

GIDA ENDÜSTRİSİNDE PLAZMA TEKNOLOJİSİ İLE İLGİLİ GELİŞMELER

Ass. Prof. Dr. Yavuz YÜKSEL1

1Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Balıkesir/Türkiye

E-mail: yavuzyuksele@balikesir.edu.tr

ÖZET

Gıda endüstrisinde yenilikçi teknolojiler üzerine yapılan çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır. Özellikle ısı işleme dayalı teknolojiler gıdaların birçok organoleptik ve besinsel özelliklerinde değişikliklere neden olabilmektedir. Bu nedenle ısı olmayan yenilikçi teknolojilere olan ilgi giderek artmaktadır. Plazma teknolojisi de bunlardan birisidir. Plazma teknolojisinin gıdaların sterilizasyonu, muhafazası, patojenlerin yok edilmesi, dekontaminasyon işlemleri gibi alanlarda

ABSTRACT

Studies on innovative technologies in the food industry are increasing day by day. In particular, technologies based on heat treatment can cause changes in many organoleptic and nutritional properties of foods. Therefore, interest in non-thermal innovative technologies are increasing. Plasma technology is one of these. Researches are conducted on the use of plasma technology in areas such as sterilization of food, preservation of pathogens, decontamination

GİRİŞ

Gıdaların mikrobiyal yönden güvenliğini ve besinsel kalitesini artırmak amacıyla gıda endüstrisinde yeni teknolojik işlemler üzerindeki tasarım çalışmaları devam etmektedir. Klasik teknolojik işlemlerin çoğunda uygulanan ısı işlemler, bazı vitaminlerin ve pigmentlerin zarar görmesi, bazı proteinlerin veya uçucu bileşenlerin yapılarının bozulması gibi ürünün toplam kalitesinde düşüşe neden olabilmektedir. Bu nedenle gıda endüstrisinde ısı olmayan yenilikçi teknolojilere olan ilgi giderek artmaktadır. Bazı uygulamalarda ise ısı olmayan teknolojiler, ısı işlemlerle kombine olarak kullanılmakta ve ısı işlemlerin etkinlikleri artırılmaktadır.

Son yıllarda, tüketicilerin sağlıklı yaşama olan ilgilerinin artması ve bunun sonucu olarak işlenmemiş veya minimum işlem görmüş gıda ürünlerine ulaşma istekleri termal olmayan teknolojiye yönelik çalışmaların hızlanmasına neden olmuştur¹. Tüketiciler hem daha besleyici, daha az işlenmiş yiyecekler aramakta, hem de uzun raf ömrüne sahip patojen mikroorganizma içermeyen yüksek kaliteli yiyecekler aramaktadırlar². Taze ve az işlenmiş ürünlerle ilişkili olarak meydana gelen gıda zehirlenmeleri de bu nedenle artış eğilimi göstermiştir. Bunun nedeni ısı işlem olmadan veya pişirme işlemi olmadan ürünlerin taze olarak tüketilmesidir³. Gıda endüstrisinde bir taraftan ürünün mikrobiyal güvenliğini sağlamak diğer taraftan da gıda kalitesini artırmaya yönelik birçok ısı olmayan teknolojiler araştırılmıştır. Çoğunlukla yüksek sıcaklıktan zarar görebilecek gıdalarda ısı olmayan yüzey dekontaminasyon teknolojisinin kullanımı öncelikli olarak tercih edilmiştir. Plazma, günümüzde dünya çapında çoğu ısı olmayan proseslerde başvurulan en son teknolojilerden biridir^{4,5}. Yarı-nötr bir gaz olduğundan dolayı plazmaya, maddenin dördüncü hali de denilmektedir^{6,7}. Uçucu bileşik (gaz) formunda olmakla birlikte, yapısında iyonik gaz veya elektronlardan oluşmuş gaz bileşikleri, iyonlar, radikaller, gaz atomları, temel ve uyarılmış durumdaki moleküller, polar iyonlar ve elektrik alanın uygulamasıyla meydana gelen ışık kuantası gibi aktif parçacıklar bulunmaktadır⁷. Bu aktif parçacıklar plazma gücü kapatıldığında hemen kaybolurlar; bu nedenle plazma prosesi çevresel olarak güvenli bir uygulamadır ve tüm ekolojik standartlara uygundur⁸. Gelişmekte olan tüm termal teknolojiler arasında, Soğuk plazma (SP), gıdaların kalitesini ve güvenliğini sağlamak için nispeten daha yeni bir teknolojik uygulamadır. Bu teknoloji, tıbbi cihazların yüzeyinin dekontaminasyonu, elektronik endüstrisinde ısıya duyarlı yüzeylerin temizlenmesi ve tekstil endüstrisinde ürünlerin

kullanımı ile ilgili araştırmalar yapılmaktadır. Plazma uygulamasının etkinliği basınç, plazma frekansı, kullanılan monomerin kimyasal yapısı, monomer akış hızı, plazmanın gücü, reaktör geometrisi ve işlem süresi gibi değişkenlere bağlıdır. Bu çalışmada plazmanın oluşum mekanizması, gıda endüstrisindeki uygulamaları ve son gelişmeler derlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Gıda endüstrisi, plazma teknolojisi, ısı olmayan teknoloji

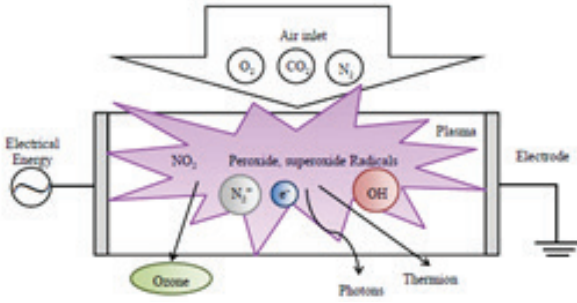
processes. The effectiveness of plasma application depends on variables such as pressure, plasma frequency, chemical structure of the monomer used, monomer flow rate, plasma power, reactor geometry and processing time. In this study, the formation mechanism of plasma, its applications in food industry and recent developments are reviewed.

Keyword: Food industry, plasma technology, non-thermal technology

daha iyi kalitede işlenmesi gibi diğer sektörlerde de yaygın olarak kullanılmaktadır^{9,10,11,12,13}. Plazma teknolojisi, günümüzde başta gıda endüstrisi olmak üzere çeşitli endüstri alanlarında da kullanılan ve çevresel açıdan zararı olmayan teknolojilerden birisidir. Bu teknoloji, ürünün besleyici, fonksiyonel ve duyuşal özelliklerini korumada ümit veren çalışma sonuçları ortaya koymuştur.

PLAZMA PROSESİ VE UYGULANMASI

Plazma maddenin katı, sıvı ve gaz hallerinden oldukça farklı özelliklere sahiptir. Bu nedenle maddenin dördüncü hali olarak bilinir^{6,14}. İlk olarak 1928 yılında Irving Langmuir plazma terimini bir tanıtmıştır⁷. Plazmanın pozitif yükleri sayısı ile negatif yüklerin sayısı eşit olduğundan dolayı nötr yüke sahiptir¹⁵. Plazmanın termodinamik özelliklerine göre iki farklı türü vardır. Bunlar sıcak (ısı) ve soğuk (ısı olmayan) plazmadır^{15,16}. Sıcak plazma 103 Pa'dan yüksek basınçta ve 104 K'den yüksek elektron sıcaklığında olan plazmalardır. İyonlaşma derecesi (toplam plazma parçacıklarından iyon olanların sayısı) %100 veya %100'e yakındır. Soğuk plazma ise termodinamik açıdan denge halinde değildir. Plazma uygulamasında tipik durum 104 K (Te ≈ 104K) düzeyindeki nispeten sıcak elektronlar ve yaklaşık çevre sıcaklığındaki (Ti ≈ Tn ≈ 104K) soğuk iyonlardan ve nötr atomlardan oluşur. İyonlaşma derecesi sıcak plazmaya göre düşük olmakla birlikte 10⁻⁴ –10⁻¹ aralığındadır. Soğuk plazma uygulaması organik maddelerin plazma uygulaması ile polimerizasyonu ve bunun sonucunda materyal üzerinde polimerik bir kılın meydana getirilmesinde tek etkili yöntemdir. Bunun nedeni ise materyal yüzeyini saran organik polimerik yapının yüksek sıcaklığın etkisiyle kolaylıkla bozunmasıdır. Soğuk plazma uygulamasında ortamdaki iyon sıcaklığı oda sıcaklığına yakın olduğu için substratın özellikleri değişmemektedir¹⁷. Soğuk plazma spesifik bir elektrik alanı içerisinde üretilmektedir. Bu süreçte bir dizi fiziksel ve kimyasal reaksiyonlar meydana gelir Gazın devreye girmesiyle birçok aktif grup üretilir ve bunun sonucunda yüksek enerjili elektronlar gaz molekülleriyle çarpışır⁸. Isıl olmayan plazma radyo frekansı güç kaynakları vasıtasıyla üretilmektedir¹⁸. Düşük basınçta soğuk plazma mikrodalgalar kullanılarak veya bir elektrik boşaltımı ile meydana getirilebilir. Atmosferik basınçta plazma üretiminin tipik örnekleri, elektrik deşarjı, dielektrik bariyer deşarjları, radyo frekansı plazmaları ve süzülen ark deşarjıdır¹⁹. Plazma, yüksek enerjili elektrik uygulamasıyla ile iki elektrot arasında kalan havanın iyonlaşması sağlanarak elde edilmektedir. İyonların ve reaktif parçacıkların dağılımı ile şekillenmektedir. Bir plazma



Şekil 1. Plazma oluşum süreci

Elektrotlar (katot ve anot) arasına yaklaşık 30 kV/cm gerilimde elektrik akımı uygulanarak 20 elektriksel bozulma ve atmosferik havanın yanması sonucu plazma meydana gelmektedir. İşlem bir kıvılcım olarak görülen kısa süreli deşarj ile başlayarak daha yüksek güçlerde yüksek akım sıcak arkına dönüşmektedir²¹. Kullanılan hava atmosferik basınçta veya vakumda tutulur. Bu işlem, düşük basınçta daha az güç girişi ile atmosferik basınçta ise daha yüksek güç ile gerçekleşmektedir. Son yıllarda, düşük maliyet ve kullanım kolaylığı nedeniyle atmosferik basınçta plazma elde etmeye yönelik çalışmalar daha da önem kazanmıştır²².

GIDA ENDÜSTRİSİNDE PLAZMA TEKNOLOJİSİNİN KULLANIMI

Son yıllarda plazma teknolojisi giderek önem kazanmaktadır. Plazma teknolojinin gıda endüstrisinde kullanımını ideal yapan en dikkat çekici özelliği düşük sıcaklıkta uygulanması ve yüksek mikroorganizma inaktivasyonu etkisidir. Plazma işlemleri gıda işlemede, yüzey dekontaminasyonunda, yüzey özelliklerinin modifikasyonunda ve gıdalarla ilişkili materyallerde kütle transferinin artırılmasına kullanılmaktadır. Termal olmayan plazmada, gıda yüzeylerinin (et, kümes hayvanları, süt ürünleri ve taze hasat edilmiş bitkisel ürünler gibi), tanecikli ve parçacıklı yiyeceklerin (tahıllar, otlar ve baharatlar gibi) ve filizlenmiş tohumların kuru dezenfeksiyonu dahil olmak üzere gıda endüstrisi için sayısız potansiyel uygulaması bulunmaktadır. Bu teknoloji ayrıca ambalaj malzemesinde yüzey sterilizasyonunda ve istenen özellikleri kazandırmak için fonksiyonel modifikasyonlarda başarıyla uygulanmaktadır^{5, 24, 16}.

Tahıl endüstrisi

Plazma teknolojisi, tahıl endüstrisinde çeşitli mahsul ürünlerinde için kullanılan umut verici termal olmayan tekniklerden biridir. Bu teknoloji, dekontaminasyonla birlikte tahıl endüstrisinde çeşitli avantajlar sunmaktadır¹⁴. Suhem²⁵ ve diğ. soğuk atmosferik plazma işleminin, *Aspergillus flavus*'un esmer pirinç tahıl barları üzerindeki büyümesini engelleme etkisini araştırmışlardır. Bu çalışmadan elde edilen bilgiler, pirinç bazlı tahıl ürünlerinin mikrobiyolojik güvenliğini arttırmak için ucuz ve/veya alternatif pratik yöntemler arayan pirinç üreticileri için yararlı olmuştur. Esmer pirinç, zayıf pişirme ve yeme kaliteleri nedeniyle daha az arzu edilir. Bununla birlikte, daha yüksek besin değeri nedeniyle esmer pirinç tercih edilir²⁷. Sarangapani²⁶ ve diğ. düşük basınçlı soğuk plazmanın, çeşitli işlem zamanları ve güçleri altında, kaynatılmış esmer pirincin pişirme ve dokusal özellikleri üzerindeki etkisini incelemiştir. Plazma işleme, esmer pirincin özelliklerini değiştirmek için kullanılmıştır. Düşük basınçlı soğuk plazma, kaynatılmış pirincin su alım oranını arttırmış ve ayrıca pişirme süresini 8 dakikaya kadar düşürmüştür. Bununla birlikte uygulanan plazma işleminin gücünün ve süresinin artırılmasıyla sertlik ve yapışkanlığın azalması gibi pirincin tekstürel özelliklerinde gelişme gözlemlenmiştir. Plazma depolanmış tahıl ürünlerinde de böcek kontrolü için yeni bir yöntem olarak araştırılmıştır. El-Aziz²⁸ ve diğ. atmosferik basınç plazma jetinin güve *Plodia interpunctella* üzerindeki etkisini araştırmıştır. Plazma jet darbelerinin (pulse) artması ve jet başlıklardan olan mesafenin azalması ile larva ve pupa mortalitesinde önemli bir artış ve yetişkin sayısında ise düşüş gözlemlenmiştir. Larvalar, uygulanan plazma işlemine pupadan daha hassas olmasına rağmen, işlem görmüş pupa, işlem görmüş larvalardan daha yüksek oranda hasarlı (kusurlu) erişkin-

lere neden olmuştur. Sonuçlar, soğuk plazmanın, *P. interpunctella* larvalarının vücutlarında muhtemelen reaktif oksijen stresi üretmek suretiyle oksidatif hasara yol açtığını göstermiştir. Selcuk²⁹ ve ark., *Aspergillus parasiticus* ve *Penicillium sp.* ile kontamine olmuş buğday, fasulye, nohut, soya fasulyesi, arpa, yulaf, çavdar, mercimek ve mısır tohumlarını başarıyla temizlemiştir. Ayrıca, tohumların plazma uygulamasından sonra canlılığını korudukları tespit edilmiştir.

Süt endüstrisi

Plazma teknolojisi, süt endüstrisinde potansiyel olarak kullanılan yeni teknolojilerden biridir. Plazmanın düşük sıcaklıklarda çalışması sıcaklığı arttırmadan çalışma kabiliyeti, ısıya duyarlı malzemelerin işlenmesinde plazma teknolojinin kullanılma olasılığını arttırmıştır³⁰. Soğuk plazmanın avantajlarını kullanarak, bu sistem süt ve süt ürünlerini dekontamine etme kabiliyeti açısından test edilmiştir. Song³¹ ve diğ., *Listeria monocytogenes*'in üç farklı karışım ile aşılanmış dilimlenmiş peynirde atmosferik basınçta çalışan plazmanın etkisini araştırmıştır. Bulunan sonuçlar, atmosferik basınç plazmasının *Listeria monocytogenes*'i etkisiz hale getirme etkilerinin, gıdanın türüne büyük ölçüde bağlı olduğunu göstermiştir. Korachi³⁰ ve diğ., bütün çiğ süt örneklerinin biyokimyasal değişimlerini soğuk plazma uygulamasıyla araştırmıştır. Plazma uygulaması çiğ sütün lipit bileşiminde önemli bir değişiklik göstermemiştir. Bununla birlikte, soğuk plazmaya 20 dakika maruz bırakılan sütlerde toplam aldehit içeriğini önemli ölçüde arttırmıştır. Toplam keton veya alkol seviyelerinde ise anlamlı bir fark gözlemlenmemiştir. Guro³² ve diğ., düşük sıcaklıktaki plazmanın, farklı yağ içeriklerinde sütteki *E. coli*'nin öldürülmesi kabiliyetini değerlendirmiştir. Yapılan bu çalışmada, plazma sistemi sütün pH ve renk özelliklerini önemli ölçüde etkilemeden *E. coli* sayısını üç kat logaritmik azalmadan daha çok düşürdüğü gözlemlenmiştir.

Et ve tavukçuluk endüstrisi

Plazma uygulaması, üretilen reaktif ürünlerin (örneğin ozon, peroksit ve monoksitler) konsantrasyonunu ve bunların et veya kümes hayvanları endüstrisi üzerindeki etkilerini etkileyen çok çeşitli gaz bileşimleri, üretim yöntemleri ve ürüne maruz kalma yöntemleri sunar. Plazma prosesi ile üretilen reaktif ürünlerin (örneğin ozon, peroksit ve monoksitler) konsantrasyonlarının ayrıca çok çeşitli gaz bileşenleri ve bunlara maruz bırakma yöntemlerinin tümünün etkisi et veya kümes hayvanları endüstrisinde araştırılmıştır¹⁸. Moon³³ ve diğ. atmosferik basınçta radyo frekansı parlama deşarjının 150 W' da 1 dakika süreyle ve 370 K'nin altındaki bir helyum gazı sıcaklığı ile plazma muamelesinden sonra domuz etinde termal hasar olmadığını tespit etmişlerdir. Benzer plazma araştırması Kim¹⁸ ve diğ., tarafından pastırma dekontamine etmek için yapılmıştır. Yaptıkları uygulamada gaz olarak helyum ve oksijenle karıştırılmış helyumu kullanmışlar ve pastırmaya ise *E. coli*, *S. typhimurium* ve *L. monocytogenes* aşılanmışlardır. *E. coli*, *S. typhimurium* ve *L. monocytogenes*'in koloni sayımı sonucunda, 90 s süresinde 125 W gücünde gaz karışımı kullanılarak uygulanan plazma işlemi, sırasıyla yaklaşık 8 log cfu/g'den 4.8, 5.79 ve 6.46 log cfu/g'ye düşürülmüştür. Lee³⁴ ve ark., tarafından oksijen ve oksijenin olmadığı ortamda proses gazı olarak helyum veya azotun kullanıldığı atmosferik basınçlı bir plazma uygulaması gerçekleştirilmişlerdir. Bu işlem sonucunda tavuk göğsü ve jambon üzerine aşılanan *L. monocytogenes* etkisiz hale getirilmiştir. Polistiren yüzey ve kurutulmuş siğir yüzeyindeki *Staphylococcus aureus*'u azaltmak için radyo frekanslı atmosferik basınç plazma işleminin etkisi test edilmiştir. *S. aureus* sayısı, polistiren üzerinde 2 dakikalık işlemden sonra, kurutulmuş siğir etinde ise 10 dakikalık işlemden sonra 3 ile 4 log koloni oluşturma birimi arasında düşürülmüştür. Sonuçlar, *S. aureus*'un plazma tarafından yok edilmesinde yüzey özelliğinin önemli ölçüde etkili olduğunu göstermiştir. Optik emisyon spektrum analizi, reaktif oksijen türlerinin, özellikle de tekli oksijenin, *S. aureus*'un etkisizleştirilmesinde ve hücresel deformasyonunda daha etkili olduğunu göstermiştir. Kurutulmuş siğir örneklerinde yağ asidi kompozisyonu, rengi ve

kesme kuvveti bakımından önemli bir değişiklik gözlenmemiştir³⁵. Yumurta tüketiminde *Salmonella* spp.'nin büyük ölçüde potansiyel bir tehlike olduğu ve alternatif dekontaminasyon yöntemlerine ihtiyaç olduğu bildirilmiştir³⁶. Ragni³⁷ ve ark., plazma işleminin yumurta kabuğu yüzeyinin dekontaminasyonundaki etkinliğini araştırmıştır. Sonuçlar güç seviyesi ve süresi artışı ile *Salmonella enteritidis*'in öldürme etkinliğinin arttığını göstermiştir. Vandamme³⁸ ve diğ., plazma prosesini oksidatif stabilite için kullanmıştır ve ortam sıcaklığı değişmeden çok çeşitli yüksek reaktif oksidatif türler (örneğin, atomik oksijen, hidroksil radikalleri, tekli oksijen) üretebilmektedir. Plazma jeti balık yağı örneklerinde daha hızlı ve daha gerçekçi hızlandırılmış bir lipit oksidasyon metodu olarak kullanılmıştır. Deneyler hem işlenmemiş hem de alfa-tokoferol bakımından zenginleştirilmiş balık yağı numuneleri kullanılarak yapılmıştır. Her iki hızlandırılmış oksidasyon tekniği, tipik lipit oksidasyon belirteçleri oluşumunu indüklemiştir (örneğin 2-propenal, (E)-2-pental, heptanal). Bununla birlikte, her iki durumda da, doğal olarak bekletilmiş balık yağına kıyasla önemli farklılıklar gözlenmiştir.

Meyve ve sebze endüstrisi

Plazma, meyve ve sebze işleme endüstrisinde de kullanılan bir teknolojidir. Bu teknik, son on yıldan bu yana çoğunlukla bu endüstri alanında ürün kalitesini iyileştirmek için kullanılmaktadır³⁹. Plazma uygulaması, ürün yüzeylerinde mikrobiyal popülasyonları azaltabilir. Critzer⁴⁰ ve diğ., atmosferik homojen ışınım deşarj plazmasının, elma, kavun ve marul üzerindeki *E. coli* O157: H7, *Salmonella* ve *L. monocytogenes*'in etkisiz hale getirilmesi üzerindeki etkisini araştırmışlardır. *L. monocytogenes*'in sayısı çok düşük seviyelere düşürülmüştür ve hatta 5 dakika boyunca plazmaya maruz kalan marulda hemen hemen hiç tespit edilmemiştir. *E. coli* O157: H7 ve *Salmonella* popülasyonu ise hiçbir zaman 1 log cfu/g altına düşürülemedi. Misra²³ ve diğ., dielektrik bariyer deşarjının çilekler üzerindeki etkisini araştırmıştır. Çileklerin yüzey mikrofiorasında bulunan mezofilik aerobik bakteri ve mantarlar (küfler, mayalar) 5 dakika içerisinde 2 log cfu / g seviyesine düşürülmüştür. Çileklerin rengi ve tekstürü plazma işleminde önemli ölçüde etkilenmemiştir. Ramazzina⁴¹ ve diğ., soğuk plazma işleminin taze kesilmiş kivi kalitesi üzerindeki etkisini değerlendirmiştir. Sonuçlar, plazma işlemlerinin, renk korunumunu sağladığını ve depolama sırasında kararmış bölgelerin oluşumunu azaltarak ürünün kalitesinin olumlu yönde etkilendiğini göstermiştir. Plazma uygulaması çok az pigment kaybına neden olmuş, fakat depolama süresince daha iyi bir korunma sağlamıştır. Muamele edilen örnekler ile kontrol karşılaştırıldığında antioksidanlar (askorbik asit ve polifenoller) ve tekstürde önemli olmayan değişiklikler gözlenmiştir. Matan⁴² ve diğ., soğuk plazma (20 ve 40 W) ve yeşil çay ekstraktının taze kesilmiş ejder meyvesinin patojenleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. 40 W'deki plazma, % 5.0 yeşil çay ile muamele edilmiş taze kesilmiş ejder meyvesi yüzeyindeki tüm patojen büyümelerine karşı korumayı en az 15 güne kadar uzatmıştır. Plazma uygulaması olmadan yeşil çay ekstresi işlemleri, bakteri üremesini engelleyememiştir. Bunun yanı sıra, plazma işleminde sonra yeşil çay ekstresi ile muamele edilmiş taze kesilmiş ejder meyvesinde daha yüksek toplam fenolik içerik, ham protein, ham yağ ve ham lif değerleri gözlenmiştir. Sonuçlar, yeşil çay ekstraktının ve atmosferik plazmanın kombine olarak kullanımının taze kesilmiş ejder meyvelerinde patojenlerin büyümesini engelleyebileceğini ve beslenme ve duysal kaliteye zarar vermeden raf ömrünü uzatabileceğini göstermiştir. Herceg⁴³ ve diğ., gaz fazlı plazma işleminin nar suyunda fenolik bileşikler üzerindeki etkisini değerlendirmiş ve pastörize edilmiş meyve suyuyla karşılaştırmıştır. Pastörizasyon ve plazma muamelesi, toplam fenolik içeriğinin sırasıyla %29,55 ve %33,3 oranında artmasına neden olmuştur. Sonuçlar, plazma işlemleri nar suyunun, pastörize meyve suyuyla karşılaştırıldığında maksimum seviyede fenolik bileşikler koruduğunu göstermiştir. Atmosferik basınçlı akışkan yataklı plazma sisteminin fındıkların yüzeyindeki aflatoksijenik mantarların (*A. flavus* ve *A. parasiticus*) üzerine etkisi araştırılmıştır. Plazma formunda gaz olarak kuru hava kullanılmış, 25 kHz'de (655 W) 5 dakikalık işlemden sonra,

A. flavus'ta 4.50 log cfu/g ve *A. parasiticus*'ta ise 4.19 log cfu/g önemli azalma sağlanmıştır⁴⁴.

Baharat endüstrisi

Plazma uygulaması baharatların dekontaminasyonunda da olumlu sonuçlar göstermiştir. Hertwig⁴⁵ ve diğ., ot ve baharatların (biber tohumları, ezilmiş kekik ve kırmızı biber tozu) 90 dakikaya kadar plazma uygulanması ile doğal mikrobiyal yük ve kalite parametreleri üzerindeki etkisi ile plazma işleminin baharatların doğal mikrobiyal florasının inaktivasyonuna etkisi incelenmiştir. Soğuk plazma işlemi, biber tohumlarının ve kırmızı biber tozunun doğal mikrobiyal florasını, 60 dakikalık işlem süresinden sonra 3 log cfu / g'dan daha fazla düşürmüştür. Bununla birlikte, kırmızı biber tozunun soğuk plazma ile muamele edilmesi, karotenoidlerin tahribatı nedeniyle 5 dakika ve daha uzun süreli bir muameleden sonra ciddi bir kırmızılık kaybı meydana getirmiştir. Hertwig⁴⁶ ve diğ., iki farklı atmosferik basınç plazma işleminin, öğütülmemiş karabiberin dekontaminasyonu üzerindeki antimikrobiyal etkisini araştırmıştır. Doğal haliyle kontamine olmuş karabiberlere *B. subtilis* sporları, *Bacillus atrophaeus* sporları ve *S. enterik* inoküle edilerek plazma jeti ve mikrodalga destekli soğuk plazma işlemi uygulanmıştır. Doğrudan soğuk atmosferik basınç plazma uygulaması sonucunda çok daha düşük inaktivasyon gözlenmiştir. Bunun sebebinin farklı olan inaktivasyon mekanizmaları ve karabiberlerin karmaşık yüzey yapısından dolayı olduğu belirlenmiştir.

Ambalaj endüstrisi

Plazma işleme, paketleme endüstrisi için başarıyla kullanılan yenilikçi yöntemlerden biridir. Plazma uygulanmış malzeme bir pakete çok büyük avantajlar sağlamaktadır²⁴. Gaz bileşimine, kimyasal radikallere ve yüklü parçacıklara dayanan plazma mekanizması, yüzeyleri üzerindeki mikroorganizmalar veya toksinler gibi biyomoleküllerin hızlı ve etkili bir şekilde etkisiz hale getirmelerini sağlamaktadır. Düşük sıcaklıklarından dolayı, optimize edilmiş gaz plazmaları, polietilen veya polistiren gibi ısıya duyarlı polimerlerin işlenmesi için uygundur. Lei⁴⁷ ve diğ., atmosferik basınçlı plazmanın polietilen tereftalat / polipropilen filmler üzerindeki etkisini değerlendirmiştir. Sonuçlar, plazma işleminde sonra bu filmlerin yüzey hidrofilikliği ve pürüzlülüğünün arttığını göstermiştir. Buna ek olarak, filmlerin üç çeşit mikroorganizmaya (*S. aureus*, *B. subtilis* ve *E. coli*) karşı antimikrobiyal aktiviteleri araştırılmıştır. Sonuçlar *B. subtilis* ve *E. coli*'ye karşı inhibisyon oranlarının hemen hemen %100'e ulaştığını, *S. aureus*'a karşı inhibisyon oranlarının ise %85'den düşük olduğunu göstermiştir. Plazma uygulaması biyolojik olarak parçalanabilen paketleme polimerlerinde değişiklikler meydana getirmiştir. Pankaj²⁴ ve diğ., yüksek amilozlu mısır nişastası filmlerinde dielektrik atmosferik hava plazma işleminin etkisini araştırmışlardır. Plazma uygulaması nişasta filmlerinin yüzey pürüzlülüğünü önemli ölçüde artmıştır. Plazma işleminde sonra maksimum degradasyon sıcaklığında bir düşüş gözlenmesine rağmen tüm nişasta filmlerinin termal degradasyon profilleri benzerlik göstermiştir. Soğuk plazma işleminden sonra yüzey hidrofilitesi artış göstermiştir. Ayrıca, nişasta filmlerinin su buharı geçirgenliğinde önemli bir değişiklik gözlenmemiştir.

SONUÇ

Plazma teknolojisi, gıdanın besleyici ve duysal kalite parametreleri üzerindeki termal etkilerini en aza indiren etkili ve geleneksel olmayan bir teknolojidir. Bu teknoloji hem gıda yüzeylerinde hem de ambalaj yüzeylerinde yüksek etkinlikte koruma sağlamakta ve ortamda toksisite oluşturmamaktadır. Plazma işlemi besleme gazından, uygulanan gerilimlerden, plazma üretiminden, gıda maddesi türünden ve gıda ile etkileşimden vb. etkilenebilmektedir. Plazma teknolojisi, gıda endüstrisinde farklı alanlarda, tahıl endüstrisi, meyve ve sebze işleme, süt işleme, et ve kümes hayvanları işleme, vb. yeni ve ümit verici sonuçlar göstermiştir. Plazma işleminin tek başına veya diğer metotlarla kombine olarak kullanımı ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Yapılan çalışmalar bu yeni teknolojinin umut verici bir gıda işleme aracı olabileceğini göstermektedir. Bu uygulamanın gıda kaynaklı hastalıklardan korunmada alternatif bir metot olacağı ve buna ilaveten gıda işle-

mede daha sağlıklı ve ekonomik fayda sağlayacağı düşünülmektedir. Özellikle diğer ısıl olmayan uygulamalarla birlikte kullanımı üzerine araştırmalar yapılarak, gıdaların fiziksel, kimyasal, duyuşsal ve mikrobiyolojik kalitesi üzerine etkilerini değerlendirmek için daha çok çalışmaya ihtiyaç vardır.

KAYNAKLAR

1. Thirumdas R, Sarangapani C, and Annapure, US. 2014. Cold plasma: a novel non-thermal technology for food processing. *Food Biophysics*, 10, 1–11.
2. Fernandez A, Noriega E, & Thompson A. 2013. Inactivation of *Salmonella enterica* serovar Typhimurium on fresh produce by cold atmospheric gas plasma technology. *Food Microbiology*, 33, 24–29.
3. Guo J, Huang K, and Wang J. 2015. Bactericidal effect of various nonthermal plasma agents and the influence of experimental conditions in microbial inactivation: a review. *Food Control*, 50, 482–490.
4. Garofulić IE, Jambrak AR, Milošević S, Dragović-Uzelac V, Zorić Z, and Herceg Z. 2015. The effect of gas phase plasma treatment on the anthocyanin and phenolic acid content of sour cherry *Marasca* (*Prunus cerasus* var. *Marasca*) juice. *LWT—Food Science and Technology*, 62, 894–900.
5. Misra NN, Kaur S, Tiwari BK, Kaur A, Singh N, and Cullen PJ. 2015. Atmospheric pressure cold plasma (ACP) treatment of wheat flour. *Food Hydrocolloids*, 44, 115–121.
6. Kim SY, Bang IH, Min SC. 2019. Effects of packaging parameters on the inactivation of *Salmonella* contaminating mixed vegetables in plastic packages using atmospheric dielectric barrier discharge cold plasma treatment *Journal of Food Engineering* Volume 242, February, Pages 55-67.
7. Şen Y, Bağcı U, Güleç HA, & Mutlu M, 2012. Modification of food contacting surfaces by plasma polymerization technique: reducing the biofouling of microorganisms on stainless steel surface. *Food and Bioprocess Technology*, 5, 166–175.
8. Misra NN, Tiwari BK, Raghavarao KSMS, and Cullen PJ, 2011. Non-thermal plasma inactivation of food-borne pathogens. *Food Engineering Reviews*, 3, 159–170.
9. Fridman A, Chirokov A, and Gutsol A, 2005. Non-thermal atmospheric pressure discharges. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 38, R1–R24.
10. Garate E, Evans K, Gornostaeva O, Alexeff I, Kang W, Rader M, 1998. Atmospheric plasma induced sterilization and chemical neutralization. *Proceedings IEEE international conference on plasma science, raleigh, NC* p. 183, institute of electrical and electronics engineers, NewYork, NY. Vol 23.
11. Laroussi M and Lu X, 2005. Room-temperature atmospheric pressure plasma plume for biomedical applications. *Applied Physics Letters*, 87, 113902.
12. Moisan M, Barbeau J, Crevier M, Pelletier J, Phillip N and Saoudi B, 2002. Plasma Sterilization: Methods and mechanisms. *Pure and Applied Chemistry*, 74, 349–358.
13. Niemira BA and Gutsol A, 2010. Nonthermal plasma as a novel food processing technology. In H. Q. Zhang, G. Barbosa-Cánovas, V. M. Balasubramaniam, P. Dunne, D. Farkas, & J. Yuan (Eds.). *Nonthermal processing technologies for food* (pp. 271–288). Ames, Iowa: Blackwell Publishing.
14. Mir SA, and Shah MA and Maqbool M, 2016. Understanding the Role of Plasma Technology in Food Industry *Mir Food Bioprocess Technol.* 9: 734–750.
15. Niemira BA, 2014. Decontamination of foods by cold plasma. In D. Sun (Ed.), *Emerging Technologies for Food Processing*, (2nd edition) (pp. 327–333). UK: Academic.
16. Scholtz V, Pazlarová J, Soušková H, Khun J and Julák J, 2015. Non-thermal plasma—a tool for decontamination and disinfection. *Bio-technology Advances*, 33, 1108–1119.
17. Rauscher, H., Perucca, M., & Buyle, G. (Eds.). 2010. *Plasma technology for hyperfunctional surfaces: food, biomedical and textile applications*. John Wiley & Sons.
18. Kim B, Yun H, Jung S, Jung Y, Jung H, Choe W, 2011. Effect of atmospheric pressure plasma on inactivation of pathogens inoculated onto bacon using two different gas compositions. *Food Microbiology*, 28, 9–13.
19. Mandal R, Singh, A, Singh AP, 2018. Recent developments in cold plasma decontamination technology in the food industry *Trends in Food Science & Technology* 80 93–103.
20. Misra NN, Schlüter O and Cullen PJ, 2016. *Cold plasma in food and Agriculture: Fundamentals and applications* (1st ed.). San Diego: Academic press, Elsevier Ltd.
21. Stoica M, Alexe P, and Mihalcea L, 2014. Atmospheric cold plasma as new strategy for foods processing—an overview. *Innovative Romanian Food Biotechnology*, 15, 1–8.
22. Misra NN, Keener KM, Bourke P, Mosnier JP and Cullen PJ, 2014. In-package atmospheric pressure cold plasma treatment of cherry tomatoes. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 118, 177–182.
23. Misra NN, Patil S, Moiseev T, Bourke P, Mosnier JP, Keener KM, Cullen PJ, 2014. In-Package Atmospheric Pressure Cold Plasma Treatment of Strawberries. *Journal of Food Engineering* 125: 131-138.
24. Pankaj SK, Bueno-Ferrer C, Misra NN, O'Neill L, Tiwari BK, Bourke P, and Cullen PJ, 2015. Dielectric barrier discharge atmospheric air plasma treatment of high amylose corn starch films. *LWT—Food Science and Technology*.
25. Suhem K, Matan N, Nisoa M and Matan N 2013. Inhibition of *Aspergillus flavus* on agar media and brown rice cereal bars using cold atmospheric plasma treatment. *International Journal of Food Microbiology*, 16, 107–111.
26. Sarangapani C, Devi Y, Thirundas R, Annapure US and Deshmukh RR 2015. Effect of low-pressure plasma on physico-chemical properties of parboiled rice. *LWT—Food Science and Technology*, 63, 452–460.
27. Mir SA, Bosco SJD, Shah MA, Mir MM and Sunooj KV, 2015. Variety difference in quality characteristics, antioxidant properties and mineral composition of brown rice. *Journal of Food Measurement and Characterization*.
28. El-Aziz MFA, Mahmoud EA, and Elaragi GM, 2014. Non thermal plasma for control of the Indian meal moth, *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Stored Products Research*, 59, 215–221.
29. Selcuk M, Oksuz L and Basaran P, 2008. Decontamination of grains and legumes infected with *Aspergillus* spp. And *Penicillium* spp. by cold plasma treatment. *Bioresource Technology*, 99, 5104–5109.
30. Korachi M, Ozen F, Aslan N, Vannini L, Guerzoni ME, Gottardi D and Ekinci FY, 2015. Biochemical changes to milk following treatment by a novel, cold atmospheric plasma system. *International Dairy Journal*, 42, 64–69.
31. Song HPB, Kim JH, Choe S, Jung SY, Moon W and Choe CJ, 2009. Evaluation of atmospheric pressure plasma to improve the safety of sliced cheese and ham inoculated by 3-strain cocktail *Listeria monocytogenes*. *Food Microbiology*, 26, 432–436.
32. Gurol C, Ekinci FY, Aslan N and Korachi M, 2012. Low temperature plasma for decontamination of *E. coli* in milk. *International Journal of Food Microbiology*, 157, 1–5.
33. Moon SY, Kim DB, Gweon B, Choe W, Song HP and Jo C, 2009. Feasibility study of the sterilization of pork and human skin surfaces by atmospheric pressure plasmas. *Thin Solid Films*, 517, 4272–4275.
34. Lee HJ, Jung H, Choe W, Ham JS, Lee JH and Jo C, 2011. Inactivation of *Listeria monocytogenes* on agar and processed meat surfaces by atmospheric pressure plasma jets. *Food Microbiology*, 28, 1468–1471.
35. Kim JS, Lee EJ, Choi EH and Kim YJ., 2014. Inactivation of *Staphylococcus aureus* on the beef jerky by radio-frequency atmospheric pressure plasma discharge treatment. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 22, 124–130.
36. Davies R and Breslin M, 2003. Investigations into possible alternative decontamination methods for *Salmonella enteritidis* on the surface of table eggs. *Journal of Veterinary Medicine Series B*, 50, 38–41.