



SOĞUK PLAZMA TEKNOLOJİSİNİN MEYVE, SEBZE, ET, TAVUK VE SU ÜRÜNLERİNDEKİ UYGULAMALARI

Murat ÖZDEMİR*, Alpaslan Kerem ŞENGÜL,
Bartu BULAMACI, Berke TAŞDEMİR

Gebze Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Gıda Teknolojisi Anabilim Dalı,
Gebze, Kocaeli, Türkiye

Geliş / Received 24.11.2023; Kabul / Accepted: 16.07.2024; Online baskı / Published online: 23.07.2024

Özdemir, M., Şengül, A. K., Bulamacı, B., Taşdemir, B. (2024). Soğuk plazma teknolojisinin meyve, sebze, et, tavuk ve su ürünlerindeki uygulamaları. GIDA (2024) 49 (4) 656-668 doi: 10.15237/gida.GD23133

Özdemir, M., Şengül, A. K., Bulamacı, B., Taşdemir, B. (2024). Applications of cold plasma technology in fruit, vegetable, meat, chicken and aquatic products. GIDA (2024) 49 (4) 656-668 doi: 10.15237/gida.GD23133

ÖZ

Tüketiciler kimyasal maddeler içeren ve ısı olarak işlenmiş gıdaların yerine koruyucu içermeyen ve ısı işlem uygulanmamış gıdaları talep etmektedir. Tüketicilerin bu isteklerini karşılamak için ısı olmayan alternatif gıda işleme teknolojileri geliştirilmiş ancak, bu teknolojilerin etkinliği gıda kaynaklı mikroorganizmaların dirençli sporlar oluşturması ve toksin üretmesi nedeniyle sınırlı kalmaktadır. Yeni bir teknoloji olan soğuk plazma, özellikle gıda kaynaklı mikroorganizmaların ve sporların inaktivasyonunda ümit vadeden bir teknoloji olarak öne çıkmaktadır. Soğuk plazma teknolojisi, çok yönlü, etkin, ekonomik, kalıntı bırakmayan ve çevre dostu bir yöntem olması nedeniyle mikrobiyal inaktivasyon için konvansiyonel gıda işleme teknolojilerine göre önemli avantajlar da sağlamaktadır. Soğuk plazma teknolojisi ile gıdaların mikrobiyal yükü azaltılabilmekte, kaliteleri korunabilmekte ve raf ömürleri uzatılabilmektedir. Bu derleme çalışmasında soğuk plazma teknolojisi, soğuk plazma üretim yöntemleri, soğuk plazmanın mekanizması ile meyve, sebze, et, tavuk ve su ürünlerindeki mikroorganizmalar üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Soğuk plazma, ısı olmayan işlem, gıda güvenliği, gıda kalitesi, mikrobiyal inaktivasyon

APPLICATIONS OF COLD PLASMA TECHNOLOGY IN FRUIT, VEGETABLE, MEAT, CHICKEN AND AQUATIC PRODUCTS

ABSTRACT

Consumers demand preservative-free and not heat-treated foods instead of preservative containing and thermally processed foods. Alternative non-thermal food processing technologies have been developed to meet these demands of consumers, but the effectiveness of these technologies is limited due to the fact that foodborne microorganisms form resistant spores and produce toxins. Cold plasma, a new technology, stands out as a promising technology, especially in the inactivation of foodborne microorganisms and spores. Cold plasma technology also provides significant advantages over conventional food processing technologies for microbial inactivation as it is a versatile, efficient,

* Yazışmalardan sorumlu yazar / Corresponding author

✉: ozdemirm@gtu.edu.tr

☎: (+90) 262 605 2109

☎: (+90) 262 605 2105

Murat Özdemir; ORCID no: 0000-0001-9025-3068

Alpaslan Kerem Şengül; ORCID no: 0009-0006-6019-1963

Bartu Bulamacı; ORCID no: 0009-0003-4805-9650

Berke Taşdemir; ORCID no: 0009-0001-4538-0292

economical, residue-free and environmentally friendly method. Cold plasma technology can reduce the microbial load of foods, preserve their quality and extend their shelf life. In this review, cold plasma technology, cold plasma production methods, mechanism of cold plasma and its effects on microorganisms in fruits, vegetables, meat, poultry and seafood were investigated.

Keywords: Cold plasma, non-thermal process, food safety, food quality, microbial inactivation

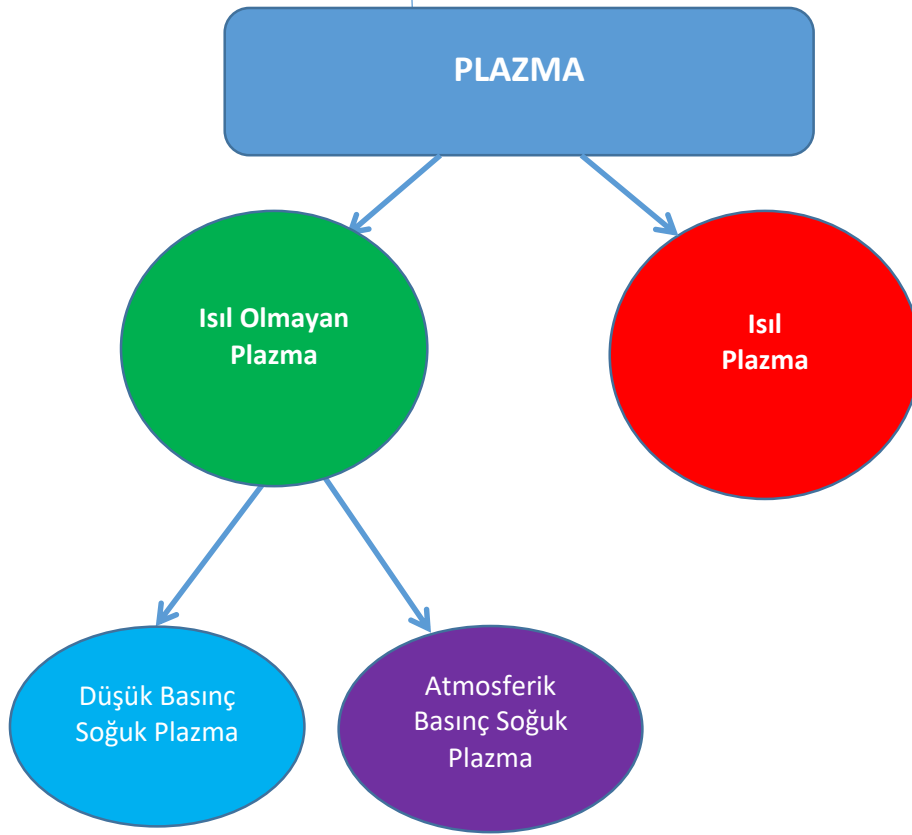
GİRİŞ

Üretimden tüketime kadar olan birçok aşamada (hasat, hasat sonrası depolama, işleme ve ambalajlama, dağıtım, pazarlama ve satış, tüketim) gıda kayıpları olmaktadır. Gıda bilimi ve teknolojisi ile gıda ambalajlaması alanındaki gelişmelerin uygulanma şekli ülkeler arasında farklılıklar gösterdiğinden, gıda kayıpları da ürün ve ürün gruplarına bağlı olarak değişmektedir. Dünya nüfusunun hızlı artışı göz önünde bulundurulduğunda, gıda kayıplarının azaltılması büyük önem arz etmektedir. Bu amaçla, yeni gıda işleme ve muhafaza teknolojileri ile ambalajlama tekniklerinin uygulanmasına ve yaygınlaşmasına ihtiyaç vardır. Yeni gıda işleme teknolojileri, gıdaların kalitesini iyileştirerek ve gıdalardaki aktif bileşikleri koruyarak gıdaların raf ömrünü artırmayı amaçlayan teknolojilerdir. Diğer yandan, yeni gıda işleme teknolojileri gıda kaynaklı hastalıkların önlenmesi ve gıda güvenliğinin sağlanması konularında da önemli katkılar sağlamaktadır (Gavahian ve Cullen, 2020; Gavahian ve Khaneghah, 2020; Zhu vd., 2020). Son yıllarda yeni gıda işleme teknolojilerinden biri olan soğuk plazma teknolojisi konusundaki çalışmalar ve gıda uygulamaları artış göstermiştir (Priyadarshini vd., 2019; Corradini, 2020).

Sir William Crookes, 1879 yılında ilk olarak plazmayı maddenin benzer gaz özelliklerine sahip dördüncü hali olarak keşfetmiş ve iyonize bir gaz olarak tanımlamıştır (Bogaerts vd., 2002). Daha sonra plazma terimi 1928 yılında Irving Langmuir tarafından ortaya atılmıştır (Raviteja vd., 2019; Bora vd., 2022). Plazma, ısı ve ısı olmayan plazma olarak ikiye ayrılır (Şekil 1). Isıl plazma; elektronlar, iyonlar ve nötr moleküller gibi parçacıkların termodinamik dengede bulunduğu koşullarda ve yüksek sıcaklıklardaki gazın ısıtılmasıyla elde edilen plazmadır (Fridman vd., 2008). Soğuk plazma olarak bilinen ısı olmayan plazma ise düşük sıcaklıklarda, normal atmosferik basınç veya vakum altında, ortamdaki gazlara elektrik akımı, elektromanyetik radyasyon veya

diğer enerji kaynaklarıyla verilen enerji sonucunda oluşan plazmadır (Ganesan vd., 2021; Nwabor vd., 2022).

Soğuk plazma uygulamasının en önemli amacı, mikroorganizma inaktivasyonu ile gıda güvenliğini sağlamak ve gıdanın kalitesini muhafaza etmektir (Sarangapani vd., 2017; Corradini, 2020). Soğuk plazma yüksek reaktiviteye sahip olması ve termodinamik olarak dengede olmaması sebebiyle, özellikle ısıya duyarlı gıda ürünleri için ısı yöntemlere kıyasla önemli avantajlar sunmaktadır (Sruthi vd., 2022; Farooq vd., 2023). Soğuk plazma teknolojisiyle bakteriler, virüsler, patojen mikroorganizmalar ve diğer mikroorganizma türlerinin inaktivasyonu, enzimlerin denatürasyonu ve toksinlerin dekontaminasyonu mümkün olabilmektedir (Shi vd., 2017; Birania vd., 2022; Mehta ve Yadav, 2022; Rao vd., 2023). Soğuk plazma teknolojisi ile meyveler, sebzeler, kırmızı et ve kanatlı etleri ile su ürünleri gibi birçok gıda ürününün rengi, aroması, tadı, görünümü ve bileşimi dahil olmak üzere fiziksel, kimyasal ve duyuşsal özellikleri korunabilmektedir (Kulawik vd., 2018; Gavahian ve Khaneghah, 2020; Rana vd., 2020). Bu çalışmanın amacı; meyveler, sebzeler, kırmızı et, kanatlı etleri ile su ürünlerinin muhafazasında ve gıda güvenliğinin artırılmasında yeni bir gıda işleme teknolojisi olan soğuk plazma teknolojisinin etkinliğinin daha iyi anlaşılmasına ve uygulanmasına yönelik son yıllardaki gelişmelerle ilgili bilimsel çalışmaları sunmaktır. Bu çalışmanın soğuk plazma konusundaki diğer derleme çalışmalarından en önemli farkı, soğuk plazma teknolojisinin çeşitli gıda ürünlerindeki yenilikçi, gelişmiş ve güncel uygulamalarını vermesi sebebiyle, alternatif gıda muhafaza teknolojileri konularında çalışan bilim insanlarına ve gıda işleme sektöründeki uzmanlara bir kaynak görevi görmesidir.



Şekil 1. Plazma tipleri

SOĞUK PLAZMA TEKNOLOJİSİ

Plazma terimi; serbest radikaller, elektronlar, elektromanyetik radyasyon kuantumları, pozitif ve negatif iyonlar, uyarılmış ve uyarılmamış molekülleri içeren maddenin dördüncü halini ifade eder (Laroque vd., 2022; Farooq vd., 2023; Monjazez Marvdashti vd., 2023). Soğuk plazma, ısı olmayan plazma ve denge dışı plazma gibi diğer isimlerle de bilinir. Genel olarak soğuk plazma, değişen frekans ve güçte hava, helyum, argon, oksijen, nitrojen ve karbondioksit gibi besleme gazları veya bu gazların karışımı ile üretilir (Ganesan vd., 2021; Bora vd., 2022). Üretilen bu plazma içerisindeki elektriksel yükü sahip parçacıklar ve reaktif bileşenler mikroorganizmalarda hücre hasarına ve inaktivasyona sebep olur (Stoffels vd., 2008; Laroque vd., 2022). Soğuk plazma; düşük sıcaklıklarda çalışmaya izin vermesi, ısıya duyarlı bileşenlere zarar vermemesi, toksik kalıntı bırakmaması, gıdaların besleyicilik değerini

olumsuz yönde etkilememesi, düşük enerji tüketimi ve basit ekipmanlar ile üretilebilmesi nedeniyle diğer yenilikçi gıda teknolojileriyle kıyaslandığında gıda sanayi tarafından daha fazla ilgi gören yenilikçi bir gıda işleme teknolojisidir (Farber vd., 2019; Scholtz vd., 2021).

Gıda işleme sanayinde plazma üretimi dielektrik bariyer deşarjı, plazma jeti, korona deşarjı, radyo frekans ve mikrodalga yöntemleri ile yapılabilir (Hage vd., 2022; Nwabor vd., 2022). Dielektrik bariyer deşarjı ve plazma jeti, gıda sanayinde en fazla kullanılan plazma üretim yöntemleridir (Mollakhalili-Meybodi vd., 2021; Mehta ve Yadav, 2022). Dielektrik bariyer deşarj ile plazma, iki metal elektrot (güçlendirilmiş bir elektrot ve bir toprak elektrotu) arasına uygulanan yüksek voltajla üretilir (Gao vd., 2023). Elektrotlardan biri veya her ikisi de polimer, cam, kuvars veya seramik gibi dielektrik bir malzeme ile kaplanmıştır ve aralarında 0.1 mm ile birkaç cm

arasında değişen değişken bir boşluk bulunur. Dielektrik bariyer malzemeler, elektrik deşarjının yere ulaşmasını önleyen ve plazmayı belirli bir alan içerisinde sınırlandıran yalıtkan malzemelerdir. Dielektrik bariyer deşarjı, soğuk plazma üretmenin en kolay yöntemlerinden biri olması, düşük gaz akış hızlarında çalışabilmesi, birden fazla gazın kullanımına uygun olması, değişken elektrot geometrilerine sahip olabilmesi ve birkaç metre boyunca tekdüze deşarj ateşlemesi yapabilmesi nedeniyle diğer plazma üretim yöntemlerine göre avantajlar sağlar (Laroque vd., 2022; Farooq vd., 2023). Dielektrik bariyer deşarjı, gıda güvenliğinden ve gıdaların besin değerinden ödün vermeden gıdalardaki mikroorganizmaları öldürmek ve raf ömrünü uzatmak için kullanılan güvenli ve düşük maliyetli bir plazma üretim yöntemidir (Feizollahi vd., 2021).

Plazma jet cihazı, iki eşmerkezli elektrot ve elektrotlar arasından geçirilen bir gaz veya gaz karışımından oluşur. İç elektrot yüksek frekansa maruz bırakılır ve elektrotlar arasında 100-250 V seviyesinde bir potansiyel farkı oluşturularak gaz ve gaz karışımının iyonize olması sağlanır. İyonlaşmış gaz molekülleri bir nozul aracılığıyla, birkaç milimetre mesafede bulunan bir gıda ürününün yüzeyine doğru yönlendirilir. İyonize gaz jet şeklinde nozuldan çıktığı için plazma jeti olarak adlandırılmaktadır. Plazma jet yönteminin avantajları; küçük boyutta ve az yer kaplaması, hedeflenen ürüne kolay uygulanabilmesi ve dar boşluklara bile nüfuz etme yeteneğidir (Mollakhalili-Meybodi vd., 2021).

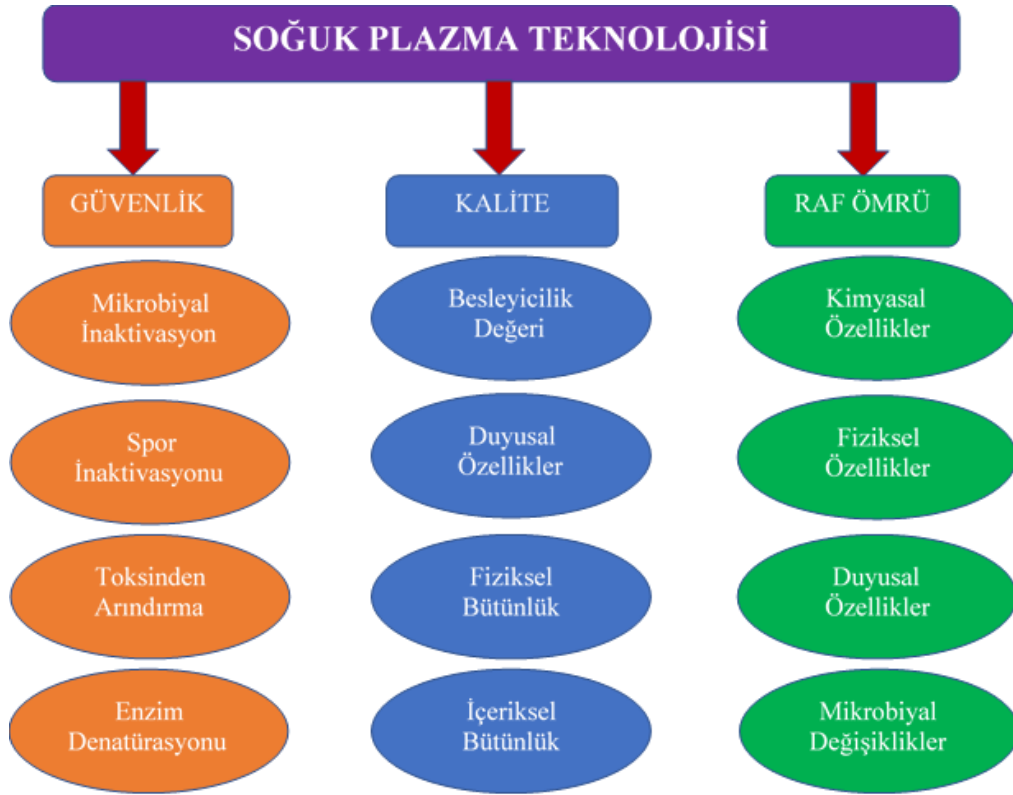
Korona deşarjı ile üretilen plazma, bir elektrot çevresinde yüksek voltaja sahip elektrik alanının oluşturulmasıyla, çevresindeki gazların atomlarındaki veya moleküllerindeki elektronları iyonize eden plazmayı ifade eder (Scholtz vd., 2015). Korona deşarj plazmasının homojen özelliklere sahip olmaması, tekdüze bir uygulama yapılmasını sınırlar (Nwabor vd., 2022). Bununla birlikte, tasarımının basit ve nispeten az maliyetli olması, özellikle yüzey sterilizasyonu ve mikroorganizmaların inaktivasyonu amacıyla kullanılmasına olanak sağlamaktadır (Ekezie vd., 2017).

Radyo frekansı yöntemiyle plazma üretiminde, bir radyo frekansı üreticisi, iki metal elektrot ve içi gaz dolu bir ortama ihtiyaç vardır. Elektrotlardan biri radyo frekansı güç kaynağına bağlanır ve diğeri topraklanır. Elektrotlar arasındaki potansiyel fark, gazın iyonize edilerek plazmaya dönüşmesini sağlar. Plazma deşarjının üretimi elektrotun ucunda gerçekleşir (Mollakhalili-Meybodi vd., 2021).

Mikrodalga ile plazma, yüksek frekanslı elektromanyetik dalgalar kullanılarak üretilir. Elektrot tabanlı yöntemlerin aksine, bir magnetron işlem odasında mikrodalga deşarjlarını üretmek için kullanılır. Mikrodalga enerjisinin ürettiği ısı, gaz molekülleri tarafından emilerek gaz moleküllerinin çarpışmasını artırır ve gaz moleküllerinin iyonlaşmasına neden olur (Nwabor vd., 2022). Mikrodalga ile plazma üretiminin en büyük avantajı, plazmayı serbest havada iyonize etmek için elektrot gerektirmemesi ve gereksinim duyulan gaz ihtiyacını azaltmasıdır. Mikrodalga enerjisiyle üretilen plazmanın geniş bir bölgede kullanılabilmesi, bir dizi deşarj ünitesi ile mümkündür (Mehta ve Yadav, 2022).

SOĞUK ATMOSFERİK PLAZMANIN GIDA ÜRÜNLERİNDEKİ UYGULAMALARI

Soğuk plazma teknolojisi, gıdalardaki mikroorganizmaları inaktive ederek gıdaların kalitesini koruyan, gıdaların raf ömrünü arttıran ve gıda güvenliğini sağlayan yenilikçi bir teknolojidir (Şekil 2). Soğuk plazmanın uygulama sonrası hücre hasarına sebep olduğu, zarar görmüş hücrelerin gelişimini engellediği ve mikroorganizmaların hücre içi bileşenlerine (DNA ve protein gibi) zarar verdiği belirlenmiştir (Guo vd., 2018; Gavahian ve Khaneghah, 2020; Hosseini vd., 2020). Soğuk atmosferik plazmanın gıdalarda bulunan Gram pozitif ve Gram negatif bakteriler ile virüsler üzerinde etkili olduğu görülmüştür (Guo vd., 2018; Filipić vd., 2020; Han vd., 2020; Rao vd., 2023). Soğuk plazma teknolojisinin meyveler, sebzeler, et, tavuk ve su ürünleri üzerindeki etkileri aşağıda verilmiştir.



Şekil 2. Soğuk plazma ve etkileri

Meyveler ve Sebzeler

Soğuk plazma, meyve ve sebze işleme sanayinde önemli kullanım alanı bulabilecek bir teknolojidir. Soğuk plazma teknolojisi ile özellikle meyve ve sebzelerin yüzeylerindeki mikroorganizma yükü azaltılabilmekte, ambalajlanmış taze meyve ve sebzelerin dekontaminasyonu yapılabilmektedir (Asl vd., 2022). Soğuk plazma uygulamasının taze meyve ve sebzelerde bulunan mikroorganizmalar üzerindeki etkisi Çizelge 1'de sunulmuştur. Başlangıç mezofil bakteri ve maya yükleri 4.5 log KOB/g seviyesinde olan taze kesilmiş havuçlara 100 kV değerinde, 60 Hz frekansta ve 5 dk. süreyle soğuk plazma uygulaması sonrası mezofil bakteri ve maya yükünde 2.1 log KOB/g düşüş olmuş, aynı zamanda havuçların tekstür ve karotenoid miktarının korunduğu gözlenmiştir (Mahnot vd., 2020). Taze çileklere (60 kV değerinde, 50 Hz frekansta, 15 dk.) uygulanan soğuk plazma işlemi sonucunda bakteri, maya ve küf popülasyonlarında 2 log KOB/g azalma görülmüştür (Rana vd., 2020). Mandalinalara soğuk plazma işlemi (27 kV değerinde, 2 dk.)

uygulandığında *Penicillium digitatum* küfünde %77.1 oranında azalma gözlenmiştir (Bang vd., 2020). Taze kesilmiş elmalara 6-10 kV değerleri arasında, 7 kHz frekansta ve 10 dk. boyunca plazma işlemi uygulanmış ve aerobik bakteri sayısında 1 log KOB/g azalma meydana gelmiştir (Liu vd., 2020). Taze yaban mersini meyvesine 36 kV voltaj değerinde ve 10 dk. soğuk plazma işlemi uygulaması sonrası yaban mersininde bulunan bakteri sayısında %93, mantar sayısında %25.8 azalma meydana gelmiştir (Dong ve Yang, 2019). 60 kV değerinde ve 5 dk. boyunca uygulanan soğuk plazma işleminin taze kesilmiş ejder meyvelerinde aerobik bakterilerin büyümesini önemli ölçüde inhibe ettiği gözlenmiştir (Li vd., 2019). Marullara 20 kV değerinde, 25.8 kHz frekansta ve 10 dk. süresince uygulanan soğuk plazma, *Pseudomonas fluorescens* popülasyonunun 3 dk. içinde saptama sınırının altına düşmesine, *Listeria innocua* bakterisinin ise 5 dk. sonra yaklaşık 2.4 log KOB/g azalmasına neden olmuştur (Patange vd., 2019). Soğuk atmosferik plazma işleminin, taze meyve ve sebzelerde hasat

sonrasında solunum hızını azalttığı ve olgunlaşmayı yavaşlattığı görülmüştür (Bang vd., 2020; Mahnot vd., 2020; Ziuzina vd., 2020). Meyve ve sebzelerde soğuk atmosferik plazma işleminin ana avantajlarından biri, ürünün yüzeyindeki mikroorganizmaların varlığını, patojen mikroorganizmalar dahil olmak üzere azaltma kabiliyetidir. Bu sebeple, soğuk plazma uygulamaları gıda güvenliğini artırmak ve gıda kaynaklı hastalık risklerini azaltma amaçlı

kullanılabilme potansiyeline sahiptir. Soğuk atmosferik plazma uygulamasının bir diğer faydası, meyve ve sebzelerin kalitesini ve görünümünü koruma yeteneğidir. Soğuk atmosferik plazma, ürünün yapısını, rengini ve dokusunu korumaya yardımcı olmaktadır. Soğuk atmosferik plazma uygulaması meyve ve sebzelerin kalitesini korumanın yanında mikrobiyal gelişimi yavaşlatarak ürünlerin raf ömürlerini artırmaktadır.

Çizelge 1. Meyve ve sebzelerdeki soğuk plazma uygulamaları

Gıda	Soğuk plazma koşulları	Mikroorganizmalar üzerindeki etkisi	Kaynaklar
Taze kesilmiş havuç	100 kV, 60 Hz, 5 dk.	Mezofil bakterilerde ve mayalarda 2.1 log KOB/g azalma.	Mahnot vd. (2020)
Çilek	60 kV, 50 Hz, 15 dk.	Bakteri, maya ve küflerde 2 log KOB/g azalma.	Rana vd. (2020)
Mandalina	27 kV, 2 dk.	<i>Penicillium digitatum</i> küfünde %77.1 azalma.	Bang vd. (2020)
Taze kesilmiş elma	6-10 kV, 7 kHz, 10 dk.	Aerobik bakterilerde 1 log KOB/g azalma.	Liu vd. (2020)
Yaban mersini	36 kV, 10 dk.	Bakteri sayısında %93, mantar sayısında %25.8 azalma.	Dong ve Yang (2019)
Taze kesilmiş ejder meyvesi	60 kV, 5 dk.	Aerobik bakterilerin inhibisyonu.	Li vd. (2019)
Marul	20 kV, 25.8 kHz, 10 dk.	<i>Pseudomonas fluorescens</i> popülasyonu 3 dk. içinde saptama sınırının altına düştü. <i>Listeria innocua</i> popülasyonunda 5 dk. sonra ~2.4 log KOB/g azalma.	Patange vd. (2019)

Kırmızı Et ve Tavuk

Et ve tavuk ürünlerinde yapılan soğuk plazma uygulamasının ürünlerin kalitesini olumlu yönde etkilediği bildirilmiştir (Chaplot vd., 2019; Luo vd., 2020). Bu sebeple, et ve tavuk ürünlerinde soğuk atmosferik plazma gıda güvenliğini artırma ve raf ömrünü uzatma potansiyeline sahip umut verici bir teknolojidir (Akhtar vd., 2022). Soğuk plazma uygulamasının et ve tavuk ürünlerindeki mikroorganizmalar üzerindeki etkileri Çizelge 2'de sunulmuştur.

Tavuk göğüs etine 100 kV değerinde, 60 Hz frekansta ve 5 dk. süreyle uygulanan soğuk atmosferik plazma doğal mikroflorada yaklaşık 2 log KOB/g azalma sağlamıştır (Moutiq vd., 2020). Soğuk plazma uygulanmış tavuk göğüs etinde 24 gün sonunda kontrol grubuna göre mezofil, psikrotrof ve *Enterobacteriaceae* popülasyonlarının sırasıyla 1.5, 1.4 ve 0.5 log KOB/g daha az olduğu

gözlenmiştir. Soğuk plazma uygulamasının, örneklerin lipit oksidasyonu, renk ve pH değerleri üzerinde olumsuz bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Benzer şekilde, tavuk filetolarına 22 kV değerinde, 32 kHz frekansta ve 10 dk. süreyle argon atmosferinde uygulanan soğuk plazma işlemi *Staphylococcus aureus* popülasyonunda 3 log KOB/g, *Escherichia coli* popülasyonunda yaklaşık 4 log KOB/g azalma sağlamıştır (Sahebkar vd., 2020). Hava atmosferinde soğuk plazma ile aktive edilmiş asetik asit varlığında tavuk bagetlerine (8.4 kV voltaj değerinde, 2.2 kHz frekansta, 30 dk.) yapılan uygulamada *Salmonella* Typhimurium popülasyonunda 1.2 log KOB/g düşüş gözlenmiştir (Kang vd., 2022). Kuzu etine 80 kV değerinde, 50 Hz frekansta ve 5 dk. boyunca uygulanan soğuk plazma uygulaması, *Brochothrix thermosphacta* bakterisinde 2 log KOB/g azalmaya neden olmuştur (Patange vd., 2017). 19.2 kV voltaj değerinde 80 s süreyle hava atmosferinde

soğuk plazma ile aktive edilmiş laktik asit uygulaması, dana etindeki *Salmonella* Enteritidis popülasyonunda 2.1 log KOB/g azalma sağlamıştır (Qian vd., 2019). Dana etine 6 kV değerinde, 20 MHz frekansta ve 5 dk. süreyle uygulanan soğuk plazma, *Escherichia coli* sayısında 1.82 log KOB/g düşüşe neden olmuştur (Stratakos ve Grant, 2018). Dana etli hamburgerlere argon, helyum, azot ve normal hava atmosferinde 15 kV voltaj değerinde, 15 kHz frekansta ve 90 saniye süre ile soğuk plazma uygulaması sonrası toplam canlı bakteri sayısı 10^4 KOB/g seviyesinden 1.5 log KOB/g seviyesine, *Escherichia coli* bakterisi 2 log KOB/g, *Staphylococcus aureus* bakterisi 1.5 log KOB/g ve maya-küfler ise 1 log KOB/g seviyesine inmiştir (Roshanak vd., 2023). Soğuk plazma uygulaması hamburgerlerin renk, tekstür ve lipid oksidasyon değerlerinde herhangi bir olumsuz etkiye sebep olmamıştır.

Son yıllarda soğuk atmosferik plazma uygulaması etin yumuşatılmasında (tenderizasyon) da kullanılmaktadır (Luo vd., 2020; Carrillo-Lopez vd., 2022). Tenderizasyon, etin dokusunun iyileştirilerek daha yumuşak hale getirildiği ve etin çignenmesini kolaylaştıran bir uygulamadır.

Geleneksel olarak et yumuşatma, vurma veya marine etme gibi yöntemlerle yapılır. Soğuk atmosferik plazma, etteki kolajen ve diğer sert bağ dokuları parçalayarak eti yumuşatmaktadır (Luo vd., 2022). Soğuk atmosferik plazma ile muamele edilmiş dana bifteklerin, soğuk plazma ile muamele edilmemiş bifteklerle kıyasla %30 oranında daha yumuşak olduğu, soğuk atmosferik plazma ile muamele edilmiş tavuk göğüs etlerinin, soğuk plazma ile muamele edilmemiş tavuk göğüs etlerine göre %20 oranında daha yumuşak olduğu gözlenmiştir (Abdel-Naeem vd., 2022; Jayasena vd., 2023). Kırmızı ve beyaz etleri yumuşatmak için soğuk atmosferik plazma kullanımının potansiyel avantajlarından en önemlisi, temassız ve herhangi bir kimyasala ihtiyaç olmadan yumuşatmanın sağlanması, başka bir deyişle, etle doğrudan fiziksel temas olmaksızın zararlı olabilecek kimyasalların kullanımını içermemesidir. Et ürünleri havaya maruz kaldıklarında oksidasyona uğrayabilir, bu da renk, koku ve tat değişikliklerine yol açabilir. Soğuk atmosferik plazmanın et ürünlerinde lipid oksidasyonunu azalttığı, renk, koku ve tadın korunmasına yardımcı olduğu belirtilmiştir (Nasiru vd., 2021).

Çizelge 2. Kırmızı et ve tavuktaki soğuk plazma uygulamaları

Gıda	Soğuk plazma koşulları	Mikroorganizmalar üzerindeki etkisi	Kaynaklar
Tavuk göğüs eti	100 kV, 60 Hz, 5 dk.	Mezofil, psikrotrof ve <i>Enterobacteriaceae</i> popülasyonlarında ~2 log KOB/g azalma.	Moutiq vd. (2020)
Tavuk fileto	22 kV, 32 kHz, 10 dk.	<i>Staphylococcus aureus</i> popülasyonunda 3 log KOB/g, <i>Escherichia coli</i> popülasyonunda ~4 log KOB/g azalma.	Sahebkar vd. (2020)
Tavuk baget	8.4 kV, 2.2 kHz, 30 dk. asetik asit ile aktivasyon	<i>Salmonella</i> Typhimurium popülasyonunda 1.2 log KOB/g düşüş.	Kang vd. (2022)
Kuzu eti	80 kV, 50 Hz, 5 dk.	<i>Brochothrix thermosphacta</i> bakterisinde 2 log KOB/g azalma.	Patange vd. (2017)
Dana eti	19.2 kV, 80 s laktik asit ile aktivasyon	<i>Salmonella</i> Enteritidis popülasyonunda 2.1 log KOB/g düşüş.	Qian vd. (2019)
Dana eti	6 kV, 20 MHz, 5 dk.	<i>Escherichia coli</i> bakterisinde 1.82 log KOB/g azalma.	Stratakos ve Grant (2018)
Dana hamburger	15 kV, 15 kHz, 90 s.	Toplam canlı bakteri sayısında 10^4 KOB/g seviyesinden 1.5 log KOB/g seviyesine, <i>Escherichia coli</i> bakterisinde 2 log KOB/g, <i>Staphylococcus aureus</i> bakterisinde 1.5 log KOB/g, maya ve küflerde 1 log KOB/g seviyesine kadar azalma.	Roshanak vd. (2023)

Su Ürünleri

Su ürünleri yüksek besleyicilik değerlerine ve mikroorganizmalar için uygun bir üreme ortamına sahip olduğundan, patojenik mikroorganizmalar da dahil olmak üzere çok çeşitli mikrobiyolojik bozulmalara sebep olabilir (Sheng ve Wang, 2021). Soğuk atmosferik plazma uygulaması, su ürünlerindeki mikrobiyolojik yükün azaltılmasına, raf ömrünün artırılmasına, kalitenin iyileştirilmesine ve tüketicilere daha güvenli ürünlerin sunulmasına önemli katkılar sağlama potansiyeline sahiptir. Su ürünlerinde soğuk atmosferik plazma işleminin ana avantajlarından

biri, su ürünlerinin yüzeyindeki mikroorganizmaların varlığını azaltma kabiliyetidir (Speranza vd., 2021). Bu sebeple, soğuk atmosferik plazma uygulaması gıda güvenliğini artırmaya ve gıda kaynaklı hastalık riskini azaltmaya yönelik kullanım için oldukça uygun bir teknolojidir. Soğuk atmosferik plazma uygulaması, başta balıklar olmak üzere diğer su ürünlerinin işlenmesinde araştırılmıştır. Soğuk plazma uygulamasının su ürünlerindeki mikroorganizmalar üzerindeki etkileri Çizelge 3'te sunulmuştur.

Çizelge 3. Su ürünlerindeki soğuk plazma uygulamaları

Gıda	Soğuk plazma koşulları	Mikroorganizmalar üzerindeki etkisi	Kaynaklar
Uskumru fileto	80 kV, 5 dk.	<i>Pseudomonas</i> ve laktik asit bakterilerinde 1 log KOB/g azalma.	Albertos vd. (2017)
Ringa balığı fileto	80 kV, 5 dk.	Laktik asit bakterilerinde 2 log KOB/g, <i>Enterobacteriaceae</i> sayısında 3 log KOB/g azalma.	Albertos vd. (2019)
Çipura fileto	3 kV, 45 Hz, 15 dk.	Toplam başlangıç mikroorganizma yükünde 1 log KOB/g azalma.	Giannoglou vd. (2021)
Asya levreği dilimi	80 kV, 50 Hz, 5 dk.	Toplam canlı bakteri sayısında ~1 log KOB/g azalma.	Olatunde vd. (2020)
Tütsülenmiş somon fileto	1.1 kV, 43 kHz, 60 dk.	<i>Listeria monocytogenes</i> sayısında 1.25 log KOB/g azalma.	Roy vd. (2022)
Beyaz karides	40 kV, 500 Hz, 10 dk.	Mezofil ve psikrotrof popülasyonlarında ~0.5 log KOB/g azalma.	de Souza Silva vd. (2019)
Kalamar	20 kV, 58 kHz, 10 dk.	Aerobik bakterilerde 2.1 log KOB/g, küf ve mayalarda 1.9 log KOB/g, koliform bakterilerinde 1.5 log KOB/g azalma.	Choi vd. (2017)
İstiridye	1.1 kV, 43 kHz, 60 dk.	Norovirüs GI.4 konsantrasyonunda 1.68 log KOB/g düşüş.	Choi vd. (2020)

80 kV değerinde ve 5 dk. boyunca soğuk atmosferik plazmaya maruz bırakılan uskumru filetolarındaki *Pseudomonas* ve laktik asit bakterilerinin sayılarında 1 log KOB/g azalma meydana gelmiştir (Albertos vd., 2017). Benzer şekilde ringa balığı filetolarına 80 kV değerinde ve 5 dk. süre ile uygulanan soğuk plazma, laktik asit bakterileri ve *Enterobacteriaceae* sayılarında sırasıyla 2 log KOB/g ve 3 log KOB/g azalmaya sebep olmuştur (Albertos vd., 2019). Soğuk plazma uygulaması sırasında üretilen reaktif oksijen bileşiklerinin bakteri hücreleri ile reaksiyona girerek, DNA ve hücre zarına zarar verdiği ve bu şekilde mikroorganizmaları öldürdüğü rapor edilmiştir. Çipura filetolarına 3 kV değerinde, 45

Hz frekansta ve 15 dk. boyunca uygulanan soğuk plazma işlemi, filetoların toplam başlangıç mikroorganizma yükünde yaklaşık 1 log KOB/g azalma sağlamıştır (Giannoglou vd., 2021). İki farklı gaz kompozisyonunda ambalajlanan dilimlenmiş Asya levreklerinin soğuk plazma işlemine (80 kV voltaj değerinde, 50 Hz frekansta, 5 dk.) maruz bırakılması sonucunda toplam canlı bakteri sayısında 1 log KOB/g seviyesinde düşüş olmuş ve soğuk plazma uygulamasında ambalaj içi gaz kompozisyonunun önemli olduğu gözlenmiştir (Olatunde vd., 2020). Tütsülenmiş somon filetolarına 1.1 kV değerinde, 43 kHz frekansta ve 60 dk. süreyle uygulanan soğuk atmosferik plazma sonucunda *Listeria monocytogenes*

popülasyonunda 1.25 log KOB/g azalma sağlanırken, tütsülenmiş somon filetolarının pH değerlerinde ve duyuşal özelliklerinde soğuk plazma uygulanmamış somon filetolarına göre kayda değer bir değişiklik olmamıştır (Roy vd., 2022).

Beyaz karideslerin 40 kV değerinde 500 Hz frekansta ve 10 dk. süre ile soğuk atmosferik plazmaya maruz bırakılması sonucunda mezofil ve psikrotrof popülasyonlarında yaklaşık 0.5 log KOB/g azalma olmuştur (de Souza Silva vd., 2019). Uygulanan soğuk atmosferik plazma sonucunda, karideslerin su tutma kapasitesi artmış, pişirme sırasındaki ağırlık kayıpları azalmış ve 12 gün boyunca +5 °C sıcaklıkta muhafaza edilen beyaz karideslerdeki renk kararması minimuma indirilmiştir (de Souza Silva vd., 2019). Kalamarlara hava atmosferinde uygulanan soğuk atmosferik plazma (20 kV voltaj değerinde, 58 kHz frekansta, 10 dk.) aerobik bakterilerde 2.1 log KOB/g, küf ve mayalarda 1.9 log KOB/g, koliform bakterilerinde 1.5 log KOB/g azalma sağlamıştır (Choi vd., 2017). Soğuk plazma uygulanmış kalamarların görünüş, renk ve lezzetlerinin soğuk plazma uygulanmamış kalamarlara göre daha iyi olduğu gözlenmiştir. İstiridyeler genellikle çiğ veya yarı pişmiş olarak tüketildiklerinden, norovirüsün insanlara bulaşmasında önemli bir bulaş kaynağıdır (Paulsen vd., 2022). İstiridyeler az hareketli olduklarından ve özellikle çevre kirliliği olan sularda yetiştirildiklerinde başta norovirüsler olmak üzere çeşitli bakterileri barındırabilmektedirler. Norovirüs ile kontamine olmuş istiridyelerin tüketilmesi insanlarda çeşitli komplikasyonlara sebep olmakta, özellikle küçük çocuklarda, yaşlılarda, hamilelerde ve bağışıklık sistemi zayıf olan kişilerde, norovirüs enfeksiyonu ciddi su kaybına ve ölüme neden olabilmektedir. Bu bakımdan norovirüs ile kontamine olmuş gıdaların dekontaminasyonu önem taşımaktadır. Sadece soğuk plazma (1.1 kV voltaj değerinde, 43 kHz frekansta, 60 dk.) uygulanmış istiridyelerdeki norovirüs konsantrasyonundaki azalma 1 log KOB/g değerinden az iken, propidyum monoazit ile boyama sonrası norovirüs konsantrasyonundaki azalmanın 1.68 log KOB/g olduğu görülmüştür (Choi vd., 2020).

SONUÇ

Yakın geçmişte soğuk plazma teknolojisi, gıdalardaki mikroorganizmaların inaktivasyonundaki etkinliği nedeniyle giderek artan bir popülerlik kazanmıştır. Soğuk plazma işleminin çok yönlü, verimli, ekonomik ve çevre dostu bir yöntem olması, kalıntı bırakmaması, atmosferik koşullarda ve ortam sıcaklığında uygulanabilmesi, gıdalardaki mikrobiyal inaktivasyon için hem konvansiyonel gıda işleme teknolojilerine hem de diğer ısı olmayan yöntemlere kıyasla birçok avantaj sunmaktadır. Soğuk plazma teknolojisi geleneksel ısı gıda işleme teknolojileri ile kıyaslandığında, gıdaların fizikokimyasal özellikleri üzerinde daha az olumsuz etkiye sahiptir. Gıda sanayinin soğuk plazma teknolojisinin avantajlarını değerlendirerek mikrobiyal inaktivasyon yöntemi olarak kullanması, tüketicilerin daha sağlıklı, daha kaliteli ve raf ömrü daha uzun gıdaları tüketmesine olanak sağlayacaktır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Bu makalede yer alan yazarlar ile ilgili herhangi bir kurum, kuruluş ve kişi arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

YAZAR KATKILARI

Murat Özdemir makalenin planlanması, yazımı, düzeltilmesi, basıma hazır hale getirilmesi ile danışmanlık kısımlarında katkı sağlamıştır. Alpaslan Kerem Şengül, Bartu Bulamacı ve Berke Taşdemir makalenin yazımında ortak katkı vermiştir.

KAYNAKLAR

Abdel-Naeem, H.H., Ebaid, E.M., Khalel, K.H., Imre, K., Morar, A., Herman, V., El-Nawawi, F.A.M. (2022). Decontamination of chicken meat using dielectric barrier discharge cold plasma technology: The effect on microbial quality, physicochemical properties, topographical structure, and sensory attributes. *LWT-Food Science and Technology*, 165: 113739.

Akhtar, J., Abrha, M.G., Teklehaimanot, K., Gebrekirstos, G. (2022). Cold plasma technology: Fundamentals and effect on quality of meat and its products. *Food and Agricultural Immunology*, 33(1): 451-478.

- Albertos, I., Martín-Diana, A., Cullen, P.J., Tiwari, B.K., Ojha, S.K., Bourke, P., Álvarez, C., Rico, D. (2017). Effects of dielectric barrier discharge (DBD) generated plasma on microbial reduction and quality parameters of fresh mackerel (*Scomber scombrus*) fillets. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 44: 117-122.
- Albertos, I., Martín-Diana, A.B., Cullen, P.J., Tiwari, B.K., Ojha, K.S., Bourke, P., Rico, D. (2019). Shelf-life extension of herring (*Clupea harengus*) using in-package atmospheric plasma technology. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 53: 85-91.
- Asl, P.J., Rajulapati, V., Gavahian, M., Kapusta, I., Putnik, P., Khaneghah, A.M., Marszalek, K. (2022). Non-thermal plasma technique for preservation of fresh foods: A review. *Food Control*, 134: 108560.
- Bang, I.H., Lee, E.S., Lee, H.S., Min, S.C. (2020). Microbial decontamination system combining antimicrobial solution washing and atmospheric dielectric barrier discharge cold plasma treatment for preservation of mandarins. *Postharvest Biology and Technology*, 162: 111102.
- Birania, S., Attkan, A.K., Kumar, S., Kumar, N., Singh, V.K. (2022). Cold plasma in food processing and preservation: A review. *Journal of Food Process Engineering*, 45(9): e14110.
- Bogaerts, A., Neyts, E., Gijbels, R., van der Mullen, J. (2002). Gas discharge plasmas and their applications. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, 57(4): 609-658.
- Bora, J., Khan, T., Mahnot, N.K. (2022). Cold plasma treatment concerning quality and safety of food: A review. *Current Research in Nutrition and Food Science Journal*, 10(2): 427-446.
- Carrillo-Lopez, L.M., Cruz-Garibaldi, B.Y., Huerta-Jimenez, M., Garcia-Galicia, I.A., Alarcon-Rojo, A.D. (2022). The physicochemical, microbiological, and structural changes in beef are dependent on the ultrasound system, time, and one-side exposition. *Molecules*, 27(2): 541.
- Chaplot, S., Yadav, B., Jeon, B., Roopesh, M.S. (2019). Atmospheric cold plasma and peracetic acid-based hurdle intervention to reduce *Salmonella* on raw poultry meat. *Journal of Food Protection*, 82(5): 878-888.
- Choi, S., Puligundla, P., Mok, C. (2017). Impact of corona discharge plasma treatment on microbial load and physicochemical and sensory characteristics of semi-dried squid (*Todarodes pacificus*). *Food Science and Biotechnology*, 26: 1137-1144.
- Choi, M.S., Jeon, E.B., Kim, J.Y., Choi, E.H., Lim, J.S., Choi, J., Ha, K.S., Kwon, J.Y., Jeong, H.S., Park, S.Y. (2020). Virucidal effects of dielectric barrier discharge plasma on human norovirus infectivity in fresh oysters (*Crassostrea gigas*). *Foods*, 9: 1731.
- Corradini, M.G. (2020). Modeling microbial inactivation during cold atmospheric-pressure plasma (CAPP) processing. In: *Advances in Cold Plasma Applications for Food Safety and Preservation*, Bermudez-Aguirre, D. (ed.), Academic Press, UK, pp. 93-108.
- de Souza Silva, D.A., da Silva Campelo, M.C., de Oliveira Soares Rebouças, L., de Oliveira Vitoriano, J., Alves Junior, C., da Silva, J.B.A., de Oliveira Lima, P. (2019). Use of cold atmospheric plasma to preserve the quality of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Journal of Food Protection*, 82(7): 1217-1223.
- Dong, X.Y., Yang, Y.L. (2019). A novel approach to enhance blueberry quality during storage using cold plasma at atmospheric air pressure. *Food and Bioprocess Technology*, 12(8): 1409-1421.
- Ekezie, F.G.C., Sun, D.W., Cheng, J.H. (2017). A review on recent advances in cold plasma technology for the food industry: Current applications and future trends. *Trends in Food Science and Technology*, 69: 46-58.
- Farber, R., Dabush-Busher, I., Chaniel, G., Rozenfeld, S., Bormashenko, E., Multanen, V., Cahan, R. (2019). Biofilm grown on wood waste pretreated with cold low-pressure nitrogen plasma: Utilization for toluene remediation. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 139: 62-69.
- Farooq, S., Dar, A.H., Dash, K.K., Srivastava, S., Pandey, V.K., Ayoub, W.S., Pandiselvam, R.,

- Manzoor, S., Kaur, M. (2023). Cold plasma treatment advancements in food processing and impact on the physiochemical characteristics of food products. *Food Science and Biotechnology*, 32(5), 621-638.
- Feizollahi, E., Misra, N.N., Roopesh, M.S. (2021). Factors influencing the antimicrobial efficacy of dielectric barrier discharge (DBD) atmospheric cold plasma (ACP) in food processing applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(4): 666-689.
- Filipić, A., Gutierrez-Aguirre, I., Primc, G., Mozetič, M., Dobnik, D. (2020). Cold plasma, a new hope in the field of virus inactivation. *Trends in Biotechnology*, 38(11): 1278-1291.
- Fridman, G., Friedman, G., Gutsol, A., Shekhter, A.B., Vasilets, V.N., Fridman, A. (2008). Applied plasma medicine. *Plasma Processes and Polymers*, 5(6): 503-533.
- Ganesan, A.R., Tiwari, U., Ezhilarasi, P.N., Rajauria, G. (2021). Application of cold plasma on food matrices: A review on current and future prospects. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(1): e15070.
- Gao, J., Chen, L., Zeng, X., Sun, X., Bai, Y., Wang, X., Xu, X., Han, M. (2023). Novel drying pretreatment technologies and their applications in the food industry. *Food Materials Research*, 3: 14.
- Gavahian, M., Cullen, P.J. (2020). Cold plasma as an emerging technique for mycotoxin-free food: Efficacy, mechanisms, and trends. *Food Reviews International*, 36(2): 193-214.
- Gavahian, M., Khaneghah, A.M. (2020). Cold plasma as a tool for the elimination of food contaminants: Recent advances and future trends. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(9): 1581-1592.
- Giannoglou, M., Dimitrakellis, P., Efthimiadou, A., Gogolides, E., Katsaros, G. (2021). Comparative study on the effect of cold atmospheric plasma, ozonation, pulsed electromagnetic fields and high-pressure technologies on sea bream fillet quality indices and shelf life. *Food Engineering Reviews*, 13(1): 175-184.
- Guo, L., Xu, R., Gou, L., Liu, Z., Zhao, Y., Liu, D., Zhang, L., Chen, H., Kong, M.G. (2018). Mechanism of virus inactivation by cold atmospheric-pressure plasma and plasma-activated water. *Applied and Environmental Microbiology*, 84(17): e00726-18.
- Hage, M., Khelissa, S., Akoum, H., Chihib, N.E., Jama, C. (2022). Cold plasma surface treatments to prevent biofilm formation in food industries and medical sectors. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 106: 81-100.
- Han, J.Y., Song, W.J., Kang, J.H., Min, S.C., Eom, S., Hong, E.J., Ryu, S., Kim, S.B., Cho, S., Kang, D.H. (2020). Effect of cold atmospheric pressure plasma-activated water on the microbial safety of Korean rice cake. *LWT-Food Science and Technology*, 120: 108918.
- Hosseini, S.M., Rostami, S., Hosseinzadeh Samani, B., Lorigooini, Z. (2020). The effect of atmospheric pressure cold plasma on the inactivation of *Escherichia coli* in sour cherry juice and its qualitative properties. *Food Science and Nutrition*, 8(2): 870-883.
- Jayasena, D.D., Kang, T., Wijayasekara, K.N., Jo, C. (2023). Innovative application of cold plasma technology in meat and its products. *Food Science of Animal Resources*, 43(6): 1087-1110.
- Kang, T., Yim, D., Kim, S.S., Baek, K.H., Kim, H.J., Jo, C. (2022). Effect of plasma-activated acetic acid on inactivation of *Salmonella* Typhimurium and quality traits on chicken meats. *Poultry Science*, 101(5): 101793.
- Kulawik, P., Alvarez, C., Cullen, P.J., Aznar-Roca, R., Mullen, A.M., Tiwari, B. (2018). The effect of non-thermal plasma on the lipid oxidation and microbiological quality of sushi. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 45: 412-417.
- Laroque, D.A., Seó, S.T., Valencia, G.A., Laurindo, J.B., Carciofi, B.A.M. (2022). Cold plasma in food processing: Design, mechanisms, and application. *Journal of Food Engineering*, 312: 110748.
- Li, X., Li, M., Ji, N., Jin, P., Zhang, J., Zheng, Y., Zhang, X., Li, F. (2019). Cold plasma treatment induces phenolic accumulation and enhances

- antioxidant activity in fresh-cut pitaya (*Hylocereus undatus*) fruit. *LWT-Food Science and Technology*, 115: 108447.
- Liu, C., Chen, C., Jiang, A., Sun, X., Guan, Q., Hu, W. (2020). Effects of plasma-activated water on microbial growth and storage quality of fresh-cut apple. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 59: 102256.
- Luo, J., Nasiru, M.M., Yan, W., Zhuang, H., Zhou, G., Zhang, J. (2020). Effects of dielectric barrier discharge cold plasma treatment on the structure and binding capacity of aroma compounds of myofibrillar proteins from dry-cured bacon. *LWT-Food Science and Technology*, 117: 108606.
- Luo, J., Xu, W., Liu, Q., Zou, Y., Wang, D., Zhang, J. (2022). Dielectric barrier discharge cold plasma treatment of pork loin: Effects on muscle physicochemical properties and emulsifying properties of pork myofibrillar protein. *LWT-Food Science and Technology*, 162: 113484.
- Mahnot, N., Siyu, L.P., Wan, Z., Keener, K.M., Misra, N.N. (2020). In-package cold plasma decontamination of fresh-cut carrots: Microbial and quality aspects. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 53(15): 154002.
- Mehta, D., Yadav, S.K. (2022). Recent advances in cold plasma technology for food processing. *Food Engineering Reviews*, 14(4): 555-578.
- Mollakhalili-Meybodi, N., Yousefi, M., Nematollahi, A., Khorshidian, N. (2021). Effect of atmospheric cold plasma treatment on technological and nutrition functionality of protein in foods. *European Food Research and Technology*, 247: 1579-1594.
- Monjazeb Marvdashti, L., Arabameri, M., Yousefi, B., Eslami, M., Emadi, A., Ebrahimi, A., Abdolshahi, A., Abdel-Wahhab, M.A., (2023). Cold plasma technology impact on microorganisms inactivation in foods: A systematic review. *Journal of Chemical Health Risks*, 13(4): 623-634.
- Moutiq, R., Misra, N.N., Mendonça, A., Keener, K. (2020). In-package decontamination of chicken breast using cold plasma technology: Microbial, quality and storage studies. *Meat Science*, 159: 107942.
- Nasiru, M.M., Frimpong, E.B., Muhammad, U., Qian, J., Mustapha, A.T., Yan, W., Zhuang, H., Zhang, J. (2021). Dielectric barrier discharge cold atmospheric plasma: Influence of processing parameters on microbial inactivation in meat and meat products. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(3): 2626-2659.
- Nwabor, O.F., Onyeaka, H., Miri, T., Obileke, K., Anumudu, C., Hart, A. (2022). A cold plasma technology for ensuring the microbiological safety and quality of foods. *Food Engineering Reviews*, 14(4): 535-554.
- Olatunde, O.O., Benjakul, S., Vongkamjan, K. (2020). Shelf-life of refrigerated Asian sea bass slices treated with cold plasma as affected by gas composition in packaging. *International Journal of Food Microbiology*, 324: 108612.
- Patange, A., Boehm, D., Bueno-Ferrer, C., Cullen, P.J., Bourke, P. (2017). Controlling *Brochothrix thermosphacta* as a spoilage risk using in-package atmospheric cold plasma. *Food Microbiology*, 66: 48-54.
- Patange, A., Lu, P., Boehm, D., Cullen, P.J., Bourke, P. (2019). Efficacy of cold plasma functionalised water for improving microbiological safety of fresh produce and wash water recycling. *Food Microbiology*, 84: 103226.
- Paulsen, P., Csadek, I., Bauer, A., Bak, K.H., Weidinger, P., Schwaiger, K., Nowotny, N., Walsh, J., Martines, E., Smulders, F.J.M. (2022). Treatment of fresh meat, fish and products thereof with cold atmospheric plasma to inactivate microbial pathogens and extend shelf life. *Foods*, 11(23): 3865.
- Priyadarshini, A., Rajauria, G., O'Donnell, C.P., Tiwari, B.K. (2019). Emerging food processing technologies and factors impacting their industrial adoption. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(19): 3082-3101.
- Qian, J., Zhuang, H., Nasiru, M.M., Muhammad, U., Zhang, J., Yan, W. (2019). Action of plasma-activated lactic acid on the inactivation of

- inoculated *Salmonella* Enteritidis and quality of beef. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 57: 102196.
- Rana, S., Mehta, D., Bansal, V., Shivhare, U.S., Yadav, S.K. (2020). Atmospheric cold plasma (ACP) treatment improved in-package shelf-life of strawberry fruit. *Journal of Food Science and Technology*, 57(1): 102-112.
- Rao, W., Li, Y., Dhaliwal, H., Feng, M., Xiang, Q., Roopesh, M.S., Pan, D., Du, L. (2023). The application of cold plasma technology in low-moisture foods. *Food Engineering Reviews*, 15(1): 86-112.
- Raviteja, T., Dayam, S.K., Yashwanth, J. (2019). A study on cold plasma for food preservation. *Journal of Scientific Research and Reports*, 23(4): 1-14.
- Roshanak, S., Maleki, M., Sani, M.A., Tavassoli, M., Pirkhezranian, Z., Shahidi, F. (2023). The impact of cold plasma innovative technology on quality and safety of refrigerated hamburger: Analysis of microbial safety and physicochemical properties. *International Journal of Food Microbiology*, 388: 110066.
- Roy, P.K., Jeon, E.B., Park, S.Y. (2022). Effects of nonthermal dielectric barrier discharge plasma against *Listeria monocytogenes* and quality of smoked salmon fillets. *Journal of Food Safety*, 42(6): e13012.
- Sahebkar, A., Hosseini, M., Sharifan, A. (2020). Plasma-assisted preservation of breast chicken fillets in essential oils-containing marinades. *LWT-Food Science and Technology*, 131: 109759.
- Sarangapani, C., O'Toole, G., Cullen, P.J., Bourke, P. (2017). Atmospheric cold plasma dissipation efficiency of agrochemicals on blueberries. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 44: 235-241.
- Scholtz, V., Pazlarova, J., Souskova, H., Khun, J., Julak, J. (2015). Nonthermal plasma—A tool for decontamination and disinfection. *Biotechnology Advances*, 33(6): 1108-1119.
- Scholtz, V., Vaňková, E., Kašparová, P., Premanath, R., Karunasagar, I., Julák, J. (2021). Non-thermal plasma treatment of ESKAPE pathogens: a review. *Frontiers in Microbiology*, 12: 737635.
- Sheng L., Wang, L. (2021). The microbial safety of fish and fish products: Recent advances in understanding its significance, contamination sources, and control strategies. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(1): 738-786.
- Shi, H., Ileleji, K., Stroshine, R.L., Keener, K., Jensen, J.L. (2017). Reduction of aflatoxin in corn by high voltage atmospheric cold plasma. *Food and Bioprocess Technology*, 10(6): 1042-1052.
- Speranza, B., Racioppo, A., Bevilacqua, A., Buzzo, V., Marigliano, P., Mocerino, E., Scognamiglio, R., Corbo, M.R., Scognamiglio, G., Sinigaglia, M. (2021). Innovative preservation methods improving the quality and safety of fish products: Beneficial effects and limits. *Foods*, 10(11): 2854.
- Sruthi, N.U., Josna, K., Pandiselvam, R., Kothakota, A., Gavahian, M., Khaneghah, A.M. (2022). Impacts of cold plasma treatment on physicochemical, functional, bioactive, textural, and sensory attributes of food: A comprehensive review. *Food Chemistry*, 368: 130809.
- Stoffels, E., Sakiyama, Y., Graves, D.B. (2008). Cold atmospheric plasma: Charged species and their interactions with cells and tissues. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 36(4): 1441-1457.
- Stratakos, A.C., Grant, I.R. (2018). Evaluation of the efficacy of multiple physical, biological and natural antimicrobial interventions for control of pathogenic *Escherichia coli* on beef. *Food Microbiology*, 76: 209-218.
- Zhu, Y., Li, C., Cui, H., Lin, L. (2020). Feasibility of cold plasma for the control of biofilms in food industry. *Trends in Food Science and Technology*, 99: 142-151.
- Ziuzina, D., Misra, N.N., Han, L., Cullen, P.J., Moiseev, T., Mosnier, J.P., Keener, K., Gaston, E., Vilaró, I., Bourke, P. (2020). Investigation of a large gap cold plasma reactor for continuous in-package decontamination of fresh strawberries and spinach. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 59: 102229.