiyle oluşur veya oluşturulur (Denes ve Manolache 2004). Bir gazı iyonlaştırarak plazmasını üretmek için gaz üzerine elektrik alan uygulamak en kolay yöntemdir (Efe ve Akan 2006). Plazmaya uygulanacak herhangi bir uyarıcı durum ile plazma pozitif ve negatif yüklü bölgelere ayrılır. Bunun nedeni elektronların ve pozitif yüklü iyonların plazma içine dağılımı olmasıdır. Pozitiften negatif bölgeye doğru yönelen bir elektrik alanı bu şekilde oluşur (Özkendir ve Ufuktepe 2000).

Gazın iyonizasyonu için kullanılan enerji; mikrodalga, radyo frekansı, elektrik veya elektromanyetik alan,

termal, optik, radyoaktif ve X-ışınlarından elde edilebilmektedir (Bárdos ve Baránková 2010, Afshari ve Hosseini 2014, Pankaj ve ark 2014).

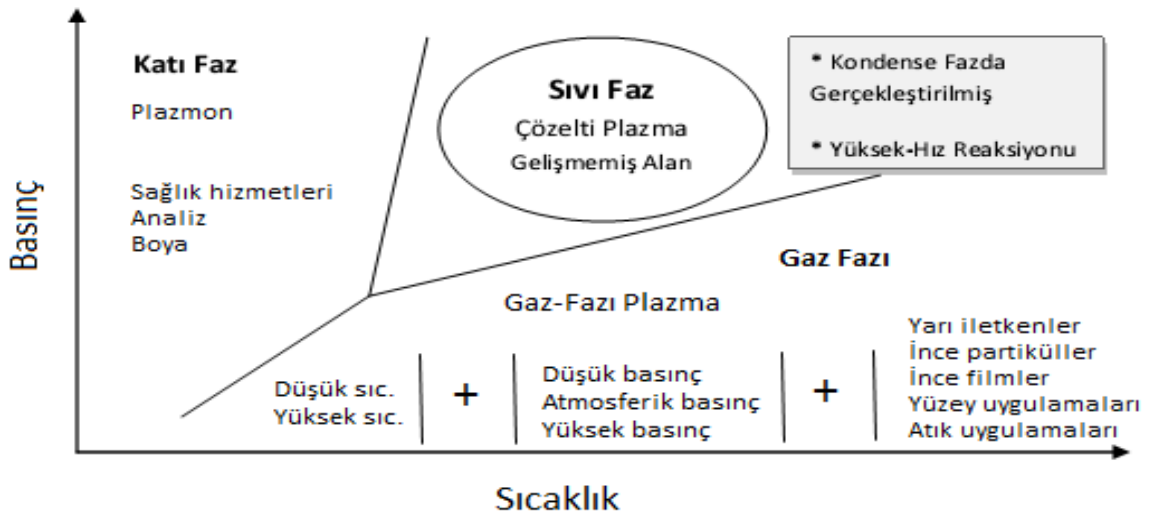
Plazma sistemleri termodinamik özelliklerine ve çalışma basınçlarına göre sınıflandırılmaktadır. Termodinamik özelliklerine göre plazma iki başlık altında incelenmektedir (Li ve ark 1997, Tusek ve ark 2001, Güleç 2012, Şen, 2010, Kayar ve Yıldız 2011):

1. Yüksek sıcaklık plazması; gaz sıcaklığı 10^6K 'den fazla olan plazmalardır. Bu tür plazmalara kontrollü füzyon reaksiyonları ve güneş sisteminde meydana gelen nükleer patlamalar örnek verilebilir.
2. Düşük sıcaklık plazması; gaz sıcaklığı 10^6K 'den daha düşük olan plazmalardır. Düşük sıcaklık plazması da iki başlık altında incelenebilir:
 - a. Sıcak plazma; gaz sıcaklığı 1000K 'den fazla olup, normal şartlar altında 10^4K civarındadır. Sıcak plazmaya lamba ışması, elektrik arkı ve diğer yüksek-güç boşalmaları örnek olarak verilebilir. Bu plazmada ortamda çok sayıda iyon bulunmakta ve çok yüksek enerji seviyelerine çıkmaktadır. Bu nedenle sadece sıcaklığa dayanıklı inorganik materyallerin (metaller, metal oksitler vb.) modifikasyonlarında sıcak plazma kullanılmaktadır.

- b. Soğuk plazma; gaz sıcaklığı 1000K 'den daha düşük olup, normal şartlar altında 10^2K civarındadır. Soğuk plazmaya düşük basınçta gerçekleşen yük boşalımı örnek olarak verilebilir ($1\text{eV}=11600\text{K}$). Yapay olarak oluşturulan soğuk plazma (CAP), gıdaların sterilizasyonu ve kaplanması gibi uygulamalarda kullanılmaktadır.

Çalışma basıncına göre plazma da, düşük basınçta çalışan plazma ve atmosferik basınçta çalışan plazma sistemleri olmak üzere iki başlık altında incelenmektedir (Şen 2010):

1. Düşük basınçta çalışan plazma sistemleri: Mikrodalga ve radyo frekansı gibi yüksek frekanslı (RF/MW) jeneratörlere sahip olan plazma sistemleridir. Bu sistemlerde plazma, yayıcı gazın da içinde bulunduğu reaktörler içinde bulunmaktadır. Enerji verilen gazın plazma haline geçmesi sağlanmaktadır (Bozkurt 2014).
2. Atmosferik basınçta çalışan plazma sistemleri: İşlenecek ürünün plazma bölgesine konveyörler yardımıyla taşınmasına olanak sağlayan plazma sistemleridir. Bu tip plazma sistemlerinde herhangi bir vakum haznesine veya ekipmanına gerek yoktur.



Şekil 1 : Fazların basınç-sıcaklık ilişkisine karşılık plazmanın sınıflandırılması

Figure 1 : Categories of plasma corresponding to the pressure-temperature relationship of phases (Takai O, 2008)

Atmosferik basınçta çalışan birçok plazma sistemi geliştirilmiştir (Menashi 1968, Bardos ve Barankova 2010, Nehra ve ark 2008, Jeong ve ark 1998, Park ve ark 2001):

- Dielektrik (Yalıtkan) Bariyer Boşaltıcı (DBD),
- Korona Boşalım Plazması,
- Radyo Frekanslı Boşaltıcı,
- Atmosferik Basınç Plazma Jeti,
- Ark Boşalım Plazması,
- Işıklı Boşalım Plazması.

Şekil 1, üç fazın basınç-sıcaklık ilişkisine karşılık plazmanın sınıflandırılmasını göstermektedir. Şekil, plazma araştırmasının mevcut durumunu özetlemektedir.

Çözeltilerde, çözücü-çözünen kombinasyonlarının seçilmesiyle çeşitli plazmalar üretilebildiğinden, sıvı-faz plazma “çözelti plazma” olarak adlandırılmaktadır. Çözelti plazma işlemi (SPP) halen geliştirilmektedir. Sulu ve susuz çözeltiler, sıvı nitrojen, süperkritik akışkanlar vb, SPP için kullanılabilirlerdir.

Et ve Et Ürünleri Üzerine Yapılan Çalışmalar

Kim ve ark (2013) tavuk jambonları üzerinde yaptıkları bir çalışmada, argon gazı kullanılarak radyo-frekanslı ile çalıştırılan atmosferik basınç plazmasının, *Campylobacter jejuni*'nin inaktivasyonunda uygulanabilirliğini incelemişlerdir. Tavuk-göğsü jambonunda yürütülen çalışmada, 10⁶ CFU inokülasyon seviyesinde çalışılmıştır. *C. jejuni* NCT11168 ve ATCC49943, sırasıyla 6 dakikalık bir işlemden sonra 3 Log CFU'ya kadar ve 10 dakikalık bir işlemden sonra 1.5 Log CFU'ya kadar azalmıştır. Plazma işlemi sırasında, örneklerin sıcaklığı 43°C'nin üzerine çıkmadığı, sıcaklığın inaktivasyona katkıda bulunmadığı öneri sürülmüştür. Bu arada, su aktivitesinin 10 dakikalık işlem sonunda önemli derecede azaldığı rapor edilmiştir (p<0.05). Çalışma, radyo-frekanslı atmosferik basınç plazmasının tür-spesifik varyasyon ile *C. jejuni*'yi etkili bir şekilde inaktive edebildiğini bildirmektedir.

Jo ve ark (2011), domuz pastırmasına (Bacon) inoküle edilen patojenlerin inaktivasyonu üzerine atmosferik basınç plazmasının etkisini araştırmışlardır. Dilimlenmiş bacon, *Listeria monocytogenes* (KCTC 3596), *Escherichia coli* (KCTC 1682) ve *Salmonella Typhimurium* (KCTC 1925) ile inoküle edilmiştir. Örnekler, 60 ve 90 saniye için 75, 100 ve 125 W ile muamele edilmiştir. İki gaz kompozisyonunu; helyum veya helyum/oksijen karışımı, plazma üretimi için kullanılmıştır.

Helyumlu plazmanın, inoküle edilen patojenlerin sayısını yalnızca 1-2 Log'a kadar azaltabildiği, diğer taraftan helyum/oksijen gaz karışımının, 2-3 Log'a kadar mikrobiyal azalmayı sağlayabildiği bildirilmiştir. Toplam aerobik bakteri sayısı, helyum ve helyum/oksijen karışımına plazma işleminden sonra sırasıyla, 1.89 ve 4.58 desimal azalma göstermiştir. Plazma işleminden sonra bacon mikroskopik olarak incelendiğinde, bacon yüzeyinin L* değerinin artması dışında, önemli herhangi bir değişiklik bulunmamıştır. Bu sonuçlar, APP işleminin, çalışmada kullanılan üç patojenin inaktivasyonunda etkili olduğunu açık bir şekilde göstermiştir.

Noriega ve ark (2011), *Listeria innocua* ile kontamine olan tavuk eti ve derisinin dekontaminasyonunda soğuk atmosferik gaz plazmasının etkisini incelemişlerdir. Maksimal bakteriyel inaktivasyon için çalışma koşullarının optimizasyonu ilk önce, biriken *L. innocua*'da membran filtreler kullanılarak elde edilmiştir. Dalgalı akım (AC) voltajının yüksek değerleri, uyarım frekansı ve taşıyıcı gazdaki oksijen varlığı, büyük bir inaktivasyon verimine neden olmakta ve bu durum, tavuk kası ve derisindeki çalışmalarla doğrulanmıştır. Optimal koşullar altında, 10 saniyelik bir işlem membran filtrelerdeki *L. innocua*'nın >3 log azalmasına, 8 dakikalık bir işlem deride 1 log azalmaya ve 4 dakikalık bir işlem kasta >3 log azalmaya neden olduğu rapor edilmiştir. Bu sonuçlar, gaz plazma işleminin yararlılığının, yüzey topografyası tarafından fazlasıyla etkilendiğini göstermektedir.

Jo ve ark (2015) yaptıkları bir çalışmada, sığır filetosunu ve domuz budunu esnek ince-tabaka dielektrik bariyer boşaltıcı (DBD) plazma ile muamele etmişlerdir. Çalışmada DBD plazmanın, taze sığır ve domuz etinin kalite özellikleri ve mikrobiyal inaktivasyon üzerine etkileri, mühürlenmiş ambalaj kullanılarak test edilmiştir. 10 dakikalık bir işlemden sonra, domuz budu örneklerindeki *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* O157:H7 ve *Salmonella Typhimurium* mikrobiyal-yüklerindeki azalmaların sırasıyla 2.04, 2.54 ve 2.68 Log CFU/g ve sığır filetosu örneklerinde 1.90, 2.57 ve 2.58 Log CFU/g olduğu bildirilmiştir. Kolorimetrik analizler, DBD-plazma işleminin, sığır ve domuz örneklerinin L* değerlerine (parlaklık) önemli bir etkisinin bulunmadığını gösterirken, a* değerleri (kırmızılık), 5 ve 7.5 dakikalık işlem süresinden sonra önemli derecede azalmıştır. Plazma işlemi, yalnızca 10 dakikalık bir işlem süresinden sonra lipid oksidasyonunu önemli derecede etkilemiştir. Etin her iki türünün de yapısı, plazma işleminden etkilenmemiştir. Plazma işlemi uygulanan veya uygulanmayan örneklerin bütün duyuşal parametreleri, plazma işleminden negatif olarak

etkilenen lezzet dışında karşılaştırılabilmıştır ($P<0.05$). Bu ince-tabaka DBD-plazma sistemi, gıda kaynaklı patojenleri inaktive etmek için uygulanabilmektedir. Etin kalitesinde gözlenen minör bozulma, engel teknolojisinin kullanımı ile önlenmektedir.

Rød ve ark (2012), *Listeria innocua* ile inoküle edilen dilimlenmiş, tüketime hazır et ürününün (bresaola) dekontaminasyonu için soğuk atmosferik basınç plazma uygulamasını incelemiştir. İnoküle edilen örnekler, %30 oksijen ve %70 argon içeren linear-düşük-yoğunluklu-polietilen torbalar içerisinde 2-60 sn süreyle, 15.5, 31 ve 62 W'da muamele edilmiştir. İşlemler, zaman ve yoğunluğun önemli etkilerinin bulunmamasıyla birlikte, *L. innocua* sayısında 0.8 ± 0.4 log cfu/g'dan 1.6 ± 0.5 log cfu/g'a değişen bir azalmaya neden olmuştur. 2 sn-10 dak aralığında ve 15.5 ve 62 W'da yapılan multiple işlemler, işlem sayısının artmasıyla birlikte, *L. innocua* redüksiyonunu arttırmıştır. Tiyobarbitürik asit reaktif maddelerin (TBARS) konsantrasyonları, güç, işlemler ve depolama süresiyle artmış ve 5°C'de 1-14 gün depolamanın ardından, kontrol grubu örneklerinden daha fazla olmuştur. Bununla birlikte seviyeler, duyuşal eşik değerinin altında ve düşük (0.1-0.4 mg/kg) bulunmuştur. 1-14 gün depolamanın ardından yüzey renk değişimi, plazma işlemine bakılmaksızın, sırasıyla ~%40 ve %70 oranlarındaki kırmızılık kaybını kapsamaktadır. Sonuçlar plazmanın, paketlenme-öncesi tüketime hazır gıda ürünlerinin yüzey kontaminasyonunda uygulanabildiğini göstermektedir. Bununla birlikte, oksidasyon, bazı gıdalarda devam eden bir sorun olabilmektedir.

Dirks (2010) yaptığı bir çalışmada, çiğ kanatlı etinde bulunan *Salmonella enterica* ve *Campylobacter jejuni* üzerine ısıl-olmayan yalıtkan bariyer boşaltıcı plazmanın etkisini incelemiştir. Plazmanın, her iki organizmanın da 5 dakikada 4 log₁₀ ve 10 dakikada 6 log₁₀ azalmasında etkili olmuştur. 10¹, 10², 10³ ve 10⁴ toplam CFU *Salmonella enterica* ve *Campylobacter jejuni* ile inoküle edilen kemiksiz, derisiz tavuk-göğsü ve derili tavuk buduna da plazma uygulanmıştır. Tavuk-göğsü ve tavuk derisindeki *Salmonella enterica*, 3 dakika plazmaya maruz bırakıldıktan sonra sırasıyla, maksimum 2.54 log₁₀ ve 1.31 log₁₀ azalmıştır. Tavuk-göğsü ve tavuk derisindeki *Campylobacter jejuni* ise, 3 dakika plazmaya maruz bırakıldıktan sonra sırasıyla, maksimum 2.45 ve 3.11 log₁₀ azalmıştır. Plazmanın geriye kalan yüzey mikroflorasındaki etkisini tespit etmek için, tavuk-göğsü ve tavuk derisine plazma uygulanmıştır. Tavuk-göğsünde ve tavuk derisinde 30 dakika sonra geriye kalan mikroflora, sırasıyla maksimum 0.91 log₁₀ ve 0.38 log₁₀ azalmıştır. DBD,

tavuk-göğsünde, tavuk derisinde olduğundan daha etkili bulunmuştur. Bununla birlikte her iki patojen de, yalnızca 15 dakika sonra her iki yüzeyde, önemli düzeyde azalmıştır. Azalma, tavuk yüzeyinde geriye kalan mikroflorayı daha az etkilemiştir. Plazma uygulamasından sonra tavuk yüzeyinde kötü bir etki görülmemiştir. Bu çalışma, DBD plazmanın fizibilitesini ve de çiğ kanatlı etlerinin yüzeyindeki gıda kaynaklı patojenlerin azaltıldığını kanıtlamaktadır.

Ulbin-Figlewicz ve ark (2014), etin yüzey mikrobiyotasının ve agar ortamı yüzeyine inoküle edilen saf bakteri kültürlerinin inaktivasyonunda, helyum ve argon plazma uygulamalarının etkilerini incelemiştir. Soğuk plazma, 2, 5 ve 10 dakika için, düşük basınçtaki (20 kPa) yüksek voltaj boşaltıcı ile üretilmiştir. Helyum plazma ile 10 dakika muamele edildikten sonra, toplam mikroorganizma sayısı, mayalar ve küfler ve psikrotrofik mikroorganizmalar, sığırdan 1.14-1.48 log ve domuzda 0.98-2.09 log azalmıştır. *Bacillus subtilis* ve *Yersinia enterocolitica* için 2.00 log'luk önemli bir azalma, 2 dakikalık helyum plazma uygulaması ile başarılmıştır. 5 dakika ve 10 dakikalık işlemlerden sonra, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* ve *Pseudomonas fluorescens* için benzer sonuçlar gözlenmiştir. SEM, bakterisidal etkisinin olduğu ileri sürülen helyum plazması ile 10 dakika muamele edilen *E. coli*'nin parçalanmasını ve lizisini göstermektedir.

Ulbin-Figlewicz ve ark (2015) yaptıkları bir çalışmada, soğuk plazma işleminin, et yüzeyindeki mikroorganizmaların inaktivasyonu, et rengi ve pH değeri üzerindeki etkisini incelemiştir. Nitrojen, argon ve helyum plazma, 5 ve 10 dakikalık işlem süreleriyle, vakum odasındaki (son 0.8 MPa) yüksek voltaj boşaltıcı ile üretilmiştir. Toplam mikroorganizma sayısı, psikrotroflar ve maya-küf sayısı, plak sayma yöntemi kullanılarak tespit edilmiştir. L*a*b* renk parametrelerinin enstrümantal değerlendirilmesi, Minolta Cr 400 Kolorimetresi ile yapılmıştır. 10 dakika süreyle helyum ve argon plazmalarına maruz kalan psikrotrof bakteri sayıları ve toplam mikroorganizma sayısı sırasıyla, 3 log cfu/cm² ve 2 log cfu/cm² azalmıştır. Maya ve küflerin azalmasında da artış gözlenmiş ve 3 cfu/cm² (helyum) ve 2.6 cfu/cm² (argon) olarak bulunmuştur. Nitrojen plazmanın kullanılması, toplam mikroorganizma sayısını ve psikrotrof sayılarını önemli düzeyde azaltamamıştır. Maya ve küflerin, nitrojen plazmasından az miktarda etkilendiği ve sayılarının 10 dakikalık işlemten sonra 1 log cfu/cm² azaldığı belirlenmiştir. Soğuk plazmadan sonra pH değerinde ve renk parametrelerinde önemli bir değişiklik

gözlenmemiştir. Bu sonuçlar, soğuk plazmanın antimikrobiyal aktiviteye sahip olduğunu ve biyodekontaminasyon yöntemi olarak gelecek vaat ettiğini kanıtlamaktadır.

SONUÇ

Gıda endüstrisinde, et ve et ürünlerinin raf ömrünü uzatmak ve kaliteyi arttırmak için ısı veya ısı olmayan birçok yöntem kullanılmaktadır. Ancak, ısı işlemlerin et ve et ürünlerinde bir takım fiziksel, kimyasal ve duyuşsal değişikliklere neden olması, tüketicilerin ısı olmayan yöntemlere ilgisini arttırmaktadır. Bu doğrultuda ortaya çıkan yöntemlerden birisi olan plazma teknolojisi, günümüzde birçok gıdada uygulanmaktadır. Çabuk bozulabilen gıdalardan olan et ve et ürünlerinde kayda değer herhangi bir kalite kaybı olmadan tüketiciye sunulabilmesi, soğuk plazma işlemi ile mümkün hale gelmektedir. Yapılan çalışmalar ışığında, et ve et ürünlerinin soğuk plazma ile muamele edilmesinin, iyi bir dekontaminasyon yöntemi olarak kabul göreceği ve et endüstrisinde kullanılmaya başlanacağı tahmin edilmektedir. Ancak et ve et ürünlerine soğuk plazma uygulanmasıyla ilgili daha çok çalışmanın yapılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

Aktan T. Atmosferik Basınç Soğuk Plazma ile Yüzey Sterilizasyonu. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2011.

Alexe P, Stoica M, Mihalcea L and Borda D. Non-thermal novel food processing technologies. Journal of Agroalimentary Process and Technologies 2013, 19(2), 212-217.

Banu MS, Sasakila P, Dhanapal A, Kavitha V, Yazhini G and Rajamani L. Cold Plasma As A Novel Food Processing Technology. International Journal of Emerging trends in Engineering and Development. Issue 2, Vol.4, May, 2012, 803-818.

Bozkurt D. Soğuk Plazma Uygulamasının Vitaminler Ve Polifenol Oksidaz (PFO) Enzimi Aktivitesi Üzerine Etkisi. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2014.

Chen J, Yang L, Gao J and Guo Y. Plasma Sterilization Using The RF Glow Discharge. Applied Surface Science, 255 (2009), 8960-8964.

Cullen PJ, Misra NN, Sullivan C, Pankaj SK, Alvarez-Jubete L, Cama R, Jacoby F. Applications of cold technology in food packaging. Elsevier, Trends in Food Science & Technology, 35 (2014), 5-17.

Dirks BP. The Effect of Nonthermal Dielectric Barrier Discharge Plasma on *Salmonella enterica* and *Campylobacter jejuni* on Raw Poultry. A Thesis Submitted to the Faculty of Drexel University. Master of Science in Biology, March 2010.

Efe E ve Akan T. Nano-Saniye Puls Elektrik Alanların ve Puls Plazmaların Biyolojik Hücreler Üzerine Etkisi. www.ursi.org.tr/2006-Kongre/pdf/66.pdf. (Erişim tarihi: 24.04.2015).

Güleç HA. Gıda Endüstrisinde Isıl Olmayan Plazma Teknolojileri. Gıda, (2012), 37 (5): 295-302.

Ha SD, Jahid IK, Han N and Zhang CY. Mixed culture biofilms of *Salmonella Typhimurium* and cultivable indigenous microorganisms on lettuce show enhanced resistance of their sessile cells to cold oxygen plasma. Elsevier, Food Microbiology, 46 (2015), 383-394.

Jo C, Jayasena DD, Kim HJ, Yong HI, Park S, Kim K and Choe W. Flexible thin-layer dielectric barrier discharge plasma treatment of pork butt and beef loin: Effects on pathogen inactivation and meat-quality attributes. Elsevier, Food Microbiology, 46 (2015), 51-57.

Jo C, Kim B, Yun H, Jung S, Jung Y, Jung H and Choe W. Effect of atmospheric pressure plasma on inactivation of pathogens inoculated onto bacon using two different gas compositions. Elsevier, Food Microbiology, 28 (2011), 9-13.

Kayar G ve Yıldız H. Gıda sanayinde soğuk plazma tekniği uygulamaları. 7. Gıda Mühendisliği Kongresi, 24-26 Kasım 2011, Ankara Türkiye, 44 s.

Kim Y, Kim J, Lee E and Cho E. Inactivation of *Campylobacter jejuni* using Radio-frequency Atmospheric Pressure Plasma on Agar Plates

and Chicken Hams. Korean J. Food Sci. An., 2013, Vol.33, No.3, pp. 327-324.

Korachi M, Aslan N. Low temperature atmospheric plasma for microbial decontamination. Microbial pathogens and strategies for combating them: science, technology and education (A. Méndez-Vilas, Ed.), Formatex, 2013, 453-459.

Laroussi M, Leipold F. Evaluation of the roles of reactive species, heat, and UV radiation in the inactivation of bacterial cells by air plasmas at atmospheric pressure. Science Direct, International Journal of Mass Spectrometry, 233 (2004), 81-86.

Lee KT. Quality and safety aspects of meat products as affected by various physical manipulations of packaging materials. Elsevier, Meat Science, 86 (2010), 138-150.

Leipold F, Schultz-Jensen N, Kusano Y, Bindslev H, Jacobsen T. Decontamination of objects in a sealed container by means of atmospheric pressure plasmas. Elsevier, Food Control, 22 (2011), 1296-1301.

Lerouge S, Wertheimer MR and Yahia L'H. Plasma Sterilization: A Review of Parameters, Mechanisms, and Limitations. Plasmas and Polymers, Vol.6, No.3, September, 2001.

Maisch T, Shimizu T, Mitra A, Heinlin J, Karrer S, Li YF, Morfill G and Zimmermann JL. Contact-free cold atmospheric plasma treatment of *Deinococcus radiodurans*. J Ind Microbiol Biotechnol, (2012), 39: 1367–1375, DOI 10.1007/s10295-012-1137-6.

Matthes R, Assadian O and Kramer A. Repeated applications of cold atmospheric pressure plasma does not induce resistance in *Staphylococcus aureus* embedded in biofilms. GMS, Hygiene and Infection Control, 2014, Vol. 9(3), ISSN 2196-5226.

Miao H, Yun G. The sterilization of *Escherichia coli* by dielectric-barrier discharge plasma at atmospheric pressure. Applied Surface Science, 257 (2011), 7065–7070.

Midgley J and Small A. Review of new and emerging technologies for red meat safety. Finalreport Food Safety, Meat & Livestock Australia, Locked Bag 991, North Sydney, NSW 2059, June 2006.

Mihalcea L, Alexe P and Stoica M. Atmospheric Cold Plasma As New Strategy For Foods processing - An Overview. Innovative Romanian Food Biotechnology, Vol.15, 2014.

Misra NN, Tiwari BK, Rahavarao KSMS and Cullen P. Nonthermal Plasma Inactivation of Food-Borne Pathogens. Food Engineering Reviews, Volume 3, Numbers 3-4 (2011), 159-170.

Moreau M, Orange N and Feuilleley MGJ. Non-thermal plasma technologies: New tools for bio-decontamination. Elsevier, Biotechnology Advances, 26 (2008), 610-617.

Noriega E, Shama G, Laca A, Díaz M and Kong MG. Cold atmospheric gas plasma disinfection of chicken meat and chicken skin contaminated with *Listeria innocua*. Food Microbiology, 28 (7), pp. 1293-1300, (2011).

Özkendir OM ve Ufuktepe Y. Lazer-Plazma Etkileşme Mekanizmalarının İncelenmesi. Çukurova Üniversitesi, Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi 11, No.1,102-112, (2000).

Pankaj SK, Bueno-Ferrer C, Misra NN, Milosavljević V and O'Donnell CP, Pankaj SK, Bourke, P, Keener K, Cullen PJ. Applications of cold plasma technology in food packaging, Trends in Food Science & Technology, 35 (2014), 5-17.

Rød SK, Hansen F, Leipold and Knøchel S. Cold atmospheric pressure plasma treatment of ready-to-eat meat: Inactivation of *Listeria innocua* and changes in product quality. Elsevier, Food Microbiology, 30 (2012), 233-238.

Schlüter O, Fröhling A, Durek J, Schnabel U, Ehlbeck J and Bolling J. Indirect plasma treatment of fresh pork: Decontamination efficiency and effects on quality attributes. Elsevier, Innovative Food Science and Emerging Technologies, 16 (2012), 381-390.

Takai O. Solution plasma processing (SPP). Pure Appl. Chem., Vol. 80, No. 9, pp. 2003–2011, 2008. DOI: 10.1351/pac200880092003.

Ulbin-Figlewicz N, Brychcy E and Jarmoluk A. Effect of low-pressure cold plasma on surface microflora of meat and quality attributes. J Food Sci Technol (February 2015), 52(2): 1228–1232, DOI 10.1007/s13197-013-1108-6.

Ulbin-Figlewicz N, Jarmoluk A and Marycz K.

Antimicrobial activity of low-pressure plasma treatment against selected foodborne bacteria and meat microbiota. *Ann Mikrobiol*, DOI 10.1007/s13213-014-0992-y, (2013).

Wan J, Coventry J, Swiergon P, Sanguansri P and Versteeg C.

Advances in innovative processing technologies for microbial inactivation and enhancement of food safety-pulsed electric field and low-temperature plasma. Elsevier, *Trends in Food Science & Technology*, 20 (2009) 414-424.

Yangılar F ve Oğuzhan P.

Plazma Teknolojilerinin Gıda Endüstrisinde Kullanımı. *Gıda*, (2013), 38 (3): 183-189.

Ziuzina D, Patil S, Cullen PJ, Keener K, Bourke P.

Atmospheric Cold Plasma inactivation of *Escherichia coli*, *Salmonella enterica* serovar *Typhimurium* and *Listeria monocytogenes* inoculated on fresh produce. *Food Microbiology*, (Accepted February 2014).